

Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zum Management von Konfigurationswissen in KMU

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

vorgelegt von
CHRISTOPH PULS
Dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 18.4.1974
von Karlsruhe, Deutschland

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. sc. techn. Markus Meier, Referent
o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers, Korreferent

Vorwort

Diese Dissertation entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Produktentwicklung (ZPE) an der ETH Zürich. Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. sc. techn. Markus Meier dafür, dass er mir diese Dissertation durch seine Anregungen, Förderung und das entgegengebrachte Vertrauen ermöglicht hat. Ebenso danke ich o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers für die Übernahme des Korreferates sowie die damit verbundene kritische Durchsicht.

Weiterer Dank geht an meine Kollegen am ZPE, wobei ich allen voran meine Teamkollegen Luca Bongulielmi und Patrick Henseler erwähnen möchte. Die gemeinsame Arbeit im Team, über mehrere Jahre hinweg, war eine bereichernde Erfahrung, die zudem sehr viel Spass gemacht hat. An dieser Stelle sei auch auf deren Dissertationen verwiesen.

Dr. sc. techn. Ekki Zwicker möchte ich für das kompetente „Coaching“ während meiner Zeit am ZPE danken, Dipl.-Ing. ETH Markus Riesch für seine Beiträge im Rahmen von Studienarbeiten sowie später als Kollege.

Der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) des Eidgenössischen Volkswirtschaftsdepartementes und den Industriepartnern (Burckhardt AG, Eigner und Partner AG, Elma Electronic AG, Gressel AG, Huber Engineering AG, Hug Maschinenfabrik AG, IntelliAct AG, Schindler Mobile AG) danke ich für die Finanzierung des Projektes COMA (Process-Integrated Configuration Management System for the Machine Industry) Nr. 4745.1 EUS, in dessen Rahmen diese Dissertation entstanden ist.

Desweiteren möchte ich allen Mitarbeitern der Pulsgetriebe GmbH & Co. danken, die mich bei meiner Arbeit direkt oder indirekt unterstützt haben.

Bei meiner Freundin Pia möchte ich mich für die moralische Unterstützung und ihr Verständnis während meiner intensiven Arbeitsphasen bedanken.

Zu guter Letzt geht ein grosses Dankeschön an meine Mutter und meinen Vater, die mich auf dem langen Bildungsweg bis zur Promotion immer unterstützt haben.

Zürich, November 2002

Christoph Puls

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	III
	Inhaltsverzeichnis	V
	Abstract	XI
1	Einleitung	1
1.1	Wissensmanagement	2
1.1.1	Implizites Wissen	3
1.1.2	Explizites Wissen	3
1.1.3	Die Kodifizierung impliziten Wissens	4
1.1.4	WM in kleineren und mittleren Unternehmen	4
1.2	Zunehmende Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen	4
1.2.1	Konfigurierung und Konfiguration	5
1.2.2	Konfigurationswissen	6
1.2.3	Das Management von K-Wissen mit (Produkt-)Konfiguratoren	7
2	Problemstellung und Zielsetzung	9
2.1	Problemstellung	9
2.1.1	Situation in der Industrie und insbesondere in KMU	9
2.1.1.1	Keine Nutzung von Konfiguratoren	9
2.1.1.2	Keine Verwendung von formalisierten Wissensrepräsentationsformen	10
2.1.1.3	Schlechte Erfahrungen mit Konfiguratoren	10
2.1.2	Folgen	10
2.1.3	Gründe für die geschilderte Situation	11
2.1.3.1	Ergebnisse eines Workshops zum Thema „Angebotssystem“	14
2.2	Zielsetzung der Arbeit	15
2.2.1	Akzeptierbare Beschränkungen	17
2.2.1.1	Beschränkung der Komplexität des K-Wissens	17
2.2.1.2	Gründe für die Beschränkung der Komplexität des K-Wissens	19
2.2.1.3	Beschränkung auf strukturgebundene Baukastensysteme	20
2.3	Das zugrundegelegte Beispiel	20
2.3.1	Beschreibung der Fahrrad-Produktfamilie	21
2.4	Anforderungen an eine Methodik zur Beschreibung von K-Wissen	23
2.4.1	Abzubildende Arten von K-Wissen	24
2.4.1.1	Strukturiertes K-Wissen	25
2.4.1.2	Erklärendes K-Wissen	27
2.4.1.3	Unstrukturiertes K-Wissen	27
2.4.2	Erforderliche Eigenschaften der Methodik	27
2.4.2.1	Visuelle, übersichtliche Darstellung	28
2.4.2.2	Einfach erlern- & anwendbar	28
2.4.2.3	Keine spezielle Software nötig	28
2.4.2.4	Unterstützung durch Software möglich	28
2.4.2.5	Brückenfunktion zwischen Verkauf & Technik	28
2.4.2.6	Unterstützung der Produktentwicklung durch zusätzlichen Nutzen	28

3.7.2	Begriffshierarchien	75
3.7.3	Constraintbasierte Wissensrepräsentation	76
3.7.3.1	Constraint-Propagation	76
3.7.3.2	Constraints in Konfiguratoren	77
3.7.3.3	Vor- und Nachteile von Constraints	78
3.7.4	Ressourcenorientierte Wissensrepräsentation	78
3.8	Konfiguratoren	79
3.8.1	Die Plakon-Familie	80
3.8.1.1	Wissensrepräsentation in der Plakon-Familie	80
3.8.1.2	Geeignete Problemarten	81
3.8.1.3	Der kommerzielle Konfigurator EngCon®	81
3.8.1.4	Erfüllung der Anforderungen	83
3.8.2	P'X5®	84
3.9	Vorgehensweisen zur Akquisition von K-Wissen	85
3.10	Beurteilung des Stand der Technik	86
4	Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix	89
4.1	Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix	89
4.2	Entwicklung der KVM	91
4.2.1	Beschreibung von Kundensicht und technischer Sicht	91
4.2.1.1	Beschreibung von Kann-, Muss- und Mengen-Varianten	92
4.2.1.2	Beschreibung von Fest-Varianten	93
4.2.1.3	Identifikation von Muss-, Fest- und Kann-Varianten	94
4.2.2	Die Konfigurationsmatrix	94
4.2.2.1	Beliebige Sichten	95
4.2.3	Die Verträglichkeitsmatrix	96
4.2.3.1	Aufbau der V-Matrix	97
4.2.3.2	Eine V-Matrix pro Sicht	98
4.2.4	Die KVM als Zusammenspiel der drei Matrizen	99
4.2.4.1	Die drei Matrizen	99
4.2.4.2	Die Elemente der Matrizen	99
4.2.4.3	Eignung der KVM	102
4.2.5	Verifizierung der erforderlichen Eigenschaften	102
4.2.5.1	Ablauf bei der Konfigurierung auf Basis der KVM	104
4.3	Unterstützung der Produktentwicklung	105
4.3.1	Identifikation nicht erfüllbarer Kundenwünsche	106
4.3.1.1	Berechnen der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix	107
4.3.1.2	Identifikation nicht realisierbarer Kundeneigenschaften	111
4.3.1.3	Berechnen der V-Matrix [KS] aus der V-Matrix [TS]	112
4.3.1.4	Überlagerung der Unverträglichkeiten aus K-Matrix und V-Matrix [TS]	115
4.3.1.5	Anwendung, Nutzen und Interpretation der Berechnung	116
4.3.2	Berechnung indirekter Unverträglichkeiten	117
4.3.2.1	Die Bedeutung indirekter Unverträglichkeiten	117
4.3.2.2	Anwendung, Nutzen und Interpretation der Berechnung	118
4.3.2.3	Wann treten indirekte Unverträglichkeiten auf?	118
4.3.2.4	Die Berechnung indirekter Unverträglichkeiten	120
4.3.2.5	Mehrfach indirekte Unverträglichkeiten	121

4.3.2.6	Die Berechnung mehrfach indirekter Unverträglichkeiten	124
4.3.2.7	Kennzahl für indirekte Unverträglichkeiten	125
4.3.3	Vorgabe und Berücksichtigung von zu erfüllenden Kundenwünschen	125
4.3.3.1	Erstellen der ‚Min-V-Matrix [KS]‘	126
4.3.3.2	Berechnen der ‚Min-V-Matrix [TS] aus der K-Matrix‘	126
4.3.3.3	Berechnen der ‚Min-V-Matrix [TS] aus der Min-V-Matrix [KS]‘	128
4.3.3.4	Überlagerung der Unverträglichkeiten zur ‚Min-V-Matrix [TS]‘	130
4.3.4	Aussagen über die interne und externe Vielfalt	131
4.4	Überprüfung der KVM	132
4.4.1	Formale Überprüfung der KVM	132
4.4.2	Inhaltliche Überprüfung der KVM	133
4.4.2.1	Redundanz zwischen Kundensicht und technischer Sicht	133
4.4.2.2	Unverträglichkeiten in der K-Matrix	134
4.4.2.3	Redundante technische Eigenschaften	134
4.5	Die KVM aus der Sicht von Konfiguratoren	136
4.5.1	Die KVM als Basis für einen Konfigurator	136
4.5.1.1	Überführung in die Wissensrepräsentationsform von EngCon	137
4.6	Beurteilung der KVM	138
4.6.1	Schwächen und Grenzen der KVM	138

5 Das K- & V-Matrix-System 139

5.1	Anforderungen	139
5.2	Das K- & V-Matrix-System	140
5.2.1	Allgemeine Architektur von Konfiguratoren	141
5.2.2	Die Komponenten des KVMS	142
5.2.2.1	Das KVM-Datenmodell (Wissensbasis)	143
5.2.2.2	Die KVM-Klassen (Problemlösungskomponente)	144
5.2.2.3	Das Abfragetool (Dialogkomponente)	144
5.2.2.4	Das Eingabetool (Wissensakquisitionskomponente)	148
5.2.2.5	Die Erklärungskomponente	150
5.2.3	Implementierung des KVMS in WebObjects®	150
5.2.3.1	Datenzugriff via Enterprise Object Framework	150
5.2.3.2	HTML-basierte Benutzerschnittstellen	151
5.3	Anwendungsszenarien für das KVMS	151
5.3.1	Anwendung bei der Erstellung der KVM	151
5.3.2	Anwendung für die Konfigurierung von Produkten	151
5.3.2.1	Customizing des KVMS	152
5.3.3	Anwendung des KVMS in der Produktentwicklung	154

6 Das Management von erklärendem und unstrukturiertem K-Wissen 155

6.1	Erweiterung des KVMS	156
6.1.1	Anforderungen an eine zusätzliche Komponente des KVMS	157
6.2	Wiki als Erweiterung des KVMS	157
6.2.1	Grundsätzliches zu Wiki	157
6.2.2	Das Wiki-Konzept	158

6.2.3	Implementierung des Konzeptes	159
6.2.4	Beurteilung von Wiki	163
6.3	Integration mit der KVM	164
6.3.1	Integration auf konzeptioneller Ebene	164
6.3.1.1	Integration von erklärendem K-Wissen	164
6.3.1.2	Integration von unstrukturiertem K-Wissen	165
6.3.2	Integration auf System-Ebene	166
6.3.3	Vorteile der Integration	167
6.4	Die Einführung von Wiki	167
7	Verifizierung	169
7.1	Erläuterung des Beispiels	169
7.1.1	Das Unternehmen	169
7.1.2	Produkt	170
7.1.3	Problemstellung	170
7.1.3.1	Einarbeitung neuer Mitarbeiter	170
7.1.3.2	Effizientere Bearbeitung von Anfragen und Aufträgen	170
7.1.4	Eingeleitetes Projekt	171
7.2	Vorgehen	172
7.2.1	Einführung von Wiki	172
7.2.1.1	Erfahrung aus der Einführung von Wiki	172
7.2.2	Einführung und Erstellung der KVM	173
7.2.2.1	Erfassungstiefe unter 100 %	173
7.2.2.2	Einführung des KVMS	174
7.2.2.3	Einsatz des KVMS	174
7.2.2.4	Einsatz der KVM in der Produktentwicklung	175
7.2.3	Integration von Wiki und KVM	175
7.3	Schlussfolgerungen aus der Verifizierung	176
8	Zusammenfassung und Ausblick	177
8.1	Zusammenfassung	177
8.2	Ausblick	178
8.2.1	Weiterführende Arbeiten bzgl. der KVM	178
8.2.2	Weiterführende Arbeiten bzgl. dem KVMS	179
8.2.3	Weiterführende Arbeiten bzgl. Wiki	182
A	Abkürzungsverzeichnis und Glossar	183
B	Formale Widersprüche in der K- & V-Matrix	197
B.1	Komplett ausgefüllte tm-km-Schnittpunkte	198
B.2	Leere kma-Spalten in der K-Matrix	198
B.2.1	Beispiele für ein kma ohne Mapping	199
B.2.2	Die Berechnung der V-Matrix [KS] bei leeren kma-Spalten	200
B.2.3	Ein kma ohne Mapping ‚wählbar‘ machen	200
B.2.4	Kundenmerkmale ohne Einfluss auf technische Merkmale	202

B.3	Leere Spalten in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix	204
B.3.1	Entfernen leerer Spalten in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix	205
B.4	Leere tma-Zeilen in der K-Matrix	206
B.4.1	Technische Merkmale ohne festgelegten Einfluss der Kundensicht	206
B.4.2	Technische Merkmale ohne Einfluss der Kundensicht	207
B.5	Leere Zeilen in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix	207
B.6	Leere Spalten/Zeilen in der V-Matrix	208
B.7	Leere Spalten/Zeilen in km-km- oder tm-tm-Schnittpunkten	209
	Literaturverzeichnis	211

Abstract

This thesis deals with the challenge of managing configuration knowledge in Small and Medium Sized Enterprises (SME). Configuration knowledge is the knowledge necessary to configure a variant product according to the customer needs and the technical restrictions. Especially in SME, configuration knowledge is often not managed in an effective manner, mainly because existing approaches don't take into account the special situation in SME.

This work analyses the current situation in SME, identifies needs to improve it and sets up requirements for methods and tools. Existing approaches are described and evaluated with respect to these requirements. Based on this evaluation, the need for a new approach is identified and such an approach is developed.

This approach - called „K- & V-Matrix“ - is based on three matrices and allows to describe structured configuration knowledge in a simple but effective way. It is explained in detail referring to a bicycle as a simple example. The requirements set up in the beginning are verified with emphasis on the integration in the engineering design process. Limits and disadvantages of the K- & V-Matrix are discussed as well.

In order to support the K- & V-Matrix as a method, the K- & V-Matrix-System has been developed. It consists of a data model, an editing tool and a query tool. Since the K- & V-Matrix can only deal with structured configuration knowledge, it has been complemented with a software to manage unstructured configuration knowledge. The integration between this software and the K- & V-Matrix is explained in detail.

Finally, the approach presented in this thesis is verified in an SME environment and suggestions for further research are made.

Kapitel 1

Einleitung

"Unsere Vorfahren hielten sich an den Unterricht, den sie in ihrer Jugend empfangen hatten; wir aber müssen jetzt alle fünf Jahre umlernen, wenn wir nicht ganz aus der Mode kommen wollen."

Dieses Zitat fasst die aktuelle Situation in unserer Gesellschaft treffend zusammen. Es ist allerdings nicht das Wort eines Zeitgenossen, sondern ein Zitat Goethes aus seinen vor fast 200 Jahren geschriebenen "Wahlverwandtschaften" [Goethe 1949].

Wissen hat in den letzten Jahren eine immer grössere Bedeutung erlangt und das Kapital als wichtigsten Produktionsfaktor abgelöst [Meier 2001]. Wie in [Drucker & Reineke 1993; Drucker 2001] skizziert, bewegen wir uns hin zu einer „Wissensgesellschaft“, in der „die Wissensarbeiter die neuen Kapitalisten sind“ und „die Gesamtheit der Wissensarbeiter die Produktionsmittel besitzt“. Wissen wird zur Schlüsselressource und nicht zuletzt dadurch wird sich „die im Entstehen begriffene Wissensgesellschaft und -wirtschaft radikal von der Gesellschaft und Wirtschaft des späten 20. Jahrhunderts unterscheiden“. Obwohl diese Veränderungen nicht nur von der Entwicklung der Informationstechnologie herrühren, so spielt sie in diesem Zusammenhang dennoch eine ähnlich wichtige Rolle wie die Dampfmaschine bei der industriellen Revolution [Drucker & Reineke 1993; Drucker 2001].

Wissen ist bereits einer der wichtigsten Faktoren bei der Wertschöpfung geworden, was sich an folgendem Beispiel verdeutlichen lässt:

Der Wert aller heute produzierten Mikrochips übertrifft den des weltweit produzierten Stahls, was sicher nicht an den darin enthaltenen Rohstoffen - letztendlich Sand - liegt, sondern im Know-How, das zu deren Herstellung nötig ist [Hay 2000].

Neben - oder vielleicht gerade wegen - der zunehmenden Bedeutung von Wissen haben sich auch das Wissen selbst sowie die Wissensquellen wesentlich geändert: Einerseits wird Wissen immer schneller angehäuft und ist in heute vielfältiger Form zugänglich (v.a. im Internet, aber auch über „klassische“ Quellen wie Bücher, Seminare usw., vgl. [Nichterlein & Puls 2000]). Andererseits sinkt - gerade deshalb - die Halbwertszeit von Wissen ständig, was sich besonders dramatisch in Gebieten wie der Informationstechnologie zeigt [Meyer 2001].

Aufgrund dieser Veränderungen hat sich der Begriff des „Wissens“ auch inhaltlich verlagert. Während beispielsweise der Produktentwickler früher in erster Linie ausreichendes Grundwissen und Erfahrung brauchte, ist es heute für ihn immer wichtiger, zu wissen, wo er die entsprechende Information bekommen kann. Das erfordert Wissen über externe Wissensquellen (Internet usw.). Sogenannte „Suchfirmen“ forschen gegen eine Gebühr nach Informationen [Drucker 2001].

V.a. ist auch das Wissen über Wissensquellen innerhalb der eigenen Organisation ein wichtiger Faktor. Obwohl eigentlich selbstverständlich, haben insbesondere grosse Unternehmen häufig Probleme mit dem internen Wissensaustausch, so dass aufgrund mangelnden Wissens über interne Wissensquellen manchmal „das Rad zweimal erfunden“ wird. Auf den Punkt bringt diesen Sachverhalt die folgende Aussage [Davenport & Prusak 1999]:

„Wenn Firma X wirklich wüsste, was Firma X weiss, dann wäre Firma X unschlagbar.“

1.1 Wissensmanagement

Diese Entwicklung wurde in vielen Unternehmen erkannt und mit verschiedenen technologischen oder organisatorischen Methoden angegangen, die man unter dem Begriff des *Wissensmanagements* (im folgenden *WM*) zusammenfassen kann [Nonaka et al. 1997; Davenport & Prusak 1999]. Es gibt in der Literatur viele, z.T. unter-

schiedliche Definitionen von WM. Hier sei auf [Langenberg 2001] verwiesen, der WM definiert als:

„Übergeordnete Managementstrategie zur Bewahrung, Vermehrung und Wiederverwendung des einem Unternehmen verfügbaren Wissens, die neben Informations- und Kommunikations-Technologien auch Methoden, Unternehmensorganisation und Mitarbeiter umfasst. Zwar werden im Rahmen des WM Informationsmanagementsysteme geschaffen und genutzt, doch erstreckt sich WM nicht nur auf Informations- und Kommunikations-Systeme, sondern betrifft die gesamte Unternehmenskultur.“

Das WM hat die unterschiedlichsten Bereiche der Unternehmen erfasst, vom Management über das Marketing bis hin zur Produktentwicklung. Dabei können die Methoden allerdings nicht immer direkt von einem Bereich auf den anderen übertragen werden, da z.T. sehr unterschiedliche Voraussetzungen existieren. Insbesondere die technologischen Hilfsmittel des WM müssen beispielsweise in der Produktentwicklung entsprechend angepasst werden, da es sich dort um sehr spezialisiertes Wissen handelt. Ausführungen zum Stand der Forschung bzgl. WM in der Produktentwicklung finden sich in [Troxler 2002].

Im Rahmen des WM wird zwischen zwei Arten von Wissen unterschieden:

1.1.1 Implizites Wissen

Implizites Wissen basiert v.a. auf der Ausbildung und Erfahrung einer Person und enthält Teile, die nicht ausgedrückt werden können. Polanyi verdeutlichte diesen Sachverhalt mit dem Satz

„Wir wissen mehr als wir zu sagen wissen“.

Subjektive Einsichten, Intuitionen und Gefühle zählen dazu. Diese sind sehr persönlich und tief in den Idealen, Werten und Emotionen einer Person verwurzelt [Nonaka et al. 1997]. Es spielt eine grosse Rolle bei der Problemlösung und beim Treffen von Entscheidungen und somit auch in der Produktentwicklung. Bzgl. implizites Wissen, siehe auch [Polanyi 1985].

1.1.2 Explizites Wissen

Explizites Wissen lässt sich mit Hilfe formaler, systematischer Sprache weitergeben

[Nonaka et al. 1997]. Es kann mit Worten, Zahlen und Symbolen z.B. in wissenschaftlichen Abhandlungen, Handbüchern, Arbeitsanweisungen, technischen Zeichnungen usw. beschrieben werden. I.d.R. ist zu dessen Interpretation implizites Wissen notwendig, denn implizites Wissen spielt eine grosse Rolle beim *Erkennen* von Zusammenhängen (vgl. [Polanyi 1985; Nonaka et al. 1997]).

1.1.3 Die Kodifizierung impliziten Wissens

Eine verbreitete Massnahme des WM ist die *Kodifizierung* impliziten Wissens z.B. in Wissensbasen [Davenport & Prusak 1999], *Externalisierung* bei [Nonaka et al. 1997]. Diese werden teilweise zum *Digitalen Produkt* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) gezählt. Wissensbasen können z.B. in Form von verfügbaren Dokumenten breit angelegt sein oder fokussiert sein auf spezialisiertes Wissen, wofür strukturierte Wissensbasen nötig sind [Fleischanderl 1999]. Diese erfordern mehr Aufwand zur Erstellung, allerdings sind sie auch besser zur Datenverarbeitung geeignet [Fleischanderl 1999]. Ein Beispiel für solche strukturierten Wissensbasen zur Kodifizierung impliziten Wissens sind *(Produkt-)Konfiguratoren* [Davenport & Prusak 1999; Fleischanderl 1999].

1.1.4 WM in kleineren und mittleren Unternehmen

Nicht nur zwischen Unternehmensbereichen, sondern insbesondere auch zwischen den Unternehmen selbst existieren beträchtliche Unterschiede, die auch Anpassungen der Methoden des WM erfordern. Hierbei spielt v.a. die Unternehmensgrösse eine besondere Rolle. So haben kleine und mittlere Unternehmen (*KMU*, siehe dazu die Definition im Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) zwar sehr gute Voraussetzungen für ein effizientes WM und machen intuitiv vieles richtig [Radermacher 2001], haben aber trotzdem Bedarf für Methoden des WM. Aufgrund der geringen Grösse und Ressourcen müssen diese Methoden aber an die Bedürfnisse von KMU angepasst sein, was heute selten der Fall ist.

1.2 Zunehmende Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen

Durch die Globalisierung und Individualisierung der Nachfrage und damit auch der Produkte hat die *Variantenvielfalt* (siehe Definition in Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) der Produkte in vielen Branchen erheblich zugenommen und

zu komplexeren Produkten und Prozessen geführt [Kohlhase 1997; Gembrys 1998; Riedel et al. 1999; Grasmann 2000; Franke & Firchau 2001; Schuh & Schwenk 2001; Franke et al. 2002]. Um den daraus entstandenen Problemen entgegenzuwirken, wurden Werkzeuge und Methoden entwickelt, die i.a. unter dem Begriff *Komplexitäts- oder Variantenmanagement* zusammengefasst werden [Franke & Firchau 2001; Schuh & Schwenk 2001; Franke et al. 2002]. Das Variantenmanagement hat drei grundsätzliche Ziele (vgl. [Grasmann 2000]):

- Komplexitätsreduzierung,
- Komplexitätsvermeidung und
- Komplexitätsbeherrschung.

Eine Übersicht über die entsprechenden Methoden bietet z.B. die im Verbundprojekt EVA-PRO erarbeitete Methodendatenbank [Franke & Firchau 2001; Franke et al. 2002]. Beiträge zum Variantenmanagement sind z.B. [Gembrys 1998; Schuh & Schwenk 2001].

Mit steigender Anzahl der Varianten (siehe Definition in Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) wird insbesondere auch die kundenspezifische Anpassung (*Konfigurierung*) des Produktes und das dazu notwendige *Konfigurationswissen* (K-Wissen) immer komplexer. Eine Unterstützung der Mitarbeiter des Verkaufs ist deshalb nötig. Aus diesem Grund ist neben anderen das Management von *K-Wissen* eine geeignete Methode, um die Variantenvielfalt zu beherrschen (vgl. [Schuh & Schwenk 2001; Franke et al. 2002]).

Unter *Management von K-Wissen* wird hier in Anlehnung an die obige Definition von WM eine *Strategie zur Bewahrung, Vermehrung und Wiederverwendung verfügbaren K-Wissens* verstanden.

Dies ist nicht zu verwechseln mit dem *Konfigurationsmanagement*, wie es in der ISO 10007 gefordert wird, bei dem es um die Transparenz und Überwachung der funktionellen und physischen Merkmale eines Produktes während dessen gesamter Lebensdauer geht [Eigner & Stelzer 2001].

1.2.1 Konfigurierung und Konfiguration

Günter definiert *Konfigurieren* als das Zusammenfügen eines (technischen) Systems aus einzelnen parametrisierbaren Objekten zu einer *Konfiguration*, die eine gegebene Aufgabenstellung erfüllt. Dabei sind gegeben (vgl. [Günter et al. 1999; Günter & Kühn 1999]):

- Eine **Spezifikation der Aufgabe** (Konfigurationsziele), die insbesondere

angibt, welche Anforderungen die zu erzeugende Konfiguration erfüllen soll.

- Eine **Menge von Objekten** der Anwendungsdomäne und deren Eigenschaften.
- Eine Menge von **Relationen und Restriktionen** zwischen den Objekten.
- Wissen über die Vorgehensweise bei der Konfigurierung (**Kontrollwissen**).

(Weitere Definitionen für Konfigurierung finden sich z.B. in [Schlingheider 1994; Görz 1995; Reinemuth 1995; Büttner 1997; Kohlhase 1997; Zwicker 1998; Brinkop 1999].

Die *parametrisierbaren Objekte* kann man sich z.B. als *Bausteine* eines *Baukastensystems* vorstellen (vgl. dazu die Theorie zu Baukastensystemen in [Borowski 1961; Koller 1994; Büttner 1997; Kohlhase 1997; Pahl & Beitz 1997]). Die Bausteine werden z.T. auch als *Lösungselemente* bezeichnet [Grasmann 2000]. Diese können nicht nur *konkrete Bausteine* wie z.B. Maschinenelemente sein, sondern auch *abstrakte Bausteine* wie z.B. Prozesse, Dienstleistungen oder Software. Bzgl. der Unterscheidung zwischen abstrakten und konkreten Bausteinen siehe [Butz 1976; Koller 1994; Kohlhase 1997].

Auf Basis dieser Bausteintypen können sehr unterschiedliche Produkte konfiguriert werden wie z.B. Maschinen, Finanzdienstleistungen ([Schwarze 1996], Weinhardt in [Puppe 1993]), Versicherungen (Knemeyer in [Puppe 1993]), Software [Männisto et al. 2001]. Es können aber auch technische Systeme aus verschiedenen dieser Bausteintypen zusammengefügt werden (mechatronische Produkte sind ein vielzitiertes Beispiel dafür). In dieser Arbeit wird nicht weiter zwischen Bausteintypen unterschieden.

Konfiguriert wird v.a. bei der Angebotserstellung oder der Auftragsbearbeitung von Variantenprodukten [Brinkop 1999]. Das Ergebnis der Konfigurierung wird als *Konfiguration* bezeichnet [Cunis et al. 1991; Tiihonen et al. 1996; Soininen et al. 2000; Männisto et al. 2001].

1.2.2 Konfigurationswissen

Konfigurationswissen (K-Wissen) ist nach Schlingheider das *für die Konfigurierung benötigte Wissen zur Problemlösung und Evaluierung, das auf einem Rechnersystem abgebildet werden muss* [Schlingheider 1994]. Es sind somit die vier von Günter als gegeben angenommenen Teilwissen (siehe voriger Abschnitt).

Kernpunkt dieser Arbeit ist allerdings das produktbezogene K-Wissen. Sowohl das *Kontrollwissen* (auch *Problemlösungswissen*) als auch die Spezifikation der Aufgabe

(das *Aufgabenwissen*) sind von der Wissensrepräsentation abhängig und nicht produktspezifisch, und aus diesem Grund wird deren Management hier nicht betrachtet.

Folglich wird hier unter K-Wissen v.a. die *Menge von Objekten* und die *Relationen und Restriktionen* verstanden. In der Literatur wird dieses Wissen oft auch als

- *Domänenwissen* [Cunis et al. 1991],
- *statische Wissensbasis* [Cunis et al. 1991],
- *configuration knowledge* [Soininen et al. 2000] oder
- *configuration model* (vgl. [Männistö et al. 1996; Tiihonen & Soininen 1997; Männistö et al. 2001])

bezeichnet.

Direkte Ziele beim Management von K-Wissen sind insbesondere (vgl. [Tiihonen et al. 1996; Tiihonen & Soininen 1997; Davenport & Prusak 1999; Günter et al. 1999; Grasmann 2000]):

- die Kodifizierung von implizit vorhandenem K-Wissen, um dessen Aktualität, Konsistenz und Verfügbarkeit sicherzustellen,
- die Beschleunigung der Angebotserstellung bzw. Auftragsbearbeitung durch die Verfügbarkeit des K-Wissens (und insbesondere durch den Einsatz von Konfiguratoren, s.u.),
- die Fehlervermeidung bzw. -minderung in diesen beiden Prozessen und Sicherstellung einer *konsistenten Konfiguration*.

I.d.R. wird das Management von K-Wissen durch dessen Beschreibung innerhalb von *Konfiguratoren* angegangen. Ansätze, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit einem Konfigurator stehen, sind angesichts der Komplexität des K-Wissens selten.

1.2.3 Das Management von K-Wissen mit (Produkt-)Konfiguratoren

In den vergangenen Jahrzehnten wurden Systeme entwickelt, die unter den Bezeichnungen *Expertensysteme*, *wissensbasierte Systeme* oder *(Produkt-)Konfiguratoren* (im folgenden verwendete Bezeichnung) bekannt sind (siehe dazu 3.8 „Konfiguratoren“).

Ziel solcher *Konfiguratoren* ist *das Management von K-Wissen und die Unterstützung der Konfigurierung durch die Nutzung des K-Wissens* ([Tiihonen & Soininen 1997; Männistö et al. 2001]. Weitere Definitionen siehe z.B. [Grasmann 2000]). Dabei bauen sie i.d.R. auf Methoden der künstlichen Intelligenz auf [Männistö et al.

2001].

Bei einem Konfigurator handelt es sich also um eine komplexe Software, die den Verkäufer bei seiner Arbeit unterstützt bzw. ersetzt. Konfiguratoren und die zugrundeliegenden Wissensrepräsentationsformen werden in Kapitel 3 „Stand der Technik“ genauer beschrieben.

Kapitel 2

Problemstellung und Zielsetzung

In diesem Kapitel werden zunächst die Problemstellung erläutert und daraus Zielsetzungen für diese Arbeit abgeleitet. Dann wird das in der ganzen Arbeit verwendete Beispiel vorgestellt und schliesslich werden die konkreten Anforderungen an die Arbeit erläutert.

2.1 Problemstellung

Auf Basis der vorangegangenen Ausführungen zur Ausgangssituation soll die daraus resultierende Problemstellung dieser Arbeit dargelegt werden.

2.1.1 Situation in der Industrie und insbesondere in KMU

Die folgenden Abschnitte charakterisieren die aktuelle Situation in der Industrie und insbesondere in KMU.

2.1.1.1 Keine Nutzung von Konfiguratoren

Obwohl die technologischen Voraussetzungen erfüllt zu sein scheinen, hat sich das Management von K-Wissen in der Industrie nicht durchgesetzt. Trotz der Verfügbarkeit von leistungsfähigen Konfiguratoren ist das Management von K-Wissen insbesondere in KMU, aber auch in grösseren Unternehmen, nach wie vor nicht sehr

verbreitet, obwohl durchaus Bedarf und Interesse dafür besteht [Tiihonen et al. 1996; Lehtonen et al. 2000].

2.1.1.2 Keine Verwendung von formalisierten Wissensrepräsentationsformen

Von den wenigen Firmen, in denen Management von K-Wissen betrieben wird, bauen viele auf eigenen Ansätzen auf. Tiihonen erwähnt, dass in vielen Firmen K-Wissen ohne systematische Formalismen dokumentiert wird. Meist wird freier Text, z.T. unterstützt durch Auswahltabellen oder Entscheidungsgraphen, als Beschreibungssprache verwendet, alles eher ungeeignete Mittel zur Beschreibung von K-Wissen [Tiihonen et al. 1996]. Oft werden auch eigene, proprietäre Konfiguratoren programmiert (vgl. 3.8 „Konfiguratoren“).

2.1.1.3 Schlechte Erfahrungen mit Konfiguratoren

Von den Unternehmen, die bereits Konfiguratoren eingesetzt haben, haben viele schlechte Erfahrungen gemacht (vgl. [Tiihonen et al. 1996; Spur & Krause 1997; Davenport & Prusak 1999]). Davenport und Prusak erwähnen z.B. eine Studie, laut der 1992 nur noch ein Drittel der in den 80er Jahren entwickelten Expertensysteme im Einsatz ist [Gill 1995].

Insbesondere die Akquisition und Pflege des K-Wissens hat sich dabei als kritisch herausgestellt [Gill 1995; Tiihonen & Soininen 1997]. Das ist gefährlich, weil dies zu inkonsistentem K-Wissen führen kann.

2.1.2 Folgen

Direkte Folgen der geschilderten Situation sind folgende [Franke et al. 2002]:

- Die Konfigurierung durch den *Verkauf* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) ist mit Zeitverlust und Fehlern verbunden, da das erforderliche K-Wissen zu komplex für die manuelle Konfigurierung durch den Verkauf ist [Tiihonen et al. 1996].
- Als Folge davon konfigurieren Experten das Produkt auf der Basis ihrer Erfahrung [Tiihonen et al. 1996].
- Bis zu 80% der vom Verkauf gelieferten Kundenanforderungen sind unvollständig oder inkonsistent [Tiihonen et al. 1996].
- Durch die ineffiziente und fehlerbehaftete Angebotserstellung und Auftragsbearbeitung entstehen ökonomische Nachteile (Gewinneinbussen von bis zu 1-2 % des Jahresgewinns bzw. Umsatzeinbussen von bis zu 10-15 % des Jahresum-

satzes [Tiihonen & Soininen 1997]).

- Es existiert keine explizite, strukturierte Beschreibung des K-Wissens, was zur Abhängigkeit von Experten führt.

2.1.3 Gründe für die geschilderte Situation

Bild 1 zeigt einen Hypothesenbaum mit möglichen Gründen für die geschilderte Situation. Die wichtigsten Gründe, bzgl. derer grosses Verbesserungspotential besteht, sind darin grau hervorgehoben. Im folgenden wird genauer auf diese eingegangen.

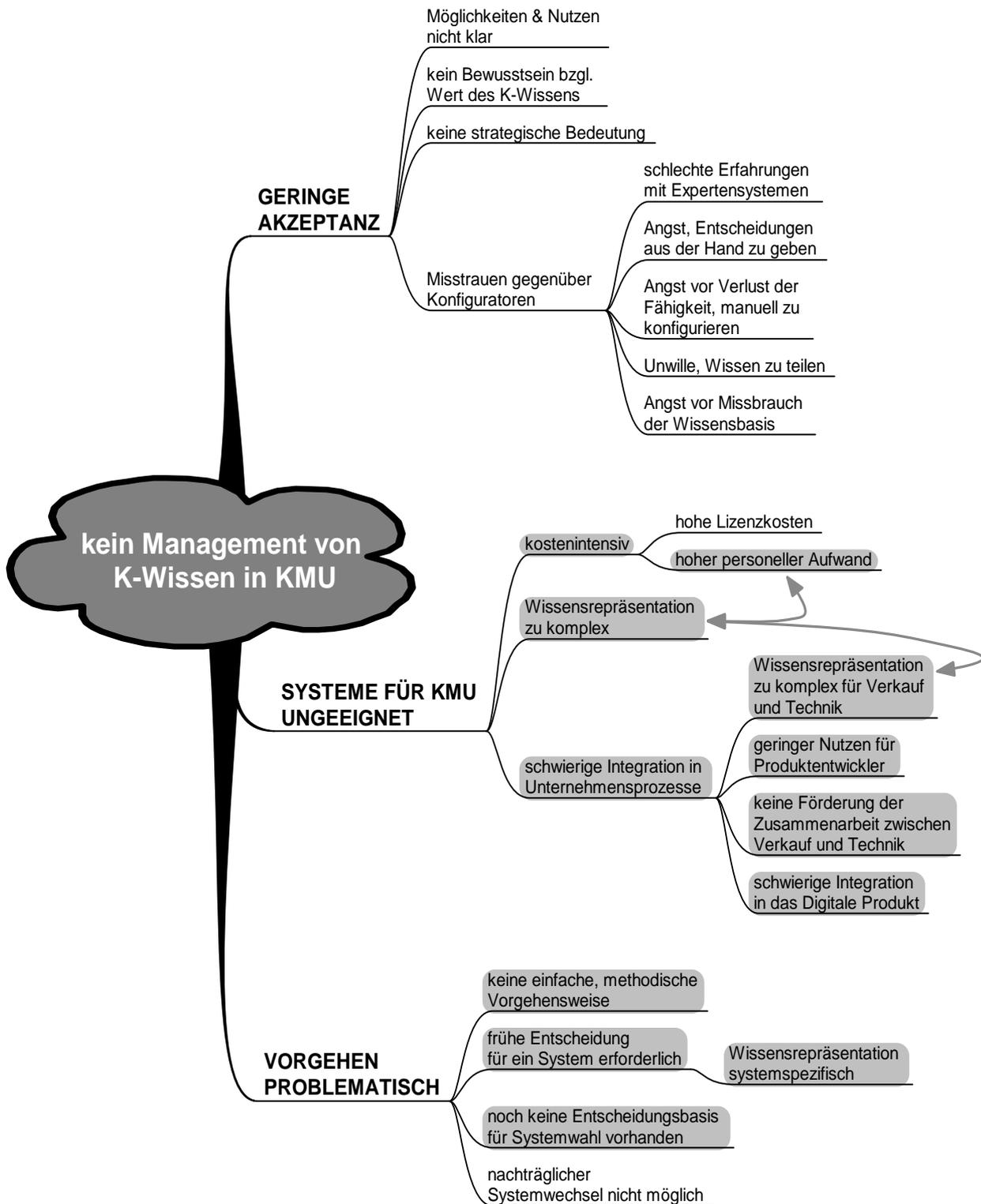


Bild 1: Hypothesenbaum bzgl. dem Management von K-Wissen

- **Misstrauen gegenüber Konfiguratoren:** Viele Unternehmen hegen grundsätzlich Misstrauen gegenüber Konfiguratoren [Tiihonen & Soininen 1997]. Dies

beruht zum einen auf schlechten Erfahrungen mit Expertensystemen [Davenport & Prusak 1999], zum anderen aber auch auf der Angst, wichtige Entscheidungen aus der Hand geben zu müssen [Tiihonen & Soininen 1997]. Hinzu kommt die Angst vor dem Missbrauch oder Diebstahl einer expliziten Wissensbasis und der Unwille mancher Wissensträger, ihr Wissen preiszugeben, sowie die Befürchtung, dass die Fähigkeit, manuell zu konfigurieren „verkümmert“, wenn ein Konfigurator eingeführt wird [Tiihonen & Soininen 1997].

- **Systeme für KMU ungeeignet:** Viele Werkzeuge des WM sind nicht für KMU ausgelegt und letztendlich zu kostenintensiv. Bei Konfiguratoren sind zum einen die Investitionen in Software-Lizenzen zu hoch, insbesondere aber auch der Aufwand für Beratung, Wissensakquisition und -pflege [Tiihonen et al. 1996; Tiihonen & Soininen 1997; Davenport & Prusak 1999; Lehtonen et al. 2000].
- **Wissensrepräsentation zu komplex:** Grund dafür ist v.a. die komplexe Wissensrepräsentation, die oft nur von *Wissensingenieuren* (siehe Definition in Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) verstanden wird und die eigentlichen Produktexperten des Unternehmens nur indirekt an der Wissensakquisition und -pflege beteiligt.
- **Schwierige Integration in Unternehmensprozesse:** Dies führt wiederum zu einer schwierigen Integration des Managements von K-Wissen in die Unternehmensprozesse, wobei insbesondere die Trennung zwischen der Produktentwicklung und dem Management von K-Wissen kritisch ist und zu falschem oder nicht aktuellem K-Wissen führen kann [Tiihonen et al. 1996]. Der Anreiz für Produktentwickler, sich am Management von K-Wissen zu beteiligen, ist gering, da sich daraus kaum direkter Nutzen für die Produktentwicklung ergibt. Der Verkauf wird wiederum durch die eher komplexe und techniklastige Wissensrepräsentation in Konfiguratoren von der Mitarbeit abgehalten.
- **Schwierige Integration in das Digitale Produkt:** Schliesslich ist auch die mangelnde Integration zu den Applikationen im *Digitalen Produkt* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) ein weiteres Hindernis [Tiihonen et al. 1996]. So müssen viele Informationen im Konfigurator separat gepflegt werden, obwohl sie in anderen Systemen (z.B. CAD, PDM) z.T. schon vorhanden sind (vgl. [Tiihonen et al. 1996]). Auch bzgl. anderer Aspekte wie z.B. der Übergabe von Konfigurationen an *ERP-Systeme* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) zur Weiterverarbeitung ist die Integra-

tion mit dem Digitalen Produkt mangelhaft [Tiihonen & Soininen 1997].

- **Vorgehen problematisch:** Bzgl. des Managements von K-Wissen gibt es keine einfache, methodische und systemunabhängige Vorgehensweise. Deshalb ist i.d.R. eine frühe Entscheidung für einen Konfigurator erforderlich, bevor mit der Wissensakquisition begonnen werden kann. Dafür fehlt i.d.R. aber eine Entscheidungsbasis, wie das Verständnis der Problematik und die grundsätzliche Kenntnis der Art des eigenen K-Wissens [Tiihonen & Soininen 1997]. Die Vielfalt an unterschiedlichen Wissensrepräsentationsformen in den Konfiguratoren erschwert zudem den nachträglichen Wechsel zwischen Systemen nach einer falschen Entscheidung [Tiihonen & Soininen 1997].

2.1.3.1 Ergebnisse eines Workshops zum Thema „Angebotssystem“

Die obigen Ausführungen wurden in einem Workshop mit dem Titel „Auftragsabwicklungs- und Produktionsprozesse“ grösstenteils bestätigt. Dieser Workshop wurde im Rahmen einer VDI-Tagung [VDI 2001] abgehalten.

In einem Teil des Workshops wurden Anforderungen an ein Angebotssystem - bzw. einen Konfigurator - gesammelt und geclustert. Dabei wurden zunächst Wünsche genannt wie z.B.

- „übersichtliches GUI“,
- „schnelle Angebotserstellung“,
- „Aufbau und Pflege des Regelwerks“
- „Kundensprache in technische Sprache übersetzen“
- „Mehrsprachigkeit“
- „durchgängige Datennutzung“,

Auf den Einwand, dass diese Wünsche grösstenteils durch den Stand der Technik erfüllt werden, hat sich in der Diskussion ergeben, dass die „Qualität der Daten nicht stimmt“ bzw. „gar keine Daten vorhanden“ sind. Dies ist wiederum zurückzuführen auf die zu komplexe Wissensrepräsentation sowie das Fehlen einer einfachen, methodischen Vorgehensweise zur Wissensakquisition.

Dies bestätigt einen grösseren Bedarf für eine einfachere Wissensrepräsentation und eine methodische Vorgehensweise anstatt für zusätzliche Funktionalitäten in Konfiguratoren.

2.2 Zielsetzung der Arbeit

Ausgehend von der geschilderten Situation ist das Ziel dieser Arbeit die Entwicklung einer Methodik zur Beschreibung von K-Wissen. Damit soll ein Beitrag zum effizienteren Management von K-Wissen in KMU geleistet werden. In Bild 2 sind die gewünschten Eigenschaften der Methodik dargestellt. Diese resultieren v.a. aus den Bild 1 dargestellten Gründen. Im folgenden werden sie kurz erläutert:

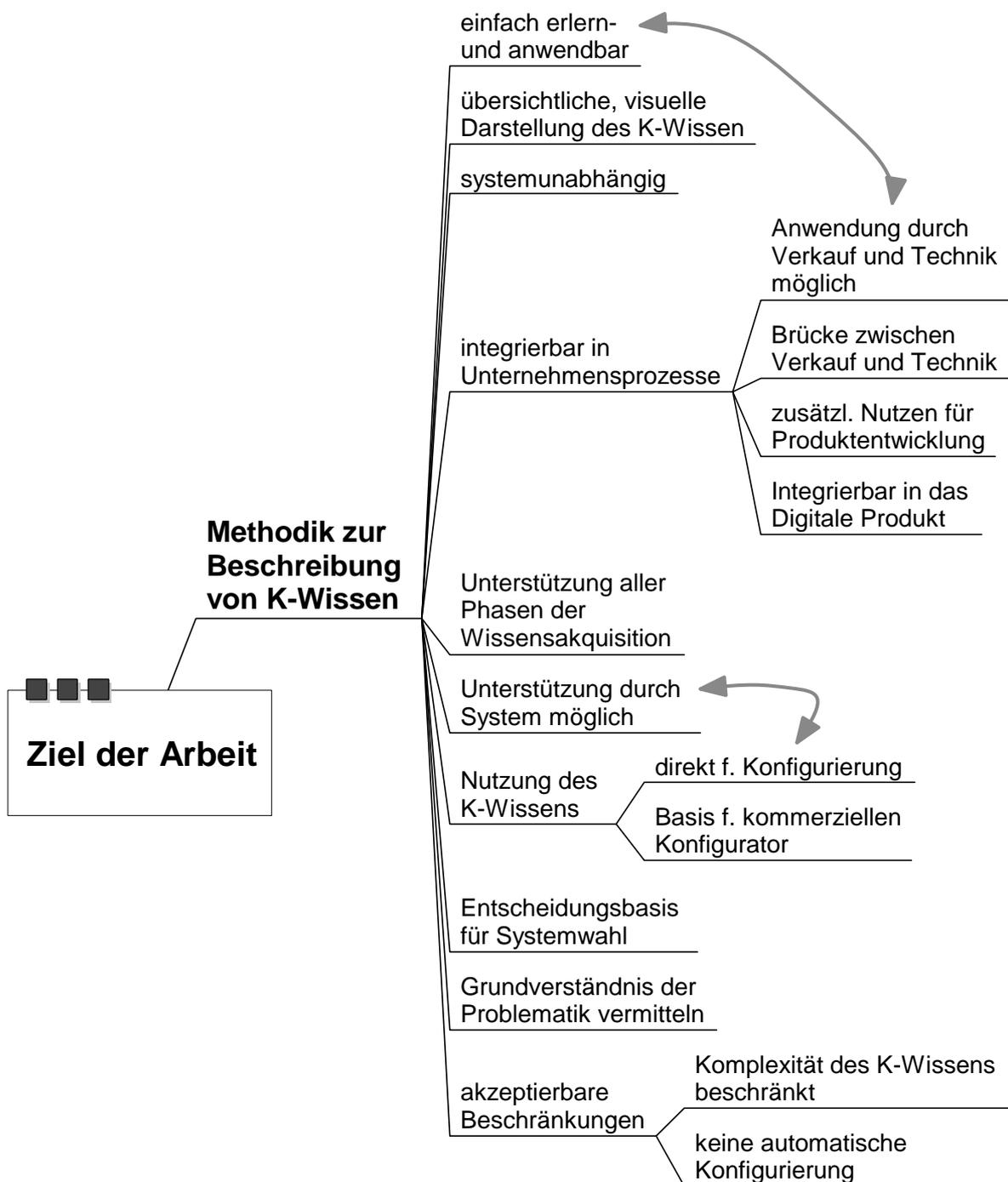


Bild 2: Zielsetzung der Arbeit

- **Einfach erlern- und anwendbar:** Die Methodik soll möglichst einfach erlernen und anwendbar sein (vgl. [Männistö et al. 1996; Tiihonen et al. 1996; Lehtonen et al. 2000; Albers & Schweinberger 2001]). „Einfach“ soll in diesem Zusammenhang heissen, dass die Methodik einem Produktentwickler oder Verkäufer innerhalb eines Tages so vermittelt werden kann, dass er sie anwenden kann - natürlich nicht mit allen Feinheiten. Deshalb sollte bei der Entwicklung einer Methodik darauf geachtet werden, diese mit wenig „Theorieballast“ auszustatten, um sie möglichst praxisbezogen zu gestalten [Grabowski & Geiger 1997; Albers & Schweinberger 2001]. Mögliche Wege, eine Methode einfach erlernen und anwendbar zu machen sind insbesondere auch das Zurückgreifen auf bekannte Konzepte und die Darstellung von Beziehungen in einer Form, die der Denkweise des Menschen entspricht.
- **Übersichtliche, visuelle Darstellung von K-Wissen:** Um das letztgenannte Ziel zu erreichen, sollte die Darstellung des K-Wissens auf visuelle, übersichtliche Art und Weise erfolgen (vgl. [Tiihonen et al. 1996]).
- **Systemunabhängig, Basis für kommerziellen Konfigurator:** Um die Entscheidung für einen bestimmten Konfigurator möglichst spät treffen zu können, muss die Methodik systemunabhängig sein und darf sich nicht auf einen bestimmten Konfigurator beziehen. Sie sollte also möglichst allgemein gehalten sein und eine Wissensrepräsentationsform beinhalten, die mit den verschiedenen systemspezifischen Wissensrepräsentationsformen integrierbar ist. Diese soll schliesslich als Basis für einen kommerziellen Konfigurator dienen können.
- **Integrierbar in Unternehmensprozesse:** Um in die Unternehmensprozesse integrierbar zu sein, sollte die Methodik nicht nur durch Verkauf und *Technik* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) anwendbar sein, sondern insbesondere auch ein Bindeglied zwischen beiden darstellen (vgl. [Grabowski & Geiger 1997]). Um die Technik zur Mitwirkung zu motivieren, sollte die Methodik einen Nutzen für die Produktentwicklung bieten. Dies könnte zum einen die Analyse von Produkteigenschaften, aus der Anhaltspunkte für die Überarbeitung des Produktes gewonnen werden könnten (vgl. die Methode von [Schuh & Schwenk 2001]), zum anderen aber auch die Unterstützung der Neuentwicklung von Produkten sein. Die Integration mit dem Digitalen Produkt sollte ebenfalls möglich sein (vgl. [Albers & Schweinberger 2001]).
- **Unterstützung aller Phasen der Wissensakquisition:** Für die Unterstützung

aller Phasen der Wissensakquisition, ist eine Unterstützung der unstrukturierten Datenerhebung zu Beginn der Wissensakquisition (z.B. in Workshops, Brainstormings, Brainwritings usw.) nötig.

- **Unterstützung durch System möglich:** Zwar soll die Methodik ohne spezielle Software auskommen und systemunabhängig sein, dennoch wird aber eine Unterstützung durch ein System für die meisten Aspekte sinnvoll und für gewisse Aspekte (z.B. die oben geforderte Analyse von Produkteigenschaften) unabdingbar sein. Diese sollte folglich auf Basis der Methodik realisierbar sein. Vgl. dazu [Albers & Schweinberger 2001].
- **Nutzung des K-Wissens direkt für Konfigurierung:** Ziel der Methodik ist die Abbildung von K-Wissen. Die direkte Nutzung des K-Wissens für die Konfigurierung von Produkten liegt folglich nahe, etwa im Sinne eines „Rapid-Prototyping-Ansatzes“. Um das K-Wissen direkt nutzen zu können, muss die oben erwähnte Software also einen einfachen Konfigurator enthalten, der als Rapid-Prototyping-Werkzeug dient.
- **Grundverständnis der Problematik / Entscheidungsbasis für Systemwahl:** Durch einen solchen einfachen Konfigurator können frühzeitig Erfahrungen bzgl. der Konfigurierung gesammelt und ein **Grundverständnis der Problematik** erreicht werden, die dann bei der Entscheidung für einen Konfigurator als **Entscheidungsbasis** dienen.

2.2.1 Akzeptierbare Beschränkungen

Um diese Ziele zu erreichen, müssen verschiedene Einschränkungen in Kauf genommen werden.

2.2.1.1 Beschränkung der Komplexität des K-Wissens

Die mit der Methodik beschreibbare Komplexität des K-Wissens soll auf den in Bild 3 markierten Bereich beschränkt werden. Die horizontale Achse stellt die Komplexität der Anwendungsszenarien für die Methodik dar.

Zur Einteilung der Anwendungsszenarien wird häufig auf die aus der Logistik entlehnten Bezeichnungen PTO (*Pick-to-Order*), ATO (*Assemble-to-Order*), MTO (*Make-to-Order*) oder ETO (*Engineer-to-Order*) (siehe [Schönsleben 2000; Marbacher 2001]) zurückgegriffen (z.B. in [Wüpping 2000; Dahl & Ochs 2001]). Das einfachste Szenario PTO steht dabei z.B. für die reine Auswahl eines existierenden Endproduktes, das komplexeste Szenario ETO (*Engineer-to-Order*) z.B. für die kundenspezifische Ent-

wicklung komplexer Systeme im Anlagenbau. Die darunter aufgetragene Einteilung wird in [Ranze et al. 2002] vorgeschlagen. Dabei entspricht z.B. *Click & Buy* etwa PTO.

Auf der vertikalen Achse der Bild 3 ist die zugehörige Komplexität des K-Wissens dargestellt. Daraus folgt, dass dieses je nach Anwendungsszenario extrem komplex werden kann und mit kommerziellen Konfiguratoren nicht mehr vollständig beschreibbar ist [Wüpping 2000]. Dieser Bereich ist Gegenstand der Forschung.

Es ist allerdings auch möglich, nur einen Teil des K-Wissens zu erfassen. Die sogenannte *Erfassungstiefe* liegt dann zwar unter 100%, aber das K-Wissen wirkt immer noch unterstützend für Teile des Konfigurierungsprozesses. Tiihonen schreibt z.B. in [Tiihonen et al. 1996], dass oft Konfigurierung und Konstruktion in einem Produkt vermischt werden (vgl. auch [Wüpping 2000]).

Die zu entwickelnde Methodik soll sich bewusst auf den darunter liegenden *relevanten Bereich* beschränken.

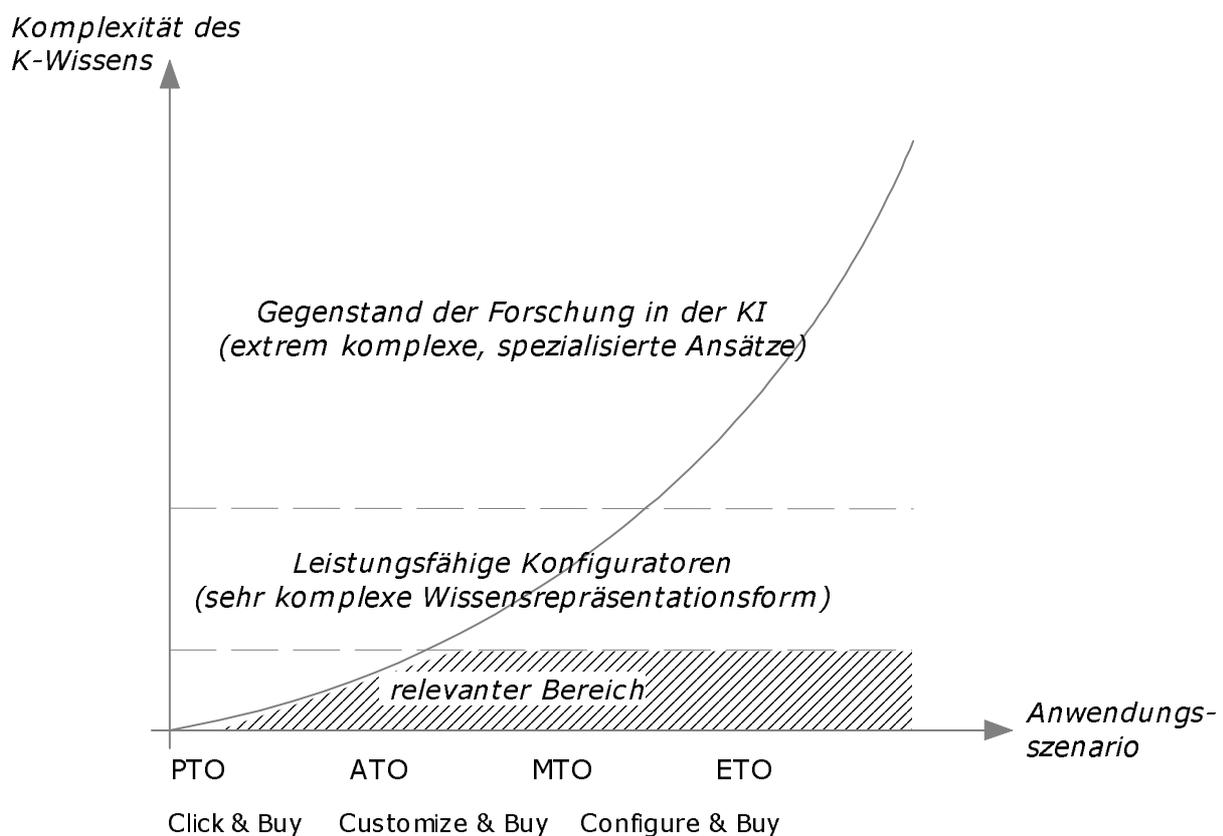


Bild 3: Beschränkung der Komplexität des beschreibbaren K-Wissens

2.2.1.2 Gründe für die Beschränkung der Komplexität des K-Wissens

Die Gründe für die Beschränkung der Komplexität des K-Wissens werden im folgenden erläutert.

Die Methodik soll einfach sein. Für die Beschreibung von komplexerem K-Wissen würde aber die Wissensrepräsentationsform komplizierter und somit auch die Methodik an sich. Da man i.a. eine Methodik auf möglichst viele - z.T. eben komplexere - Anwendungsszenarien anwenden möchte, besteht eine grosse Gefahr, dass genau dies passiert (siehe Bild 4). Hollins beschreibt das Dilemma so: „Zunächst kritisiert man eine Methode, weil sie nicht in allen Fällen anwendbar ist. Wenn sie dann entsprechend erweitert ist, kritisiert man sie, weil sie zu kompliziert ist.“ (vgl. dazu [Hollins 2002]). Auch in [Albers & Schweinberger 2001] wird auf dieses Problem und die daraus resultierende mangelnde Praxistauglichkeit vieler Methoden hingewiesen. Deshalb soll die Komplexität des beschreibbaren K-Wissens hier von Anfang an begrenzt werden.

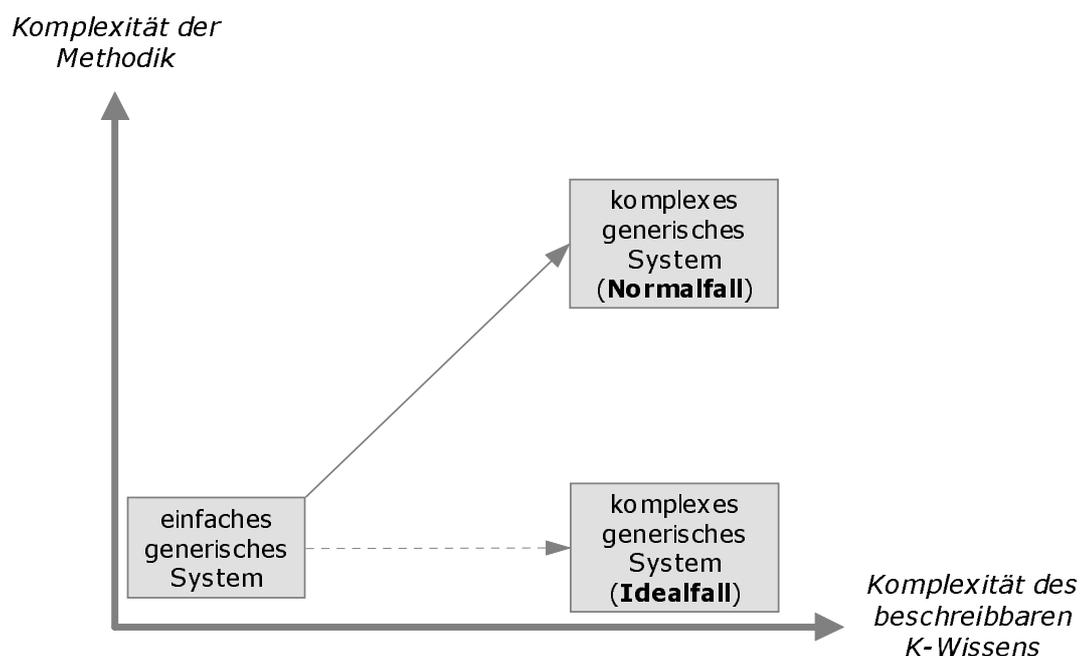


Bild 4: Linearität von Funktionalität und Komplexität

Ein weiterer Grund für diese Beschränkung ist die Tatsache, dass die Erfassungstiefe ja nicht unbedingt 100% sein muss, v.a. während der Wissensakquisition.

Unterstützend wirkt zudem die Annahme, dass die Komplexität von K-Wissen im Maschinenbau bei vielen Produkten sowieso abnimmt, da diese zunehmend besser strukturiert sind. Eine Vereinfachung der (oft historisch gewachsenen) Komplexität ist

bei der Neuentwicklung/Überarbeitung von Produkten häufig eines der Ziele [Schuh & Schwenk 2001; Franke et al. 2002].

Ein Beispiel dafür liefert [Leonhardt 2001]: Dort werden die Restriktionen für die Konfiguration einer Werkzeugmaschine in einer einfachen Verträglichkeitsmatrix abgebildet. Die Maschine wurde allerdings neu konstruiert und enthält wesentlich weniger komplexes K-Wissen als das Vorgängermodell.

2.2.1.3 Beschränkung auf strukturgebundene Baukastensysteme

Die Methodik muss nicht auf *modulare Baukastensysteme* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) im Sinne von [Koller 1994] anwendbar sein. Eine Beschränkung auf *strukturgebundene Baukastensysteme* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) ist aus folgenden Gründen sinnvoll:

- Das K-Wissen kann bei modularen Baukastensystemen sehr komplex werden.
- Bei Produkten im Maschinenbau, und insbesondere in KMU, handelt es sich i.d.R. eher um strukturgebundene als um modulare Baukastensysteme, da der Aufwand für die Entwicklung modularer Baukastensysteme sehr hoch ist.

Zur Abbildung des K-Wissens von modularen Baukastensystemen gibt es verschiedene Ansätze, siehe z.B. [Büttner 1997; Döftlinger & Loepfe 2001].

Desweiteren wird die *Closed World Assumption* zugrundegelegt (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“).

2.3 Das zugrundegelegte Beispiel

Die Ausführungen in dieser Arbeit werden sich zwecks besserer Verständlichkeit an einem Beispiel orientieren. Dabei wurde auf das möglichst einfache und allgemeinverständliche Beispiel einer Fahrrad-Produktfamilie zurückgegriffen. Dieses Beispiel ist zwar kein repräsentatives Beispiel aus der Praxis, da es relativ wenig Merkmale enthält, einige Gründe sprechen aber für ein solches, stark vereinfachtes Beispiel:

- Die im folgenden erläuterten Zusammenhänge sind sehr komplex, daher soll wenigstens das Beispiel einfach sein, um die Verständlichkeit nicht unnötig zu erschweren.
- Das Beispiel sollte sich möglichst einfach und platzsparend darstellen lassen. In dieser Arbeit werden verschiedene Variationen des Beispiels untersucht, und es wäre unpraktisch, wenn jedesmal mehrere Seiten für die Darstellung der entsprechenden Variation verwendet werden müssten.

- Desweiteren ist anzunehmen, dass vermutlich die meisten Leser schon einmal ein Fahrrad gekauft haben und sich entsprechend gut in das Beispiel eindenken können.

Das Beispiel ist *synthetisch*, d.h. es basiert nicht auf einer tatsächlich existierenden Produktfamilie, sondern wurde nur als Basis für die folgenden Ausführungen entwickelt. Wie in Kapitel 7 „Verifizierung“ erwähnt, wurden aber der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz anhand eines komplexeren, realen Beispiels verifiziert, so dass dort der Beweis für die Praxistauglichkeit der Methodik geliefert wird.

2.3.1 Beschreibung der Fahrrad-Produktfamilie

Bei dem Beispiel handelt es sich um die Produktfamilie eines Fahrrades. Dabei kann nicht nur das Fahrrad selbst durch unterschiedliche technische Merkmale variiert werden, sondern es kann auch durch verschiedene Varianten eines Anhängers sowie durch einen Kindersitz ergänzt werden (siehe Bild 5).



