Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Rechnergestütztes Konfigurieren und Auslegen individualisierter Produkte

Rahmenwerk für die Konzeption und Einführung wissensbasierter Assistenzsysteme in die Konstruktion

Dissertation

Dipl.-Ing.(FH) Christoph Lutz, MSc

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

DISSERTATION

Rechnergestütztes Konfigurieren und Auslegen individualisierter Produkte

Rahmenwerk für die Konzeption und Einführung wissensbasierter Assistenzsysteme in die Konstruktion

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard

E307
Institut für Konstruktionswissenschaften und Technische Logistik
Forschungsbereich Maschinenbauinformatik und Virtuelle Produktentwicklung

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Dipl.-Ing.(FH) Christoph Lutz, MSc

Matrikelnummer: 0825470
Ankerweg 9, 6972 Fußach

Fußach, 6. September 2011

Diese Dissertation haben begutachtet:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard	Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sándor Vajna

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe. Aus fremden Quellen wörtlich oder sinngemäß übernommene Zitate sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat noch nicht anderweitig in gleicher oder ähnlicher Form zu Prüfungszwecken vorgelegen und ist auch noch nicht veröffentlicht.

Die Dissertation darf über die Hochschulbibliothek zugänglich gemacht werden.

Fußach, 6. September 2011

Unterschrift Doktorand

Vorwort

"Wissen ist das einzige Gut,
das sich vermehrt,
wenn man es teilt."

MARIE VON EBNER-ESCHENBACH

Die vorliegende Dissertation entstand berufsbegleitend während meiner Tätigkeit als Leiter der Abteilung „Engineering Services" bei der Firma Julius Blum GmbH in Höchst/Vorarlberg. Ausgangspunkt und Motivation waren die vielfältigen Herausforderungen aus dem beruflichen Umfeld hinsichtlich einer praxisgerechten Rechnerunterstützung für die Entwicklung individualisierter Produkte und Betriebsmittel. Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung einiger Personen nicht zustande gekommen, bei denen ich mich an dieser Stelle bedanken möchte.

Mein erster und besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard. Die vielen anregenden Diskussionen, die konstruktiven Reflexionen zu Teilergebnissen sowie seine uneingeschränkte Unterstützung haben entscheidend zum Gelingen des Promotionsvorhabens beigetragen. Die Berücksichtigung meiner beruflichen Situation sowie die Freiräume zur Bearbeitung der Aufgabenstellung haben mir die Arbeit wesentlich erleichtert. Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sándor Vajna danke ich für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme der Zweitbegutachtung.

Ein spezieller Dank richtet sich an meinen Arbeitgeber und hier insbesondere an die Geschäftsführer Herrn Dipl.-Ing. Herbert Blum und Herrn Dr. Hubert Ploner sowie an den Technikleiter, Herrn Ing. Günter Fitz. Ihre wohlwollende Unterstützung hat mir eine berufsbegleitende Promotion erst ermöglicht.

Neben den Kollegen der Abteilung und den studentischen Unterstützungskräften Alexander Bösch sowie Jullius Nde Cho möchte ich mich v.a. bei Frau Christiane Lutz, BSc ganz herzlich bedanken. In ihrer Funktion als Wissensingenieurin bei der Firma Blum war sie mir in vielen Diskussionen und Praxisbetrachtungen eine wertvolle Ansprechpartnerin. Dass sie auch meine Tochter ist, macht mich dabei besonders stolz.

Mein letzter und größter Dank gilt meiner Frau Doris: nicht nur für das Korrekturlesen der zahlreichen Rohfassungen, sondern insbesondere für das Verständnis und die moralische Unterstützung während meiner Arbeit. Aufgrund der Doppelbelastung aus Beruf und Studium hat sie in den letzten Jahren auf viel gemeinsame Zeit verzichten müssen. Danke!

Christoph Lutz
Fußach, im September 2011

Kurzreferat

Der permanente, kundenanforderungsgetriebene Wandel in den Märkten führt mehr und mehr zu individualisierten Produkten, die sich aus konfigurierbaren Standardkomponenten und individuellen Neuteilen zusammensetzen. Hierdurch steigt die Modell- und Variantenvielfalt stark an. Dies stellt auch an den Produktentwicklungsprozess hohe Anforderungen hinsichtlich beherrschbarer Wissenserfassung und Wissensformalisierung, der Integration in die CAD-Konstruktion sowie aller Verwaltungsaspekte im prozessbegleitenden Produktdatenmanagement. Unternehmen mit weitestgehend digitalen Entwicklungsprozessen suchen nach praktikablen Rechnerunterstützungen für die wissensbasierte Konfiguration und Auslegung individualisierter Produkte. Trotz zahlreicher Aktivitäten in der Forschung und der Softwareindustrie werden diese Anforderungen nur in Teilbereichen abgedeckt.

Das Hauptziel der Arbeit ist ein Beitrag zur Konzeption eines ganzheitlichen Ansatzes für die genannte Problemstellung unter Berücksichtigung von Praxisanforderungen sowie ein methodischer Leitfaden zur Einführung solcher Assistenzen in Industriebetrieben. Ein weiteres Ziel sind Impulse für Softwareanbieter, um ihre Ansätze zu erweitern und diese in die virtuellen Produktentwicklungsprozesse nahtlos zu integrieren.

Die Arbeit gliedert sich in einen theoretischen Teil, in dem anhand des aktuellen Standes der Technik u. a. eine detaillierte Diskussion der Charakteristiken einer rechnergestützten Konfiguration und Auslegung erfolgt. Ferner gibt es einen praktischen Teil, in dem auf Basis von Detailuntersuchungen anhand von Fallbeispielen aus einem Industriebetrieb ein Lösungsvorschlag konzipiert, exemplarisch umgesetzt und validiert wird. Als Forschungsmethode wird hierfür ein induktiver Ansatz gewählt.

Die wichtigsten Erkenntnisse und Resultate der Dissertation sind ein generischer Ansatz für ein praxistaugliches Rahmenwerk, das Engineeringabteilungen eine rasche und zielgerichtete Umsetzung von Assistenzsystemen für die Konstruktion individualisierter Produkte ermöglicht sowie ein Beitrag zur anwendergerechten, systemunabhängigen Erfassung, Formalisierung und Nutzung von Konfigurations- und Auslegungswissen. Mithilfe eines methodengestützten Vorgehensmodells und einer föderierten Wissensbasis wird die Verständigungslücke zwischen Experten und Assistenzentwicklern weitestgehend geschlossen. Dies schafft u. a. die Basis für eine nahtlose Integration der Wissensbestandteile in die Arbeitsumgebung des Konstrukteurs.

Abstract

The constant changes in the markets, driven by customer requirements, lead increasingly to individualized products consisting of configurable standard components and individual new parts. This leads to a great increase in the range of product variants available. This also places high demands on the product development process with regard to manageable knowledge capturing and knowledge formalization, integration into CAD design, and all administrative aspects in the product data management accompanying the process. Businesses with largely digital development processes seek practicable IT support for the knowledge based configuration and design of individualized products. Despite numerous activities in research and the software industry, these demands are only met in some areas.

The main aim of the thesis is to contribute to the development of a holistic approach to the above-mentioned problem, taking into consideration practical requirements, and also to devise a methodical guideline for introducing such supporting technologies in industrial enterprises. A further aim is to inspire software providers to expand their approaches and to integrate them seamlessly into virtual product development processes.

The thesis is divided into a theoretical and a practical section. The former includes a detailed discussion, based on the current state of the technology, of the characteristics of IT supported configuration and design. In the latter, detailed investigations using case studies from an industrial enterprise form the basis on which a proposed solution is devised, implemented on an exemplary level, and validated. The research method chosen for this is an inductive approach.

The most important findings and results of the dissertation are, firstly, a generic approach for a framework which is usable in practice, and which enables engineering departments to quickly implement assistant systems for the design of individualized products, and, secondly, a contribution to the user-friendly, system-independent acquisition, formalization and use of configuration and design knowledge. With the help of a method-based procedure model and a federated knowledge base, the communication gap between experts and application developers is largely closed. Amongst other things, this creates the basis for a seamless integration of the knowledge components into the working environment of the design engineer.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort ... III

Kurzreferat ... IV

Abstract ... V

Inhaltsverzeichnis ... VI

Abkürzungsverzeichnis ... X

1 Einleitung und Zielsetzung ... 1

1.1 Ausgangssituation und Einführung in die Problemlage ... 1

1.2 Problembereich aus Sicht eines Industrieunternehmens ... 4

1.3 Handlungsbedarf ... 6

1.4 Hauptziele und Nutzen der Arbeit ... 7

1.5 Vorgehen und Aufbau der Arbeit ... 10

2 Grundlagen und theoretischer Bezugsrahmen ... 13

2.1 Klassifizierung von Produkten ... 13

2.1.1 Klassierungsschemas ... 14

2.1.2 Individualisierte Produkte ... 16

2.1.3 Bezug zur kundenindividuellen Massenproduktion ... 17

2.2 Entwickeln und Konstruieren von Produkten ... 19

2.2.1 Begrifflichkeiten ... 19

2.2.2 Methodisches Vorgehen - die Konstruktionsphasen ... 20

2.2.3 Arbeitsmethoden - die Konstruktionsarten ... 23

2.2.4 Konstruieren vs. Konfigurieren ... 25

2.3 Strukturierung von Produkten ... 27

2.3.1 Produktstrukturtypen und Funktionsbauweisen ... 27

2.3.2 Darstellung von Produktstrukturen ... 30

2.3.3 Darstellung von Produktvarianten ... 33

2.3.4 Ordnungssystem Sachmerkmalleiste ... 35

2.4 Rechnerbasierte Wissensverarbeitung ... 37

2.4.1 Wissensbegriffe und Klassifikation von Wissen ... 38

2.4.2 Wissensmanagement und Knowledge Engineering ... 40

2.4.3 Wissenserhebung ... 41

2.4.4 Wissensrepräsentation ... 44

3 Rechnergestütztes Konfigurieren und Auslegen von Produkten ... 49

3.1 Einführung ... 49

3.1.1 Wissensbasierte Systeme ... 49
3.1.2 Rechnerunterstützung zur Konfiguration und Auslegung ... 51

3.2 IT-Systeme und deren Eignungsgrad ... 53

3.2.1 CAD – Computer Aided Design ... 53
3.2.2 PDM – Produkt Daten Management ... 56
3.2.3 Produktkonfiguratoren ... 57
3.2.4 KBE – Knowledge-based Engineering ... 59
3.2.5 Zusammenfassung und Einordnung ... 61

3.3 Gestaltungsoptionen einer IT-Unterstützung ... 62

3.3.1 Idealtypischer Systemaufbau ... 63
3.3.2 Einsatzzweck und Anwendungsfokus ... 69
3.3.3 Wissensmodellierung und Konfigurationsstrategie ... 74
3.3.4 Geometrieverarbeitung und CAD-Integration ... 76
3.3.5 Zusammenfassung der Applikationstypisierung ... 80

3.4 Relevante Arbeiten aus Forschung und Technik ... 80

3.4.1 Methodengestützte Vorgehensmodelle zur Entwicklung wissensbasierter Systeme ... 80
3.4.2 Methoden der Wissenserhebung, -abbildung und -darstellung ... 85
3.4.3 Integration der Wissenstechnologie in die IT-Systeme ... 87

3.5 Fazit und Einordnung in den Kontext der Arbeit ... 89

4 Detailuntersuchung und Anforderungsanalyse ... 91

4.1 Einführung in die Aufgabenstellung ... 91

4.1.1 Der Entstehungsprozess einer PKA-Applikation ... 92
4.1.2 Beschreibung der eingesetzten Standardlösung ... 94
4.1.3 Leitfaden zur Detailuntersuchung der Fallbeispiele ... 97

4.2 Fallbeispiel I – Grundwerkzeuge für Folgeverbundfertigung ... 99

4.2.1 Ausgangssituation, Problemstellung und Zielsetzung ... 101
4.2.2 Erfassung und Dokumentation des Produkt- und Expertenwissens ... 101
4.2.3 Implementierung in die Standardlösung ... 104
4.2.4 Unzulänglichkeiten und Probleme ... 108

4.3 Fallbeispiel II – Handlingmodule für Montageanlagen ... 112

4.3.1 Ausgangssituation, Problemstellung und Zielsetzung ... 113
4.3.2 Erfassung und Dokumentation des Produkt- und Expertenwissens ... 114
4.3.3 Implementierung in die Standardlösung ... 115
4.3.4 Unzulänglichkeiten und Probleme ... 116

4.4 Anforderungen und Handlungsbedarf ... 117

5 Konzeption eines flexiblen Rahmenwerkes ... 121

5.1 Grobkonzept für Handlungsfelder ... 122

5.1.1 Handlungsfeld I: Ganzheitliche Betrachtung und adäquates Vorgehen ... 123

5.1.2 Handlungsfeld II: Methodische Erfassung und Formalisierung von Konfigurations- und Konstruktionswissen ... 125
5.1.3 Handlungsfeld III: Einbindung in die Konstruktionsumgebung ... 126
5.2 Feinkonzept Phase I: Projektvorbereitung ... 128
5.2.1 S1.1: Projekt initiieren und planen ... 129
5.2.2 S1.2: Voranalysen zum Produkt, zum Umfeld und zu den Wissensquellen ... 130
5.2.3 S1.3: Überlegungen zu Machbarkeit und Nutzen ... 131
5.3 Feinkonzept Phase II: Wissenserhebung und -formalisierung ... 133
5.3.1 S2.1: Erfassen und Klassifizieren der Komponenten und CAD-Modelle ... 134
5.3.2 S2.2: Aufbereiten der Varianten ... 135
5.3.3 S2.3: Spezifikation der Neuteile ... 136
5.3.4 S2.4: Entwickeln der variablen Produktstruktur ... 137
5.3.5 S2.5: Spezifikation der Eingabeparameter und Steuergrößen ... 137
5.3.6 S2.6: Erstellen der DSMgen auf Basis der Produktstruktur ... 138
5.3.7 S2.7: Erfassen der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln ... 139
5.3.8 S2.8: Entwickeln der variablen Strukturen für das Master- und Konfigurationsmodell ... 140
5.3.9 S2.9: Erstellen der DSMrel auf Basis der Konfigurationsstruktur ... 142
5.3.10 S2.10: Formalisieren der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln ... 142
5.3.11 S2.11: Ausleitungen für die Dokumentation und den PKA-Applikationsgenerator ... 143
5.4 Feinkonzept Phase III: Implementierung ... 144
5.4.1 S3.1 (optional): Auswahl einer Standardlösung und Gesamtkonzeption ... 145
5.4.2 S3.2: Anlegen des Konfigurationsmodells und Verknüpfung mit dem Mastermodell ... 146
5.4.3 S3.3: Tests und Pilotanwendung ... 147
5.5 Feinkonzept Phase IV: Betrieb ... 148
5.5.1 S4.1: Einführung in die Fachabteilung ... 148
5.5.2 S4.2: Instanziierung einer Konfiguration ... 149
5.5.3 S4.3: Datenverwaltung ... 150
5.5.4 S4.4: Änderungsmanagement ... 151
5.6 Feinkonzept: Zusammenfassung und Gesamtmodell ... 152
5.7 Methodenbaukasten ... 157
6 Exemplarische Umsetzung eines Assistenzsystems ... 159
6.1 IT-Konzept ... 159
6.1.1 Systemkontext und Abgrenzung ... 159
6.1.2 Systemaufbau und Informationsmodell ... 162
6.1.3 Softwaremodule ... 163
6.2 Exemplarische Umsetzung der Softwaremodule ... 165
6.2.1 Komponenten&Struktur-Modul ... 166
6.2.2 Spezifikations-Modul ... 168
6.2.3 Varianten-Modul ... 169

6.2.4 Regel-Modul 170
6.2.5 Generierungs-Modul 172
6.2.6 WB-Modul 174
6.2.7 Integrations-Modul 175

7 Validierung des Rahmenwerkes 179

7.1 Phase I: Projektvorbereitung 179

7.2 Phase II: Wissenserhebung und Wissensformalisierung 181

7.3 Phase III: Implementierung 192

7.4 Phase IV: Betrieb 194

8 Zusammenfassung und Ausblick 197

Literaturverzeichnis 201

Abbildungsverzeichnis 208

Tabellenverzeichnis 212

Anhang A1: Applikationstypisierung 213

Anhang A2: Methodenbaukasten 216

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ATO	Assemble-to-Order
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer Aided Design
DSM	Design Structure Matrix
ERP	Enterprise Ressource Planning (Planung von Unternehmensressourcen)
ETO	Engineer-to-Order
evtl.	eventuell
ggf.	gegebenenfalls
i. A.	im Allgemeinen
i. d. R.	in der Regel
IT	Informationstechnologie
KBE	Knowledge-based Engineering (wissensbasierte Konstruktion)
KBES	Knowledge-based Engineering System
MC	Mass Customization (kundenindividuelle Massenproduktion)
MTO	Make-to-Order
MTS	Make-to-Stock
OWL	Web Ontology Language
PDM	Produktdatenmanagement
PDMS	Produktdatenmanagementsysteme
PE	Produktentwicklung
PKA	Produktkonfiguration und Auslegung
PKA-AP	PKA-Applikation
PKS	Produktkonfigurationssystem
PPS	Produktionsplanungssysteme
PTO	Pick-to-Order
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VM	Vorgehensmodelle
XML	Extensible Markup Language
XPS	Expert System (Expertensystem)
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Ausgangssituation und Einführung in die Problemlage

Das Wettbewerbsumfeld für Industrieunternehmen hat sich in den letzten Jahren stark gewandelt, wodurch sich diese zunehmend mit veränderten Rahmenbedingungen konfrontiert sehen. Der Innovationsdruck auf marktgerechte Lösungen ist enorm gestiegen. Viele Unternehmen setzen auf Wachstum und haben ihre Märkte globaler ausgerichtet bzw. ausrichten müssen. Hierdurch erhöht sich die Anzahl der Wettbewerber, was eine verbesserte Leistungsdifferenzierung erfordert. Das Kaufverhalten der Kunden ist selbstbewusster geworden, die Bedürfnisse und Ansprüche sind größer und vor allem individueller geworden. Neben diesen geänderten Markteinflüssen sind auch die rasanten Veränderungen im Produktumfeld zu berücksichtigen. Da wäre zum einen die erhöhte Technologiedynamik zu nennen, die bspw. durch mechatronische Produkte forciert wird. Zum anderen sind die Auswirkungen der Informations- und Wissensgesellschaft in die Produktüberlegungen einzubeziehen. Erfolgreiche Unternehmen sehen einen möglichen Schlüssel für einen anhaltenden Markterfolg in einer noch fokussierteren Kundenorientierung und hier im Besonderen in der Strategie der Produktindividualisierung.

Individualisierte Produkte als Strategie

Standen in der Vergangenheit das Produkt oder eine Technologie im Mittelpunkt des unternehmerischen Handelns, sind heute die Märkte und der einzelne Kunde in den Vordergrund gerückt. Die Strategie der Produktindividualisierung kann hierbei als ein Ansatz eingestuft werden, mit dem Produkte kundengerecht entwickelt und produziert werden sollen. Eine solche Strategie zielt auch darauf ab, zunehmend mehr Produktnischen zu erschließen und diese kundenindividuellen Produktlösungen zu möglichst niedrigen Preisen, im Idealfall zu Preisen von massengefertigten Produkten, zu offerieren (vgl. Anderl 2007). In den 1990iger-Jahren wurde dafür die Wettbewerbsstrategie der kundenindividuellen Massenproduktion (Mass Customization) entwickelt, die seither von vielen Unternehmen sehr erfolgreich eingesetzt wird. Hierbei richtet sich das Augenmerk auf die Kundenorientierung, charakterisiert durch persönlich gefertigte Produkte, Abwechslung, höchste Varietät, individuelle Beratung und langlebige Kundenbeziehungen (vgl. Piller 1998). Individualisierte Produkte erfordern einen kundenspezifischen Entwicklungsprozess. Hieraus ergeben sich neue Herausforderungen an das Engineering.