Bild 5: Produktfamilie Fahrrad

Die Merkmalsmatrix in Tabelle 1 beschreibt die einzelnen Variationsmöglichkeiten

aus technischer Sicht im Detail (siehe auch 3.6.1.1 „Merkmalsmatrix“). Geht man davon aus, dass alle Merkmalsausprägungen miteinander verträglich, d.h. kombinierbar, sind, dann ergibt dies *27'648 Kombinationsmöglichkeiten*.

Tabelle 2 beschreibt die Variationsmöglichkeiten aus Kundensicht. Bild 6 zeigt die Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen der Kundensicht und der technischen Sicht anhand eines vereinfachten Merkmalsnetzes (siehe dazu 3.5.4 „Merkmalsnetz“). Dieser Zusammenhang wird später als das *Mapping* zwischen *Kundensicht* und *technischer Sicht* bezeichnet (siehe dazu 2.4.1.1 „Strukturiertes K-Wissen“). Wie aus dem Bild hervorgeht, ist der Zusammenhang kompliziert und wird hier abstrahiert dargestellt.

Tabelle 1: Merkmalsmatrix der technischen Sicht des Fahrrades

Merkmal	Ausprägung1	Ausprägung2	Ausprägung3	Ausprägung4
Rahmen-Typ	Damen	Herren		
Rahmen-Grösse	26"	28"	30"	
Lenker	Mountain	Renn	Tour	
Schaltung	18-Gang	24-Gang	27-Gang	
Bereifung	Alu - hohes Profil	Alu - normales Profil	Alu - Slicks	Stahl - hohes Profil
Federung	Federung Typ 1	nicht vorhanden		
Kindersitz	Kindersitz Typ 1	nicht vorhanden		
Anhänger-Bereifung	hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine
Anhänger-Farbe	blau	gelb	rot	keine
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A	nicht vorhanden		

Tabelle 2: Merkmalsmatrix der Kundensicht des Fahrrades

Merkmal	Ausprägung1	Ausprägung2	Ausprägung3	Ausprägung4
Fahrer	Dame	Herr		
Personengrösse	< 170 cm	170 cm - 185 cm	> 185 cm	
Ausführung	Komfort	Renn	Mountain	
Anhänger	geländegängig	strassengängig	nicht vorhanden	
Anhängerfarbe	rot	blau	gelb	keine
Kindersitz	vorhanden	nicht vorhanden		

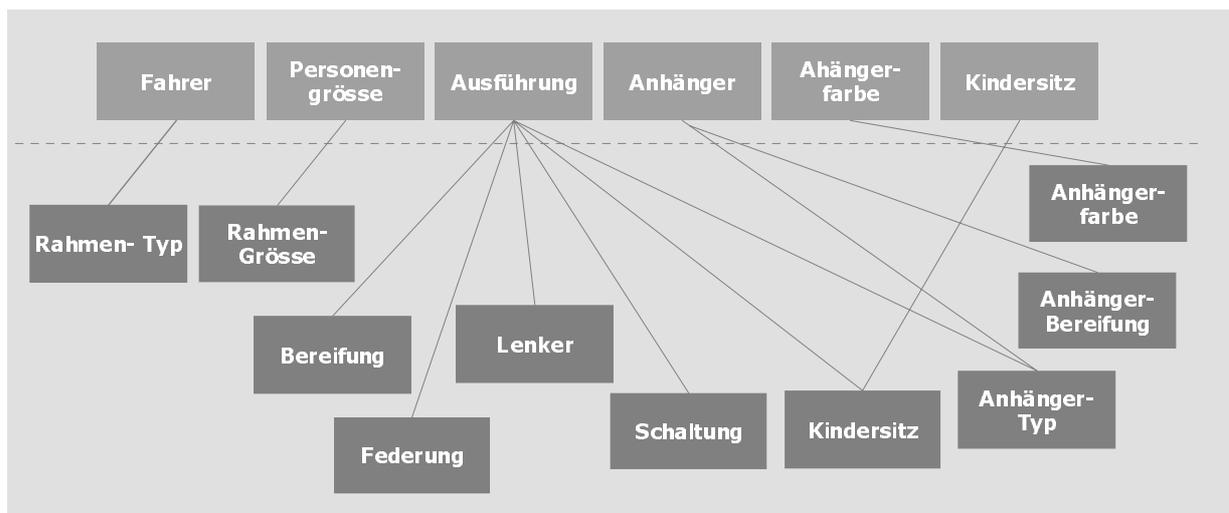


Bild 6: Merkmalsnetz des Fahrrades

2.4 Anforderungen an eine Methodik zur Beschreibung von K-Wissen

Aus den erläuterten Zielen lassen sich konkrete Anforderungen an eine Methodik zur Beschreibung von K-Wissen ableiten. Anhand dieser Anforderungen kann zunächst der Stand der Technik beurteilt und danach der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz validiert werden.

Tabelle 3: Anforderungen an die Methodik

Abzubildende Arten von K-Wissen
strukturiertes K-Wissen:
- Kundensicht
- technische Sicht
- Mapping zwischen beiden Sichten
- Verträglichkeiten technische Sicht
- Verträglichkeiten Kundensicht
erklärendes K-Wissen
unstrukturiertes K-Wissen
Erforderliche Eigenschaften der Methodik
visuelle, übersichtliche Darstellung
einfach erlern- & anwendbar
keine spezielle Software nötig
Unterstützung durch Software möglich
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen
Integrierbar in das Digitale Produkt
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator ("aufwärtskompatibel")

In den folgenden Abschnitten finden sich Erläuterungen zu den Anforderungen.

2.4.1 Abzubildende Arten von K-Wissen

Die darin enthaltenen Anforderungen beziehen sich auf das K-Wissen, das mit der Methodik beschreibbar sein muss bzw. sollte. Die Unterteilung des K-Wissens ist in Bild 7 dargestellt. Siehe dazu auch [Puls et al. 2002c].

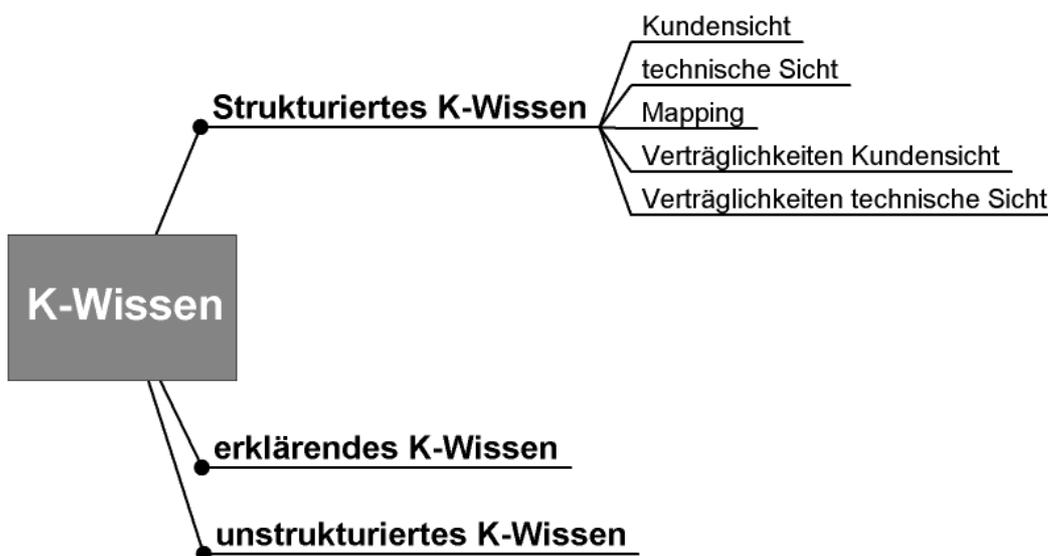


Bild 7: Unterteilung des K-Wissens

2.4.1.1 Strukturiertes K-Wissen

Das abzubildende strukturierte K-Wissen wurde in mehrere Teilwissen unterteilt, die sich aus der Definition der Konfigurierung (vgl. 1.2.1 „Konfigurierung und Konfiguration“) ergeben. Diese Teilwissen müssen unbedingt abbildbar sein. Es handelt sich im einzelnen um folgende:

- **„Kundensicht“:** Diese Sicht beschreibt das Produkt aus Sicht des Kunden und seiner Anforderungen und ist daher i.d.R. einfacher und funktions- oder anwendungsbezogen [Tiihonen & Soininen 1997]. Die in der Kundensicht enthaltenen *Kundeneigenschaften* entsprechen den unterschiedlichen Anforderungen, die ein *Variantenprodukt* (siehe Definition in Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) erfüllen kann, aus denen der Kunde dann eine Untermenge auswählt (die gegebene *Aufgabenstellung* für die Konfigurierung). Selbstverständlich kann er immer nur eine Untermenge dieser Anforderungen wählen, denn die zur Wahl stehenden Anforderungen können dabei durchaus widersprüchlich sein (z.B. „Farbe: rot“, „Farbe: grün“). Allerdings muss die Kundensicht natürlich so aufgebaut sein, dass keine widersprüchlichen Anforderungen gleichzeitig gewählt werden können. Hier besteht ein grosser Unterschied zur Anforderungsliste und zu den Kundenanforderungen beim *Quality Function Deployment* (QFD), wo die Anforderungen alle gleichzeitig gelten und nicht variantenbehaftet sind. Zum besseren Verständnis führt Tabelle 4 andere Begriffe auf, die in Wissenschaft und Praxis synonym für Kundensicht verwendet werden. Die Kundensicht existiert z.T. auf Anfrageformularen, in Katalogen oder auch auf internen Checklisten für die Auftragsbearbeitung usw.
- **Technische Sicht:** Analog zur Kundensicht handelt es sich hierbei um eine Beschreibung des Produktes in der Sprache des Ingenieurs, d.h. auf einer tieferen Abstraktionsstufe. Die technische Sicht enthält z.B. Komponenten, technische Parameter usw. des Produktes (die für die Konfigurierung gegebenen *Objekte*). Tabelle 4 enthält andere häufig verwendete Bezeichnungen für die technische Sicht. Wie die Kundensicht ist sie variantenbehaftet und bei der Konfigurierung werden ausgehend von den Kundenwünschen die passenden Eigenschaften der technischen Sicht festgelegt. Die technische Sicht ist z.B. aus Katalogen, technischen Dokumentationen, Zeichnungen usw. ersichtlich.
- **Mapping zwischen Kundensicht und technischer Sicht:** Dabei handelt es

sich um den Zusammenhang zwischen Kundensicht und technischer Sicht. Im Mapping ist definiert, welche Eigenschaften der technischen Sicht zur Erfüllung der einzelnen Kundenanforderungen notwendig sind. Es ist das Wissen „*Was brauche ich, um eine bestimmte Anforderung zu erfüllen?*“. Es handelt sich um einen kausalen Zusammenhang zwischen einer bestimmten Kundenanforderung und einer oder mehreren technischen Eigenschaften, die aufgrund der Kundenanforderung nötig sind (vgl. *kausales Wissen* bei [Schlingheider 1994] und *funktionale Abhängigkeiten* bei [Gembrys 1998]).

- **Verträglichkeiten der Kundensicht:** Nicht alle Kundenanforderungen sind miteinander verträglich. Es bestehen i.d.R. logische Abhängigkeiten zwischen den Kundenanforderungen, welche die Auswahlmöglichkeiten einschränken [Gembrys 1998]. Es handelt sich um das Wissen „*Welche Kundenanforderungen sind miteinander verträglich?*“. Dieses Wissen muss abgebildet und dargestellt werden können.
- **Verträglichkeiten der technischen Sicht:** Auch die Eigenschaften der technischen Sicht sind nicht alle miteinander verträglich und das entsprechende Wissen muss abgebildet und dargestellt werden können.

Der Zusammenhang zwischen diesen Wissensarten wird in Bild 8 dargestellt.

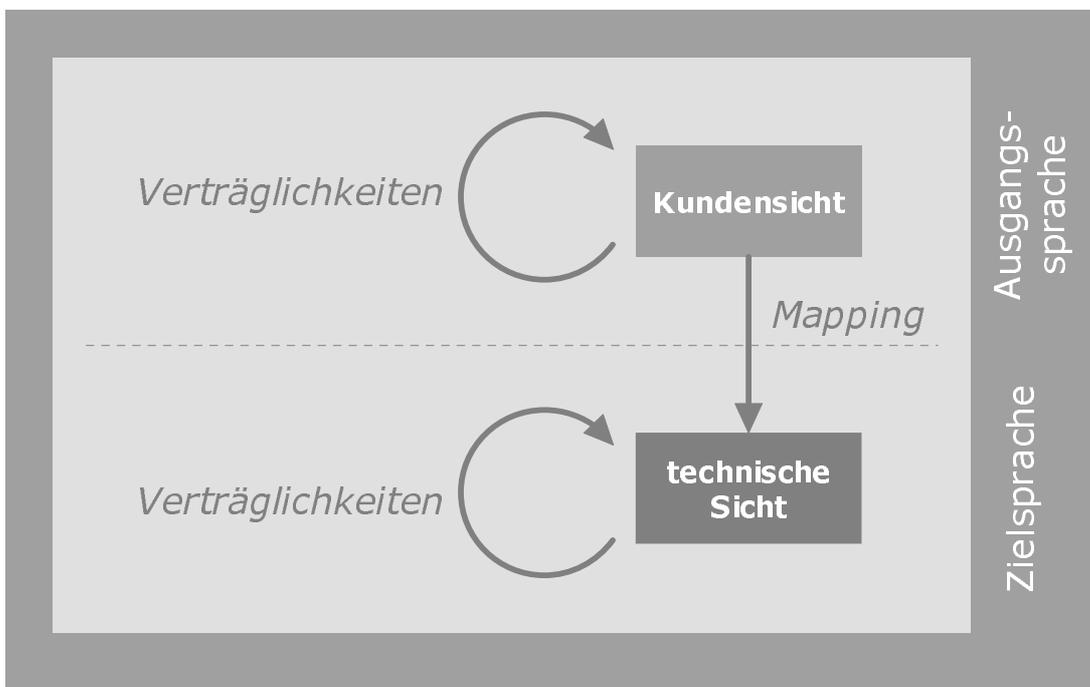


Bild 8: Zusammenhang zwischen Kundensicht, Mapping, technischer Sicht und Verträglichkeiten

Tabelle 4: Mögliche Begriffe für Ausgangs- und Zielsprache

Begriff für Ausgangssprache	Begriff für Zielsprache
Anforderungssprache	Ergebnissprache
Funktionsstruktur	Produktstruktur
Kundensicht	technische Sicht
Kundensprache	technische Sprache
Kundenanforderungen	technische Produktspezifikation
Anwendungssicht	Produktsicht
absatzspezifische Merkmale	herstellungsspezifische Merkmale

Die Wissensrepräsentationsformen der Teilwissen sollten so flexibel sein, dass sie bereichsübergreifend einsetzbar sind, so dass sie z.B. in den Bereichen Mechanik, Verfahrenstechnik, Elektronik, Software usw. einsetzbar sind (vgl. [Grabowski & Geiger 1997]).

2.4.1.2 Erklärendes K-Wissen

Hierbei handelt es sich um Wissen, das gegenüber dem strukturierten K-Wissen eine erklärende Funktion hat. Dies sind z.B. Antworten auf Fragen wie *„Was bedeutet diese Kundeneigenschaft genau?“* oder *„Warum sind diese zwei technischen Eigenschaften nicht miteinander verträglich?“*.

Ein Grund für eine Integration von erklärendem K-Wissen ist die Erhöhung der Akzeptanz beim Benutzer (Verkauf und Technik), wenn diesem die Zusammenhänge in der Wissensbasis durch erklärendes K-Wissen transparent gemacht werden.

2.4.1.3 Unstrukturiertes K-Wissen

Unstrukturiertes K-Wissen ist nicht - oder noch nicht - strukturiert genug, um es in einer Form des strukturierten K-Wissens zu beschreiben. Es entsteht beispielsweise bei der Wissensakquisition, wenn man beginnt (z.B. in Workshops, Brainstormings, Brainwritings) relevante Informationen bzgl. der Produktkonfiguration zu sammeln und festzuhalten. Durch Überarbeitung, Ergänzung und Strukturierung wird dieses unstrukturierte K-Wissen ggf. zu erklärendem oder strukturiertem K-Wissen.

Diese Anforderung folgt aus dem Ziel, alle Phasen der Wissensakquisition zu unterstützen.

2.4.2 Erforderliche Eigenschaften der Methodik

Während im ersten Teil der Anforderungen die abzubildenden Arten von K-Wissen

aufgeführt werden, enthält der zweite Teil Anforderungen bzgl. Eigenschaften der Methodik.

2.4.2.1 Visuelle, übersichtliche Darstellung

Konkret steht dahinter der Wunsch nach einer Darstellung, die sich sowohl auf dem Bildschirm, als auch auf Papier darstellen lässt, und zwar so, dass alle relevanten Informationen auf einmal erfasst sind.

2.4.2.2 Einfach erlern- & anwendbar

Kriterien für die Bewertung ist insbesondere die Zeit, die nötig ist, die Methode zu verstehen. Siehe auch 2.2 „Zielsetzung der Arbeit“.

2.4.2.3 Keine spezielle Software nötig

Die Methode sollte mit der in den meisten KMU vorhandenen Standardsoftware (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation usw.) anwendbar sein, ohne dass dafür eine spezielle Software angeschafft werden muss. Diese Anforderung folgt aus dem Ziel der Systemunabhängigkeit.

2.4.2.4 Unterstützung durch Software möglich

Die Methode soll zwar grundsätzlich ohne spezielle Software angewendet werden können. Für deren effizienten Einsatz in der Praxis und insbesondere für die als Ziel genannte direkte Nutzung des definierten K-Wissen zur Konfigurierung wird aber eine Unterstützung durch spezielle Software unumgänglich sein. Die ebenfalls als Ziel genannte Systemunabhängigkeit kann durch ein entsprechend integrierbares Datenformat sichergestellt werden.

2.4.2.5 Brückenfunktion zwischen Verkauf & Technik

Die Aufteilung des strukturierten K-Wissens deutet bereits darauf hin, dass sowohl Verkauf als auch Technik über das relevante implizite Wissen verfügen. Bei der Beschreibung von K-Wissen ist deshalb die Mitwirkung von Verkauf und Technik essentiell. Diese soll durch die Methode erleichtert werden, indem sie eine Brücke zwischen beiden schlägt und es beiden ermöglicht, in ihrer Sprache zu sprechen.

2.4.2.6 Unterstützung der Produktentwicklung durch zusätzlichen Nutzen

Um die Methode in die Produktentwicklung zu integrieren und die Produktentwickler zur Mitarbeit zu motivieren, soll diesen auch ein Nutzen geboten werden. Einen solchen würden z.B. die folgenden Möglichkeiten bieten:

- **(Nicht) erfüllbare Kundenwünsche:** Ausgehend von Kundensicht und tech-

nischer Sicht, dem Mapping sowie den technischen Verträglichkeiten sollen die mit diesem Produkt erfüllbaren Kundenwünsche berechnet und übersichtlich dargestellt werden, so dass eine Interpretation durch Verkauf und Technik möglich ist. So kann das Potential eines Produktes dargestellt werden, Schwachstellen identifiziert und Input für die Überarbeitung eines Produktes gewonnen werden.

- **Vorgabe von zu erfüllenden Kundenwünschen:** Bei der Neuentwicklung eines Produktes wäre es insbesondere während der Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung (vgl. [VDI 1993] hilfreich, wenn es eine Möglichkeit zur Vorgabe von durch das Produkt zu erfüllenden Kundenwünschen gäbe (vgl. „Soll-Produktprogramm“ bei [Riedel et al. 1999]). Dies können Vorgaben bzgl. geforderter Kundeneigenschaften sein, wie z.B. *"Das Fahrrad sollte in den Ausführungen 'Renn', 'Komfort' und 'Mountain' erhältlich sein!"* oder auch Forderungen bzgl. Kombinationen von Kundeneigenschaften, wie z.B. *"Die 'Mountain'-Ausführung des Fahrrades muss unbedingt mit Anhänger erhältlich sein, die Renn-Ausführung aber nicht!"*. Die Vorgaben stammen i.d.R. vom Verkauf, der die zukünftigen Forderungen des Marktes prognostiziert und ggf. bereits im *Markt-Leistungs-Profil* des Produktes beschrieben hat (vgl. [Meier 2002]). Diese Vorgaben auf Ebene der Kundensicht müssen in die technische Sicht übersetzt werden, damit den Produktentwicklern möglichst konkrete Vorgaben in einer ihnen verständlichen Sprache vorliegen (vgl. „Top-Down-Vorgehensweise bei [Riedel et al. 1999]). Durch die präzise Angabe von Vorgaben kann zum einen sichergestellt werden, dass das Produkt den Forderungen des Marktes entspricht, es kann aber auch unnötiger Entwicklungsaufwand für die Erfüllung nicht relevanter Kundenwünsche vermieden werden (hier z.B. Renn-Ausführung mit Anhänger). Im Gegensatz zu bekannten Methoden wie Quality Function Deployment (QFD) (siehe [Akao 1990]) soll insbesondere die Vorgabe unterschiedlicher, gegenläufiger Kundenwünsche (z.B. komfortabel, sportlich) möglich sein.
- **Indirekte Unverträglichkeiten:** Angenommen bei der Fahrrad-Familie wären Renn-Lenker und 18-Gang-Schaltung nicht verträglich und Slicks nur mit 18-Gang-Schaltung, dann gälte implizit, dass Renn-Lenker und Slicks unverträglich sind. Die Berechnung und explizite Darstellung dieser Informationen könnte ebenfalls helfen, das Potential eines Produktes zu analysieren, Schwachstellen

zu identifizieren und Input für die Überarbeitung eines Produktes zu gewinnen.

- **Interne und externe Vielfalt** (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“): Ausgehend von dem mit der Methode beschriebenen K-Wissen sollen qualitative und/oder quantitative Aussagen über die *interne und externe Vielfalt* des Produktes gemacht werden können.

2.4.2.7 Integrierbar in das Digitale Produkt

Sowohl konzeptuell wie auch auf Systemebene sollte die Methodik in das Digitale Produkt (siehe Definition in Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) integrierbar sein. Daraus ergeben sich Anforderungen an das Datenmodell sowie an die Software zur Unterstützung der Methodik.

2.4.2.8 Nutzung des K-Wissens

- **Nutzung des K-Wissens direkt für die Konfigurierung von Produkten:** Die Software zur Unterstützung der Methodik muss einen einfachen Konfigurator enthalten.
- **K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator ("aufwärtskompatibel"):** Wie bereits mehrfach erwähnt, soll das beschriebene K-Wissen als Basis für einen kommerziellen Konfigurator dienen, auf der aufgebaut werden kann. Damit ist keine direkte Kompatibilität auf Datenebene gemeint, sondern integrierbare Wissensrepräsentationsformen, die ineinander übergeführt werden können.

Kapitel 3

Stand der Technik

Es folgt ein Überblick über existierende Ansätze zur teilweisen oder vollständigen Erfüllung einer oder mehrerer der Anforderungen. Dabei handelt es sich v.a. um *Wissensrepräsentationsformen*, die entweder selbst als Methode eingesetzt werden oder im Rahmen anderer Methoden zur Anwendung kommen und eines der abzubildenden Teilwissen in irgendeiner Form abbilden. In [Spur & Krause 1997] wird *Wissensrepräsentation* folgendermassen definiert:

„Wissensrepräsentation lässt sich definieren als eine Menge syntaktischer und semantischer Konventionen zur Beschreibung von Dingen oder Sachverhalten. Die Syntax spezifiziert dabei einen Satz von Regeln, mit denen die der Wissensverarbeitung zugrundeliegenden Symbole kombiniert und angeordnet werden können. So können dann Ausdrücke der Repräsentationssprache formuliert werden. Die Semantik beschreibt die Bedeutung dieser Ausdrücke.“

Die in diesem Kapitel vorgestellten Ansätze sind folgendermassen gegliedert:

- Sprache zur Beschreibung von Konfigurationswissen
- Wissensrepräsentation durch Merkmale
- Die Darstellung von Verträglichkeiten mittels Codes
- Wissensrepräsentation durch Graphen
- Matrixbasierte Wissensrepräsentationsformen

- Wissensrepräsentationsformen der künstlichen Intelligenz
- Konfiguratoren
- Vorgehensweisen zur Akquisition von K-Wissen

Tabelle 26 auf Seite 88 zeigt die vorgestellten und bewerteten Ansätze auf einen Blick.

3.1 Bewertung der Ansätze

Aufgrund der Vielzahl von Ansätzen zur Repräsentation von technischem Wissen kann ein Überblick nicht vollständig sein [Dietz et al. 1997].

Bei der Bewertung der Ansätze bzgl. der Erfüllung der Anforderungen wird folgende Skala angewandt:

- **1** : vollumfängliche Erfüllung der Anforderung
- **0** : teilweise Erfüllung der Anforderung
- **-1** : keine Erfüllung der Anforderung

Eine Wissensrepräsentationsform kann auch nur für einen Teil des abzubildenden K-Wissens geeignet sein. Sie kann aber mit anderen Wissensrepräsentationsformen so kombiniert werden, dass die Kombination alle relevanten Wissensarten abbilden kann.

Begründungen für die Bewertungen finden sich in den zugehörigen Tabellen und Abschnitten. Die zugrundeliegenden Anforderungen sind in 2.4 „Anforderungen an eine Methodik zur Beschreibung von K-Wissen“ beschrieben. Tabelle 5 und die folgenden Tabellen listen die Anforderungen nochmals auf.

3.2 Sprache zur Beschreibung von Konfigurationswissen

Die vom Menschen intuitiv benutzte Wissensrepräsentationsform ist die Sprache. Mit ihr kann man grundsätzlich alles beschreiben. Der Vorteil ist, dass jeder, der der Sprache mächtig ist, auch in der Lage ist, das Beschriebene zu verstehen. Der Nachteil liegt allerdings in der Interpretierbarkeit der Sprache und in der Unübersichtlichkeit, insbesondere dann, wenn es sich um einen langen Text handelt. Hinzu kommt die Vielfalt an verschiedenen Sprachen und Dialekten mit den ihnen eigenen grammatikalischen Konstrukten.

So sind Konventionen für die sprachliche Beschreibung von Produktlogik unab-

dingbar. Eine naheliegende Konvention ist beispielsweise die ausschliessliche Verwendung von "wenn...dann..."-Ausdrücken, besser bekannt als "if-then"-Regel. Diese Ausdrucksweise hat zudem den Vorteil, dass sie sich für die Datenverarbeitung eignet (siehe 3.7.1 „Regelbasierte Wissensrepräsentation“).

Diese strukturierte Ausdrucksweise mittels solcher "Regeln" führt dann konsequenterweise zu einer Notation, die sich immer weiter von der freien Sprache entfernt und schliesslich z.B. mit Hilfe von Tabellen durchgeführt wird (siehe 3.6.9 „Entscheidungstabellen“).

Neben regelbasierten Wissensrepräsentationsformen und deren Weiterentwicklungen sind aber auch ganz andere Beschreibungsformen für Konfigurationswissen entstanden. Viele davon sind aus dem Versuch heraus entwickelt worden, die Zusammenhänge grafisch darzustellen, um sie so einfacher verständlich und übersichtlicher zu machen. Viele dieser Ansätze haben durch die elektronische Datenverarbeitung wieder an Aktualität erlangt. So lassen sich z.B. Baumstrukturen oder Matrizen heute wesentlich einfacher erstellen und bearbeiten als noch vor einigen Jahren.

Trotz aller Nachteile sollte aber die Sprache als Wissensrepräsentationsform nicht unterschätzt werden:

- Sie ist sehr effizient und schnell,
- kann beliebig komplizierte Sachverhalte ausdrücken,
- kann diffuses Wissen beschreiben und
- ist im Gegensatz zu strukturierten Wissensrepräsentationsformen in der Komplexität nicht begrenzt.

V.a. während der Wissensakquisition ist der Einsatz von Sprache sinnvoll. Strukturierte Wissensrepräsentationsformen erfordern erhöhte Konzentration und lenken somit vom wesentlichen ab.

Desweiteren ist die Sprache für die Beschreibung von unstrukturiertem und erklärendem Wissen sehr gut geeignet.

Tabelle 5: Bewertung von Sprache

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	
- technische Sicht	1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	
erklärendes K-Wissen	1	
unstrukturiertes K-Wissen	1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	
einfach erlern- & anwendbar	0	
keine spezielle Software nötig	1	Textverarbeitung genügt
Unterstützung durch Software möglich	0	bedingt können Erstellung und Pflege durch Software unterstützt werden
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	-1	
Integrierbar in das Digitale Produkt	-1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	-1	Sprache kann noch nicht informationstechnisch verarbeitet werden
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	0	kann als Basis dienen, allerdings müssen die Daten noch strukturiert werden

3.3 Wissensrepräsentation durch Merkmale

Die Eigenschaften technischer Objekte können durch *Merkmale* und *Ausprägungen* (in der Literatur oft auch *Werte* genannt) beschrieben werden [Birkhofer 1980]. Bei Merkmalen handelt es sich um nicht veränderbare Kennzeichen einer Menge von Objekten, die zu deren Charakterisierung verschiedene Ausprägungen annehmen [Zwicker 1998]. Sie dienen folglich zum Beschreiben und Unterscheiden von Objekten [DIN 1981].

Die *Eigenschaft* eines Objektes ergibt sich durch die Angabe der jeweils zutreffenden Ausprägung in Verbindung mit dem zugrundeliegenden Merkmal [Zwicker 1998]. Pneumatikzylinder werden beispielsweise durch das Merkmal ‚Hub‘ beschrieben und entsprechend den verschiedenen Ausprägungen (z.B. ‚50 mm‘) zu diesem Merkmal unterschieden. Die daraus resultierende Eigenschaft ist dementsprechend ‚Hub = 50 mm‘ [Zwicker 1998].

Eine übersichtliche Darstellung der Merkmale und Ausprägungen eines Produktes erfolgt z.B. mit der *Merkmalsmatrix* [Schuh & Schwenk 2001], siehe 3.6.1.1 „Merk-

malsmatrix“.

3.3.1 Sachmerkmalsleisten

In der DIN 4000 Teil 1 wird die *Sachmerkmalsleiste* (SML) als „die Zusammenstellung und Anordnung der für eine Gegenstandsgruppe relevanten Sachmerkmale“ definiert [DIN 1981]. Die Art und Anzahl der Merkmale ist beliebig wählbar, wobei der prinzipielle Aufbau von Sachmerkmalsleisten in der DIN 4000 Teil 1 festgelegt ist [Zwicker 1998].

Grundlage der Sachmerkmalsleisten ist die Einteilung von Objekten in Gruppen, so dass zwischen den Objekten eine Ähnlichkeitsbeziehung besteht [Eigner & Stelzer 2001]. Innerhalb dieser Gruppen werden die einzelnen Objekte anhand eines allgemeingültigen Komplexteils mittels Merkmalen beschrieben [Zwicker 1998]. Zwei Elemente sind dann im Sinne der Sachmerkmalsleiste identisch, wenn die einzelnen Ausprägungen zu allen Sachmerkmalen einer Sachmerkmalsleiste übereinstimmen [Zwicker 1998]. In einer Sachmerkmalsleiste werden somit alle möglichen Instanzen eines abstrahierten Bauteils definiert [Zwicker 1998].

Ein Element einer Sachmerkmalsleiste kann durch die Angabe der zugehörigen Sachmerkmalsleiste (z.B. DIN 911) in Verbindung mit deren identifizierenden Parametern (z.B. M5x50) eindeutig identifiziert werden (z.B. DIN 911 M5x50) [Zwicker 1998].

Das Sachmerkmalsleistenkonzept wurde von vielen CAx-, PDM- ERP-Systemen sowie Produktkatalogen aufgegriffen und findet breite Anwendung [Zwicker 1998].

Zur übersichtlichen Darstellung von SML eignet sich die Merkmalsmatrix, siehe 3.6.1.1 „Merkmalsmatrix“.

3.3.1.1 Die Darstellung von Varianten mit SML

Jede Variante eines Produktes ist theoretisch durch die Ausprägungen unendlich vieler Merkmale gekennzeichnet [Gembrys 1998]. Da diese Ausprägungen in ihrer Gesamtheit aber nicht darstellbar sind und dies auch nicht nützlich wäre [Göker 1996], werden Produktvarianten in der Praxis stets bzgl. einer problemspezifischen Auswahl dieser Merkmale definiert [Gembrys 1998].

Alle Merkmale, bzgl. derer sich alle Varianten eines Produkttyps gleichen (sogenannte *Gleichmerkmale*), können dem Produkttyp zugeordnet werden und sind daher bei der Betrachtung der Produktvarianten nicht von Bedeutung [Gembrys 1998].

Diese erwähnte „problemspezifische Auswahl von Merkmalen“ kann z.B. in einer

SML zusammengefasst werden (vgl. [Göker 1996]).

Die Kunden wählen bei merkmalsorientiert definierten Produkten nicht mehr zwischen einzelnen Varianten (wie etwa bei Uhren der Marke Swatch®), sondern entscheiden sich für einen Produkttyp, wie etwa einen VW Golf, den sie mit Hilfe von Merkmalen genauer spezifizieren [Gembrys 1998]. Diese Spezifikation auf Basis von Merkmalen ist dann die Grundlage für die Konfigurierung des VW Golfs.

Tabelle 6: Bewertung der Sachmerkmalsleiste

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	
- technische Sicht	1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	-1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	-1	könnten z.B. In einer Verträglichkeitsmatrix separat dargestellt werden
- Verträglichkeiten Kundensicht	-1	dito
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	1	mit Hilfe der Merkmalsmatrix (entspricht einem morphologischen Kasten, siehe unten)
einfach erlern- & anwendbar	1	
keine spezielle Software nötig	1	Tabellenkalkulation oder Datenbank genügt
Unterstützung durch Software möglich	1	verschiedene Softwarepakete unterstützen SML
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	0	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	muss aber mit anderen Daten ergänzt werden
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	dito

3.4 Die Darstellung von Verträglichkeiten mittels Codes

In [Butz 1976] wird vorgeschlagen, Codes (z.B. Zahlen) zu verwenden, um die Kompatibilität von Bausteinen darzustellen. Die Bausteine könnten z.B. auch Ausprägungen unterschiedlicher Merkmale einer SML, also Eigenschaften, sein.

Passen die Codes zweier Bausteine zusammen, so sind sie verträglich. Als Codes werden Zähne und dazu passende Zahnlöcher oder zusammenpassende Zahlencodes

vorgeschlagen.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt Büttner [Büttner 1997]: Er gibt die Verträglichkeiten von Bausteinen eines modularen Baukastensystems durch Zahlencodes an. Bei der Kopplung zweier Bausteine muss deren Summe Null ergeben. Büttner erwähnt auch die Möglichkeit, diese Verträglichkeitsinformationen in einer Verträglichkeitsmatrix (siehe 3.6.3 „Die Verträglichkeitsmatrix“) abzubilden.

Büttner kombiniert die bausteinspezifischen Verträglichkeitscodes mit einer erweiterten Schlussmatrix (siehe 3.6.7 „Die Schlussmatrix“) für die Abbildung der möglichen geometrischen Koppelräume.

Tabelle 7: Bewertung der Darstellung von Verträglichkeiten mittels Codes

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	-1	
- technische Sicht	-1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	-1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	
einfach erlern- & anwendbar	1	
keine spezielle Software nötig	1	
Unterstützung durch Software möglich	1	
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	-1	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	muss aber mit anderen Daten ergänzt werden
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	0	Konfiguratoren haben i.d.R. andere Wissensrepräsentationsform

3.5 Wissensrepräsentation durch Graphen

Graphen sind ein weitverbreitetes Mittel zur Visualisierung von Zusammenhängen. Sie bestehen aus Knoten, die i.d.R. Objekte darstellen, und Kanten (Verbindungen zwischen Knoten), die Beziehungen zwischen diesen darstellen. In der Literatur zur Graphenlehre werden die Eigenschaften von Graphen und die verschiedenen Arten genauer beschrieben (z.B. [Perl 1981]).

Es gibt unzählige Arten von Graphen. In dieser Arbeit können folglich nur die wichtigsten beschrieben werden.

3.5.1 Bäume

Eine bekannte Spezialisierung der Graphen sind Bäume. Ein *Baum* ist ein zusammenhängender Graph ohne geschlossene Kantenfolgen [Perl 1981]. Für Bäume gelten folgende Eigenschaften (siehe [Perl 1981]):

- Knoten, die mit genau einer Kante indiziert sind, heissen *Randknoten* (oder *Blätter*), die übrigen *innere Knoten*.
- Ein Baum hat mindestens zwei Randknoten.
- Der Eingangsknoten heisst *Wurzel*.
- Jeder Knoten ist von der Wurzel aus über genau einen Weg erreichbar.

Für Bäume gibt es eine grosse Anzahl von Anwendungsmöglichkeiten [Perl 1981]. Davon werden einige, die bzgl. der Repräsentation von K-Wissen relevant sein könnten, im folgenden aufgeführt.

3.5.1.1 ODER-Bäume

Im folgenden werden Bäume erläutert, die als ODER-Bäume klassifiziert sind, da deren Knoten jeweils eine ODER-Verknüpfung der folgenden Knoten beinhalten.

- **Entscheidungsbäume**

Es können z.B. *Entscheidungsbäume* aufgestellt werden, in denen Produktlogik abgebildet ist (siehe z.B. [Perl 1981; Heiob 1982]). Ein Ast eines Entscheidungsbaumes könnte z.B. bedeuten "wenn ‚18-Gang‘ gewählt wird, dann ist noch ‚Komfort-Ausführung‘ und ‚Renn-Ausführung‘ wählbar", ein anderer "wenn ‚27-Gang‘ gewählt wird, dann ist noch ‚Komfort-Ausführung‘ und ‚Mountain-Ausführung‘ wählbar".

Entscheidungsbäume werden z.B. in der Programmieretechnik dazu verwendet, Entscheidungstabellen in Programm-Code zu übersetzen.

- **Lösungsbaum**

Lösungsbäume sind im Grunde Entscheidungsbäume, allerdings repräsentieren die Knoten Teillösungen eines Problems (z.B. die verfügbaren Bausteine eines Baukastenproduktes). Die Kanten stellen die Beziehung „*wird_kombiniert_mit*“ dar [Kohlhase 1997].

Ein kompletter Ast beschreibt dann die *Konfiguration* des Produktes, denn er enthält alle verwendeten Bausteine. Jeder Knoten repräsentiert eine Klasse von Produkten, die sich bzgl. der Ausprägungen aller vorausgehenden Knoten des Zweiges gleichen [Gembrys 1998].

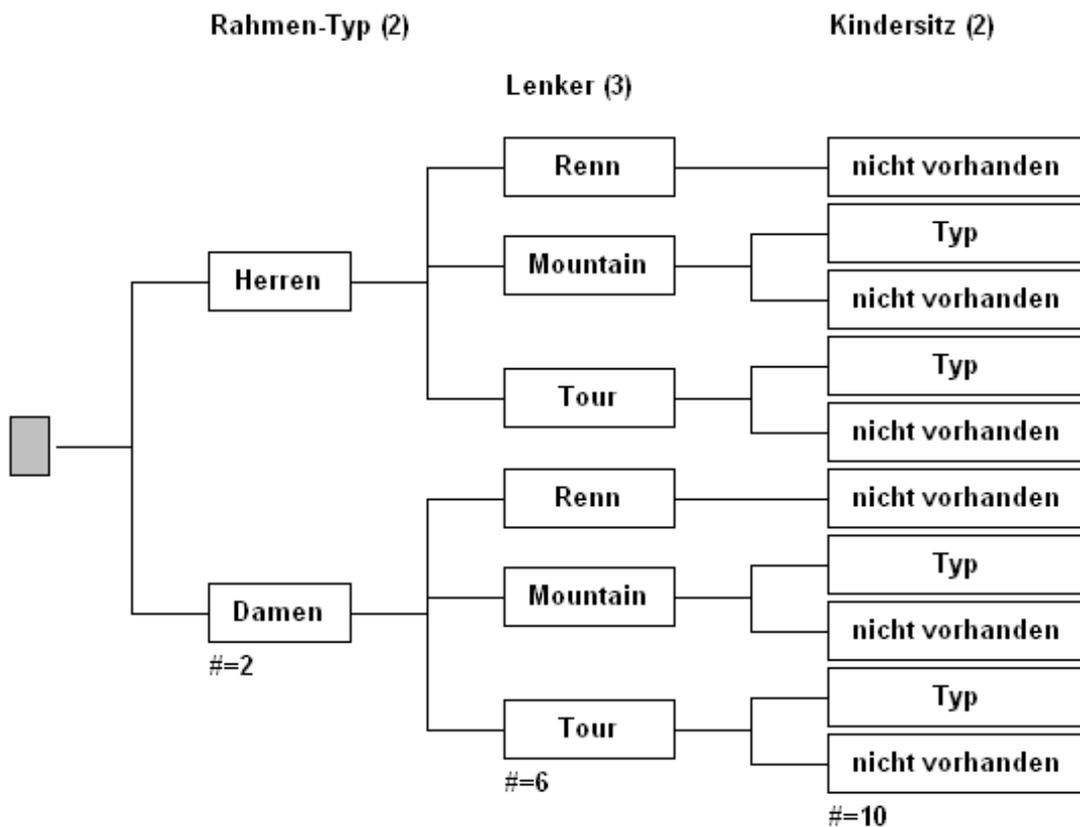


Bild 9: Ausschnitt aus dem Lösungsbaum des Fahrrad-Beispiels (mit der Software Complexity Manager® erstellt)

Der Lösungsbaum wird z.T. auch als

- *Lösungsstammbaum*,
- *Stammbaum* (nicht zu verwechseln mit dem *Stammbaum* nach [Pahl & Beitz 1997])
- *Merkmalsbaum* (siehe 3.5.6 „Variant Mode and Effects Analysis“) oder
- *Strukturvariantenbaum*

bezeichnet. Siehe dazu [Birkhofer 1980; Göker 1996; Kohlhase 1997; Gembrys 1998].

Aufbauend auf [Birkhofer 1980] schlagen Göker und Kohlhase den Lösungsbaum zur Darstellung realisierbarer Baukastenprodukte unter Berücksichtigung der Verträglichkeiten in einer Verträglichkeitsmatrix vor [Göker 1996; Kohlhase 1997]. Bei der VMEA ist dies genauso, allerdings werden die Verträglichkeiten in einer *Kombinationsmatrix* definiert.

Da Lösungsbäume die Reihenfolge beinhalten, in der die Teillösungen kombiniert werden, müssen sie bei jeder Änderung der Reihenfolge neu generiert werden. Dies geht nur mit einer Software auf effiziente Art und Weise, allein die Darstellung der

zahlreichen Blätter des Baumes ist bereits sehr aufwendig.

Zudem werden Lösungsbäume wie alle Bäume ab einer gewissen Grösse schwierig darstellbar. Hinzu kommt die *kombinatorische Explosion* sowie die redundanten Daten (die gleichen Lösungen müssen mehrmals dargestellt werden).

Tabelle 8: Bewertung von Lösungsbäumen

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	-1	die Sicht ist implizit und redundant in den Knoten enthalten
- technische Sicht	-1	dito
- Mapping zwischen beiden Sichten	-1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	wird schnell zu gross, da Redundanzen enthalten sind und der zur Verfügung stehende, rechteckige Raum (Monitor, Blatt) ungenügend ausgenutzt wird
einfach erlern- & anwendbar	1	
keine spezielle Software nötig	-1	zum effizienten Arbeiten mit Bäumen ist Softwareunterstützung nötig
Unterstützung durch Software möglich	1	ja, siehe z.B. VMEA
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	0	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	muss aber mit anderen Daten ergänzt werden
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	dito

• **Taxonomien**

Taxonomien dienen der Klassifikation von Objekten. Eine Taxonomie ist eine hierarchische Gliederung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass der Begriffsinhalt des engeren Begriffs (Unterbegriff) den Begriffsinhalt des oberen Begriffs (Oberbegriff) einschliesst, wobei sich der Unterbegriff durch mindestens eine zusätzliche Eigenschaft vom Oberbegriff unterscheidet [Zwicker 1998]. Somit ist die Taxonomie ein ODER-Baum.

Ein einfaches Beispiel für eine Taxonomie ist in Bild 10 dargestellt. Eine Taxonomie kann auch bezeichnet werden als:

- taxonomische Hierarchie,
- generische Hierarchie,
- Abstraktionshierarchie,
- Abstraktionssystem,
- (ist-ein)-Hierarchie
- Spezialisierungshierarchie.

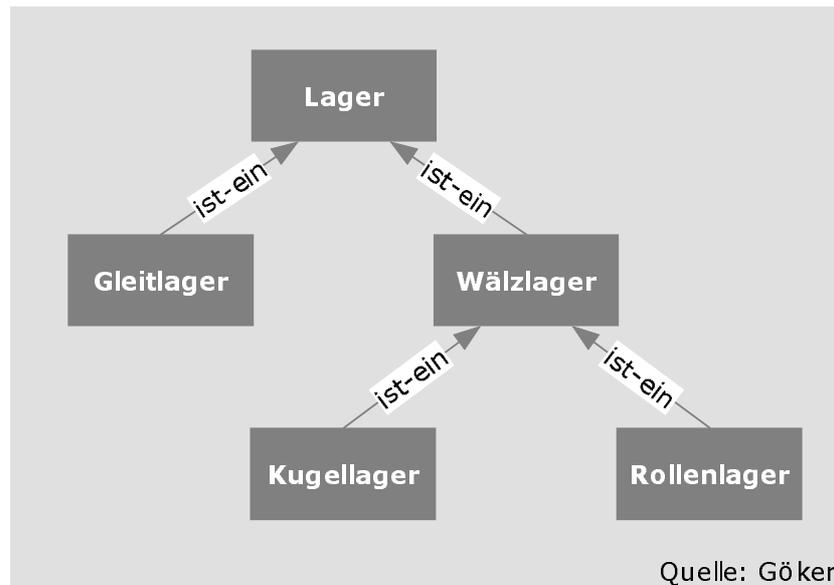


Bild 10: Taxonomie

Taxonomien alleine sind als reines Klassifikationssystem für die Darstellung von K-Wissen ungeeignet. In Verbindung mit anderen Konzepten ist dies aber nicht so (siehe 3.7.2 „Begriffshierarchien“).

Weiterführende Literatur bzgl. Taxonomien ist z.B. [Cunis et al. 1991; Scheer 1994; Göker 1996; Kohlhase 1997; Zwicker 1998; Leonhardt et al. 2002].

3.5.1.2 UND-Bäume

Im folgenden werden Bäume erläutert, die als UND-Bäume klassifiziert sind, da deren Knoten jeweils eine UND-Verknüpfung der folgenden Knoten beinhalten.

- **Partonomien**

Partonomien entsprechen der gedanklichen Zerlegung eines Ganzen in seine Bestandteile [Zwicker 1998], z.B. eines Produktes in seine Komponenten. Andere gebräuchliche Bezeichnungen sind:

- partitive Hierarchie,
- kompositionelle Hierarchie,

- Bestandshierarchie,
- Bestandssystem,
- *hat-Teil-* bzw. *ist-Teil-von-*Hierarchie (je nach Blickrichtung),
- Zerlegungshierarchie.

• **Erzeugnisgliederung / Produktstruktur**

Die Produktstruktur ist eine Partonomie und beschreibt die Bestandsbeziehungen der Einzelteile und Baugruppen technischer Produkte sowie die mengenmässige Aufteilung der Produkte in Baugruppen und Einzelteile [Kohlhase 1997]. Die Produktstruktur gibt somit die Zusammensetzung eines Erzeugnisses, bestehend aus Teillelementen und deren Zuordnungen untereinander, wieder. Die Begriffe „Produktstruktur“ und „Erzeugnisgliederung“ (nach [Pahl & Beitz 1997]) stehen für das Gleiche (vgl. [Kohlhase 1997]).

Eine häufig grafische Darstellungsform für Produktstrukturen ist der UND-Baum. Die Knoten repräsentieren dabei Produkte, (Bau-)gruppen und Teile, während die Kanten - je nach Blickrichtung - die Beziehung "*hat-Teil*" oder "*ist-Teil-von*" zum Ausdruck bringen. Angaben über die Menge oder den Einbauort können über den Kanten gemacht werden [Eigner & Stelzer 2001]. Wenn dabei Teile in mehrere Obergruppen eingehen (z.B. häufig verwendete Teile wie Schrauben), dann werden diese redundant im Baum. Diese Redundanz wäre z.B. mit einem Gozinto-Graphen (siehe 3.5.2 „Gozinto-Graphen“) zu vermeiden [Scheer 1994; Brexel 1997; Kohlhase 1997].

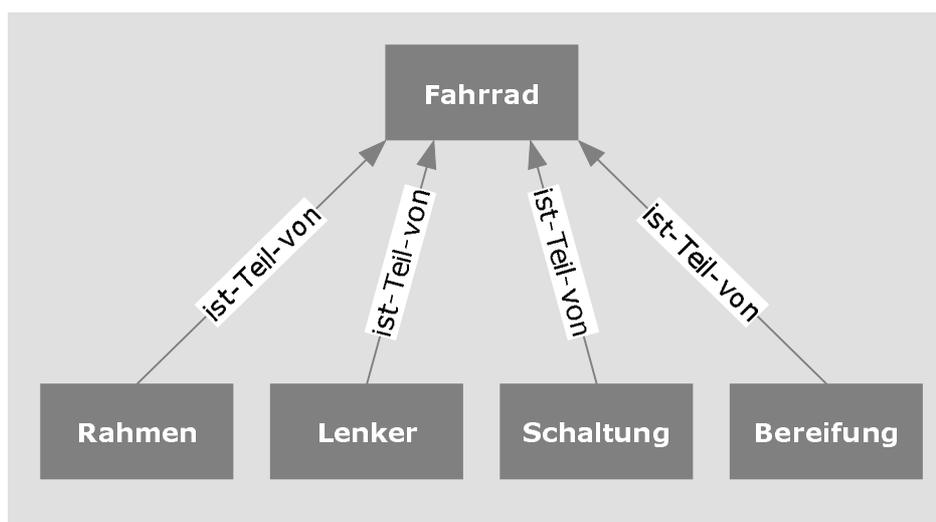


Bild 11: Partonomie

Partonomien alleine sind genauso wie reine Taxonomien zur Darstellung von K-

Wissen ungeeignet [Schlingheider 1994], weshalb sie auch nicht bewertet werden. Ihre Kombination wird allerdings zur Beschreibung von K-Wissen verwendet (siehe 3.7.2 „Begriffshierarchien“).

3.5.1.3 UND/ODER-Bäume

UND/ODER-Bäume sind bei der Konfigurierung von besonderem Interesse (vgl. [Schlingheider 1994; Männistö et al. 1996; Brinkop 1999]). Sie eignen sich gut zur Repräsentation von Konfigurierungsproblemen. In UND-Knoten kann festgehalten werden, welche Arten von Bausteinen zur Realisierung eines Produktes notwendig sind, und in ODER-Knoten, welche Alternativen für die Bausteine zur Verfügung stehen (vgl. [Brinkop 1999]). Bild 12 zeigt dies am Beispiel des Fahrrades. Die mit UND/ODER-Bäumen dargestellte Struktur wird auch als *Variantenstruktur* bezeichnet (vgl. [Leonhardt 2001]).

Während der Lösungsbaum ein reiner ODER-Graph ist, in dem jedes Blatt eine vollständige Lösung repräsentiert, stellen die Blätter des UND/ODER-Baumes Teillösungen für ein Problem dar [Brinkop 1999].

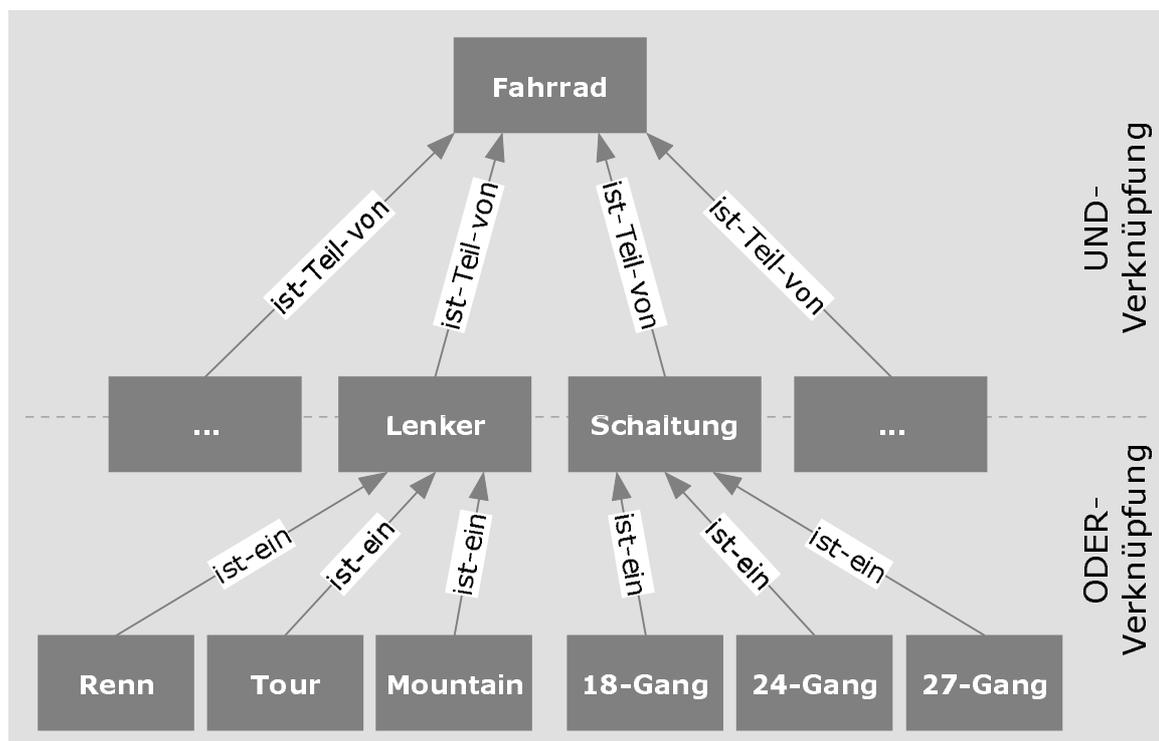


Bild 12: UND/ODER-Baum

UND/ODER-Bäume sind dann zur Repräsentation von K-Wissen ausreichend, wenn dieses sich hauptsächlich durch UND/ODER-Beziehungen beschreiben lässt und keine

Restriktionen zwischen den Objekten bestehen. Allerdings wird ein UND/ODER-Graph mit einer grossen Anzahl Knoten wie jede baumähnliche Darstellung sehr unübersichtlich. Allerdings wird jede Teillösung im Gegensatz zum Lösungsbaum nur einmal dargestellt, d.h. es gibt keine Redundanz und damit wird der für die Darstellung vorhandene Raum besser ausgenutzt.

Im weiteren Sinne sind auch die in 3.7.2 „Begriffshierarchien“ beschriebenen Begriffshierarchien UND/ODER-Bäume [Männistö et al. 1996].

Tabelle 9: Bewertung von UND/ODER-Bäumen

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	
- technische Sicht	1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	-1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	-1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	-1	
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	Baumdarstellung ist nicht ideal
einfach erlern- & anwendbar	1	
keine spezielle Software nötig	-1	zum effizienten Arbeiten mit Bäumen ist Softwareunterstützung nötig
Unterstützung durch Software möglich	1	
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	0	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	muss aber mit anderen Daten ergänzt werden
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	gut geeignet, da viele Konfiguratoren gleiche ähnliche Strukturen zur Wissensrepräsentation benutzen

3.5.2 Gozinto-Graphen

Gozinto steht für Englisch "*that part goes into*" und diese "geht ein in"-Beziehung wird im Gozinto-Graphen mit einem gerichteten Pfeil angegeben. Gozinto-Graphen sind zyklusfreie Graphen mit geschlossenen Kantenfolgen (in der chemischen Industrie auch mit Zyklen [Scheer 1994]).

Der Gozinto-Graph ist laut Eigner die „Urform der grafischen Darstellung von Produktstrukturen“. Dabei repräsentieren die Knoten Objekte, die von Ebene zu Ebene nach unten detaillierter werden, z.B. Produkte, Baugruppen, Einzelteile. Die Kanten repräsentieren Bestandsbeziehungen zwischen Objekten („hat-Teil“- bzw. "ist-Teil-

von"-Beziehung). Die Ziffern auf den Kanten geben die Menge der Objekte an. Teilweise wird auf den Kanten zusätzlich der Einbauort des Objekts angegeben [Eigner & Stelzer 2001]. Bild 13 zeigt ein Beispiel.

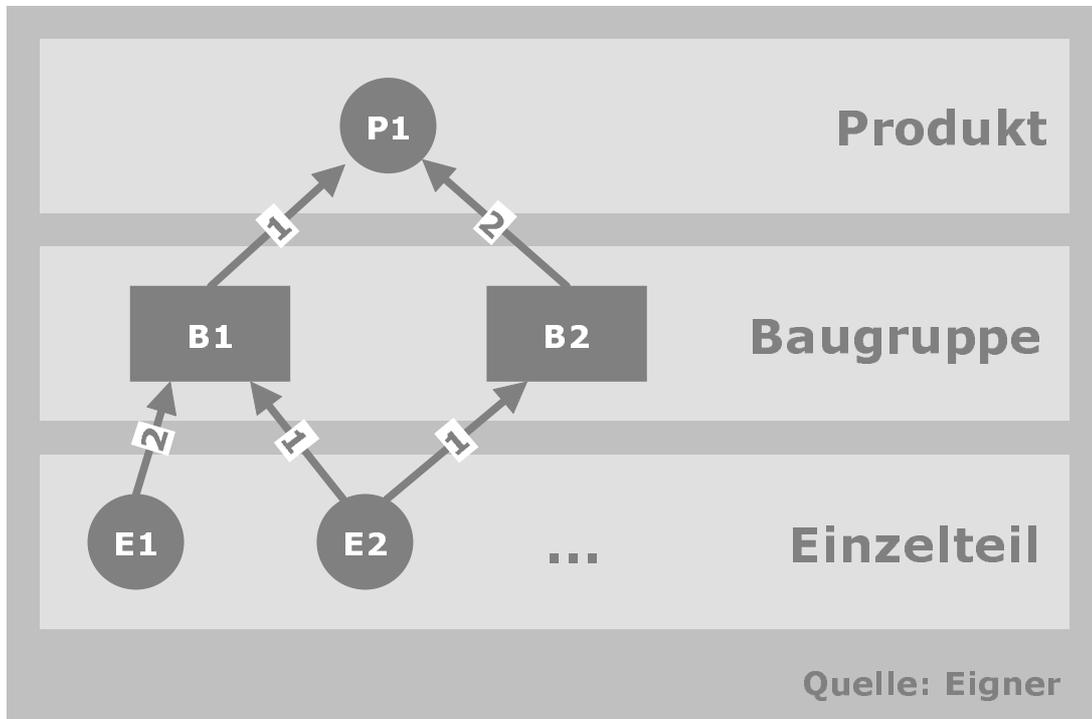


Bild 13: Gozinto-Graph

Gozinto-Graphen können in eine numerische Darstellung überführt werden [Scheer 1994; Kohlhase 1997].

Gozinto-Graphen dienen der effizienten Beschreibung von Produkt- oder Baukastenstrukturen, indem im Vergleich zum Erzeugnisbaum Redundanz vermieden wird (vgl. [Scheer 1994; Brexel 1997; Kohlhase 1997]). Dennoch lassen sich im Vergleich zum Erzeugnisbaum aber keine zusätzlichen, für die Konfigurierung relevanten Informationen abbilden. Durch die Vermeidung der Redundanz wird die Darstellung zwar platzsparender aber auch unübersichtlicher als im Erzeugnisbaum.

Diese Art von Graph ist deshalb nicht zur Abbildung von K-Wissen geeignet und wird deshalb auch nicht bewertet. Für weitere Informationen sei auf die in diesem Abschnitt genannte Literatur verwiesen.

3.5.3 Semantische Netze

Semantische Netze sind markierte, gerichtete Graphen, die aus Knoten, die die Objekte repräsentieren und gerichteten, beschrifteten Kanten, die den Relationen

zwischen den Objekten entsprechen, bestehen. Weitere Informationen bzgl. semantischer Netze, siehe [Pham 1988; Gottlob et al. 1990; Spur & Krause 1997; Görz et al. 2000].

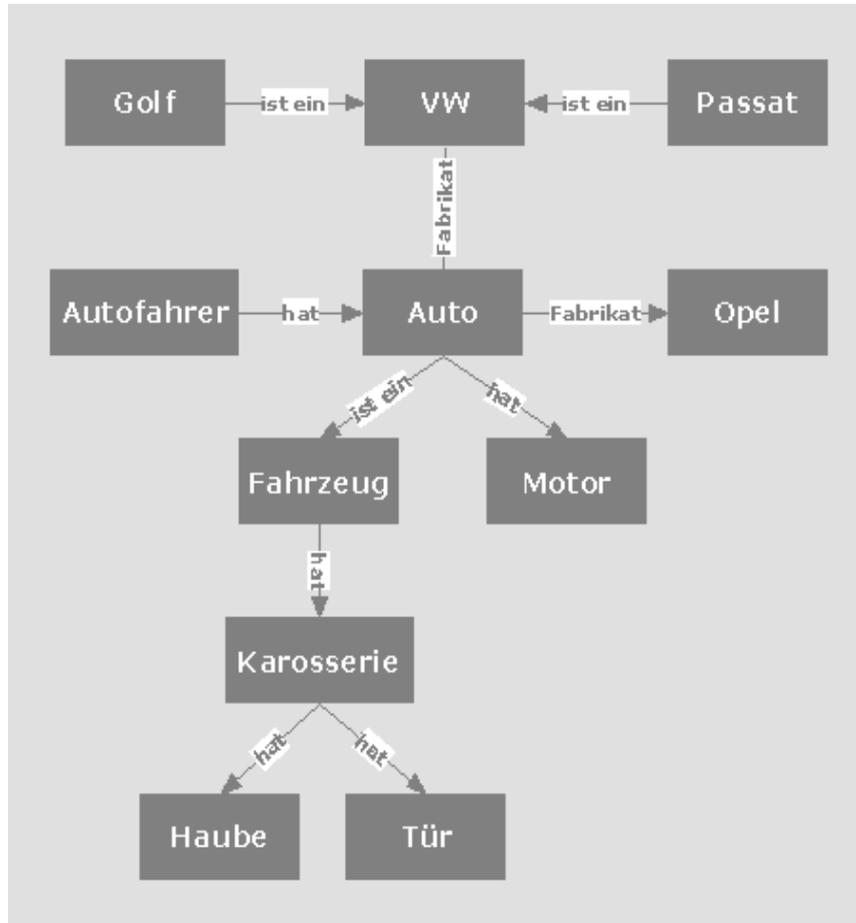


Bild 14: Semantisches Netz

Die Strukturen des menschlichen Gedächtnisses können als semantisches Netz verstanden werden. Dabei repräsentieren die Knoten Inhalte und die Verbindungen Beziehungen zwischen Inhalten wie z.B. *Raum-Zeit, ist Teil von* usw. Semantische Netze wurden ursprünglich von Quillian als Modell für das assoziative Gedächtnis des Menschen entwickelt [Pham 1988; Görz et al. 2000].

Semantische Netze sind einfach zu verstehen aber softwaremässig schwer zu implementieren [Pham 1988]. Ihr Hauptanwendungsgebiet liegt in der Verarbeitung natürlicher Sprache [Gottlob et al. 1990].

Das semantische Netz wird nicht für sich bewertet, sondern im Rahmen seiner Spezialisierungen wie z.B. der *Taxonomie* und der *Partonomie* sowie Begriffshierarchien, die eine Kombination aus den beiden beinhalten (siehe 3.5.1.1 „ODER-Bäume“, 3.5.1.2 „UND-Bäume“, 3.5.1.3 „UND/ODER-Bäume“ und 3.7.2 „Begriff-

hierarchien“).

3.5.4 Merkmalsnetz

Im Rahmen einer Methode zur Reduzierung der Variantenvielfalt schlägt Gembrys in [Gembrys 1998] ein *Merkmalsnetz* zur Visualisierung der *funktionalen und logischen Abhängigkeiten* (des Mapping und der Verträglichkeiten) zwischen Merkmalen vor. Das Merkmalsnetz stellt die Unterscheidungsmerkmale eines Objekttyps und deren Abhängigkeiten dar. Dabei repräsentieren die Knoten die Merkmale und die Kanten die Abhängigkeiten. Bild 6 auf Seite 23 zeigt ein vereinfachtes Merkmalsnetz.

Um die Komplexität des Merkmalsnetzes zu reduzieren, werden die Abhängigkeiten aber nur in abstrakter Form dargestellt und in separaten *Kombinations-* und *Ableitungstabellen* detailliert beschrieben (siehe 3.6.4 „Kombinationsmatrix“ und 3.6.6 „Ableitungstabelle“). Diese drei Wissensrepräsentationsformen kombiniert Gembrys zu einer „Methode zur merkmalsbasierten Abbildung variantenreicher Objekttypen“.

Das Merkmalsnetz wird im Rahmen dieser Methode in 3.6.6 „Ableitungstabelle“ bewertet.