Neue Herausforderungen an das Engineering

Seit jeher kommt dem Engineering eines Unternehmens eine hohe Bedeutung zu. Neben der Produktfunktionalität – einer Kernaufgabe des Engineerings – wird hier auch ein Großteil der Kosten festgelegt. Die im Produktinnovationsprozess festgelegten Kosten betragen durchschnittlich das Sieben- bis Zehnfache der verursachten Kosten. Kein anderer Prozess hat einen so starken Einfluss auf das Produkt und somit auf den Unternehmenserfolg (vgl. EHRLENSPIEL 2009). Neben den Kostenfaktoren sieht sich das Engineering zunehmend mit einer Parallelisierung der Prozesse zur Verkürzung von Entwicklungszeiten konfrontiert. Dies erhöht den Abstimmungsbedarf und die Anforderungen an das Entwicklungsmanagement. Vielfach bestehen weitere Herausforderungen durch eine Entwicklungszusammenarbeit über Unternehmensgrenzen hinweg, die nur mehr mit modernen Informations- und Kommunikationstechnologien zu bewältigen sind. Industrieunternehmen begegnen diesen Umständen mit unterschiedlichen Ansätzen und Strategien. Mit Methoden der virtuellen Produktentwicklung konnten in den vergangenen Jahren einige Effizienzsteigerungen im Engineering erzielt werden. Der Ansatz beruht auf einer digitalen Abbildung aller relevanten Objekte und Prozesse und der damit einhergehenden möglichst frühzeitigen Definition und Absicherung der Produktkonzepte sowie dem integrierten Management der erzeugten Daten.

Die Entwicklung und Konstruktion individualisierter Produkte verursacht über die bereits genannten Herausforderungen hinausgehende, zusätzliche Problemstellungen. Die Anzahl der Produktvarianten steigt beträchtlich, wodurch sich die Aufwände in der Konstruktion erhöhen. Die Losgrößen in der Produktion werden kleiner, was bspw. Konsequenzen für die Betriebsmittelkonzepte (Grundfertigung, Montage) hervorruft. Das für die Erstellung der Produktvarianten zu managende Konstruktionswissen wird umfangreicher und komplexer. Zur schnellen Ausarbeitung individueller Kundenwünsche behelfen sich Konstrukteure vielfach mit dem Kopieren und Anpassen bereits realisierter Produkte. Fallweise werden auch eigens präparierte Mustervorlagen eingesetzt. Hier hat meist jeder Konstrukteur seine eigenen Arbeitsweisen, was Optimierungsansätze hinsichtlich Standardisierung, Konstruktionsunterstützung und Entwicklungszeitverkürzung erheblich erschwert. Allen Arbeitsweisen ist aber eines gemein: Sie beruhen auf **Erfahrung** und **Fachwissen**. Dieses Wissen ist zu einem der wertvollsten Ressourcen der Unternehmen geworden. „Wissen managen" bzw. Wissensmanagement wurde seit Mitte der 1990er-Jahre insb. von NONAKA (1997) und PROBST (2006) geprägt. Sensibilisiert durch deren Ansätze und Konzepte sowie die Präsenz des Themas in der Fachliteratur, auf Tagungen und in Gremien, suchen Unternehmen und hier speziell die Engineeringabteilungen, nach Möglichkeiten, um diese Erfahrung und dieses spezifische Konstruktionswissen zu „konservieren" und gewinnbringend im Entwicklungsprozess „wieder verwendbar" zu machen. Als Gründe hierfür werden genannt:

- Entlastung der „kreativen" Köpfe und Einsatz dieser für die Entwicklung neuer Produktinnovationen. Gerade in Zeiten akuten Technikermangels müssen die Personalressourcen effektiv eingesetzt werden.
- Reduzierung der Abhängigkeit von bestimmten Mitarbeitern. Durch die Formalisierung des unternehmensspezifischen Produktwissens erhoffen sich Unternehmen, diese wichtige Ressource (Alleinstellungsmerkmale) zu sichern.

- Beherrschung der Komplexität variantenreicher Produkte. Die Kombinatorik steigt exponentiell an. Der Überblick geht verloren.
- Vorhaben, kundenindividuelle Massenprodukte mit der Losgröße „eins" anzubieten. Zahlreiche Unternehmen sehen in Mass Customization die Strategie für einen Markterfolg.
- Wunsch nach Automatisierung und Beschleunigung des Entwicklungsprozesses. Der Beitrag des Engineerings zum „Time-to-Market" ist erfolgsentscheidend. Weiters, schnellere Einarbeitung neuer Mitarbeiter und Übertragung von Entwicklungsverantwortung.
- Erhöhung der Prozess- und Kalkulationssicherheit durch erprobte Produktkonzepte. Vermeidung von „schon einmal gemachten" Fehlern.
- Ersatz für unpflegbar gewordene Eigenentwicklungen (Software) im Bereich der Konstruktionsautomatisierung. Das Wissen steckt im Quellprogramm (Source Code) und ist nur schwer zugänglich.

Ansätze und Möglichkeiten zur Unterstützung

Für die Gestaltung individualisierter Produkte lassen sich u. a. Strategien und Methoden zweckmäßig einsetzen, die sich für variantenreiche Serienprodukte etabliert haben. Bekannte Ansätze hierfür sind die Modularisierung (Modulbauweise), Baureihen und Baukästen sowie Produktplattformen. In einer Untersuchung über Megatrends im Engineering verweisen Abramovici et. al. (2007) auf die nächste Generation von Produkten, die aus konfigurierbaren Standardkomponenten kundenindividuell generiert werden: „Hierdurch wird die Modell- und Variantenvielfalt in den nächsten Jahren stark ansteigen. Eine wirtschaftliche Erfüllung individueller Kundenanforderungen ist nur durch eine starke Modularisierung und Standardisierung von Produkten, Dienstleistungen und Prozessen möglich. Dies erfordert bis 2015 Plattformkonzepte und ein entsprechendes Varianten-Management."

Neben den erwähnten Strategien werden zunehmend wissensbasierte, rechnerunterstützte Methoden und Werkzeuge zur Erstellung individualisierter Produkte eingesetzt. Seit Mitte der 1990er-Jahre ist die Leistungsfähigkeit wissensbasierter IT-Systeme stark angestiegen, was zu einem verbreiteten Einsatz wissensbasierter Konstruktionssysteme geführt hat (vgl. Eversheim 1998). Ein wesentliches Charakterisierungsmerkmal individualisierter Produkte ist die Kombination aus „*Konfiguration bestehender Standardkomponenten*" und „*Neu- bzw. Anpassungskonstruktion individueller Anteile*" (vgl. Lindemann et. al. 2006). Die IT-gestützte Konfiguration von Produkten ist die Domäne der sogenannten Produktkonfiguratoren, oftmals verbunden mit dem Ziel, rasch ein detailliertes Angebot stellen zu können. Wissensbasiertes Konstruieren und Auslegen ist dem Themenfeld „Knowledge-based Engineering" (KBE – wissensbasierte Konstruktion) zuzuordnen. Laufend erscheinende Fachartikel und Forschungspublikationen sowie vielfältige kommerzielle Lösungsangebote zu Produktkonfiguration, KBE, Konstruktionsautomatisierung (Design Automation) etc. zeugen von regen Aktivitäten und anhaltendem Interesse an Lösungen zur schnellen, rechnergestützten Konfiguration und Auslegung individualisierter Produkte.

1.2 Problembereich aus Sicht eines Industrieunternehmens

Die Firma *Julius Blum* (im Folgenden *Fallgeber* genannt) ist ein Familienbetrieb mit Sitz in Höchst/Vorarlberg (A) und ein weltweit tätiges Unternehmen bei der Entwicklung und Herstellung von Scharnier-, Auszugs- und Klappensystemen für die Möbelindustrie (Kennzahlen[1]). Die Serienfertigung erfolgt über hoch automatisierte Produktionsabläufe. Zur Sicherstellung der Qualität und Fertigungsstandards werden, gemessen am Umsatz, hohe Investitionen sowohl im Engineering wie auch in der Produktion vorgenommen. Für eine wirtschaftliche Massenfertigung wird modernste Technik eingesetzt. Die Betriebsmittel (Werkzeuge und ein Großteil der Montageanlagen) werden vom Unternehmen selbst konstruiert und gefertigt.

Im Bereich „Engineering" arbeiten derzeit ca. 500 Ingenieure und Techniker an 300 CAD-Arbeitsplätzen. Seit Jahren wird erfolgreich eine Strategie der virtuellen Produkt- und Betriebsmittelentwicklung verfolgt. Insbesondere die Verifizierung und Simulation (Frontloading) haben dabei einen hohen Stellenwert. Dies setzt eine frühzeitige, komplette Definition (Stamm- & Strukturdaten) und Beschreibung (3D-CAD-Modell) des Produktes voraus. Konzeptions-, Auslegungs- und Detaillierungsschritte werden deshalb fast ausschließlich in der 3D-CAD-Umgebung durchgeführt. Anhand der digitalen Modelle werden funktions- und herstellungsrelevante Untersuchungen angestellt (Bewegungsanalysen, Festigkeitsberechnungen, Einbauuntersuchungen, Fertigungssimulationen etc.) und mittels CAD-Konfigurationstechnik praktikable Entwicklungsvarianten aufgezeigt. Ferner fungiert die möglichst realitätsnahe Abbildung der zu entwickelnden Lösung als wichtige Diskussionsgrundlage in der Abstimmung mit den tangierenden Bereichen (Marketing, Produktion, Werkzeugbau, Instandhaltung).

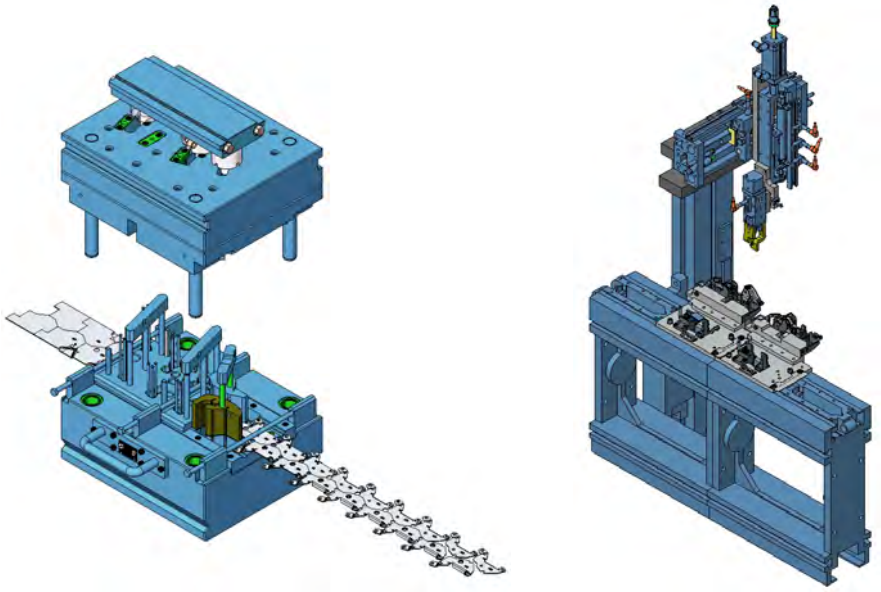
Aus Sicht des Engineerings ist der Begriff *„Produkt"* weiter gefasst. Der *Fallgeber* versteht darunter nicht nur die eigentlichen Produktinnovationen, sondern auch alle Mittel für die Prozessinnovationen. Durch die weitestgehend eigene Konstruktion und Herstellung der Werkzeuge für die Grundfertigung (Stanzen, Biegen, Tiefziehen, Kunststoffspritzen) sowie der Montagemaschinen zur Assemblierung kann direkt Einfluss auf Menge, Qualität, Durchlaufzeit und Herstellkosten ausgeübt werden. Mit dieser Strategie zielt das Unternehmen auf die Beherrschung des gesamten Produktentstehungsprozesses mit seiner tiefen Verkettung der einzelnen Prozessschritte und Abhängigkeiten. Dies sind wichtige Merkmale für Machbarkeits- und Investitionsentscheide. Durch den großen Einfluss der entsprechenden Betriebsmittelkonzepte auf die Freigabe von Produktkonzepten hinsichtlich Machbarkeit, Kosten und Umsetzung (Realisierungszeit) lastet permanent großer Druck auf der Betriebsmittelkonstruktion. Für die Freigabe eines Produktes zur Realisierung müssen die Werkzeuge und Montagemaschinen im CAD-System bereits weitestgehend ausgelegt sein. Dies erfordert rasche und flexible Arbeitsmethoden. Im Folgenden soll mit jeweils einem praktischen Beispiel aus den beiden Betriebsmittelbereichen an die Problemlage herangeführt werden:

[1] Kennzahlen Wirtschaftsjahr 2010/2011: Konsolidierter Umsatz (Blum-Gruppe) 1,16 Mrd. EUR (+ 12 % zum Vorjahr). Beschäftigte in der Blum-Gruppe: 5.300 (+ 260 zum Vorjahr), davon 4.100 in Vorarlberg. Investitionen: 85 Mio. EUR

Grundwerkzeuge für die Folgeverbundfertigung

Zur Herstellung von Blechbiegeteilen für Möbelscharniere werden Stanzwerkzeuge in einem Folgeverbundverfahren eingesetzt. Das Werkstück wird dabei in Form eines Blechstreifens durch die einzelnen Werkzeugstationen geführt und in mehreren Arbeitsfolgen bearbeitet (Abb. 1-1 – Bild links). Pro Arbeitsfolge wird ein standardisierter Stanzwerkzeug-Grundaufbau genutzt, der als Aufnahme für die produktspezifischen Stempel und Matrizen dient. Der Teilekatalog besteht aus über 200 Bauteilen, die alle im Produktdatenmanagementsystem (PDM-System) verwaltet sind. Die verbauten Standardteile variieren in Anzahl und Position und bestimmen damit auch die Geometrie von individuell zu fertigenden Neuteilen. Konstruktionsvorschriften wirken gleichermaßen auf die Auswahl von Standardteilen wie auf die Gestalt der Neuteile. So sind bspw. Mindestwanddicken zu berücksichtigen oder Berechnungen zu Anzahl und Position von Führungssäulen und Stangenaufnahmen durchzuführen.

Abb. 1-1: Praxisbeispiele aus dem Betriebsmittelumfeld (Quelle Blum):



Werkzeugstation mit Blechstreifen Handlingmodul

Die Konstruktionsaufgabe wird als mittelkomplex angesehen und nur von erfahrenen Konstrukteuren durchgeführt. Als Hilfestellung haben sich diese verschiedene Mustervorlagen angefertigt. Pro Monat werden von diesem Werkzeugtyp im Schnitt mehrere Werkzeugsätze, bestehend aus bis zu zehn Werkzeugstationen, konstruiert. Der Konstruktionsaufwand für ein Grundwerkzeug beläuft sich, je nach individuellem Anteil, zwischen einem halben und einem Tag. Hinzu kommen die Aufwände für die produktspezifischen Stempel und Matrizen. Als Hauptschwierigkeit werden die sehr umfangreichen und schwer dokumentierbaren Konstruktionszusammenhänge gewertet. Durch die „Kopiertechnik" in der Konstruktion kommt es bei der Herstellung der Werkzeuge sowie im anschließenden Produktionseinsatz immer wieder zu Problemen. Beispiele hierfür sind unterschiedliche Standardteile für ein und dieselbe Funktion, mangelnde Berücksichtigung von Vorzugsteilen, Dimensionierungs- und damit Festigkeitsprobleme oder einfach nur Flüchtigkeitsfehler und unvollständige Fertigungsunterlagen.

Handlingmodule für Montageanlagen

Zur schrittweisen Montage von Scharnier, Auszugs- und Klappensystemen werden in linearer Folge Montagemodule verkettet. Zum Einbringen von Einzelteilen in die Montagelinie werden 2-achsige Greifersysteme eingesetzt (Abb. 1-1 – Bild rechts). Diese Handlingmodule basieren auf einem Systembaukasten, der laufend erweitert wird. Über individuell konstruierte Flanschplatten werden Greifersystem, Horizontal- und Vertikalachse zusammengebaut. Die Kriterien für den Zusammenbau sind vielfältig und von zahlreichen Faktoren wie bspw. Klemmart, Greifkraft, Hub, Antriebsart, Nutzlast, Zwischenpositionen etc. abhängig. Das Finden und Auswählen dieser Komponenten ist primär „daten-zentrisch" und erfolgt über das PDM-System. Der Konstrukteur muss seine Suche genau spezifizieren und eingrenzen, um die richtigen Komponenten zu finden. Für die Konfigurationslogik gibt es keine Unterstützung. Dieses Wissen wird vom Konstrukteur eingebracht. Die Auslegung kann nur von erfahrenen Mitarbeitern durchgeführt werden. Als Unterstützung haben sich die Konstrukteure Teile des Systemkataloges als fiktive CAD-Baugruppen angelegt. Pro Monat wird eine Montageanlage konstruiert und gebaut. Hierfür sind jeweils zwischen 20 und 30 Montage- und Handlingmodule erforderlich. Als Hauptprobleme werden die unüberschaubare Variantenvielfalt und das zeitraubende CAD-Handling bei der Modulauslegung erachtet. Des Weiteren bereitet der ständig wachsende Systemkatalog einige Schwierigkeiten.

1.3 Handlungsbedarf

Aus Sicht der konkreten Beispiele

Die steigende Nachfrage nach individuellen Lösungen im Produktbereich (Scharnier-, Auszugs-, Klappensysteme) erfordert immer flexiblere und individuellere Betriebsmittelkonzepte, die in noch kürzerer Zeit umgesetzt werden sollen. Mithilfe von spezifischen IT-Lösungen erhoffen sich die Verantwortlichen, einen Teil der erweiterten Anforderungen abdecken zu können. Im Rahmen des Technologiemanagements wurde KBE als vielversprechender Ansatz in das Portfolio aufgenommen. Eine Marktlösung wurde evaluiert und eingeführt. Erste Resultate liegen vor. Nutzenpotenziale sind erkennbar. Die nutzbringenden Einsatzgebiete und Aufgabenstellungen wurden identifiziert und sollen nacheinander angegangen werden. Als Hauptproblem wird die fehlende Systematik und Unterstützung bei der Erfassung und Formalisierung des Konfigurations- und Auslegungswissens gesehen. Für eine schnelle Verbreitung und einen effizienten Einsatz wird aber genau dies als Erfolgskriterium eingestuft. Auch die Integration in die bestehende Arbeitsumgebung des Konstrukteurs (v. a. PDM) ist derzeit unbefriedigend.