3.5.5 Ablaufdiagramme

Das *Ablaufdiagramm* (auch *Flussdiagramm* oder *Flussgraph* genannt) ist ein *planarer Graph* [Perl 1981]. Es beinhaltet alle Tätigkeiten, Entscheidungen, Eingaben und Ergebnisse eines Prozesses und stellt diese mit entsprechenden Symbolen dar. In der DIN 60010 sind Ablaufdiagramme genormt.

In [Hubka & Eder 1992] werden Ablaufdiagramme zur Darstellung von *Konstruktionswissen*, d.h. Wissen bzgl. der einzelnen Schritte beim Konstruieren, vorgeschlagen. V.a. im Qualitätsmanagement ist es eine weitverbreitete Methode, um bildhaft Prozessschritte darzustellen.

Ablaufdiagramme zeichnen sich u.a. durch einfache Verständlichkeit, weite Verbreitung und klare Vorgaben aus. Eine informationstechnische Verarbeitung ist bedingt möglich (z.T. werden ähnliche Darstellungen in PDM-Systemen zur Definition von Abläufen eingesetzt).

Ablaufdiagramme haben aber auch eine Reihe von Nachteilen:

- Sie werden schnell unübersichtlich, weshalb ihre Verwendung bei umfangreichen Strukturen problematisch ist.

- Der grafische Aufwand ist hoch: Die vielen Linien und Kästchen sind lästig. Sie verschlechtern auch die visuelle Erfassbarkeit.
- Der Platzbedarf ist zu hoch, denn die Diagramme werden schon bei einfachen Programmen sehr breit.
- Sie sind nur für starre Abläufe geeignet.
- Ablaufdiagramme geben nur Anweisungen zum Vorgehen. Sie stellen Wissen nicht strukturiert dar. Sie enthalten somit kein strukturiertes K-Wissen, das mit anderen Wissensrepräsentationsformen integrierbar ist.
- Die Kompatibilität mit anderen Repräsentationsformen ist gering.

Mit Ablaufdiagrammen lässt sich begrenzt auch K-Wissen abbilden. Die Firma Stöber Antriebstechnik bietet z.B. in ihrem Getriebekatalog [Stöber 2002] eine Hilfestellung für den Kunden bei der Auswahl von Getrieben in Form eines Ablaufdiagrammes. Ähnlich könnte man sich ein Ablaufdiagramm mit dem Vorgehen zur Konfiguration eines Produktes vorstellen.

Mit dem Ablaufdiagramm verwandte und häufig verwendete Darstellungen sind *Petrinetze* [Perl 1981; Scheer 1994; Eigner, 2001 #426] und *Struktogramme* [Scheer 1994]. Diese werden hier aber nicht genauer betrachtet.

Tabelle 10: Bewertung von Ablaufdiagrammen

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	0	das Wissen kann nur implizit dargestellt werden; die versch. Teilwissen können nicht getrennt dargestellt werden
- technische Sicht	0	dito
- Mapping zwischen beiden Sichten	0	dito
- Verträglichkeiten technische Sicht	0	dito
- Verträglichkeiten Kundensicht	0	dito
erklärendes K-Wissen	-1	dito
unstrukturiertes K-Wissen	-1	dito
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	Darstellung wird schnell unübersichtlich
einfach erlern- & anwendbar	0	
keine spezielle Software nötig	1	Einfaches Zeichenprogramm genügt
Unterstützung durch Software möglich	1	spezielle Software ist erhältlich
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	-1	ist eigentliches Ziel der Methode
Integrierbar in das Digitale Produkt	-1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	-1	informationstechnische Verarbeitung von Ablaufdiagrammen ist generell eher schlecht
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	0	Wissen muss komplett überarbeitet und restrukturiert werden

3.5.6 Variant Mode and Effects Analysis

Die Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) wurde als Methodik zur Varianten-erkennung und -vermeidung entwickelt und ist in [Schuh & Schwenk 2001] detailliert beschrieben. Darauf beziehen sich auch die folgenden Ausführungen. Die VMEA wird durch die von der Firma GPS vertriebene Software *Complexity Manager* unterstützt [GPS 2002].

Im Rahmen der VMEA werden als Strukturierungshilfen einige der in diesem Kapitel erwähnten Wissensrepräsentationsformen verwendet. Dies sind die *Merkmals-* und die *Kombinationsmatrix* (siehe 3.6.1.1 „Merkmalsmatrix“, 3.6.4 „Kombinationsmatrix“), der *Merkmalsbaum* (siehe • „Lösungsbaum“ auf Seite 38) sowie insbesondere der *Variantenbaum*®, auf den in diesem Abschnitt genauer eingegangen werden soll. Andere Elemente der VMEA werden hier nicht betrachtet.

Obwohl es nicht das Ziel der VMEA ist, wird bei der VMEA auch K-Wissen abgebildet. Allerdings wird dieses nicht zur Konfigurierung genutzt.

Zunächst werden bei der VMEA variantenerzeugende Produktfunktionen und Produkteigenschaften (das sind v.a. Kundenanforderungen, d.h. es handelt es sich hierbei um die Kundensicht) ermittelt und als Merkmale mitsamt ihren zugehörigen Ausprägungen in einer *Merkmalsmatrix* dargestellt.

Da die ermittelten Ausprägungen der Merkmale in der Praxis meist nicht frei kombinierbar sind, müssen *Kombinationszwänge* und *-verbote* angegeben werden. Dazu wird in [Schuh & Schwenk 2001] eine *Kombinationsmatrix* vorgeschlagen, siehe 3.6.4 „Kombinationsmatrix“. (In [Riedel et al. 1999] wird dafür eine Verträglichkeitsmatrix (3.6.3 „Die Verträglichkeitsmatrix“) vorgeschlagen. Diese ist übersichtlicher, allerdings können mit der Kombinationsmatrix komplexere Bedingungen angegeben werden.)

Da es sich bei den Ausprägungen um eine Beschreibung der Kundensicht handelt, werden mit der Kombinationsmatrix die Verträglichkeiten der Kundensicht beschrieben.

3.5.6.1 Der Merkmalsbaum

Beim *Merkmalsbaum* handelt es sich um eine funktionale Produktstruktur basierend auf den Ausprägungen in der Merkmalsmatrix. Alle möglichen Kombinationen von Ausprägungen werden in Form eines ODER-Graphen (vergleichbar mit einem *Lösungsstammbaum*, siehe 3.5.1.1 „ODER-Bäume“) dargestellt - unter Berücksichtigung der Kombinationsverbote und -zwänge in der Kombinationsmatrix.

Auf der untersten Ebene des Merkmalsbaumes befinden sich die sogenannten *Typen*, d.h. die konfigurierbaren Endprodukte. Wegen der kombinatorischen Explosion kann die Anzahl der Endprodukte sehr schnell einmal eine Größenordnung von mehreren Zehntausend erreichen, weshalb man sich aus Gründen der Übersicht oft auf Teilbereiche eines Produktes beschränken muss.

Ein Beispiel findet sich in Bild 9.

3.5.6.2 Variantenbaum

Der Variantenbaum wurde aus der *montageorientierten* (bzw. *horizontalen*, siehe [Ungeheuer 1986]) *Erzeugnisgliederung* und dem *Vorranggraphen* hergeleitet [Eversheim & Becker 1989].

Im Variantenbaum wird die Produktstruktur in Montagereihenfolge dargestellt. Basis ist eine *Variantenstückliste*, die die zur konstruktiven Realisierung der Funktionen im Merkmalsbaum nötigen Teile enthält. Dabei wird für jedes Teil eine zugehörige Benennung (z.B. Filtertopf) und seine Teilenummer (z.B. 23002015) angegeben. Dabei gibt es i.d.R. natürlich mehrere Teile pro Benennung (z.B. acht verschiedene Fil-

tertöpfe). Das sind die Varianten.

Zusätzlich wird die Teileverwendung angegeben. D.h. jedem Teil werden die Endprodukte aus der letzten Ebene des Merkmalsbaums zugeordnet. So ist für jedes Endprodukt dessen Stückliste definiert.

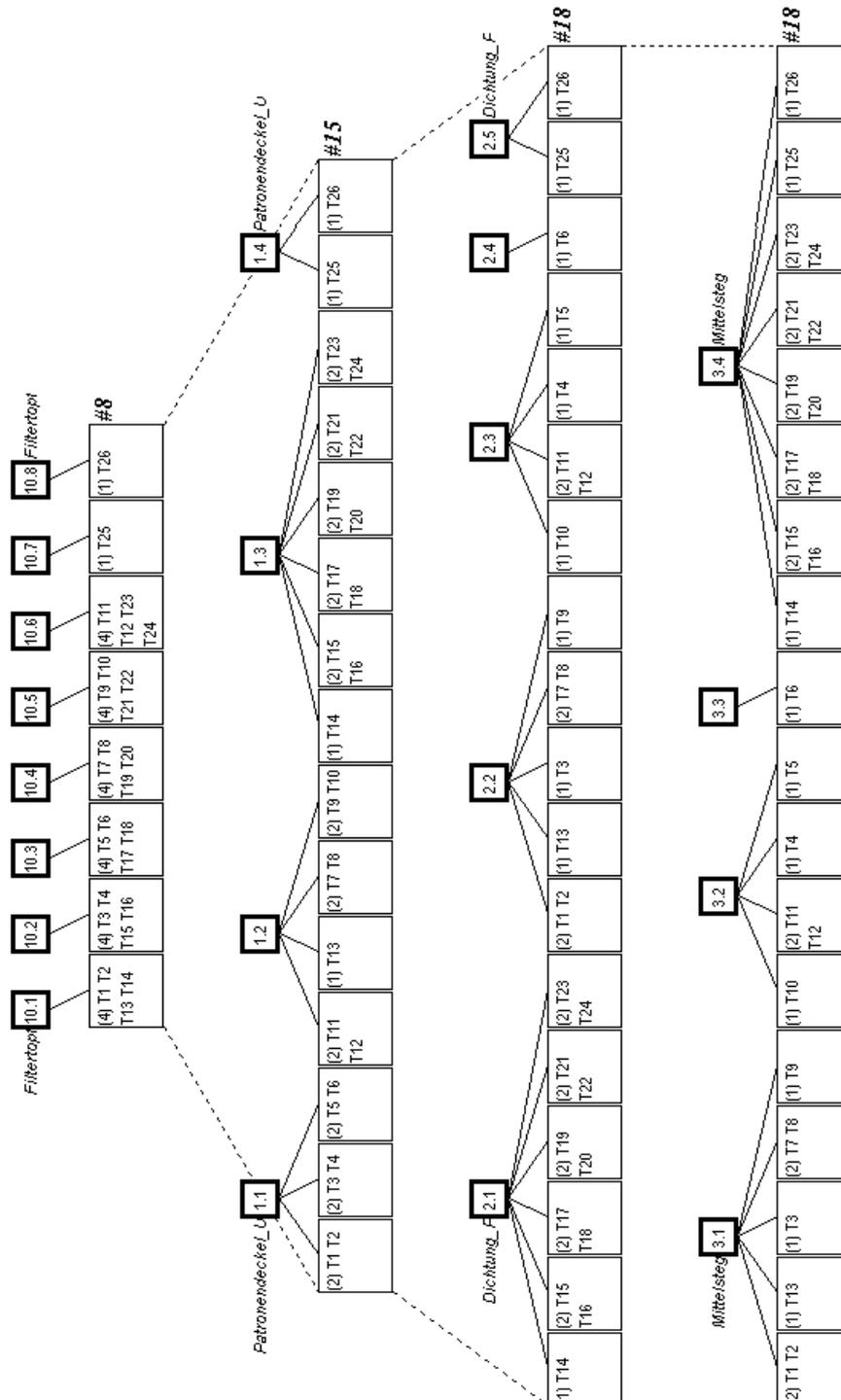


Bild 15: Beispiel eines Variantenbaumes® (aus dem Programm Complexity Manager® der Firma GPS)

Ausgehend von diesen Informationen können dann Planspiele durchgeführt werden, die z.B.

- die Optimierung der Montagereihenfolge,
- konstruktive Verbesserungen / Integralteilbildung oder
- die Bereinigung von Produktfunktionen zum Ziel haben.

Während die Teile des Variantenbaums die technische Sicht eines Produktes repräsentieren, wird durch die Angabe der Teilverwendung ein Mapping zwischen Kundensicht (Merkmalsbaum) und technischer Sicht (Variantenbaum) definiert.

Allerdings ist dies kein direkter Zusammenhang zwischen Kundeneigenschaften und dafür benötigten Teilen, sondern zwischen Endprodukten und Teilen. Es kann lediglich von den Endprodukten auf deren Kundeneigenschaften geschlossen werden und folglich ein indirekter Zusammenhang zwischen Kundeneigenschaften und Teilen hergestellt werden. Dieser Zusammenhang beinhaltet dann aber nicht nur direkte kausale Zusammenhänge, sondern auch nicht relevante Zusammenhänge zwischen Kundeneigenschaften und Teilen, die nur indirekt zustandekommen.

So wird z.B. der Filtertopf 23001007 in den Endprodukten T1, T2, T13 und T14 verbaut. Diese wiederum haben folgende Kundeneigenschaften:

- *Filterpapier: 99-0815,*
- *Blechdicke: 0.7 mm,*
- *Betriebsdruck: 16 bar oder 20 bar,*
- *Baulänge: 70 mm,*
- *Topfform: 16-kantig und*
- *Gewinde: M16-1,5 oder M20-1,5.*

Der Filtertopf 23001007 wird verbaut, weil eine oder mehrere dieser Kundeneigenschaften speziell diesen Filtertopf fordern. D.h. es besteht ein direkter kausaler Zusammenhang zwischen mindestens einer Kundeneigenschaft und dem Teil. Es geht aber nicht hervor, welche Kundeneigenschaften dies sind. So kann es z.B. möglich sein, dass das Filterpapier keinen direkten Einfluss auf den Filtertopf hat und folglich kein direkter kausaler Zusammenhang besteht. Aus den vorhandenen Informationen geht dies nicht hervor.

Informationen über die Verträglichkeit von Teilen untereinander ist ebenfalls nur implizit über die Teilverwendung vorhanden.

3.5.6.3 Beurteilung

Ausgehend von den obigen Ausführungen wurden die Elemente der VMEA in

Tabelle 11 den Anforderungen gegenübergestellt und bewertet. Die Bewertung bzgl. der Anforderung „visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung“ setzt sich folgendermassen zusammen:

- **Merkmalsmatrix:** 1 (einfach verständlich, übersichtlich)
- **Kombinationsmatrix:** -1 (unübersichtlich, Redundanz nur durch Software vermeidbar)
- **Variantenbaum:** 0 (einfach verständlich; ab der ersten Ebene kommen Teile mehrmals vor, was zu einem ungünstigen Format führt; Übersicht bei vielen Teilen schlecht)

Tabelle 11: Bewertung von Elementen der VMEA hinsichtlich der Anforderungen

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	Merkmalsmatrix
- technische Sicht	1	Variantenbaum
- Mapping zwischen beiden Sichten	0	implizit über Zuordnung Teil - Endprodukte
- Verträglichkeiten technische Sicht	0	implizit durch Zuordnung Teil - Endprodukte
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	Kombinationsmatrix
erklärendes K-Wissen	-1	--
unstrukturiertes K-Wissen	-1	--
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	0	
einfach erlern- & anwendbar	1	Grundprinzipien der VMEA sind schnell erlernbar
keine spezielle Software nötig	-1	Effiziente Bearbeitung & Darstellung des Variantenbaums nur mit Hilfe der Software Complexity Manager der Fa. GPS.
Unterstützung durch Software möglich	1	Software Complexity Manager am Markt erhältlich.
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	1	Gilt als einer der Hauptnutzen der VMEA
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	1	Ist definiertes Ziel der VMEA
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	-1	nicht möglich
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	0	Für einen Teil der Daten zumindest theoretisch möglich.

3.6 Matrixbasierte Wissensrepräsentationsformen

Matrizen sind ein beliebtes Werkzeug zur Darstellung von Beziehungen in komple-

xen Systemen und werden in der Produktentwicklung vielfach eingesetzt (vgl. [Dreibholz 1975; Hubka & Eder 1992; Pahl & Beitz 1997; Malmqvist 2002]). Ein grosser Vorteil der Matrix gegenüber graphischen Repräsentationsformen ist ihre Kompaktheit und die Fähigkeit, ein systematisches Mapping zwischen Elementen unabhängig von dessen Grösse klar und einfach lesbar darzustellen [mit 1999].

Aus diesen Gründen sollen matrixbasierte Ansätze hier genauer hinsichtlich der Abbildung von Konfigurationswissen untersucht werden. (Tabellen werden hier ebenfalls als Matrizen behandelt.)

In [Malmqvist 2002] und [Pavkovic et al. 2002] werden Klassifikationen von Matrizen nach verschiedenen Gesichtspunkten vorgestellt. Aufgrund dieser Klassifikationen lassen sich einige Matrizenarten bzw. matrixbasierte Methoden identifizieren, die für die Abbildung von K-Wissen interessant sein könnten. Auch in [Dreibholz 1975] finden sich interessante Ansätze. Diese und weitere Ansätze werden im folgenden vorgestellt.

Dreibholz berichtet über *Ordnungsschemata in Matrizenform* zur Systematisierung und geordneten Darstellung von Informationen und Daten. Diese gehen auf Arbeiten von Zwicky, Koller, Roth u.a. zurück [Dreibholz 1975].

Dreibholz beschreibt dieses allgemeine Schema, klärt einige formale Aspekte und zeigt, dass neben Matrizen auch mehrdimensionale Ordnungsschemata wie z.B. Würfel aufgestellt werden können. Das allgemein übliche zweidimensionale Ordnungsschema besteht danach - ähnlich einer Matrix - aus Zeilen und Spalten, denen Parameter zugeordnet werden, die wiederum hierarchisch gegliedert werden können.

Ausgehend davon schlägt Dreibholz verschiedene Anwendungsmöglichkeiten solcher Ordnungsschemata vor, wie z.B.

- das „*Finden von Lösungen für Funktionen*“,
- das „*Zusammenstellen und Kombinieren der Lösungen von Teilfunktionen einer Gesamtfunktion*“,
- dem „*Überprüfen der Verträglichkeiten von Teillösungen für Funktionen*“.

Die in [Dreibholz 1975] vorgestellten Anwendungen werden in der Literatur an vielen Stellen aufgegriffen, so z.B. in [Pahl & Beitz 1997], wo das Vorgehen zum Erstellen solcher Ordnungsschemata und insbesondere der Wahl von Parametern beschrieben wird.

3.6.1 Der morphologische Kasten

Der schweizer Astronom Fritz Zwicky entwickelte bereits vor vielen Jahrzehnten die Methode des *morphologischen Kastens* auf der Grundlage der *Morphologie*. Ziel der morphologischen Forschung ist das Herleiten von Lösungen zu gegebenen Problemen in *vorurteilsfreier* Weise [Zwicky 1989].

Heute wird der morphologische Kasten z.B. zur systematischen Lösungsfindung in der Produktentwicklung eingesetzt, das entsprechende Vorgehen ist in [Pahl & Beitz 1997] beschrieben. Der morphologische Kasten ist ein Ordnungsschema in Matrizenform und enthält in seinen Zeilen Teilfunktionen sowie dazugehörige Lösungen (z.B. Wirkprinzipien). Um eine Gesamtlösung zu erstellen, werden für jede Teilfunktion eine Lösung aus der entsprechenden Zeile ausgewählt und alle ausgewählten Teillösungen zu einer Gesamtlösung kombiniert.

Formal handelt es sich beim morphologischen Kasten um eine Matrix, deren Kopfzeile die Nummern der Teillösungen und deren Kopfspalte die Bezeichnung oder Nummer der Teilfunktionen enthält. Die Felder der Matrix beinhalten eine verbale oder grafische Spezifikation der Teillösung. Zu beachten ist, dass die Anzahl Teillösungen zu den einzelnen Teilfunktionen nicht immer gleich sein muss.

Eine Art morphologischer Kasten ist die in Tabelle 1 auf Seite 23 dargestellte Merkmalsmatrix. Dabei repräsentieren die Spaltentitel „Ausprägung1“ usw. die verschiedenen Teillösungen. Diese könnten dann textuell („Mountain“ usw.) oder auch grafisch (z.B. mit einer Skizze), dargestellt werden.

Der morphologische Kasten wird vorwiegend in der Produktentwicklung zum Beschreiben möglicher Teillösungen (z.B. in der Konzeptphase) angewandt. Statt der potentiellen Teillösungen können aber auch Bausteine in den Feldern dargestellt werden (vgl. [Kohlhase 1997]), die zu einem Produkt kombiniert werden.

Mit dieser Methode könnten aber weder die Kundensicht noch das Mapping beschrieben werden. Die Verträglichkeiten der Bausteine müssten dann zusätzlich beschrieben werden (z.B. in einer Verträglichkeitsmatrix, wie in [Birkhofer 1980] vorgeschlagen).

Bzgl. der Bewertung des morphologischen Kastens, siehe Tabelle 12.

Tabelle 12: Bewertung des morphologischen Kastens

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	-1	
- technische Sicht	1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	-1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	-1	können separat definiert werden, z.B. In Verträglichkeitsmatrix
- Verträglichkeiten Kundensicht	-1	
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	dito
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	1	bei textueller Beschreibung der Teillösungen wird der morphologische Kasten schnell unübersichtlich
einfach erlern- & anwendbar	1	der morphologische Kasten ist den meisten Ingenieuren bekannt
keine spezielle Software nötig	1	Standardsoftware ist ausreichend
Unterstützung durch Software möglich	1	
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	0	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	1	ist eigentliches Ziel der Methode
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	

3.6.1.1 Merkmalsmatrix

Eine Art morphologischer Kasten ist die *Merkmalsmatrix*. Sie ist eine übersichtliche Darstellung von Merkmalen und ihren zugehörigen Ausprägungen. Formal entspricht sie einem morphologischen Kasten, wobei die Merkmale den Teilfunktionen und die Ausprägungen den Teillösungen entsprechen. Siehe dazu das Beispiel in Tabelle 1 auf Seite 23.

3.6.2 Konstruktionskataloge nach Roth

In [Pahl & Beitz 1997] werden (Konstruktions-)Kataloge als „Sammlung bekannter und bewährter Lösungen für bestimmte konstruktive Aufgaben oder Teilfunktionen“ beschrieben. „Kataloge können Informationen recht verschiedenen Inhalts und Lösungen unterschiedlichen Konkretisierungsgrades enthalten“. Sie dienen zur Speicherung von Wirkprinzipien, prinzipiellen Lösungen, Maschinenelementen, Zukaufteilen usw.

[Roth 1994] schlägt den Aufbau entsprechend Bild 13 vor:

- Der **Gliederungsteil** bestimmt dabei den systematischen Aufbau des Kataloges. Hier können die enthaltenen Lösungen nach ordnenden Gesichtspunkten hierarchisch gegliedert werden.
- Der **Hauptteil** enthält die Objekte und somit den eigentlichen Inhalt des Kata-

loges. Diese sind z.T. durch Skizzen oder die Angabe zugehöriger Gleichungen verdeutlicht.

- Der **Zugriffsteil** enthält klassifizierende Merkmale für die Auswahl der Objekte im Hauptteil. In der Kopfzeile des Zugriffsteils sind diese Merkmale aufgelistet und in den darunterliegenden Feldern die dazu gehörigen Merkmalsausprägungen der entsprechenden Objekte.

In [Pahl & Beitz 1997] ist eine Aufstellung über bereits veröffentlichte Konstruktionskataloge enthalten. V.a. Roth und seine Mitarbeiter haben sich ausgiebig mit diesem Thema befasst [Roth 1994]. Kataloge können aber auch bzgl. der Bausteine eines bestimmten Variantenproduktes erstellt werden. Dabei müsste für jeden Baustein ein Katalog erstellt werden, der die verschiedenen Varianten des Bausteins z.B. nach Kundenanforderungen klassifiziert. Bei der Konfiguration des Produktes müsste dann jeder einzelne Baustein entsprechend ausgewählt werden. Tabelle 13 zeigt einen einfachen Katalog für den Baustein ‚Schaltung‘ des Fahrrad-Beispiels.

So kann mit Hilfe von Katalogen das Mapping von der Kundensicht auf die technische Sicht durchgeführt werden.

Tabelle 13: Konstruktionskatalog (vereinfacht) für einen Baustein des Fahrrad-Beispiels

Gliederungsteil	Hauptteil	Zugriffsteil
		Ausführung
Schaltung	18-Gang	Komfort
	24-Gang	Renn
	27-Gang	Mountain

Konstruktionskataloge in dieser Form haben folgende Nachteile:

- Es handelt sich um eine reine Selektion von Objekten. Die Kombination verschiedener Objekte (z.B. verschiedene Bausteine eines Variantenproduktes) kann in einem Konstruktionskatalog nicht dargestellt werden.
- Weder die klassifizierenden Merkmale im Zugriffsteil noch die Elemente im Hauptteil werden explizit mit SML beschrieben.
- Die Beziehung zwischen klassifizierendem Merkmal und Objekt wird durch Text klassifiziert. Dadurch wird die Matrix unübersichtlich.

Aufgrund dieser Nachteile des Konstruktionskataloges sind zahlreiche Abwandlungen dieses Konzeptes entstanden.

Der tabellarische Aufbau des Konstruktionskatalog hat sich als Darstellungsform bewährt und Abwandlungen davon sind entstanden.

In [Leonhardt 2001] wird z.B. ein Anwendungsfall beschrieben, bei dem eine sogenannte *Eignungsmatrix* die Eignung von Spannelementen für verschiedene Kundenforderungen beschreibt. Diese Eignungsmatrix dient in einem Online-Katalogssystem als Wissensbasis für die Auswahl geeigneter Spannelemente. D.h. es findet wie beim Konstruktionskatalog eine Selektion aufgrund von Kundenanforderungen statt. Die zugrundeliegende Klassifizierung der Spannelemente wird in Form von Sachmerkmalsleisten in einem PDM-System verwaltet. Aus diesen Daten wird jeweils die Eignungsmatrix generiert.

Tabelle 14: Bewertung des Konstruktionskataloges

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	0	implizit im Zugriffsteil enthalten; in Abwandlungen z.T. explizit als SML
- technische Sicht	0	im Gliederungs- und Hauptteil enthalten; jeweils nur eine Bausteinart
- Mapping zwischen beiden Sichten	1	im Zugriffsteil
- Verträglichkeiten technische Sicht	-1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	-1	
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	dito
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	0	wird schnell unübersichtlich
einfach erlern- & anwendbar	1	einfach; ist vielen Ingenieuren zudem bereits vertraut
keine spezielle Software nötig	1	Standardsoftware ist ausreichend
Unterstützung durch Software möglich	1	versch. Ansätze in der Forschung
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	0	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	1	ist eigentliches Ziel der Methode
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	siehe z.B. (Leonhardt 2001)
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	0	
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	0	

3.6.3 Die Verträglichkeitsmatrix

Ein Problem des morphologischen Kastens ist, dass i.d.R. nicht alle Teillösungen miteinander kombinierbar sind, weshalb in [Birkhofer 1980] eine sogenannte *Verträglichkeitsmatrix* (Bild 16) zur Definition der Kombinierbarkeit zwischen Teillösungen als Ergänzung zum morphologischen Kasten vorgeschlagen wird. Auch in [Dreibholz 1975] wurde vorgeschlagen, Ordnungsschemata in Matrizenform für die Darstellung von Verträglichkeiten zwischen Teillösungen zu verwenden.

In [Riedel et al. 1999] wird die Verträglichkeitsmatrix als Basis für den Merkmalsbaum der VMEA (siehe 3.5.6 „Variant Mode and Effects Analysis“) vorgeschlagen.

Birkhofer betrachtet die Verträglichkeitsmatrix detaillierter und schlägt sie als Methode zur „rationellen und gezielten Auswahl von Lösungskombinationen“ im Zusammenhang mit der Neuentwicklung von Produkten vor [Birkhofer 1980].

Die von Birkhofer beschriebene Verträglichkeit von Teillösungen ist vergleichbar mit der Verträglichkeit von Bausteinen, wie Kohlhasse schreibt [Kohlhasse 1997]. Folglich kann die Verträglichkeitsmatrix auch für die Bausteine von Variantenprodukten aufgestellt werden, wie dies in der Literatur vorgeschlagen wird [Göker 1996; Büttner 1997; Kohlhasse 1997].

Zur Auswertung der Matrix wird auf den Lösungsbaum zurückgegriffen [Birkhofer 1980]. Bei jeder Ebene werden Zweige abgeschnitten, die aufgrund der Verträglichkeitsmatrix nicht mehr möglich sind.

3.6.3.1 Aufbau der Verträglichkeitsmatrix

Bild 16 zeigt ein Beispiel einer Verträglichkeitsmatrix. In ihr werden alle Zweierkombinationen der Bausteinvarianten A1, A2, B1, B2, B3, C1 und C2 gegenübergestellt. Da Bausteinvarianten nicht mit anderen Varianten des gleichen Bausteins kombiniert werden können (z.B. B1 mit B2), ist die Diagonale leer. Da es sich bei den Verträglichkeiten um Relationen handelt, ist die Matrix symmetrisch [Göker 1996]. Aus diesem Grund ist nur die obere Hälfte der Matrix relevant.

In Tabelle 16 sind die Kombinationen A1 und B1 sowie B2 und C1 unverträglich und deshalb mit ohne Kreuz. Statt einem Kreuz können auch grafische oder textuelle Informationen bzgl. der Güte oder Qualität der Verträglichkeit der Bausteine hinterlegt werden. Ferner können auch Zahlencodes, die auf Erklärungen bzgl. der Ausschlusskriterien verweisen, hinterlegt werden. Vgl. dazu z.B. [Birkhofer 1980; Pahl & Beitz 1997].

		A		B			C	
		1	2	1	2	3	1	2
A	1				x	x	x	x
	2			x	x	x	x	x
B	1						x	x
	2							x
	3						x	x
C	1							
	2							

Bild 16: Verträglichkeitsmatrix

3.6.3.2 Die Verträglichkeitsmatrix als Basis für die Konfigurierung

In [Leonhardt 2001] wird eine Verträglichkeitsmatrix als Basis für die Konfigurierung einer Werkzeugmaschine vorgestellt. Diese Verträglichkeitsmatrix enthält Informationen über die Kombinierbarkeit sowie über die Vorzugskombinationen von benachbarten Bearbeitungseinheiten der Werkzeugmaschine.

3.6.3.3 Bewertung der Verträglichkeitsmatrix

Grösster Vorteil der Verträglichkeitsmatrix ist deren Einfachheit und Übersichtlichkeit. Diese ist zugleich aber auch deren grösster Nachteil: wegen der zweidimensionalen Darstellung können nur Zweierkombinationen dargestellt werden. Schon die Unverträglichkeiten von Dreierkombinationen können nicht mehr dargestellt werden.

Tabelle 15: Bewertung der Verträglichkeitsmatrix

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	in einer Verträglichkeitsmatrix kann eine Sicht dargestellt werden (in der Kopfspalte bzw. -zeile)
- technische Sicht	1	dito
- Mapping zwischen beiden Sichten	-1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	ist Ziel der Verträglichkeitsmatrix; es können allerdings nur Zweierkombinationen dargestellt werden
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	dito
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	1	bei textueller Beschreibung in den Feldern nicht so übersichtlich
einfach erlern- & anwendbar	1	
keine spezielle Software nötig	1	
Unterstützung durch Software möglich	1	spezielle Software wurde in der Forschung bereits implementiert
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	0	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	Verträglichkeiten können z.B. In Constraints umgewandelt werden

3.6.3.4 Erweiterung der Verträglichkeitsmatrix durch einen Verträglichkeitsvektor

In [Nötzke & Birkhofer 2001] wurde vorgeschlagen, die Verträglichkeitsmatrix als n-dimensionalen Vektor mit zunächst zwei Elementen ungleich null abzubilden. Um Unverträglichkeiten zwischen mehr als zwei Elementen (3er-, 4er-, ..., n-er-Verträglichkeiten) zu definieren, können dann zusätzliche Vektoren, bei denen entsprechend mehr Elemente ungleich null sind (3, 4, ..., n) zu den Verträglichkeiten hinzugefügt werden. Der zur Information in der zweidimensionalen Verträglichkeitsmatrix können also *Constraints* (siehe 3.7.3 „Constraintbasierte Wissensrepräsentation“) zwischen mehr als zwei Elementen überlagert werden. Zur visuellen Darstellung wird bei 3-dimensionalen Verträglichkeiten ein Würfel vorgeschlagen. (Anmerkung: dieser könnte ggf. mit den Methoden des Online Analytical Processing (OLAP, siehe [Connolly et al. 1999]) analysiert werden.)

Die Darstellung von 4-dimensionalen Verträglichkeiten wird bereits nicht mehr angesprochen. Diese kann logischerweise nur über die Vektoren selbst geschehen.

Das Problem dabei ist die zwecks mangelnder Übersichtlichkeit sehr schwierige Datenpflege. Unangesprochen bleibt auch das Problem der gegenseitigen Beeinflussung der Unverträglichkeiten (indirekte Unverträglichkeiten) sowie der effizienten Abfrage.

Alles in allem ist dies ein auf der Hand liegender Ansatz, der aber vermutlich mehr Probleme schafft als löst.

Tabelle 16: Bewertung der Verträglichkeitsmatrix mit einem n-dimensionalen Verträglichkeitsvektor

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	in einer Verträglichkeitsmatrix kann eine Sicht dargestellt werden (in der Kopfspalte bzw. -zeile)
- technische Sicht	1	dito
- Mapping zwischen beiden Sichten	-1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	es können theoretisch auch komplexe Verträglichkeiten abgebildet werden
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	dito
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	eine übersichtliche Darstellung ist nur für Zweierkombinationen möglich; n-dimensionale Unverträglichkeiten sind nicht mehr grafisch darstellbar
einfach erlernen- & anwendbar	-1	
keine spezielle Software nötig	-1	
Unterstützung durch Software möglich	1	spezielle Software ist nötig
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	0	
Integrierbar in das Digitale Produkt	0	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	Verträglichkeiten können z.B. In Constraints umgewandelt werden

3.6.4 Kombinationsmatrix

Die *Kombinationsmatrix* wird in [Schuh & Schwenk 2001] als Ordnungsschema zur Darstellung der *Kombinationszwänge* und *-verbote* - d.h. der Verträglichkeiten - von Kundenmerkmalsausprägungen vorgeschlagen.

Dabei handelt es sich formal um eine dreispaltige Tabelle mit den Spaltentiteln „Ausprägung“, „nicht / nur erlaubt mit“ und „wenn Bedingung“. In dieser werden

Constraints (siehe 3.7.3 „Constraintbasierte Wissensrepräsentation“) zwischen zwei Ausprägungen angegeben, für deren Inkrafttreten mehrere Bedingungen in Form von anderen Ausprägungen angegeben werden können. Eine einfache Kombinationsmatrix enthält Bild 17.

Bei einer grösseren Anzahl an Kombinationszwängen bzw. -verboten wird deren Darstellung in den Zeilen der Kombinationsmatrix allerdings sehr unübersichtlich und schwierig zu pflegen.

Ausprägung	nur erlaubt mit	wenn Bedingung
36 bar	99-4711	
36 bar	130 mm + 80 mm	
36 bar	glatt	
36 bar	1,5 mm	130 mm
36 bar	M22-1.5	

Ausprägung	nicht erlaubt mit	wenn Bedingung
16 bar	M22-1,5 + 1,5 mm + 99-4711 + glatt	
20 bar	M22-1,5 + 1,5 mm + 99-4711 + glatt	

Bild 17: Kombinationsmatrix (aus der Software Complexity Manager®)

Tabelle 17: Bewertung der Kombinationsmatrix

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	-1	
- technische Sicht	-1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	-1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	wird schnell unübersichtlich; Redundanzen können eingebaut werden; nicht visuell
einfach erlern- & anwendbar	1	sind einfache Regeln
keine spezielle Software nötig	-1	zum Auswerten und Überprüfen der Regeln ist Software nötig
Unterstützung durch Software möglich	1	ja, siehe z.B. Complexity Manager (R)
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	0	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	muss aber mit anderen Daten ergänzt werden
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	dito

3.6.5 Kombinationstabelle

Gembrys schlägt eine *Kombinationstabelle* zur Detaillierung übergeordneter Merkmalsnetze (siehe 3.5.4 „Merkmalsnetz“) vor [Gembrys 1998]. Diese entspricht inhaltlich weitgehend der Kombinationsmatrix, ist allerdings etwas übersichtlicher und erlaubt im Gegensatz zur Kombinationsmatrix eine quantitative Bewertung der Beziehung („ausgeschlossen“ - „möglich“ - „fest vorgegeben“).

Gembrys erwähnt auch die Ähnlichkeit der Kombinationstabelle zur *Entscheidungstabelle* (siehe 3.6.9 „Entscheidungstabellen“).

Für die Bewertung dieses Ansatzes siehe nächsten Abschnitt.

3.6.6 Ableitungstabelle

für die funktionale Abhängigkeit von Merkmalen stellt Gembrys die *Ableitungstabelle* als Wissensrepräsentationsform vor [Gembrys 1998]. Sie entspricht formal der Kombinationstabelle, allerdings erlaubt sie nur binäre Beziehungen („fest vorgegeben“ - „ausgeschlossen“).

Tabelle 18: Bewertung des Merkmalsnetzes in Verbindung mit Kombinations- und Ableitungstabellen

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	
- technische Sicht	1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	Darstellung wird schnell unübersichtlich
einfach erlern- & anwendbar	0	
keine spezielle Software nötig	-1	zum effizienten Arbeiten ist Softwareunterstützung nötig
Unterstützung durch Software möglich	1	siehe (Gembrys 1998)
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	0	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	1	ist eigentliches Ziel der Methode
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	0	
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	0	

3.6.7 Die Schlussmatrix

Roth schlägt in [Roth 1994] Band I die sogenannte *Schlussmatrix* vor, um die Koppelbeziehungen zwischen festen Körpern in allen Richtungssinnen anzugeben. Die Schlussmatrix enthält 12 Binärwerte. Diese beschreiben gesperrte und freie Koordinatenrichtungen für die Translation und die Rotation, sowohl in positiver als auch negativer Koordinatenrichtung.

Büttner greift diese Idee in [Büttner 1997] auf und entwickelt die *erweiterte Schlussmatrix*. Diese kann zusätzliche Bereiche eines Koppelraumes darstellen und so z.B. Zylinder oder Würfel als Bereiche eines Koppelraumes definieren. Büttner schlägt vor, die Information über die Koppelräume von Bausteinen mit Verträglichkeitsinformation (siehe 3.4 „Die Darstellung von Verträglichkeiten mittels Codes“) zu ergänzen.

Die Darstellung von Koppelräumen mit der Schlussmatrix ist v.a. bei modularen Baukastensystemen interessant. Bei strukturgebundenen Baukastensystemen ist die geometrische Information bzgl. der Bausteinkombination i.d.R. bereits implizit in der vorgegebenen Struktur enthalten.

Verträglichkeiten zwischen Bausteinen können in der Schlussmatrix nicht abgebildet werden. Deshalb erweitert z.B. Büttner die Schlussmatrix um Verträglichkeitsin-

formationen, siehe 3.3.1.1 „Die Darstellung von Varianten mit SML“. Aus diesem Grund kann die Schlussmatrix in diesem Zusammenhang nicht bewertet werden, da sie zwar Teile des K-Wissens modularer, aber nicht strukturgebundener Baukastensysteme abbilden kann.

3.6.8 Die Gitarrenmethode

Die „*Gitarrenmethode*“ wird in einigen schweizer Unternehmen zur Produktstrukturierung und zur Akquisition und Strukturierung von K-Wissen angewandt [Iten 1999]. Sie besteht im wesentlichen aus folgenden Elementen:

- **Die Kundenmerkmale:** Dies sind die Merkmale der Kundensicht. Sie werden in der Kopfzeile der *Gitarre* dargestellt. Die Ausprägungen werden teilweise dahinter genannt, werden aber nicht besonders dargestellt.
- **Die Produktstruktur:** Diese ist als Partonomie durch Symbole mit verschiedenen Bedeutungen dargestellt. Alle Bestandteile der Produktstruktur werden textuell in der Kopfspalte der *Gitarre* genannt und können so mit den Kundenmerkmalen in Zusammenhang gestellt werden. Durch die unterschiedlichen Symbole kann der Zusammenhang genauer klassifiziert werden.
- **Der Gitarre:** Sie stellt - vergleichbar mit einer Matrix - den Zusammenhang zwischen den Kundenmerkmalen in der Kopfzeile und der Produktstruktur in der Kopfspalte dar. Daraus ist z.B. erkenntlich, welche Kundenmerkmale welche Teile der Produktstruktur beeinflussen. Es geht daraus aber nicht hervor, *wie* sie diese beeinflussen. Dies wird in den *Auswahlregeln* definiert. Ihren Namen verdankt die Gitarre ihrer Ähnlichkeit mit der in Gitarrenlehrbüchern häufig verwendeten *Tabulatur-Notation*. Die Kundenmerkmale repräsentieren hier eine Gitarrensaite, auf der die Elemente der Produktstruktur „spielen“, was als schwarzer Punkt dargestellt wird. Statt dieser Darstellung könnte auch eine Matrix zur Darstellung der Zusammenhänge verwendet werden.
- **Die Auswahlregeln:** Sie werden textuell beschrieben und definieren die Regeln des Mappings, d.h. wie die Elemente der Produktstruktur aufgrund der Kundenmerkmale ausgewählt werden. Die textuelle Darstellung führt allerdings schnell zu Unübersichtlichkeit.

Bild 18 zeigt ein vereinfachtes Beispiel.

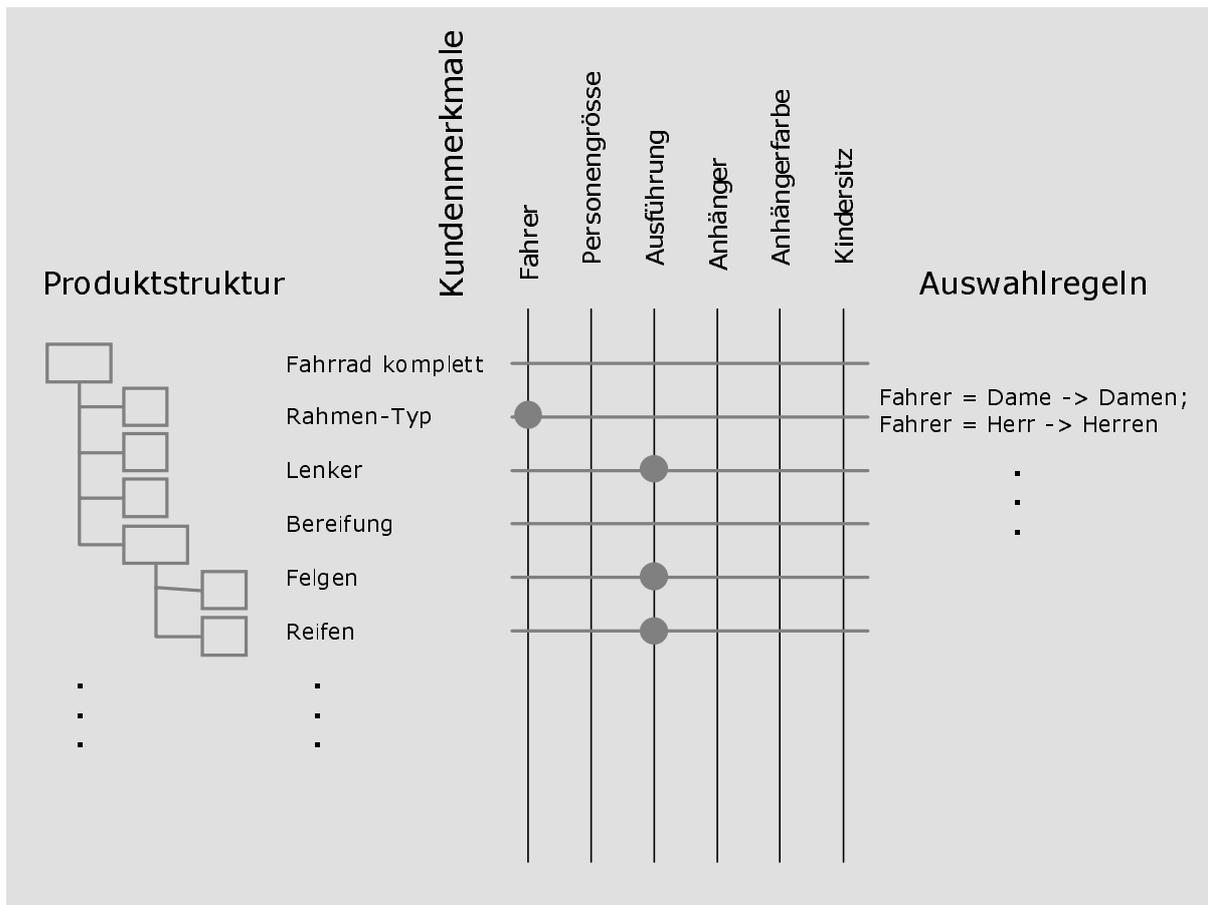


Bild 18: Die Gitarrenmethode (vereinfacht)

Die Gitarrenmethode eignet sich zur Akquisition und Strukturierung von K-Wissen, nicht aber für dessen endgültige Abbildung in einem Konfigurator. Dafür ist die Darstellungsweise zu wenig formalisiert und die Beschreibung durch textuelle Regeln zu unstrukturiert.

Tabelle 19: Bewertung der Gitarrenmethode

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	0	Merkmale ja; Ausprägungen können nicht übersichtlich dargestellt werden
- technische Sicht	0	dito
- Mapping zwischen beiden Sichten	0	es kann nur die gegenseitige Beeinflussung der Merkmale in der Gitarre dargestellt werden; das Mapping muss in den Auswahlregeln spezifiziert werden
- Verträglichkeiten technische Sicht	-1	diese können ebenfalls nur durch textuelle Regeln dargestellt werden; eine Darstellung der grundsätzlichen gegenseitigen Beeinflussung wie beim Mapping ist nicht möglich
- Verträglichkeiten Kundensicht	-1	dito
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	1	matrixbasierte Darstellung
einfach erlern- & anwendbar	1	
keine spezielle Software nötig	1	die Methode kann z.B. Mit einer Tabellenkalkulation angewandt werden
Unterstützung durch Software möglich	0	wäre möglich, würde aber wenig Sinn machen
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	1	die Gitarre verindet die Sichten von TK & VK und schlägt so eine Brücke
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	0	die Methode kann auch zur Produktstrukturierung angewandt werden
Integrierbar in das Digitale Produkt	0	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	-1	in dieser Form nicht möglich
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	0	ja, Wissen muss aber erheblich strukturiert werden

3.6.9 Entscheidungstabellen

Ein Ansatz, Regeln übersichtlich abzubilden, sind *Entscheidungstabellen*. Die Entscheidungstabelle wurde erstmals 1958 von der amerikanischen Firma General Electric Company eingesetzt und im Jahre 1979 wurde in der Norm DIN 66241 das empfohlene Vorgehen beim Aufstellen solcher Tabellen geregelt, wobei sich diese Norm besonders an Softwareentwickler richtet [Rathjen 1997].

In Entscheidungstabellen kann z.B. Wissen über Konstruktionsprozesse abgebildet werden [Hubka & Eder 1992]. Entscheidungstabellen zur Abbildung von K-Wissen

werden in [Heiob 1982] behandelt.

Eine Entscheidungstabelle gibt analog zur Regel an, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit eine bestimmte Aktion ausgeführt wird. Dank ihrer Aufteilung in die vier Quadranten (siehe Tabelle 20):

- Bedingungen (links oben),
- Aktionen (links unten),
- Bedingungsanzeiger (rechts oben) und
- Aktionsanzeiger (rechts unten)

tut sie dies auf übersichtliche Art und Weise. Jeder Regel entspricht damit eine Spalte. Diese Spalten sind mit einem exklusiven ODER verknüpft, d.h. es kann immer nur eine Regel zutreffen. Die Zeilen einer Regel sind hingegen mit einem logischen UND verknüpft, d.h. die darin enthaltenen Bedingungen müssen alle zutreffen.

3.6.9.1 Einfache Entscheidungstabellen

Bei Tabelle 20 handelt es sich um eine sogenannte *einfache Entscheidungstabelle*, bei der die Bedingungen lediglich mit *Ja*, *Nein* oder *egal* abgefragt werden und die Aktionen nur die beiden Aktionsanzeiger "X" (= durchführen) und "-" (= nicht durchführen) kennen. Merkmale und deren zugehörige Ausprägungen müssen in einer einfachen Entscheidungstabelle im Bedingungsteil angegeben werden und deren Erfüllung kann dann via Bedingungsanzeiger angezeigt werden.

Tabelle 20: Einfache Entscheidungstabelle

Bedingungen		Bedingungsanzeiger		
		1	2	3
Körpergrösse	< 170 cm	Ja	Nein	Nein
	170 - 185 cm	Nein	Ja	Nein
	> 185 cm	Nein	Nein	Ja
Rahmen-Grösse	26"	X	-	-
	28"	-	X	-
	30"	-	-	X

Aktionen
Aktionsanzeiger

3.6.9.2 Erweiterte Entscheidungstabellen

Die *erweiterte Entscheidungstabelle* hingegen erlaubt individuellere Bedingungs- und Tätigkeitsanzeiger, so dass die Bedingungen zu Merkmalen werden und die

Bedingungsanzeiger zu den verschiedenen zugehörigen Ausprägungen. Ein Beispiel für eine erweiterte Entscheidungstabelle ist Tabelle 21.

Tabelle 21: Erweiterte Entscheidungstabelle

	1	2	3
Körpergrösse	< 170 cm	170 - 185 cm	> 185 cm
Rahmen-Grösse	26"	28"	30"

3.6.9.3 Redundanz, Fehlerhaftigkeit und Widersprüchlichkeit der Regeln

Eine Schwierigkeit bei der Erstellung von Entscheidungstabellen ist die Vermeidung von Redundanz, Fehlerhaftigkeit und widersprüchlichen Regeln, was sich mit zunehmender Grösse immer schwieriger gestaltet.

- **Redundanz:** Redundanz tritt ein, wenn mehr Regeln als erforderlich vorhanden sind und lässt sich daran erkennen, dass zwischen zwei Regeln alle Bedingungen bis auf eine gleich sind.
- **Fehlerhaftigkeit:** Es lassen sich in einer Situation zwei passende Regeln finden.
- **Widersprüchlichkeit:** Es lassen sich in einer Situation zwei passende Regeln finden und diese führen zu verschiedenen Aktionen.

3.6.9.4 Stark steigende Anzahl Regeln

Die mit steigender Anzahl n Bedingungen in der Grössenordnung 2ⁿ steigende Anzahl Regeln ist verantwortlich für die mitunter unübersichtliche Grösse von vollständigen einfachen Entscheidungstabellen (die Entscheidungstabelle in Tabelle 20 ist nicht vollständig, sonst hätte sie 2³, d.h. 6 Regeln). Beispielsweise hat eine vollständige einfache Entscheidungstabelle bei 6 Bedingungen schon 64 zu notierende Regeln, die nur sehr schwer nachvollziehbar sind.

Eine Verdichtung der Entscheidungstabellen kann mit der ELSE-Regel stattfinden, die immer dann angewendet wird, wenn keine andere Regel zutrifft, so dass die Anzahl Regeln unter Umständen stark reduziert werden kann.

3.6.9.5 Entscheidungstabellen im Verbund

Dem Problem der grossen Anzahl von Regeln kann mit einem "Verbund" von Ent-

scheidungstabellen begegnet werden. Hierbei werden mehrere Entscheidungstabellen miteinander verknüpft, wobei folgende Verknüpfungsformen zur Auswahl stehen:

- **Sequenz:** die zweite Entscheidungstabelle ist direkter Nachfolger der ersten.
- **Verzweigung:** es können mehrere Entscheidungstabellen unmittelbar folgen. Welche nun tatsächlich folgt, ist in den Regeln der vorhergehenden Entscheidungstabelle festgelegt.
- **Schleife:** mindestens eine Regel führt zur erneuten Anwendung der Entscheidungstabelle.
- **Schachtelung:** zur Prüfung einer Bedingung oder bei Ausführung einer Tätigkeit wird eine zweite Tabelle angewandt. Obwohl an sich nicht in der Entscheidungstabellentechnik vorgesehen, kann diese Struktur verwendet werden, um Rekursionen zu realisieren.

Diese Verknüpfungsformen erlauben, einen Entscheidungsprozess mit einigen kleinen und übersichtlichen Entscheidungstabellen zu beschreiben und zudem Redundanz zu vermeiden.

3.6.9.6 Einsatz heute

Heute werden Entscheidungstabellen v.a. in der Programmiertechnik eingesetzt, um Regeln vor der Programmierung übersichtlich abzubilden, aber es gibt auch Konfiguratoren, die auf Entscheidungstabellen basieren, siehe [Heiob 1982; Günter et al. 1999; tdv 2002].

Tabelle 22: Bewertung der Entscheidungstabelle

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	implizit in den Tabellen enthalten
- technische Sicht	1	dito
- Mapping zwischen beiden Sichten	1	das sind die Regeln
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	diese sind implizit in den Regeln enthalten
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	dito
erklärendes K-Wissen	-1	
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	0	visuell, aber schnell unübersichtlich
einfach erlernen- & anwendbar	1	
keine spezielle Software nötig	0	eine Software ist nicht zwingend nötig, erleichtert aber die Arbeit erheblich
Unterstützung durch Software möglich	1	ja, siehe z.B. ET-EPOS (R)
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	0	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	0	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	siehe ET-EPOS
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	dito

3.6.10 Weitere Matrizen

Aufgrund der weiten Verbreitung von Matrizen ist ein vollständiger Überblick aber nicht möglich. Zudem werden in vielen Unternehmen matrixbasierte Darstellungen verwendet, die niemals publiziert werden und somit für den Stand der Technik nicht zur Verfügung stehen (vgl. [Malmqvist 2002]).

Es gibt folglich unzählige weitere matrixbasierte Methoden, die zwar im Rahmen der Produktentwicklung zum Einsatz kommen, aber nicht die Beschreibung von K-Wissen zum Ziel haben. Beispiele sind

- *Quality Function Deployment* (QFD) [Akao 1990; Saatweber 1997],
- *Modular Function Deployment* (MFD) [Erixon 1998],
- *Axiomatic Design* [Suh 1990],
- die *Design Structure Matrix* (DSM) [Steward 1981; mit 2002],
- die *Einfluss- und Adaptionmatrix* [Göker 1996; Göker 1999],
- die in [Jarratt et al. 2002] vorgestellte *Change Prediction Method*,
- die *Parameter-Matrix* in [Franke et al. 2002],

um nur die bekanntesten zu nennen. Alle diese Methoden greifen auf Matrizen zurück, um Daten zu strukturieren, zu analysieren und darzustellen.

Z.T. könnte schon durch kleine formale Änderungen auch K-Wissen in einigen die-

ser Matrizen beschrieben werden. Genauso könnten viele dieser Matrizen durch kleine formale Änderungen in Matrizen von anderen Methoden überführt werden. Oft sind die Unterschiede zwischen den Matrizen auch rein semantischer Natur oder zwei Methoden verwenden die gleiche Matrix zu unterschiedlichen Zwecken.

3.7 Wissensrepräsentationsformen der künstlichen Intelligenz

Die Wissensrepräsentationsformen der künstlichen Intelligenz (KI, siehe Definition in Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) lassen sich auf verschiedenste Weise klassifizieren und beschreiben (vgl. [Pham 1988; Pham 1991; Puppe 1991; Spur & Krause 1997; Tiihonen & Soininen 1997; Brinkop 1999; Günter & Kühn 1999]). Hier wird folgende Einteilung vorgenommen, die die wichtigsten Ansätze klassifiziert:

- regelbasierte Wissensrepräsentation,
- Begriffshierarchien,
- Constraintbasierte Wissensrepräsentation,
- ressourcenorientierte Wissensrepräsentation.

3.7.1 Regelbasierte Wissensrepräsentation

Regelbasierte Systeme waren die erste Generation der Konfiguratoren. Der berühmteste Vertreter regelbasierter Systeme ist das System *R1/XCON* für die Auslegung von VAX-11 Systemen bei DEC, das Ende der 70er Jahre an der Carnegie-Mellon-Universität in den USA entwickelt wurde [McDermott 1982]. Mit seinen 18'000 Regeln ist *R1/XCON* aber auch zum oft zitierten Klassiker für die Probleme regelbasierter Konfiguratoren geworden [Cunis et al. 1991; Günter & Kühn 1999]. Die regelbasierte Wissensrepräsentation ist aufgrund ihrer Nachteile von anderen Wissensrepräsentationsformen abgelöst bzw. ergänzt worden [Günter & Kühn 1999].

In einem regelbasierten System wird die Konfiguration mittels Überprüfung der aufgestellten *Regeln* durchgeführt. Eine Regel wird aktiv, wenn ihre Bedingung erfüllt ist, worauf eine Aktion ausgeführt wird.

Regeln werden in [Spur & Krause 1997] folgendermassen definiert:

„Eine Regel besteht aus einem Bedingungsteil (Prämissen), der beschreibt, unter welchen Bedingungen die Regel angewandt wird, und einem Akti-

onsteil (Konklusion), der die Handlungen oder Implikationen beinhaltet, mit denen ein Zustand verändert oder der Wahrheitsgehalt einer Aussage hergeleitet wird.“

Eine Regel kann folgendermassen dargestellt werden:

WENN (Prämissen) DANN (Konklusion)

Bei Regeln kann von der Bedingung auf die Aktion geschlossen werden, aber nicht von der Aktion auf die Bedingung.

Ein Vorteil von Regeln resultiert aus der menschlichen Denkweise im Wenn-Dann-Schema. Vielen Experten und Programmierern fällt es relativ leicht, ihr Wissen in dieser Art auszudrücken und in rechnerinterne Strukturen abzubilden. Zudem lassen sich Ausnahmefälle mit Regeln leicht behandeln. Vgl. dazu [Spur & Krause 1997].

Den oben genannten Vorteilen stehen die Nachteile des unüberschaubaren und schwer verständlichen Kontrollflusses gegenüber. Zur Lösung dieser Problematik werden u.a. Kontext-Bildung, Hierarchisierung und Problemunterteilung angewendet [Spur & Krause 1997].

Aufgrund der Transparenz regelbasierter Wissensrepräsentation wurde diese in vielen Konfiguratoren angewendet, v.a. in Bereichen, in denen das Domänenwissen auf empirischen Beobachtungen basiert. Trotzdem beschreibt die regelbasierte Wissensrepräsentation aber nicht die fundamentalen Prinzipien eines Problemgebietes. Es handelt sich folglich um *shallow knowledge* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) [Pham 1988].

Nachteile sind vor allem:

- die - analog zur menschlichen Denkweise - schwierig überschaubaren Zusammenhänge der Regeln untereinander,
- der bei komplexen Produkten sehr hohe Aufwand für die Pflege der Regeln,
- die Unmöglichkeit der Trennung des Wissens von der Kontrolle über dessen Auswertung, die beide zusammen in den Regeln verpackt sind und
- die schwer überprüfbare Konsistenz der Regeln.

Vgl. dazu [Günter & Kühn 1999].

Tabelle 23: Bewertung der regelbasierten Wissensrepräsentation

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	
- technische Sicht	1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	
erklärendes K-Wissen	0	z.T. Existieren sog. "Erklärungskomponenten" dafür
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	
einfach erlern- & anwendbar	1	
keine spezielle Software nötig	-1	zum Auswerten und Überprüfen von Regeln ist Software nötig
Unterstützung durch Software möglich	1	ja, es gibt verschiedene regelbasierte Konfiguratoren
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	-1	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	im Rahmen eines regelbasierten Konfigurators
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	dito

3.7.2 Begriffshierarchien

In der Mehrzahl der Konfiguratoren kommen sogenannte *Begriffshierarchien* für die Beschreibung des K-Wissens zur Anwendung [Günter & Kühn 1999]. Männistö bezeichnet diese als „*sophisticated version of the AND/OR-graph*“ [Männistö et al. 1996]. Dabei handelt es sich i.d.R. um eine Kombination von Partonomie und Taxonomie, die mit weiteren Konzepten verknüpft wird.

Die Objekte werden mit Parametern und Wertevorgaben definiert und in einer taxonomischen Hierarchie strukturiert. Die taxonomische Hierarchie hält fest, welche Objekte für eine bestimmte Aufgabe oder einen bestimmten Platz zur Verfügung stehen [Brinkop 1999].

Die Taxonomie wird von einer Partonomie überlagert, so dass zur weiteren Strukturierung (hat-Teil)- bzw. (ist-Teil-von)-Beziehungen aufgebaut werden können. Die Partonomie gibt an, wie ein Objekt durch Teilobjekte realisiert werden kann [Brinkop 1999] und orientiert sich z.B. an der Produktstruktur.

Bei Begriffshierarchien handelt es sich um *deep knowledge* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) in einer verhältnismässig übersichtlichen Form. Allerdings ist das Erlernen der zugrundeliegenden Konzepte und Konventio-

nen sehr komplex. Ein Vorteil ist aber, dass man sich beim Aufbau einer Begriffshierarchie an bestehenden Strukturen (Produktstruktur o.ä.) orientieren kann.

Die Begriffshierarchie wird im Zusammenhang mit einem System bewertet (3.8.1 „Die Plakon-Familie“).

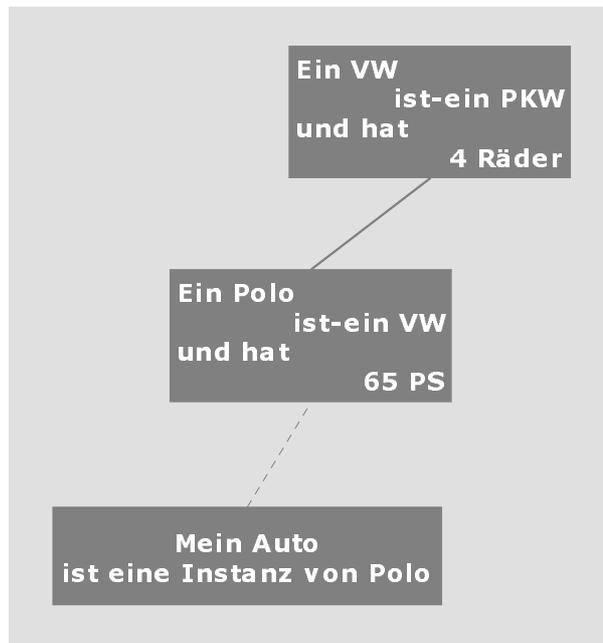


Bild 19: Beispiel für eine Begriffshierarchie (nach Günter)

3.7.3 Constraintbasierte Wissensrepräsentation

Constraints (zu deutsch „Beschränkungen“, „Restriktionen“) dienen zur Repräsentation und Auswertung von Abhängigkeiten [Cunis et al. 1991]. Formal kann ein Constraint entweder als n-stellige Relation $P(x_1, \dots, x_n)$ oder als eine mathematische Gleichung bzw. Ungleichung der Form $f(x_1, \dots, x_n) = a$ betrachtet werden. Constraints dienen zur Darstellung von Abhängigkeiten zwischen Variablen (vgl. [Spur & Krause 1997]).

Wenn man mehrere Constraints über die Objekte einer Wissensdomäne legt, wird ein sogenanntes *Constraint-Netz* (vgl. [Günter & Kühn 1999]) aufgebaut, in dem einzelne Objekte in mehreren Constraints vorkommen (vergleichbar mit einem Gleichungssystem). Ein einfaches Constraint-Netz ist in Bild 20 dargestellt.

3.7.3.1 Constraint-Propagation

Zur *Constraint-Propagation* schreibt Spur [Spur & Krause 1997]:

„Ziel einer Constraint-Propagation ist die Lösungsfindung unter Berücksich-

tigung aller Randbedingungen. Die Problemlösung wird schrittweise durch sukzessive Reduzierung des Lösungsraumes bzw. des Wertebereiches der Variablen eingegrenzt. Dabei werden alle Objekte ausgeschieden, die den vorgegebenen Bedingungen nicht genügen. Dieser Prozess wird solange fortgesetzt, bis im Lösungsraum nur die Objekte verbleiben, die alle Bedingungen erfüllen.“

Es gibt verschiedene Methoden zur Constraint-Propagation. Diese sind z.T. Gegenstand der Forschung [Günter & Kühn 1999].