Aus der verallgemeinerten Sicht mittelständischer Industrieunternehmen

Waren es in der Vergangenheit vor allem größere Unternehmen, die sich im Rahmen von Mass Customization Konzepten mit IT-Unterstützungen für die auftragsabhängige Produktindividualisierung beschäftigten, suchen nun auch verstärkt Unternehmen des Mittelstandes nach praktikablen, auf ihre jeweiligen Anforderungen hin flexibel anpassbaren Softwaresysteme. Praxis-Erfahrungen haben gezeigt, dass die Auswahl, Beschaffung und Einführung einer Marktlösung alleine noch kein Garant für eine effektive und nutzbringende Prozessun-

terstützung ist. Es fehlt über weite Strecken eine ganzheitliche Betrachtung, sowohl in methodischer wie auch funktionaler Hinsicht. Haupthindernisse dabei sind:

- Konstruktionsleiter erkennen zwar das Potenzial verfügbarer Lösungen, tun sich aber aufgrund undurchsichtiger Rahmenbedingungen bei der Projektfreigabe schwer. Es mangelt an methodengestützten, praktikablen Leitfäden mit problemspezifischen Handlungsoptionen.
- Erfahrene Konstrukteure stehen den für sie wenig verständlichen Wissensbasen mit ihren informatiklastigen Repräsentationen kritisch gegenüber. Es fehlt an Konzepten, um ihr Expertenwissen systematisch zu erfassen und so in eine formalisierbare Form zu bringen, dass es einerseits maschinenlesbar wird und trotzdem für den Konstrukteur verständlich und beherrschbar bleibt.
- Das Basiswerkzeug eines Konstrukteurs ist ein 3D-CAD-System. Für das Datenmanagement werden überwiegend in die CAD-Umgebung integrierte PDM-Systeme eingesetzt. Eine potenzielle IT-Unterstützung für die Konfiguration und Auslegung muss dementsprechend ebenso nahtlos in diese Konstruktionsumgebung integriert sein und mit diesen Systemen kommunizieren. Gängige Marktlösungen berücksichtigen dies nur unzureichend.

1.4 Hauptziele und Nutzen der Arbeit

Nach der Beschreibung der Problemlage und dem Aufzeigen des Handlungsbedarfes kann die Aufgabenstellung präzisiert und abgegrenzt werden. Dies erfolgt anhand von vier Thesen, aus denen sich in der Folge die Hauptziele ableiten lassen:

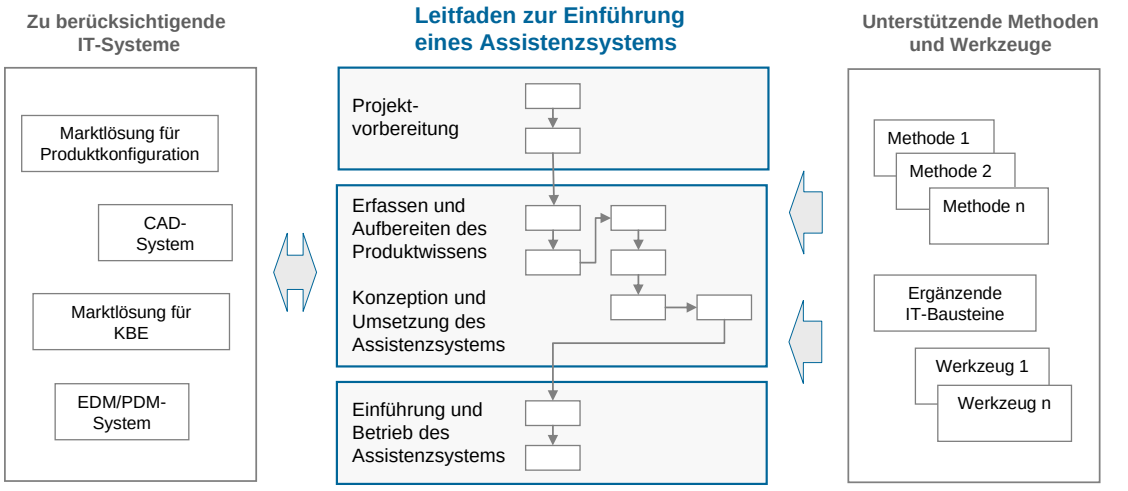
- These 1: Eine systematische Analyse und Aufarbeitung bereits realisierter KBE-Projekte beim *Fallgeber* ermöglichen eine praxisnahe, detaillierte Prozessbeschreibung, das Identifizieren von Problemfeldern und das Aufzeigen von Handlungsalternativen.
- These 2: Fallbeispiele aus den Bereichen „Werkzeug- und Montagemaschinenbau“ repräsentieren weitestgehend den Typus „individualisierte Produkte“. Die Rahmenbedingungen und Anforderungen im Konstruktionsprozess lassen sich verallgemeinern und auf andere Aufgabenstellungen übertragen. Hieraus kann ein allgemeingültiges Vorgehensmodell entwickelt werden.
- These 3: Durch eine spezielle Prozess- und Rollenbetrachtung kann der Informations- und Wissensaustausch zwischen Konstrukteuren und den Erstellern/Entwicklern einer IT-Unterstützung nachvollzogen und durch entsprechende Methoden optimiert werden. Die existierende Verständigungslücke kann durch geeignete Maßnahmen geschlossen werden.
- These 4: Die vom *Fallgeber* gewählte und eingesetzte Marktlösung kann aufgrund ihres Aufbaues und den bereits erzielten Resultaten als Stellvertreter einer Basistechnologie fungieren. Durch eine induktive Anforderungsanalyse (+Rückwärtsschreiten) bereits realisierter Projekte lassen sich alle notwendigen Prozessschritte zur praxisgerechten Erfassung und Formalisierung von Konfigurations- und Auslegungswissen erarbeiten. Dies ermöglicht die Konzeption von ergänzenden IT-Bausteinen zu einem ganzheitlichen Assistenzsystem.

Die übergeordnete Zielstellung der Arbeit ist ein Beitrag zur rechnergestützten Konfiguration und Auslegung individualisierter Produkte. Diese lässt sich durch zwei Hauptziele ausdrücken:

Hauptziel I: Methodengestützter Leitfaden zum Vorgehen

Das Vorhaben, die Konfiguration und Auslegung eines individualisierten Produktangebotes durch ein Assistenzsystem zu unterstützen, wird i. d. R. als Projekt abgewickelt. Neben dem aus dem Projektmanagement bekannten allgemeinen Vorgehen gilt es, zahlreiche aufgabenspezifische Arbeitschritte zu konkretisieren und spezielle Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Abb. 1-2 zeigt in idealisierter Form das zu entwickelnde Vorgehensschema, das durch Methoden und Werkzeuge unterstützt werden soll und vorhandene betriebliche IT-Systeme in die Konzeption involviert. Die einzelnen Prozessschritte enthalten dabei detaillierte Handlungsanweisungen und Vorgehensoptionen. Die Methoden sollen zu einem Baukasten zusammengeführt werden und damit auch als Nachschlagewerk dienen.

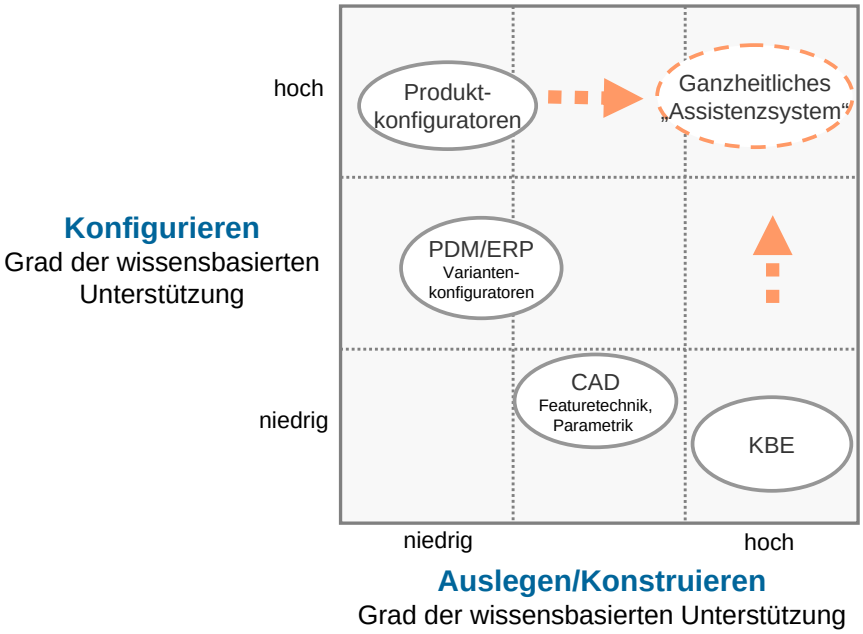
Abb. 1-2: Idealisierte Darstellung des zu entwickelnden, methodengestützten Leitfadens (Vorgehensschema)



Hauptziel II: Konzeption eines ganzheitlichen Assistenzsystems

Bei dem Assistenzsystem geht es nicht um die Entwicklung eines neuen Produktkonfigurators bzw. KBE-Systems, sondern vielmehr um ein Rahmenwerk, das eine für die Basisaufgabe geeignete Marktlösung durch prozessbegleitende IT-Erweiterungen zu einer praxistauglichen Gesamtlösung zusammenführt. Das Assistenzsystem soll die Domänen *„wissensbasierte Konfiguration und Konstruktion/Auslegung“* gleichermaßen berücksichtigen, sowie in die CAD- und PDM-zentrierte Arbeitsumgebung des Konstrukteurs nahtlos integriert werden. Abb. 1-3 visualisiert eine schematische Einordnung des anvisierten Assistenzsystems in Bezug auf den Grad der wissensbasierten Konfigurations- und Konstruktionsunterstützung sowie der eingangs erwähnten Unterstützungsmöglichkeiten durch Produktkonfiguratoren und KBE. Die aufgeführten PDM- und CAD-Systeme sollen aufzeigen, dass wissensbasierte Basisfunktionalitäten auch hier bereits vorhanden sein können.

Abb. 1-3: Klassifizierung der bekannten Unterstützungsmöglichkeiten in Bezug auf den Grad der wissensbasierten Konfigurations- und Konstruktionsunterstützung und Einordnung des anvisierten, ganzheitlichen Assistenzsystems



Begriffsdefinition: Der Bezug zum Konfigurieren und Auslegen bzw. Konstruieren von Produkten zieht sich durch die gesamte Arbeit. Zur Vereinfachung dieses kombinierten Sachverhaltes wird das Akronym „PKA“ für *Produktkonfiguration und Auslegung* eingeführt. Dieses kann mit anderen Termini wie bspw. „System“ (PKA-System) kombiniert werden und fungiert damit als Oberbegriff für Funktionen und Aufgaben im Zusammenhang mit Produktkonfiguration und KBE. Fortan wird das zu konzipierende Assistenzsystem als **PKA-Assistenzsystem** bezeichnet.

Nutzen für die betriebliche Praxis

Neueinsteiger, die sich für die Thematik interessieren, können sich einen Überblick über die wesentlichen Erfolgskriterien verschaffen und abschätzen, inwieweit sich ein derartiger Schritt lohnen würde.

Für **Unternehmen**, die bereits PKA-Systeme im Einsatz haben, liefert die Arbeit neue Ansatzpunkte zur Optimierung der systemneutralen Erfassung und Dokumentation von Konfigurations- und Konstruktionswissen. Dies eröffnet gleichzeitig die Möglichkeit, implizites Wissen für das Unternehmen langfristig zu sichern.

Konstruktionsleiter erkennen zwar das Potenzial von PKA-Systemen, benötigen aber mehr Fakten für einen Projektentscheid. Anhand des Leitfadens können die notwendigen Rahmenbedingungen hinsichtlich Aufbau- und Ablauforganisation erkannt und besser geplant werden. Dies vermindert die Einstiegsbarriere und erleichtert das Bereitstellen notwendiger Ressourcen.

Durch die direkte Integration einer Wissensunterstützung in den Konstruktionsprozess wird eine zielgerichtete, praxisnahe Nutzung erreicht. Dies entlastet erfahrene Ingenieure und erhöht deren Motivation, Produktwissen zu identifizieren, aufzuarbeiten und einzupflegen. Gleichzeitig erhalten Nachwuchskonstrukteure hierdurch Zugang zu diesem Erfahrungswissen.

Der Konstrukteur kann seine, durch viele Jahre Erfahrung adaptierten Arbeitsweisen weiter anwenden und kombinieren. Am Ende des PKA-Prozesses stehen alle zur Weiterverarbeitung notwendigen Produktinformationen in gewohnter Qualität und Ausprägung zur Verfügung (CAD-Modelle + ggf. Zeichnungen + Stücklisten + Datenverwaltung).

Nutzen für Anbieter von PKA-Marktlösungen

Das Rahmenwerk baut auf bestehenden PKA-Marktlösungen auf und kann von den Anbietern einerseits als Technologievalidierung und andererseits als Vorschlag für Verbesserungen genutzt werden. Darüber hinaus dokumentiert die Arbeit die Bedeutsamkeit der systematischen Wissenserfassung und die Notwendigkeit, dieses Wissen systemneutral zu speichern. Auch der dringliche Bedarf einer Integration der Marktlösung in die Arbeitsumgebung des Konstrukteurs wird aufgezeigt. Dies ermöglicht variable Implementierungsansätze für die Anbieter, was die Wertigkeit einer Lösung erhöht.

Nutzen für die wissenschaftliche Forschung

Die Arbeit zeigt praxiserprobte, erweiterte Ansätze zur Erfassung und Formalisierung von Konfigurations- und Auslegungswissen. Daraus ergeben sich neue Impulse zu Formen der Produktmodellierung, wie sie aus Sicht von Konstrukteuren angestrebt werden sollten.

1.5 Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Forschungsmethodik und Vorgehen

Die im vorigen Abschnitt aufgestellten Thesen basieren auf der Annahme, dass in der Praxis bereits realisierte Projekte, hinsichtlich der erzielten Ergebnisse, als Referenz betrachtet werden können. Durch eine systematische, detaillierte Projektaufarbeitung können allgemeingültige Aussagen abgeleitet werden. Diese Arbeitsmethode entspricht im wissenschaftlichen Forschungsprozess einem induktiven Vorgehen. Dabei wird vom konkreten Einzelfall (vom Besonderen) ausgegangen, und daraus werden allgemeine Schlussfolgerungen und Aussagen abgeleitet. Das Instrument dieses Denkprozesses ist die Synthese, bei der einzelne Teile zu einem Ganzen zusammengefügt werden.

Für die Erarbeitung eines Vorgehensmodells und insb. für die Erfassung und Formalisierung von PKA-Wissen wird die Problemlösungsmethode des Rückwärtsschreitens herangezogen. Hierbei wird von einer Zielsituation ausgegangen, bei der rückwärtsschreitend jeweils die Wege untersucht werden, die in dieses Ziel münden (vgl. PAHL et. al. 2007). Als Frage formuliert: Was ist im vorangegangenen Schritt zu tun, aufzuarbeiten, zu definieren, damit ein entsprechendes Schritt-Resultat erzielt werden kann?

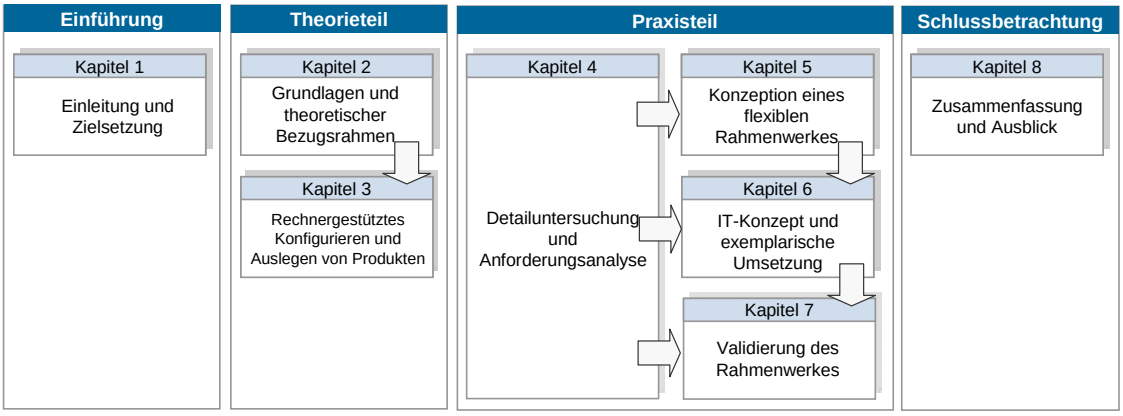
Grundsätzlich liegt dieser Arbeit die Denkweise der virtuellen Produktentwicklung zugrunde, insb. eines methodischen, phasenorientierten Vorgehens zur Problemlösung (Konstruktionsmethodik) und einer durchgehenden Anwendung von Informationstechnologien und rechnergestützten Verfahren.

Aufbau der Arbeit

Neben der Einführung und einer Schlussbetrachtung gliedert sich die Dissertation in einen theoretischen Teil, in dem Grundlagen erarbeitet und der Stand der Technik aufgezeigt wird, und einen praktischen Teil, in dem auf Basis von Detailuntersuchungen anhand von Fallbeispielen ein Lösungsvorschlag konzipiert und validiert wird (Abb. 1-4).

Nach der Heranführung an die Problemstellung, dem Aufzeigen eines Handlungsbedarfes und der Formulierung der mit dieser Arbeit anvisierten Verbesserungen in Kapitel 1 gilt es, in einem ersten Theorie-Schritt in Kapitel 2 entsprechende Grundlagen zu schaffen und einen theoretischen Bezugsrahmen zu Kernthemen der Produktentwicklung herzustellen. Eine Klassifizierung von Produkten soll aufzeigen, nach welchen Gesichtspunkten Produkte eingeteilt werden können und welche Charakteristiken insbesondere individualisierte Produkte aufweisen. Die methodische Betrachtung des Konstruktionsprozesses erzeugt einen Kontext zwischen den Produktarten, den Abläufen und den Arbeitsmethoden. Wichtige Grundlagen für die Arbeit sind des Weiteren Aspekte der Produktstrukturierung und der generellen, rechnerbasierten Wissensverarbeitung.

Abb. 1-4: Aufbau und Struktur der Arbeit



Der zweite Theorieteil gibt in Kapitel 3 einen Überblick über den Stand der Technik bei der rechnergestützten Konfiguration und Auslegung von Produkten sowie Forschungsaktivitäten zum Thema. Hierbei werden die bekanntesten IT-Technologien bzw. Systeme beschrieben und deren Eignungsgrad bewertet. Anhand einer detaillierten Diskussion über mögliche Gestaltungsoptionen wird ein Applikationstypisierungsschema erarbeitet. Mit relevanten Arbeiten aus Industrie- und Forschungsprojekten wird abschließend ein Forschungsbezug zu den Fragestellungen hergestellt.

Der Praxisteil beginnt in Kapitel 4 mit einer Detailuntersuchung der eingangs erwähnten Fallbeispiele aus der Betriebsmittelkonstruktion des Fallgebers und einer Anforderungsana-

lyse anhand der gemachten Erfahrungen. Die Untersuchung erfolgt in systematischer Weise. Hierfür wird in einem ersten Schritt ein Analyseschema definiert, das die wesentlichen Merkmale zur Beurteilung der Situation und Ableitung von Anforderungen bezeichnet. Anhand dieses Schemas werden dann die beiden Fallbeispiele (Grundwerkzeuge für die Folgeverbundfertigung, Handlingmodule für eine Montageanlage) analysiert und der Handlungsbedarf abgeleitet.