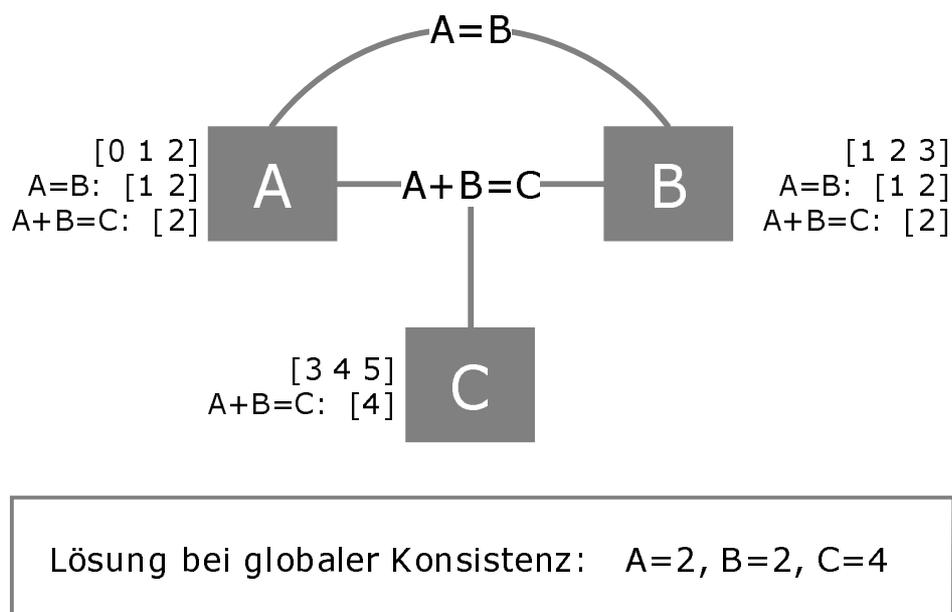


Bild 20: Constraint-Netz und -Propagation (nach Günter)

Bild 20 zeigt ein Netz aus zwei ungerichteten Constraints zwischen den Objekten A, B und C. Neben A, B und C sind Vektoren mit deren mögliche Belegungen angegeben. Wird z.B. nur der Constraint $A=B$ ausgewertet (*lokale Konsistenz*), dann können die möglichen Belegungen von A, B und C schon eingeschränkt werden. Durch Auswertung aller Constraints (*globale Konsistenz*) erhält man dann die einzige Lösung, die alle Constraints befriedigt mit $A=2$, $B=2$ und $C=4$. Globale Konsistenz wird durch Constraint-Propagation erreicht (vgl. dazu [Günter & Kühn 1999]).

3.7.3.2 Constraints in Konfiguratoren

Brinkop stellt ein Expertensystem zur Variantenkonstruktion vor, in dem das Konfigurationswissen hauptsächlich durch Constraints beschrieben wird und verifiziert dies anhand der Auslegung industrieller Rührwerke [Brinkop 1999]. In *Plakon* (siehe unten) kann ebenfalls ein Teil des K-Wissens durch Constraints dargestellt werden.

Die Darstellung der Constraints erfolgt in beiden Fällen durch eine formalisierte Sprache. Constraints sind in vielen kommerziellen Systemen implementiert [Günter et al. 1999].

Häufig werden Begriffshierarchien mit Constraints kombiniert, siehe 3.8.1 „Die Plakon-Familie“. Dabei sollte möglichst viel K-Wissen in der Begriffshierarchie modelliert werden, da Constraints schwieriger zu pflegen sind.

3.7.3.3 Vor- und Nachteile von Constraints

Vorteile von Constraints sind u.a. die folgenden:

- die multidirektionale Auswertung der Constraints,
- das frühzeitige Erkennen von Inkonsistenzen,
- die Unabhängigkeit des K-Wissens von der Kontrolle über dessen Auswertung (im Gegensatz zu Regeln).

Als Nachteile gelten die folgenden:

- Constraints-Netze sind unübersichtlich,
- Redundanz zwischen den Constraints ist möglich,
- die Definition von Constraints ist eine sehr komplexe Arbeit,
- die Constraint-Propagation ist i.a. aufwendiger als die Auswertung von Regeln.

Es macht keinen Sinn, Constraints unabhängig von einem System zu bewerten. Sie werden deshalb im Zusammenhang mit einem System in 3.8.1 „Die Plakon-Familie“ bewertet.

3.7.4 Ressourcenorientierte Wissensrepräsentation

In einigen Anwendungsfällen eignet sich die *ressourcenorientierte* Wissensrepräsentation von K-Wissen, bei der Komponenten dadurch beschrieben werden, welche und wieviele Ressourcen sie bereitstellen bzw. anfordern [Brinkop 1999].

Beim Konfigurieren wird eine Komponente verwendet, weil sie eine Leistung bietet, die vom System oder Komponenten des Systems benötigt wird [Brinkop 1999]. Beispielsweise stellt bei einem PC die Komponente ‚*Netzteil*‘ als Ressource eine Leistung von 200 Watt zur Verfügung, wovon das Motherboard 15 Watt benötigt [Grasman 2000].

In einer korrekten Konfiguration sind alle Ressourcenbilanzen ausgeglichen [Brinkop 1999; Grasman 2000].

Die ressourcenorientierte Repräsentation eignet sich dann, wenn eine Betrachtung der Konfigurationsobjekte als ressourcenbereitstellend oder -verbrauchend vorherrscht und das kompositionelle Wissen keine grosse Rolle spielt (vgl. [Brinkop

1999]). Ein klassisches Anwendungsgebiet ist die PC-Konfiguration [Grasman 2000].

Die Anwendung im Maschinenbau ist zwar nicht unmöglich, aber dennoch eingeschränkt. Auf diesem Grund wird die ressourcenorientierte Wissensrepräsentation hier nicht bewertet.

3.8 Konfiguratoren

Die Bedeutung von Konfiguratoren wurde bereits in 1.2.3 „Das Management von K-Wissen mit (Produkt-)Konfiguratoren“ kurz beschrieben. In diesem Abschnitt soll der Stand der Technik bzgl. Konfiguratoren dargelegt werden.

Konfiguratoren werden vielfach auch als *wissensbasierte Systeme* bezeichnet. V.a. in den 80er und 90er Jahren war auch die Bezeichnung *Expertensysteme* verbreitet. I.d.R. werden die beiden Begriffe synonym verwendet, eine Unterscheidung zwischen beiden wird z.B. in [Heiden 1992] gemacht.

Konfiguratoren sind in den letzten Jahrzehnten aus der KI heraus entstanden. Deren ingenieurwissenschaftliche Ausrichtung hat das Lösen komplexer Anwendungsprobleme durch die Bereitstellung von Methoden und Techniken zum Ziel [Hoffmann 1986; Spur & Krause 1997]. Ein solches Anwendungsproblem ist die Produktkonfiguration.

Wissensbasierte Systeme zur Produktkonfiguration sind seit geraumer Zeit ein ständiges Forschungsthema und es gibt eine grosse Zahl universitärer oder kommerzieller Werkzeuge und ein vollständiger Überblick würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Dafür sei auf die folgenden Literaturreferenzen verwiesen, die einzelne Ansätze beschreiben und/oder einen Überblick geben:

[Pham 1988; Cunis et al. 1991; Pham 1991; Sommer 1993; Brinkop 1999; Günter et al. 1999; Günter & Kühn 1999]. Hierbei sei insbesondere [Günter & Kühn 1999] als aktueller Überblick über die existierenden Ansätze sowie aktuelle Forschungstrends empfohlen. Zur allgemeinen Architektur von Expertensystemen, siehe [Puppe 1991; Spur & Krause 1997].

Der bekannteste Konfigurator ist sicherlich das System R1/XCON, ein regelbasierter Konfigurator (siehe 3.7.1 „Regelbasierte Wissensrepräsentation“). In R1/XCON und vielen weiteren Projekten wurden Erfahrungen gesammelt, aus denen heraus nicht nur weitere Forschungsaktivitäten entstanden, sondern auch eine ganze Reihe kommerzieller Softwarewerkzeuge, die heute am Markt erhältlich sind. Im folgenden eine (bei weitem nicht vollständige) Aufzählung:

- camos.configurator® [Günter et al. 1999; camos 2002],
- CAS® [Günter et al. 1999; Solyp 2002],
- Crealis® [orisa 2002],
- ET-EPOS® [Günter et al. 1999; tdv 2002],
- Konfex® [planware 2002],
- EngCon® [Hollmann et al. 2000; Encoway 2002; Ranze et al. 2002],
- P'X5® [von Lucius 2000; Ackermann 2001; perspectix 2002],
- Sales Configuration Engine® [Günter et al. 1999; sap 2002],
- eConfigurator® [siebel 2002].

Desweiteren sind in zahlreichen ERP- oder PDM-Systemen mehr oder wenig leistungsfähige Konfiguratoren integriert.

Trotz all dieser existierenden Ansätze auf dem Gebiet der Konfigurierung werden aber viele Konfigurationsprobleme weiterhin mit neuen, vielfach proprietären, d.h. speziell auf einen Anwendungsfall zugeschnittenen, Lösungen angegangen. Oft werden von diesen proprietären Lösungen zu einem späteren Zeitpunkt wieder generische, produktunabhängige Systeme abgeleitet. Auf diese Art und Weise sind auch viele der oben genannten Produkte entstanden.

Die folgenden Beispiele beschreiben solche Ansätze und verdeutlichen, dass die Problemstellung der Konfigurierung durch die existierenden Ansätze offensichtlich noch nicht zufriedenstellend gelöst wurde:

[Heiden 1992; Westfal 1992; Kuntz 1995; Franke & Lux 2000; Grasmann 2000; Lehtonen et al. 2000; Bartuschat 2001; Hamou et al. 2001; Leonhardt 2001; Mandorli et al. 2002].

Im folgenden kann nicht auf alle Ansätze eingegangen werden. Es wird lediglich auf wenige repräsentative Beispiele eingegangen. Das soll aber keine Wertung darstellen.

3.8.1 Die Plakon-Familie

Plakon ist ein Expertensystemkern für Planungs- und Konfigurierungsaufgaben in technischen Domänen, der aus langjähriger Forschungsarbeit entstanden ist [Cunis et al. 1991]. In weiterführenden Projekten entstand aus *Plakon Konwerk* [Günter 1995] und aufbauend auf *Konwerk* wurde das kommerzielle Werkzeug *EngCon®* entwickelt, siehe unten.

3.8.1.1 Wissensrepräsentation in der Plakon-Familie

Die grundsätzliche Art der Wissensrepräsentation ist bei allen Mitgliedern der Pla-

kon-Familie gleich. Auf die Unterschiede wird im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen.

Zur Repräsentation von strukturiertem K-Wissen werden Objekte in einer Begriffshierarchie beschrieben, die durch Regeln, Constraints, sowie eine Ablaufsteuerung ergänzt werden kann. Letztere beeinflusst die Reihenfolge der Konfigurationsschritte.

Plakon bietet sehr viele Möglichkeiten zur Wissensrepräsentation, was zwar auch ein Nachteil sein kann, da ungeübte Benutzer so u.U. ungeeignete Wissensrepräsentationsformen verwenden, was wiederum zu schlecht strukturierten Wissensbasen führt. Es empfiehlt sich hier eine vorgängige Analyse, welche Wissensrepräsentationsformen wirklich geeignet sind und eine Beschränkung der Wissensbasis auf diese.

Details zu Plakon und insbesondere zur verwendeten Begriffshierarchie sowie Hinweise zur Erstellung einer solchen finden sich u.a. in [Cunis et al. 1991].

3.8.1.2 Geeignete Problemarten

Die Wissensrepräsentationsform der Plakon-Familie kann viele Probleme beschreiben. So können beispielsweise auch modulare Baukastensysteme (siehe Glossar) konfiguriert werden. Dabei werden die zulässigen Koppelungen der Objekte angegeben und die räumliche Lage als Objekteigenschaften definiert, die bei der Konfiguration vom System bestimmt werden.

3.8.1.3 Der kommerzielle Konfigurator EngCon®

EngCon® ist ein kommerzieller Konfigurator, der auf der Basis von Plakon entwickelt wurde. Die auf EngCon® basierende Anwendung „Drive Solution Designer“ (DSD), ein Softwaretool zur Auslegung und Konfiguration von Antriebsachsen der Lenze AG wurde 2002 mit dem „Deployed Application Award“ der AAAI (American Association for Artificial Intelligence) ausgezeichnet [Ranze et al. 2002]. EngCon® wird von der Firma Encoway [Encoway 2002] vertrieben.

Aufbau und Pflege der Wissensbasis erfolgen in EngCon® über eine spezielle Software (*K-Build*, Bild 21) und kann nach entsprechender Schulung durch die Wissensträger selbst erfolgen [Ranze et al. 2002]. Die Software *KConfig* erlaubt das Konfigurieren auf Basis der Wissensbasis zu Testzwecken (Bild 22). Für die endgültige Anwendung wird i.d.R. die Benutzerschnittstelle mit Hilfe der Software *KLayout* an den Anwendungsfall angepasst.

Bzgl. weiterer Informationen zu EngCon® und DSD siehe [Hollmann et al. 2000; Encoway 2002; Ranze et al. 2002].

encoway ebusinessautomation

K-Build Wissensmodellierung im Web
Aktuelle Wissensbasis: Velo strukturiert

Version 2.1.5rc2

Wissensbasis | Produktmodell | Produktlogik | Prozeßmodell | Konfigurieren | Admin

► Produkte | ► Beziehungen | ► XML

Produktthierarchie

- root
 - Angebot
 - Kunde
 - Produkt
 - Fahrzeug
 - Anhänger
 - Velo
 - Komfortvelo
 - Mountainvelo
 - Rennvelo

Produktstruktur

- Komfortvelo
 - ▼ hat-Teile
 - Kindersitz
 - Anhänger
 - Federung
 - Tourenlenker
 - Rahmen
 - Veloreifen, normal
 - Schaltung
 - Alufelgen

► Produkt

Name	Produktgruppe
Komfortvelo	Velo

► Eigenschaften

Name	Wert	NK
Eigenschaft anlegen		

► Beziehungen

Beziehungen	Produkte	[min:max]
hat-Teile		
Produkt hinzufügen		
Alufelgen		[2;2]
Anhänger		[0;1]
Federung		[1;1]
Kindersitz		[0;1]
Rahmen		[1;1]
Schaltung		[1;1]
Tourenlenker		[1;1]
Veloreifen, normal		[2;2]

Bild 21: Aufbau einer Wissensbasis in KBuild

The screenshot displays the K-Config web application interface. The main title is "K-Config Konfiguration im Web" by Encoway GmbH & CoKG. The interface is divided into several sections:

- Wissensbasis:** Includes links for "Zurück zur Modellierung" and "Neue Konfiguration".
- Konfiguration:** Contains "Undo", "Redo", "Konfigurationsassistent", "Agenda", and "Strategien".
- Service:** Includes "Konfiguration Laden", "Konfiguration speichern", and "PDF".
- Debug:** Includes "Log-Datei", "Constraint-Netz", and "CSV-Export".
- XML Daten:** Includes "Agenda", "Teilkonfiguration", and "Constraint-Netz".

The central area, titled "Kunde 1 [Kunde]", shows configuration parameters and relations:

- Parameter:** A table with columns "Name" and "Wertebereich".

Name	Wertebereich
Fahrstil	{ "Komfort"; "Mountain"; "Renn" }
Gewicht	[40;120]
Koerpergroesse	[140;220] <input type="text" value="175"/>

 Below the table are buttons: "Skip", "Defer", "Leave Open", and "OK".
- Relationen:** A table with columns "Konzept" and "aktueller Wert".

Konzept	aktueller Wert
hat-Teile	
Velo	[1,1]
- Spezialisiere:** A table with columns "Spezialisiere" and "zu".

Spezialisiere	zu
Kunde	{Dame, Herr}

On the right side, the "Wissensbasis: Velo strukturiert" section shows a "Konfigurationsbaum" (configuration tree) with a hierarchical structure of parts like "Angebot 0", "Kunde 1", "Velo 2", "Alufelgen 8", etc.

At the bottom, there is a footer with the text "EngCon Produktschlüssel: 2.2.16*20021010 1242.022.031.022.026.021.018.019" and "Visit us on the Internet at <http://www.encoway.de/>".

Bild 22: Testen der Wissensbasis in KConfig

3.8.1.4 Erfüllung der Anforderungen

Insbesondere EngCon® ist ein ausgereiftes Produkt, mit dem sich die meisten Konfigurierungsprobleme lösen lassen. Ein Hauptproblem liegt dennoch in der hohen Komplexität der Wissensrepräsentationsform, die v.a. den Einstieg erschwert.

Tabelle 24: Bewertung von EngCon®

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	
- technische Sicht	1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	
erklärendes K-Wissen	1	kann eingebunden werden
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	
einfach erlern- & anwendbar	-1	
keine spezielle Software nötig	-1	
Unterstützung durch Software möglich	1	EngCon ist eine Software
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	0	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	-1	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	es handelt sich um einen Konfigurator
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	dito

3.8.2 P'X5®

Das Produkt P'X5® der Firma Perspectix AG ist ein Konfigurator, der in erster Linie für die interaktive, grafische Konfigurierung modularer Baukastensysteme (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) entwickelt wurde.

Dabei wird im dreidimensionalen Raum konfiguriert. Die Bausteine sind dreidimensionale Objekte, die unter Berücksichtigung von Koppelstellen und Verträglichkeiten durch Drag & Drop zusammengefügt und positioniert werden können. Anwendungsbeispiele sind z.B. modulare Baukastensysteme wie die Büromöbelsysteme *eleven22®* und *Haller®* der Firma *USM*, aber auch strukturgebundene Baukastensysteme wie Bürostühle.

Während die Konfigurierung selbst durch die grafische Unterstützung sehr einfach und intuitiv ist und man sofort einen Eindruck vom Konfigurationsergebnis hat, ist die Pflege des K-Wissens nicht einfacher als in anderen Konfiguratoren. Hinzu kommt, dass die Objekte als dreidimensionale Modelle vorhanden sein müssen. Sie können allerdings über Schnittstellen z.B. aus einem 3D-CAD-System importiert werden.

Aufgrund seiner Charakteristika ist P'X5 besonders für Produkte aus dem B2C-(Business-to-Customer-)Bereich geeignet, wobei es auch Anwendungsbeispiele aus dem B2B-(Business-to-Business-)Bereich gibt.

Details zur P'X5® siehe z.B. [von Lucius 2000], [Ackermann 2001] oder [perspectix 2002].

Tabelle 25: Bewertung von P'X5®

Anforderung	Wert	Bemerkung
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	
- technische Sicht	1	
- Mapping zwischen beiden Sichten	1	
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	
erklärendes K-Wissen	1	kann eingebunden werden
unstrukturiertes K-Wissen	-1	
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung	-1	
einfach erlern- & anwendbar	-1	
keine spezielle Software nötig	-1	
Unterstützung durch Software möglich	1	
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	0	
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	-1	
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	es handelt sich ja um einen Konfigurator
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator	1	dito

3.9 Vorgehensweisen zur Akquisition von K-Wissen

In der Literatur werden verschiedene Vorgehensweisen zur Akquisition von Expertenwissen beschrieben. Dabei handelt es sich um Hinweise zum grundlegenden Vorgehen, zur Interviewtechnik, relevanten Fragestellungen, unterstützenden Methoden, Software für die automatische Wissensakquisition usw. [Ehrlenspiel & Tropschuh 1989; Gottlob et al. 1990; Puppe 1991; Puppe 1993; Schlingheider 1994; Görz et al. 2000] enthalten weitere Informationen dazu.

Ein bekannter Ansatz ist die KADS-Methode [Schreiber et al. 1993]. *KADS (Knowledge Acquisition and Documentation System)* ist eine Methodologie zur Entwicklung wissensbasierter Systeme mit strukturierten Vorgehensweisen zur Wissenserhebung. Ziel ist die implementationsunabhängige Modellierung von Expertenwissen. KADS ist aber nicht speziell für K-Wissen entwickelt worden, geschweige denn für KMU, und ist deshalb zu unstrukturiert und zu kompliziert für die Zielsetzung dieser Arbeit. Neben KADS gibt es eine Reihe ähnlicher Ansätze, die aber ebenfalls nicht für diese Arbeit relevant sind.

in zahlreichen Seminaren und Gesprächen mit Fachleuten aus dem Bereich Produktkonfiguration sowie Anbietern von Konfiguratoren entstand ein ähnliches Bild: In der Praxis wird ebenfalls keine strukturierte Vorgehensweise eingesetzt, obwohl der Bedarf definitiv vorhanden wäre.

Das Vorgehen in der Praxis ist heute i.a. folgendes: Mitarbeiter des Konfigurator-Anbieters sind aktiv an der Wissensakquisition beteiligt und akquirieren das Wissen durch gezieltes Befragen der Experten. Dabei stützen sich die Wissensingenieure v.a. auf ihre Erfahrung und nicht eine Methodik. Bei einigen Anbietern wird die Gitarrenmethode angewandt.

I.d.R. wird sehr früh damit begonnen, das K-Wissen im Konfigurator abzubilden. Diese frühe Bindung an einen Konfigurator könnte zwar im Sinne der Anbieter sein, für deren langfristigen Erfolg ist aber eine systemunabhängige Methodik zur Unterstützung der Wissensakquisition von Vorteil. Den Bedarf für eine solche Methodik haben die meisten Anbieter folglich auch bestätigt.

3.10 Beurteilung des Stand der Technik

Bei der Beurteilung des Stand der Technik fällt auf, dass v.a. matrixbasierte Methoden zur Beschreibung von K-Wissen, aber auch für viele andere Aufgaben in der Produktentwicklung sehr beliebt sind. Matrixbasierte Methoden haben sich generell in der Praxis durchgesetzt und grossen Bekanntheitsgrad erreicht (z.B. QFD, Konstruktionskataloge, Verträglichkeitsmatrix), und es werden immer noch neue matrixbasierte Methoden entwickelt. Dennoch verwenden Konfiguratoren matrixbasierte Darstellungen eher selten. Ein Grund dafür ist vermutlich die Beschränkung der Matrix auf die Darstellung binärer Beziehungen.

Auch Baumstrukturen werden in der Produktentwicklung häufig eingesetzt. Im Gegensatz zu Matrizen wird diese Wissensrepräsentationsform häufig in Konfiguratoren verwendet, v.a. zur Darstellung von Partonomien oder Taxonomien.

Die Konfiguratoren sind i.a. sehr leistungsfähig und können viele Konfigurierungsaufgaben der Praxis handhaben. Allerdings ist das grosse Problem nach wie vor die Akquisition und Pflege des K-Wissens. Dies verdeutlicht die Tatsache, dass v.a. die folgenden Anforderungen aus 2.4 „Anforderungen an eine Methodik zur Beschreibung von K-Wissen“ nur schlecht erfüllt werden:

- Abbilden von unstrukturiertem K-Wissen,
- visuelle, auf einen Blick erfassbare Darstellung,
- einfach erlern- & anwendbar,

- Unterstützung der Produktentwicklung durch zusätzlichen Nutzen.

Dies deckt sich mit den Aussagen in der Literatur (z.B. [Männistö et al. 1996]).

Auch die systemunabhängigen Vorgehensweisen zur Wissensakquisition für wissensbasierte Systeme können bzgl. der Akquisition von K-Wissen im hier vorausgesetzten Umfeld die Ziele dieser Arbeit nicht erreichen.

Tabelle 26 fasst die Bewertungen zusammen. Dabei sind SML, Konstruktionskatalog und Verträglichkeitsmatrix hervorgehoben. Jede dieser Wissensrepräsentationsformen kann nämlich mindestens eine Art von K-Wissen sehr gut abbilden. Dabei ergänzen sich die drei Ansätze gegenseitig, so dass eine Kombination vermutlich alle Arten von strukturiertem K-Wissen abbilden kann. Die Bewertung bzgl. der erforderlichen Eigenschaften ist durchgehend gut, wobei bedacht werden muss, dass einige dieser Eigenschaften u.U. erst durch eine Kombination der drei Ansätze erfüllt werden können (z.B. *„Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik“*).

Tabelle 26: Zusammenfassung der Bewertungen

	Sprache	SML	Darst. Von Verträglichkeiten mittels Codes	Lösungsbaum	UND-ODER-Baum	Ablaufdiagramm	VMEA	Morphologischer Kasten	Konstruktionskatalog	Verträglichkeitsmatrix	V-Matrix mit n-dim. Verträglichkeitsvektor	Kombinationsmatrix	Merkmalsnetz	Gitarrenmethode	Entscheidungstabelle	Regelbasierte Wissensrepräsentation	EngCon	PX5
Abzubildende Arten von K-Wissen																		
strukturiertes K-Wissen:																		
- Kundensicht	1	1	-1	-1	1	0	1	-1	0	1	1	-1	1	0	1	1	1	1
- technische Sicht	1	1	-1	-1	1	0	1	1	0	1	1	-1	1	0	1	1	1	1
- Mapping zwischen beiden Sichten	1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	1	-1	-1	-1	1	0	1	1	1	1
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	-1	1	1	-1	0	0	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	-1	1	1	-1	0	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1
erklärendes K-Wissen	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1
unstrukturiertes K-Wissen	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Erforderliche Eigenschaften der Methodik																		
visuelle, übersichtliche Darstellung	-1	1	-1	-1	-1	-1	0	1	0	1	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	-1
einfach erlern- & anwendbar	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	-1	1	0	1	1	1	-1	-1
keine spezielle Software nötig	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	-1
Unterstützung durch Software möglich	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	0	-1	-1	-1	0	1	0	-1	0	0
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	-1	0	-1	0	0	-1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	-1	-1	-1
Integrierbar in das Digitale Produkt	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):																		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	0	1	1	1	0	-1	1	1	1	1
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator ("aufwärtskompatibel")	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1

Kapitel 4

Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix

In diesem Kapitel wird aufbauend auf dem Stand der Technik eine Beschreibungssprache für K-Wissen entwickelt, die den aufgestellten Anforderungen genügt. Anhand des zu Beginn vorgestellten Fahrrad-Beispiels werden deren Elemente dargestellt. Desweiteren werden die Möglichkeiten, die sie bietet, aufgezeigt und in den Zusammenhang mit den Aufgaben des Produktentwicklers gesetzt. Abschliessend wird auf die Grenzen und möglichen Erweiterungen der Beschreibungssprache eingegangen.

Dabei wird kontinuierlich die Erfüllung der Anforderungen verifiziert. Dies geschieht allerdings nicht unbedingt in der gleichen Reihenfolge, in der die Anforderungen dargestellt sind! Zudem werden einige Anforderungen erst in darauffolgenden Kapiteln verifiziert.

4.1 Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix

Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix (abgekürzt *K- & V-Matrix* bzw. *KVM*) basiert auf drei Matrizen und beschreibt mit deren Hilfe

- die technische Sicht eines Produktes,
- die Kundensicht,
- das Mapping zwischen diesen beiden Sichten sowie

- die Verträglichkeiten zwischen den Eigenschaften in den beiden Sichten wie in Bild 23 dargestellt ist.

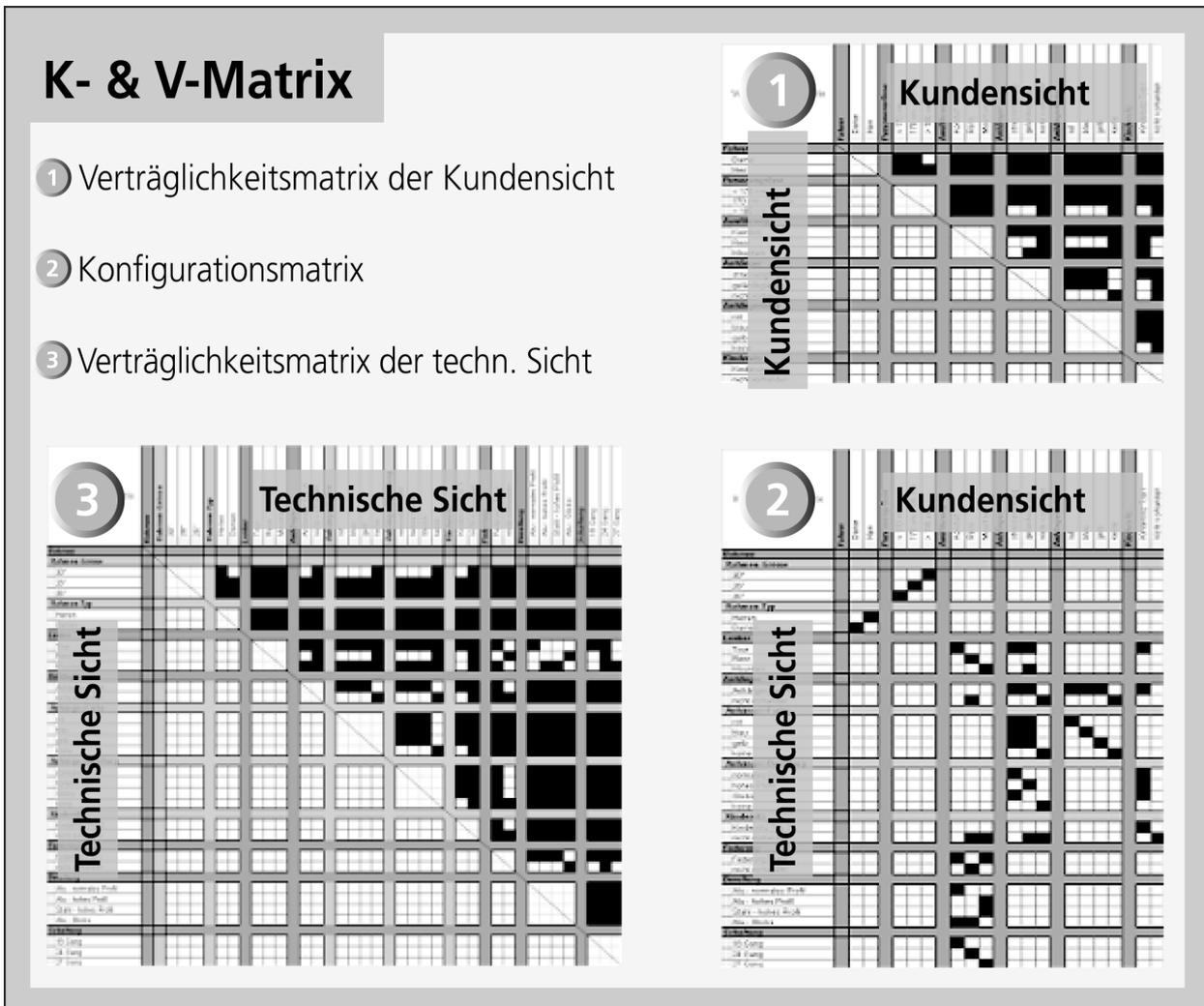


Bild 23: Die K- & V-Matrix

Die drei Matrizen basieren auf aus Kapitel 4 „Stand der Technik“ bekannten Konzepten, diese wurden aber erweitert und in den Kontext der Produktkonfiguration gestellt. Es handelt sich im einzelnen um folgende Matrizen:

- **Die Konfigurationsmatrix (K-Matrix, Punkt 2 in Bild 23)** beschreibt die Kundensicht und die technische Sicht eines Produktes in ihrer Kopfzeile bzw. -spalte. Die Felder der K-Matrix beschreiben das Mapping zwischen den Sichten. Die Beschreibung der Sichten erfolgt basierend auf SML.
- **Die Verträglichkeitsmatrix (V-Matrix) der technischen Sicht (Punkt 3 in Bild 23)** enthält in der Kopfzeile und -spalte die technische Sicht des Produktes. In den Feldern werden die Verträglichkeiten der technischen Eigenschaften

angegeben.

- **Die V-Matrix der Kundensicht** (Punkt 1 in Bild 23) ist genauso aufgebaut, allerdings enthalten Kopfzeile und -spalte die Kundensicht, d.h. sie beschreibt die Verträglichkeiten der Kundeneigenschaften.

Bild 29, Bild 31 und Bild 32 zeigen die Matrizen der Fahrrad-Produktfamilie.

In [Bongulielmi et al. 2001] und [Puls et al. 2001a] wurde die KVM erstmals publiziert. Bzgl. der Integration mit anderen matrizenbasierten Methoden in der Produktentwicklung sowie der Unterschiede zu diesen sei auf [Bongulielmi et al. 2002a] verwiesen. Die in 4.3 „Unterstützung der Produktentwicklung“ beschriebenen Berechnungen wurden z.T. bereits in [Puls et al. 2002b] vorgestellt.

4.2 Entwicklung der KVM

In diesem Abschnitt wird die KVM ausgehend von technischer Sicht und Kundensicht entwickelt.

4.2.1 Beschreibung von Kundensicht und technischer Sicht

Tabelle 27: Erfüllte Anforderungen

Anforderung	erfüllt
Abzubildende Arten von K-Wissen	
strukturiertes K-Wissen:	
- Kundensicht	1
- technische Sicht	1
- Mapping zwischen beiden Sichten	?
- Verträglichkeiten technische Sicht	?
- Verträglichkeiten Kundensicht	?
erklärendes K-Wissen	?
unstrukturiertes K-Wissen	?

Die Beschreibung von Kunden- und technischer Sicht erfolgt auf Basis von Sachmerkmalsleisten (SML, siehe 3.3.1 „Sachmerkmalsleisten“). Dadurch können bestehende Konzepte und Denkweisen übernommen werden und die Abbildbarkeit auf relationale Datenbanken sowie eine gute Integrationsfähigkeit - z.B. mit Produktbeschreibungen in ERP- oder PDM-Systemen - gewährleistet werden (vgl. [Eigner & Stelzer 2001]).

Bei der Beschreibung der Sichten mittels SML sind gewisse Konventionen zu beachten, wie z.B. eine konsequente Beschränkung auf *Merkmale* und *Ausprägungen*. Wie in 3.3 „Wissensrepräsentation durch Merkmale“ beschrieben, wird die Kombination eines Merkmals mit einer zugehörigen Ausprägung als *Eigenschaft*

bezeichnet. Handelt es sich dabei um ein Merkmal der Kundensicht, wird von einer *Kundeneigenschaft* gesprochen, analog von einer *technischen Eigenschaft* bei Merkmalen der technischen Sicht. Kundeneigenschaft und technische Eigenschaft sind folglich die *Bausteine* (vgl. 1.2.1 „Konfigurierung und Konfiguration“) der Kundensicht bzw. der technischen Sicht.

Desweiteren wird bei der Beschreibung durch SML keine explizite Information über die Art einer Variante (Muss-, Kann-, Fest-Variante nach [Pahl & Beitz 1997]) abgebildet. Alles wird auf Merkmale und Ausprägungen reduziert, was zwar einerseits einen Verlust an expliziter Information bedeutet, andererseits aber auch die Abbildung einfacher und flexibler macht. Die Information über die Art der Varianten ist auf jeden Fall implizit in den Merkmalen enthalten, wie aus den folgenden Ausführungen hervorgeht.

4.2.1.1 Beschreibung von Kann-, Muss- und Mengen-Varianten

Während die Darstellung der normalen Muss-Variante durch einfache Auflistung der möglichen Varianten als Ausprägungen erfolgt (siehe Bild 24), erfordert die Kann-Variante eine zusätzliche Ausprägung, die das mögliche Nichtvorhandensein der Kann-Variante bzw. Option ausdrückt. In Bild 25 ist dies die Ausprägung *nicht vorhanden*.

Bereifung	Alu - normales Profil
	Alu - hohes Profil
	Stahl - hohes Profil
	Alu - Slicks

Bild 24: Abbildung einer Muss-Variante

Anhänger	geländegängig
	strassengängig
	nicht vorhanden

Bild 25: Abbildung einer Option bzw. Kann-Variante

Grundsätzlich wäre es zwar auch möglich, Kann-Varianten ohne diese zusätzliche Ausprägung zu modellieren und bei Nichtvorhandensein der Option einfach keine der Ausprägung zu wählen. Dies ist aber aus folgenden Gründen nicht sinnvoll:

- Das Merkmal wäre von den Muss-Varianten äusserlich nicht zu unterscheiden, und es bestünde kein Hinweis darauf, dass es sich hierbei um eine Kann-Variante handelt. Diese Information könnte nur durch Kenntnis des Produktes

gewonnen werden.

- Ein zusätzliches Attribut „Kann-Variante“ am Merkmal könnte diesen Misstand zwar lösen, allerdings zulasten von Übersichtlichkeit und Einfachheit der KVM.
- Bei einer vollständig bestimmten SML muss zu jedem Merkmal eine Ausprägung gewählt werden, was bei Nichtvorhandensein der Kann-Variante nicht der Fall wäre.

Eine Mengen-Variante wird einfach durch eine Muss-Variante mit der Anzahl als Ausprägung beschrieben (Bild 26). Für Mass-Varianten gilt das gleiche, sie können aber nur durch Diskretisierung des Wertebereichs abgebildet werden (Bild 27).

Anzahl Rückspiegel	0
	1
	2

Bild 26: Abbildung einer Mengen-Variante

Länge	150 cm
	160 cm
	170 cm

Bild 27: Abbildung einer Mass-Variante

4.2.1.2 Beschreibung von Fest-Varianten

Einen Sonderfall stellt die Fest-Variante dar: entsprechend Bild 28 besteht sie aus einem Merkmal mit lediglich einer Ausprägung. Grundsätzlich müsste man die Fest-Variante gar nicht aufführen, es kann aus bestimmten Gründen aber trotzdem sinnvoll sein:

- Insbesondere bei einem sich noch in der Entwicklung befindlichen Produkt kann es von Nutzen sein, eventuelle zukünftige Muss-Varianten bereits als Produktmerkmale zu kennzeichnen, indem man sie zu Fest-Varianten macht. Es kann dann später leicht eine Muss-Variante durch Einfügen weiterer Ausprägungen daraus gemacht werden. Einfaches Beispiel: ‚Rahmenfarbe: schwarz‘ könnte als Fest-Variante definiert werden, womit sich schon fast automatisch die Frage nach einer Abrundung des Sortiments durch ‚Rahmenfarbe: rot‘ usw. stellt.
- Die Fest-Variante könnte ein besonders hervorzuhebendes Merkmal des Produktes sein, nach dem Motto „dieses Fahrrad ist immer rostfrei!“ (siehe Bild 28).
- Durch Auflistung der Fest-Variante in der SML kann eine Kompatibilität zur Vari-

antenstruktur bzw. zur Stückliste eines Produktes erreicht werden.



Bild 28: Abbildung einer Fest-Variante

4.2.1.3 Identifikation von Muss-, Fest- und Kann-Varianten

Mit Hilfe der beschriebenen Konventionen können Kundensicht, technische Sicht und ggf. weitere Sichten von Variantenprodukte beschrieben werden. Durch eine entsprechende Abfrage der Merkmalsausprägungen können Muss-, Fest- und Kann-Varianten zudem jederzeit identifiziert werden. Schliesslich ist die Information über die Art der Varianten (Muss-, Fest-, Kann-Variante) implizit in der Kombination *Eigenschaft = Merkmal + Ausprägung* enthalten. Dies muss somit nicht explizit definiert werden, was lediglich zu redundanter Information führen würde.

4.2.2 Die Konfigurationsmatrix

Tabelle 28: Durch die K-Matrix erfüllte Anforderungen

Anforderung	erfüllt
Abzubildende Arten von K-Wissen	
strukturiertes K-Wissen:	
- Kundensicht	1
- technische Sicht	1
- Mapping zwischen beiden Sichten	1
- Verträglichkeiten technische Sicht	?
- Verträglichkeiten Kundensicht	?
erklärendes K-Wissen	?
unstrukturiertes K-Wissen	?

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt beschrieben wurde, wie die Kundensicht und technische Sicht beschrieben werden können, stellt sich nun zwangsläufig die Frage, wie die beiden Sichten miteinander zusammenhängen. Wie bereits erwähnt, ist die interessierende Information hier „*Welche Eigenschaften brauche ich in der technischen Sicht, um die in der Kundensicht geforderten Eigenschaften zu erfüllen?*“. Mit anderen Worten: es geht hier um die Übersetzung der Kundenwünsche in technische Produkteigenschaften. Dies erfolgt in der sogenannten *Konfigurationsmatrix (K-Matrix)*. Diese ist formal ein abgewandelter und für die Konfigurierung modifizierter Konstruktionskatalog (vgl. 3.6.2 „Konstruktionskataloge nach Roth“).

Während Kundensicht und technische Sicht des Produktes auf den Achsen der K-Matrix abgebildet werden, wird das Mapping in den Feldern der Matrix abgebildet. Dabei werden die Eigenschaften der technischen Sicht denen der Kundensicht durch

den Wert 1 im Schnittpunkt der zugehörigen Zeilen und Spalten zugeordnet (siehe Bild 29).

Die K-Matrix beschreibt folglich Kundensicht, technische Sicht und das Mapping und ist somit gewissermassen das „Herz“ der KVM. Der Name *Konfigurationsmatrix* entspringt der Erkenntnis, dass diese Matrix bei der Produktkonfiguration eine zentrale Rolle einnimmt.

		Fahrer		Personengrösse			Ausführung			Anhänger			Anhängerfarbe				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
Anhänger-Bereifung	hohes Profil								1									
	Slicks										1							
	normales Profil										1							
	keine									1								
Anhänger-Farbe	blau												1					
	gelb														1			
	rot											1						
	keine																1	
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A						1		1	1		1						
	nicht vorhanden						1	1	1		1							
Bereifung	Alu - hohes Profil										1							
	Alu - normales Profil						1											
	Alu - Slicks							1										
	Stahl - hohes Profil										1							
Federung	Federung Typ 1						1		1									
	nicht vorhanden								1									
Kindersitz	Kindersitz Typ 1						1		1								1	
	nicht vorhanden						1	1	1									1
Lenker	Mountain										1							
	Renn									1								
	Tour							1										
Rahmen-Grösse	26"			1														
	28"				1													
	30"					1												
Rahmen-Typ	Damen	1																
	Herren		1															
Schaltung	18-Gang						1											
	24-Gang							1										
	27-Gang								1									

Bild 29: Die K-Matrix des Fahrrades

4.2.2.1 Beliebige Sichten

Obwohl in den meisten Fällen Kundensicht und technische Sicht abgebildet werden, ist die K-Matrix auch geeignet, um andere Sichten aufeinander abzubilden, beispielsweise technische Sicht auf *CAD-Sicht* (z.B. die Parameter, mit denen ein CAD-Mastermodell konfiguriert werden kann). Desweiteren lassen sich verschiedene Sichten beliebig miteinander kombinieren. So können z.B. zwei K-Matrizen „seriell geschaltet“ werden, so dass zunächst die Kundensicht auf die technische Sicht und

dann die technische Sicht auf die CAD-Sicht abgebildet werden, siehe Bild 30.

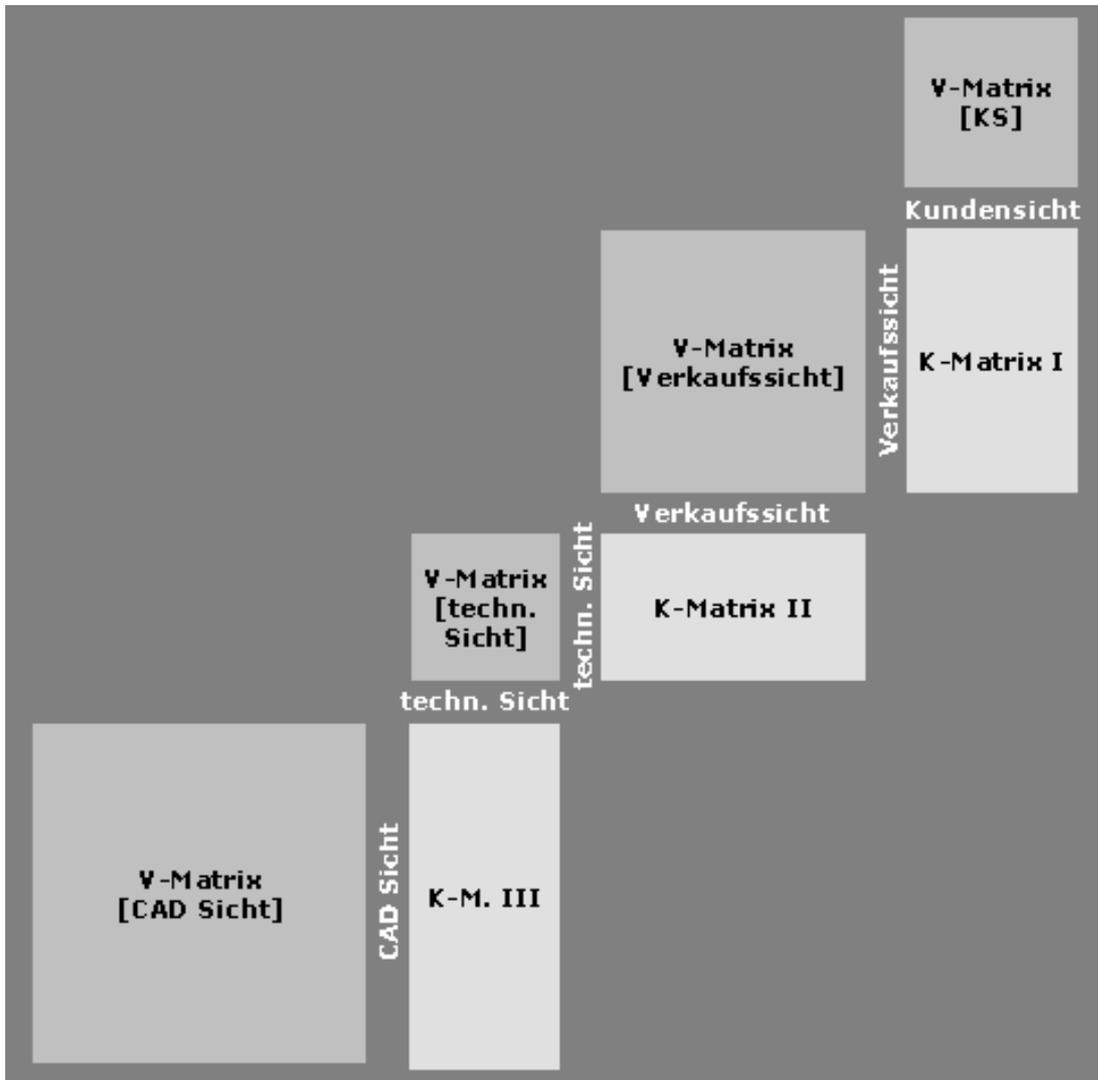


Bild 30: Mehrere Sichten eines Produktes

4.2.3 Die Verträglichkeitsmatrix

Tabelle 29: Durch die Verträglichkeitsmatrix erfüllte Anforderungen

Anforderung	erfüllt
Abzubildende Arten von K-Wissen	
strukturiertes K-Wissen:	
- Kundensicht	1
- technische Sicht	1
- Mapping zwischen beiden Sichten	1
- Verträglichkeiten technische Sicht	1
- Verträglichkeiten Kundensicht	1
erklärendes K-Wissen	?
unstrukturiertes K-Wissen	?

Nachdem die K-Matrix bereits einen wesentlichen Bestandteil des relevanten K-

Wissens abbildet, fehlt noch das Wissen über die Verträglichkeiten. Dazu dient die Verträglichkeitsmatrix. Diese gibt Antwort auf die Frage „*Welche Eigenschaften sind miteinander verträglich?*“.

4.2.3.1 Aufbau der V-Matrix

Die V-Matrix ist eine quadratische Matrix, Kopfzeile und -spalte sind also identisch. Dabei werden auf den beiden Achsen jeweils die Eigenschaften der gleichen Sicht als Zeilen- und Spaltenüberschriften aufgelistet. In den Feldern der Matrix kann nun angegeben werden, ob zwei Eigenschaften verträglich sind. Dies geschieht wie bei der K-Matrix mit dem Wert 1.

Aus der V-Matrix in Bild 31 ist so z.B. ersichtlich, dass ein Kindersitz nicht in Kombination mit einem Anhänger erhältlich ist. Zudem ist ersichtlich, dass Ausprägungen desselben Merkmals untereinander nicht verträglich sein können, so dass sich eine weiße Diagonale von Quadraten ergibt.

Desweiteren ist die Information über und unter der Diagonale redundant, da für jedes Paar von Eigenschaften zwei Schnittpunkte existieren. Um alle Eigenschaften miteinander zu vergleichen und die möglichen Kombinationen anzugeben, genügt es also, nur die Felder über oder unter der Diagonale zu definieren. Für die Übersichtlichkeit und einfache Interpretation der Matrix ist es aber dennoch von Vorteil, wenn die Information sowohl über wie auch unter der Diagonale dargestellt wird.

		Fahrer		Personengrösse			Ausführung			Anhänger			Anhängerfarbe				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
	Herr			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
	170 cm - 185 cm	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
Ausführung	Komfort	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Renn	1	1	1	1	1				1						1		1
	Mountain	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
Anhänger	geländegängig	1	1	1	1	1	1		1				1	1	1			1
	nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1							1	1	1
	strassengängig	1	1	1	1	1	1		1				1	1	1			1
Anhängerfarbe	rot	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1						1
	blau	1	1	1	1	1	1		1	1	1							1
	gelb	1	1	1	1	1	1		1	1	1							1
	keine	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1	1
Kindersitz	vorhanden	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			

Bild 32: Die V-Matrix der Kundensicht des Fahrrades

4.2.4 Die KVM als Zusammenspiel der drei Matrizen

Aus der Kombination der K-Matrix und der beiden V-Matrizen ergibt sich die KVM (siehe Bild 23 auf Seite 90). In den folgenden Abschnitten wird auf die einzelnen Elemente der KVM und die dafür gewählten Bezeichnungen genauer eingegangen.

4.2.4.1 Die drei Matrizen

Die KVM besteht aus den folgenden drei Matrizen:

- **K-Matrix** (siehe 4.2.2 „Die Konfigurationsmatrix“),
- **V-Matrix der technischen Sicht**, im folgenden **V-Matrix [TS]** genannt (siehe 4.2.3 „Die Verträglichkeitsmatrix“),
- **V-Matrix der Kundensicht**, im folgenden **V-Matrix [KS]** genannt.

4.2.4.2 Die Elemente der Matrizen

In Tabelle 30 sind alle Elemente der einzelnen Matrizen aufgeführt. In Bild 33 sind einige davon in einer K-Matrix dargestellt.

Die Grundelemente der KVM sind die Elemente der Kundensicht und technische Sicht beschreibenden SML (siehe auch Bild 33):

- **km**: Kundenmerkmale
- **kma**: Kundenmerkmalsausprägungen
- **tm**: technische Merkmale
- **tma**: technische Merkmalsausprägungen

Entsprechend 3.3 „Wissensrepräsentation durch Merkmale“ wird dann die Kombination von km und kma als *Kundeneigenschaft* bezeichnet. tm und tma sind analog dazu eine *technische Eigenschaft*.

Zusätzlich gibt es folgende Arten von Elementen (Tabelle 30 und Bild 33):

- **Zeilen**: Eine tma-Zeile z.B. beinhaltet alle Kreuze, die rechts neben einem tma liegen, eine tm-Zeile alle Kreuze rechts neben dem tm, d.h. neben allen zugehörigen tma. Je nach Matrix gibt es tm-, tma-, km- und kma-Zeilen.
- **Spalten**: Für Spalten gilt das gleiche wie für Zeilen, allerdings in vertikaler Richtung.
- **Schnittpunkte**: Mit einem tm-km-Schnittpunkt sind beispielsweise alle Kreuze gemeint, die sowohl zur entsprechenden tm-Zeile wie auch zur entsprechenden km-Spalte gehören.
- **Kreuze**: Als Kreuze werden die Beziehungen in den Feldern der Matrix bezeichnet. Datentechnisch entspricht ein Kreuz dem Wert 1, kein Kreuz dem Wert 0.

Tabelle 30: Die Elemente der Matrizen

	V-Matrix [TS]	K-Matrix	V-Matrix [KS]
Kundenmerkmal (km)		X	X
Kundenmerkmalsausprägung (kma)		X	X
Technisches Merkmal (tm)	X	X	
Technische Merkmalsausprägung (tma)	X	X	
tm-Zeile	X	X	
tm-Spalte	X		
tma-Zeile	X	X	
tma-Spalte	X		
km-Zeile			X
km-Spalte		X	X
kma-Zeile			X
kma-Spalte		X	X
tm-tm-Schnittpunkt	X		
tma-tma-Schnittpunkt	X		
km-km-Schnittpunkt			X
kma-kma-Schnittpunkt			X
tm-km-Schnittpunkt		X	
tma-kma-Schnittpunkt		X	

		Fährer		Personengrösse			Ausführung			Anhängertyp				Anhängerfarbe				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	
Anhängertyp	hohes Profil								1										
	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 33: Die Elemente der Matrizen

4.2.4.3 Eignung der KVM

Die KVM ist auf jedes Produkt, das sich durch SML beschreiben lässt, anwendbar. Dies trifft in erster Linie auf *strukturgebundene Baukastensysteme* zu. *Modulare Baukastensysteme* lassen sich nur bzgl. einiger Teilaspekte mit SML beschreiben, aber Informationen über beispielsweise die geometrische Anordnung der einzelnen Bausteine bei Lego-Spielzeug können mit vernünftigen Aufwand nicht mit SML beschrieben werden, da ja die Anzahl der Merkmale mit der Zahl der Bausteine steigen müsste.

Diese Beschränkung deckt sich mit den Anforderungen, vgl. 2.2.1 „Akzeptierbare Beschränkungen“.

Zudem ist die KVM bzgl. der Komplexität der abbildbaren K-Wissens limitiert (siehe auch 4.6.1 „Schwächen und Grenzen der KVM“), was sich ebenfalls mit den Anforderungen deckt (2.2.1 „Akzeptierbare Beschränkungen“).

Desweiteren ist die KVM nur für Anwendungsfälle geeignet, die der *Closed World Assumption* unterliegen (vgl. 2.2.1 „Akzeptierbare Beschränkungen“ und Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“).

4.2.5 Verifizierung der erforderlichen Eigenschaften

In diesem Abschnitt soll ein Teil der als Anforderungen genannten Eigenschaften der Methodik verifiziert werden. In Tabelle 31 sind diese hervorgehoben.

Tabelle 31: Durch die KVM erfüllte Anforderungen

Anforderung	erfüllt
Abzubildende Arten von K-Wissen	
strukturiertes K-Wissen:	
- Kundensicht	1
- technische Sicht	1
- Mapping zwischen beiden Sichten	1
- Verträglichkeiten technische Sicht	1
- Verträglichkeiten Kundensicht	1
erklärendes K-Wissen	?
unstrukturiertes K-Wissen	?
Erforderliche Eigenschaften der Methodik	
visuelle, übersichtliche Darstellung	1
einfach erlern- & anwendbar	1
keine spezielle Software nötig	1
Unterstützung durch Software möglich	?
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	1
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	?
Integrierbar in das Digitale Produkt	?
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):	
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	?
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator ("aufwärtskompatibel")	?

- **„Visuelle, übersichtliche Darstellung“:** Wie bereits in Kapitel 4 „Stand der Technik“ mehrfach hervorgehoben, eignen sich Matrizen grundsätzlich zur kompakten und übersichtlichen Darstellung von Beziehungen. Das Problem kann auf einen Blick erfasst werden, und es können ohne detaillierte Analyse des Inhaltes bereits qualitative Aussagen gemacht werden. Zudem sind die Matrizen der KVM durch die Beschränkung auf den Beziehungstyp „0“ oder „1“ und dessen farbliche Hervorhebung im Vergleich zu anderen Matrizen übersichtlicher. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, das gesamte K-Wissen auf drei Blättern - in Form der drei Matrizen - auszudrucken. Dies ist v.a. bei der Pflege von K-Wissen nützlich und ermöglicht ein vom Computer unabhängiges Arbeiten.
- **„Einfach erlern- und anwendbar“:** Matrizen sind eine vertraute Darstellungsform, wie die vielen, weitverbreiteten Methoden in Kapitel 4 „Stand der Technik“ zeigen. SML sind ebenfalls ein bekanntes Konzept, mit dem die meisten Mitarbeiter von Verkauf oder Technik bereits in Kontakt gekommen sein sollten.
- **„Keine spezielle Software nötig“:** Herkömmliche Tabellenkalkulationen eig-

nen sich sehr gut zur Darstellung und Eingabe der Matrizen. Mit Hilfe von Funktionen wie bedingter Formatierung und einigen einfachen Makros lassen sich die Matrizen sehr gut ohne spezielle Software handhaben.

- **„Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik“:** Wie in Bild 34 gezeigt, erfüllt die KVM die Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik. Während der Verkauf sein Know-How v.a. bzgl. der Kundensicht und deren V-Matrix einbringt, arbeitet die Technik an der technischen Sicht und deren V-Matrix. Das integrierende Element ist dabei die K-Matrix, die beide Sichten vereint. Die Brücke wird durch die in 4.3 „Unterstützung der Produktentwicklung“ beschriebenen Berechnungen ausgebaut.

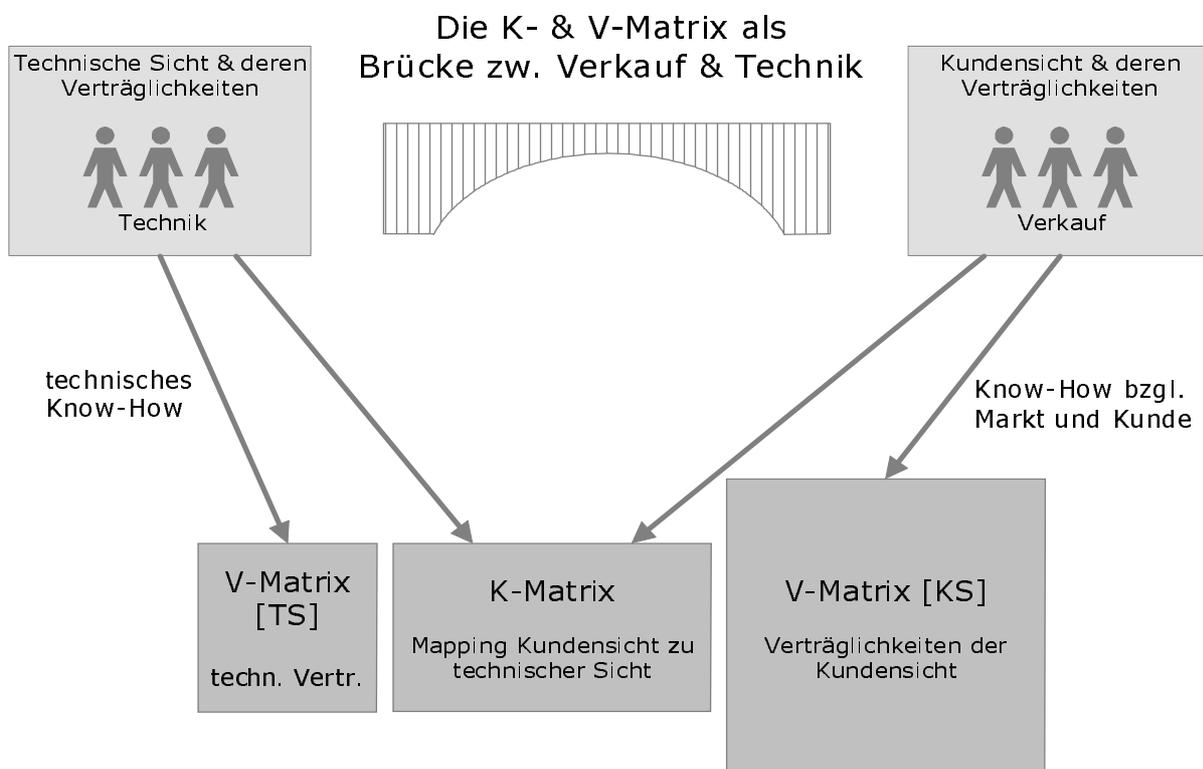


Bild 34: Die KVM als Brücke zwischen Verkauf & Technik

4.2.5.1 Ablauf bei der Konfigurierung auf Basis der KVM

Die auf Bild 8 auf Seite 26 basierende Bild 35 zeigt den Ablauf bei der Konfigurierung auf Basis der KVM.

Während der Konfigurierung der Kundensicht wird die V-Matrix [KS] überprüft, damit nur Kundeneigenschaften kombiniert werden, die auch verträglich sind. Sobald die relevanten Kundeneigenschaften bestimmt wurden, kann in die technische Sicht gewechselt werden. Dazu werden die gewählten Kundeneigenschaften

aufgrund des Mappings in der K-Matrix in technische Eigenschaften übersetzt.

In diesem Schritt wird wiederum die V-Matrix [TS] berücksichtigt, d.h. es werden nur Kombinationen von technischen Eigenschaften zugelassen, die verträglich sind.

Ist die technische Sicht durch das Mapping noch nicht eindeutig bestimmt, so können nun die restlichen technischen Eigenschaften direkt bestimmt werden - wiederum unter Berücksichtigung der V-Matrix [TS].

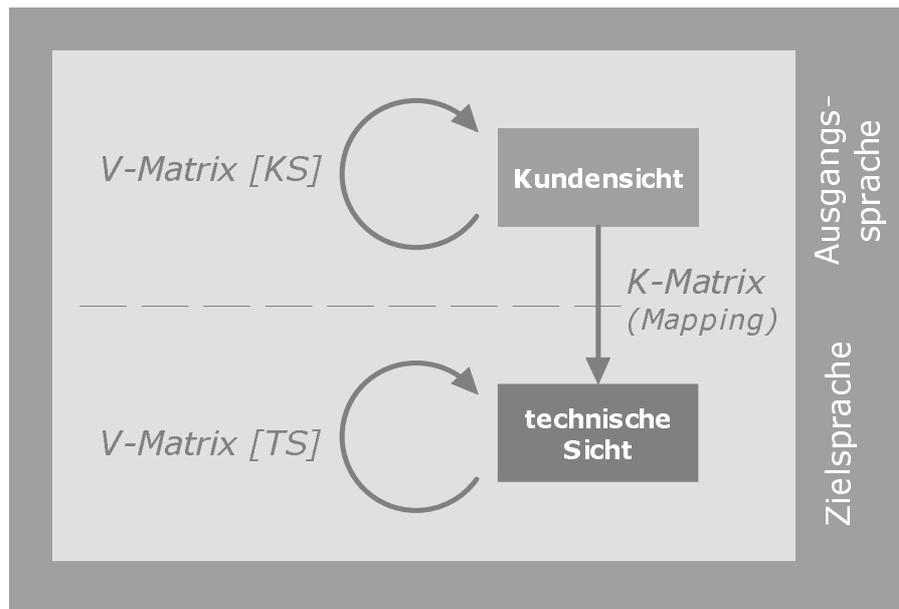


Bild 35: Konfiguration auf Basis der KVM

Zur Unterstützung der Konfiguration auf Basis der KVM wurde das K- & V-Matrix-System entwickelt (siehe Kapitel 6 „Das K- & V-Matrix-System“).

4.3 Unterstützung der Produktentwicklung

In Tabelle 32 ist die Anforderung „Unterstützung der Produktentwicklung“ in ihre Unteranforderungen entsprechend 2.4.2.6 „Unterstützung der Produktentwicklung durch zusätzlichen Nutzen“ aufgegliedert und hervorgehoben. Die folgenden Abschnitte widmen sich je einer dieser Unteranforderungen:

- 4.3.1 „Identifikation nicht erfüllbarer Kundenwünsche“ auf Seite 106
- 4.3.2 „Berechnung indirekter Unverträglichkeiten“ auf Seite 117
- 4.3.3 „Vorgabe und Berücksichtigung von zu erfüllenden Kundenwünschen“ auf Seite 125
- 4.3.4 „Aussagen über die interne und externe Vielfalt“ auf Seite 131

Tabelle 32: Anforderungen an die Unterstützung der Produktentwicklung

Anforderung	erfüllt
Abzubildende Arten von K-Wissen	
strukturiertes K-Wissen:	
- Kundensicht	1
- technische Sicht	1
- Mapping zwischen beiden Sichten	1
- Verträglichkeiten technische Sicht	1
- Verträglichkeiten Kundensicht	1
erklärendes K-Wissen	?
unstrukturiertes K-Wissen	?
Erforderliche Eigenschaften der Methodik	
visuelle, übersichtliche Darstellung	1
einfach erlern- & anwendbar	1
keine spezielle Software nötig	1
Unterstützung durch Software möglich	?
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	1
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen:	
- Identifikation nicht erfüllbarer Kundenwünsche	1
- Vorgabe von zu erfüllenden Kundenwünschen	1
- Berechnung indirekter Unverträglichkeiten	1
- Aussagen über die innere & äussere Vielfalt	1
Integrierbar in das Digitale Produkt	?
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):	
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	?
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator ("aufwärtskompatibel")	?

4.3.1 Identifikation nicht erfüllbarer Kundenwünsche

Wie Bild 36 andeutet, wird die Identifikation nicht erfüllbarer Kundenwünsche in mehreren Schritten durchgeführt. Die werden hintereinander, bei Unstimmigkeiten ggf. iterativ durchlaufen und in den folgenden Abschnitten beschrieben.

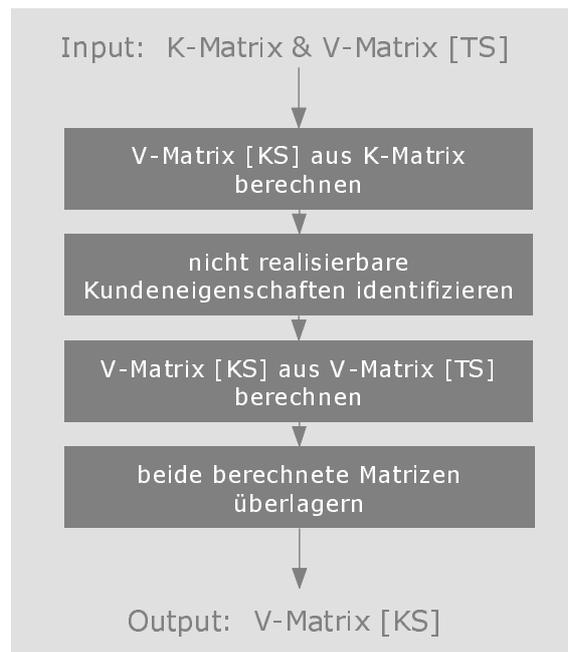


Bild 36: Die Identifikation nicht erfüllbarer Kundenwünsche

4.3.1.1 Berechnen der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix

Bereits aus der K-Matrix resultieren Unverträglichkeiten in der V-Matrix [KS]. Es handelt sich dabei um Kombinationen von Kundeneigenschaften, die aufgrund des Mappings in der K-Matrix zu keiner Lösung führen. Deshalb wird im ersten Schritt die V-Matrix [KS] aus der K-Matrix berechnet (Bild 37).