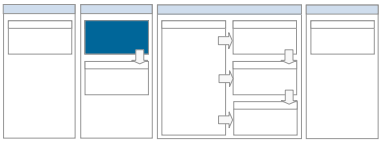
Kapitel 5 widmet sich der generischen Konzeption des flexiblen Rahmenwerkes. Zunächst wird für die in Kapitel 4 definierten Handlungsfelder ein Grobkonzept mit Hauptfunktionen und möglichen Lösungsätzen entworfen. Dabei werden zwei wesentliche Unterstützungsebenen differenziert: eine methodische Unterstützung (Prozessebene) und eine systemtechnische Unterstützung (Systemebene). Das daran anschließende Feinkonzept richtet sich an der Entstehungsphase eines PKA-Assistenzsystems aus und beschreibt in detaillierter Form die erforderliche Prozessunterstützung. Dabei wird mithilfe spezieller Methoden ein zweckmäßiges Vorgehen vorgeschlagen. Ein Teil der Methoden, insbesondere zur Erfassung und Formalisierung von Konfigurations- und Auslegungswissen, finden im Folgekapitel eine exemplarische IT-Umsetzung. Am Ende von Kapitel 5 sind alle Methoden in einem Baukasten aufgelistet. Eine Detailbeschreibung ist im Anhang aufgeführt.

Die im Grobkonzept vorgesehene Systemunterstützung ist Inhalt von Kapitel 6. Hier wird das IT-Konzept für ein Assistenzsystem vorgestellt und die exemplarische Umsetzung der Softwaremodule beschrieben. Das IT-Konzept benennt die wesentlichen Systemkomponenten und Lösungsbausteine sowie eine Gliederung der Bausteine in Softwaremodule. Zur Validierung des gesamten Rahmenwerkes werden die Softwaremodule exemplarisch realisiert. Die Unterteilung in einzelne Funktionen (i-Methoden genannt) und eine funktionale Deskription dieser schließen das Kapitel ab.

In Kapitel 7 erfolgt die Validierung des Rahmenwerkes. Zu diesem Zweck werden die in Kapitel 4 erörterten Aufgabenstellungen (Grundwerkzeug, Handlingmodul) von Grund auf mithilfe des Rahmenwerkes (nochmals) neu erstellt bzw. entwickelt. Dies beinhaltet sowohl das Vorgehen gemäß Vorgehensmodell als auch die Anwendung des PKA-Assistenzsystems. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage der Validierung.

Die Arbeit wird durch eine Schlussbetrachtung abgerundet. Kapitel 8 fasst ein Gesamtfazit und unterzieht die Dissertation einer kritischen Reflexion. Der Ausblick weist auf mögliche, nächste Schritte hin und benennt offen gebliebene Fragestellungen, die Inhalt weiterführender Arbeiten sein könnten.

2 Grundlagen und theoretischer Bezugsrahmen



Dieses Kapitel stellt den Grundlagenteil dar und soll einen theoretischen Bezugsrahmen zu den Themengebieten dieser Arbeit sowie zu den eingesetzten Methodiken schaffen. Hierzu zählt insb. der Prozess der Produktentwicklung mit einem speziellen Augenmerk auf Produktvarianten und Individualisierungsaspekten sowie das Themengebiet der rechnerbasierten Wissensverarbeitung.

Einer Typisierung von Produkten aus verschiedenen Blickwinkeln ist der erste Abschnitt gewidmet. Anhand dieser Klassifizierung können in späterer Folge die für ein Assistenzsystem anvisierten Produkttypen klarer eingeordnet werden. Das methodische Vorgehen im Konstruktionsprozess steht im Zentrum von Abschnitt 2. Neben der Klärung von Begrifflichkeiten werden die einzelnen Konstruktionsphasen und Konstruktionsarten diskutiert.

Mit einem für diese Arbeit sehr wichtigen Thema befasst sich der dritte Abschnitt. Hier sollen Grundlagen der Produktstrukturierung und dafür notwendige und verfügbare Hilfsmittel aufgezeigt werden. Insbesondere für die Verwaltung variabler Produktstrukturen sind Kenntnisse über Formen und Darstellung von Erzeugnisgliederungen von hoher Bedeutung.

Die rechnerbasierte Verarbeitung von Wissen thematisiert Abschnitt 4. Hierbei geht es v. a. um den Prozess der Wissenserhebung und Formen der Wissensrepräsentation. Dieser Prozess bildet ein Kernthema der Arbeit.

2.1 Klassifizierung von Produkten

Für eine Diskussion der Produktentstehung und der damit zusammenhängenden Grundlagen zu Vorgehen, Arbeitsmethoden und Aspekten der Strukturierung erscheint eingangs eine Klassifizierung und Charakterisierung von Produktarten sinnvoll.

Der Begriff „*Produkt*“ wird allgemein auch synonym zu *Erzeugnis* verwendet. Nach DIN 199 ist ein Erzeugnis ein durch Produktion entstandener, gebrauchs- bzw. verkaufsfähiger materieller oder immaterieller Gegenstand. Erzeugnisse sind funktionsfähige Teile, Maschinen oder Geräte, die aus einer Anzahl von Baugruppen und Teilen bestehen und das Produktionsergebnis darstellen (Conrad 2008). Meier (2004) bezeichnet das Produkt als das Herzstück des Unternehmens, auf welchem die Existenz der Firma basiert. Als Produkt werden grundsätzlich nicht nur Sachgüter, sondern auch jegliche Art von Dienstleistungen oder auch Services verstanden. Er definiert ein Produkt in diesem Zusammenhang als „ein technisches, materielles oder immaterielles Erzeugnis, welches in der Natur nicht vorkommt, für einen Markt hergestellt und von diesem genutzt wird“.

Für diese Arbeit bezieht sich der Produktbegriff auf Sachgüter, die einen klassischen Konstruktionsprozess durchlaufen.

2.1.1 Klassierungsschemas

Zur Charakterisierung und Definition von als „*individualisiert*" bzw. „*kundenindividuell*" bezeichnete Produkte ist zunächst eine Betrachtung verschiedener Typisierungsaspekte hilfreich. Hierfür müssen der gesamte Prozess der Leistungserbringung (Auftragsdurchlauf) und im Besonderen die technische Auftragsabwicklung betrachtet werden. Die technische Auftragsabwicklung umfasst alle Unternehmensbereiche, die ausgehend von der Erteilung des Konstruktionsauftrags bis zur Fertigmontage an der Herstellung eines Erzeugnisses beteiligt sind.

Klassifizierung nach Erzeugnisspektrum

Ein vielfach verwendeter Ansatz (vgl. LUCZAK et. al. 2001; LINGNAU 1994; GLASER 1992; SCHOTTEN et. al. 2001) zur Entwicklung einer praxisrelevanten Typisierung von Produkten geht auf SCHOMBURG (1980) zurück. Von ihm werden variantenspezifisch relevante betriebstypologische Merkmale identifiziert, die in direktem Zusammenhang mit dem Auftragsdurchlauf bzw. mit dem Produktionsprozess stehen. Neben dispositions-, beschaffungs- und fertigungsrelevanten Merkmalen erscheint in Bezug auf unmittelbare Produkteigenschaften das „*Erzeugnisspektrum*" von besonderer Relevanz. Ein Erzeugnis bzw. Produkt wird dabei in vier Kategorien unterteilt (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Merkmalsausprägungen für „Erzeugnisspektrum" (vgl. SCHOMBURG1980)

Ausprägung	Kennzeichen
Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	■ Auftragsbezogene Neukonstruktion auf Basis von Kundenanforderungen. Kundeneinfluss dementsprechend sehr hoch. ■ Standardisierungsanteil an Erzeugniskomponenten sehr gering bzw. kaum möglich.
typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	■ Kundeneinfluss auf die Konstruktion ist gegeben. ■ Erzeugnisse enthalten einen Anteil an Standardkomponenten. ■ Auftragsbezogene Anpassungskonstruktion auf Basis einer vorhandenen Grundkonstruktion.
Standarderzeugnisse mit Varianten	■ Kundeneinfluss auf Konstruktion sehr gering. ■ Entweder standardisierte Erzeugnisse mit einzelnen kundenspezifischen Änderungen oder Erzeugnisausführung wird nach einer Baukastensystematik zusammengestellt. ■ Erzeugnis ist eine Variantenkonstruktion (Standardkonstruktion mit Variantenprogramm).
Standarderzeugnisse ohne Varianten	■ Kein Kundeneinfluss auf die Konstruktion möglich. ■ Erzeugnisausführungen werden vom Unternehmen festgelegt. ■ Ist eine Konstruktion mit festem Prinzip (Standardkonstruktion ohne Variantenprogramm).

Das treibende Kennzeichen für die Kategorisierung ist der Standardisierungsgrad und damit der Kundeneinfluss auf die Konstruktion. Auch die Konstruktionsart ist ein Kennzeichen und kann den Kategorien zugeordnet werden. Dies präzisiert Abschnitt 2.2.3 noch detailliert. Der

Einfluss des Kunden auf die Konstruktion ist bei *„Erzeugnissen nach Kundenspezifikation"* am größten, da hier kaum Standardkomponenten eingesetzt werden können. Bei *„typisierten Erzeugnissen mit kundenspezifischen Varianten"* hat der Kunde noch einige Möglichkeiten, um das Produkt nach seinen Vorstellungen zu beeinflussen. Es werden auch Standardkomponenten eingesetzt. Die dritte Kategorie beschreibt *„Standarderzeugnisse mit Varianten"*. Hier hat der Kunde kaum mehr Einfluss auf die Konstruktion. Durch bedingte Kombinationsmöglichkeiten von Standardkomponenten sind Produktvarianten möglich. Der vierte Erzeugnistyp beschreibt *„Standarderzeugnisse ohne Varianten"*. Typisches Kennzeichen hier ist das Fehlen jeglichen Kundeneinflusses. Das Produkt ist in seiner Ausführung fest vorgegeben. Es existieren keine Varianten.

In Anlehnung an SCHOMBURG nimmt HENSELER (2004) eine griffige Präzisierung der Ausprägungen vor. Er formuliert in die Ausprägungen mit hinein, wer die Varianten spezifiziert. Für die Ausprägung *„Standarderzeugnisse mit Varianten"* wählt er die Bezeichnung *„Standardprodukte mit herstellerspezifizierten Varianten"*. Die Ausprägung *„typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten"* nennt er *„Standardprodukte mit kundenspezifizierten Varianten"*. Für die weiteren Ausführungen werden diese Formulierungen übernommen.

Einordnung von Produkten nach dem Produktionskonzept

Klassifizierende Produktmerkmale mit Bezug zur Herstellung sind aus der Produktionslogistik bekannt. SCHÖNSLEBEN (2007) definiert hierfür ein Merkmal namens *Produktionsumgebung*. SCHUH (2006) benennt ein ähnliches Merkmal *Produktionskonzept*. Beide Merkmale sind im Wesentlichen durch die folgenden vier Ausprägungen charakterisiert:

- **Make-to-Stock (MTS)** oder auch **Pick-to-Order (PTO)**. Entspricht einer klassischen Lagerfertigung, die unabhängig von Kundenwünschen und Aufträgen erfolgt (mengen- und zeitmäßig festgelegtes Produktionsprogramm). Die Kunden werden ab Lager bedient bzw. er wählt das gewünschte Produkt aus einer angebotenen Produktpalette aus. Es existieren keine Abhängigkeiten zwischen den Produkten. Typisch z. B. für Fernseh- und Haushaltsgeräte.
- **Assemble-to-Order (ATO)**. Grundgedanke ist eine auftragsneutrale Vorfertigung, verbunden mit einer kundenspezifischen Endfertigung oder Montage. Standardmodule und -teile werden nach Kundenauftrag individuell montiert. Es erfolgt dementsprechend eine Bevorratung auf der Ebene der Baugruppen oder Einzelteile. Hier können einzelne Komponenten des Produktes nicht mehr unabhängig voneinander gewählt werden. Typisch z. B. für Personenwagen und Personal Computer.
- **Make-to-Order (MTO)**. Hierbei handelt es sich meist um komplexere Produkte, die nach Kundenwünschen konfiguriert werden können. Produziert wird kundenauftragsspezifisch. Das Produkt wird teilweise aus vordefinierten Komponenten und teils aus nur vorgedachten Komponenten zusammengesetzt. Dementsprechend entstehen bei diesem Konzept auch neue Teile. Die Produktvariabilität ist allerdings begrenzt, wenn auch die Anzahl möglicher Kombinationen schnell in die Millionen gehen kann. Typisch z. B. für den Maschinen- oder Schiffsbau, Sondermaschinen, Werkzeugmaschinen, Nutzfahrzeuge.

- **Engineer-to-Order (ETO).** Diese Produkte weisen einen hohen Spezialisierungsgrad auf. Sie können nicht komplett vorgedacht werden. Das Produkt enthält eine erhebliche Anzahl an neuen Komponenten, die im Auftragsfall zu konstruieren sind. Es werden geringe (auf Modulebene) bis keine Lagerbestände gehalten. Der Kunde gibt Spezifikationswünsche vor, Änderungswünsche können auch noch später berücksichtigt werden. Große Teile des Kundenauftrages müssen vor der Beschaffung und Produktion die Entwicklungsabteilung durchlaufen. Typisch z. B. für die klassische Einzelfertigung, Anlagenbau, komplexe Maschinen zur Herstellung von Spezialprodukten.

2.1.2 Individualisierte Produkte

Grundsätzlich kann eine Abgrenzung und Definition individualisierter Produkte von den oben erläuterten Klassifizierungen abgeleitet werden. Zum einen muss ein signifikanter Anteil des Produktes durch den Kunden bestimmbar bzw. beeinflussbar sein. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass individualisierte Produkte einen Grundanteil an vorgedachten Standardkomponenten enthalten. Dies erlaubt den Schluss, dass individualisierte Produkte als *„Standardprodukte mit kundenspezifizierten Varianten"* definiert werden können, die mittels eines *MTO-Produktionskonzeptes* hergestellt werden (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Prinzipielle Zuordnung der Ausprägungen von Erzeugnisspektrum und Produktionskonzept sowie Einordnung von individualisierten Produkten

Merkmal	Ausprägung			
Erzeugnisspektrum	Produkte ohne Varianten	Standardprodukte mit herstellerspezifizierten Varianten	*Standardprodukte mit kundenspezifizierten Varianten	Produkte nach Kundenspezifikation
Produktionskonzept	Make-to-Stock (MTS)	Assemble-to-Order (ATO)	* Make-to-Order (MTO)	Engineer-to-Order (ETO)

*Individualisierte Produkte

In der Arbeit des Sonderforschungsbereich 582 *„Marktnahe Produktion individualisierter Produkte"* (LINDEMANN et. al. 2006) erfolgt eine Charakterisierung durch Gegenüberstellung der Produktarten *Sonderanfertigung*, *Variantenreiche Serienprodukte* und *Individualisierte Produkte* (Tabelle 2-3). Darin werden individualisierte Produkte als ein „Bündel aus Sachprodukten und Dienstleistungen, die sowohl Standard- als auch individuelle Komponenten enthalten" definiert. Die Individualisierung erfolge dabei durch einen kundenspezifischen Entwicklungsprozess, bei dem Kundenwünsche erfasst und umgesetzt würden. Die aufgeführten Kennzeichen individualisierter Produkte entsprechen weitestgehend der oben vorgenommenen Zuordnung im Zusammenhang mit Erzeugnisspektrum und Produktionskonzept. So werden beispielsweise auch die Vorentwicklung der Grundstruktur oder die Möglichkeiten einer kundenspezifischen Gestaltung in definierten Produktbereichen aufgeführt. Die Charakterisierung der *Sonderanfertigungen* kann dem ETO-, die der *variantenreichen Serienprodukten* dem ATO-Produktionskonzept zugeordnet werden.

Tabelle 2-3: Grundlegende Charakteristiken von Sonderanfertigungen, variantenreichen Serienprodukten und individualisierten Produkten (Lindemann et. al. 2006)

Sonderanfertigungen	Variantenreiche Serienprodukte	Individualisierte Produkte
■ Komplette Neuentwickelung individueller Lösungen ■ Produkte werden genau nach Kundenspezifikation hergestellt ■ Kundenspezifische Gestaltung in beliebigen Produktbereichen ■ Sehr geringe Stückzahlen, Produktion von Unikaten ■ Kosten und Zeitaufwendungen sind sehr hoch	■ Konfiguration von vorgefertigten Modulen ■ Vielfach auftragsunabhängige Entwicklung und Produktion der Module (auf „Vorrat") ■ Entstehung großer Variantenzahlen, die in allen Kombinationen nie gebaut werden ■ Intransparenz der Kostenentstehung, Quersubventionierung von Exoten mit niedriger Stückzahl ■ Mit Variantenvielfalt steigt vor allem kombinatorische Produkt- und Prozesskomplexität	■ Konfiguration vordefinierter Module und kundenspezifische Gestaltung in definierten Produktbereichen ■ Produkt wird in Grundstruktur vorentwickelt ■ Anpassung des Produktes an individuelle Kundenbedürfnisse erfolgt auftragsspezifisch ■ Leistungssysteme (Produkte, Prozesse) sind auf Flexibilität ausgerichtet ■ Preise und Lieferzeiten mit Serienprodukten vergleichbar ■ Vor allem strukturelle Produkt- und Prozesskomplexität ist zu bewältigen

2.1.3 Bezug zur kundenindividuellen Massenproduktion

Bedingt durch neue Wettbewerbsbedingungen und gesteigerte Kundenansprüche spricht PILLER (1998) von einer Verlagerung von Errungenschaften der industriellen Revolution von der

- **Massenproduktion und dem Massenverbrauch**, charakterisiert durch Selbstbedienung aus dem Regal, Standardgrößen, -maße, -qualitäten, langwierige Umtauschaktionen, Marktprognosen, Ausverkäufe oder Lagerbestände hin zu
- **kundenindividueller Massenproduktion**, charakterisiert durch persönlich gefertigte Produkte, Abwechslung, höchste Varietät[1], individuelle Beratung, langlebige Kundenbeziehungen, Teleshopping.

Die kundenindividuelle Massenproduktion (engl. Mass Customization – MC) ist eine Wettbewerbsstrategie der Zukunft. Im Mittelpunkt steht dabei die Kundenorientierung. Unternehmen merken heute immer mehr, dass sowohl Effizienz als auch Individualisierung gefordert sind und dass mit einer kundenindividuellen Massenproduktion die beiden Strategien „effiziente Massenfertigung standardisierter Güter" und „teure Fertigung hoher Variantenvielfalt" vereint werden können (vgl. PINE 1996). MC ist die „Produktion von Gütern und Leistungen für einen (relativ) großen Absatzmarkt, welche die unterschiedlichen Bedürfnisse jedes ein-

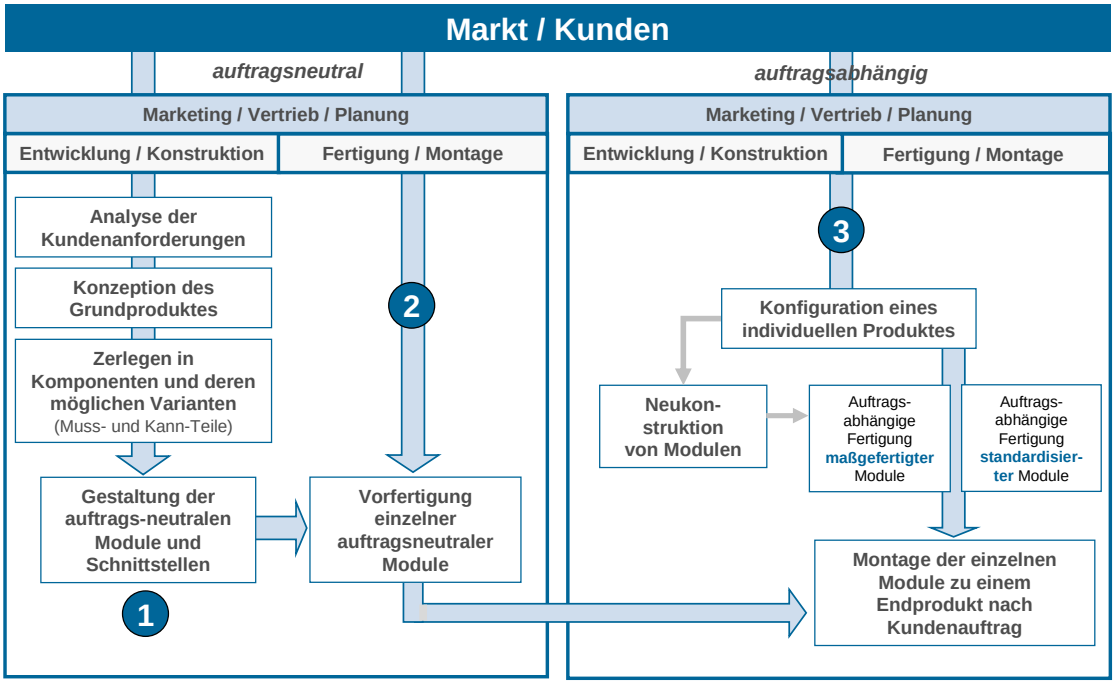
[1] Die Varietät dient in der Kybernetik (Wissenschaft von der Lenkung und Kommunikation in dynamischen Systemen) der Messung von Komplexität eines Systems und beschreibt die Anzahl möglicher Zustände oder Verhaltensmuster eines Systems (vgl. SCHWANINGER 2005).

zelnen Nachfragers dieser Produkte treffen, zu Kosten, die ungefähr denen einer massenhaften Fertigung vergleichbarer Standardgüter entsprechen" (PILLER 1998).

Konzeption von Mass Customization

Eine der leistungsfähigsten und oft verbreiteten Konzeption von MC ist die Modularisierung der Leistung mithilfe eines Baukastensystems (PILLER 2006). Hierbei werden überwiegend standardisierte Komponenten mit klar definierten Schnittstellen zu kundenspezifischen Produkten kombiniert. Auf das Thema „Baukästen" reflektiert Abschnitt 2.3.1 noch gesondert. Je nach Form der Modularisierung (Freiheitsgrad zur Kombination) können dabei auch individuell gestaltete Komponenten zum Einsatz gelangen. Die kundenindividuelle Massenproduktion auf der Basis eines modularen Baukastensystems vollzieht sich auf drei Ebenen (Abb. 2-1), wobei grundsätzlich ein auftragsneutraler/-unabhängiger (Ebene ❶ und ❷) und ein auftragsabhängiger Teil (Ebene ❸) unterschieden werden können.

Abb. 2-1: Ablauf einer kundenindividuellen Massenproduktion auf der Basis eines modularen Baukastens (in Anlehnung an Piller 2006)



Die auftragsneutrale erste Ebene hat zum Ziel, die grundlegende Produktarchitektur zu definieren und einen optimalen Baukasten zu entwickeln. Dies ist Aufgabe der Entwicklung und Konstruktion. Aufbauend auf den analysierten Anforderungen des Kunden, wird ein Grundprodukt konzipiert, welches in die einzelnen Komponenten und möglichen Varianten zerlegt wird. Die verschiedenen Teilfunktionen eines Produktes sind dabei grundsätzlich so zu trennen, dass sie durch mehrfach verwendbare Module erfüllt werden können. Große Bedeutung kommt dabei der Definition der Schnittstellen zwischen den einzelnen Modulen zu. Ergebnis der ersten Ebene ist ein modularer Baukasten mit allen ausgestalteten Modulen und Schnittstellen.

Die **zweite Ebene** fokussiert den auftragsneutralen Teil der Fertigung. Um im Auftragsfall die Fertigungszeit zu verkürzen, wird hier entschieden, welche Komponenten unabhängig von konkreten Kundenaufträgen vorgefertigt werden. Dabei handelt es sich meist um die Basismodule.

Den auftragsabhängigen Teil mit der technischen Auftragsabwicklung beschreibt die **dritte Ebene**, die auch die kundenspezifische Montage beinhaltet. Sie beginnt mit der Konfiguration eines individuellen Produktes durch den Kunden. Die einzelnen Module zur Montage eines Endproduktes nach Kundenauftrag werden entweder dem Teilelager entnommen oder kurz davor auftragsspezifisch gefertigt. Gründe für eine auftragsabhängige Fertigung von Modulen können ausgefallene Wünsche sein, die eine Neukonstruktion einiger Module erforderlich machen oder der Einsatz selten verlangter Module, deren Vorfertigung auf Lager aus Kostengründen keinen Sinn macht.

Zwischenfazit

Die Entwicklung und Herstellung individualisierter Produkte ist eine Kombination aus standardisierten Modulen und individuellen Anteilen. Insbesondere die Konzepte von MC verdeutlichen die Notwendigkeit eines Konfigurationsprozesses durch den Kunden, der die Zusammenstellung sowohl maßgefertigter (neu konstruierte) als auch standardisierter Produktanteile erlaubt.

2.2 Entwickeln und Konstruieren von Produkten

Unabhängig von einem auftragsneutralen oder auftragsabhängigen Entstehungsprozess durchlaufen alle Produkte bzw. Produktteile einen Konstruktionsprozess. Für diese Arbeit erscheint es deshalb zweckmäßig, diesen Prozess einer methodischen Betrachtung zu unterziehen, die sich insb. mit den Konstruktionsphasen und Arbeitsmethoden befasst. Ziel dabei ist, individualisierungs-relevante Aspekte und Kriterien zu identifizieren und diese in einen Kontext zur Aufgabenstellung zu bringen. Weiterführende Literatur zu Grundlagen der Konstruktionslehre sind bspw. PAHL et. al. 2007, EHRLENSPIEL 2009, CONRAD 2008, VDI-2221.

2.2.1 Begrifflichkeiten

Für die Entwicklung von Produkten sind Funktion, Qualität, Zeit und Kosten die maßgebenden Einflussfaktoren. Als die wichtigsten Problemschwerpunkte werden in der Literatur die Projektabwicklung, die Mitarbeiter sowie Methoden und Hilfsmittel genannt (vgl. CONRAD 2008). Zur Bewältigung der vielfältigen Aufgaben werden systematische Vorgehenshilfen eingesetzt. Dabei kommt den **Prozessen**, **Modellen** und **Methoden** eine bedeutende Rolle zu. Für ein gemeinsames Verständnis benutzter Terminologien werden hierfür zunächst einige Begriffsbestimmungen vorgenommen.

Ein **Prozess** ist eine Folge von in Wechselwirkung stehenden Aktivitäten bzw. Aufgaben oder auch Tätigkeiten. In ihm werden alle systeminternen Vorgänge wie bspw. Materialien, Energien und Informationen umgeformt, transportiert oder gespeichert. Prozesse werden vielfach in Teilprozesse gegliedert und durch Vorgehensmodelle unterstützt.

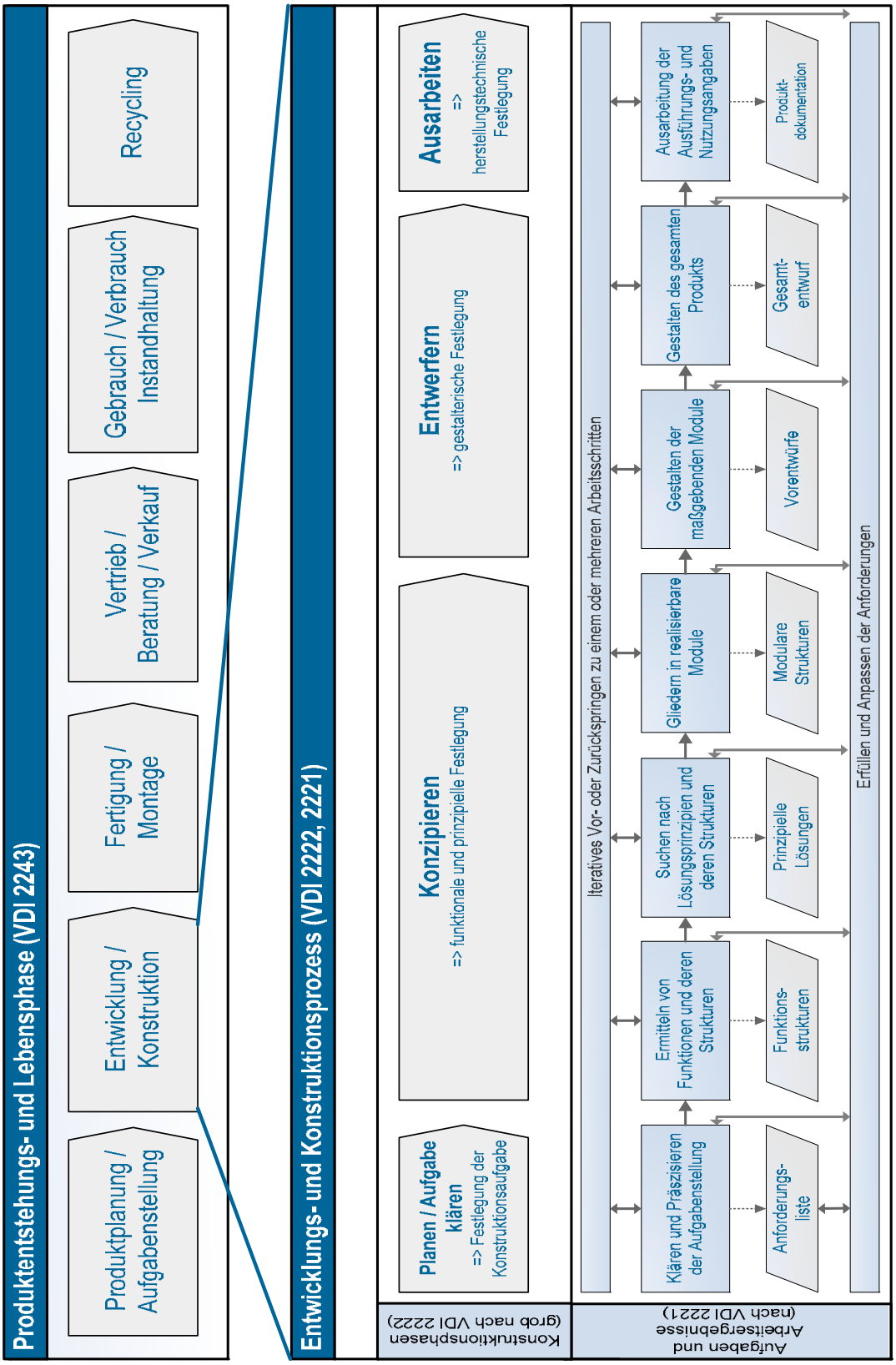
In Vorgehensmodellen (VM) werden wichtige Elemente einer Handlungsfolge abgebildet, die als Hilfsmittel zum Planen und Kontrollieren von Prozessen dienen können. Sie beschreiben grundsätzliche Vorgehensmuster für bestimmte Situationen und spezifische Zielsetzungen. VM zeigen in der Praxis bewährte Wege auf, um ein gewünschtes Ziel zu erreichen und unterstützen Reflexion und Kontrolle des eigenen Handelns (vgl. LINDEMANN 2007). Produktmodell ist der Sammelbegriff für eine formal festgelegte Beschreibung von Produkten in abstrakter Form (vgl. MEIER 2004). Produktmodelle enthalten alle relevanten Informationen über ein Produkt in hinreichender Vollständigkeit. Sie sind eine Voraussetzung für rechnerbasierte Unterstützungen.

Der übergeordnete Begriff Methodik meint eine planmäßige Verfahrensweise zur Erreichung eines bestimmten Zieles nach einem Vorgehensplan unter Einschluss von Strategien, Methoden, Werkzeugen und Hilfsmitteln. Methoden sind ein Teil der Methodik. Sie können bewusst oder unbewusst ablaufen und sind auf ein bestimmtes Ziel ausgerichtet (EHRLENSPIEL 2009). Im allgemeinsten Sinne bezeichnet eine Methode (griech. methodos = Weg, Zugang) eine Vorgehensweise, die sich im Hinblick auf ein bestimmtes Ziel als wählbarer bzw. gangbarer Weg anbietet (Möglichkeit unter Möglichkeiten).

2.2.2 Methodisches Vorgehen - die Konstruktionsphasen

Grundsätzlich existieren zahlreiche Konstruktionsmethodiken bzw. Vorgehensmodelle für die Produktentwicklung. Eine allgemein anerkannte Methodik ist das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI-Richtlinie 2221 (Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte). In diesem Vorgehensmodell werden die Arbeitsschritte des Entwickelns und Konstruierens in sieben Abschnitte unterteilt, aus denen jeweils sieben Arbeitsergebnisse hervorgehen. Je nach Aufgabenstellung werden diese Arbeitsschritte vollständig, teilweise oder mehrmals iterativ durchlaufen. Abb. 2-2 gibt einen Gesamtüberblick und ordnet den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess (VDI-2221) in die Lebensphasen eines Produktes nach VDI-2243 ein. Die Prozessfolge in der Mitte der Abbildung zeigt die vier klassischen Konstruktionsphasen *Planen*, *Konzipieren*, *Entwerfen* und *Ausarbeiten*, denen im unteren Abbildungsbereich die jeweiligen Aufgaben bzw. Arbeitsabschnitte zugeordnet sind. Pro Konstruktionsphase sind ein oder mehrere Aufgaben zu lösen. Nach jedem Arbeitsabschnitt werden die Ergebnisse mit den Anforderungen abgeglichen und ggf. angepasst.

Abb. 2-2: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte nach VDI-Richtlinie 2221 und Einordnung in den Gesamtprozess der Lebensphasen eines Produktes nach VDI-2243



Konstruktionsphase 1: Planen und Aufgabe klären

Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung ist der erste Arbeitsabschnitt und umfasst die Klärung und Zusammenstellung aller Forderungen und Wünsche in Form einer gewichteten und priorisierten Anforderungsliste. Dafür muss in einem ersten Teilschritt der Wesenskern der Aufgabe erkannt werden. Daran anschließend werden Anforderungen ermittelt. Diese sollten möglichst vollständig erfasst und in einer für die Produktentwicklung geeigneten Form schriftlich dokumentiert werden. Abschließend müssen die Anforderungen gewichtet und priorisiert werden. Das Arbeitsergebnis des ersten Abschnittes ist eine Anforderungsliste.

Konstruktionsphase 2: Konzipieren

Die Phase „*Konzipieren*" umfasst die Gesamtheit aller Tätigkeiten, die eine geklärte Aufgabenstellung in eine prinzipielle Lösung überführen und besteht aus den Arbeitsabschnitten zwei bis vier:

Abschnitt 2: *Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen*. Auf Basis der Anforderungen wird eine lösungsneutrale Aufgabenbeschreibung der wesentlichen Zusammenhänge als Funktionsstruktur erstellt. Im ersten Schritt geht es um das Erkennen und Formulieren der Gesamtfunktion. Diese wird in Teilfunktionen unterteilt und in einer Funktionsliste dokumentiert. Durch logisch richtiges Anordnen und ggf. Variieren der Teilfunktionen wird eine Funktionsstruktur gebildet. Dies ist das Arbeitsergebnis des zweiten Abschnittes.

Abschnitt 3: Das *Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen* führt zu Konzepten oder prinzipiellen Lösungen. Ausgehend von bspw. physikalischen Effekten und einer Variation dieser, werden Wirkprinzipien konkretisiert und daraus Teillösungen erarbeitet. Durch Ordnung und übersichtliche Darstellung werden abschließend die Teillösungen zu Prinziplösungen kombiniert. Arbeitsergebnisse des dritten Abschnittes sind eine oder mehrere prinzipielle Lösungen.

Abschnitt 4: *Gliedern in realisierbare Module*. Hierbei wird eine Aufteilung in kleinere Einheiten des Gesamtsystems angestrebt. Ein Modul ist eine austauschbare, aus mehreren Elementen bestehende Einheit innerhalb eines Gesamtsystems. Durch Auswählen und Bewerten wird eine Rangfolge geeigneter Lösungen erzeugt, die anschließend in die für eine Realisierung wesentlichen Elemente gegliedert werden. Hierbei werden bereits Gesichtspunkte wie Herstellung, Montage, Wartung, Varianten, Baukästen etc. mit in die Überlegungen einbezogen. Arbeitsergebnis sind Lösungskonzepte mit modularen Strukturen.

Konstruktionsphase 3: Entwerfen

In der Entwurfsphase werden die maßgebenden Module gestaltet. Damit wird die Lösung hinsichtlich Baustruktur festgelegt. Das Vorgehensschema sieht dafür zwei Arbeitsabschnitte vor:

Abschnitt 5: *Gestalten der maßgebenden Module*. Hier wird auch von einem Vorgestalten oder Grobgestalten gesprochen, bei dem mittels Vorentwürfen die wesentliche Struktur (Baugruppen) festgelegt wird. Auch werden erste Abmessungen, basierend auf Überschlagsrechnungen, festgelegt. Arbeitsergebnisse sind Vorentwürfe für die maßgebenden Module.

Abschnitt 6: Durch *Gestalten des gesamten Produktes* wird die Lösung endgültig festgelegt. Dies beinhaltet eine Stückliste mit Baugruppen und Bauteilen mit allen Angaben, die zur Herstellung und Beschaffung erforderlich sind. Das Arbeitsergebnis des sechsten Abschnittes ist ein Gesamtentwurf, der alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung enthält.

Konstruktionsphase 4: Ausarbeiten

Der siebte und letzte Arbeitsabschnitt ist die *Ausarbeitung der Ausführungs- und Nutzungsangaben*. Im Mittelpunkt steht die detaillierte Dokumentation in Form von Zeichnungen (Form, Bemessung, Oberflächenbeschaffenheit), der Festlegung aller Werkstoffe sowie der Anweisungen zur Fertigung und Montage. Das Arbeitsergebnis ist eine vollständige Produktdokumentation.

Zwischenfazit

Im Zusammenhang mit der Themenstellung dieser Arbeit kommt der Konstruktionsphase 2 (Konzipieren) mit dem Abschnitt 4 – *Gliedern in realisierbare Module* – eine hohe Bedeutung zu. In dieser Phase werden die Weichen für die modularen Strukturen eines Produktes gestellt (LINDEMANN et. al. 2006). Dies ist insbesondere für variantenreiche und individualisierte Produkte von erfolgsentscheidender Bedeutung. Aspekte der Produktstrukturierung werden deshalb noch gesondert (Abschnitt 2.3) aufgearbeitet.

2.2.3 Arbeitsmethoden - die Konstruktionsarten

Wie bereits oben erwähnt, werden individualisierte Produkte dem Erzeugnisspektrum „Standardprodukte mit **kundenspezifizierten Varianten**" zugeordnet. Die Konstruktion von Varianten wird der Konstruktionsart *„Variantenkonstruktion"* zugerechnet. Neben der Gliederung des Konstruktionsprozesses in Konstruktionsphasen sind Konstruktionsarten ein Unterscheidungsmerkmal des Konstruktionsprozesses nach der Bearbeitungstiefe (vgl. EHRLENSPIEL 2009). Bei der Entwicklung und Konstruktion technischer Produkte müssen nicht für jede Konstruktionsaufgabe sämtliche Konstruktionsphasen durchlaufen werden. In Abhängigkeit vom Neuigkeitsgrad des Produktes erfolgt eine Unterscheidung der Konstruktionsaufgaben in Neukonstruktion, Anpassungskonstruktion, Variantenkonstruktion und Prinzipkonstruktion. In der Praxis ist eine exakte Abgrenzung zwar nicht immer möglich, eine nähere Betrachtung dieser Arbeitsmethoden erscheint jedoch aufgrund der Charackteristika individualisierter Produkte von Interesse.