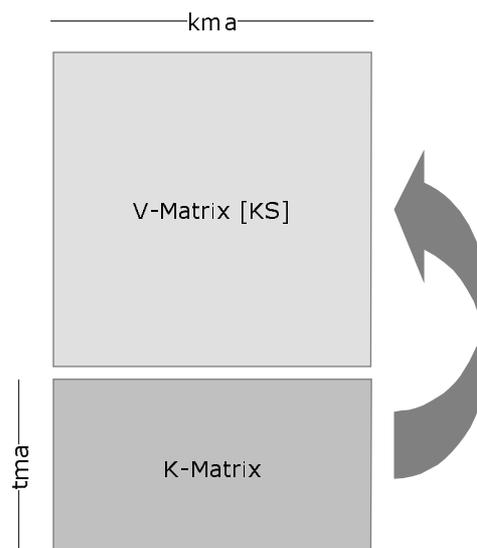


Bild 37: Berechnung der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix

• **Algorithmus zur Berechnung der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix**

Bei der Berechnung der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix wird von einer V-Matrix [KS] ohne jegliche Unverträglichkeiten ausgegangen. Wie in Bild 38 dargestellt, werden dann alle in dieser Matrix enthaltenen Verträglichkeiten einzeln auf Unverträglichkeit aufgrund der K-Matrix überprüft.

		Fahrer		Personengröße			Ausführung			Anhängerb Y			Anhängerfarbe				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
	Herr			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
	170 cm - 185 cm	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
Ausführung A	Komfort	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
	Mountain	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
Anhängerb	geländegängig	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
	strassengängig	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1
Anhängerfarbe	rot	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
	gelb	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
Kindersitz	vorhanden	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		

Bild 38: Überprüfung aller verträglichen kma-kma-Kombinationen

Am Beispiel der beiden kma x und y bedeutet dies, dass die beiden zugehörigen Spalten der K-Matrix wie in Bild 39 dargestellt verglichen werden. Dabei wird zu jedem tm, auf das die kmas x und y mappen, die tma-Schnittmenge der beiden Spalten berechnet. Ist diese zu mindestens einem tm leer (im Beispiel zu 'Anhängertyp'), so sind tma x und y unverträglich, und das entsprechende Kreuz in der V-Matrix [KS] wird entfernt.

Es sei an dieser Stelle betont, dass leere Schnittmengen zu einem tm durchaus erlaubt sind, allerdings nur, wenn eines der beiden kmas nicht auf dieses tm mappt (z.B. zu 'Anhängerbereifung' in Bild 39)!

Keine Schnittmenge, kma x und y mappen -> x und y unverträglich		Fahrer		Personengrösse			Ausführung A			Anhängerb B			Anhängerfarbe				Kindersitz		
		Dame	Herr	< 170 cm	170 cm - 185 cm	> 185 cm	x			y			rot	blau	gelb	keine	vorhanden	nicht vorhanden	
							Komfort	Renn	Mountain	geländegängig	nicht vorhanden	strassengängig							
Anhängerbereifung	hohes Profil																		
	Slicks																		
	normales Profil																		
	keine																		
AnhängerbFarbe	blau																		
	gelb																		
	rot																		
	keine																		
AnhängerbTyp	AnhängerbTyp 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 39: Überprüfung einer kma-kma-Kombination in der K-Matrix

Wird dieser Algorithmus auf die gesamte Matrix des Beispiels angewandt, so resultiert die V-Matrix [KS] in Bild 40.

		Fahrer		Personengrösse			Ausführung			Anhänger			Anhängfarbe				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
	Herr			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
	170 cm - 185 cm	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
Ausführung	Komfort	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Renn	1	1	1	1	1					1							
	Mountain	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
Anhänger	geländegängig	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
	strassengängig	1	1	1	1	1	1		1				1	1	1	1	1	1
Anhängfarbe	rot	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
	gelb	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
Kindersitz	vorhanden	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		

Bild 40: V-Matrix [KS] aus der K-Matrix berechnet

Ein Sonderfall tritt ein, wenn $k_{m \times x}$ und/oder y auf gar kein t_m mappen. Die $k_{m \times x}$ und y werden dann unverträglich gemacht. Siehe dazu A.2 „Leere $k_{m \times x}$ -Spalten in der K-Matrix“.

Indirekte Unverträglichkeiten (siehe 4.3.2 „Berechnung indirekter Unverträglichkeiten“) müssen an dieser Stelle noch keine berechnet werden, dies geschieht später.

• **Anwendung, Interpretation und Nutzen der Berechnung**

Die Berechnung der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix ermöglicht es, die in der K-Matrix enthaltenen Unverträglichkeiten zu identifizieren. So wird aus diesem Beispiel ersichtlich, dass der Wunsch nach einer Renn-Ausführung weder mit einem gelände- oder strassengängigem Anhänger noch mit einem Kindersitz vereinbar ist. Diese Information war vorher nur implizit in der K-Matrix enthalten. D.h. die beiden $k_{m \times x}$ waren gemeinsam wählbar, das Durchführen des Mappings auf die technische Sicht hätte aber zu einem t_m ohne wählbare Ausprägung (*‘Anhängertyp’*) geführt. Das Berechnen und visuelle Darstellen dieser Information in der V-Matrix [KS] macht diese Unverträglichkeit zum einen sichtbar, und zum anderen verhindert es Inkonsistenzen bei der Konfigurierung.

Um diese Unverträglichkeit aufzuheben, muss die K-Matrix geändert werden. In deren aktuellem Zustand hat das k_m 'Ausführung' nämlich einen Einfluss auf die t_m 'Anhänger-Typ' und 'Kindersitz'. Hinter diesen beiden Mappings versteckt sich Verträglichkeitsinformation, die - auf die V-Matrix [KS] projiziert - zu obigen Unverträglichkeiten führt.

In der Regel sollten generell möglichst wenige solcher impliziten Unverträglichkeiten in der K-Matrix enthalten sein, da man die Wahlmöglichkeiten des Kunden nicht unnötig einschränken möchte. Ausserdem wird die KVM so unnötig verkompliziert, was insbesondere bei realen und somit komplizierteren Produkten problematisch ist.

Wie weiter unten gezeigt wird, lassen sich ungewünschte Kombinationen von Kundenwünschen mit geeigneteren Mitteln unverträglich machen.

- **Eine Kennzahl für den Einfluss der K-Matrix auf die V-Matrix [KS]**

Als Anhaltspunkt für die Grösse des Einflusses der K-Matrix auf die V-Matrix [KS] kann folgende Kennzahl berechnet werden:

$$K_{\text{V-Matrix [KS] aus K-Matrix}} = \frac{n_{\text{Unvertr. in V-Matrix [KS] aus K-Matrix}}}{n_{\text{Unvertr. max}}}$$

Dabei steht $n_{\text{Unvertr. in V-Matrix [KS] aus K-Matrix}}$ für die Anzahl der Unverträglichkeiten aus der K-Matrix in der V-Matrix [KS] und $n_{\text{Unvertr. max}}$ für die maximal mögliche Anzahl Unverträglichkeiten, d.h. alle Felder der V-Matrix [KS].

Auch wenn diese Kennzahl bei realen K-Matrizen kaum Null sein wird, sollte versucht werden, sie möglichst klein zu halten.

4.3.1.2 Identifikation nicht realisierbarer Kundeneigenschaften

In diesem Abschnitt wird überprüft, welche *Kundeneigenschaften* aufgrund der V-Matrix [TS] nicht realisierbar sind.

Wenn z.B. die t_{ma} 'Anhänger-Typ: Anhänger Typ A' und 'Anhänger-Bereifung: hohes Profil' nicht verträglich wären, dann könnte das k_{ma} 'Anhänger: geländegängig' gar nicht gewählt werden, da es zu einer ungültigen Lösung führen würde (vgl. Bild 39).

Folglich muss für jedes k_{ma} überprüft werden, ob sich innerhalb der gemappten t_{ma} mindestens eine Kombination findet, die laut V-Matrix [TS] verträglich ist. Ist dies nicht der Fall, so muss entweder die K-Matrix oder die V-Matrix [TS] geändert oder das k_{ma} entfernt werden.

4.3.1.3 Berechnen der V-Matrix [KS] aus der V-Matrix [TS]

Im nächsten Schritt werden die Unverträglichkeiten in der V-Matrix [KS] aus der V-Matrix [TS] berechnet. Dabei handelt es sich um Kombinationen von kma (z.B. x und y in Bild 42), die auf tma mappen, die nicht verträglich sind (siehe Bild 42 und 43). Durch diese Berechnung wird also der Einfluss der Verträglichkeiten der technischen Sicht auf die Verträglichkeiten der Kundensicht analysiert.

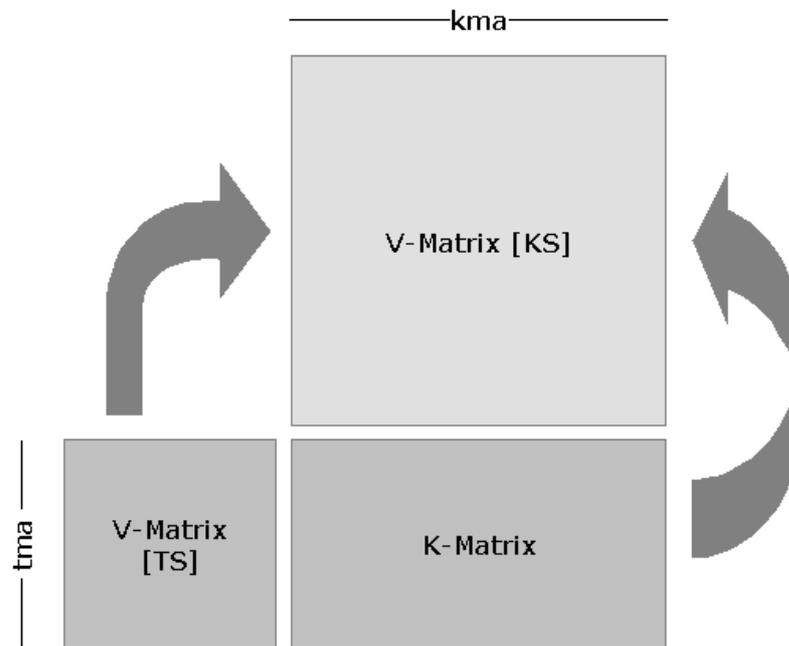


Bild 41: Berechnen der V-Matrix [KS] aus der V-Matrix [TS]

- **Algorithmus zur Berechnung der V-Matrix [KS] aus der V-Matrix [TS]**

Ähnlich wie in 4.3.1.1 „Berechnen der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix“ wird hier für jede verträgliche kma-kma-Kombination der V-Matrix [KS] überprüft, ob sie auch unter Berücksichtigung der V-Matrix [TS] zu einer Lösung führt.

		Fahrer		Personengröße			Ausführung A			Anhänger			Anhängfarbe B				Kindersitz	
		Dame	Herr	< 170 cm	170 cm - 185 cm	> 185 cm	Komfort	x Renn	Mountain	geländegängig	nicht vorhanden	strassengängig	y rot	blau	gelb	keine	vorhanden	nicht vorhanden
Anhänger-Bereifung	hohes Profil									1								
	Slicks												1					
	normales Profil													1				
Anhänger-Farbe	keine										1							
	blau														1			
	gelb															1		
	rot													1				
Anhänger-Typ	keine															1		
	Anhänger Typ A						1		1	1			1					
	nicht vorhanden						1	1	1		1							
Bereifung	Alu - hohes Profil								1									
	Alu - normales Profil						1											
	Alu - Slicks							1										
	Stahl - hohes Profil								1									
Federung	Federung Typ 1						1		1									
	nicht vorhanden							1										
Kindersitz	Kindersitz Typ 1						1		1								1	
	nicht vorhanden						1	1	1									1
Lenker	Mountain								1									
	Renn							1										
	Tour						1											
Rahmen-Größe	26"			1														
	28"				1													
	30"					1												
Rahmen-Typ	Damen	1																
	Herren		1															
Schaltung	18-Gang						1											
	24-Gang							1										
	27-Gang								1									

Bild 42: Aus der Wahl von kma x und y resultierende tma (grau unterlegt)

In Bild 42 ergibt sich z.B., dass die aus der Wahl von kma x und y resultierenden tma (in Bild 42 grau unterlegt) keine Lösung sein können. Denn bei einer Überprüfung der V-Matrix [TS] ist schon deren erste tma-tma-Kombination ('Anhängfarbe: rot' mit 'Anhängertyp: nicht vorhanden') unverträglich (siehe Bild 43).

		Anhängerbereifung				Anhängers-Farbe				Anhängers-Typ		Bereifung			
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhängers Typ A	nicht vorhanden	Alu - hohes Profil	Alu - normales Profil	Alu - Slicks	Stahl - hohes Profil
Anhängers-Bereifung	hohes Profil					1	1	1		1		1	1	1	1
	Slicks						1	1	1	1		1	1	1	1
	normales Profil					1	1	1		1		1	1	1	1
	keine								1	1		1	1	1	1
Anhängers-Farbe	blau	1	1	1						1		1	1	1	1
	gelb	1	1	1						1		1	1	1	1
	rot	1	1	1						1		1	1	1	1
	keine				1					1		1	1	1	1
Anhängers-Typ	Anhängers Typ A	1	1	1		1	1	1				1	1	1	1
	nicht vorhanden				1				1			1	1	1	1
Bereifung	Alu - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	Alu - normales Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	Alu - Slicks	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	Stahl - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

Bild 43: Unverträgliche tma-tma-Kombination der Lösung (Ausschnitt aus der V-Matrix [TS])

Geht man von einer V-Matrix [KS] ohne jegliche Unverträglichkeiten aus, so resultiert die Matrix in Bild 44. V.a. die technische Unverträglichkeit zwischen Kindersitz und Anhänger führt zu einigen Unverträglichkeiten in der Kundensicht.

		Fahrer		Personengrösse			Ausführung			Anhänger			Anhängerfarbe				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
	Herr			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
	170 cm - 185 cm	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
Ausführung	Komfort	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
	Mountain	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Anhänger	geländegängig	1	1	1	1	1	1		1				1	1	1				1
	nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1								1	1	1
	strassengängig	1	1	1	1	1	1		1				1	1	1				1
Anhängerfarbe	rot	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1							1
	blau	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1
	gelb	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1							1
	keine	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		
	nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

Bild 44: V-Matrix [KS], berechnet aus der V-Matrix [TS]

• **Eine Kennzahl für den Einfluss der V-Matrix [TS] auf die V-Matrix [KS]**

Als Anhaltspunkt für die Grösse des Einflusses der V-Matrix [TS] auf die V-Matrix [KS] kann folgende Kennzahl berechnet werden:

$$K_{\text{V-Matrix [KS] aus V-Matrix [TS]}} = \frac{n_{\text{Unvertr. in V-Matrix [KS] aus V-Matrix [TS]}}}{n_{\text{Unvertr. max}}}$$

Dabei steht $n_{\text{Unvertr. in V-Matrix [KS] aus V-Matrix [TS]}}$ für die Anzahl der Unverträglichkeiten aus der V-Matrix [TS] in der V-Matrix [KS] und $n_{\text{Unvertr. max}}$ für die maximal mögliche Anzahl Unverträglichkeiten. Auch diese Kennzahl sollte möglichst klein gehalten werden.

4.3.1.4 Überlagerung der Unverträglichkeiten aus K-Matrix und V-Matrix [TS]

Die in 4.3.1.3 „Berechnen der V-Matrix [KS] aus der V-Matrix [TS]“ berechneten Unverträglichkeiten können identisch mit den in 4.3.1.1 „Berechnen der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix“ berechneten sein, müssen aber nicht.

Beide Arten von Unverträglichkeiten müssen deshalb überlagert werden. Im vorliegenden Beispiel entsteht daraus die V-Matrix [KS] in Bild 45. Diese beschreibt nun alle Kombinationen von Kundenwünschen, die mit dem vorliegenden Produkt nicht erfüllt werden können.

Nachdem die Unverträglichkeiten überlagert wurden, müssen normalerweise die indirekten Unverträglichkeiten (siehe 4.3.2 „Berechnung indirekter Unverträglichkeiten“) berechnet werden. In diesem Beispiel existieren aber keine solchen.

		Fahrer	Personengröße	Ausführung	Anhänger	Anhängerfarbe	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 Herr		1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1
Personengröße	< 170 cm 170 cm - 185 cm > 185 cm	1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1
Ausführung	Komfort Renn Mountain	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1
Anhänger	geländegängig nicht vorhanden strassengängig	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1
Anhängerfarbe	rot blau gelb keine	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1 1 1
Kindersitz	vorhanden nicht vorhanden	1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1

Legende:

- Unverträglichkeiten aus K-Matrix
- Unverträglichkeiten aus V-Matrix [TS]
- Unverträglichkeiten aus K-Matrix & V-Matrix [TS]

Bild 45: Überlagerung der Unverträglichkeiten aus der K-Matrix und der V-Matrix [TS]

4.3.1.5 Anwendung, Nutzen und Interpretation der Berechnung

Die vorgestellten Berechnungen ermöglichen die Identifikation von nicht erfüllbaren Kundenwünschen sowie die Ermittlung von deren Ursachen. In einem nächsten Schritt können ausgehend davon wiederum unbedingt zu erfüllende Kundenwünsche vorgegeben werden und daraus Soll-Verträglichkeiten für die technische Sicht berechnet werden. Diese technischen Soll-Verträglichkeiten müssen dann von den

Produktentwicklern unbedingt erfüllt werden. Siehe dazu die detaillierten Ausführungen in 4.3.3 „Vorgabe und Berücksichtigung von zu erfüllenden Kundenwünschen“.

4.3.2 Berechnung indirekter Unverträglichkeiten

Wie bereits in 2.4.2.6 „Unterstützung der Produktentwicklung durch zusätzlichen Nutzen“ erläutert, ist eine *indirekte Unverträglichkeit* eine Unverträglichkeit, die nicht explizit angegeben wird, sondern aus zwei anderen Unverträglichkeiten folgt. Diese beiden anderen Unverträglichkeiten können direkte, d.h. angegebene Unverträglichkeiten sein, oder ebenfalls indirekte.

Die Identifikation und übersichtliche Darstellung von indirekten Unverträglichkeiten ist Teil der Anforderungen.

4.3.2.1 Die Bedeutung indirekter Unverträglichkeiten

Erstellt man die V-Matrix der technischen Sicht eines Produktes, so wird man damit beginnen, bestimmte charakteristische Unverträglichkeiten anzugeben. In Bild 46 sind beispielsweise ‚*Kindersitz Typ 1*‘ und ‚*Anhänger-Typ A*‘ nicht miteinander verträglich, da diese nicht gleichzeitig am Fahrrad befestigt werden können. Desweiteren ist ‚*Anhänger-Typ A*‘ nicht mit ‚*Anhänger-Bereifung: keine*‘ verträglich, da ein eventuell vorhandener Anhänger auch einer entsprechenden Bereifung bedarf, usw. Dies sind explizit bekannte und direkt in der Matrix definierte Verträglichkeiten (Bild 46).

Führt man aber eine Überprüfung weiterer Felder durch, z.B. der Verträglichkeit zwischen ‚*Kindersitz Typ 1*‘ und ‚*Anhänger-Bereifung: hohes Profil*‘, so ergibt sich, dass diese Merkmalsausprägungen nicht miteinander verträglich sein können (Bild 48). Denn einerseits ist ja der Kindersitz mit dem Anhänger unvereinbar, andererseits ist eine Anhänger-Bereifung ohne Anhänger ebenfalls nicht realisierbar. Die indirekten Unverträglichkeiten können direkt aus der Information in der V-Matrix berechnet werden (Bild 48) und müssen nicht explizit definiert werden (vgl. [Kohlhase 1997]).

In grossen V-Matrizen wird es sehr schwierig, solche indirekten Unverträglichkeiten zu erkennen. Aus diesem Grunde wurde für die Berechnung der *indirekten Unverträglichkeiten* aus den *direkten Unverträglichkeiten* ein Algorithmus entwickelt (siehe 4.3.2.4).

4.3.2.2 Anwendung, Nutzen und Interpretation der Berechnung

Die Berechnung der indirekten Unverträglichkeiten ist in der Produktentwicklung hilfreich. Mit ihr kann nämlich im voraus analysiert und übersichtlich dargestellt werden, welche Kombinationen von Kundenwünschen mit den existierenden Verträglichkeiten tatsächlich erfüllt werden können. Sonst könnte es vorkommen, dass erst bei der Konfigurierung des Produktes festgestellt wird, dass eine bestimmte Kombination von Kundenwünschen aufgrund indirekter Unverträglichkeiten nicht realisierbar ist. Im oben genannten Beispiel liegt dies zwar auf der Hand, in komplexen Beispielen aus der Praxis ist es meist aber nicht so einfach ersichtlich.

4.3.2.3 Wann treten indirekte Unverträglichkeiten auf?

Grundsätzlich treten indirekte Unverträglichkeiten in folgendem Fall auf (siehe dazu Bild 46 und 47):

Wenn in einer tm-Zeile (zu tm C) in zwei unterschiedlichen tm-tm-Schnittpunkten (tm C - tm A sowie tm C - tm B) sich je eine Spalte befindet, die beide zusammen keine gemeinsame Schnittmenge haben (die hervorgehobenen Spalten zu tma x und y), dann ergibt dies eine indirekte Unverträglichkeit im Schnittpunkt von tm A und tm B, und zwar zwischen tma X und tma Y.

		Anhängers-Bereifung A				Anhängers-Farbe B			Anhängers-Typ C		Bereifung	Federung	Kindersitz	Lenker	Rahmen-Grösse	Rahmen-Typ	Schaltung
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhängers Typ A nicht vorhanden							
Anhängers-Bereifung A	hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Slicks					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	normales Profil	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
Anhängers-Farbe B	blau	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
	rot	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
Anhängers-Typ C	Anhängers Typ A nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bereifung	Alu - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Alu - normales Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Alu - Slicks	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Stahl - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Federung	Federung Typ 1 nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kindersitz	Kindersitz Typ 1 nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lenker	Mountain	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
	Tour	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rahmen-Grösse	26"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	28"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	30"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rahmen-Typ	Damen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Herren	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schaltung	18-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	24-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	27-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bild 46: V-Matrix mit noch nicht berechneten indirekten Unverträglichkeiten

		Anhängers-Bereifung A				Anhängers-Farbe B			Anhängers-Typ C				
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhängers Typ A nicht vorhanden			
indirekt unverträglich													
Keine Schnittmenge!													
Anhängers-Bereifung A	hohes Profil	x				1	1	1	1	1	1	1	1
	Slicks					1	1	1	1	1	1	1	1
	normales Profil	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
Anhängers-Farbe B	blau	1	1	1	1					1	1	1	1
	gelb	1	1	1	1					1	1	1	1
	rot	1	1	1	1					1	1	1	1
	keine	1	1	1	1					1	1	1	1
Anhängers-Typ C	Anhängers Typ A nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bild 47: V-Matrix mit einer berechneten indirekten Unverträglichkeit (siehe Kreis)

indirekte Unverträglichkeiten		Anhängers-Bereifung			Anhängers-Farbe			Anhängers-Typ		Bereifung				Federung		Kindersitz		Lenker			Rahmen-Grösse			Rahmen-Typ		Schaltung				
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhängers Typ A	nicht vorhanden	Alu - hohes Profil	Alu - normales Profil	Alu - Slicks	Stahl - hohes Profil	Federung Typ 1	nicht vorhanden	Kindersitz Typ 1	nicht vorhanden	Mountain	Renn	Tour	26"	28"	30"	Damen	Herren	18-Gang	24-Gang	27-Gang
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhängers Typ A	nicht vorhanden	Alu - hohes Profil	Alu - normales Profil	Alu - Slicks	Stahl - hohes Profil	Federung Typ 1	nicht vorhanden	Kindersitz Typ 1	nicht vorhanden	Mountain	Renn	Tour	26"	28"	30"	Damen	Herren	18-Gang	24-Gang	27-Gang
Anhängers-Bereifung	hohes Profil				1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Slicks				1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	normales Profil				1	1	1				1	1	1	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	1	1	1	1	1	1
Anhängers-Farbe	blau	1	1	1							1	1	1	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	1	1	1	1	1	1
	rot	1	1	1							1	1	1	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	1	1	1	1	1	1
Anhängers-Typ	Anhängers Typ A	1	1	1							1	1	1	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	1	1	1	1	1	1
Bereifung	Alu - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Alu - normales Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Alu - Slicks	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Stahl - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Federung	Federung Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kindersitz	Kindersitz Typ 1				1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lenker	Mountain	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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		1	1	1	1	1	1	1	1
	Tour	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rahmen-Grösse	26"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	28"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	30"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rahmen-Typ	Damen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Herren	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schaltung	18-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	24-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	27-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bild 48: V-Matrix mit allen indirekten Unverträglichkeiten

Die obige Regel gilt natürlich genauso auch für die V-Matrix [KS]. Man muss dann lediglich ‚tm‘ und ‚tma‘ mit ‚km‘ und ‚kma‘ ersetzen.

4.3.2.4 Die Berechnung indirekter Unverträglichkeiten

Während die visuelle Erkennung indirekter Unverträglichkeiten aufgrund obiger Regel bei kleinen Matrizen durchaus möglich ist, können diese aber auch mit einem einfachen Algorithmus berechnet werden.

Göker schlägt vor, die indirekten Unverträglichkeiten auf Basis des Lösungsbaumes zu ermitteln [Göker 1996]: Wenn zwei Bausteine nicht miteinander verträglich sind, wird der Ast nicht weiterverfolgt und die folgenden Kombinationen nicht mehr überprüft. Hier wird die Berechnung aber direkt auf Basis der Matrix vorgeschlagen:

Es werden nacheinander alle Verträglichkeiten der V-Matrix überprüft. Dabei wird zu jeder Verträglichkeit zwischen zwei tma x und y die tma-Schnittmenge der zugehörigen Spalten berechnet. Findet sich in dieser zu mindestens einem tm kein zugehöriges tma (wie dies z.B. in Bild 47 bei tm C der Fall ist), dann sind die beiden tma x

und y indirekt unverträglich. Natürlich werden dabei die leeren Felder auf der Diagonalen ignoriert. D.h. bei der Überprüfung der beiden t_{ma} x und y wird die Schnittmenge der beiden Spalten bzgl. der t_m A und B nicht betrachtet, da diese sowieso nur leer sein kann.

Die Anwendung dieses Algorithmus' auf die V-Matrix in Bild 46 führt zu der V-Matrix in Bild 48.

Abschliessend sei zur Berechnung indirekter Unverträglichkeiten gesagt, dass sich aus den indirekten Unverträglichkeiten nicht umgekehrt wieder die ursprünglichen Unverträglichkeiten berechnen lassen.

4.3.2.5 Mehrfach indirekte Unverträglichkeiten

In den oben beschriebenen Beispielen sind indirekte Unverträglichkeiten aufgrund direkt angegebener Unverträglichkeiten entstanden. Es ist möglich, dass durch so entstandene indirekte Unverträglichkeiten wiederum indirekte Unverträglichkeiten entstehen. Diese werden im folgenden *mehrfach indirekte Unverträglichkeiten* genannt.

Als Beispiel sei die V-Matrix [TS] mit Unverträglichkeiten zwischen Schaltung und Lenker, Federung und Lenker sowie Schaltung und Rahmen-Typ herangezogen (Bild 49). Die Berechnung der indirekten Unverträglichkeiten ergibt dann die Matrix in Bild 50 mit daraus folgenden indirekten Unverträglichkeiten zwischen Lenker und Rahmen-Typ sowie Schaltung und Federung.

		Anhänger-Bereifung			Anhänger-Farbe				Anhänger-Typ		Bereifung				Federung		Kindersitz		Lenker			Rahmen-Grösse			Rahmen-Typ		Schaltung				
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhänger Typ A	nicht vorhanden	Alu - hohes Profil	Alu - normales Profil	Alu - Slicks	Stahl - hohes Profil	Federung Typ 1	nicht vorhanden	Kindersitz Typ 1	nicht vorhanden	Mountain	Renn	Tour	26"	28"	30"	Damen	Herren	18-Gang	24-Gang	27-Gang	
Anhänger-Bereifung	hohes Profil					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Slicks					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	normales Profil					1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Anhänger-Farbe	blau	1	1	1	1					1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	rot	1	1	1	1					1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Bereifung	Alu - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Alu - normales Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Alu - Slicks	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Stahl - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Federung	Federung Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Kindersitz	Kindersitz Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Lenker	Mountain	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Tour	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Rahmen-Grösse	26"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	28"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	30"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Rahmen-Typ	Damen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Herren	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Schaltung	18-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	24-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	27-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Bild 49: V-Matrix [TS] vor der Berechnung indirekter und mehrfach indirekter Unverträglichkeiten

		Anhänger-Bereifung				Anhänger-Farbe			Anhänger-Typ				Bereifung				Federung		Kindersitz			Lenker			Rahmen-Grösse			Rahmen-Typ		Schaltung			
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhänger Typ A	nicht vorhanden	Alu - hohes Profil	Alu - normales Profil	Alu - Slicks	Stahl - hohes Profil	Federung Typ 1	nicht vorhanden	Kindersitz Typ 1	nicht vorhanden	Mountain	Renn	Tour	26"	28"	30"	Damen	Herren	18-Gang	24-Gang	27-Gang			
Anhänger-Bereifung	hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Slicks					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	normales Profil					1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1			
Anhänger-Farbe	blau	1	1	1	1					1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1			
	rot	1	1	1	1					1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1			
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A	1	1	1	1	1	1	1	1					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	1	1	1	1	1	1	1	1			
Bereifung	Alu - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	Alu - normales Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	Alu - Slicks	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	Stahl - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Federung	Federung Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1					1	1	1	1	1			
Kindersitz	Kindersitz Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Lenker	Mountain	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	Tour	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Rahmen-Grösse	26"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	28"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	30"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Rahmen-Typ	Damen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	Herren	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Schaltung	18-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	24-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	27-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

Bild 50: V-Matrix [TS] nach der Berechnung der indirekten Unverträglichkeiten

Betrachtet man diese Matrix genau, so erkennt man, dass eine weitere indirekte Unverträglichkeit, und zwar zwischen Federung und Rahmen-Typ existiert. Diese resultiert aus den indirekten Unverträglichkeiten zwischen Lenker (bzw. Schaltung) und Federung sowie Lenker (bzw. Schaltung) und Rahmen-Typ. Siehe dazu Bild 51.

		Anhängerbereifung				Anhängers-Farbe			Anhängers-Typ		Bereifung				Federung		Kindersitz		Lenker			Rahmen-Grösse			Rahmen-Typ		Schaltung			
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhängers Typ A	nicht vorhanden	Alu - hohes Profil	Alu - normales Profil	Alu - Slicks	Stahl - hohes Profil	Federung Typ 1	nicht vorhanden	Kindersitz Typ 1	nicht vorhanden	Mountain	Renn	Tour	26"	28"	30"	Damen	Herren	18-Gang	24-Gang	27-Gang
Anhängers-Bereifung	hohes Profil					1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Slicks					1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	normales Profil					1	1	1	1			1	1	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	1	1	1	1	1	1
Anhängers-Farbe	blau	1	1	1	1					1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1
	rot	1	1	1	1					1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1
Anhängers-Typ	Anhängers Typ A	1	1	1	1	1	1	1	1			1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bereifung	Alu - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Alu - normales Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Alu - Slicks	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Stahl - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Federung	Federung Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kindersitz	Kindersitz Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lenker	Mountain	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tour	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rahmen-Grösse	26"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	28"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	30"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rahmen-Typ	Damen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Herren	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schaltung	18-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	24-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	27-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bild 51: V-Matrix [TS] nach der Berechnung indirekter und mehrfach indirekter Unverträglichkeiten

Die aus der Berechnung der mehrfach indirekten Unverträglichkeiten gewonnene Erkenntnis über das Produkt ist folgende: Ein Fahrrad mit 'Rahmentyp: Damen' hat automatisch auch eine Federung, da alle Damen-Fahrräder 18- bzw. 24-Gänge haben und andererseits alle Fahrräder mit 18- bzw. 24-Gängen nicht ohne Federung erhältlich sind. Letzteres folgt wiederum als indirekte Unverträglichkeit daraus, dass Fahrräder mit 18- bzw. 24-Gängen nur mit Tourenlenker und Tourenlenker nur mit Federung erhältlich sind.

4.3.2.6 Die Berechnung mehrfach indirekter Unverträglichkeiten

Das Problem bei der Berechnung mehrfach indirekter Unverträglichkeiten ist, dass diese nicht unbedingt bei der einmaligen Anwendung des Algorithmus' in 4.3.2.4 „Die Berechnung indirekter Unverträglichkeiten“ erkannt werden: Wenn nämlich die mehrfach indirekte Unverträglichkeit überprüft wird, bevor die „verursachenden“

indirekten Unverträglichkeiten berechnet wurden, dann kann die mehrfach indirekte Unverträglichkeit nicht erkannt werden. Deshalb muss der obige Algorithmus so oft angewendet werden, bis keine indirekten Unverträglichkeiten mehr erkannt werden.

4.3.2.7 Kennzahl für indirekte Unverträglichkeiten

Als Anhaltspunkt für die indirekten Unverträglichkeiten kann wiederum eine Kennzahl berechnet werden:

$$K_{\text{ind. Unvertr.}} = \frac{n_{\text{ind. Unvertr.}}}{n_{\text{Unvertr. max}}}$$

Dabei steht $n_{\text{ind. Unvertr.}}$ für die Anzahl der indirekten Unverträglichkeiten und $n_{\text{Unvertr. max}}$ für die maximal mögliche Anzahl Unverträglichkeiten. Ist diese Kennzahl gross, sollte die V-Matrix gründlich dahingehend überprüft werden, ob evtl. inakzeptable Unverträglichkeiten entstanden sind.

Wenn mehrfach indirekte Unverträglichkeiten existieren, müssen die Kennzahlen nach jeder Berechnung addiert werden.

4.3.3 Vorgabe und Berücksichtigung von zu erfüllenden Kundenwünschen

Auch hier wird in mehreren Schritten vorgegangen, wie Bild 52 andeutet. Die zu erfüllenden Kundenwünsche werden in der V-Matrix [KS] vorgegeben. Daraus werden dann die technischen Soll-Verträglichkeiten in der V-Matrix [TS] berechnet.

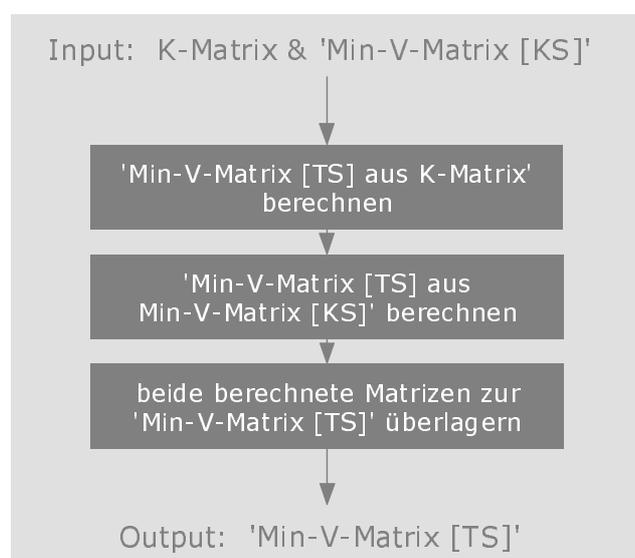


Bild 52: Vorgehen bei der Vorgabe von zu erfüllenden Kundenwünschen

4.3.3.1 Erstellen der ‚Min-V-Matrix [KS]‘

Zunächst wird die sogenannte ‚Min-V-Matrix [KS]‘ (*Min* steht für *Minimal*) aufgestellt, in der die zwingend als verträglich vorgeschriebenen Kombinationen von Kundeneigenschaften (die *minimalen* Verträglichkeiten) definiert werden. Dies wird vom Verkauf durchgeführt (entsprechend Bild 34 auf Seite 104).

Nach dem Festlegen der minimalen Verträglichkeiten müssen die indirekten Unverträglichkeiten berechnet werden. Danach muss durch den Verkauf überprüft werden, ob dabei Unverträglichkeiten entstanden sind, die für das Produkt nicht akzeptabel sind. In diesem Fall müsste die ‚Min-V-Matrix [KS]‘ nochmals überarbeitet werden.

Ebenso muss überprüft werden, ob die ‚Min-V-Matrix [KS]‘ nicht Verträglichkeiten enthält, die aufgrund der K-Matrix gar nicht möglich sind. Dies kann mit Hilfe der Berechnungen in 4.3.1.1 geschehen.

4.3.3.2 Berechnen der ‚Min-V-Matrix [TS] aus der K-Matrix‘

Bevor die ‚Min-V-Matrix [KS]‘ in die ‚Min-V-Matrix [TS]‘ einfließt, muss zunächst die V-Matrix [TS] aus der K-Matrix berechnet werden (Bild 53).

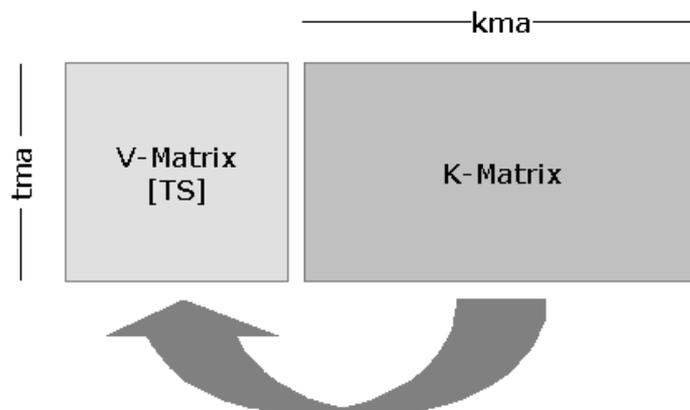


Bild 53: Berechnen der V-Matrix [TS] aus der K-Matrix

Die aus der K-Matrix berechnete V-Matrix [TS] kann interpretiert werden als eine *Darstellung aller tma-Kombinationen, die aufgrund des Mappings der K-Matrix theoretisch zustandekommen können*. Übertragen auf das Fahrrad-Beispiel bedeutet dies, dass alle als unverträglich dargestellten tma-Kombinationen in Bild 54 durch das Mapping nicht zustandekommen können.

		10- 5: Anhänger-Bereifung				20- 4: Anhänger-Farbe				30- 3: Anhänger-Typ				40- 9: Bereifung				50- 8: Federung		60- 7: Kindersitz		70- 6: Lenker		80- 1: Rahmen-Grösse				90- 2: Rahmen-Typ		99- 10: Schaltung	
kmName2	kmName2	10- 13: hohes Profil	30- 14: Slicks	40- 12: normales Profil	45- 15: keine	50- 9: blau	60- 10: gelb	80- 8: rot	85- 11: keine	90- 6: Anhänger Typ A	99- 7: nicht vorhanden	110- 24: Alu - hohes Profil	120- 23: Alu - normales Profil	130- 26: Alu - Slicks	140- 25: Stahl - hohes Profil	170- 21: Federung Typ 1	180- 22: nicht vorhanden	150- 19: Kindersitz Typ 1	160- 20: nicht vorhanden	190- 18: Mountain	200- 17: Renn	210- 16: Tour	220- 3: 26"	230- 2: 28"	240- 1: 30"	250- 5: Damen	260- 4: Herren	270- 27: 18-Gang	280- 28: 24-Gang	290- 29: 27-Gang	
10- 5: Anhänger-Bereifung	10- 13: hohes Profil					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	30- 14: Slicks					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	40- 12: normales Profil					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	45- 15: keine					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20- 4: Anhänger-Farbe	50- 9: blau	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	60- 10: gelb									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	80- 8: rot					1	1	1	1																						
	85- 11: keine					1	1	1	1																						
30- 3: Anhänger-Typ	90- 6: Anhänger Typ A	1	1	1	1																										
	99- 7: nicht vorhanden					1	1	1	1																						
40- 9: Bereifung	110- 24: Alu - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	120- 23: Alu - normales Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	130- 26: Alu - Slicks	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	140- 25: Stahl - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
50- 8: Federung	170- 21: Federung Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	180- 22: nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
60- 7: Kindersitz	150- 19: Kindersitz Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	160- 20: nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
70- 6: Lenker	190- 18: Mountain	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	200- 17: Renn	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	210- 16: Tour	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
80- 1: Rahmen-Grösse	220- 3: 26"	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	230- 2: 28"	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	240- 1: 30"	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
90- 2: Rahmen-Typ	250- 5: Damen	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	260- 4: Herren	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
99- 10: Schaltung	270- 27: 18-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	280- 28: 24-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					
	290- 29: 27-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1																					

Bild 54: „Min-V-Matrix [TS] aus der K-Matrix“ des Fahrrades

Es liegt nun nahe, die so berechnete V-Matrix [TS] als „Min-V-Matrix [TS] aus der K-Matrix“ vorzuschlagen: Enthält die V-Matrix [TS] mindestens diese Verträglichkeiten, dann enthält die V-Matrix [KS] bei der Berechnung aus der V-Matrix [TS] (4.3.1.3) nur Unverträglichkeiten, die auch bei der Berechnung aus der K-Matrix (4.3.1.1) resultieren. D.h. die V-Matrix [TS] hat in diesem Fall keinen Einfluss auf die Verträglichkeiten der Kundensicht, obwohl sie Unverträglichkeiten enthält.

Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die ‚Min-V-Matrix [TS] aus der K-Matrix‘ noch indirekte Unverträglichkeiten enthalten kann. Legt man nämlich die Matrix in Bild 54 als tatsächliche V-Matrix [TS] für eine Berechnung entsprechend 4.3.1.3 zugrunde, so muss man zunächst deren indirekte Unverträglichkeiten berechnen, bevor man die daraus resultierende V-Matrix [KS] berechnen kann. Wenn aber wie in diesem Beispiel indirekte Unverträglichkeiten auftreten, dann führen diese zu weiteren Unverträglichkeiten in der V-Matrix [KS].

Bei der Produktentwicklung gilt folglich:

Die V-Matrix [TS] darf - nach Berechnung der indirekten Unverträglichkeiten - höchstens die Unverträglichkeiten der „Min-V-Matrix [TS] aus der K-Matrix“ enthalten, damit die V-Matrix [KS] bei der Berechnung aus K-Matrix (4.3.1.1) und V-Matrix [TS] (4.3.1.3) höchstens die Unverträglichkeiten aus der K-Matrix (4.3.1.1) enthält.

- **Algorithmus zur Berechnung der ‚Min-V-Matrix [TS] aus der K-Matrix‘**

Die V-Matrix [TS] kann mit einem vergleichbaren Algorithmus aus der K-Matrix berechnet werden, wie dies bei der V-Matrix [KS] geschieht:

Es wird für alle Verträglichkeiten der V-Matrix [TS] überprüft, ob die beiden zugehörigen tma-Zeilen zu jedem km, auf welches beide mappen, mindestens ein gemeinsames kma haben. Ist dies nicht der Fall, so kann die tma-Kombination aufgrund der K-Matrix nicht gewählt werden und ist folglich unverträglich.

- **Anwendung zum Angleichen der V-Matrix [TS] an die K-Matrix**

Diese Berechnung kann auch losgelöst von dem Ablauf in Bild 52 angewandt werden, und zwar zur Angleichung der V-Matrix [TS] an die K-Matrix, um sicherzustellen, dass der Kunde nur genau das wählt, was aufgrund der K-Matrix wählbar ist. Zur Erklärung sei nochmals das Fahrrad-Beispiel herangezogen:

Aus der „Min-V-Matrix [TS] aus der K-Matrix“ in Bild 54 - oder aus der K-Matrix (Bild 29) - geht hervor, dass die tma-Kombination ‚Lenker: Renn‘ und ‚Schaltung: 18-Gang‘ über das Mapping der K-Matrix nicht zustande kommen können. Die zum selben Beispiel gehörige V-Matrix [TS] in Tabelle 48 auf Seite 120 lässt dies aber zu! D.h., der Benutzer kann durch direkte Auswahl der entsprechenden tma ein Fahrrad konfigurieren, das durch Auswahl von kmas niemals zustande gekommen wäre!

Dies wäre aber zu verhindern, wenn man den obigen Algorithmus auf die V-Matrix [TS] des Fahrrades anwenden würde: Die aufgrund der K-Matrix nicht wählbaren tma-Kombinationen würden unverträglich gemacht.

Tendenziell wird es eher bei einem direkt dem Kunden zur Verfügung gestellten Verkaufskonfigurator sinnvoll sein, die Auswahl derart einzuschränken. Grundsätzlich aber ist es zumindest aus methodischer Sicht besser, mit derartigen zusätzlichen Einschränkungen zu sparen, nicht zuletzt, weil diese das K-Wissen verkomplizieren.

4.3.3.3 Berechnen der ‚Min-V-Matrix [TS] aus der Min-V-Matrix [KS]‘

In diesem Schritt findet die eigentliche „Übersetzung“ der vorgegebenen, zu erfüllenden Kundenwünsche in die technische Sicht, die Berechnung der ‚Min-V-Matrix [TS] aus der Min-V-Matrix [KS]‘, statt. Der zugrundeliegende Algorithmus ist ähnlich wie der in 4.3.1.3 „Berechnen der V-Matrix [KS] aus der V-Matrix [TS]“.

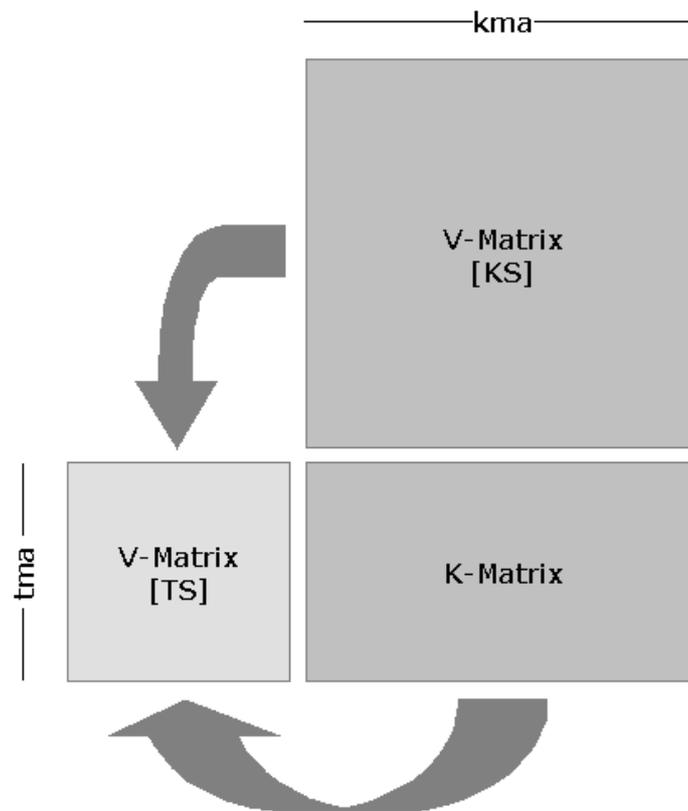


Bild 55: Berechnen der ‚V-Matrix [TS] aus der V-Matrix [KS]‘

Bild 56 zeigt die ‚Min-V-Matrix [TS] aus der V-Matrix [KS]‘ für das Fahrrad-Beispiel. Die der Berechnung zugrundegelegte ‚Min-V-Matrix [KS]‘ zeigt Bild 32. Als K-Matrix wurde die aus Bild 29 zugrundegelegt.

		Anhängers-Bereifung				Anhängers-Farbe				Anhängers-Typ		Bereifung				Federung		Kindersitz		Lenker			Rahmen-Grösse			Rahmen-Typ		Schaltung			
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhängers Typ A	nicht vorhanden	Alu - hohes Profil	Alu - normales Profil	Alu - Slicks	Stahl - hohes Profil	Federung Typ 1	nicht vorhanden	Kindersitz Typ 1	nicht vorhanden	Mountain	Renn	Tour	26"	28"	30"	Damen	Herren	18-Gang	24-Gang	27-Gang	
Anhängers-Bereifung	hohes Profil				1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Slicks				1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	normales Profil				1	1	1		1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1
Anhängers-Farbe	blau	1	1	1					1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	rot	1	1	1					1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1
Anhängers-Typ	Anhängers Typ A	1	1	1	1	1	1	1						1	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	1	1	1	1	1	1
Bereifung	Alu - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Alu - normales Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Alu - Slicks				1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Stahl - hohes Profil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Federung	Federung Typ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1
Kindersitz	Kindersitz Typ 1				1				1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lenker	Mountain	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	1	1	1
	Tour	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rahmen-Grösse	26"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	28"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	30"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rahmen-Typ	Damen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Herren	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schaltung	18-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	24-Gang				1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	27-Gang	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bild 56: ‚Min-V-Matrix [TS] aus V-Matrix [KS]‘ am Beispiel des Fahrrades

4.3.3.4 Überlagerung der Unverträglichkeiten zur ‚Min-V-Matrix [TS]‘

Abschliessend werden die Unverträglichkeiten aus Bild 54 und 56 überlagert, so dass sich die Matrix in Bild 57 ergibt. Diese enthält alle tma-Kombinationen, die aufgrund der K-Matrix und der zugrundeliegenden V-Matrix [KS] nicht zustande kommen können und wird somit als „Min-V-Matrix [TS]“ bezeichnet.

Für die Produktentwicklung gilt:

Die V-Matrix [TS] darf - nach Berechnung der indirekten Unverträglichkeiten - höchstens die Unverträglichkeiten der ‚Min-V-Matrix [TS]‘ enthalten, damit die V-Matrix [KS] bei der Berechnung aus K-Matrix und V-Matrix [TS] höchstens die Unverträglichkeiten der ‚Min-V-Matrix [KS]‘ enthält.

D.h., die ‚Min-V-Matrix [TS]‘ gibt den Produktentwicklern einen Rahmen von Unverträglichkeiten vor, innerhalb dessen sie sich bewegen müssen, damit das Pro-

dukt die vom Verkauf in der ‚Min-V-Matrix [KS]‘ definierten Anforderungen erfüllt.

		hohes Profil Slicks normales Profil keine	blau gelb rot keine	Anhänger Typ A nicht vorhanden	Alu - hohes Profil Alu - normales Profil Alu - Slicks Stahl - hohes Profil	Federung Typ 1 nicht vorhanden	Kindersitz Typ 1 nicht vorhanden	Mountain Renn Tour	26" 28" 30"	Damen Herren	18-Gang 24-Gang 27-Gang
Anhänger-Bereifung	hohes Profil Slicks normales Profil keine		1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Anhänger-Farbe	blau gelb rot keine	1 1 1 1 1 1 1 1 1		1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A nicht vorhanden	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Bereifung	Alu - hohes Profil Alu - normales Profil Alu - Slicks Stahl - hohes Profil	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Federung	Federung Typ 1 nicht vorhanden	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Kindersitz	Kindersitz Typ 1 nicht vorhanden	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Lenker	Mountain Renn Tour	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Rahmen-Grösse	26" 28" 30"	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Rahmen-Typ	Damen Herren	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Schaltung	18-Gang 24-Gang 27-Gang	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1

Legende:

Unverträglichkeiten aus K-Matrix
 Unverträglichkeiten aus V-Matrix [KS]
 Unverträglichkeiten aus beiden Matrizen



Bild 57: ‚Min-V-Matrix [TS] als Überlagerung der Unverträglichkeiten aus der K-Matrix mit denen aus der V-Matrix [KS]

4.3.4 Aussagen über die interne und externe Vielfalt

Auf Basis der KVM können Aussagen bzgl. der internen und externen Vielfalt eines Produktes (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) gemacht werden. Bereits durch blosses Betrachten der KVM kann man sich einen Eindruck von der internen und externen Vielfalt des Produktes verschaffen. Von Interesse ist v.a. das Verhältnis von externer zu interner Vielfalt. Grundsätzliche Anhaltspunkte sind die folgenden:

- **K-Matrix:** Je „breiter“ die K-Matrix, d.h. je grösser das Verhältnis von Kundeneigenschaften zu technischen Eigenschaften, desto grösser ist das Verhältnis von interner zu externer Vielfalt. Ein quantitativer Anhaltspunkt ist der Quotient

aus der Anzahl k_{ma} und der Anzahl t_{ma} . Ist

$$\frac{\sum k_{ma}}{\sum t_{ma}} > 1$$

dann ist die K-Matrix breiter als hoch.

- **V-Matrix [KS]**: Je weniger Unverträglichkeiten die V-Matrix [KS] enthält, desto mehr Kundeneigenschaften lassen sich auch tatsächlich kombinieren. D.h. die externe Vielfalt steigt.
- **V-Matrix [TS]**: Die Anzahl Unverträglichkeiten in der V-Matrix [TS] beeinflusst die interne Vielfalt nicht direkt: die interne Vielfalt wird allein durch die Anzahl verschiedener technischer Eigenschaften festgelegt und nicht deren Verträglichkeiten.

Als Kennzahl könnte der Quotient aus der Anzahl der konfigurierbaren Endprodukte aus Kundensicht sowie der Anzahl technischer Eigenschaften dienen. Die Anzahl konfigurierbarer Endprodukte könnte z.B. auf Basis der V-Matrix [KS] mit Hilfe eines Lösungsbaumes berechnet werden (vgl. [Birkhofer 1980; Göker 1996]).

Abschliessend bleibt zu sagen, dass der Nutzen einer Formel für die interne und externe Vielfalt fraglich ist. Zum einen gibt es in der Literatur keine entsprechenden Referenzformeln. Zudem ändern könnte das blinde Anwenden von Formeln den Blick für das Wesentliche entschärfen. Es ist vermutlich besser, die vorgestellten Anhaltspunkte für qualitative Aussagen zu verwenden.

4.4 Überprüfung der KVM

Während der Erstellung der KVM muss sowohl eine formale wie auch eine inhaltliche Überprüfung stattfinden. Auf diese wird in den beiden folgenden Abschnitten genauer eingegangen.

4.4.1 Formale Überprüfung der KVM

In den Bestandteilen der KVM können sich verschiedene formale Widersprüche ergeben, die im folgenden kurz dargestellt werden. Deren Identifikation, Bedeutung und das Vorgehen zu deren Beseitigung werden in den gleichnamigen Abschnitten in Anhang A - „Formale Widersprüche in der K- & V-Matrix“ detailliert beschrieben.

Im einzelnen handelt es sich bei den formalen Widersprüchen um folgende (siehe

dazu die entsprechenden Abbildungen und Abschnitte in Anhang A - „Formale Widersprüche in der K- & V-Matrix“):

- A.1 „Komplett ausgefüllte tm-km-Schnittpunkte“ (Bild i)
- A.2 „Leere kma-Spalten in der K-Matrix“ (Bild ii)
- A.3 „Leere Spalten in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix“ (Bild vi)
- A.4 „Leere tma-Zeilen in der K-Matrix“ (Bild viii)
- A.5 „Leere Zeilen in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix“ (Bild ix)
- A.6 „Leere Spalten/Zeilen in der V-Matrix“ (Bild x)
- A.7 „Leere Spalten/Zeilen in km-km- oder tm-tm-Schnittpunkten“ (Bild xi)

4.4.2 Inhaltliche Überprüfung der KVM

Neben der im letzten Abschnitt beschriebenen rein formalen Überprüfung muss auch eine inhaltliche Überprüfung der KVM durchgeführt werden. Diese muss insbesondere auch dann stattfinden, wenn die Matrizen überarbeitet wurden.

Das eigentliche Ziel ist dabei eine möglichst einfache KVM, die den tatsächlichen Eigenschaften des Produktes genau entspricht. Sie darf keine widersprüchlichen oder redundanten Informationen enthalten. Es lassen sich darüberhinaus einige konkrete Aspekte identifizieren, die überprüft werden sollten:

4.4.2.1 Redundanz zwischen Kundensicht und technischer Sicht

Zunächst sollte sichergestellt sein, dass die Merkmale in beiden Sichten für die entsprechende Zielgruppe geeignet sind. Darüberhinaus sollte aber auch darauf geachtet werden, dass in beiden Sichten nicht mehrere Merkmale den gleichen Sachverhalt beschreiben. Ein Anhaltspunkt für eine solche Redundanz ist z.B. ein 1:1 Mapping zwischen kmas und tma oder auch gleiche Bezeichnungen.

Im Fahrrad-Beispiel (siehe K-Matrix in Bild 29 auf Seite 95) hat z.B. das km ‚Kindersitz‘ ein 1:1-Mapping auf das gleichnamige tm und bedeutet in beiden Sichten tatsächlich das gleiche.

Zwar ist diese Redundanz hier akzeptabel, da in der Kundensicht immerhin eine kundennähere Sprache verwendet wurde, während auf technischer Seite die konkrete Bezeichnung der entsprechenden Baugruppe ‚Kindersitz Typ 1‘ verwendet wird. Man muss sich der doppelten Information aber bewusst sein.

Ausserdem besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass in Zukunft durch die Einführung weiterer Kindersitz-Typen mit unterschiedlichen Eigenschaften auch die entsprechenden Kundenmerkmale sich weiterentwickeln und neue Kindersitz-Typen besondere Anforderungen der Eltern erfüllen.

4.4.2.2 Unverträglichkeiten in der K-Matrix

Wie in 4.3.1.1 „Berechnen der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix“ erwähnt, kann die K-Matrix auch Verträglichkeitsinformation beinhalten, was i.d.R. nicht wünschenswert ist. Bei der Erstellung der KVM werden aber häufig solche Unverträglichkeiten in die K-Matrix „eingebaut“, insbesondere von unerfahrenen Anwendern. Ein Anhaltspunkt für Unverträglichkeiten in der K-Matrix ist v.a. ein grosses $K_{V\text{-Matrix [KS] aus K\text{-Matrix}}$ (siehe • „Eine Kennzahl für den Einfluss der K-Matrix auf die V-Matrix [KS]“ auf Seite 111).

Ein visueller Anhaltspunkt sind mehrere auf ein tm mappende km. Eine K-Matrix mit vielen solcher Unverträglichkeiten ist in Bild 58 dargestellt: Zwischen ‚*Kindersitz: vorhanden*‘ und verschiedenen Ausprägungen des Merkmals ‚*Anhängersfarbe*‘ gibt es Unverträglichkeiten.

		Fahrer		Personengrösse			Ausführung			Anhängersfarbe				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
Anhängers-Bereifung	hohes Profil								1									
	Slicks										1							
	normales Profil											1						
	keine										1							
Anhängers-Farbe	blau												1					
	gelb													1				
	rot											1						
	keine														1			
Anhängers-Typ	Anhängers Typ A						1		1	1		1	1	1	1	1	1	1
	nicht vorhanden						1	1	1		1					1	1	1
Bereifung	Alu - hohes Profil								1									
	Alu - normales Profil						1											
	Alu - Slicks							1										
	Stahl - hohes Profil								1									

Bild 58: K-Matrix mit Unverträglichkeiten

4.4.2.3 Redundante technische Eigenschaften

Wenn zwei tma eines tm das gleiche Mapping mit der Kundensicht verbindet (wie in Bild 59 dargestellt), dann sollte überprüft werden, ob es sich dabei um redundante tma handelt.

In Bild 59 werden die technischen Eigenschaften ‚*Bereifung: Alu - hohes Profil*‘ und ‚*Bereifung: Stahl - hohes Profil*‘ beide durch die Kundeneigenschaft ‚*Ausfüh-*

zung: *Mountain* ausgewählt. Dies deutet darauf hin, dass sie den gleichen Zweck erfüllen.

Die definitive Auswahl einer der beiden technischen Eigenschaften kann hier nicht über die Kundensicht, sondern nur auf einem der folgenden Wege erfolgen:

- **Über die V-Matrix [TS]:** wenn z.B. die kleinste Rahmen-Grösse nur mit *„Bereifung: Stahl - hohes Profil“* und die anderen Rahmen-Grössen nur mit *„Bereifung: Alu - hohes Profil“* verträglich wären.
- **Direkte Auswahl durch den Benutzer:** In diesem Fall muss der Benutzer in der technischen Sicht direkt wählen, welche Bereifung er vorzieht.

In beiden Fällen ist zu überprüfen, ob es sich nicht um redundante technische Eigenschaften handelt, die nur zu einer unnötigen internen Vielfalt führen, ohne dem Kunden Mehrwert zu bieten. Ggf. kann dann eines der beiden tma entfernt werden.

Alternativ könnten die beiden tma auch beibehalten werden und die Kundensicht erweitert werden (z.B. durch ein zusätzliches km *„Felgentyp“*). So könnte die externe Vielfalt (siehe Definition in Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) erhöht werden - bei gleichbleibender interner Vielfalt.

		Fahrer		Personengrösse			Ausführung			Anhänger			Anhängerfarbe				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
Anhänger-Bereifung	hohes Profil								1									
	Slicks										1							
	normales Profil										1							
	keine									1								
Anhänger-Farbe	blau												1					
	gelb													1				
	rot											1						
	keine															1		
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A						1		1	1	1							
	nicht vorhanden						1	1	1		1							
Bereifung	Alu - hohes Profil								1									
	Alu - normales Profil						1											
	Alu - Slicks							1										
	Stahl - hohes Profil								1									
Federung	Federung Typ 1						1		1									
	nicht vorhanden							1										

Bild 59: Redundante technische Eigenschaften

4.5 Die KVM aus der Sicht von Konfiguratoren

Verglichen mit den in 3.7 „Wissensrepräsentationsformen der künstlichen Intelligenz“ vorgestellten Möglichkeiten kann die KVM nur Anwendungsfälle von verhältnismässig geringer Komplexität abbilden (vgl. Bild 3 auf Seite 18). Zudem handelt es sich bei der KVM um *shallow knowledge* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“).

Betrachtet man die KVM genauer, so kann das darin enthaltene K-Wissen aus Sicht von Konfiguratoren folgendermassen beurteilt werden:

- **Kundensicht und technische Sicht:** Auch in Konfiguratoren werden die Produkte i.d.R. mit Kundenmerkmalen und technischen Merkmalen sowie zugehörigen Ausprägungen beschrieben. Allerdings werden sie dort häufig in Hierarchien strukturiert und anders bezeichnet.
- **K-Matrix:** Die Punkte der K-Matrix repräsentieren einfache Wenn-Dann-Regeln mit jeweils einer Bedingung und einer Aktion (vgl. 3.7.1 „Regelbasierte Wissensrepräsentation“). Die Regeln sind bei der KVM - im Gegensatz zu herkömmlichen Regeln - allerdings umkehrbar, denn es kann sowohl von Kundeneigenschaften auf technische Eigenschaften wie auch umgekehrt geschlossen werden.
- **V-Matrix:** Die Punkte der beiden V-Matrizen entsprechen sog. *n-Tupel-Constraints* wie sie aus verschiedenen Konfiguratoren (z.B. der Plakon-Familie) bekannt sind. *n-Tupel-Constraints* bestimmen, welche Kombinationen der Eigenschaften von *n* verschiedenen Merkmalen existieren.

4.5.1 Die KVM als Basis für einen Konfigurator

Wie in den Anforderungen gefordert, soll die KVM als Basis für einen kommerziellen Konfigurator dienen können (siehe Tabelle 33). Ziel ist dabei, das in der KVM beschriebene K-Wissen in die Wissensrepräsentationsform eines Konfigurators zu überführen. Als Referenz dient hier *EngCon*, ein System, das v.a. Begriffshierarchien, Regeln und Constraints als Wissensrepräsentationsformen verwendet (vgl. 3.8.1 „Die Plakon-Familie“).

Tabelle 33: Anforderung: K-Wissen als Basis für Konfiguratoren

Anforderung	erfüllt
Abzubildende Arten von K-Wissen	
strukturiertes K-Wissen:	
- Kundensicht	1
- technische Sicht	1
- Mapping zwischen beiden Sichten	1
- Verträglichkeiten technische Sicht	1
- Verträglichkeiten Kundensicht	1
erklärendes K-Wissen	?
unstrukturiertes K-Wissen	?
Erforderliche Eigenschaften der Methodik	
visuelle, übersichtliche Darstellung	1
einfach erlern- & anwendbar	1
keine spezielle Software nötig	1
Unterstützung durch Software möglich	?
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	1
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	1
Integrierbar in das Digitale Produkt	?
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):	
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	?
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator ("aufwärtskompatibel")	1

4.5.1.1 Überführung in die Wissensrepräsentationsform von EngCon

Die Überführung wird in mehreren Schritten durchgeführt, mit dem Ziel *deep knowledge* (siehe Glossar) zu entwickeln:

- Abbilden von Kunden- und technischer Sicht als Objekte in einer Begriffshierarchie. Dies beinhaltet v.a. die Hierarchisierung der technischen Merkmale und Kundenmerkmale.
- Abbilden von Mapping und Verträglichkeiten in der Begriffshierarchie, soweit möglich und sinnvoll.
- Abbilden der restlichen Zusammenhänge in Mapping und Verträglichkeiten in Form von Regeln oder sog. *tabellarischen Beziehungen*, einer den Matrizen ähnlichen Darstellungsweise für n-Tupel-Constraints.