Auswertungen aus der Maschinenindustrie aus den späten 80er-Jahren weisen die Konstruktionsarten mit einer gleichmäßigen (je ca. ein Drittel) Verteilung aus (EHRLENSPIEL 2009). Die Anteile haben sich im Laufe der Jahre allerdings verändert, wobei eine Zunahme der Entwicklung von Kundenvarianten (Variantenkonstruktion) ständig zugenommen hat. Für Einzelfertiger kann dieser Anteil bis zu 50 % betragen (vgl. CONRAD 2008). In der VDI Richtlinie 2210 wurde eine Zuordnung von Konstruktionsarten zu Konstruktionsphasen vorgenommen (Abb. 2-3). Zur genaueren Abgrenzung, insb. im Hinblick auf eine mögliche Rechnerun-

terstützung, wurde die Phase „Konzipieren" in eine Funktionsfindung und eine Prinziperarbeitung unterteilt.

Abb. 2-3: Zuordnung von Konstruktionsarten zu den Konstruktionsphasen (VDI-2210)

Konstruktionsarten		**Konstruktionsphasen** (VDI 2222, 2210)			
		Konzipieren		Entwerfen	Ausarbeiten
Gruppenbegriff	gebräuchliche Begriffe der Praxis	Funktions-findung	Prinzip-erarbeitung	Gestaltung	Detail-ierung
Neukonstruktion	Neukonstruktion Entwicklungskonstr. Angebotskonstruktion				
Anpassungs-konstruktion	Anpasskonstruktion Angebotskonstruktion Fertigungskonstr. Änderungskonstr.				
Variantenkonstr.	Variantenkonstruktion				
Konstruktion mit festem Prinzip	Prinzipkonstruktion				

Bei einer Neukonstruktion werden neue Lösungsprinzipien gesucht. Das Produkt wird vollständig neu konzipiert und ausgearbeitet. Dementsprechend müssen alle Konstruktionsphasen von der Anforderung bis zur fertigen Produktdokumentation durchlaufen werden. Fallweise wird diese Konstruktionsart auch Entwicklungs- oder Angebotskonstruktion genannt. Das Ergebnis ist ein neues Produkt in Form eines Einzelteils, einer Baugruppe oder bspw. einer ganzen Maschine.

Eine Anpassungskonstruktion geht von existierenden, bekannten Lösungen aus, bei denen das ursprüngliche Gesamtkonzept erhalten bleibt. Modifiziert werden dabei Lösungsprinzipien. Dies schließt auch eine Neukonstruktion einzelner Teile ein. Beispielsweise werden Kundenwünsche mit speziellen Anforderungen an vorhandene Produkte durch neu zu konstruierende Teilbereiche erfüllt. In die gleiche Kategorie fallen auch Angebots-, Fertigungs- und Änderungskonstruktionen. Das Ergebnis sind angepasste Produkte mit kundenspezifischen Eigenschaften.

Die Variantenkonstruktion geht von einer vorgegebenen Funktionsstruktur und einem vorgegebenen Lösungsprinzip aus. Dementsprechend muss die Konzeptphase nicht mehr durchlaufen werden. Innerhalb vorgedachter Grenzen werden die gestaltbestimmenden Größen und/oder Anordnung von Teilen und Baugruppen variiert. Dies ist typisch für Baureihen und Baukästen, wie bspw. ein Sortiment von Pumpen für unterschiedliche Förderleistungen oder Flüssigkeiten. Das Ergebnis sind Produkte mit Einsatzmöglichkeiten für ähnliche Anforderungen.

Die Prinzipkonstruktion (oder Konstruktion mit festem Prinzip) ist die Art von Arbeit, bei der nur mehr die Arbeitsschritte des Ausarbeitens zur Anwendung kommen. Bis auf die Dimensionierung von Einzelteilen bleibt alles fest. Dies ist bspw. typisch für Normteile, bei denen Parameterwerte nach bestimmten Zahlenreihen variiert werden.

Zwischenfazit

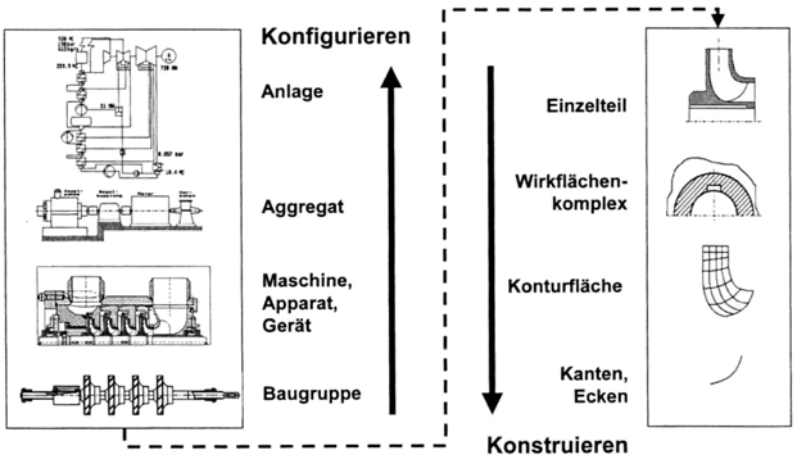
Grundsätzlich muss festgehalten werden, dass für jede Konstruktionsart der Entwicklungsprozess einmal vorab komplett durchlaufen werden muss. So sind bspw. gerade bei einer Variantenkonstruktion auf Basis eines Baukastensystems im Vorfeld umfangreiche Konzeptüberlegungen zur Systematik erforderlich (vgl. PAHL et. al. 2007). Dies geht einher mit dem im Abschnitt 2.2.2 gezogenen Fazit über die Festlegung modularer Strukturen in der Konzeptphase. Auf die unterschiedlichen Funktionsbauweisen wird im Abschnitt 2.3.1 noch gesondert eingegangen. Variantenkonstruktionen eignen sich hervorragend für automatisches Konstruieren (EHRLENSPIEL 2009). Dementsprechend bilden diese die häufigste Basis für eine rechnerbasierte Konfiguration. Die hierfür notwendigen Produktstrukturen und Merkmalsbeschreibungen diskutiert Abschnitt 2.3.3.

2.2.4 Konstruieren vs. Konfigurieren

Im Zwischenfazit von Kap. 2.2.1 wurde festgehalten, dass die auftragsabhängige Produktdefinition kundenindividueller Produkte eine *Kombination aus dem „Konfigurieren bestehender Standardteile"* und *„Auslegen/Konstruieren neuer Produktkomponenten"* mit unterschiedlichen, vom jeweiligen Produkt abhängigen Schwerpunkten. Als Grundlage für die angestrebten IT-Unterstützungen sollen die Unterschiede der beiden Arbeitsmethoden nachfolgend präzisiert bzw. definiert werden.

Den Zusammenhang von Konfigurieren und Konstruieren stellen FRANKE et. al. (2002) anhand des Detaillierungsgrades und der damit verbundenen Komplexität dar (Abb. 2-4). Je komplexer Produkte sind, desto mehr sind diese nur in konfigurativen Schritten in den heute üblichen Lieferzeiten bereitzustellen. Eine angepasste, kundengerechte Funktionalität ohne spezifische Teileerstellung (Konstruktion) ist durch Konfigurieren von geeignet entworfenen Bausteinen mit vorgedachten Schnittstellen und vorgedachter Kombinationsfähigkeit zu erreichen. Die individuellen Kundenanpassungen und damit die Konstruktion (Neu-, Anpass- und Variantenkonstruktion) beginnen auf Ebene der Einzelteile und ziehen sich bis zu den geometrischen Grundelementen durch.

Abb. 2-4: Zusammenhang Konfigurieren und Konstruieren (Franke et. al. 2002)



„Konstruieren umfasst alle Tätigkeiten zur Darstellung und eindeutigen Beschreibung von gedanklich realisierten technischen Gebilden als Lösung technischer Aufgaben"(vgl. CONRAD 2008). Konstruieren ist immer ein Optimierungsprozess unter gegebenen Zielsetzungen und sich zum Teil widersprechender Bedingungen (PAHL et. al. 2007). Dass unter *Konstruieren* durchaus auch eine Form des *Konfigurierens*, nämlich der Zusammensetzung eines Produktes aus vorhandenen Produkteilen, verstanden werden kann, begründet eine Definition von SPUR et. al. (1997): „Unter dem Begriff Konstruktion kann sowohl die Gestaltung einzelner Teile als auch deren Zusammensetzung zu einem Ganzen verstanden werden. Konstruieren kann somit Zusammensetzen, Anordnen, Formen und Gestalten, aber auch Entwerfen, Hervorbringen, Bilden und Erfinden bedeuten."

Die spezielle Tätigkeit des Auslegens bzw. die Berechnung von Auslegungsgrößen wird der Phase „Entwerfen" zugeordnet, in der alle Tätigkeiten zur gestalterischen Festlegung von Einzelteilen und deren Anordnung in Baugruppen zusammengefasst sind. Dementsprechend wird mit Auslegung die meist auf technischen Berechnungen basierende Festlegung von Gestaltsgrößen verstanden. Mit dem Ziel, den gesamten Produktentwicklungsprozess mit 3D-CAD/CAM-Systemen durchgängig zu erledigen, werden heute sehr viele Auslegungen mit Rechnerunterstützung getätigt (vgl. CONRAD 2008). Generell geschieht eine Auslegung nach den Regeln der Mechanik, Festigkeitslehre und Werkstoffkunde mit entsprechend angepassten Rechenmethoden – von einer einfachen Beziehung bis zu Differenzialgleichungen oder z. B. mithilfe der Methode der finiten Elemente (vgl. PAHL et. al. 2007).

Aus dem lateinischen „configuratio" abgeleitet, bedeutet der Begriff Konfiguration *Anordnung* und/oder *Gestaltung*. Der Begriff *Anordnung* verlangt nach einzelnen Modulen und Teilen, aus denen ein Objekt zusammengesetzt werden kann. Die Bedeutung von *Gestaltung* ist mit der Möglichkeit verbunden, Abänderungen von bereits vorhandenen Elementen und deren kreativer Formung vorzunehmen (vgl. ROGOLL et. al. 2003).

Mit Konfiguration wird vielfach die Produktkonfiguration gleichgesetzt, die häufig mittels Produktkonfigurationssystemen unterstützt wird (eine detaillierte Beschreibung von Produktkonfigurationssystemen erfolgt in Kap. 3). In diesem Zusammenhang bedeutet Produktkonfiguration eine Zusammenstellung von Produkten und Systemlösungen gemäß Kundenspezifikationen unter Verwendung standardisierter Bauteile und gespeicherter Konfigurationsregeln (LINK et. al. 1993). Angepasste Funktionalität ohne spezifische Konstruktion kann durch geschickte Produktkonfiguration erreicht werden. Je mehr funktionale Wünsche eines Kunden lediglich durch Kombination mehrfach verwendbarer Komponenten erfüllt werden können, desto geringer sind die Prozesskomplexität und damit die Kosten (FRANKE et. al. 2002).

Zwischenfazit

Eine automatisierte Konstruktion bezieht sich schwerpunktmäßig auf das Auslegen. Für diese Arbeit wird Auslegen als ein spezieller Teil bzw. Vorgang beim Konstruieren definiert, bei dem, gestützt auf Berechnungen, vorwiegend Abmessungen eines Bauteils festgelegt werden (-> Gestalt). Auslegungsrechnungen können durch eigene Routinen, mit in CAD integrierten Auslegungsprogrammen oder eigenständigen Berechnungssystemen, unterstützt werden. Konfigurieren wird als Syntheseaufgabe verstanden, bei der Objekte aus einer

Domäne zu einer Konfiguration zusammengefügt werden, wofür eine Spezifikation der Aufgabe, eine Menge von Objekten, eine Menge von Relationen und Restriktionen zwischen den Objekten sowie Wissen über die Vorgehensweise erforderlich sind (vgl. GÜNTER 1995). Dies kann sich wiederum auf die Gestalt von Einzelteilen auswirken (bspw. durch die Form einer Schraubverbindung). Konfigurieren und Auslegen stehen somit in einer engen Wechselbeziehung.

2.3 Strukturierung von Produkten

Zur Beherrschung der Produktentstehung gehört die Produktstruktur mit zu den wichtigsten Informationsträgern. Insbesondere im Zusammenhang mit variantenreichen Produkten lässt sich herausstellen, dass eine möglichst übersichtliche, gesamthafte Darstellung der Produktstruktur hilfreich bei der Analyse und Synthese ist (vgl. FRANKE et. al. 2002). Auch hinsichtlich der Gesamtoptimierung einer herrschenden Produktvielfalt nimmt die Produktstruktur eine wichtige, wenn nicht zentrale Rolle ein. Sie ist nicht nur strukturbestimmend, sondern auch einer der Schlüsselfaktoren der auf Kosten-/Nutzen ausgerichteten Leistungsoptimierung (SCHUH 2005). Als Definition wird hier auf DIN 199 zurückgegriffen: „Die Produktstruktur ist ein produktdarstellendes Modell, das die Gesamtheit der nach bestimmten Gesichtspunkten (z. B. Fertigung, Montage, Funktion, Disposition, Kalkulation) festgelegten Beziehungen und Einzelteilen eines Produktes beschreibt." Die Anforderungen an eine Produktstruktur stammen dementsprechend aus allen Unternehmensbereichen.

Im Zuge der Konstruktionsphasen- und Konstruktionsartenbetrachtung (Abschnitte 2.2.2 und 2.2.3) wurde auf die wichtigen Aspekte von Produktstrukturtypen und Funktionsbauweisen hingewiesen. Ebenso sind Darstellungsformen von Produktstrukturen (und hier insb. von Produktvarianten) eine wichtige Grundlage für die Themenstellung. Im folgenden Abschnitt werden diese beschrieben.

2.3.1 Produktstrukturtypen und Funktionsbauweisen

Speziell aus dem Variantenmanagement[1] sind wichtige Aspekte und Einflussgrößen der Produktstrukturierung und -gestaltung bekannt. Im Wechselspiel zwischen Produktindividualisierung und -standardisierung spielen Produktstrukturtypen eine bedeutende Rolle. In der Literatur werden Differenzial- und Integralbauweise, Baureihen und Baukästen, die Modularisierung sowie Produktplattformen als gängigste Strukturtypen genannt (vgl. PAHL et. al. 2007, SCHUH 2005, EHRLENSPIEL et. al. 2003, PILLER 1998). SCHUH (2005) bezeichnet diese auch als „*generische Produktstrukturstrategien*". Teilweise wird in diesem Zusammenhang auch von Funktionsbauweisen gesprochen, die hervorzuhebende Eigenschaften von techni-

[1] „Variantenmanagement umfasst die Entwicklung, Gestaltung und Strukturierung von Produkten und Dienstleistungen bzw. Produktsortimenten im Unternehmen. Dadurch wird angestrebt, die vom Produkt ausgehende Komplexität (Anzahl Teile, Komponenten, Varianten usw.) wie auch die auf das Produkt einwirkende Komplexität (Marktdiversifikation, Produktionsabläufe usw.) mittels geeigneter Instrumente zu bewältigen" (Schuh 2005).

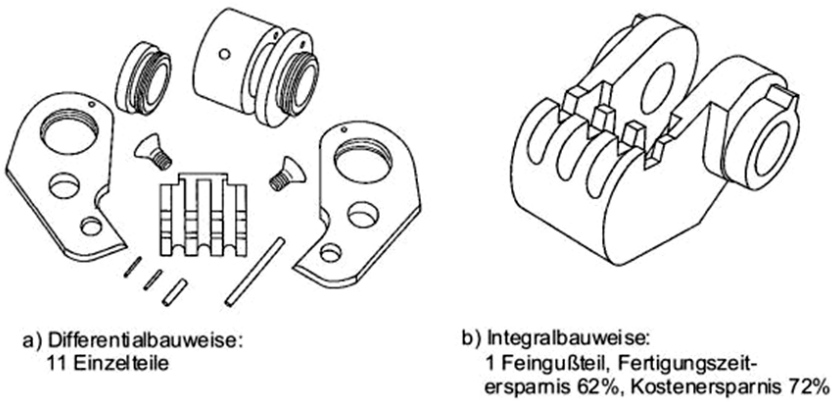
schen Produkten bezeichnen. Für FRANKE et. al. (2002) werden Funktionsbauweisen durch das Verhältnis „Zahl an Funktionen" zu „Zahl der Bauteile" bestimmt. Hierzu zählen: Partial- und Totalbauweise, Integral- und Differentialbauweise, Mono- und Multifunktionalbauweise, Monobaugruppenbauweise, Baukastenbauweise, Modulbauweise (Baureihenbauweise, Wiederholteilbauweise).

Differenzial- und Integralbauweise

Werden Funktionsträger eines Bauteiles in mehrere Anbauteile zerlegt, wird von einer **Differenzialbauweise** gesprochen. Ziel ist, durch diese Aufgliederung fertigungstechnisch günstigere Werkstücke zu erhalten. Mit dieser Maßnahme wird die Varianz in die Montage verlegt. Der Gleichteileumfang und damit die Wiederverwendung kann erhöht werden. Die **Integralbauweise** bildet „einen Gegenpart" zur Differenzialbauweise. Hierbei werden mehrere Einzelteile bzw. Funktionen zu einem Werkstück vereinigt. Damit reduzieren sich die Teileanzahl und damit der Montageaufwand. Dies ist v. a. für die Serienfertigung mit großen Stückzahlen von Vorteil. Die Bauteile bestehen aus demselben Werkstoff und weisen innerhalb des Teiles keine Fügestellen auf.

Differenzial- oder Integralbauweisen werden durch die fertigungstechnische Gliederung der Baustruktur bestimmt und sind immer ein Kompromiss (Trade-off) zwischen Stückzahlen und Flexibilität. Typische Beispiele sind Gussteile vs. Schweißteile oder Blechbiege-/Tiefziehteile vs. gefügter/geschweißter Teile. Abb. 2-5 skizziert einen Vergleich der beiden Bauweisen anhand eines Feingussteiles. Im Fall a) ist der Funktionsträger in Differenzialbauweise aus elf miteinander verschraubten Bauteilen ausgeführt. Fall b) zeigt den gleichen Funktionsträger als Feingussteil (Integralbauweise). Bei diesem Beispiel liegt die Ersparnis an Fertigungszeit und Kosten bei ca. einem Drittel (vgl. EHRLENSPIEL 2009).

Abb. 2-5: Integral- und Differenzialbauweise am Beispiel eines Feingussteiles (Ehrlenspiel 2009)



Baureihen

Unter einer Baureihe versteht man technische Gebilde (Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile), die dieselbe Funktion mit der gleichen Lösung, in mehreren Größenstufen, bei möglichst gleicher Fertigung in einem weiten Anwendungsbereich erfüllen (PAHL et. al. 2007). Sie

sind das wirkungsvollste Mittel für Rationalisierungen im Konstruktions- und Fertigungsbereich. Die einzelnen Varianten lassen sich über charakteristische Größen beschreiben, die häufig nach einer geometrischen oder arithmetischen Reihe ausgelegt werden. Bei Baureihen ist wesentlich, dass sich die funktionale Struktur über alle Varianten nicht erheblich ändert. Vielfach ist die Entwicklung von Baureihen nicht von Anfang an vorgesehen und wird erst später von bestehenden Produkten nach gewissen Gesetzmäßigkeiten abgeleitet. Meist sind Baureihen kombiniert mit Baukastensystemen. Das wohl bekannteste Produkt für Baureihen sind Pkw-Angebote von Automobilherstellern mit ihren unterschiedlichen Größen, bei denen jeweils noch Optionen aus einem Baukasten gewählt werden können (bspw. Motoren, Ausstattungen etc.).

Baukästen

Neben einer Baureihe ist nach PAHL et. al. (2007) ein Baukastensystem zu entwickeln, wenn zusätzlich zur Größenstufung auch andere zugeordnete Funktionen zu erfüllen sind. Unter einem Baukasten werden bspw. Maschinen, Baugruppen od. Einzelteile verstanden, die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch Kombination verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen. Dadurch kann mit einer relativ kleinen Zahl unterschiedlicher Bausteine eine große Zahl an Produkten mit unterschiedlichen Eigenschaften erstellt werden. Baukastensysteme werden zur Einschränkung von laufenden Sonderkonstruktionen in der Praxis vielfach ad hoc und ohne tiefer gehende Methodik entwickelt. Ein typischer Vertreter für ein Baukastensystem sind bspw. Küchenmöbel aus dem Küchenfachhandel.

Modularisierung

Der Modularisierung liegt das Baukastenprinzip zugrunde. Im Unterschied dazu können Module allerdings nicht beliebig untereinander kombiniert werden und erfordern klar definierte, standardisierte Schnittstellen. Modularisierung erfolgt durch Bildung von funktionalen und logischen Einheiten, die als solche komplett austauschbar sind (vgl. LINDEMANN et. al. 2006). SCHUH (2005) definiert Modularisierung als geeignete Gliederung eines Produktes, indem die Abhängigkeiten zwischen den Elementen (Modulen) verringert bzw. die Schnittstellenvarianten reduziert werden. Als Modul werden Bausteine bezeichnet, die eine logische und funktionale Einheit bilden und als solche arbeitsteilig entwickelt, getestet, gewartet, und ausgetauscht werden können (vgl. GAUSEMEIER et. al. 2007). Ziel der Modularisierung ist eine Reduktion der Komplexität in Produkten und Prozessen. Als Beispiel können die sog. Systemlieferanten in der Automobilindustrie genannt werden. Sie sind für die Entwicklung und Lieferung von Teilsystemen, wie bspw. das komplette Cockpit, das Sonnendach oder die Vorderachse verantwortlich (vgl. EHRLENSPIEL et. al. 2003). Die Modularisierung gilt als Schlüssel für die kundenindividuelle Massenproduktion (Mass Customization) von Produkten und Leistungen, da sie unmittelbar zwischen Standardisierung und Individualisierung ansetzt (vgl. PILLER 2006). Grundsätzlich werden vier Formen der Modularisierung unterschieden:

- **Generische Modularisierung:** Zusammensetzung eines Produkts auf einer fixen Plattform durch stets die gleiche Zahl standardisierter Bauteile, die jeweils unterschiedliche Leistungsmerkmale aufweisen können. Die Komponenten werden vor Eingang eines konkreten Auftrags gefertigt.

- **Quantitative Modularisierung:** Auf einem Basismodul werden unterschiedlich viele generische Komponenten (standardisierte Bauteile) zu neuen Produkten zusammengesetzt. Alle Komponenten werden wie bei der generischen Modularisierung auftragsunabhängig konstruiert und vorgefertigt.
- **Individuelle Modularisierung:** Standardmodule werden durch kundenindividuelle Teile ergänzt, die erst nach Eingang einer Bestellung gefertigt werden. Dabei kann auch die Gestalt variieren. Als Plattform dient weiterhin ein generisches Basisprodukt.
- **Freie Modularisierung:** Hierbei können standardisierte und individuelle Module kombiniert werden, ohne dass es eines einheitlichen Basisproduktes bedarf.

Plattformen

Das Plattformkonzept kann als ein Spezialfall der Modularisierung aufgefasst werden. Die Idee besteht darin, das Gleichteilekonzept über mehrere Produktlebenszyklen, Produktreihen und Firmengrenzen hinweg einzusetzen (LINDEMANN et. al. 2006). Modulare Produkte basieren häufig auf einem Basismodul (Plattform), das nicht nur für alle Varianten eines Produkts gleich ist, sondern i. d. R. auch eine produktübergreifende Verwendung findet (vgl. PILLER 2006). Bei Plattformen sind im Gegensatz zu üblichen Baukästen, wo die Bausteine einmal definiert und unverändert verwendet werden, Anpassungen an die jeweilige Veränderung nötig und möglich. Es geht bei Plattformen darum, die oft hohen Entwicklungs-, Zulassungs-Werkzeugkosten usw. zu minimieren (vgl. EHRLENSPIEL et. al. 2003). Ein bekanntes Beispiel stammt ebenfalls aus der Automobilindustrie. Hier werden bspw. Bodenbaugruppen von Pkw-Karosserien über mehrere Produktfamilien oder sogar Produktmarken hinweg eingesetzt.

Zwischenfazit

Durch die Verlegung der Varianz in die Montage ist ein Produkt in Differenzialbauweise prädestiniert für ein ATO-Produktionskonzept bzw. für Standardprodukte mit kundenspezifizierten Varianten. In Bezug auf eine rasche und effiziente Realisierung eines Produktkonfigurators bilden insb. gut konzipierte Baukästen eine ausgezeichnete Ausgangsbasis. Mit der Positionierung der „Modularisierung" zwischen Standardisierung und Individualisierung spielen deren Strukturüberlegungen bei einer rechnergestützten Konfiguration und Auslegung eine wichtige Rolle.

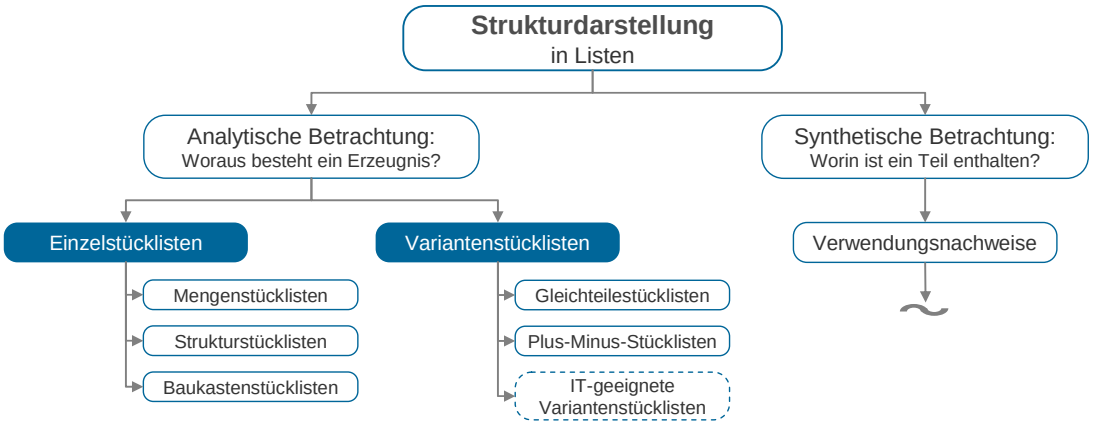
2.3.2 Darstellung von Produktstrukturen

Eine möglichst übersichtliche und gesamthafte Darstellung einer Produktstruktur ist in mehrfacher Hinsicht notwendig. Die Anforderungen richten sich dabei u. a. an die Darstellung von Gliederungs-, Beziehungs-, Bestands-, Vielfalts-, Verwendungsinformationen. Für die rechnerbasierte Verarbeitung von Produktstrukturen in ERP[1]- und PDM-Systemen haben

[1] ERP – Enterprise Ressource Planning (engl.) – Planung von Unternehmensressourcen. ERP wird als übergeordneter Begriff verwendet, wenn es um die IT-mäßige Steuerung von Unternehmensprozessen und das Management der darin eingesetzten Informationen geht.

sich (historisch bedingt) Strukturdarstellungen in sogenannter Listenform etabliert. Als weitverbreitetste Form gelten dabei **Stücklisten**.

Abb. 2-6: Übersicht möglicher Strukturdarstellungen (in Anlehnung an Eigner 2001)



Sie entstehen beim Durchlauf einer Produktstruktur „von oben nach unten", d. h. vom Erzeugnis bis zu den Einzelteilen. Bei umgekehrter Abfragerichtung (in welchem Erzeugnis ist ein Teil oder eine Baugruppe vorhanden) entstehen **Verwendungsnachweise**. Abb. 2-6 zeigt eine Übersicht möglicher Ausprägungen von Strukturdarstellungen, die in zwei Bereiche unterteilt ist: eine „analytische Betrachtung" in Form von Stücklisten und eine „synthetische Betrachtung" durch Verwendungsnachweise. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit steht insb. die analytische Betrachtung im Vordergrund. Erwähnenswert für synthetische Betrachtungen (Verwendungsnachweise) sind bspw. Dispositionsaufgaben oder das Änderungsmanagement. Diese werden hier aber nicht weiter vertieft. Nachfolgend werden die **Einzelstücklisten** (Stücklistengrundformen) kurz erläutert. Die Beschreibung der **Variantenstücklisten** erfolgt in Abschnitt 2.3.3 (Darstellung von Produktvarianten).

Einzelstücklisten (Grundformen)

Nach DIN 199 gibt die Stückliste in analytischer Sortierfolge an, welche Gruppen und Einzelteile mit welcher Anzahl in einem Erzeugnis bzw. einer Baugruppe enthalten sind. Die Anforderungen an die Stücklisten sind sehr bereichsspezifisch. So stehen bspw. in der Konstruktion funktionale Gesichtspunkte im Vordergrund, in der Montage geht es primär um das Aufzeigen einer Verarbeitungsreihenfolge. Die Stücklistengrundformen (Einzelstücklisten) sind Mengenstücklisten, Strukturstücklisten, Baukastenstückliste.

Für ein Produkt sind in der **Mengenstückliste** (oder Mengenübersichtsstückliste) alle Elemente (Baugruppen und Bauteile) nur einmal mit der Angabe der erforderlichen Gesamtmenge vorhanden. Sie enthält keinerlei Struktur- bzw. Gliederungsinformationen und eignet sich dementsprechend nicht zur Darstellung einer Produktstruktur. Sie wird hauptsächlich für Bedarfsrechnungen und Kalkulationen eingesetzt.

Die **Strukturstückliste** bildet die gesamte Struktur bis zur untersten Ebene mit allen Baugruppen und Einzelteilen in strukturierter Form ab. Die komplette Auflösung der Struktur wirkt sich bei komplexen Produkten allerdings nachteilig auf die Übersichtlichkeit aus. Die

wiederholte Auflistung ganzer Baugruppen mit den zugehörigen Einzelteilen erzeugt insbesondere bei Änderungen erhöhte Aufwände.

Bei der **Baukastenstückliste** wird für jede Baugruppe eine eigene Stückliste angelegt. Symbolisiert ein Element in der Stückliste eine eigene Baugruppe, wird dies durch einen entsprechenden Auflösungshinweis vermerkt und in einer eigenen Stückliste weiter aufgelöst. Dementsprechend ist eine Baukastenstückliste immer nur einstufig. Dies führt bei komplexen Produkten zu einer großen Anzahl von Stücklisten.

Grafische Darstellungsformen

Zur Visualisierung von Produktstrukturen im Entwicklungsprozess besser geeignet sind i. A. grafische Darstellungsformen. Die Strukturen basieren dabei i. d. R. auf einem hierarchischen Begriffsbeziehungssystem. Die Komponenten (Knoten) werden hierbei in den Raum gestellt und mit Verbindungen (Kanten), denen eine Bedeutung zugeordnet ist, zu einem Gefüge zusammengestellt (vgl. FRANKE et. al. 2002). Die Urform der grafischen Darstellung von Produktstrukturen ist der Gozinto-Graph (the part that goes into it). Die Knoten bezeichnen dabei die Elemente (Bauteile, Baugruppen), die Kanten (Pfeil, Graph) markieren die gerichtete Beziehung zwischen den Komponenten und können mit einer Mengenangabe versehen werden.

Durch den Einsatz moderner PDM-Systeme stehen heute allerdings verschiedene, vom System auf Basis der Stücklisteninformation aufgebaute, grafische Darstellungen zur Verfügung. Abb. 2-7 zeigt ein Beispiel einer Produktstruktur in Form eines Strukturbaumes, bei dem Knoten sehr einfach reduziert oder erweitert werden können. Sog. „Table-Trees", die zusätzliche Knoteninformationen in Tabellenform anzeigen, erhöhen dabei den Informationsgehalt. Auch moderne CAD-Systeme können Baugruppen in grafischer Form darstellen und erleichtern so die Interaktion mit der Produktstruktur.

Abb. 2-7: Beispiel einer Produktstruktur in Form eines „Table-Trees" (Quelle: Blum)



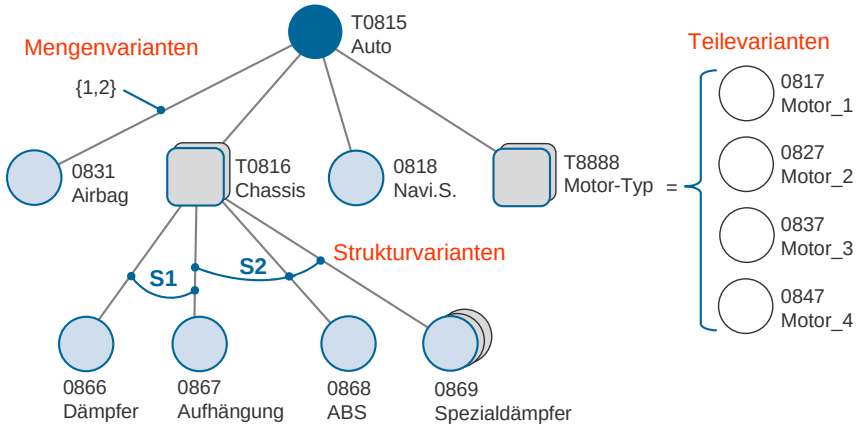
2.3.3 Darstellung von Produktvarianten

Zur Unterstützung und Beherrschung der Produktindividualisierung sind neben den oben aufgezeigten Vorgehensmethoden und Bauweisen auch geeignete Produktstrukturierungen erforderlich. Dies betrifft insb. Produktvarianten, deren flexibler Aufbau und IT-technische Verarbeitbarkeit wesentlich zum praktischen Einsatz beitragen. Nach DIN 199 sind Produktvarianten Gegenstände ähnlicher Form oder Funktion mit einem i. d. R. hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile. Produktvarianten unterscheiden sich voneinander in mindestens einer Beziehung oder einem Element. Bei der Variantenbildung sind zwei grundlegende Aspekte zu unterscheiden: a) Die Definition einer Variantenstruktur und b) die Ableitung einer konkreten Variantenausprägung (vgl. ZWICKER et. al. 2005). Für die Variantenstrukturdefinition lassen sich drei Konzepte ableiten:

- **Strukturvarianten:** Die Strukturvariante erlaubt die Variation verschiedener Positionen einer Stückliste bzw. es sind mehrere Strukturbeziehungen zu vorhanden Teilen möglich. In Abb. 2-8 ist eine einfache Struktur eines Autos abgebildet. Dabei kann das Fahrverhalten durch eine Strukturvariation des Chassis beeinflusst werden. Zum einen kann eine Komfortvariante „S1" gewählt werden, die neben der Aufhängung einen Standarddämpfer beinhaltet. Die Variante „S2" entspricht einer Sportausführung, die neben der Aufhängung ein ABS und einen Spezialdämpfer enthält.
- **Teilevarianten:** Bei einer Teilevariante ist die Strukturbedingung fest, variiert werden verschiedene Ausprägungen eines Teiles. Ein Variantenplatzhalter verweist auf eine Liste, die eine Menge von Teilen enthält, von denen eines gültig ist. In Abb. 2-8 wird dies durch den Motor-Typ dargestellt, der vier Ausprägungen annehmen kann.
- **Mengenvarianten:** Hierbei besteht die Variation aus einer unterschiedlichen Anzahl von Bauteilen bzw. Baugruppen.

Grundsätzlich können die drei Konzepte beliebig miteinander kombiniert werden, was in sehr komplexe Produktstrukturen münden kann.

Abb. 2-8. Variantenkonzepte für Produktstrukturen (in Anlehnung an Zwicker et. al. 2005)



Zur Ableitung einer konkreten Variantenausprägung können entweder Einzelstücklisten eingesetzt werden (explizite Auflösung aller Varianten) oder verschiedene **Variantenstücklis-**

ten zum Einsatz gelangen. Nach DIN 199 ist die Variantenstückliste eine Zusammenfassung mehrerer Stücklisten auf einem Vordruck, um verschiedene Gegenstände mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Bestandteile gemeinsam führen zu können. Variantenstücklisten sind demnach Zusammenfassungen von Stücklisten nach Ähnlichkeitsgesichtspunkten (EVERSHEIM 1998). Traditionelle Formen der Variantenstückliste sind die Gleichteilestückliste und die Plus-Minus-Stückliste. Bei der **Gleichteilestückliste** werden alle gleichen Teile eines Variantenangebotes zu einem fiktiven Gleichteilesatz zusammengestellt und entsprechend mit den variablen Teilelisten pro Variante kombiniert. Variabler als die Gleichteilestückliste ist die **Plus-Minus-Stückliste.** Sie listet alle in Frage kommenden Bauteile bzw. Baugruppen in einer Tabelle auf. Für die Gleichteile und jede Variante wird eine eigene Spalte angelegt. Pro Variante wird mit einem Plus oder einem Minus und der Anzahl gekennzeichnet, wie das jeweilige Element (Bauteil oder Baugruppe) in die Variante eingeht.

Aufgrund der zunehmenden Anforderungen an eine flexiblere und einfachere Handhabung von Variantenstrukturen und den verbesserter Möglichkeiten in modernen IT-Systemen (hier insb. PDM) wurden neue Ansätze entwickelt. Von EIGNER et. al. (2001) stammt ein IT-geeignetes Variantenstrukturmodell, das nachfolgend vorgestellt wird:

IT-geeignete Variantenstückliste (nach EIGNER et. al. 2001)

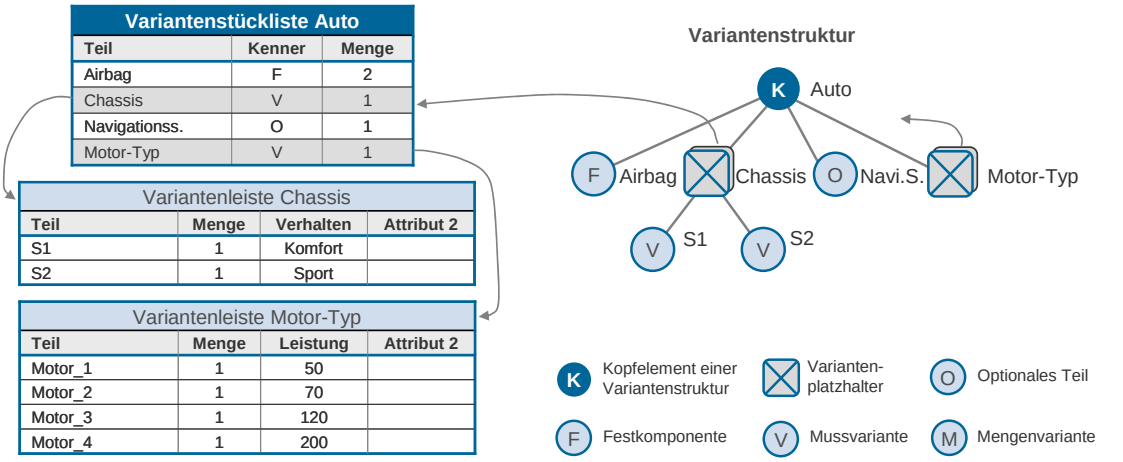
Das Grundprinzip basiert auf einem fiktiven Stammsatz, der als „Platzhalter" für alle Variantenausprägungen dient. Diese Form ist gekennzeichnet durch:

- die Abbildung mehrerer Variantenausprägungen unter einer Sachnummer, deren Eindeutigkeit durch Kombination mit der Auftragsnummer oder anderen identifizierenden Merkmalen,
- mehrstufige Varianten,
- optionale Festlegung von Auswahlkriterien (z. B. Sachmerkmalen),
- optionale Festlegung von Auswahllogiken (z. B. Entscheidungstabellen) und
- die Stücklisten konkreter Variantenausprägungen werden i. d. R. manuell, halbautomatisch oder vollautomatisch abgeleitet (generative Lösungen).