Obwohl hier nochmals grosser Arbeitsaufwand investiert werden muss, stellt das in der KVM beschriebene K-Wissen eine sehr gute Ausgangsbasis auf dem Weg zu einem funktionierenden Konfigurator dar. Die KVM kann schrittweise „abgearbeitet“ werden, so dass sichergestellt wird, dass alle in ihr enthaltenen Zusammenhänge auch tatsächlich im Konfigurator abgebildet wurden. Siehe dazu auch die konkreten Beispiele in [Bongulielmi et al. 2002b].

Durch die Arbeit mit der KVM und dem KVMS (siehe Kapitel 6 „Das K- & V-Matrix-System“) erwerben die Beteiligten zudem Erfahrung, auf der bei der Einführung eines Konfigurators aufgebaut werden kann.

4.6 Beurteilung der KVM

Die KVM ist keine grundsätzlich neue Darstellungsweise, sondern resultiert aus der Kombination, Erweiterung und Formalisierung bekannter Ansätze. Daraus und durch die matrixbasierte Darstellung ergibt sich eine gewisse Ähnlichkeit mit anderen Methoden, wie z.B. dem Konstruktionskatalog, QFD, DSM u.a. Diese Methoden erfüllen aber allenfalls Teile der zu Beginn dieser Arbeit gestellten Anforderungen.

Hierbei sei auch auf [Grabowski & Geiger 1997] verwiesen, wo darauf verwiesen wird, dass nicht nur neue Methoden entwickelt, sondern auch die Anwendung bestehender erforscht werden soll.

4.6.1 Schwächen und Grenzen der KVM

Die matrixbasierte Darstellungsweise der KVM ist zwar einfach verständlich, stösst aber auch an Grenzen, wenn es um die Modellierung komplexen Produktwissens geht. Solche Fälle lassen sich mit komplexeren Wissensrepräsentationsformen, wie sie z.B. in 3.8 „Konfiguratoren“ beschrieben sind, abbilden. Hierbei ist allerdings zu erwähnen, dass diese Beschreibungsformen natürlich nicht die in dieser Arbeit aufgestellten Anforderungen erfüllen.

Im folgenden einige der Schwächen und Grenzen im Detail:

- **Darstellung von Mehrfach-Verträglichkeiten:** Matrizen eignen sich nur zum Darstellen von binären Verträglichkeiten, da sie 2-dimensional sind. Verträglichkeiten wie z.B. „*Rennlenker* UND *Slicks* NUR WENN *keine Federung*“ können folglich nicht in der KVM abgebildet werden. Solche Fälle können nur durch eine andere Modellierung dargestellt werden, indem z.B. Merkmale zusammengefasst werden. Das Gleiche gilt für das Mapping.
- **Mengen und Mass-Varianten:** Mengen und Mass-Varianten können nur durch eine Diskretisierung der Wertebereiche abgebildet werden. Je nach Grösse des Wertebereiches und der Intervalle ergibt sich aber eine grosse Anzahl kma bzw. tma. Dadurch werden die Matrizen unverhältnismässig gross.
- **Formeln:** Formeln können ebenfalls nicht in der KVM modelliert werden.

Kapitel 5

Das K- & V-Matrix-System

Die KVM ist entsprechend den Anforderungen ohne spezielle Software anwendbar. Um aber deren Möglichkeiten effizient zu nutzen und insbesondere um das K-Wissen in der KVM direkt für die Konfigurierung nutzen zu können, ist die Unterstützung durch eine spezielle Software nötig, vgl. 2.4.2.4 „Unterstützung durch Software möglich“.

Aus diesem Grund wurde das *K- & V-Matrix-System* (KVMS) zum Erstellen, Pflegen, Analysieren und Abfragen der K- & V-Matrix entwickelt. Dieses wurde bereits in [Bonguliemi et al. 2001] und [Puls et al. 2001a] teilweise vorgestellt.

Das KVMS ist als eigenständiges System implementiert, das mit anderen Systemen integriert werden kann. Es ist aber auch möglich, die KVM in einem existierenden System (z.B. einem Konfigurator, PDM- oder ERP-System) zu implementieren.

5.1 Anforderungen

Ausgehend von in Tabelle 34 hervorgehobenen Anforderungen muss das KVMS folgende Tätigkeiten unterstützen:

- Erstellen und Pflegen der KVM,
- Speichern der KVM,
- Durchführen der in Abschnitt 4.3 „Unterstützung der Produktentwicklung“

- beschriebenen Berechnungen zur Unterstützung der Produktentwicklung,
- Abfragen der Matrizen, um die Konfigurierung auf Basis der KVM zu ermöglichen.

Tabelle 34: Anforderungen bzgl. des KVMS

Anforderung	erfüllt
Abzubildende Arten von K-Wissen	
strukturiertes K-Wissen:	
- Kundensicht	1
- technische Sicht	1
- Mapping zwischen beiden Sichten	1
- Verträglichkeiten technische Sicht	1
- Verträglichkeiten Kundensicht	1
erklärendes K-Wissen	?
unstrukturiertes K-Wissen	?
Erforderliche Eigenschaften der Methodik	
visuelle, übersichtliche Darstellung	1
einfach erlern- & anwendbar	1
keine spezielle Software nötig	1
Unterstützung durch Software möglich	1
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	1
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	1
Integrierbar in das Digitale Produkt	1
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):	
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator ("aufwärtskompatibel")	1

Dabei sollte das System für KMU geeignet sein (vgl. 2.2 „Zielsetzung der Arbeit“). Daraus und aus den erforderlichen Eigenschaften der Methodik resultieren folgende Vorgaben für das System (vgl. [Lehtonen et al. 2000]):

- einfach zu bedienen,
- WWW-fähig, um Installationskosten gering zu halten und die Konfigurierung via WWW zu ermöglichen,
- erweiterbar,
- günstige Kosten für Hard- und Software,
- geringer Konfigurationsaufwand für die Software,
- Anpassung an die *Corporate Identity* eines Unternehmens möglich.

5.2 Das K- & V-Matrix-System

Zunächst sei der allgemeine Aufbau eines Konfigurators, an dem sich das K- & V-

Matrix-System (KVMS) orientiert, erläutert.

5.2.1 Allgemeine Architektur von Konfiguratoren

Der folgende Abschnitt basiert auf Ausführungen in der Literatur zu Expertensystemen, die auch für Konfiguratoren gelten [Gottlob et al. 1990; Cunis et al. 1991; Puppe 1991; Görz 1995; Spur & Krause 1997].

Ein Konfigurator besteht demzufolge aus folgenden Elementen (Bild 60):

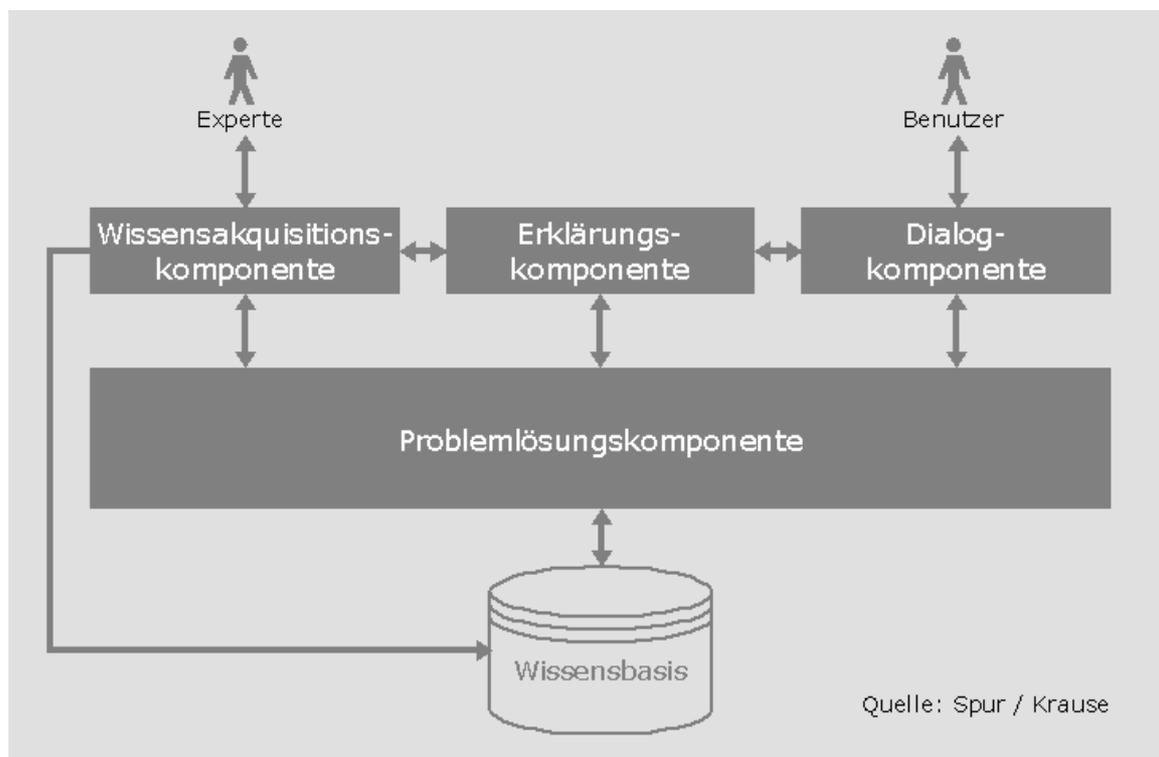


Bild 60: Architektur von Konfiguratoren

- **Die Wissensbasis** enthält das K-Wissen. Zur Kodierung dieses Wissens existieren unterschiedliche Methoden, die sich i. a. den Wissensrepräsentationsformen in 3.7 „Wissensrepräsentationsformen der künstlichen Intelligenz“ zuordnen lassen.
- **Die Problemlösungskomponente** enthält Strategien, um von den Vorgaben (z.B. den Kundeneigenschaften) Schlussfolgerungen (z.B. die technischen Eigenschaften des Produktes) abzuleiten. Die darüberhinaus vorhandene *Ablaufsteuerung* bestimmt die Reihenfolge des Schlussfolgerungsprozesses. Die Aussenwelt kommuniziert über die Wissensakquisitions-, Dialog- oder Erklärungskomponente mit der Problemlösungskomponente. Die Problemlösungs-

komponente steht in engem Zusammenhang mit der Wissensrepräsentationsform in der Wissensbasis.

- **Die Dialogkomponente** entspricht der Benutzerschnittstelle des Systems für die Konfigurierung. Über sie erfolgt die Eingabe der für die Problemlösung notwendigen Daten sowie die Ausgabe der Ergebnisse.
- **Die Wissensakquisitionskomponente** dient dem Aufbau der Wissensbasis. Sie ermöglicht es, K-Wissen in das System einzugeben und zu pflegen.
- **Die Erklärungskomponente** soll das Systemverhalten für den Benutzer transparent machen. Dieser kann sich jederzeit mit Fragen über das „Wie“ und „Warum“ an die Erklärungskomponente wenden.

Während Wissensbasis und Problemlösungskomponente den Kern des Systems bilden, sind Wissensakquisitions- und Erklärungskomponente oft gar nicht vorhanden. Die Dialogkomponente wird häufig in andere Systeme (z.B. CAD) integriert [Spur & Krause 1997].

Zentrale Bedeutung kommt bei Konfiguratoren der Wissensrepräsentation in der Wissensbasis zu: Je verständlicher diese ist, desto einfacher fällt es, K-Wissen einzugeben und zu pflegen.

5.2.2 Die Komponenten des KVMS

Beim KVMS wurden folgende Lösungen für die einzelnen Komponenten entwickelt (Bild 61):

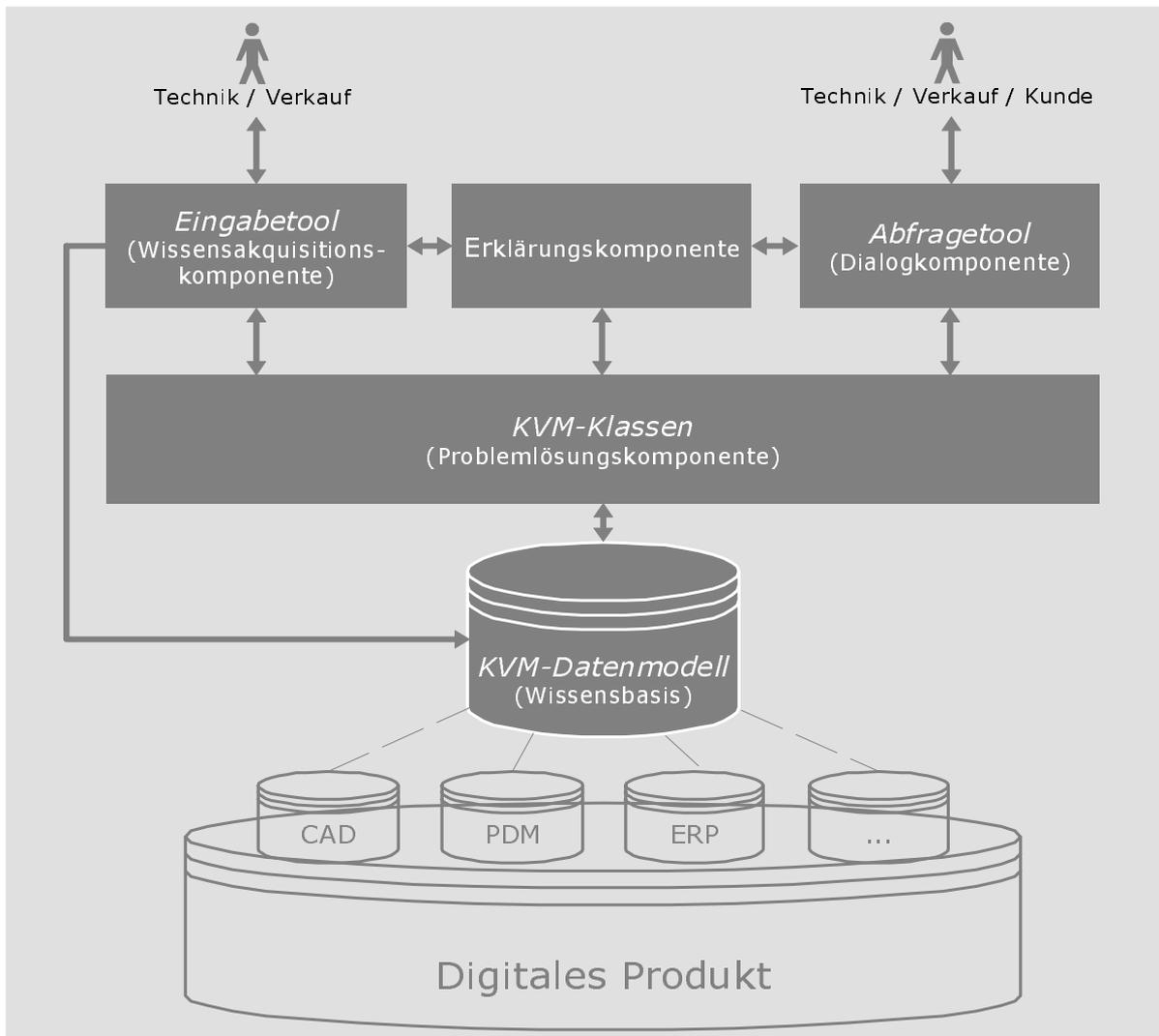


Bild 61: Die Realisierung des K- & V-Matrix-Systems (Darstellung angelehnt an [Spur & Krause 1997])

5.2.2.1 Das KVM-Datenmodell (Wissensbasis)

Bei der Wissensbasis des KVMS handelt es sich um eine relationale Datenbank, in der die Elemente der KVM abgebildet werden. Als relationale Datenbank können verschiedene Produkte zum Einsatz kommen (z.B. Microsoft Access® oder Oracle®). Gründe für die Wahl einer relationalen Datenbank sind die folgenden:

- gute Integrierbarkeit mit dem *Digitalen Produkt* (Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“),
- kurze Zugriffszeiten,
- bekannte und ausgereifte Technologie,
- vielfältige Zugriffsmöglichkeiten auf die Daten.

Der Inhalt des KVM-Datenmodells wird grösstenteils über das unten erwähnte *Eingabetool* eingegeben, kann aber auch aus anderen Datenquellen (z.B. einem PDM-System oder bereits existierenden Datenbanken) eingelesen werden, so dass die Integration der Daten mit dem Digitalen Produkt gegeben ist. Siehe dazu [Puls et al. 2001a].

5.2.2.2 Die KVM-Klassen (Problemlösungskomponente)

Die Problemlösungskomponente ist in Form einer *Klassenbibliothek* (siehe Definition in Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“), den sogenannten *KVM-Klassen*, realisiert. Diese Klassenbibliothek enthält verschiedene Methoden, mit denen die KVM und ihre Elemente manipuliert und abgefragt werden können. So sind die KVM-Klassen die Grundlage für die Erstellung und Pflege der KVM, das Durchführen der Berechnungen sowie das Abfragen der KVM.

Die Methoden der KVM-Klassen werden aus der Dialog- oder der Wissensakquisitionskomponente heraus aufgerufen.

5.2.2.3 Das Abfragetool (Dialogkomponente)

Das *Abfragetool* stellt die Dialogkomponente des KVMS dar. Über sie wird die Aufgabenstellung (durch Konfigurierung der Kundensicht wie in Bild 63) eingegeben und das Ergebnis (in Form der konfigurierten technischen Sicht wie in Bild 64 oder 65) dargestellt.

Die beiden zentralen Elemente des Abfragetools sind folglich die Kundensicht und die technische Sicht, deren Merkmale konfiguriert werden. Zwischen den beiden Sichten kann durch Anklicken der entsprechenden „Karteikarte“ (Bild 62) beliebig gewechselt werden, wobei jeweils das Mapping entsprechend der K-Matrix durchgeführt wird. Wenn das Zurückwechseln von der technischen Sicht in die Kundensicht ermöglicht werden soll, sollte die V-Matrix [TS] an die K-Matrix angepasst werden, wie dies in Abschnitt • „Anwendung zum Angleichen der V-Matrix [TS] an die K-Matrix“ auf Seite 128 beschrieben ist.

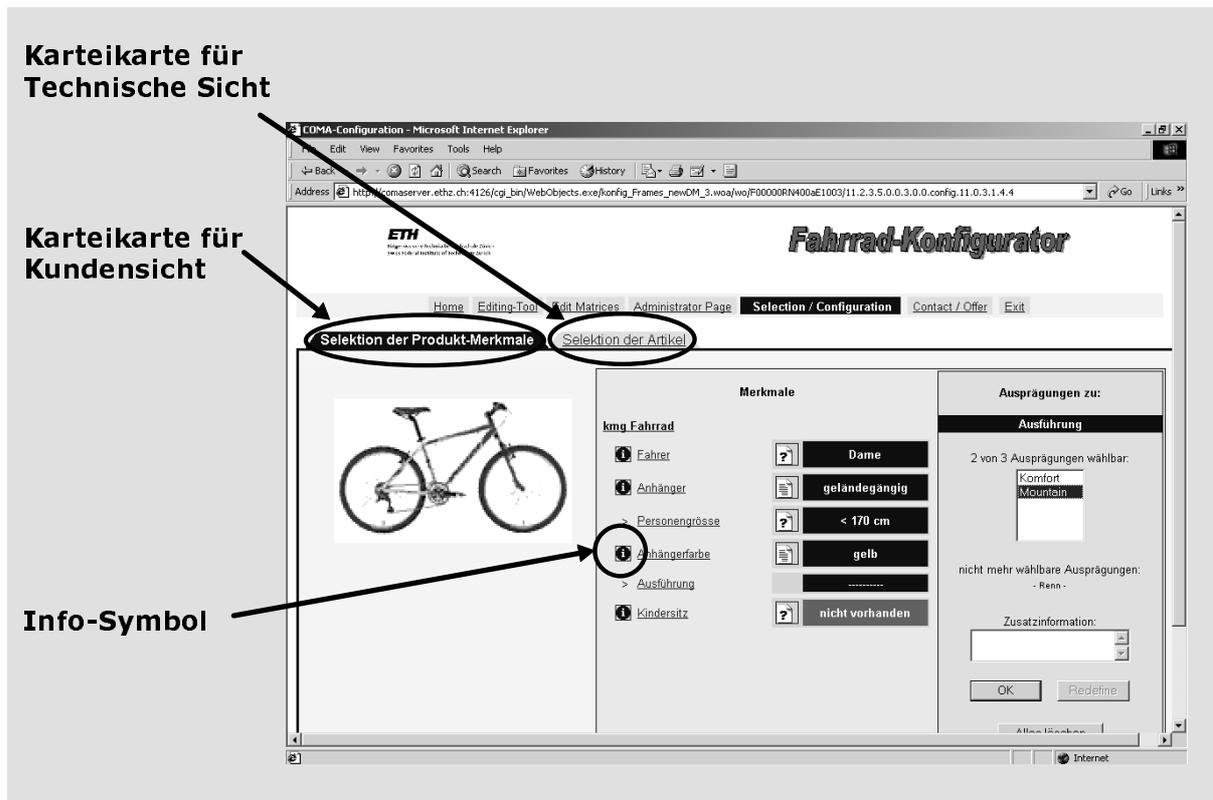


Bild 62: ‚Karteikarten‘ zum Wechseln zwischen Kundensicht und technischer Sicht im Abfragetool

Das Konfigurationsergebnis (Bild 65) wird als XML-Datei ausgegeben und kann so z.B. von einem ERP-System weiterverarbeitet werden, wodurch die Integration des Konfigurationsergebnisses in das Digitale Produkt gewährleistet ist. Bzgl. dem Datenaustausch mit XML siehe z.B. [Eigner & Stelzer 2001].

Bei der Konfigurierung mit dem Abfragetool handelt es sich um eine *interaktive Konfigurierung* ohne Ablaufsteuerung (vgl. [Günter et al. 1999]), bei der der Benutzer die Reihenfolge der zu konfigurierenden Merkmale selbst bestimmt. Durch Überprüfung der V-Matrizen stellt das KVMS sicher, dass der Benutzer nur Merkmalsausprägungen wählen kann, die mit den bisher gewählten verträglich sind. Die nicht mehr wählbaren Ausprägungen werden zur Information angezeigt, können aber nicht gewählt werden.

Ist zu einem Merkmal nur noch eine Ausprägung mit der getroffenen Auswahl verträglich, so wird diese Ausprägung vom KVMS automatisch gewählt. Durch unterschiedliche farbliche Unterlegung (z.B. ‚Kindersitz: nicht vorhanden‘ in Bild 63) kann der Benutzer solche automatisch gewählten Ausprägungen erkennen.

Über ein *Info-Symbol* kann ein Teil der Erklärungskomponente mit zusätzlichen

Informationen aufgerufen werden (siehe Bild 62 sowie 5.2.2.5 „Die Erklärungskomponente“).

Um Bemerkungen oder Sonderwünsche einbringen zu können, steht dem Benutzer ein Textfeld „Zusatzinformationen“ zur Verfügung (Bild 63).

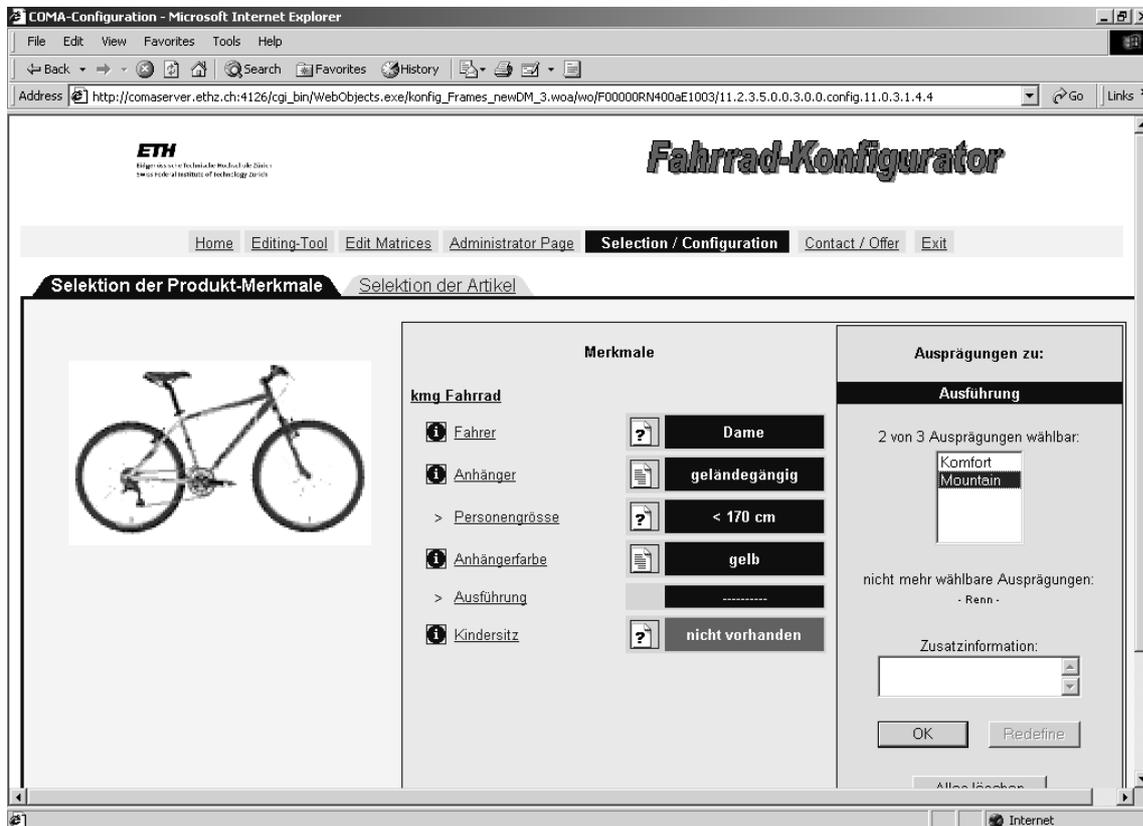


Bild 63: Das Abfragetool des KVMS (Kundensicht des Fahrrad-Beispiels)

Bei der Entwicklung des Abfragetools wurde besonderes Augenmerk auf die Benutzerschnittstelle und deren einfache Bedienbarkeit gelegt. Alle relevanten Informationen werden entsprechend ihrer Bedeutung visuell durch Symbole oder Farben hervorgehoben. Über verschiedene Systemvariablen kann die Benutzerschnittstelle an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden, z.B. durch entsprechende Abbildungen oder Logos. Bzgl. Details zum Konzept der Benutzerschnittstelle siehe [Bongulielmi 2002].

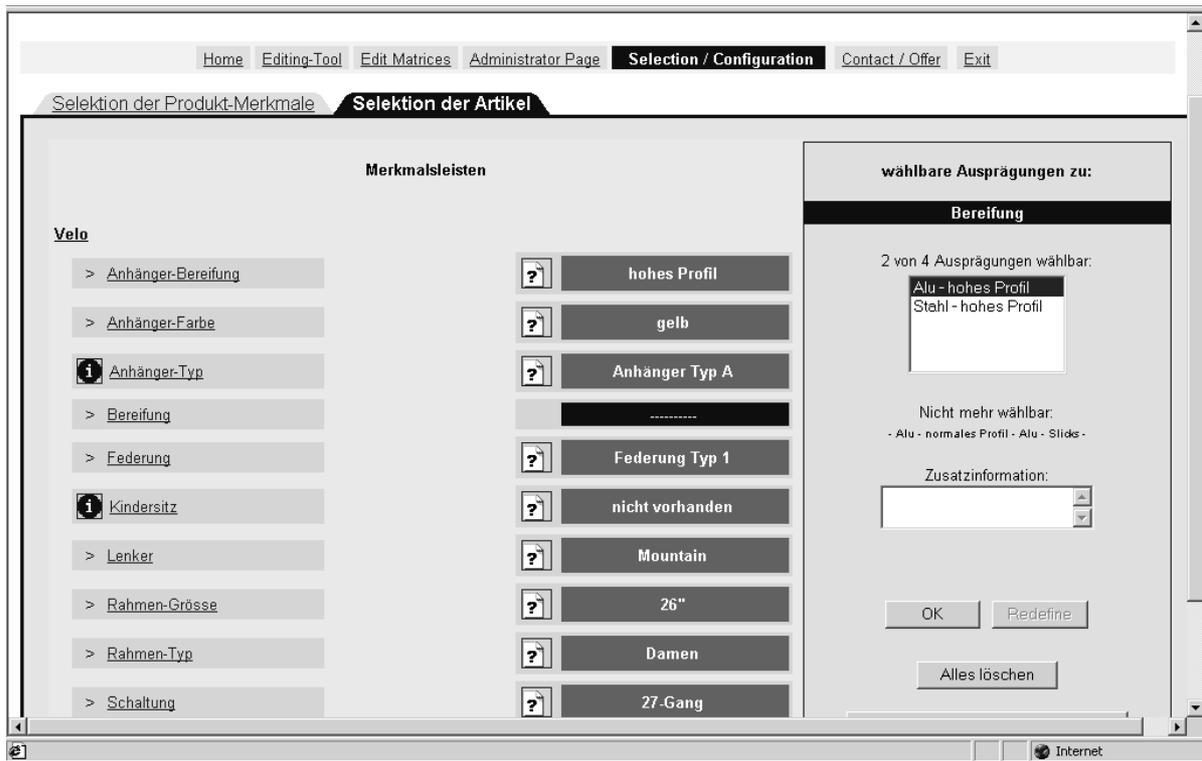


Bild 64: Das Abfragetool des KVMS (technische Sicht des Fahrrad-Beispiels)

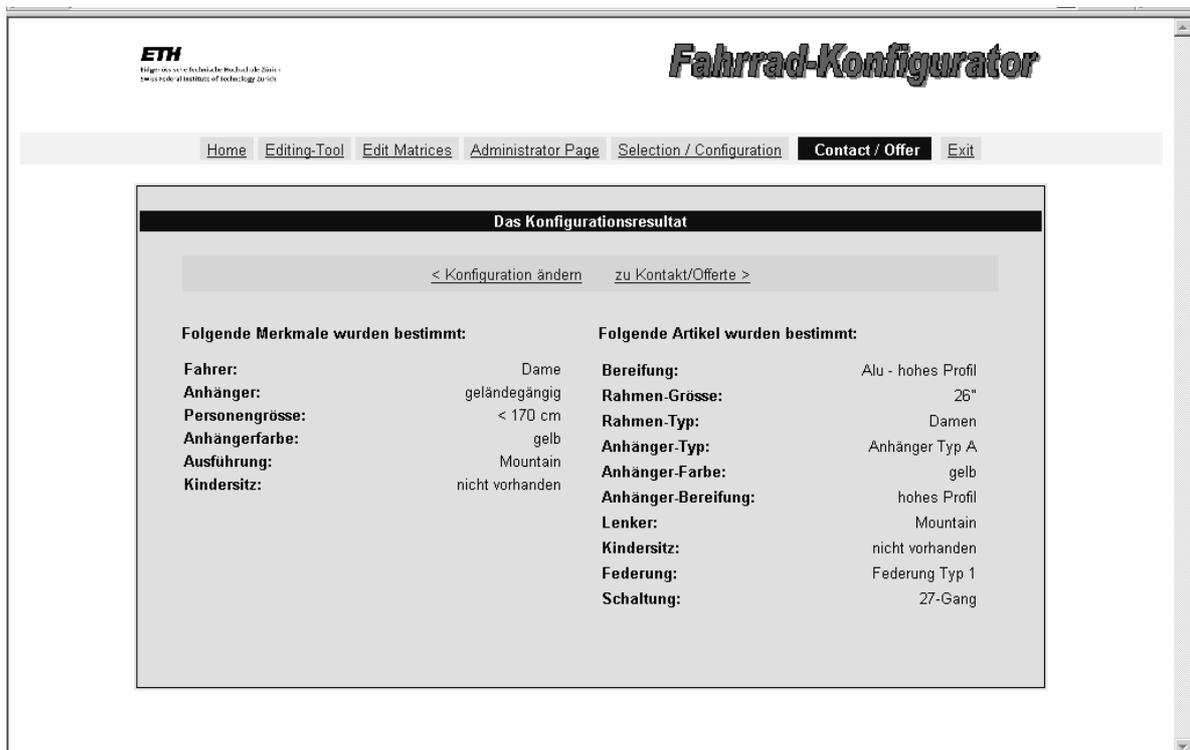


Bild 65: Konfiguriertes Produkt (Zusammenfassung nach der Konfigurierung)

5.2.2.4 Das Eingabetool (Wissensakquisitionskomponente)

Die Wissensakquisition und -pflege erfolgt mit dem *Eingabetool* des KVMS. Sie kann auf zwei Arten durchgeführt werden, weshalb zwei verschiedene Komponenten des Eingabetools entwickelt wurden:

- **In einer Tabellenkalkulation realisierte Komponente:** Die KVM wurde als einfache, visuelle Wissensrepräsentationsform für K-Wissen entwickelt und soll folglich auch im KVMS als Benutzerschnittstelle dienen. Tabellenkalkulationssoftware eignet sich wiederum sehr gut für die Darstellung von Matrizen. Deshalb erfolgt die Wissensakquisition durch die Eingabe der KVM über eine solche Tabellenkalkulationssoftware. Die Bedienung entspricht der normalen Bedienung der Tabellenkalkulationssoftware (Bild 66). Über einfache Makros können diese Daten in das KVM-Datenmodell übertragen werden. Durch die *ODBC*-Schnittstelle (Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) der Tabellenkalkulationssoftware können die Daten wiederum aus dem KVM-Datenmodell eingelesen und als Matrizen visualisiert werden. Diese Komponente des Eingabetools ist nicht WWW-fähig, und es muss auf dem Computer die entsprechende Tabellenkalkulationssoftware installiert sein. Da aber die Erstellung der KVM im Gegensatz zur Konfigurierung i.d.R. von einer kleineren Gruppe von Leuten durchgeführt wird, ist dies kein Nachteil.
- **WWW-fähige Komponente:** Insbesondere zur Durchführung der Berechnungen dient die WWW-fähige Komponente des Eingabetools (Bild 67). Zwar wurde auch eine Möglichkeit zur Eingabe und Pflege der Matrizen in dieser Komponente implementiert, die Arbeit mit einer Tabellenkalkulation hat sich in der Praxis aber als wesentlich effizienter erwiesen.

Eine grosser Vorteil bei der Wissensakquisition ist die Möglichkeit, die Matrizen auszudrucken und so das gesamte K-Wissen auf drei Bögen Papier darzustellen. So können z.B. Gruppen unabhängig vom Computer arbeiten und sich auf das Wesentliche konzentrieren. Die Eingabe in das KVMS kann dann auf Basis der bearbeiteten Ausdrucke über eine der beiden oben genannten Komponenten erfolgen.

Detaillierte Ausführungen zur KVM als Benutzerschnittstelle finden sich in [Bonguelli 2002].

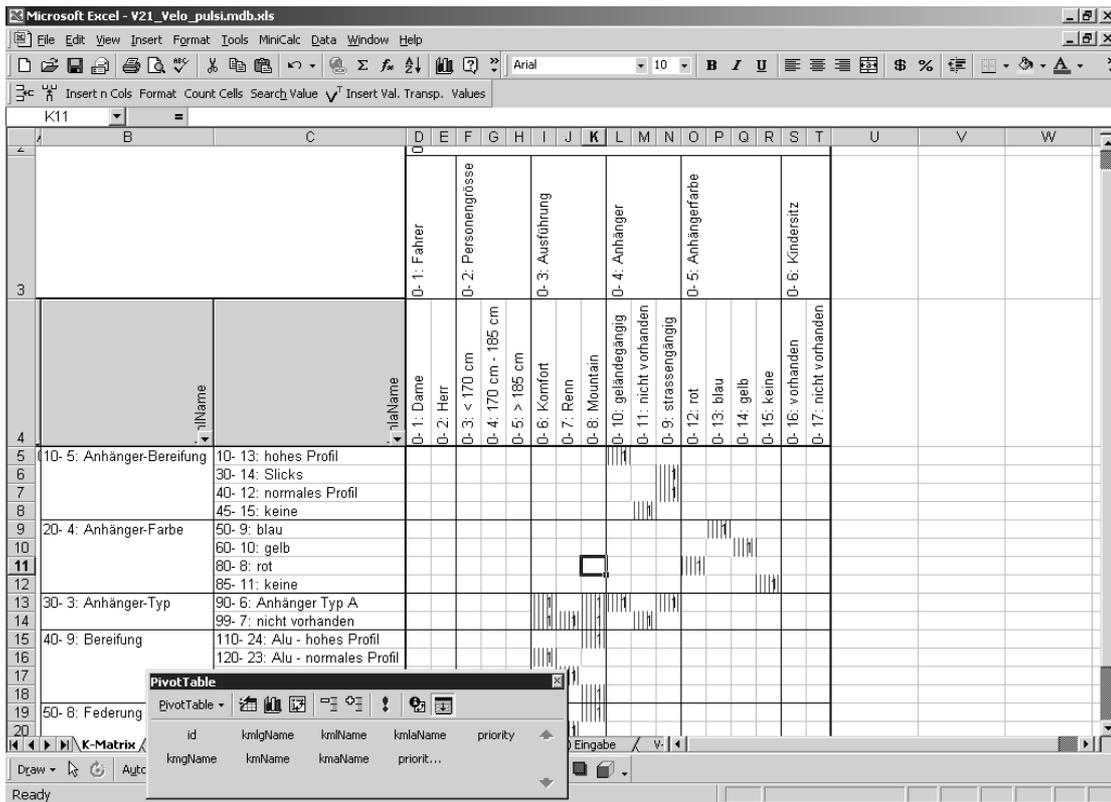


Bild 66: Eingabe der Matrizen via Tabellenkalkulation

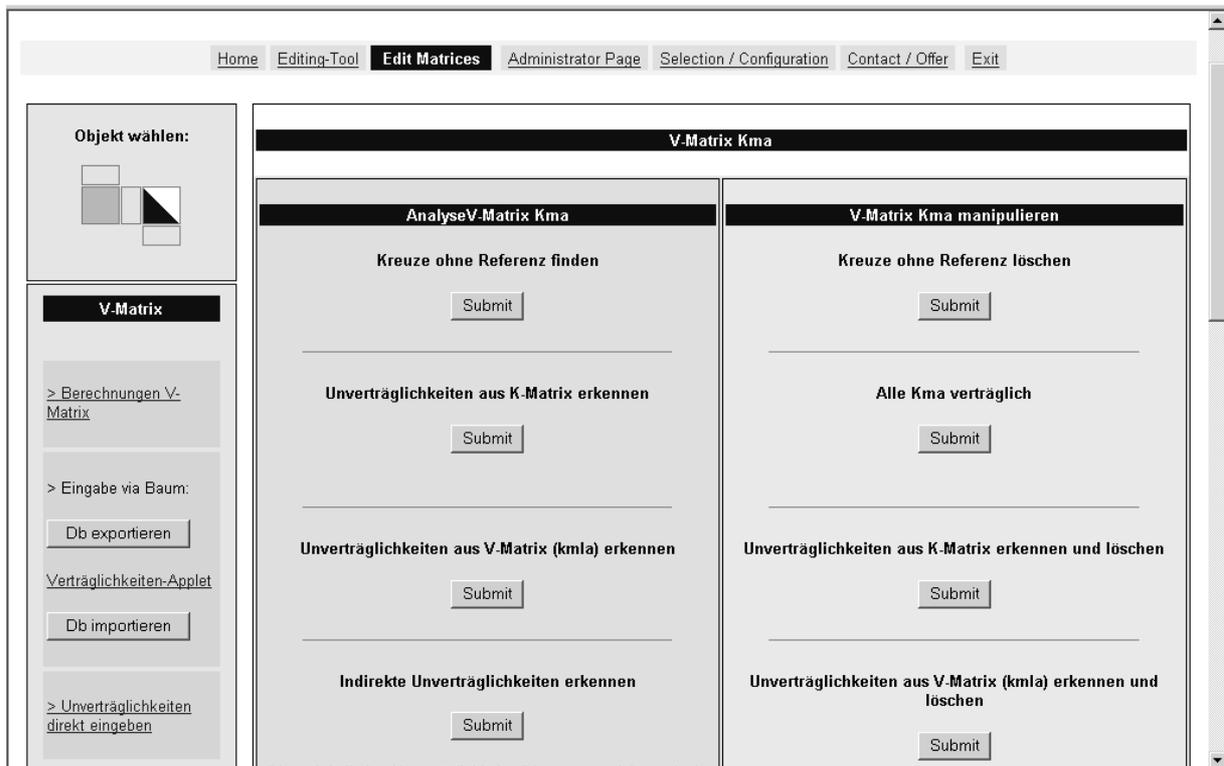


Bild 67: Das Eingabetool des KVMS

5.2.2.5 Die Erklärungskomponente

Das KVMS enthält drei unterschiedliche Erklärungskomponenten:

- Das Abfragetool enthält eine Funktionalität, die den Benutzer darüber aufklärt, warum ein bestimmtes Merkmal nicht mehr konfigurierbar ist. Die relevante Information ist in der KVM enthalten.
- Zusätzliche inhaltliche Informationen bzgl. einem Merkmal und dessen Ausprägungen können - sofern diese Informationen hinterlegt wurden - über das Info-Symbol direkt neben dem entsprechenden Merkmal aufgerufen werden (siehe Bild 62, 63 und 64). Diese Informationen können z.B. in Form von HTML-Seiten auf einem Web-Server hinterlegt werden, es können aber auch Dateien unterschiedlicher Formate (Text, Abbildungen, CAD, VRML usw.) im Intranet sein. Eine weitere Möglichkeit zur Einbindung von erklärendem Wissen wird in Kapitel 7 „Das Management von erklärendem und unstrukturiertem K-Wissen“ beschrieben.
- Um das Systemverhalten analysieren zu können, kann der Benutzer über Ausgaben in die Systemkonsole (diese ist nur dem Administrator zugänglich) die Aktionen des Systems verfolgen.

5.2.3 Implementierung des KVMS in WebObjects®

Die WWW-fähige Komponente des Eingabetools, das Abfragetool sowie die KVM-Klassen wurden in der Entwicklungsumgebung *WebObjects®* [Ruzek 2001; apple 2002] implementiert. Das Vorgehen dazu entsprach einer *evolutionären Software-Entwicklung* im Sinne eines *Rapid-Prototyping-Ansatzes* (vgl. [Witt 1992; Görz 1995]).

WebObjects® wird v.a. für grosse datenbankbasierte Webpräsenzen wie z.B. e-commerce- oder e-banking-Anwendungen eingesetzt. Die Kosten für eine Server-Lizenz liegen mit etwa 1000.- CHF niedrig. Als Server-Betriebssystem für WebObjects® kommen Windows, Mac OS X sowie verschiedene Unix-Derivate in Frage. Die in WebObjects® verwendete Programmiersprache ist Java.

5.2.3.1 Datenzugriff via Enterprise Object Framework

Der Zugriff auf die zugrundeliegende relationale Datenbank erfolgt bei WebObjects® über das sogenannte *Enterprise Object Framework*. Dabei handelt es sich um eine Zwischenebene, in der Datenbankobjekte als sogenannte *Enterprise Objects* dargestellt werden. Das in dieser Zwischenebene modellierte Datenmodell kann so in

allen relationalen Datenbanken implementiert werden, sofern der entsprechende „Adapter“ erhältlich ist (was bei den meisten Datenbanken der Fall ist). So ist das KVMS unabhängig von einer bestimmten Datenbank.

Das *Enterprise Object Framework* kann auch auf verschiedene Datenbanken gleichzeitig zugreifen und die Daten in einem Datenmodell zusammenführen. Dies ist insbesondere für die Integration in das Digitale Produkt nötig. So kann z.B. direkt auf die Daten in einem PDM-System zugegriffen werden [Puls et al. 2001 a].

5.2.3.2 HTML-basierte Benutzerschnittstellen

Die Benutzerschnittstellen des KVMS wurden in WebObjects® mittels des integrierten HTML-Editors entwickelt. Durch die Beschränkung auf HTML können diese auf beliebigen Betriebssystemen mit einem einfachen Internet-Browser genutzt werden.

5.3 Anwendungsszenarien für das KVMS

Grundsätzlich ergeben sich drei Anwendungsszenarien für das KVMS:

- Anwendung bei der Erstellung der KVM
- Anwendung für die Konfigurierung von Produkten
- Anwendung des KVMS in der Produktentwicklung

KVM und KVMS wurden für den Einsatz in KMU, insbesondere im Maschinenbau, konzipiert. Dennoch ist die Konfigurierung auch in vielen anderen Branchen eine häufig auftretende Problemstellung, d.h. KVM und KVMS könnten auch in ganz anderen Bereichen (Konfigurierung von kulinarischen Menüs, Versicherungen, medizinischen Therapien usw.) eingesetzt werden. Darauf wird hier aber nicht genauer eingegangen.

5.3.1 Anwendung bei der Erstellung der KVM

Vergleichbar mit einem Rapid-Prototyping-Werkzeug, kann das KVMS den jeweils aktuellen Stand der KVM darstellen. Der Benutzer kann auf dieser Basis sogar konfigurieren und so die Ergebnisse der Wissensakquisition validieren, wodurch wiederum Erkenntnisse für die Fortsetzung der Wissensakquisition gewonnen werden können.

5.3.2 Anwendung für die Konfigurierung von Produkten

Wie in 4.2.4.3 „Eignung der KVM“ dargestellt, eignet sich die KVM nicht für alle

Produkte. Dennoch reichen aber die Möglichkeiten der KVM für viele Produkte aus, um das K-Wissen abzubilden. Für diese Fälle gibt es folgende Anwendungsszenarien:

- **Einsatz intern zur Angebots- und Auftragsbearbeitung:** In diesem Fall dient das KVMS als technischer Konfigurator zur Unterstützung der Angebots- und Auftragsbearbeitung. Ein Beispiel ist in Kapitel 8 „Verifizierung“ dargestellt.
- **Anwendung durch den Verkauf,** zur Konfigurierung von Produkten während des Verkaufsprozesses z.B. zusammen mit dem Kunden.
- **Konfigurierung durch den Kunden via WWW:** In diesem Fall müssen die Merkmale insbesondere der Kundensicht besonders einfach verständlich sein und bei Bedarf durch erklärendes K-Wissen über das *Info-Symbol* erläutert werden.

5.3.2.1 Customizing des KVMS

Beim Einsatz des KVMS als Konfigurator entsteht in vielen Anwendungsfällen der Wunsch nach zusätzlichen Funktionalitäten. Dabei kann es sich z.B. um die Integration von einfachen, vor der Konfigurierung durchgeführten Berechnungen (siehe Bild 68), um Schnittstellen zum *Digitalen Produkt* u.v.m. handeln. Solche zusätzlichen Funktionalitäten sind durch die Implementierung des KVMS in WebObjects® auf Basis der KVM-Klassen einfach zu realisieren. Die zur Verfügung stehenden Methoden der KVM-Klassen können dazu genutzt und ergänzt werden.

Bild 68 und 69 zeigen Anwendungen, die auf Basis der KVM-Klassen entwickelt wurden. Siehe dazu auch [Riesch 2001; Riesch et al. 2001].

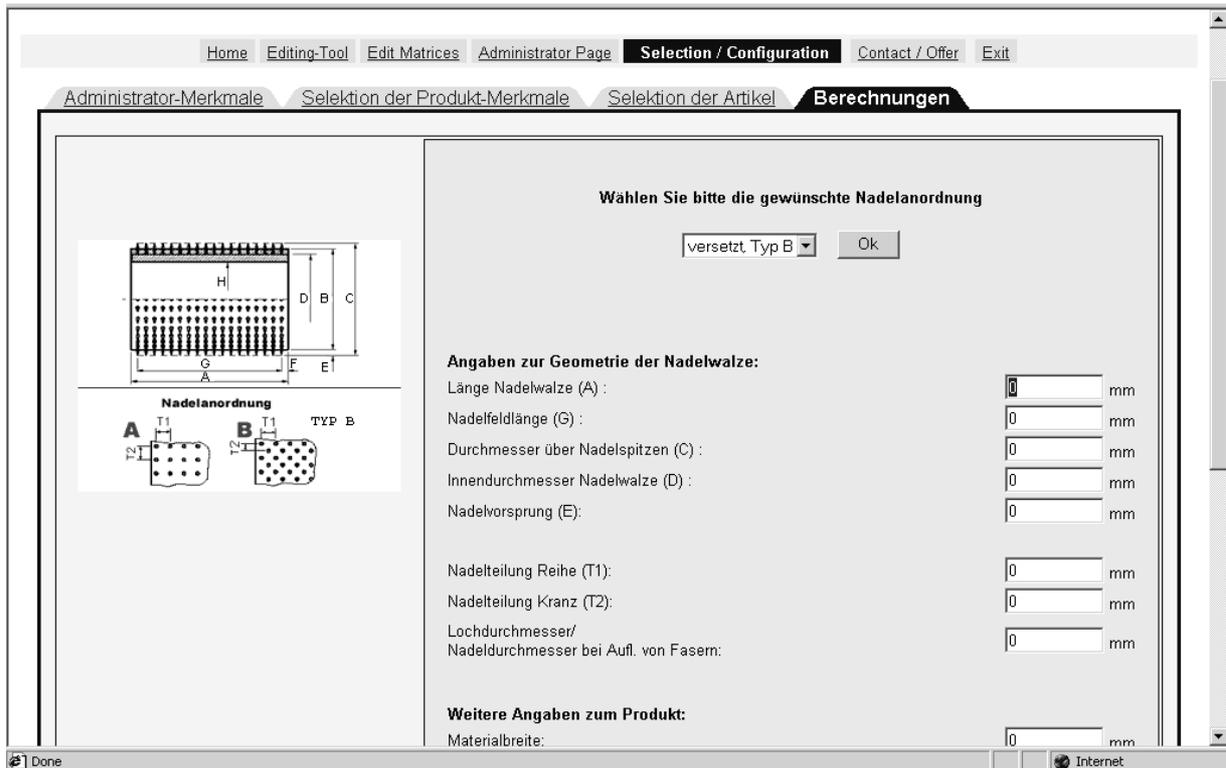


Bild 68: Customizing des KVMS

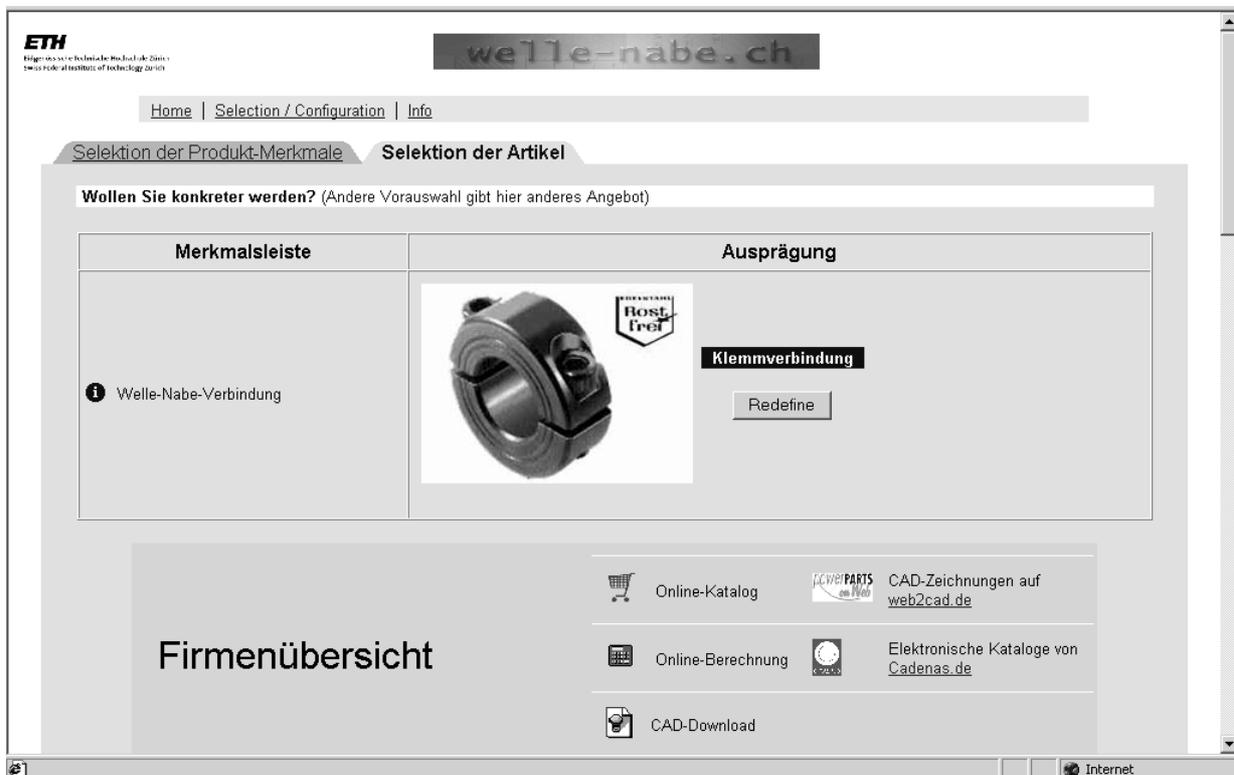


Bild 69: Kundenspezifisches Customizing des KVMS

Dieses *Customizing* (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) ist allerdings problematisch, wenn es sich um zusätzliche Funktionalitäten handelt, die auch von kommerziellen Konfiguratoren geboten werden. Diese machen das KVMS komplizierter und schwieriger pflegbar und es wäre sinnvoller, auf einen kommerziellen Konfigurator zu wechseln. Dabei kann das in der KVM beschriebene K-Wissen als Ausgangsbasis für die Wissensbasis dienen (siehe 4.5.1 „Die KVM als Basis für einen Konfigurator“).

5.3.3 Anwendung des KVMS in der Produktentwicklung

Beim Anwenden der KVM in der Produktentwicklung (siehe 4.3 „Unterstützung der Produktentwicklung“) ist insbesondere die Durchführung der Berechnungen von Interesse. Diese lassen sich nur mit Hilfe des KVMS effizient durchführen. Bild 67 zeigt, wie die Berechnungen aufgerufen werden.

Kapitel 6

Das Management von erklärendem und unstrukturiertem K-Wissen

Wie aus Tabelle 34 auf Seite 142 hervorgeht, bleiben noch zwei Anforderungen unerfüllt. In diesem Abschnitt wird ein Ansatz zur Erfüllung dieser beiden Anforderungen vorgestellt. Dieser wurde bereits in [Puls et al. 2002c] publiziert.

Tabelle 35: Relevante Anforderungen

Anforderung	erfüllt
Abzubildende Arten von K-Wissen	
strukturiertes K-Wissen:	
- Kundensicht	1
- technische Sicht	1
- Mapping zwischen beiden Sichten	1
- Verträglichkeiten technische Sicht	1
- Verträglichkeiten Kundensicht	1
erklärendes K-Wissen	1
unstrukturiertes K-Wissen	1
Erforderliche Eigenschaften der Methodik	
visuelle, übersichtliche Darstellung	1
einfach erlern- & anwendbar	1
keine spezielle Software nötig	1
Unterstützung durch Software möglich	1
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	1
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	1
Integrierbar in das Digitale Produkt	1
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):	
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator ("aufwärtskompatibel")	1

6.1 Erweiterung des KVMS

Die KVM ist ein sehr strukturierter Ansatz, der für die Beschreibung von unstrukturiertem und erklärendem K-Wissen nicht geeignet ist. Diese beiden Wissensarten wurden bereits in 2.4.1 „Abzubildende Arten von K-Wissen“ eingeführt und erläutert. Es handelt sich dabei konkret um Wissen in Form von

- Text,
- Grafik,
- Tabellen und
- beliebigen anderen Wissensrepräsentationsformen.

Insbesondere Text ist eine Wissensrepräsentationsform, die neben der strukturierten Form der KVM sehr nützlich sein kann (vgl. 3.2 „Sprache zur Beschreibung von Konfigurationswissen“). So ist es mit Hilfe von Text beispielsweise möglich, komplexe Zusammenhänge zu beschreiben, die mit der KVM nicht beschrieben werden können. Oft liegt das unstrukturierte und erklärende K-Wissen bereits in Form von Dateien vor.

Zum Management dieses unstrukturierten und erklärenden K-Wissens muss das KVMS um eine Komponente erweitert werden.

6.1.1 Anforderungen an eine zusätzliche Komponente des KVMS

Die zusätzliche Komponente des KVMS muss folgende Aspekte unterstützen:

- Eingabe von Wissen in Form von freiem Text,
- Ergänzung des Textes durch Grafik, Bilder usw.,
- Integration mit den anderen Wissensressourcen, insbesondere der KVM,
- einfaches Editieren und Verlinken der Wissensinhalte.

Analog zu den Anforderungen an das KVMS (5.1 „Anforderungen“) gelten folgende Anforderungen an eine entsprechende Erweiterung des KVMS:

- einfach zu bedienen,
- WWW-fähig, um Installationskosten gering zu halten und die Konfigurierung via WWW zu ermöglichen,
- erweiterbar,
- günstige Kosten für Hard- und Software,
- geringer Konfigurationsaufwand für die Software
- grundsätzliche Anpassung an die *corporate identity* eines Unternehmens möglich.

6.2 Wiki als Erweiterung des KVMS

Als Erweiterung des KVMS wurde *Wiki* gewählt.

6.2.1 Grundsätzliches zu Wiki

Das Wort *Wiki* entstammt dem Hawaiianischen und steht für *schnell*. Im Jahre 1994 entwickelte Ward Cunningham eine einfache Diskussionsplattform für Programmierertechniken und nannte sie *Wiki*. Dieses „Ur-Wiki“ mit dem Namen *Portland Pattern Repository* ist nach wie vor im Internet zugänglich und enthält über 13'000 Seiten, zu denen ständig neue hinzu kommen [Cunningham 2001; Leuf & Cunningham 2001].

Die Stärke von Wiki liegt im schnellen Sammeln, Strukturieren und Querreferenzieren von Informationen durch eine Gruppe verteilter arbeitender Benutzer. Die Arbeit mit Wiki gleicht dem gemeinsamen, kollaborativen Erstellen einer Website.

Obwohl Wiki in der Industrie nicht sehr verbreitet ist, gibt es dennoch einige Organisationen und Unternehmen, die es als Diskussionsserver oder Wissensbasis einsetzen (z.B. Motorola oder [rotarydoctorbank 2002]). In [Leuf & Cunningham 2001]

werden einige Beispiele detailliert beschrieben.

Bzgl. einer detaillierten Einführung in Wiki sei ebenfalls auf [Leuf & Cunningham 2001] verwiesen.

6.2.2 Das Wiki-Konzept

Das Wiki-Konzept basiert auf den folgenden Kernfunktionalitäten, die es einfach aber leistungsfähig machen:

- **WWW-basiert:** Die Benutzer können alle Seiten in Wiki mittels eines einfachen Webbrowsers einsehen und ändern und müssen folglich keine Software installieren. Auch die Administration erfolgt via WWW. Software muss nur serverseitig installiert werden.
- **WikiWords:** Beim Hinzufügen oder Ändern des Inhaltes einer Wiki-Seite können Benutzer sogenannte *WikiWords* benutzen. Das sind Worte mit 2 oder mehr Grossbuchstaben (z.B. *„KOMfort“* in Bild 70), die folgenden Zweck verfolgen: Wenn das WikiWord noch nicht benutzt wurde, wird eine neue Wiki-Seite mit dem WikiWord als Namen generiert. Wenn das WikiWord bereits benutzt wurde, wird es in einen Hyperlink zu der Wiki-Seite mit diesem Namen umgewandelt.

Auf Basis dieser einfachen Kernfunktionalitäten haben Benutzergruppen, immer ausgehend von einer einzigen Seite (der sogenannten „FrontPage“, siehe Bild 72), Wissensbasen mit vielen tausend verlinkten Wiki-Seiten erstellt. Beispiele sind [Cunningham 2001; Wiki 2002b]. Bild 70 zeigt eine zum Fahrrad-Beispiel gehörige Wiki-Seite.

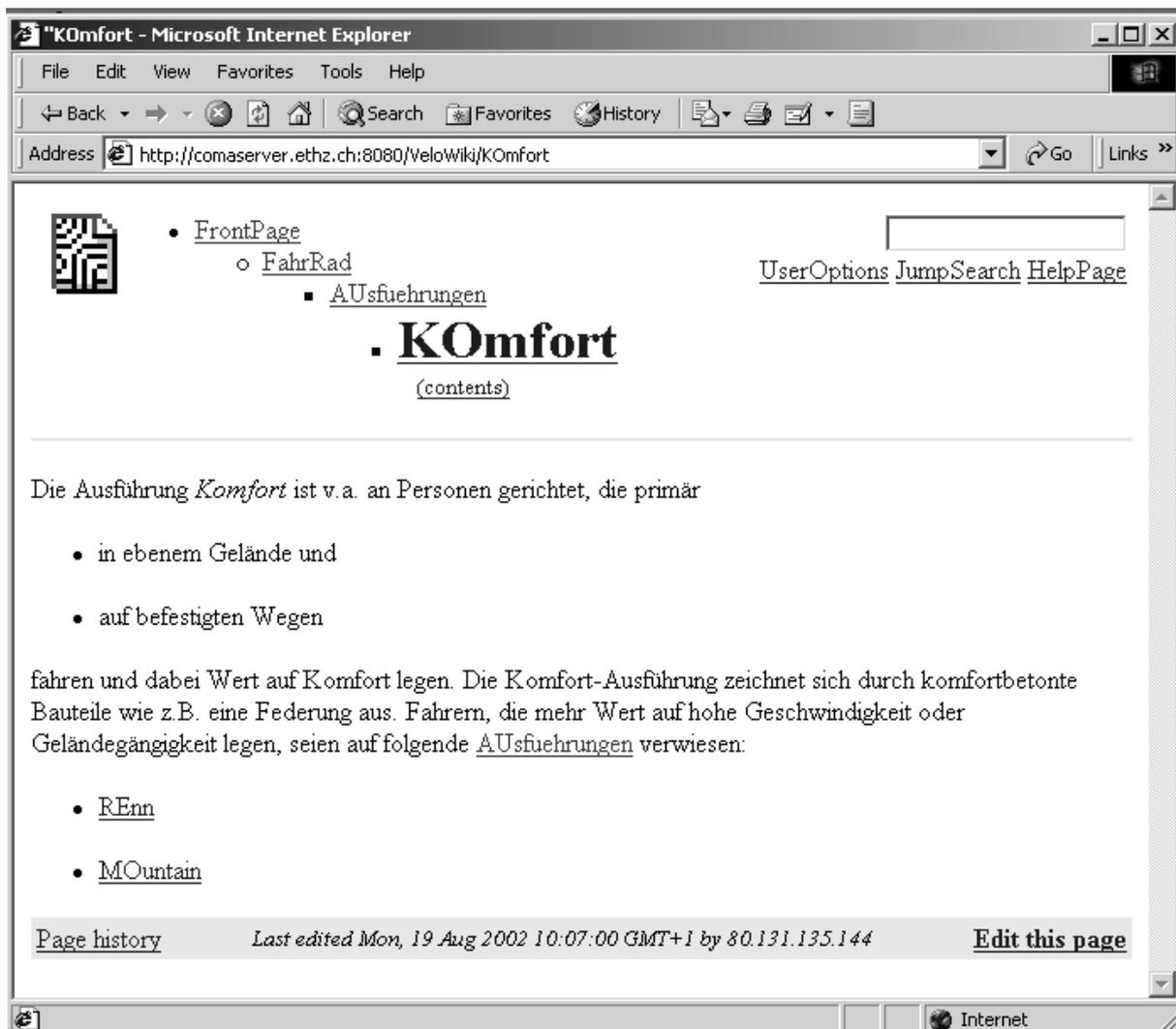


Bild 70: Beispiel einer Wiki-Seite

6.2.3 Implementierung des Konzeptes

Es gibt zahlreiche Implementierungen des Wiki-Konzeptes in Form von Software, die auf einem Server installiert wird. Diese sogenannten *Wiki-Clones* sind meistens *Open Source*, d.h. gratis und incl. Programmcode verfügbar. Die Funktionalitäten sind unterschiedlich, die wichtigsten und in fast allen Wiki-Clones enthaltenen sind die folgenden:

- **Einfache Markup-Sprache:** Die Texteingabe erfolgt in Wiki über ein HTML-Formular (Bild 71), in das man durch Anklicken des „Edit this page“-Link (Bild 70, rechts unten) gelangt. Für besondere Formatierungen wie z.B. Aufzählungen oder kursiven Text gibt es eine bewusst einfach gehaltene Markup-Sprache (Bild 71). Für komplexere Formatierungen kann auch direkt HTML

eingetragen werden. Dies ist allerdings wesentlich komplizierter, lenkt so vom Inhalt ab und schreckt andere Benutzer, die HTML nicht gut beherrschen, möglicherweise vom Hinzufügen von Inhalt ab [Leuf & Cunningham 2001]. Für Details zur Formatierung siehe [Wiki 2002a].

- **Hierarchisch strukturierte Seiten:** Die Seiten können hierarchisch strukturiert werden (Bild 72). Standardmässig ist eine neue Wiki-Seite ein Kind der Seite, aus der heraus sie (durch Eingabe eines WikiWords im Text) generiert wurde. Diese Struktur kann nachträglich geändert werden, zudem kann eine Seite auch mehrere Eltern haben. So kann die Hierarchie der Seiten in Form von Partonomien, Taxonomien usw. organisiert und z.B. an der Produktstruktur angelehnt werden (vgl. 3.5 „Wissensrepräsentation durch Graphen“).
- **Backlinks:** Alle Wiki-Seiten, die auf eine bestimmte Wiki-Seite verweisen, können identifiziert werden. Man spricht dabei von sogenannten *Backlinks* (Bild 73), die den aus dem WWW als unidirektional bekannten Hyperlink bidirektional machen. Die Hyperlinks zwischen den Wiki-Seiten repräsentieren Beziehungen zwischen Informationen - eines der wichtigsten Elemente von Wissen [Mills & Goossenaerts 2001]. Die Bidirektionalität des Hyperlinks vervielfacht den Wert dieses Wissens.
- **Textsuche:** Zusätzlich zu den beschriebenen Navigationsmöglichkeiten über WikiWords, die Seitenstruktur und Backlinks gibt es die Möglichkeit einer Volltextsuche.
- **Anpassbares Layout:** Das Layout der Wiki-Seiten ist anpassbar, Bild 70 zeigt eines der verfügbaren Standard-Layouts in unveränderter Form.
- **File-Upload:** Einige Wiki-Clones bieten die Möglichkeit, zu einer Wiki-Seite Dateien hinzuzufügen. Diese Dateien werden dann auf dem Server gespeichert und können aus der Wiki-Seite heraus aufgerufen werden. Auf diese Weise können z.B. Grafik-, Office- oder sonstige Dateien integriert werden. Alternativ können Dateien auch via Hyperlink eingebunden werden.

[Jordaan 2002] enthält eine Aufzählung bekannter Wiki-Clones.

- *Bemerkung:* **Wiki** (mit grossem „W“) steht im folgenden für Wiki im allgemeinen, während **wiki** (mit kleinem „w“) für eine einzelne Anwendung dieses Konzeptes (z.B. bei einem Unternehmen) auf Basis eines Wiki-Clones steht.

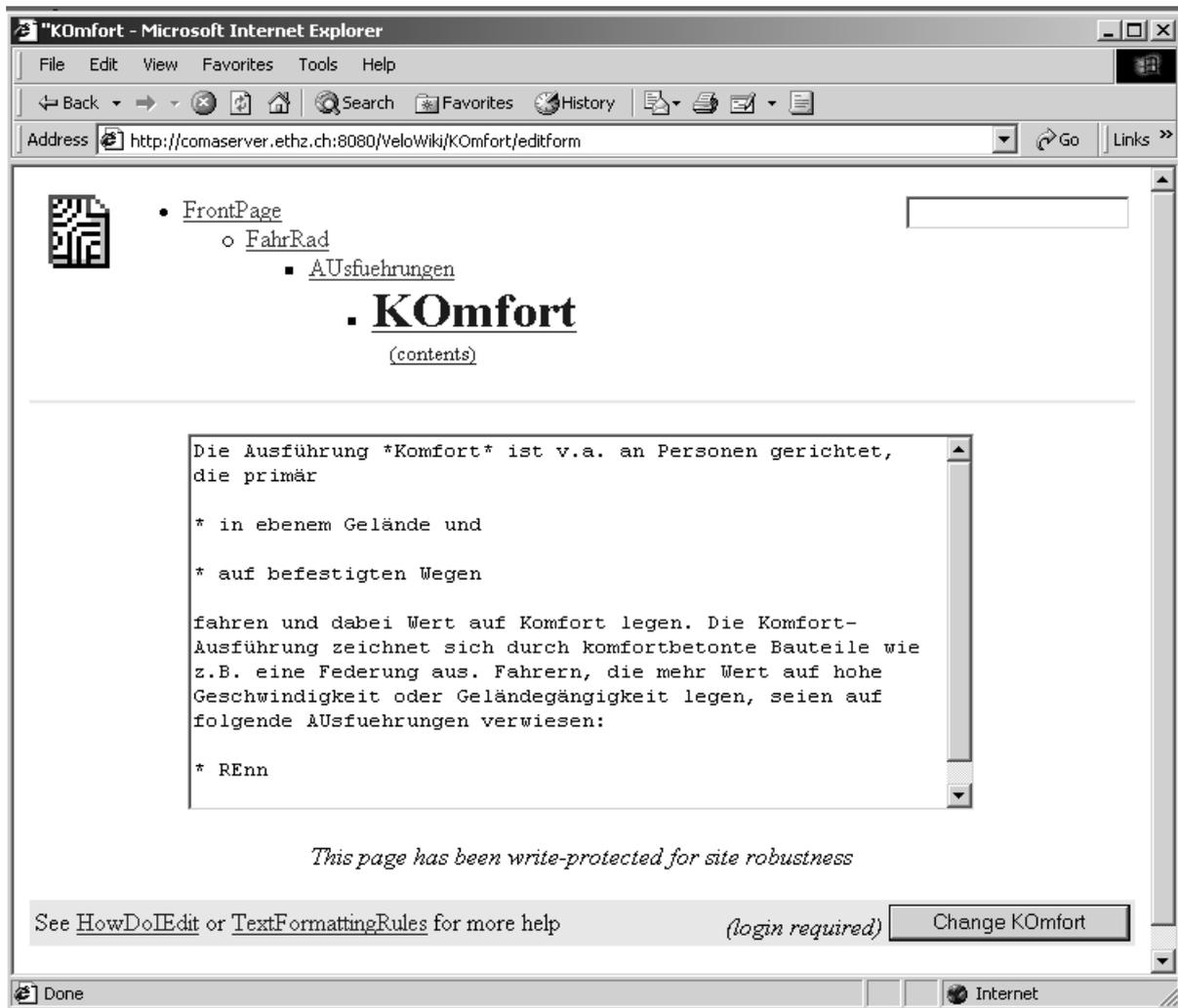


Bild 71: Texteingabe in Wiki

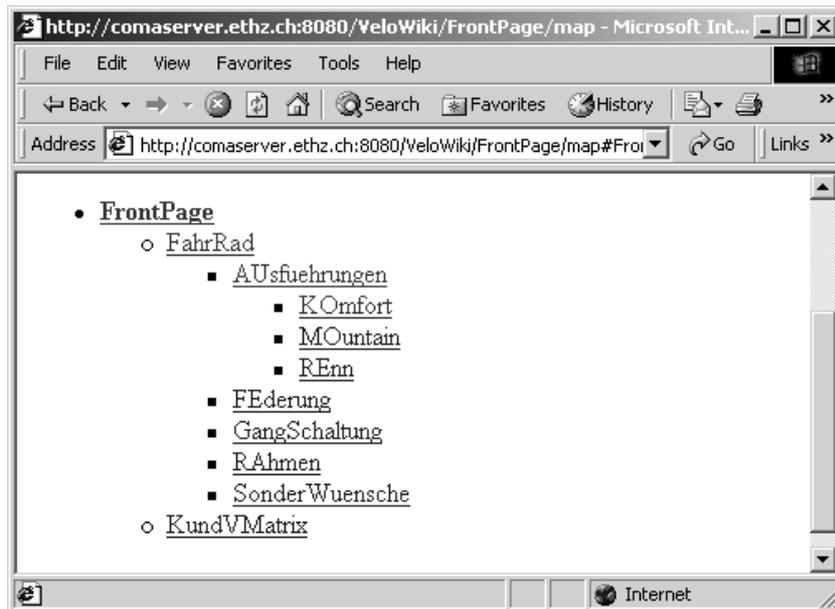


Bild 72: Beispiel einer Hierarchie von Wiki-Seiten

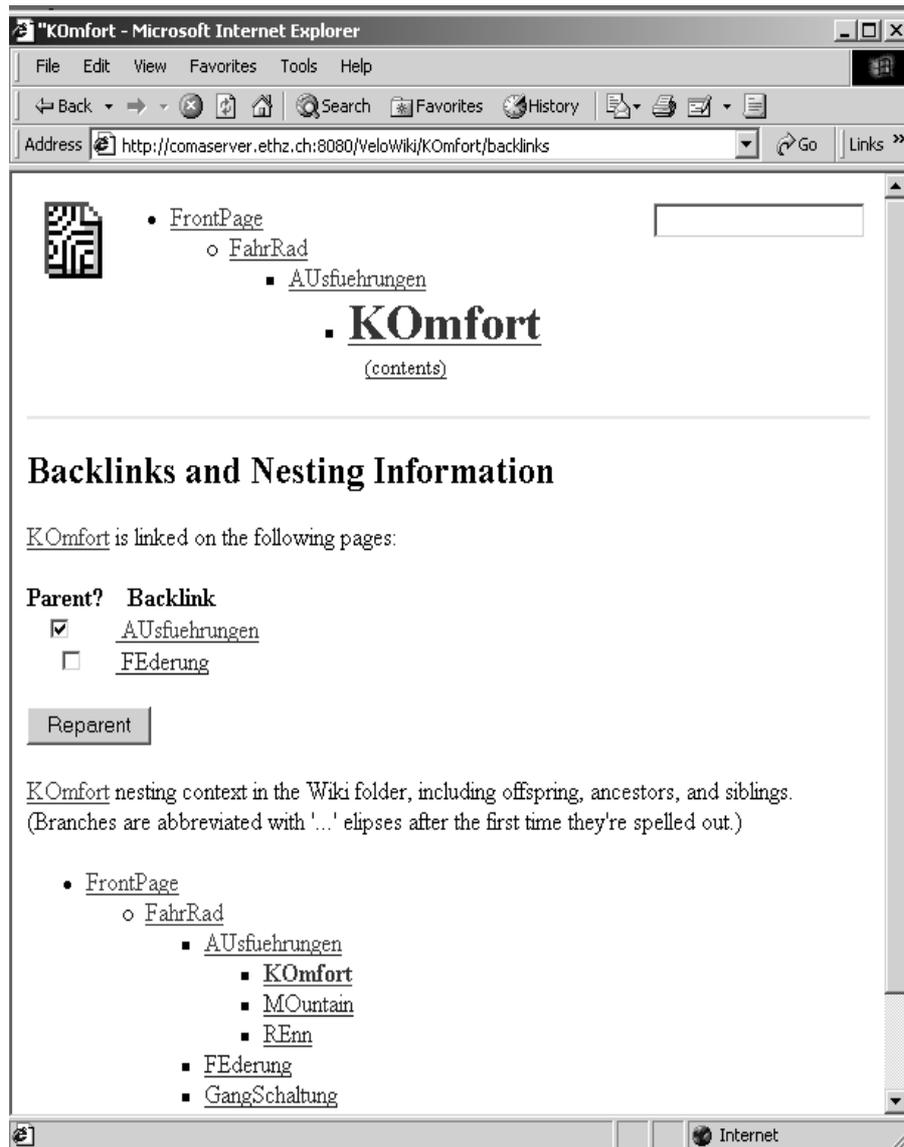


Bild 73: Backlinks, d.h. umgekehrte Hyperlinks

6.2.4 Beurteilung von Wiki

Ausgehend von den beschriebenen Funktionalitäten ergeben sich folgende positiven Eigenschaften von Wiki:

- Es ist einfach erlernbar und schnell.
- Es ist WWW-basiert, unabhängig von Betriebssystem und Webbrowser und benötigt nicht mehr als eine Inter- oder Intranet-Verbindung zwischen dem Rechner des Benutzers und dem Server.
- Die Wiki-Clones benötigen i.d.R. keinen besonders leistungsfähigen Server und sind für verschiedene Betriebssysteme verfügbar.

- Da der Programmcode bei den meisten Wiki-Clones frei verfügbar ist, kann Wiki beliebig angepasst werden.

Durch diese Vorteile sind die Kosten für Wiki sehr gering, was insbesondere dem Einsatz in KMU entgegenkommt.

6.3 Integration mit der KVM

Wiki soll als Erweiterung des KVMS zum Management von unstrukturiertem und erklärendem K-Wissen eingesetzt werden. Eine der wichtigsten Anforderungen an Wiki ist die Integration mit dem strukturierten K-Wissen in der KVM. Die Integration wird hier auf konzeptioneller Ebene sowie auf System-Ebene diskutiert.

6.3.1 Integration auf konzeptioneller Ebene

In den folgenden Abschnitten werden zwei Wege der Integration des erklärenden und unstrukturierten K-Wissens in Wiki mit dem strukturierten K-Wissen in der KVM vorgestellt.

6.3.1.1 Integration von erklärendem K-Wissen

In Bild 74 ist die Integration der KVM mit dem erklärenden K-Wissen in Wiki auf konzeptueller Ebene dargestellt: Wiki beantwortet in erster Linie Fragen, die sich bei der Arbeit mit der KVM ergeben wie z.B.

- „Was bedeutet dieses Kundenmerkmal genau?“,
- „Warum sind diese beiden technischen Eigenschaften nicht verträglich?“,
- „Warum mappt diese Kundeneigenschaft auf jene technischen Eigenschaften?“.

Die Antworten zu diesen „Was?“ und „Warum?“ sind im erklärendem K-Wissen im zugehörigen wiki zu finden. Diese Integration basiert also in erster Linie auf einer unidirektionalen Beziehung zwischen Elementen der KVM und Wiki-Seiten.

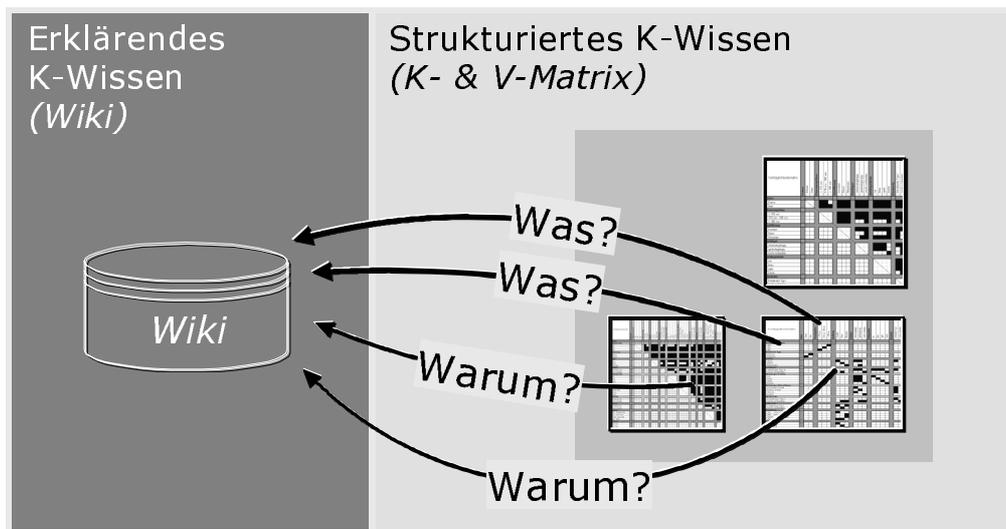


Bild 74: Integration von erklärendem K-Wissen auf konzeptioneller Ebene

6.3.1.2 Integration von unstrukturiertem K-Wissen

Unstrukturiertes K-Wissen wird in erster Linie über den Wissensakquisitionsprozess mit den anderen Arten von K-Wissen integriert. Um dies zu erläutern, ist in Bild 75 der Wissensakquisitionsprozess mit Wiki und der KVM vereinfacht dargestellt:

- Zunächst wird K-Wissen in unstrukturierter Form in Wiki beschrieben (1. *Beschreiben von K-Wissen* in Bild 75). Dies könnte z.B. in einem Brainwriting geschehen, in dem alle möglichen technischen Eigenschaften des Fahrrades auf einer Wiki-Seite in Textform zusammengetragen werden.
- Im zweiten Schritt (2. *Strukturieren* in Bild 75) wird das unstrukturierte K-Wissen in Wiki analysiert, strukturiert, überarbeitet und Teile davon in die KVM überführt (z.B. könnte auf Basis der zusammengetragenen technischen Eigenschaften die technische Sicht erstellt werden). Dabei entsteht also aus dem unstrukturiertem K-Wissen erklärendes und strukturiertes K-Wissen. Das entstandene erklärende K-Wissen wird mit den entsprechenden Elementen der KVM verlinkt.
- Schliesslich wird wieder weiteres unstrukturiertes K-Wissen hinzugefügt und der Wissensakquisitionsprozess beginnt wieder von vorne.

Der - hier stark vereinfacht dargestellte - Wissensakquisitionsprozess ist somit der wichtigste Integrator des unstrukturierten K-Wissens.

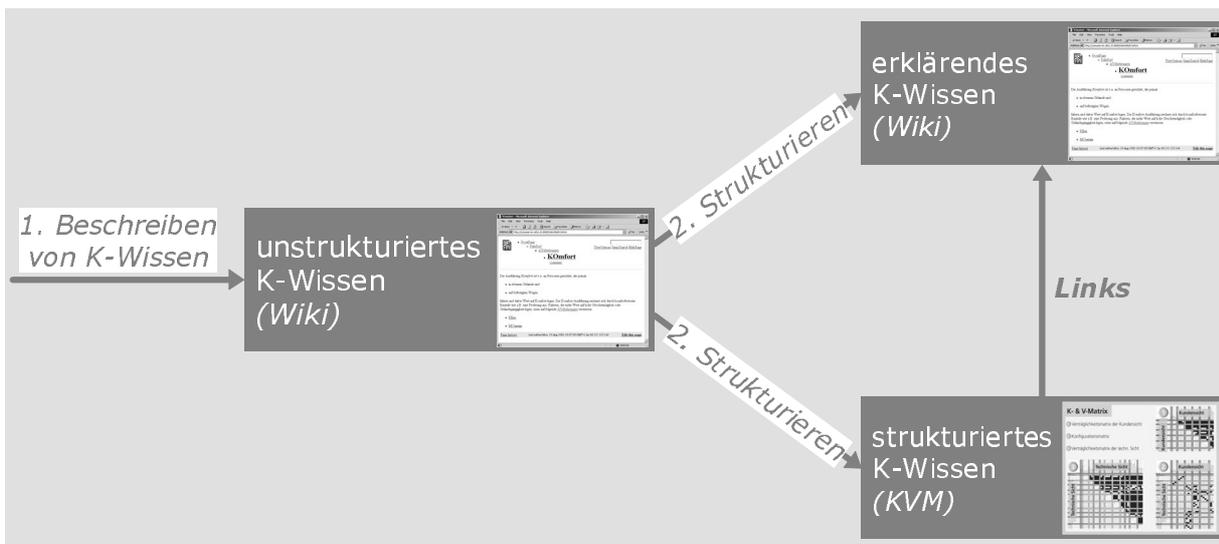


Bild 75: Integration von unstrukturiertem K-Wissen durch den Wissensakquisitionsprozess

6.3.2 Integration auf System-Ebene

Wiki kann zur Erklärungskomponente des KVMS gezählt werden. Es ist allerdings als separates System installiert. In Bild 76 wird es als *erweiterte Erklärungskomponente* bezeichnet.

Die Integration zwischen KVMS und Wiki wird in Form von Hyperlinks realisiert, die die in 6.3.1.1 beschriebenen unidirektionalen Beziehungen zwischen Elementen der KVM und Wiki-Seiten repräsentieren. Hyperlinks sind ein weitverbreitetes und gut funktionierendes Konzept für eine solche Integration. Da beide Systeme WWW-basiert sind, ist die technische Realisierung dieser Integration einfach.

Die Beziehung von Elementen der KVM zu Wiki-Seiten kann auf verschiedene Art und Weise hergestellt werden:

- durch manuelle Zuordnung des entsprechenden Hyperlinks zu einem Element der KVM (dazu muss der Hyperlink als Text in ein entsprechendes Feld im Eingabetool eingegeben werden),
- durch eine Benennung der Wiki-Seiten entsprechend den Elementen der KVM (z.B. für jedes Kundenmerkmal und technisches Merkmal eine gleichnamige Wiki-Seite),
- durch Volltext-Suche im wiki nach einem Text, der im relevanten Element der KVM vorkommt (z.B. dem Merkmal ‚Kindersitz‘).

In der Benutzerschnittstelle des KVMS ist das *Info-Symbol* (siehe 5.2.2.3 „Das Abfragetool (Dialogkomponente)“) ein wichtiger Integrator: dieses Element ist der

Anker für den Hyperlink, der zur erklärenden Information im Wiki führt.

Bild 76 stellt die Integration auf System-Ebene dar.

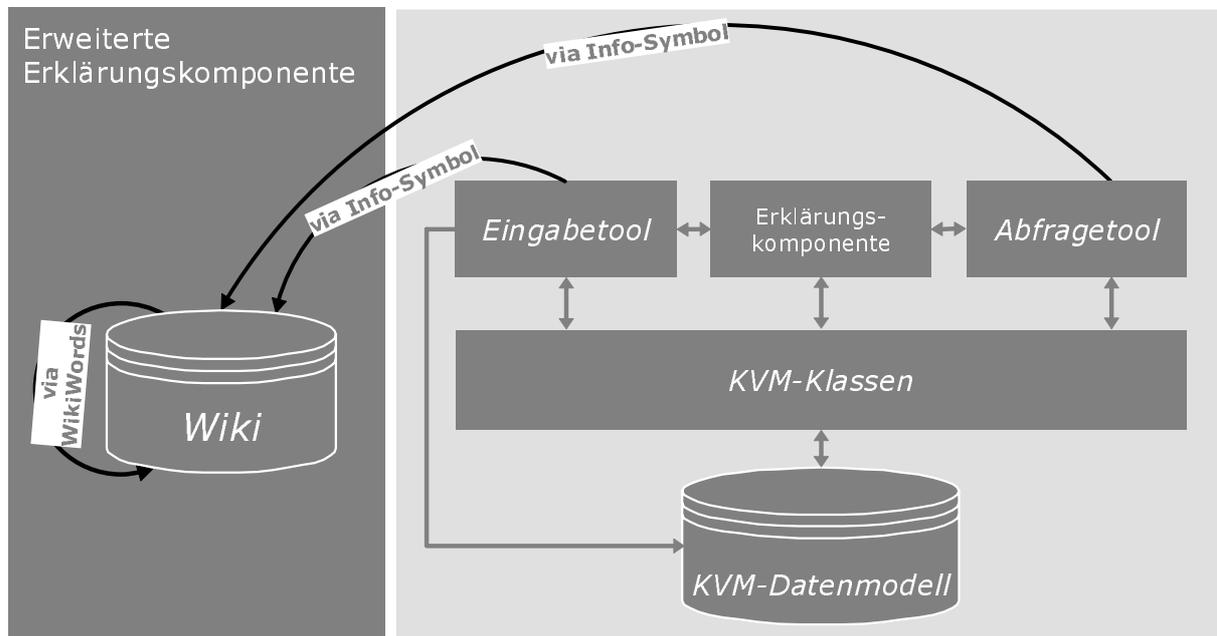


Bild 76: Integration der KVM mit Wiki auf System-Ebene

6.3.3 Vorteile der Integration

Die Vorteile der beschriebenen Integration lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Wiki erweitert die KVM, so dass auch erklärendes und unstrukturiertes K-Wissen abgebildet werden kann. Dadurch, dass Wiki textbasiert ist, aber auch zusätzliche Dateien usw. einbinden kann, ist es einfach zu benutzen und dennoch nahezu unbegrenzt bzgl. der Komplexität des beschreibbaren K-Wissens.
- Die KVM bietet wiederum die Möglichkeit, geeignete Teile des Wissens im Wiki zu strukturieren und in die KVM zu übernehmen, um so den Inhalt des Wikis übersichtlich zu halten.
- Die KVM ist eine zusätzliche Navigationsmöglichkeit in Wiki (neben WikiWords, Seitenstruktur, Backlinks und Volltextsuche), die speziell auf K-Wissen zugeschnitten ist.

6.4 Die Einführung von Wiki

Da Wiki im Wissensakquisitionszyklus zuerst benötigt wird (vgl. Bild 75), ist es vor-

teilhaft, Wiki vor der KVM einzuführen. Es ist ein einfaches Werkzeug, mit dem man schnell zu Ergebnissen kommt, und die Arbeit damit ist folglich sehr motivierend.

Wenn eine Weile mit Wiki gearbeitet wurde und die Wissensbasis eine gewisse Grösse erreicht hat, entsteht zudem von alleine der Wunsch nach einer übersichtlicheren Struktur, was die Akzeptanz der KVM fördert. Wiki ist somit eine Art „Wegbereiter“ für die KVM.

Bei der Generierung von Inhalt mit Wiki ist v.a. auf folgende Punkte zu achten:

- **Corporate vocabulary:** Die Verwendung eines wohldefinierten *corporate vocabulary* [Romhardt 1998], das die wichtigsten Begriffe, deren Abkürzung und v.a. deren Schreibweise als WikiWord enthält. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Volltextsuche sehr wichtig. Nachträgliche Änderungen sind nur mit sehr grossem Aufwand durchführbar. Das corporate vocabulary sollte auch für die KVM und andere im Unternehmen vorhandene Wissensbasen gelten.
- **Hierarchie der Wiki-Seiten:** Der Aufbau der Hierarchie der Wiki-Seiten ist ein wichtiger Punkt. Hier sind Vorgaben zu machen, wie neue Seiten in die Hierarchie eingefügt werden. Die Hierarchie sollte, wenn möglich, an der Produktstruktur, einer internen Klassifizierung oder anderen bestehenden Strukturen angelehnt werden.

Für weitere Hinweise bzgl. dem Vorgehen bei der Einführung von Wiki, siehe [Puls et al. 2002a].

Kapitel 7

Verifizierung

Der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz wurde anhand von mehreren Produkten verifiziert. Darunter sind so unterschiedliche Produkte wie z.B.

- Werkzeugmaschinen,
- Industriecomputergehäuse,
- Welle-Nabe-Verbindungen [Puls et al. 2001b; Riesch 2001; Riesch et al. 2001],
- Kunststoffbehälter [Oppenländer 2002],
- Visualisierungseinrichtungen,
- Getriebe.

In diesem Kapitel wird die letztgenannte Verifizierung im Detail betrachtet.

7.1 Erläuterung des Beispiels

Zunächst werden das Unternehmen, die Produkte sowie die Problemstellung des Verifizierungsbeispiels kurz erläutert.

7.1.1 Das Unternehmen

Das Unternehmen besteht seit mehreren Jahrzehnten und entwickelt und produziert Industriegetriebe verschiedenster Bauart. Es werden ca. 30 Mitarbeiter beschäf-

tigt, folglich handelt es sich um ein *Kleinunternehmen* im Sinne der Definition in Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“.

7.1.2 Produkt

Auf Basis eines Kataloges werden Standardgetriebe verkauft, die in vielen Fällen noch kundenspezifisch angepaßt werden. Dabei kann es sich um kleinere Anpassungen handeln, wie z.B. besondere An- oder Abtriebswellen, Spielarmut usw., oder auch um kompliziertere Anpassungskonstruktionen, um z.B. besonders hohe Übersetzungsverhältnisse zu erreichen.

Zusätzlich werden auch Spezialkonstruktionen durchgeführt, z.B. Schaltgetriebe. Dabei kommen in den Spezialkonstruktionen oft Elemente aus dem Standardprogramm zum Einsatz, die ggf. modifiziert werden (vgl. auch [Berti et al. 2001], dort wird ein ähnlicher Fall beschrieben). Zudem kann häufig auf vorhandene Teillösungen aus früheren Spezialkonstruktionen zurückgegriffen werden. Das Auffinden geeigneter Teillösungen hängt aber v.a. von der persönlichen Erfahrung des Mitarbeiters ab.

7.1.3 Problemstellung

Die Firma sieht sich mit zwei grossen Herausforderungen konfrontiert, die in den folgenden zwei Abschnitten erläutert werden.

7.1.3.1 Einarbeitung neuer Mitarbeiter

Gegenwärtig findet ein Generationenwechsel statt und langjährige Mitarbeiter mit einem großen Erfahrungsschatz werden in den nächsten Jahren die Firma verlassen. Nachfolger sind schon bzw. werden in naher Zukunft eingestellt. Allerdings fällt diesen die Einarbeitung schwer, da es insbesondere in Verkauf und Technik nur wenig explizit beschriebenes Wissen gibt, auf das sie zurückgreifen können. Bisher wurde v.a. auf der Basis von Erfahrung gearbeitet.

7.1.3.2 Effizientere Bearbeitung von Anfragen und Aufträgen

Der Aufwand für die Bearbeitung von Anfragen und Aufträgen ist verhältnismäßig hoch, auch bei Standardgetrieben. Dieser hohe Arbeitsaufwand bindet Ressourcen, die für die Bearbeitung komplizierter Spezialkonstruktionen besser eingesetzt wären.

Hinzu kommt, daß durch die zunehmende Nutzung des Internets und der Funktionalitäten virtueller Marktplätze in den vergangenen Jahren die Anzahl eingehender Anfragen erheblich zugenommen hat, während die Zahl tatsächlich zu vergebender

Aufträge eher gleich geblieben ist. Zudem erwarten Anfrager immer schnellere Antworten.

- **Effiziente Erhebung der Kundenwünsche**

Ein wesentlicher Zeitfaktor ist dabei die schnelle, korrekte und v.a. vollständige Erhebung der Kundenwünsche. Diese sind bei den eingehenden Anfragen oftmals unvollständig. Auch in Telefongesprächen werden oftmals nicht alle nötigen Angaben vom Kunden auf Anhieb erfragt, so dass zeitaufwendige Rückfragen nötig sind. Es handelt sich dabei um eine komplexe Aufgabe, die viel Kompetenz, Erfahrung und Konzentration verlangt.

Ein auf der Internetseite des Unternehmens eingerichtetes "Anfrageformular" hat nicht zu dem erwünschten Ergebnis geführt: zwar wird es von Anfragern rege genutzt, aber nur die wenigsten Kunden beschreiben ihr Problem systematisch mit Hilfe der vorbereiteten Felder. Stattdessen fügen sie i.d.R. einen bereits für andere Anfragen verwendeten Text in das Textfeld "Kommentar" ein.

- **Effiziente Bearbeitung von Aufträgen**

Ein weiterer grosser Zeitfaktor ist die korrekte Ausführung der Konstruktion. Zwar kann auf vorhandene Lösungen zurückgegriffen werden und so Zeit gespart werden, aber dennoch ist dies zeitaufwendig und fehleranfällig. Da es keine formalisierte Vorgehensweise für die Berücksichtigung der Kundenwünsche gibt, müssen die Konstruktionen einer eingehenden Endprüfung unterzogen werden, um sicherzustellen, dass alles beachtet wurde. Die durch fehlerhafte Konstruktionen verursachten Kosten können sehr hoch sein.

7.1.4 Eingeleitetes Projekt

Die Lösung dieser beiden Probleme wird als essentiell für den Erfolg des Unternehmens gesehen und soll in einem Projekt angegangen werden. Dabei ist allerdings zu bedenken, daß aufgrund der geringen Größe des Unternehmens nur begrenzte finanzielle und personelle Ressourcen zur Verfügung stehen. Die Mitarbeiter sind stark in das Tagesgeschäft eingebunden und es können keine zusätzlichen Mitarbeiter speziell für dieses Projekt eingestellt werden.

Der Aufwand für das Projekt soll sich in folgendem Rahmen bewegen:

- **Einmalige Investitionen** (z.B. Hard- und Software, Beratung): max. 20'000 CHF
- **Laufende Kosten** (z.B. Hard- und Softwarewartung, Administration): max.

5'000 CHF jährlich

- **Eigene Arbeitsleistungen:** es wird davon ausgegangen, daß die Mitarbeiter zu Beginn des Projektes wöchentlich max. 2-4 Stunden investieren können. Dieser Aufwand soll mit dem Fortschritt des Projektes sinken und sich bei max. 1 Stunde pro Woche einpendeln.

7.2 Vorgehen

Das Problem wurde mit dem in dieser Arbeit präsentierten Ansatz angegangen. Dabei wurde zunächst Wiki und aufbauend darauf die KVM eingeführt, wie in den folgenden Abschnitten beschrieben.

7.2.1 Einführung von Wiki

Auf Basis eines existierenden Textdokumentes, das als „Wissensdatei“ diente und für das operative Geschäft relevantes Wissen (u.a. K-Wissen) in unstrukturierter Form enthielt, wurde ein wiki aufgebaut. Ausgehend davon haben die Mitarbeiter kontinuierlich Information hinzugefügt und so das wiki „mit Leben erfüllt“.

Das wiki enthielt somit zum einen unstrukturiertes K-Wissen, das in die KVM oder in erklärendes K-Wissen übergehen sollte, sowie auch allgemeines unstrukturiertes Wissen, das im wiki verbleiben sollte.

Aufgrund der Einfachheit von Wiki hat sich dessen Einführung als problemlos und sehr erfolgreich erwiesen. Die Akzeptanz war entsprechend gut.

7.2.1.1 Erfahrung aus der Einführung von Wiki

Der Erfolg von Wiki brachte allerdings auch Probleme mit sich:

Wenn Mitarbeiter Inhalt hinzufügen, müssen sie zwangsläufig auch neue Wiki-Seiten erstellen. Dies muss - von Anfang an - unter Beachtung von Richtlinien bzgl. der Benennung und Hierarchisierung der Seiten geschehen. V.a. auch im Hinblick auf die Integration der KVM mit Wiki über Textsuche (siehe 7.2.3) ist ein sorgfältig definiertes *corporate vocabulary*, auf das auch bei der Erstellung der KVM zurückgegriffen wird, wichtig. Vgl. hierzu die Ausführungen in 6.4 „Die Einführung von Wiki“.

Die weiteren Erfahrungen aus diesem Projekt sind in [Puls et al. 2002a] eingeflossen. Dort ist das empfohlene Vorgehen bei der Einführung von Wiki detailliert beschrieben.

7.2.2 Einführung und Erstellung der KVM

In einem weiteren Schritt wurde die KVM eingeführt. Dabei wurden Kundensicht und technische Sicht auf Basis von Produktkatalog, Checklisten, Zeichnungen, Anfragen, Aufträgen usw. erstellt. Die Erstellung der Sichten hat sich als sehr aufwendiger aber auch sehr lehrreicher Prozess herausgestellt. Das Mapping sowie die Verträglichkeiten wurden v.a. aufgrund der Erfahrung der Konstrukteure erstellt.

7.2.2.1 Erfassungstiefe unter 100 %

Eine Erfassungstiefe des K-Wissens (vgl. 2.2.1.1 „Beschränkung der Komplexität des K-Wissens“) von 100 % ist in diesem Fall nicht realisierbar. Dafür sind Komplexität und Vielfalt der Produkte zu gross und das Unternehmen sowie die Stückzahlen zu klein. Insbesondere bei Spezialkonstruktionen ist dies der Fall: Zwar wird auch hier meistens nach einem ähnlichen Schema vorgegangen, allerdings beinhaltet dieses Vorgehen viele Entscheidungen, die aufgrund der Erfahrung des Konstrukteurs getroffen werden. Die vollständige Modellierung dieser Erfahrung als K-Wissen würde einen zu grossen Aufwand bedeuten.

Bild 77 ordnet das vorliegende Anwendungsszenario in Bild 3 auf Seite 18 ein. Daraus geht auch hervor, dass die tatsächliche Komplexität des K-Wissens mit der KVM nicht 100 %-ig abbildbar ist. Mit einem anderen Ansatz (z.B. einem kommerziellen, leistungsfähigen Konfigurator) wäre dies u.U. möglich, der Aufwand würde aber die vorhandenen Ressourcen weit übersteigen.

Aufgrund der geringen Erfassungstiefe muss der Benutzer bei der Konfigurierung auf Basis der KVM mitdenken, um unrealistische Konfigurationen zu vermeiden. Somit wird es nicht möglich sein, den Kunden selbst, z. B. über das WWW, konfigurieren zu lassen, was beim vorliegenden Produktportfolio aber auch nicht sinnvoll wäre.

Ähnliche Überlegungen bzgl. der Erfassungstiefe von K-Wissen insbesondere in KMU werden in [Lehtonen et al. 2000] gemacht. Dort wird ein *Ultra Light Sales Configurator* mit einer noch geringeren Erfassungstiefe vorgestellt, bei dem z.B. keine Verträglichkeiten überprüft werden.

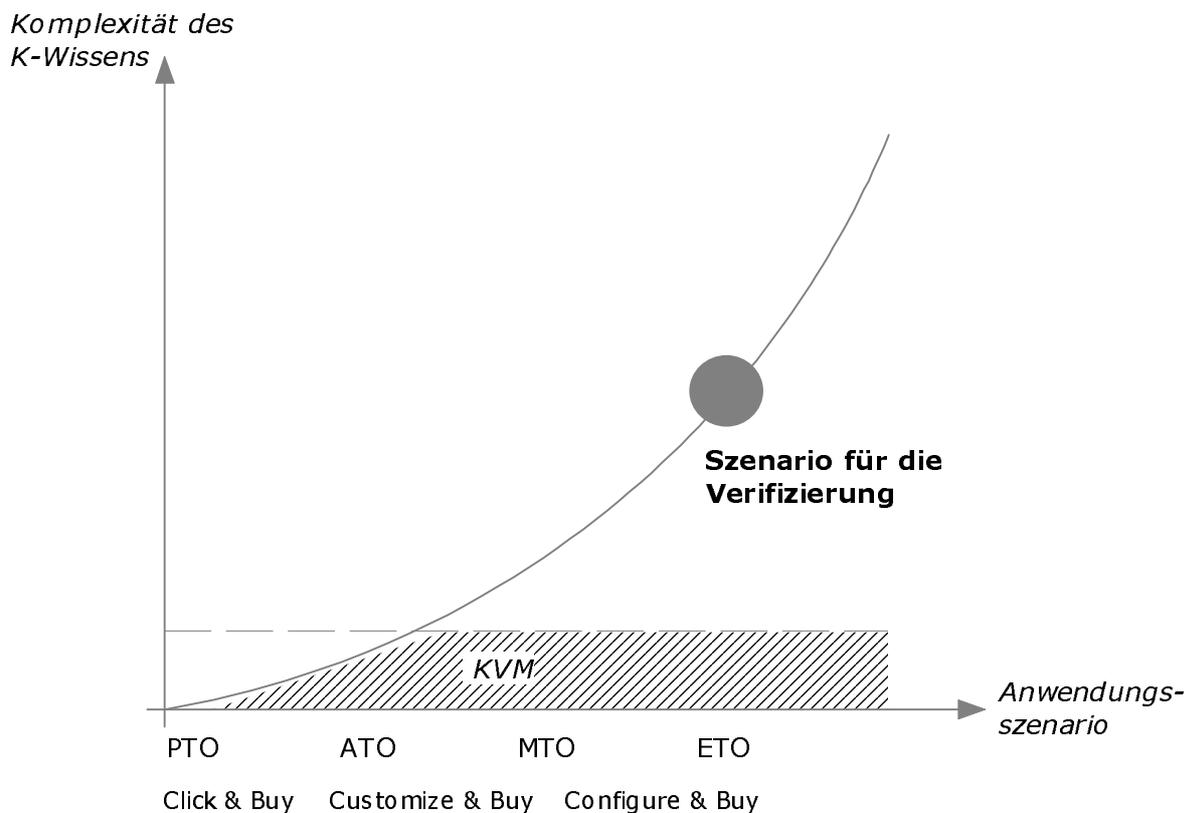


Bild 77: Einordnung des Beispiels in die möglichen Anwendungsszenarien (vgl. 2.2.1.1 „Beschränkung der Komplexität des K-Wissens“)

7.2.2.2 Einführung des KVMS

Nach der Erstellung der KVM konnte auf Basis der Matrizen ohne grossen Aufwand das KVMS eingeführt werden. So steht dem Unternehmen ein Konfigurator zur Verfügung, der in den relevanten Unternehmensprozessen eingesetzt werden kann.

7.2.2.3 Einsatz des KVMS

Das KVMS kann v.a. in zwei Prozessen eingesetzt werden:

- Angebotserstellung und
- Auftragsbearbeitung.

• Einsatz bei der Angebotserstellung

Bei der Angebotserstellung wird das KVMS insbesondere zur effizienten Erfassung der Kundenwünsche angewendet. Bei der Bearbeitung von Anfragen werden die Kundenwünsche direkt in das KVMS eingegeben. Die Merkmale der Kundensicht dienen dabei als eine Art Checkliste für relevante Kundenangaben. Durch das zu

jedem Merkmal vorhandene Textfeld „Zusatzinformationen“ (vgl. 5.2.2.3 „Das Abfragetool (Dialogkomponente)“) können zudem beliebige Sonderwünsche aufgenommen werden.

- **Einsatz bei der Auftragsbearbeitung**

Bei der Auftragsbearbeitung können die erforderlichen technischen Eigenschaften von den während der Angebotserstellung erfassten Kundenwünschen abgeleitet werden. Diese Ableitung führt das KVMS aufgrund des Mappings in der K-Matrix durch. Da die Erfassungstiefe geringer als 100 % ist, sind die abgeleiteten technischen Eigenschaften jedoch nicht vollständig, sondern müssen vom Konstrukteur noch überarbeitet und ergänzt werden.

Sowohl die Kundenwünsche, wie auch die abgeleiteten technischen Eigenschaften stehen dem Konstrukteur in Form einer Tabelle zur Verfügung, die auf Basis der vom KVMS ausgegebenen XML-Datei (siehe 5.2.2.3 „Das Abfragetool (Dialogkomponente)“) erstellt wird.

Die Daten aus der XML-Datei können zudem in das CAE-System KISSsys® [kisssoft 2002] eingelesen und dort weiterverarbeitet werden. Relevante Daten dafür sind z.B. Drehzahlen oder Drehmomente. Siehe [Gubser & Slama 2001] für Details bzgl. dieser Integration.

7.2.2.4 Einsatz der KVM in der Produktentwicklung

In [Gubser & Slama 2001] wurde mit Hilfe der KVM die Grundlage für die Entwicklung eines neuen Baukastensystems gelegt. Die Ergebnisse sind positiv, müssen aber noch weiter vertieft werden, da im Rahmen dieser Arbeit keine vollständige Entwicklung begleitet werden konnte.

7.2.3 Integration von Wiki und KVM

Wie bereits erwähnt, wurde das Wiki vor der KVM und somit unabhängig davon erstellt. Die Struktur und Benennung der Wiki-Seiten ist somit grundsätzlich anders als die Struktur der KVM. So kann sich z.B. erklärendes K-Wissen zu einem Kundenmerkmal auf mehrere Wiki-Seiten verteilen, genauso wie eine Wiki-Seite Information zu mehreren technischen Merkmalen erhalten kann.

Eine manuelle Zuordnung der relevanten Wiki-Seiten zu Elementen der KVM (vgl. 6.3.2 „Integration auf System-Ebene“) ist somit zu aufwendig in der Erstellung und Pflege. Aus diesem Grund wird die Beziehung durch eine Volltextsuche realisiert. So wird z.B. beim Anklicken des Info-Symbols neben dem Kundenmerkmal *Drehmo-*

ment' das ganze wiki nach diesem Text durchsucht und die Treffer angezeigt. Der Benutzer kann so zum erklärenden K-Wissen navigieren.

7.3 Schlussfolgerungen aus der Verifizierung

Abschliessend lässt sich sagen, dass die Kombination von Wiki, KVM und KVMS geeignet ist, um K-Wissen in einem KMU zu beschreiben und zu pflegen. Der materielle Aufwand ist im Vergleich zu bisher existierenden Lösungen erheblich geringer. Der personelle Aufwand ist ebenfalls geringer, sollte aber dennoch nicht unterschätzt werden. Insbesondere die Erstellung der KVM gelang nur durch intensive Mitarbeit der Konstrukteure.

Bemerkenswert war ein Wandel im Umgang mit Wissen: Schon durch den Einsatz von Wiki ist ein neues Bewusstsein bzgl. dem Wert von Wissen entstanden. Wissen, das früher mangels geeigneter Ablagemöglichkeit meistens verloren ging bzw. nur einer Person zur Verfügung stand, wird heute im wiki abgelegt und ist somit für andere Mitarbeiter verfügbar.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

Dieses abschliessende Kapitel enthält eine kurze Zusammenfassung der Arbeit und im zweiten Teil einem Ausblick auf mögliche weiterführende Arbeiten.

8.1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird eine Methode für das Management von Konfigurationswissen vorgestellt, die insbesondere für KMU geeignet ist. Zunächst werden in der Einleitung die Rahmenbedingungen für diese Arbeit erläutert. Dabei wird auf Wissensmanagement im allgemeinen und das Management von Konfigurationswissen im besonderen eingegangen. Im darauffolgenden Kapitel wird die der Arbeit zugrundeliegende konkrete Problemstellung, die Zielsetzung der Arbeit sowie das in den folgenden Kapiteln immer wieder herangezogene Beispiel eines Fahrrades beschrieben. Ausgehend von der Zielsetzung der Arbeit werden konkrete Anforderungen abgeleitet (siehe Tabelle 36). Diese Anforderungen werden bei der anschliessenden Beschreibung des Stand der Technik herangezogen, um existierende Ansätze zur Beschreibung von Konfigurationswissen zu bewerten. Aufbauend auf einigen im Stand der Technik vorgestellten Ansätzen wird eine Beschreibungssprache für strukturiertes Konfigurationswissen, die *K- & V-Matrix*, entwickelt. Zum effizienten Einsatz in der Praxis wurde eine Software entwickelt, die die Erstellung und Pflege der K- &

V-Matrix sowie die Konfigurierung von Produkten auf Basis der K- & V-Matrix unterstützt. Diese Software wird als *K- & V-Matrix-System* bezeichnet. Da in der K- & V-Matrix nur strukturiertes Konfigurationswissen abgebildet werden kann, wird diese um *Wiki* - ein System zum Management von unstrukturiertem und erklärendem Konfigurationswissen - erweitert. Abgeschlossen wird diese Arbeit durch eine Verifizierung anhand eines Beispiels aus der Praxis. Der Anhang dieser Arbeit enthält ein Glossar sowie Hinweise zur formalen Überprüfung der K- & V-Matrix bei der Erstellung.

Tabelle 36: Anforderungen und relevante Abschnitte

Anforderung	erfüllt	siehe
Abzubildende Arten von K-Wissen		
strukturiertes K-Wissen:		
- Kundensicht	1	4.2.1 „Beschreibung von Kundensicht und technischer Sicht“
- technische Sicht	1	4.2.1 „Beschreibung von Kundensicht und technischer Sicht“
- Mapping zwischen beiden Sichten	1	4.2.2 „Die Konfigurationsmatrix (K-Matrix)“
- Verträglichkeiten technische Sicht	1	4.2.3 „Die Verträglichkeitsmatrix (V-Matrix)“
- Verträglichkeiten Kundensicht	1	4.2.3 „Die Verträglichkeitsmatrix (V-Matrix)“
erklärendes K-Wissen	1	6.2 „Wiki als Erweiterung des KVMS“
unstrukturiertes K-Wissen	1	6.2 „Wiki als Erweiterung des KVMS“
Erforderliche Eigenschaften der Methodik		
visuelle, übersichtliche Darstellung	1	4.2.5 „Verifizierung der erforderlichen Eigenschaften“
einfach erlern- & anwendbar	1	4.2.5 „Verifizierung der erforderlichen Eigenschaften“
keine spezielle Software nötig	1	4.2.5 „Verifizierung der erforderlichen Eigenschaften“
Unterstützung durch Software möglich	1	5.2 „Das K- & V-Matrix-System (KVMS)“
Brückenfunktion zwischen Verkauf und Technik	1	4.2.5 „Verifizierung der erforderlichen Eigenschaften“
Unterstützung der PE durch zusätzlichen Nutzen	1	4.3 „Unterstützung der Produktentwicklung“
Integrierbar in das Digitale Produkt	1	5.2 „Das K- & V-Matrix-System (KVMS)“
Nutzung des Ergebnisses der Methodik (K-Wissen):		
- Nutzung des K-Wissens direkt f. Konfigurierung	1	4.2.5.1 „Ablauf bei der Konfigurierung auf Basis der KVM“
- K-Wissen als Basis für kommerziellen Konfigurator ("aufwärtskompatibel")	1	4.5.1 „Die KVM als Basis für einen Konfigurator“

8.2 Ausblick

Der Ausblick ist in drei Teile gegliedert:

- 8.2.1 „Weiterführende Arbeiten bzgl. der KVM“
- 8.2.2 „Weiterführende Arbeiten bzgl. dem KVMS“
- 8.2.3 „Weiterführende Arbeiten bzgl. Wiki“

8.2.1 Weiterführende Arbeiten bzgl. der KVM

Weitere Forschung auf dem Gebiet der KVM wäre insbesondere bzgl. der folgende Aspekte interessant:

- **Vorlagen oder Richtlinien für die Erstellung der KVM:** Die Erstellung der

KVM sollte durch eine formalisierte Vorgehensweise für KMU erleichtert werden. Dabei ist zu untersuchen, ob ggf. Vorlagen oder Richtlinien erarbeitet werden können.

- **Unterstützung und Integration in die Produktentwicklung:** Der Einsatz der in 4.3 „Unterstützung der Produktentwicklung“ vorgestellten Berechnungen in der Praxis sollte weiter erforscht und anhand realer Beispiele untersucht werden. Dabei sollte die Neuentwicklung und die Überarbeitung von Produkten betrachtet und insbesondere die Integration mit anderen Methoden (z.B. QFD, MFD) sowie dem Produktentwicklungsprozess nach [VDI 1993] sollte untersucht werden. Ein Ansatz dazu wurde bereits in [Bongulielmi et al. 2002a] vorgestellt.
- **Theoretisch-mathematische Untersuchung:** Nachdem in dieser Arbeit eher heuristisch vorgegangen wurde, wäre eine Untersuchung der KVM unter theoretisch-mathematischen Gesichtspunkten sinnvoll. Insbesondere die in 4.3 „Unterstützung der Produktentwicklung“ vorgestellten Berechnungen sollten auf mathematische Zusammenhänge hin untersucht werden. Durch deren Kenntnis könnten die in 4.3 „Unterstützung der Produktentwicklung“ vorgestellten Berechnungen effizienter gestaltet werden und ggf. neue Möglichkeiten der KVM entdeckt werden.
- **Erweiterung der KVM:** Ausgehend von 4.6.1 „Schwächen und Grenzen der KVM“ könnten Ansätze bzgl. deren Erweiterung entwickelt werden. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass viele Methoden erst dann zu kompliziert und unbrauchbar wurden, als man versuchte, sie auf alle Probleme anwendbar zu machen (vgl. 2.2.1.2 „Gründe für die Beschränkung der Komplexität des K-Wissens“ und Bild 4 auf Seite 19).
- **Vorgehensweise für Übergang zu Konfigurator:** Um die Erweiterung und Verkomplizierung der KVM zu vermeiden, sollte insbesondere die in 4.5.1 „Die KVM als Basis für einen Konfigurator“ bereits angedachte Überführung der KVM in die Wissensrepräsentationsformen von Konfiguratoren untersucht werden. Eine formalisierte und in der Praxis verifizierte Vorgehensweise wäre hier sehr hilfreich.

8.2.2 Weiterführende Arbeiten bzgl. dem KVMS

Bzgl. der Weiterentwicklung des KVMS gibt es eine Vielzahl von Ideen und Möglichkeiten, von denen einige kurz erwähnt werden:

- **Hinweise für die Wahl der kma:** Aufgrund der Matrizen kann berechnet werden, welche kma den Lösungsraum am meisten einschränken. Da es u.U. Sinn macht, diese „bestimmenden“ Merkmale zuerst zu wählen, sollten diese dem Benutzer angezeigt werden.
- **Visualisieren der Konfigurierung:** Die Konfigurierung könnte anhand der Matrizen visuell dargestellt werden. Beispielsweise könnte das durch die Wahl eines kma durchgeführte Mapping in der K-Matrix visualisiert werden. Dies wäre insbesondere bei der Analyse bzw. Validierung der KVM hilfreich und würde die Erklärungskomponente ergänzen.
- **Integration anderer Regelwerke:** Wie in Bild 78 dargestellt wäre es denkbar, dass z.B. die Verträglichkeiten der technischen Sicht gar nicht im KVMS abgebildet werden, sondern in einem anderen System (z.B. einem Konfigurator), aber dennoch für das KVMS zur Verfügung stehen. Dazu müsste eine Schnittstelle zwischen dem KVMS und dem entsprechenden System implementiert werden, die den Zugriff des KVMS erlaubt. Dies kann verschiedene Ziele haben, so z.B. die visuelle Darstellung der Verträglichkeiten der Kundensicht, die nur mit dem KVMS möglich ist. Ein weiteres Ziel könnte die Abbildung von K-Wissen im jeweils dafür idealen System sein. So wurde in [Gubser & Slama 2001] ein Teil des K-Wissens in der KVM und ein anderer in der CAE-Software KISSsys® [kisssoft 2002] beschrieben und über eine XML-Schnittstelle integriert. Die Möglichkeiten solcher Integrationen mit anderen Regelwerken sind zu erforschen. Insbesondere muss untersucht werden, ob so die Schwächen des KVMS z.B. bzgl. der Verarbeitung von Formeln gelöst werden können.

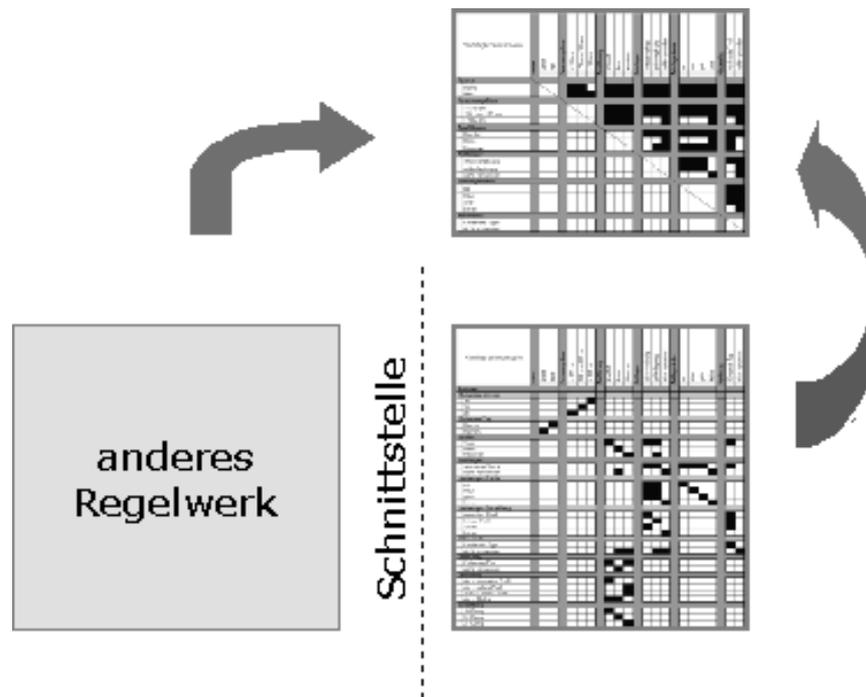


Bild 78: Integration eines anderen Regelwerkes für die technische Sicht

- **Eingabe von Zusatzinformationen:** Wie in 5.2.2.3 „Das Abfragetool (Dialogkomponente)“ erwähnt, kann der Benutzer bereits Zusatzinformationen über ein Textfeld eingeben. Dies können z.B. Wünsche nach zusätzlichen Ausprägungen (beispielsweise eine bisher nicht angebotene 7-Gang-Nabenschaltung) oder nach Kombinationen von Eigenschaften, die nicht verträglich sind (z.B. Anhänger und Kindersitz gleichzeitig). Ggf. wäre es sinnvoll, das KVMS um eine Möglichkeit zur grafischen Eingabe von Zusatzinformationen zu erweitern. Diese könnten speziell an das Produkt angepasst sein, z.B. könnte bei einem Getriebe ein grafischer Welleneditor zur Spezifizierung spezieller Geometrien für die Abtriebswelle eingebunden werden.
- **Rückführung von Zusatzinformationen an die Produktentwicklung:** Die obengenannten Zusatzinformationen müssen an die Produktentwicklung zurückgeleitet werden, so dass diese die Machbarkeit abklären und ggf. den Wunsch sofort oder bei einer Überarbeitung der Produktfamilie berücksichtigen kann. Auch wenn nicht alle Sonderwünsche sofort erfüllt werden können, so ist diese Zusatzinformation dennoch ein wichtiger Hinweis auf die Entwicklung des Marktes. Zur Rückführung dieser Informationen an die Produktentwicklung wäre ein methodisches Vorgehen sinnvoll. So könnte aus diesen Informationen

z.B. eine Art Anforderungsliste für die Weiterentwicklung des Produktes generiert werden, die entsprechend der unterschiedlichen Prioritäten der Einträge abgearbeitet wird. Die effiziente Priorisierung und Klassifizierung der Zusatzinformationen sowie die Analyse und Darstellung von Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Zusatzinformationen müssten auch Gegenstand eines solchen methodischen Vorgehens sein. Zudem sollte eine die Integration mit RTM-Systemen (siehe Anhang A - „Abkürzungsverzeichnis und Glossar“) bzw. RTM-Modulen von PDM-Systemen berücksichtigt werden.

8.2.3 Weiterführende Arbeiten bzgl. Wiki

Für die weitere Forschung bzgl. Wiki wäre insbesondere die Entwicklung eines Leitfadens für die effiziente Erstellung der Wissensbasis wichtig. Ein solcher Leitfaden müsste über den in [Puls et al. 2002a] vorgestellten Leitfaden hinaus gehen und konkrete Hilfestellung bzgl. der Hierarchie der Wiki-Seiten sowie der Benennung der Seiten bieten, da hier zum einen viele Fehler begangen werden und zum andern viel Zeit verloren geht. Da KMU nicht die Ressourcen haben, selbst solche Leitfäden zu erstellen, besteht die Herausforderung darin, einen produktunabhängigen, aber dennoch konkreten Leitfaden zu entwickeln. In diesem Zusammenhang sollte auch der Nutzen von Vorlagen für Wissensbasen untersucht werden.

Anhang A - Abkürzungsverzeichnis und Glossar

In diesem Glossar werden die für das Verständnis dieser Arbeit relevanten Begriffe und die verwendeten Abkürzungen erläutert. Das Online-Glossar in [Bongulielmi et al. 2000] enthält eine Vielzahl weiterer, für diese Arbeit allerdings weniger relevanter Begriffe.

- **Baukastensystem**

Unter einem Baukastensystem versteht man Maschinen, Baugruppen und Einzelteile, die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch Kombination verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen. (Diese Definition basiert auf der Definition von *Baukästen* in [Pahl & Beitz 1997].)

- **CAE**

Computer Aided Engineering. Rechnerunterstützte Berechnung und Analyse. CAE ist der zusammensende Begriff für alle Berechnungen (z.B. Festigkeitsberechnungen, Wärmeleitung, Fluidmechanik) sowie Analysen und Simulationen (z.B. Bewegung, Einbau, Fahrmechanik) [Eigner & Stelzer 2001].

- **CHF**

Schweizer Franken.

- **Closed World Assumption**

Wenn die *Closed World Assumption* gilt, heisst das, dass die Zahl der Objekte (bei der KVM Kunden- und technische Eigenschaften) begrenzt und bekannt ist. Es sollen bei der Konfigurierung keine Objekte „neu erfunden“ werden und „der beschriebene Weltausschnitt ist vollständig“. Die *Closed-World-Assumption* ist bei den meisten Produkten im Maschinenbau erfüllt. Siehe dazu [Cunis et al. 1991].

- **Customizing**

Kundenspezifische Anpassung von Software, siehe [Eigner & Stelzer 2001].

- **Deep knowledge**

Siehe auch *shallow knowledge*. Bei deep knowledge handelt es sich um Wis-

sen, das die grundlegende Struktur eines Problems und insbesondere die Beziehungen zwischen relevanten Objekten beschreibt. Dabei bedient es sich einer geeigneten Wissensrepräsentationsform wie z.B. einer Begriffshierarchie (siehe 3.7.2 „Begriffshierarchien“). Deep knowledge lässt sich durch folgende Eigenschaften charakterisieren:

- Es beschreibt die kausalen Zusammenhänge.
- Es ist unabhängig von der Aufgabe.
- Es ist bei der Problemlösung schwierig zu verarbeiten.
- Der Aufwand bei der Erstellung der Wissensbasis ist sehr hoch.
- Bei komplexen Problemen ist die Pflege des Wissens durch die am Problem orientierte Struktur einfacher.

Siehe dazu [Turban 1992], D'Ambrosio in [Mavrovouniotis 1990], Pham und Tacgiu in [Pham 1991].

• **Digitales Produkt**

Das am ZPE entwickelte Konzept des Digitalen Produktes [Meier et al. 1999; Leonhardt 2001] wird in [Leonhardt 2001] mittels dreier Teildefinitionen definiert:

Definition: Unternehmensprozess

Unternehmensprozesse sind wertschöpfende Handlungen des Unternehmens unter Einbezug aller Partner, welche das Digitale Produkt unter Verwendung von Diensten nutzen, modifizieren und ergänzen.

Beispiele für Unternehmensprozesse wären z.B. der Produktentwicklungsprozess oder der Verkaufsprozess.

Definition: Dienste

Dienste sind spezifische Anwendungen, welche es Unternehmensprozessen ermöglichen individuell oder in Teams im Digitalen Produkt zu navigieren, zu interagieren, zu visualisieren und zu modifizieren.

Beispiele für Dienste wären z.B. Kommunikation, Visualisierung, Konfiguration usw.

Definition: Digitales Produkt

Das Digitale Produkt ist die Gesamtheit der Produktdaten, welche in der Primärentwicklung erzeugt, konsistent verwaltet und über den Lebenszyklus laufend ergänzt werden und das reale Produkt hinreichend genau repräsentieren, um von Unternehmensprozessen mittels Diensten genutzt

zu werden.

Diese Zusammenhänge sind in Bild i auf Seite 186 dargestellt.

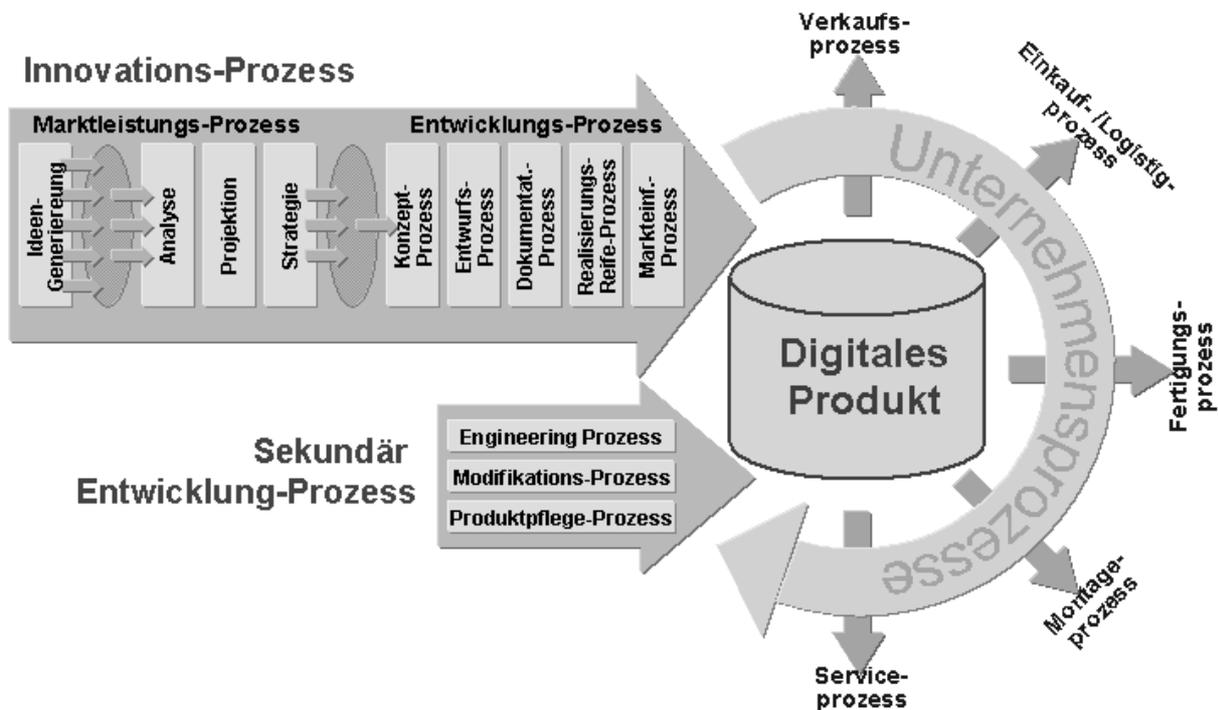


Bild i: Das Digitale Produkt

- **Eigenschaft**

Die *Eigenschaft* eines Objektes ergibt sich durch die Angabe der jeweils zutreffenden Ausprägung in Verbindung mit dem zugrundeliegenden Merkmal [Zwicker 1998]. Vgl. dazu 3.3 „Wissensrepräsentation durch Merkmale“.

- **ERP**

ERP steht für *Enterprise Resource Planning*. Ein *ERP-System* (oft auch *PPS-System*) ist eine modulare Software, die die Verwaltung der Unternehmensressourcen unterstützt. Sie besteht typischerweise aus einer relationalen Datenbank und Anwendungen für Einkauf, Lagerhaltung, Personalwesen, Kundendienst, Versand, Finanzplanung und andere wichtige Aspekte [computeruser 2002].

- **Evtl.**

Eventuell.

- **Explizites Wissen**

Siehe 1.1.2 „Explizites Wissen“.

- **Externe Vielfalt**

Die externe Vielfalt wird in [Franke et al. 2002] unter Verweis auf [Bartuschat 1995] folgendermassen definiert:

„Externe Vielfalt ist die für den Kunden nutzbare Vielfalt von Produktvarianten. Sie muss für ihn auch erkennbar sein, damit sie umsatzwirksam wird. Sie trägt zur Erfüllung von Kundenwünschen und zur Erhöhung des Produktnutzens bei. Tendenziell ist externe Vielfalt nützlich für ein Unternehmen, solange sie die vom Markt geforderte Vielfalt nicht übersteigt.“

- **Geschlossene Baukastensysteme**

In [Pahl & Beitz 1997] sind *geschlossene Baukastensysteme* ähnlich definiert wie *strukturgebundene Baukastensysteme* in [Koller 1994]. In [Ehrlenspiel et al. 2000] und [Kohlhase 1997] werden diese zwei Bezeichnungen aber wieder separat aufgeführt und unterschiedlich definiert. [Butz 1976] hat offene Baukastensysteme ebenfalls anders definiert. Es besteht Unklarheit, die hier nicht durch weitere Definitionen verstärkt werden soll. Dieser Begriff wird in dieser Arbeit nicht verwendet.

- **Ggf.**

Gegebenenfalls.

- **HTML**

HyperText Markup Language. Mit HTML werden Internetseiten programmiert. Zentrale Elemente sind Hyperlinks und Textformatierungsbefehle.

- **Implizites Wissen**

Siehe 1.1.1 „Implizites Wissen“.

- **Interne Vielfalt**

Die interne Vielfalt wird in [Franke et al. 2002] unter Verweis auf [Bartuschat 1995] folgendermassen definiert:

„Die Interne Vielfalt beschreibt die im Rahmen der Auftragsabwicklung auftretende Vielfalt an Bauteilen und -gruppen, Produkten und Prozessen. Sie verursacht hohe Komplexität und mangelnde Transparenz in den Abläufen der indirekten Bereiche und wirkt demzufolge als Gemeinkostentreiber. Insgesamt erhöht sich der Herstellungsaufwand, und die interne Vielfalt wirkt sich somit schädlich für das Unternehmen aus. Sofern sie nicht aus Kundenforderungen, sondern „internem Erfindungstrieb“ resultiert, muss sie unbedingt vermieden werden.“

Vgl. *externe Vielfalt*.

- **I.d.R.**

In der Regel.

- **KI**

Künstliche Intelligenz. Die KI ist eine Disziplin, die das Ziel verfolgt, menschliche Wahrnehmungs- und Verstandesleistungen zu operationalisieren und durch technische - insbesondere informationsverarbeitende - Systeme verfügbar zu machen [Görz 1995]. Weiterführende Literatur ist u.a. [Gottlob et al. 1990; Görz 1995; Görz et al. 2000].

- **Klassenbibliothek**

Eine Klassenbibliothek ist eine Sammlung von *Klassen*. Eine *Klasse* ist eine genaue Definition einer Datenstruktur einschliesslich einer Sammlung von Funktionen (einer Art Unterprogramme, auch *Methoden* genannt), die mit dieser Struktur ausgeführt werden können.

- **km**

Kundenmerkmal. Siehe 4.2.4.2 „Die Elemente der Matrizen“.

- **kma**

Kundenmerkmalsausprägung. Siehe 4.2.4.2 „Die Elemente der Matrizen“.

- **KMU**

Kleine und mittlere Unternehmen. In dieser Arbeit wird folgende Definition für KMU zugrundegelegt:

Mittleres Unternehmen:

- Ein rechtlich und wirtschaftlich (konzernunabhängiges) selbstständiges Unternehmen
- mit 50 bis 500 Beschäftigten,
- das keinen Zugang zur Börse hat.

Kleinunternehmen:

- Ein Unternehmen, das dieselben Merkmale wie ein mittleres Unternehmen aufweist, aber eine Mitarbeiterzahl zwischen 10 und 49 hat.

Kleinstunternehmen:

- Ein Unternehmen, das dieselben Merkmale wie ein mittleres Unternehmen aufweist, allerdings eine Mitarbeiterzahl unter 10 hat.

Als KMU gelten folglich alle Unternehmen, die in eine dieser drei Kategorien fallen.

Diese Definition baut auf [Behringer 1998] und [N.N. 2002] auf. Weitere Information zu diesem Thema findet sich z.B. in [Minder 2001] und [Institut für Mittelstandsforschung 1998].

- **Konfiguration**

Ergebnis der Konfigurierung, siehe 1.2.1 „Konfigurierung und Konfiguration“.

- **Konfigurator**

Siehe 1.2.3 „Das Management von K-Wissen mit (Produkt-)Konfiguratoren“ und 3.8 „Konfiguratoren“.

- **Konfigurierung**

Siehe Definition in 1.2.1 „Konfigurierung und Konfiguration“.

- **Kundeneigenschaft**

Die Kombination von Kundenmerkmal und Kundenmerkmalsausprägung wird als *Kundeneigenschaft* bezeichnet. Siehe auch unter *Eigenschaft* in diesem Glossar sowie 4.2.4.2 „Die Elemente der Matrizen“ und 4.2.1 „Beschreibung von Kundensicht und technischer Sicht“.

- **Kundensicht**

Siehe 2.4.1.1 „Strukturiertes K-Wissen“.

- **Kundenwunsch**

Die Kombination von zwei oder mehreren *Kundeneigenschaften* wird hier als *Kundenwunsch* bezeichnet.

- **KVM**

Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix, siehe 4.1 „Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix“.

- **KVMS**

K- & V-Matrix-System, siehe 5.2 „Das K- & V-Matrix-System“.

- **K-Matrix**

Konfigurationsmatrix. Siehe 4.2.2 „Die Konfigurationsmatrix“.

- **K-Wissen**

Konfigurationswissen. Siehe 1.2.2 „Konfigurationswissen“.

- **K- & V-Matrix**

Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix. Siehe 4.1 „Die Konfigurations- & Ver-

träglichkeitsmatrix“.

- **Min-V-Matrix**

Min steht für *Minimal*. Dies weist darauf hin, dass diese Matrix die mindestens nötigen Verträglichkeiten enthält, die das Produkt haben muss, um die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Es gibt verschiedene Min-V-Matrizen. Siehe 4.3.3 „Vorgabe und Berücksichtigung von zu erfüllenden Kundenwünschen“.

- **Modulare Baukastensysteme**

Bei *modularen Baukastensystemen* werden Bausteine unterschiedlicher Funktion(en) an verschiedenen Plätzen (Orten) im System angeordnet [Koller 1994]. Dabei sind die Schnittstellen zwischen den Bausteinen von besonderer Bedeutung. Beispiele sind *Lego®* oder das Regalsystem *USM Haller®*. Siehe auch *offene Baukastensysteme*.

- **ODBC**

Open DataBase Connectivity. Dabei handelt es sich um eine Schnittstelle, die es ermöglicht, auf verschiedene Datenbanksysteme mit einer gemeinsamen Sprache zuzugreifen. ODBC-Treiber und -Entwicklungsumgebungen existieren für Windows, Macintosh, UNIX und OS/2 [computeruser 2002].

- **Offene Baukastensysteme**

Offene Baukastensysteme werden in [Pahl & Beitz 1997] anhand eines kleinen Beispiels beschrieben und bedeuten dort das gleiche wie modulare Baukastensysteme. In [Ehrlenspiel et al. 2000] und [Kohlhase 1997] werden diese zwei Bezeichnungen aber wieder separat aufgeführt und unterschiedlich definiert. In [Butz 1976] sind offene Baukastensysteme ebenfalls anders definiert. Es besteht Unklarheit, die hier nicht durch weitere Definitionen verstärkt werden soll. Dieser Begriff wird in dieser Arbeit nicht verwendet.

- **PDF**

Portable Document Format. Hierbei handelt es sich um ein Format der Firma *Adobe®*.

- **PDM**

Produktdatenmanagement. Das Management von produktdefinierenden Daten in Verbindung mit der Abbildung und dem Management von technischen/organisatorischen Geschäftsprozessen [Eigner & Stelzer 2001]. In [Eigner & Stelzer 2001] werden die Möglichkeiten des PDM sowie die Eigenschaften von PDM-Systemen detailliert beschrieben.

Oft wird synonym mit PDM der Begriff EDM (*Engineering Data Management*) gebraucht [Eigner & Stelzer 2001; Langenberg 2001]. Neuerdings wird auch die Abkürzung PLM (*Product Lifecycle Management*) verwendet.

- **PE**

Produktentwicklung. Diese Abkürzung wird in einigen Abbildungen verwendet.

- **RTM**

Requirement Traceability Management. Anforderungs- und Rückverfolgungsmanagement. Es gibt eigenständige RTM-Systeme oder RTM-Module zu PDM-Systemen. Siehe dazu [Eigner & Stelzer 2001].

- **SAP**

ERP-System der Firma SAP AG [sap 2002].

- **Shallow knowledge**

Vgl. *deep knowledge*. Bei shallow knowledge handelt es sich um Wissen bzgl. des Vorgehens in einer bestimmten Situation. Es wird typischerweise in Wenn-Dann-Regeln (vgl. 3.7.1 „Regelbasierte Wissensrepräsentation“) beschrieben und lässt die zugrundeliegende Struktur des Problems ausser acht. Shallow knowledge kann mit heuristischem Wissen verglichen werden und hat folgende Eigenschaften:

- Es ist abhängig von der jeweiligen Aufgabe.
- Es ist einfach zu beschreiben, da es der menschlichen Denkweise entspricht.
- Es ist bei der Problemlösung einfach zu verarbeiten.
- Bei umfangreichen Problemen wird es unübersichtlich und damit schwierig zu

pflegen.

Siehe dazu [Turban 1992], D'Ambrosio in [Mavrovouniotis 1990], Pham und Tacgiu in [Pham 1991].

- **SML**

Sachmerkmalsleiste, siehe 3.3.1 „Sachmerkmalsleisten“.

- **Strukturgebundene Baukastensysteme**

Bei *strukturgebundenen Baukastensystemen* sind die Bausteine bestimmter Funktionen an bestimmte Plätze der Produktstruktur gebunden (z.B. eine Ein- oder Mehrkopfspindel bei einer Fräsmaschine) [Koller 1994]. Im Rahmen dieser Arbeit kann aber auch eine andere Struktur als die Produktstruktur zugrundegelegt werden (z.B. bei konfigurierbarer Software oder Dienstleistungen). Siehe auch *geschlossene Baukastensysteme*.

- **Technik**

Die Organisationseinheit *Technik* steht hier stellvertretend für alle für die Neu- oder Weiterentwicklung eines Produktes verantwortlichen Mitarbeiter, insbesondere die *Produktentwickler* (oder *Konstrukteure*). Die Technik umfasst folglich Ingenieure, Konstrukteure, technische Zeichner usw. In vielen Unternehmen werden weitere Bereiche wie Prototypenbau, Normen usw. zur Technik gezählt, diese sind in diesem Zusammenhang allerdings nicht relevant. Vgl. dazu [Meier 2002].

- **Technische Eigenschaft**

Analog zur Kundeneigenschaft ist eine *technische Eigenschaft* die Kombination von einem technischem Merkmal und einer zugehörigen Merkmalsausprägung. Siehe auch unter *Eigenschaft* in diesem Glossar sowie 4.2.4.2 „Die Elemente der Matrizen“ und 4.2.1 „Beschreibung von Kundensicht und technischer Sicht“.

- **Technische Sicht**

Siehe 2.4.1.1 „Strukturiertes K-Wissen“.

- **tm**

Technisches Merkmal. Siehe 4.2.4.2 „Die Elemente der Matrizen“.

- **tma**

Technische Merkmalsausprägung. Siehe 4.2.4.2 „Die Elemente der Matrizen“.

- **URL**

Uniform Resource Locator. Erweiterung des Dateinamenkonzeptes auf das ganze Netzwerk, z.B. auf das WWW. Die Spezifizierung eines Dokumentes besteht dabei nicht nur aus einem Dokumentennamen und einem Directory, sondern auch aus einer Maschine und einer Methode (meist Protokoll), die die Datei liefert [Eigner & Stelzer 2001].

- **Usw.**

Und so weiter.

- **U.U.**

Unter Umständen.

- **Variante**

„Eine Variante eines technischen Systems ist ein anderes technisches System gleichen Zwecks, das sich in mindestens einer Beziehung oder einem Element unterscheidet. Ein Element unterscheidet sich von einem anderen Element in mindestens einer Eigenschaft.“ [Franke et al. 2002].

- **Variantenvielfalt**

Die Anzahl und die Verschiedenheit der Varianten eines Bauteils, einer Baugruppe oder eines Produktes [Franke et al. 2002].

- **Verkauf**

Unter *Verkauf* werden hier die mit dem Verkauf der Produkte sowie dem Mar-

keting betrauten Mitarbeiter zusammengefasst, insbesondere die im direkten Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter. In vielen Unternehmen gehören weitere Bereiche wie Service oder Ersatzteildienst zum Verkauf, diese sind hier allerdings nicht relevant. Vgl. dazu [Meier 2002].

- **VRML**

Virtual Reality Modeling Language. Bezeichnung einer Modellierungssprache für Objekte der virtuellen Realität. In ISO/IEC 14772-1:1997 genormt [web3d 2002].

- **V.a.**

Vor allem.

- **V-Matrix**

Verträglichkeitsmatrix. Siehe 4.2.3 „Die Verträglichkeitsmatrix“.

- **Wiki**

Siehe 6.2.2 „Das Wiki-Konzept“. Bzgl. der Unterscheidung zwischen **Wiki** und **wiki**, siehe Bemerkung am Ende von 6.2.3 „Implementierung des Konzeptes“.

- **Wissensingenieur**

Wissensingenieure (engl. *knowledge engineers*) sind die Leute, die Wissen von erfahrenen Fachleuten auf ein Computersystem übertragen, welches in der Lage ist, einen Bereich zu repräsentieren, darin Schlüsse durchzuführen und in diesem Bereich (Routine-)Probleme zu lösen [Görz et al. 2000].

- **WM**

Wissensmanagement. Siehe Definition in 1.1 „Wissensmanagement“.

- **XML**

eXtensible Markup Language. XML ist ein universelles Format für strukturierte Dokumente und Daten im WWW [w3c 2002]. XML ist eine Metasprache, die

verschiedene Regeln zum Entwickeln anderer Markup-Sprachen enthält und es Softwareentwicklern erlaubt, eigene Tags zu definieren. XML wird zunehmend zum Datenaustausch eingesetzt (vgl. [Eigner & Stelzer 2001]). Bzgl. weiterer Information zu XML, siehe [w3c 2002].

- **ZPE**

Zentrum für Produktentwicklung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich [zpe 2002].

- **Z.B.**

Zum Beispiel.

Anhang B - Formale Widersprüche in der K- & V-Matrix

Hier wird die Identifikation, Bedeutung und das Vorgehen zur Beseitigung der in 4.4.1 „Formale Überprüfung der KVM“ dargestellten formalen Widersprüche detailliert beschrieben.

B.1 Komplett ausgefüllte tm-km-Schnittpunkte

Während komplett ausgefüllte km-km- bzw. tm-tm-Schnittpunkte in den V-Matrizen eigentlich ein gutes Zeichen sind (keine Einschränkungen, alle Eigenschaften sind miteinander verträglich), sollten komplett ausgefüllte km-tm-Schnittpunkte (wie in Bild ii) in der K-Matrix nicht vorkommen. Da bei komplett ausgefüllten tm-km-Schnittpunkten die Kreuze für die Selektion irrelevant sind, sollte man sie ganz weglassen, um die Gesamtzahl Kreuze möglichst gering zu halten.

		Fahrer		Personengröße			Ausführung			Anhänger			Anhängerfarbe				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	
Anhänger-Bereifung	hohes Profil	1	1						1										
	Slicks	1	1								1								
	normales Profil	1	1									1							
	keine	1	1							1									
Anhänger-Farbe	blau			1	1	1								1					
	gelb			1	1	1									1				
	rot			1	1	1							1						
	keine			1	1	1										1			
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A						1		1	1		1							
	nicht vorhanden						1	1	1		1								
Bereifung	Alu - hohes Profil								1										

Bild ii: K-Matrix mit zwei komplett ausgefüllten tm-km-Schnittpunkten (Ausschnitt)

B.2 Leere kma-Spalten in der K-Matrix

Ist eine ganze kma-Spalte in der K-Matrix leer, so handelt es sich um ein kma ohne Mapping. Dieses steht durch kein Kreuz in Verbindung mit einem tma, wie Bild iii illustriert („Anhänger: geländegängig“ hat kein Mapping). Die Bedeutung eines solchen Falls wird im folgenden erläutert.

		Fahrer		Personengrösse			Ausführung			Anhängertyp			Anhängerfarbe				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
Anhängertyp	hohes Profil																	
	Slicks																	
	normales Profil																	
Anhängertyp	keine																	
	blau																	
	gelb																	
	rot																	
Anhängertyp	keine																	
	Anhängertyp A																	
	nicht vorhanden																	
	Bereifung																	
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 iii: Leere kma-Spalten in der K-Matrix

B.2.1 Beispiele für ein kma ohne Mapping

Eine solche Unregelmässigkeit kann in z.B. auftreten, wenn zwar geplant ist, eine bestimmte Kundeneigenschaft zu erfüllen, aber noch nicht genau geklärt ist, wie diese realisiert werden soll. Aus Bild iii ist z.B. ersichtlich, dass zwar ein geländegängiger Anhänger für das Fahrrad geplant ist, gleichzeitig aber noch Unklarheit über den entsprechenden Anhänger-Typ und die -Bereifung herrscht.

In der Kundensicht kann problemlos ein zusätzliches kma zu einem km eingefügt werden. Dafür könnte z.B. der Verkauf zuständig sein, der so Ideen, die aus dem Kontakt mit dem Kunden entstanden sind, in der KVM speichern und an die Technik

weitergeben kann. Wie dieses kma dann genau mit den technischen Eigenschaften des Produktes zusammenhängt oder ob evtl. konstruktive Massnahmen mit entsprechenden Änderungen an der technischen Sicht notwendig sind, kann dann zu einem geeigneten Zeitpunkt von der Technik entschieden werden. Bei Bedarf ist so jederzeit aus der K-Matrix auf einen Blick ersichtlich, „was noch zu tun ist“.

Die KVM ermöglicht somit ein methodisches Vorgehen zur Rückführung von Marktforderungen in die Produktentwicklung, indem sie eine Brücke zwischen Verkauf und Technik bildet.

B.2.2 Die Berechnung der V-Matrix [KS] bei leeren kma-Spalten

Nun stellt sich aber die Frage, wie ein kma ohne Mapping bei der Berechnung der V-Matrix [KS] aus der K-Matrix behandelt wird:

Zunächst müssen kmas ohne Mapping identifiziert werden, so dass die Technik sich deren Existenz bewusst ist und entsprechend reagieren kann. Wird die K-Matrix dennoch in diesem „provisorischen“ Zustand gelassen, so wird dieses kma mit allen anderen kma unverträglich gemacht, so dass es beim Konfigurieren nicht wählbar sein wird. Es darf ja schliesslich auch nicht gewählt werden, da es technisch noch nicht realisiert wurde.

B.2.3 Ein kma ohne Mapping ‚wählbar‘ machen

Wenn man dem Kunden bei der Konfiguration aber trotzdem die Möglichkeit geben möchte, ein kma ohne Mapping (hier ‚Anhänger: geländegängig‘) zu wählen, dann kann dies durch sogenannte „volle Spalten“ in den tm-km-Schnittpunkten ermöglicht werden. D.h., das kma wird wie in Bild iv auf alle tma der zugehörigen tm (hier ‚Anhänger-Bereifung‘ und ‚Anhänger-Typ‘) gemappt. Das kma wird in der V-Matrix [KS] dann mit allen anderen kmas verträglich sein und somit immer wählbar sein.

So kann das Produkt schon eine externe Vielfalt vorwegnehmen, die eigentlich aufgrund der internen Vielfalt noch gar nicht realisierbar ist. Erst beim Eintreten dieses Kundenwunsches müssen dann die Produktentwickler die nötigen konstruktiven Schritte vornehmen.

		Anhänger			Anhängersfarbe			
		geländegängig	nicht vorhanden	strassengängig	blau	gelb	keine	rot
Anhänger-Bereifung	keine	1	1					
	normales Profil	1		1				
	Slicks	1		1				
Anhänger-Farbe	blau				1			
	gelb					1		
	keine						1	
	rot							1
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A	1		1				
	nicht vorhanden	1	1					
Bereifung	Alu - hohes Profil							
	Alu - normales Profil							
	Alu - Slicks							
	Stahl - hohes Profil							

Bild iv: Ein ‚wählbares‘ kma ohne Mapping

Es fällt auf, dass in Bild iv das kma ‚Anhänger: geländegängig‘ auch auf das tma ‚Anhänger-Typ: nicht vorhanden‘ mappt, obwohl dies ja definitiv technisch unmöglich ist. Durch dieses Mapping werden in der V-Matrix [KS] Verträglichkeiten entstehen, die eigentlich nicht existieren dürften. Dies würde folglich zu einer semantischen Inkonsistenz führen.

Eine Lösung wäre, dieses Kreuz (und andere sinnlose) zu entfernen und nur auf ‚Anhänger-Typ: Anhänger Typ A‘ zu mappen, wie dies in Bild v geschehen ist. Dann würde auch die V-Matrix [KS] wieder eher der Realität entsprechen.

		Anhängertyp			Anhängerfarbe			
		geländegängig	nicht vorhanden	strassengängig	blau	gelb	keine	rot
Anhängertyp	keine		1					
	normales Profil	1		1				
	Slicks	1		1				
Anhängertyp	blau				1			
	gelb					1		
	keine						1	
	rot							1
Anhängertyp	Anhängertyp A	1		1				
	nicht vorhanden		1					
Bereifung	Alu - hohes Profil							
	Alu - normales Profil							
	Alu - Slicks							
	Stahl - hohes Profil							

Bild v: Falscher Ansatz für ein ‚wählbares‘ kma ohne Mapping

Ein solches Mapping würde aber den Eindruck erwecken, die K-Matrix sei definitiv und nicht provisorisch. Zudem würde sie dem nicht Eingeweihten falsche Zusammenhänge vorgaukeln. Es ist schliesslich nicht durch eine „volle Spalte“ auf den ersten Blick als kma ohne Mapping erkennbar, sondern hat das gleiche Mapping wie ‚Anhängertyp: strassengängig‘. Zusätzliche Information wäre nötig, um dieses kma als kma ohne Mapping zu identifizieren, diese Information müsste aber wiederum gespeichert und gepflegt werden, was die KVM wiederum komplizierter machen würde. Deshalb sei von einem solchen Vorgehen abgeraten (vgl. dazu 4.2.1.1 „Beschreibung von Kann-, Muss- und Mengen-Varianten“).

Im obigen Beispiel wurde bewusst ein grober Widerspruch in Kauf genommen, um sicherzustellen, dass aufgrund der „vollen Spalten“ in der K-Matrix sofort klar ersichtlich ist, dass die K-Matrix noch provisorisch ist und ein - wählbares - kma ohne Mapping enthält. Das durch eine solche Matrix möglicherweise entstehende inkonsistente Konfigurationsergebnis tut ein Übriges, um Verkauf oder Technik auf die Inkonsistenz der Matrix hinzuweisen.

B.2.4 Kundenmerkmale ohne Einfluss auf technische Merkmale

Während in den oben beschriebenen Fällen zwar kein Mapping der kma auf tma

existierte, dennoch aber eines vorgesehen war, kann es je nach Produkt auch vorkommen, dass einige Kundenmerkmale überhaupt keinen Einfluss auf technische Merkmale haben und auch nicht haben werden. Dies könnte der Fall sein, wenn man Informationen vom Kunden erhalten und speichern möchte, die für die technischen Eigenschaften des Produktes nicht relevant sind, beispielsweise, ob der Kunde schon einmal ein ähnliches Produkt gekauft hat oder ob er es besonders schnell geliefert bekommen möchte (siehe Bild vi).

Dies könnte auch der Fall sein, wenn technische Merkmale als Kundenmerkmale definiert wurden und deshalb nicht indirekt über Kundenmerkmale, sondern direkt in der Kundensicht bestimmt werden.

In solchen Fällen sollten alle zu diesem Kundenmerkmal gehörigen kmas auf alle tma (oder zumindest auf alle tma eines tm) mappen. In der V-Matrix [KS] werden sie dann mit allen anderen kmas verträglich und in der K-Matrix auf den ersten Blick erkennbar sein.

		Fahrer		Personengrösse			Ausführung			Anhänger			Anhängerfarbe				Kindersitz		Lieferzeit	
		Dame	Herr	< 170 cm	170 cm - 185 cm	> 185 cm	Komfort	Renn	Mountain	geländegängig	nicht vorhanden	strassengängig	rot	blau	gelb	keine	vorhanden	nicht vorhanden	normal	Express
Anhänger-Bereifung	hohes Profil								1										1	1
	Slicks										1								1	1
	normales Profil										1								1	1
	keine									1									1	1
Anhänger-Farbe	blau												1						1	1
	gelb													1					1	1
	rot											1							1	1
	keine															1			1	1
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A						1		1	1		1							1	1
	nicht vorhanden						1	1	1		1								1	1
Bereifung	Alu - hohes Profil								1										1	1
	Alu - normales Profil						1												1	1
	Alu - Slicks							1											1	1
	Stahl - hohes Profil								1										1	1
Federung	Federung Typ 1						1		1										1	1
	nicht vorhanden							1											1	1
Kindersitz	Kindersitz Typ 1						1		1								1		1	1
	nicht vorhanden						1	1	1									1	1	1
Lenker	Mountain								1										1	1
	Renn							1											1	1
	Tour						1												1	1
Rahmen-Grösse	26"			1															1	1
	28"				1														1	1
	30"					1													1	1
Rahmen-Typ	Damen	1																	1	1
	Herren		1																1	1
Schaltung	18-Gang						1												1	1
	24-Gang							1											1	1
	27-Gang								1										1	1

Bild vi: Kundenmerkmal ohne Einfluss auf die technische Sicht

B.3 Leere Spalten in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix

Die sogenannten „leeren Spalten“ in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix dürfen nicht verwechselt werden mit den kma ohne Mapping: das kma hat hier sehr wohl ein Mapping zu einigen tm, nur nicht zu einem bestimmten, auf das aber andere kma des gleichen km mappen (Bild vii).

Dies ist allerdings nicht zulässig, denn wenn mindestens ein kma eines km auf ein tm mappt, dann müssen alle anderen kmas dieses km auch darauf mappen. Ansonsten ergibt sich eine syntaktische Inkonsistenz und die Berechnungen würden falsche Ergebnisse liefern. Zudem würde bei der Konfiguration auf Basis der Matrizen diese Inkonsistenz aufgrund der dabei gemachten Datenbank-Abfragen zu ungültigen Konfigurationen führen.

		Anhänger			Anhängerfarbe			
		geländegängig	nicht vorhanden	strassengängig	blau	gelb	keine	rot
Anhänger-Bereifung	keine		1					
	normales Profil			1				
	Slicks			1				
Anhänger-Farbe	blau				1			
	gelb					1		
	keine						1	
	rot							1
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A	1		1				
	nicht vorhanden		1					
Bereifung	Alu - hohes Profil							
	Alu - normales Profil							
	Alu - Slicks							
	Stahl - hohes Profil							

Bild vii: Leere Spalte in einem tm-km-Schnittpunkt der K-Matrix

Eine solche leere Spalte könnte z.B. eintreten, wenn der in B.2 „Leere kma-Spalten in der K-Matrix“ beschriebene Fall des vom Verkauf gewünschten geländegängigen Anhängers von der Technik bereits zum Teil bearbeitet wurde mit dem Ergebnis, dass dieser Wunsch auf Basis des *Anhänger Typ A* realisierbar wäre.

Bzgl. der Bereifung müssen allerdings noch Abklärungen gemacht werden, weshalb im Moment noch kein Mapping zwischen dem km 'Anhänger ' und dem tm 'Anhänger-Bereifung' existiert.

Ansonsten könnte dieser Fall auch eintreten, wenn auf technischer Seite eine Kann-Variante fälschlicherweise als Muss-Variante abgebildet wurde und die auf das Nichtvorhandensein der Variante mappende Kundeneigenschaft folglich keine Entsprechung in der technischen Sicht hat.

B.3.1 Entfernen leerer Spalten in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix

Um diese Inkonsistenzen zu beheben, muss man die leere Spalte mit Einsen füllen (Bild viii). Dies geschieht unabhängig davon, ob das kma nun gar keinen oder einen - noch nicht festgelegten - Einfluss auf dieses tm hat. Die K-Matrix deutet dann bereits an, dass ein Zusammenhang zwischen Anhänger und Anhänger-Bereifung besteht, der ggf. in Zukunft genauer definiert wird. Bei der Konfiguration aufgrund der K-Matrix in Bild viii muss die Bereifung für den geländegängigen Anhänger direkt in der technischen Sicht gewählt werden.

		Anhänger			Anhängerfarbe			
		geländegängig	nicht vorhanden	strassengängig	blau	gelb	keine	rot
Anhänger-Bereifung	keine	1	1					
	normales Profil	1		1				
	Slicks	1		1				
Anhänger-Farbe	blau				1			
	gelb					1		
	keine						1	
	rot							1
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A	1		1				
	nicht vorhanden		1					
Bereifung	Alu - hohes Profil							
	Alu - normales Profil							
	Alu - Slicks							
	Stahl - hohes Profil							

Bild viii: kma ohne Einfluss auf ein tm

Die vollständig mit Einsen gefüllten Spalten können später visuell oder mit einer Datenbank-Abfrage identifiziert werden und so der Technik zur Bearbeitung vorgeschlagen werden.

B.4 Leere tma-Zeilen in der K-Matrix

Bei einer leeren tma-Zeile handelt es sich um ein tma, auf das nicht gemappt wird (siehe Bild ix). Auftreten kann dies z.B. in den folgenden beiden Fällen.

		Fahrer		Personengröße			Ausführung			Anhänger			Anhängerfarbe				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
Anhänger-Bereifung	hohes Profil								1									
	Slicks																	
	normales Profil										1							
Anhänger-Farbe	keine								1									
	blau											1						
	gelb												1					
	rot											1						
Anhänger-Typ	keine															1		
	Anhänger Typ A						1		1	1	1							
	nicht vorhanden						1	1	1		1							

Bild ix: Leere tma-Zeilen in der K-Matrix

B.4.1 Technische Merkmale ohne festgelegten Einfluss der Kundensicht

Ein kma ohne Mapping in der K-Matrix könnte auftreten, wenn zu einem technischen Merkmal eine weitere Ausprägung hinzugefügt wurde (in Bild ix, *Slicks*'), der genaue Zusammenhang zu den Kundeneigenschaften jedoch noch nicht festgelegt wurde. Dies ist der umgekehrte Fall wie in B.2.1 „Beispiele für ein kma ohne Mapping“. Hier wird es allerdings die Technik sein, die diese zusätzliche Ausprägung hinzufügt. Damit hat sie vielleicht schon für zukünftige Forderungen des Marktes vorgesorgt oder einfach nur Ideen in der K-Matrix festgehalten. Das Mapping der Kundeneigenschaften auf diese neue technische Eigenschaft wird die Technik zu einem gegebenen Zeitpunkt festlegen, evtl. nach Rücksprache mit dem Verkauf, denn u.U. sind ja zusätzliche Kundeneigenschaften nötig.

Auf die Berechnung der V-Matrix [KS] hat eine solche Inkonsistenz keinen Einfluss. Der Einfluss dieses Zustandes auf die Berechnung der ‚Min-V-Matrix [TS]‘ kann einfach aus B.2.2 „Die Berechnung der V-Matrix [KS] bei leeren kma-Spalten“ abgeleitet werden. B.2.3 „Ein kma ohne Mapping ‚wählbar‘ machen“ gilt in ähnlicher Weise

für diesen Fall.

B.4.2 Technische Merkmale ohne Einfluss der Kundensicht

Analog zu B.2.4 „Kundenmerkmale ohne Einfluss auf technische Merkmale“ ist es auch möglich, dass technische Merkmale in keinem Zusammenhang mit der Kundensicht stehen. Sie werden also nicht indirekt über die Kundensicht, sondern direkt in der technischen Sicht definiert. Dies könnte in folgenden Fällen auftreten:

- Das technische Merkmal ist unnötig, denn es ist für keines der Kundenmerkmale relevant.
- Das technische Merkmal ist sehr spezifisch und kann nicht über die Kundensicht bestimmt werden. Dies muss intern direkt in der technischen Sicht geschehen, denn man möchte bzw. kann dies nicht dem Kunden überlassen.

Das Vorgehen in solchen Fällen und deren Einfluss auf die Berechnung der V-Matrizen kann wiederum aus B.2.4 „Kundenmerkmale ohne Einfluss auf technische Merkmale“ abgeleitet werden.

B.5 Leere Zeilen in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix

Ein solcher Fall könnte z.B. auftreten, wenn ein neues tma hinzugefügt wurde (in Bild x der ‚*Kindersitz Typ 1*‘) und bzgl. den meisten km (hier bzgl. km ‚*Kindersitz*‘) schon abgeklärt wurde, wie das Mapping aussieht, aber bzgl. einem km (hier km ‚*Ausführung*‘) noch Unklarheit besteht. Aufgrund ähnlicher Überlegungen wie in B.3 „Leere Spalten in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix“ sollte in diesem Fall die Zeile mit Einsern gefüllt werden, solange das Mapping nicht klar ist.

		Fahrer		Personengröße			Ausführung			Anhänger			Anhängerfarbe				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
Anhänger-Bereifung	hohes Profil								1									
	Slicks										1							
	normales Profil											1						
	keine									1								
Anhänger-Farbe	blau													1				
	gelb														1			
	rot												1					
	keine															1		
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A						1		1	1		1						
	nicht vorhanden						1	1	1		1							
Bereifung	Alu - hohes Profil								1									
	Alu - normales Profil						1											
	Alu - Slicks							1										
	Stahl - hohes Profil								1									
Federung	Federung Typ 1						1		1									
	nicht vorhanden							1										
Kindersitz	Kindersitz Typ 1																1	
	nicht vorhanden						1	1	1									1
Lenker	Mountain								1									
	Renn							1										
	Tour						1											

Bild x: Leere Zeilen in tm-km-Schnittpunkten der K-Matrix

B.6 Leere Spalten/Zeilen in der V-Matrix

Auch in den V-Matrizen können leere Zeilen oder Spalten auftreten, siehe Bild xi. (Da die Matrix symmetrisch ist, treten leere Spalten immer gleichzeitig mit leeren Zeilen auf - und umgekehrt.)

Es handelt sich in diesem Fall um ein tma/kma, das mit keinem anderen kma/tma verträglich ist. Dieses kma/tma kann folglich bei der Konfiguration auch nicht ausgewählt werden. Ist dies nicht beabsichtigt, so muss die V-Matrix überarbeitet werden.

		Anhänger-Bereifung			Anhänger-Farbe			Anhänger-Typ		Bereifung				Federung		Kindersitz		Lenker		Rahmen-Grösse			Rahmen-Typ		Schaltung						
		hohes Profil	Slicks	normales Profil	keine	blau	gelb	rot	keine	Anhänger Typ A	nicht vorhanden	Alu - hohes Profil	Alu - normales Profil	Alu - Slicks	Stahl - hohes Profil	Federung Typ 1	nicht vorhanden	Kindersitz Typ 1	nicht vorhanden	Mountain	Renn	Tour	26"	28"	30"	Damen	Herren	18-Gang	24-Gang	27-Gang	
Anhänger-Bereifung	hohes Profil				1	1	1		1		1	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Slicks																														
	normales Profil				1	1	1		1		1	1	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	1	1	1
Anhänger-Farbe	blau	1		1					1		1	1	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	1	1	1	1	1
	rot	1		1					1		1	1	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	1	1	1
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A	1		1		1	1	1			1	1	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	1	1	1	1

Bild xi: Leere Spalten/Zeilen in der V-Matrix

B.7 Leere Spalten/Zeilen in km-km- oder tm-tm-Schnittpunkten

Die folgenden Ausführungen gelten wiederum gleichermassen für die V-Matrix [KS] und die V-Matrix [TS]. Folglich kann man kma durch tma und km durch tm ersetzen. Da die V-Matrizen symmetrisch sind, treten Spalten und Zeilen gleichzeitig auf.

Eine leere Zeile in einem km-km-Schnittpunkt einer V-Matrix bedeutet, dass ein kma X zu keinem der kma eines km B verträglich ist. Die Wahl von kma X würde folglich die Wahl von eines der kma zu km B unmöglich machen. Eine vollständige Konfiguration wäre somit unmöglich, d.h. es handelt sich um eine syntaktische Inkonsistenz.

Dazu kommt, dass die Berechnung der indirekten Unverträglichkeiten bei einer solchen Konstellation das kma X zu allen anderen kma unverträglich machen würde, d.h. es wäre gar nicht mehr wählbar.

Die beiden km und deren Verträglichkeiten müssen folglich überprüft und so geändert werden, dass diese Inkonsistenz behoben wird. Das reine Einfügen von Einsen wie bei der K-Matrix geht natürlich nicht, wenn das kma X effektiv nicht mit den kma von km B verträglich ist!

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

Bild xii: Leere Spalten/Zeilen in km-km- oder tm-tm-Schnittpunkten

Literaturverzeichnis

- Ackermann, P.: *Verkaufsunterstützung von modularen Produktsystemen mittels interaktiver 3D-Produktkonfiguratoren*. Vortrag am Seminar "Mit intelligenter Produkt-Plattform zum erfolgreichen B2B" im Rahmen der SCGA-Seminarreihe "Innovation - Digitales Produkt", ETH Zürich, 11. Juli, 2001.
- Akao, Y.: *QFD - Integrating Customer Requirements into Product Design*: Productivity Press, 1990.
- Albers, A. und D. Schweinberger: *Methodik in der praktischen Produktentwicklung - Herausforderung und Grenzen*. In: *Vom Markt zum Produkt - Impulse für die Innovationen von morgen*. D. Spath (Hrsg.). Stuttgart: LOG_X, 2001.
- apple: *Webobjects Produktpräsentation im Internet*. Apple Computer Inc., <http://www.apple.com/webobjects/>, 2002.
- Bartuschat, M.: *Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung*. Essen: Vulkan, 1995.
- Bartuschat, M.: *Entwicklung und Einsatz eines Konfigurationssystems am Beispiel des Omnibus*. VDI-Tagung: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen (VDI-Bericht 1645), Kassel, 2001.
- Behringer, S.: *Unternehmensbewertung bei kleineren und mittleren Unternehmen*. Dissertation, Bildungswissenschaftliche Hochschule Flensburg - Universität, 1998.
- Berti, S., M. Germani, F. Mandorli und H. E. Otto: *Design of Product Families - an Example within a Small and Medium Sized Enterprise*. ICED 01: International Conference on Engineering Design, Glasgow, UK, 21.-23. August, 2001.
- Birkhofer, H.: *Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte*. Dissertation, TU Braunschweig, 1980.
- Bongulielmi, L.: *Die K- & V-Matrix als methodischer und softwaretechnischer Beitrag zur Darstellung konfigurationsrelevanter Aspekte im Entwicklungs- und Verkaufsprozess*. Dissertation, Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, 2002.
- Bongulielmi, L., P. Henseler und C. Puls: *Offizielle Website des EUREKA-Projektes COMA*. Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, <http://www.k-v-matrix.info>, 2000.
- Bongulielmi, L., P. Henseler, C. Puls und M. Meier: *The K- & V-Matrix Method - an Approach in Analysis and Description of Variant Products*. ICED 01: International Conference on Engineering Design, Glasgow, UK, 21.-23. August, 2001.
- Bongulielmi, L., P. Henseler, C. Puls und M. Meier: *The K- & V-Matrix-Method in Comparison with Matrix-Based Methods supporting Modular Product Family Architectures*. NordDesign 2002, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norwegen, 14.-16. August, 2002a.
- Bongulielmi, L., P. Henseler, C. Puls, E. Zwicker und M. Meier: *Produktstrukturierung*

- und -konfiguration im Digitalen Produkt (Unterlagen zur gleichnamigen Vertiefungsvorlesung):* Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, 2002b.
- Borowski, K.-H.: *Das Baukastensystem in der Technik*. Berlin: Springer, 1961.
- Brexel, D.: *Methodische Strukturmodellierung komplexer variantenreicher Produkte des integrativen Maschinenbaus*. Paderborn: HNI Verlagschriftenreihe, 1997.
- Brinkop, A.: *VarianteKonstruktion durch Auswertung der Abhängigkeiten zwischen den Konstruktionsbauteilen*. Dissertation, TU Karlsruhe. Sankt Augustin: Infix, 1999.
- Büttner, K.: *Rechnergestütztes Konfigurieren von Baukastenprodukten*. Dissertation, TU Darmstadt. Düsseldorf: VDI, 1997.
- Butz, H.-W.: *Wiederholeffekte nutzen - eine Möglichkeit zur Rationalisierung in Betrieben mit Einzel- und Kleinserienfertigung*. *Konstruktion*, Vol. 28: S. 138-144, 1976.
- camos: *Internetpräsenz der Firma Camos Software und Beratung GmbH*, <http://www.camos.de>, 2002.
- computeruser: *ComputerUser High-Tech Dictionary*. ComputerUser.com Inc., <http://www.computeruser.com/resources/dictionary/>, 2002.
- Connolly, T., C. Begg und A. Strachan: *Database Systems*. Harlow: Addison-Wesley, 1999.
- Cunis, R., A. Günter und H. Strecker: *Das PLAKON-Buch: Ein Expertensystemkern für Planungs- und Konfigurierungsaufgaben in technischen Domänen*. Berlin [etc.]: Springer, 1991.
- Cunningham, W.: *Portland Pattern Repository*. Portland Pattern Repository, <http://c2.com/cgi/wiki/>, 2001.
- Dahl, T. und J. B. Ochs: *Characteristics of an Engineered-to-Order Design Environment*. International Conference on Engineering Design (ICED) 01, Glasgow, UK, 21.-23. August, 2001.
- Davenport, T. H. und L. Prusak: *Wenn Ihr Unternehmen wüsste, was es alles weiss ... das Praxishandbuch zum Wissensmanagement*. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie, 1999.
- Dietz, P., S. Penschke und A. Ort: *Strategies for Product Knowledge Management and Feedback to Design - Application Examples*. 2nd Workshop on Product Knowledge Sharing and Integration (ProKSI-97), Sophia Antipolis, France, 1997.
- DIN: *DIN 4000-1: Sachmerkmal-Leisten*. Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), 1981.
- Döftlinger, M. und R. Loepfe: *Mass Customization bei USM. io Management (4-2001):* S. 87-92, 2001.
- Dreibholz, D.: *Ordnungsschemata bei der Suche nach Lösungen*. *Konstruktion*, Vol. 27: S. 233-240, 1975.

- Drucker, P.: *Die Gesellschaft von morgen. Weltwoche Nr. 51*, 20.12.2001, 2001.
- Drucker, P. F. und U. Reineke: *Die postkapitalistische Gesellschaft*. Düsseldorf [etc.]: Econ, 1993.
- Ehrlenspiel, K., A. Kiewert und U. Lindemann: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung*. Berlin: Springer, 2000.
- Ehrlenspiel, K. und P. F. Tropschuh: *Anwendungen eines wissensbasierten Systems für die Synthese - Beispiel: Das Projektieren von Schiffsgetriebenen*. *Konstruktion*, Vol. 41: S. 283-292, 1989.
- Eigner, M. und R. Stelzer: *Produktdatenmanagement-Systeme: ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. Berlin: Springer, 2001.
- Encoway: *Präsentation der Firma Encoway im Internet*, <http://www.encoway.de>, 2002.
- Erixon, G.: *Modular Function Deployment (MFD) - A Method for Product Modularisation*. PhD Thesis, KTH Stockholm, 1998.
- Eversheim, W. und T. Becker: *Baugruppenvarianten übersichtlich darstellen - ein graphentheoretischer Ansatz zur Variantenanalyse*. *Konstruktion*, Vol. 41: S. 173-176, 1989.
- Fleischanderl, G.: *Overview of configurators as effective tools for corporate knowledge management*. 16th National Conference on Artificial Intelligence - AAAI '99 Workshop on Configuration, Orlando, Florida, July 18 - 22, 1999.
- Franke, H.-J. und N. L. Firchau: *Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen - Erfahrungen, Methoden und Instrumente zur erfolgreichen Beherrschung*. In: *VDI-Bericht 1645 (VDI-Tagung: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen, Kassel)*. Düsseldorf: VDI, 2001.
- Franke, H.-J., J. Hesselbach, B. Huch und N. L. Firchau: *Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung*. München: Hanser, 2002.
- Franke, H.-J. und S. Lux: *Internet-basierte Angebotserstellung für komplexe Produkte*. *Konstruktion* (5/00), 2000.
- Gembrys, S.-N.: *Ein Modell zur Reduzierung der Variantenvielfalt in Produktionsunternehmen*. Dissertation: TU Berlin, 1998.
- Gill, G.: *Early Expert Systems: Where Are They Now?* *MIS Quarterly* 19, Nr. 1 (März 1995): S. 51-81, 1995.
- Goethe, J. W. v.: *Die Wahlverwandtschaften*. Zürich: Artemis, 1949.
- Göker, H. M.: *Einbinden von Erfahrung in das konstruktionsmethodische Vorgehen*. Dissertation, TU Darmstadt. Düsseldorf: VDI, 1996.
- Göker, M. H.: *Retrieving Adaptable Solutions from a Design Repository*. International Conference on Engineering Design 99 (ICED 99), München, 21.-23. August, 1999.

- Görz, G.: *Einführung in die künstliche Intelligenz*. Bonn [etc.]: Addison-Wesley, 1995.
- Görz, G., C.-R. Rollinger und J. Schneeberger: *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*. München Wien [etc.]: Oldenbourg, 2000.
- Gottlob, G., T. Frühwirth und W. Horn: *Expertensysteme*. Wien [etc.]: Springer, 1990.
- GPS: *Internetpräsenz der Firma GPS Schuh & Co. GmbH*, <http://www.gps-mbh.com/>, 2002.
- Grabowski, H. und K. Geiger (Hrsg.): *Neue Wege zur Produktentwicklung*. Stuttgart: Raabe, 1997.
- Grasmann, M.: *Produktkonfiguration auf Basis von Engineering Data Management Systemen*. Dissertation, Universität Paderborn, 2000.
- Gubser, M. und P. Slama: *Entwicklung eines Baukastensystems mit der K- & V-Matrix*. Semesterarbeit, Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, 2001.
- Günter, A.: *Wissensbasiertes Konfigurieren - Ergebnisse aus dem Projekt PROKON*. Sankt Augustin: Infix cop., 1995.
- Günter, A., I. Kreuz und C. Kühn: *Kommerzielle Software-Werkzeuge für die Konfiguration von technischen Systemen*. *Künstliche Intelligenz* (3/99): S. 61-65, 1999.
- Günter, A. und C. Kühn: *Knowledge-Based Configuration - Survey and Future Directions*. In: *XPS 99: Knowledge-Based Systems*. F. Puppe (Hrsg.): Springer: S. 47-66, 1999.
- Hamou, K. H., E. Caillaud, J. Mamothé und M. Aldanondo: *Knowledge for Produkt Configuration*. International Conference on Engineering Design (ICED) 2001, Glasgow, UK, 21.-23. August, 2001.
- Hay, D. C.: *Knowledge Management*. The Data Administration Newsletter (TDAN.com), 2000.
- Heiden, T. K.: *Rechnerunterstützte Auswahl, Konfiguration und Berechnung von Antriebselementen mit einem wissensbasierten CAD-System am Beispiel von drehstarrten biegeelastischen Kupplungen*. Düsseldorf: VDI, 1992.
- Heiob, W.: *Einsatz dialogorientierter Entscheidungstabellentechnik in der Angebots- und Auftragsbearbeitung in Unternehmen mit auftragsgebundener Produktion*. Dissertation, TU Karlsruhe. Düsseldorf: VDI, 1982.
- Hoffmann, H.: *Methoden zur anwendungsorientierten Gestaltung von Geometrie-verarbeitungssystemen*. Dissertation, TU Berlin, 1986.
- Hollins, B.: *The Application of Design Management Theory to a Real Design Project*. 7th International Design Conference, Dubrovnik, 14.-17. Mai, 2002.
- Hollmann, O., T. Wagner und A. Günter: *EngCon: A Flexible Domain-Independent Configuration Engine*. ECAI-Workshop "Configuration", 2000.
- Hubka, V. und W. E. Eder: *Einführung in die Konstruktionswissenschaft: Übersicht*,

- Modell, Anleitungen*. Berlin [etc.]: Springer, 1992.
- Institut für Mittelstandsforschung: *Unternehmensgrößenstatistik 1997/98*. Bonn: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, <http://www.bmwi.de/textonly/Homepage/Publikationen/Publikationen.jsp>, 1998.
- Iten, L.: *Simultaneous Engineering - Produktstruktur, Teamorganisation, Kommunikation*. Vortrag im Rahmen der SCGA-Seminarreihe "Innovation - Digitales Produkt", ETH Zürich, 6. Oktober, 1999.
- Jarratt, T., C. Eckert, P. J. Clarkson und L. Schwankl: *Product Architecture and the Propagation of Engineering Change*. 7th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, 14.-17. Mai, 2002.
- Jordaan, J.: *LongListOfWikiClones*. Portland Pattern Repository, <http://c2.com/cgi/wikibase?LongListOfWikiClones>, 2002.
- kissoft: *Internetpräsenz der Firma KISSsoft AG*. KISSsoft AG, <http://www.kissoft.ch>, 2002.
- Kohlhase, N.: *Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen Strategien, Methoden, Instrumente*. Dissertation, TU Darmstadt. Düsseldorf: VDI, 1997.
- Koller, R.: *Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte*. Berlin: Springer, 1994.
- Kuntz, P.: *Rechnerunterstützte Synthese und Variantenkonstruktion von Planetengetrieben*. Dissertation, TU Braunschweig, 1995.
- Langenberg, L.: *Firmenspezifische Wissensportale für die Produktentwicklung*. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum. Aachen: Shaker, 2001.
- Lehtonen, T., J. Tiihonen, A. Pulkkinen und A. Riitahuhta: *Minimizing the need for IT support for product configuration*. NordDesign 2000, Technical University of Denmark, Lyngby, 2000.
- Leonhardt, U.: *Digitales Produkt: Beispiel einer Integrationsplattform für Technik- und Verkaufsprozesse mittels Informations- und Visualisierungstechnologien*. Dissertation, Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich. Düsseldorf: VDI, 2001.
- Leonhardt, U., R. Montau, E. Zwicker und M. Meier: *Informationstechnologien im Digitalen Produkt (Vorlesungsskript)*. Zürich: Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, 2002.
- Leuf, B. und W. Cunningham: *The Wiki Way - Quick Collaboration on the Web*: Addison Wesley, 2001.
- Malmqvist, J.: *A Classification of Matrix-Based Methods for Product-Modeling*. 7th International Design Conference, Dubrovnik, 14.-17. Mai, 2002.
- Mandorli, F., S. Berti und M. Germani: *A KBE System to Manage the Module Configuration Using the Corporate Knowledge*. 7th International Design Conference, Dubrovnik, 14.-17. Mai, 2002.
- Männistö, T., H. Peltonen und R. Sultonen: *View to Product Configuration Know-*

- ledge Modelling and Evaluation*. AAAI Fall Symposium, Cambridge, MA, USA, 1996.
- Männisto, T., T. Soininen und R. Sulonen: *Product Configuration View to Software Product Families*. 10th International Workshop on Software Configuration Management (SCM-10), Toronto, Canada, 14-15 May, 2001, 2001.
- Marbacher, A.: *Demand & Supply Chain Management: zentrale Aspekte der Gestaltung und Überwachung unternehmensübergreifender Leistungsprozesse betrachtet aus der Perspektive eines Markenartikelherstellers der Konsumgüterindustrie*. Bern, Stuttgart, Wien: Paul Haupt Verlag, 2001.
- Mavrovouniotis, M. L.: *Artificial intelligence in process engineering*. Boston [etc.]: Academic Press, 1990.
- McDermott, J.: *R1: A Rule-based Configurer of Computer Systems*. *Artificial Intelligence*, Vol. 19 (Nr. 1): S. 39-88, 1982.
- Meier, M.: *Produkt-Entwicklung 1 (Vorlesungsskript)*. Zürich: Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, 2002.
- Meier, M., M. Bichsel, W. Elspass, U. Leonhardt, M. Wohlgensinger und E. Zwicker: *Neuartige Tools zur effizienten Nutzung der Produktdaten im gesamten Produkt-Lebenszyklus*. *Konstruktion* (9/99): S. 11-18, 1999.
- Meier, W. A.: *Regierungen im Banne der «Informationsgesellschaft»*. *Neue Zürcher Zeitung*, 13. Januar 2001, <http://www.nzz.ch/netzstoff/2001/2001.01.13-zf-article7326Q.html>, 2001.
- Meyer, C.: www.allewerdengescheiter.com. *Weltwoche* Nr. 47, 2001.
- Mills, J. J. und J. Goossenaerts: *Towards Information and Knowledge in Product Realization Infrastructures*. 5th International Conference on Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing, Dordrecht, 2001.
- Minder, S.: *Wissensmanagement in KMU - Beitrag zur Ideengenerierung im Innovationsprozess*. Dissertation, Universität St. Gallen, 2001.
- mit: *An Introduction to the DSM Method*. Massachusetts Institute of Technology, http://web.mit.edu/dsm/Tutorial/tutorial_intro.htm, 1999.
- mit: *DSM - Home Page*. Massachusetts Institute of Technology, <http://web.mit.edu/dsm/>, 2002.
- N.N.: *EUROPARTNER NRW*. Gesellschaft für Wirtschaftsförderung Nordrhein-Westfalen mbH (GfW), http://www.europartner-nrw.com/news/fakten/Kleine_und_mittlere_Unternehmen_.htm, 2002.
- Nichterlein, C. und C. Puls: *Sistema genérico de información para ingeniería*. 9° Congreso Chileno de Ingeniería Mecánica (COCIM) 2000, Valparaíso, Chile, 10.-13. Oktober, 2000.
- Nonaka, I., H. Takeuchi und F. Mader: *Die Organisation des Wissens: wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen*. Frankfurt/Main

- [etc.]: Campus, 1997.
- Nötzke, D. und H. Birkhofer: *Providing Supplier-Components Data as PDM-Objects in Web-Based Systems*. ICED 01: International Conference on Engineering Design, Glasgow, UK, 21.-23. August, 2001.
- Oppenländer, W.: *Erarbeitung eines Konfigurationstools für eine Kunststoffbehälter-Produktfamilie*. Semesterarbeit, Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, 2002.
- orisa: *Internetpräsenz der Firma orisa Software GmbH*, <http://www.crealis.de>, 2002.
- Pahl, G. und W. Beitz: *Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung*. Berlin: Springer, 1997.
- Pavkovic, N., N. Bojetic und D. Marjanovic: *Modelling the Relation Network in the Integrated Product and Design Process Model*. 7th International Design Conference, Dubrovnik, 14.-17. Mai, 2002.
- Perl, J.: *Graphentheorie Grundlagen und Anwendungen*. Wiesbaden: Akademische Verlagsgesellschaft, 1981.
- perspectix: *Internetpräsenz der Firma Perspectix AG, Zürich*, <http://www.perspectix.de>, 2002.
- Pham, D. T. (Hrsg.): *Expert Systems in Engineering*. Artificial Intelligence in Engineering. Berlin [...]: Springer, 1988.
- Pham, D. T. (Hrsg.): *Artificial Intelligence in Design*. Artificial Intelligence in Engineering. London [...]: Springer, 1991.
- planware: *Internetpräsenz der PLANWARE Beratung & Software GmbH, München*, <http://www.planware.de>, 2002.
- Polanyi, M.: *Implizites Wissen*. Frankfurt a. Main: Suhrkamp, 1985.
- Puls, C., L. Bongulielmi und P. Henseler: *Leitfaden für den Aufbau einer unternehmensinternen Wissensbasis mit Hilfe von Wiki*: Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=217>, 2002a.
- Puls, C., L. Bongulielmi, P. Henseler und M. Meier: *Die K- & V-Matrix: Methodik und System zur Abbildung von Wissen bezüglich Variantenprodukten*. In: *VDI-Bericht 1645 (VDI-Tagung: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen, Kassel)*. Düsseldorf: VDI, 2001a.
- Puls, C., L. Bongulielmi, P. Henseler und M. Meier: *welle-nabe.info – Ein internetbasiertes Hilfsmittel für den Produktentwickler*: Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=218>, 2001b.
- Puls, C., L. Bongulielmi, P. Henseler und M. Meier: *Die Analyse von Variantenprodukten mit Hilfe der K- & V-Matrix*. 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (IWK), TU Ilmenau, 23.-26. September, 2002b.
- Puls, C., L. Bongulielmi, P. Henseler und M. Meier: *Management of Different Types of Configuration Knowledge with the K- & V-Matrix and Wiki*. 7th International

- Design Conference, Dubrovnik, Croatia, 14.-17. Mai, 2002c.
- Puppe, F.: *Einführung in Expertensysteme*. Berlin [etc.]: Springer, 1991.
- Puppe, F.: *Expertensysteme 93 2. Deutsche Tagung Expertensysteme (XPS-93), Hamburg, 17.-19. Februar 1993*. Berlin [etc.]: Springer, 1993.
- Radermacher, F. J.: *Knowledge Management for Complex Systems*. X. Internationales Produktionstechnisches Kolloquium, Berlin, 2001.
- Ranze, C., T. Scholz, T. Wagner, A. Günter, O. Herzog, O. Hollmann, C. Schlieder und V. Arlt: *A Structure-Based Configuration Tool: Drive Solution Designer DSD*. 14th Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence, Edmonton, Canada, 2002.
- Rathjen, G.: *Entscheidungstabellen in der Praxis. Software Entwicklung* (10/1997), 1997.
- Reinemuth, J.: *Hypermediale Produktkataloge: Flexibles Bereitstellen und Verarbeiten von Informationen über Zulieferkomponenten*. Dissertation, TU Darmstadt. Düsseldorf: VDI, 1995.
- Riedel, H., W. Eversheim und A. Korreck: *Variantenorientierte Programmplanung - Komplexitätsbewältigung zwischen Markt und Produktion*. In: *VDI-Bericht 1510 (Plattformkonzepte)*. Düsseldorf: VDI, 1999.
- Riesch, M.: *Internetportal für Welle-Nabe-Verbindungen*. Semesterarbeit, Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, 2001.
- Riesch, M., C. Puls, L. Bongulielmi und P. Henseler: *Internetportal für Welle-Nabe-Verbindungen*. Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich, <http://www.welle-nabe.info>, 2001.
- Romhardt, K.: *Die Organisation aus der Wissensperspektive: Möglichkeiten und Grenzen der Intervention*. Wiesbaden: Gabler, 1998.
- rotarydoctorbank: *The Rotary Doctor Bank*, <http://www.rotarydoctorbank.org/>, 2002.
- Roth, K.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. Berlin: Springer, 1994.
- Ruzek, G.: *Webobjects Web Application Construction Kit*. Sams Publishing, 2001.
- Saatweber, J.: *Kundenorientierung durch Quality Function Deployment*. München: Carl Hanser, 1997.
- sap: *Internetpräsenz der Firma SAP AG, Walldorf*, <http://www.sap.de>, 2002.
- Scheer, A.-W.: *Wirtschaftsinformatik Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse*. Berlin [etc.]: Springer, 1994.
- Schlingheider, J.: *Methodik zur Entwicklung rechnergestützter Konfigurationssysteme*. Dissertation, TU Berlin, 1994.
- Schönsleben, P.: *Integrales Logistik-Management: Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen*. Berlin: Springer, 2000.

- Schreiber, G., B. J. Wielinga und J. Breuker: *KADS a principled approach to knowledge-based system development*. London [etc.]: Academic Press, 1993.
- Schuh, G. und U. Schwenk: *Produktkomplexität managen - Strategien, Methoden, Tools*. München: Hanser, 2001.
- Schwarze, S.: *Configuration of multiple-variant products application orientation and vagueness in customer requirements*. Zürich: vdf Hochschulverlag, 1996.
- siebel: *Produktpräsentation des Siebel eConfigurator*, <http://www.siebel.com/products/iss/econfig/index.shtm>, 2002.
- Soininen, T., I. Niemelä, J. Tiihonen und R. Sulonen: *Unified Configuration Knowledge Representation Using Weight Constraint Rules*. ECA100 Workshop on Configuration, Berlin, Germany, 21-22 August, 2000.
- Solyp: *Internetpräsenz der Firma SOLYP Informatik GmbH*, <http://www.solyp.de>, 2002.
- Sommer, C.: *MoKon - ein Ansatz zur wissensbasierten Konfiguration von Variantenerzeugnissen*. Sankt Augustin: infix, 1993.
- Spur, G. und F.-L. Krause: *Das virtuelle Produkt*. München Wien: Hanser, 1997.
- Steward, D. V.: *The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems*. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. EM-28 (3): S. 71-74, 1981.
- Stöber: *Katalog MGS - Getriebe*. Stöber Antriebstechnik, <http://www.stoeber.de/PRODUCTS/MODUL-MGS/DE/index.html>, 2002.
- Suh, N. P.: *The Principles of Design*. New York [etc.]: Oxford University Press, 1990.
- tdv: *Internetpräsenz der Firma TDV GmbH*, <http://www.tdv.de>, 2002.
- Tiihonen, J. und T. Soininen: *Product Configurators -- Information System Support for Configurable Products*. In: *Using Information Technology During the Sales Visit*. Hewson Consulting Group, 1997.
- Tiihonen, J., T. Soininen, T. Männistö und R. Sulonen: *State-of-the-practice in product configuration—a survey of 10 cases in the Finnish industry*. In: *Knowledge Intensive CAD*. T. Tomiyama, M. Mäntylä and S. Finger (Hrsg.): Chapman & Hall. Vol. 1: S. 95-114, 1996.
- Troxler, P.: *Knowledge Technologies in Engineering Design*. 7th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, 14.-17. Mai, 2002.
- Turban, E.: *Expert Systems and Applied Artificial Intelligence*. New York: Macmillan Publishing Company, 1992.
- Ungeheuer, U.: *Produkt- und Montagestrukturierung: Methodik zur Planung einer anforderungsgerechten Produkt- und Montagestruktur für komplexe Erzeugnisse der Einzel- und Kleinserienproduktion*. Dissertation, RWTH Aachen. Düsseldorf: VDI, 1986.

- VDI: *VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Berlin: Beuth, 1993.
- VDI: *VDI Bericht 1645*. VDI-Tagung: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen, Kassel, 7.-8. November 2001, 2001.
- von Lucius, D.: *Sales-Software für modulare Produkte*. *eBusiness Magazin Schweiz* (02/2000), 2000.
- w3c: *Extensible Markup Language (XML)*. World Wide Web Consortium (W3C), <http://www.w3.org/XML/>, 2002.
- web3d: *Web3D Specifications*. Web 3D Consortium, http://www.vrml.org/fs_technicalinfo.htm, 2002.
- Westfal, U.: *Rechnergestützte Konfiguration von Schmalgangstaplern*. Dissertation, Universität Hannover. Gräfelfing: Resch, 1992.
- Wiki: *Text Formatting Rules*. Portland Pattern Repository, <http://c2.com/cgi/wiki?TextFormattingRules>, 2002a.
- Wiki: *zwiki.org*, <http://zwiki.org>, 2002b.
- Witt, K.-U.: *Einführung in die objektorientierte Programmierung*. München [etc.]: Oldenbourg, 1992.
- Wüpping, J.: *Massgeschneidert - Konfigurationssysteme für die individuelle Serienfertigung*. *IT Management* (4-2000), 2000.
- zpe: *Portal des ZPE*. Zentrum für Produktentwicklung, <http://www.zpe.ethz.ch>, 2002.
- Zwicker, E.: *Unterstützung der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung durch den Einsatz moderner Informationstechnologien*. Dissertation, Zentrum für Produktentwicklung, ETH Zürich. Düsseldorf: VDI, 1998.
- Zwicky, F.: *Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild*. Glarus: Fritz-Zwicky Stiftung, 1989.

Curriculum Vitae

PERSÖNLICHES

Name: Christoph Wolfgang Puls
Geburt: 18. April 1974 in Karlsruhe, Deutschland
Nationalität: Deutsch
Familienstand: verheiratet

AUSBILDUNG

1998 - 2002 **Zentrum für Produktentwicklung**, Prof. Dr. M. Meier, ETH Zürich
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Bereich *Digitales Produkt*
Haupttätigkeit: Mitarbeit am EUREKA-Forschungsprojekt COMA

2000 **Universidad Técnica Federica de Santa María**, Valparaíso, Chile
Forschungsaufenthalt

1993 - 1998 **ETH Zürich**
Studium, Abschluss als *Dipl. Masch.-Ing. ETH*

1997 **University of Pretoria**, Südafrika
Auslandssemester

1984 - 1993 **Markgrafen-Gymnasium**, Karlsruhe, Deutschland
Gymnasium, Abschluss mit dem *Abitur*

1980 - 1984 **Schlossschule Durlach**, Karlsruhe, Deutschland
Grundschule