Abb. 2-9 skizziert den Aufbau der Variantenstruktur mit zugehöriger Variantenstückliste anhand des Beispiels aus Abb. 2-8. Der fiktive Stammsatz (Auto) wird durch ein **Kopfelement (K)** gebildet, das die Mengen aller Varianten eines Produktbaukastens darstellt. Teile und Baugruppen, die in jeder Struktur vorkommen, sind **Festkomponenten (F)**, wie hier bspw. der „Airbag". **Mussvarianten (V)** sind Teile oder Baugruppen, von denen immer eine Alternative gewählt werden muss. Im Beispiel sind dies die Strukturvariante „Chassis" und die Teilevariante „Motor-Typ". In der Variantenstückliste „Auto" werden diese durch sog. Variantenplatzhalter repräsentiert und verweisen jeweils auf eine Variantenleiste. In den Variantenleisten sind alle Alternativpositionen aufgeführt und ggf. durch Attribute bzw. Sachmerkmale spezifiziert, die zur Unterstützung einer Auswahlentscheidung verwendet werden können. Mit **Options-Varianten (O)** oder auch Kann-Varianten genannt, bspw. einem Navigationssystem, werden sog. Optionsteile oder Optionsbaugruppen in der Struktur aufgeführt, die nicht zwingend erforderlich sind. Die **Mengenvarianten** komplettieren die

Variantenproduktstrukturtypen. Im Beispiel kann der „Airbag" auch als Mengenvariante definiert werden.

Abb. 2-9: IT-geeignete Variantenstückliste (in Anlehnung an Eigner et. al. 2001)



Bei der Erzeugung einer auftragsspezifischen Variantenausprägung wird das Kopfelement mit einer spezifischen Nummer eindeutig belegt und die Platzhalter durch die jeweils gewählten Optionen ersetzt. Dies erfolgt heutzutage meist durch ERP- bzw. PDM-Systeme. Für eine automatische Auswahl und Generierung werden sog. **regelbasierte Variantenstücklisten** eingesetzt. Hierfür müssen im System allerdings Auswahllogiken vorhanden sein (diese Thematik wird im nächsten Kapitel vertieft). Wird bspw. für die in Abb. 2-9 fixierte Variantenstruktur die Auswahl <Airbag = 2; Verhalten = Komfort; Navigationssystem = nein; Leistung = 50> angewendet, kann ein Stücklistensystem automatisch die entsprechende Variante erzeugen (2 Airbag, Chassis S1, Motor_1).

Zwischenfazit

Die fiktive Variantenstruktur mit zugehöriger Variantenstückliste und entsprechenden Variantenleisten erlauben eine übersichtliche und flexible Handhabung von Varianten. Wichtig dabei ist die Definition der Strukturelemente durch die richtigen Elements- bzw. Variantentypen. Eine besondere Stellung nehmen dabei die Platzhalter in Form von Variantenleisten ein, die mittels Sachmerkmalen alle erlaubten Ausprägungen beschreiben. Auf die Funktion von Sachmerkmalen wird im Folgeabschnitt deshalb noch gesondert eingegangen. Die regelbasierte Variantenstückliste entspricht bereits einer vereinfachten Form einer rechnergestützten Produktkonfiguration.

2.3.4 Ordnungssystem Sachmerkmalleiste

Aus der Gruppentechnik sind weitere Methoden zur Strukturierung bzw. Gruppenbildung von Produkten bekannt. Insbesondere für das Management von Produktvarianten finden Ordnungssysteme wie bspw. die **Klassifizierung** bzw. **Sachmerkmalleisten** in der Praxis eine breite Verwendung. Eine sinnvoll gewählte und streng eingehaltene Klassifikation ist bei der Variantenbeherrschung von großer Bedeutung (Franke et. al. 2002). Die Aufgabe einer Klassi-

fizierung ist, den Konstrukteur schnell und umfassend über bereits konstruierte oder als Lagerteile vorhandene Gleichteile oder Ähnlichteile zu informieren. Die Verwendung solcher Wiederholteile bei Neu-, Anpassungs- und Variantenkonstruktion gehört zu den wichtigsten Rationalisierungsforderungen der Unternehmen an den Konstrukteur (PAHL et. al. 2007). In diesem Zusammenhang charakterisiert EIGNER et. al. (2001) ein Klassifizierungssystem als „Wissensspeicher", aus dem Konstrukteure neue Lösungen durch „Wiederfinden" und „Neu-Kombinieren" oder „Anpassen" ableiten.

Das Grundprinzip einer Klassifizierung ist die produktneutrale Zuordnung von Teilen oder Baugruppen zu einer Klasse. Gliederungskriterien für Klassen sind bspw. die Funktion, Form, Fertigungsaspekte oder der Anwendungsbereich. Sollen Objekte durch zusätzliche Attribute beschrieben werden, so bietet sich die Verwendung von Sachmerkmalleisten (SML) an. Nach DIN 4000-1[1] ist eine SML die Zusammenstellung und Anordnung der für eine Gegenstandsgruppe relevanten Sachmerkmale. Sachmerkmale beschreiben Eigenschaften eines Objektes unabhängig von dessen Umfeld. Die Grundlage der SML ist die Einteilung von Teilen in Gruppen derart, dass zwischen deren Mitgliedern Ähnlichkeitsbeziehungen entstehen (EIGNER et. al. 2001). Das Sachmerkmalleistenkonzept auf Basis der DIN 4000 wurde ursprünglich zur Handhabung häufig verwendeter Normteile (z. B. Schrauben, Stifte etc.) bzw. genormter Gestaltselemente definiert (z. B. Freistiche, Einstiche etc.) (ZWICKER et. al. 2005). Aufgrund der einfachen und übersichtlichen Struktur findet das Sachmerkmalleistenkonzept inzwischen eine breite Anwendung. Als wichtige Einsatzgebiete sind die Folgenden zu nennen:

- Konfigurationsaufgaben: Zur Abbildung von Variantentabellen bzw. Variantenleisten.
- Digitale Lieferantenkataloge: Zur Beschreibung und Strukturierung des Produktangebotes bzw. zur Selektion benötigter Lösungskomponenten.
- Produktdatenmanagement: Zur systematischen Strukturierung und Beschreibung von Teilestämmen.
- CAD-Konstruktion: Zur automatischen Erzeugung von Normteilen auf Basis von Parametertabellen.

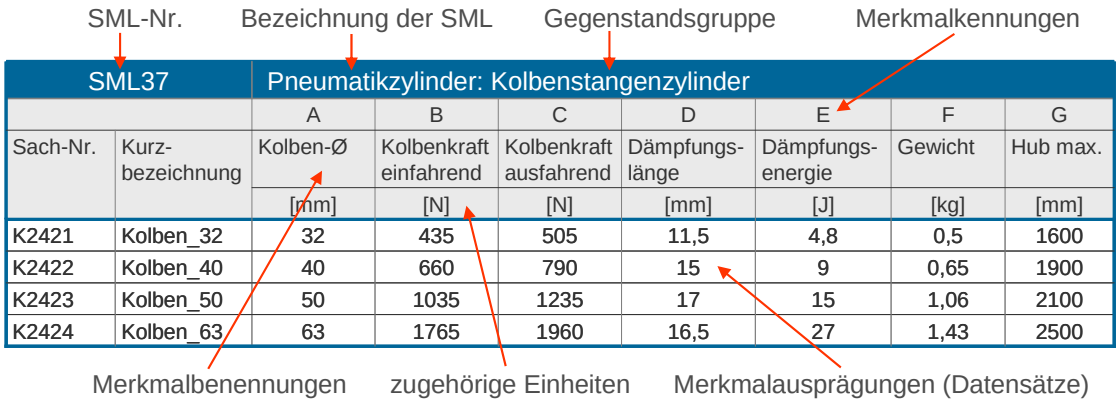
Den prinzipiellen Aufbau einer Sachmerkmalleiste bzw. einer Variantenliste zeigt Abb. 2-10 anhand eines konkreten Beispiels eines Pneumatikzylinders. Neben Headerinformationen (Bezeichnung, Gegenstandsgruppe, SML-Nr.) ist die *Merkmalbenennung* sowie die zugehörige *Einheit* ein integraler Bestandteil.

Werden bspw. erklärende Skizzen mit Platzhaltern für *Merkmalkennungen* verwendet, werden diese ebenfalls in die Liste eingetragen. Im Datenteil sind dann zu den jeweiligen Sach- oder

[1] Nach dem neuesten Entwurf der DIN4000-1 vom März 2011 wird der Begriff „Leisten" durch „Listen" ersetzt (demzufolge: Sachmerkmal-Listen – engl. Tabular layouts of properties). Der Einführungsbeitrag lautet: „Dieser Norm-Entwurf legt Begriffe und Grundsätze zur Gestaltung von Merkmalen, Merkmal-Listen und Konformitätsklassen fest. Diese Merkmale bilden die Grundlage der Kommunikation, zum Beispiel zwischen Anwendern und Lieferanten. Ein weiteres Ziel ist die Kategorisierung dieser Merkmale in Konformitätsklassen, unter anderem zur Vereinheitlichung des Datenaustauschs". (Website vom 29.07.2011: http://www.beuth.de/langanzeige/DIN-4000-1/de/139098117.html&bcrumblevel=2&SearchID=308876587)

Identifikationsnummern die *Merkmalausprägungen* (Datensätze) aufgeführt. Zur besseren Erklärung bzw. Beschreibung einer Sachnummer kann auch eine Spalte mit der Kurzbezeichnung eingefügt werden.

Abb. 2-10: Aufbau einer Sachmerkmalleiste/-Liste nach DIN 4000-1



SML37		Pneumatikzylinder: Kolbenstangenzylinder						
		A	B	C	D	E	F	G
Sach-Nr.	Kurz-bezeichnung	Kolben-Ø	Kolbenkraft einfahrend	Kolbenkraft ausfahrend	Dämpfungs-länge	Dämpfungs-energie	Gewicht	Hub max.
		[mm]	[N]	[N]	[mm]	[J]	[kg]	[mm]
K2421	Kolben_32	32	435	505	11,5	4,8	0,5	1600
K2422	Kolben_40	40	660	790	15	9	0,65	1900
K2423	Kolben_50	50	1035	1235	17	15	1,06	2100
K2424	Kolben_63	63	1765	1960	16,5	27	1,43	2500

Zwischenfazit

Sachmerkmal-Listen stellen ein geeignetes Mittel zur Abbildung von Variantentabellen dar. Sie können grundsätzlich zur Kategorie der Merkmals- und Ausprägungsmatrizen gezählt werden. Zum Aufbau und zur Strukturierung von Variantenbaukästen stellt die Klassifizierung ein unverzichtbares Instrument dar und wird zu einem wichtigen Wissensträger.

2.4 Rechnerbasierte Wissensverarbeitung

Die Informationsgesellschaft steht als (Leit-)Bild für eine Wirtschafts- und Gesellschaftsform, in der die Gewinnung, Speicherung, Verarbeitung und Nutzung von Informationen und Wissen eine entscheidende Rolle spielen (Piller 2006). Die bis dato entscheidenden Produktionsfaktoren „Arbeit, Boden und Kapital" werden künftig vom Faktor „Wissen" in dessen Bedeutung übertroffen (vgl. Drucker 1993). Gerade produkt- und prozessspezifisches Wissen stellt zunehmend eine strategische Ressource für die Produktentwicklung dar. Studien belegen, dass der Faktor „Wissen" bereits heute in vielen Unternehmen mehr als 50 Prozent der Wertschöpfung ausmacht (vgl. Aslanidis et. al. 2002). Durch die hohe Technologiedynamik in den Produkten kommt einerseits ständig neues Fachwissen hinzu, andererseits veraltet das bestehende Fachwissen immer schneller. Einhergehend mit der generellen Rechnerunterstützung im Produktentwicklungsprozess, haben sich auch Methodiken für die rechnerbasierte Wissensspeicherung und -verarbeitung etabliert. Die Ursprünge der rechnerbasierten Wissensverarbeitung gehen auf Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) zurück, die Ende der 1950er-Jahre entstanden. Der Begriff „Künstliche Intelligenz" ist eine Übersetzung des englischen "Artificial Intelligence" (AI). Die teilweise überzogenen Erwartungen an KI konnten zwar nicht erfüllt werden, doch haben sich einige Anwendungsgebiete herauskristallisiert, in denen der erwartete Nutzen erreicht werden konnte (Spur et. al. 1997). Zu erwähnen sind hier insb. Gebiete der Diagnose, Planung und Beratung, Entscheidungsunterstützung, Ange-

botserstellung und v. a. auch das im Zusammenhang mit dieser Arbeit relevante Anwendungsgebiet der Produktkonfiguration.

2.4.1 Wissensbegriffe und Klassifikation von Wissen

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden Begriffe wie „Wissen", „Informationen", und „Daten" vielfach vermischt bzw. synonym verwendet. Das Verständnis von Wissen in der Wissenschaft unterscheidet sich deutlich von dem unscharfen Alltagsverständnis des Begriffes (vgl. HAGENDORF et. al. 2003). Für eine Diskussion über die rechnerbasierte Verarbeitung von Wissen sind demzufolge einige Begriffsklärungen hilfreich und notwendig, die die wesentlichen Charakteristiken herausstellen.

Eine der bekanntesten Begriffshierarchien stammt von PROBST et al. (2006), die unter dem Namen „Wissenspyramide" vielfach zitiert wird. Diese besteht aus vier Ebenen (*Zeichen, Daten, Informationen, Wissen*) die mithilfe eines Anreicherungsprozesses erklärt bzw. zueinander abgegrenzt werden. Die unterste Ebene besteht aus einem Vorrat an **Zeichen** (bspw. „7", „5" und „,"). In der zweiten Ebene werden aus Zeichen durch Syntaxregeln **Daten** (z. B. „7,5"). Hierbei ist zwar zu erkennen, dass es sich um einen Zahlenwert handelt, dieser wird jedoch erst in einem bestimmten Kontext interpretierbar und zur **Information** (bspw.: „Mindestwanddicke = 7,5 mm"). Die vierte und oberste Ebene stellt **Wissen**[1] dar, das durch Vernetzung von Informationen deren Nutzung in einem bestimmten Handlungsfeld ermöglicht (bspw.: „Für gefräste Ausnehmungen von Federdeckeln darf ab einer Taschentiefe von 20mm die Mindestwanddicke von 7,5mm nicht unterschritten werden").

NORTH (2005) erweitert in seiner „*Wissenstreppe*" die Begriffshierarchien um anwendungsspezifische Aspekte wie Können, Handeln und Kompetenz. Er argumentiert, dass erst durch einen Anwendungsbezug, durch entsprechende Motivationen der Personen (das „Wollen") und deren richtiges Handeln aus Wissen Kompetenz wird. Allen Begriffshierarchien gemein ist die Feststellung, dass Wissen immer in Bezug bzw. Verbindung zu Personen steht.

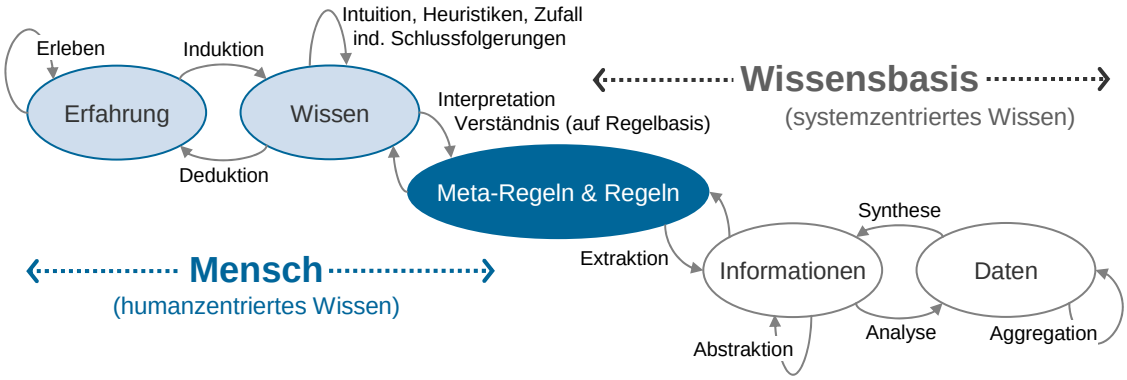
Eine Wissenstaxonomie, die den Sachverhalt und die Herausforderungen dieser Arbeit gut erklären lassen, liefert VAJNA et. al (2009). Mithilfe eines Elementes „*Regeln & Metaregeln*" bringt die Darstellung das humanzentrierte, implizite Wissen zu einem systemzentrierten Wissen (bspw. in einer Wissensbasis) in Bezug (Abb. 2-11). Das Modell soll aufzeigen, „dass Wissen immer nur im Kopf eines Menschen vorhanden sein kann und dass lediglich Daten, Informationen und Regeln rechnerunterstützt verarbeitet werden können[2]". Noch vor dem Element „*Wissen*" rangiert die „*Erfahrung*" eines Menschen, aus der durch Induktion neues

[1] Komplette Wissensdefinition von Probst et. al. (2006): „Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen. Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden. Es wird von Individuen konstruiert und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge."

[2] Vajna et.al. weisen aber gleichzeitig darauf hin, dass sie aus Gründen des heute üblichen Sprachgebrauchs das Zusammenspiel von Daten, Informationen und Regeln bzw. Meta-Regeln auch weiterhin als „Wissen", und Systeme, die Daten, Informationen und Regeln speichern können, als „Wissensbasen" bezeichnen.

Wissen entsteht. Auch aus Intuition, spontanen Erkenntnissen (Heuristiken) und zufälligen Beobachtungen oder anderen (vertrauenswürdigen) Quellen kann Wissen entstehen, das durch Deduktion wieder persönliche Erfahrungen ableiten kann. Die „Schnittstelle" zwischen menschlichem Wissen und rechnerverarbeitbaren Informationen bilden *Regeln* (eine durch Erfahrung bestätigte Richtlinie, Methode, Vorschrift) bzw. *Meta-Regeln* (Regeln zur Handhabung von Regeln). Diese entstehen durch Vernetzung von Informationen sowie Verknüpfungen mit Regeln bzw. Meta-Regeln. Mithilfe dieser Verknüpfung kann daraus bei einem Menschen Wissen entstehen, in dem interpretierte Informationen mit dem individuellen Vorwissen und Erfahrungen gekoppelt werden (vgl. VAJNA et. al 2009). Dieser Vorgang kann auch in umgekehrter Folge (Mensch -> Regeln) verstanden werden, wodurch formalisierte Wissensdefinitionen in eine Wissensbasis eingehen. Dieser Wissenstransformation kommt eine entscheidende Bedeutung zu.

Abb. 2-11: Wissenstaxonomie mit einer Einordnung Mensch/Wissensbasis (vgl. Vajna et. al. 2009)



Wissensarten

Neben den Betrachtungen des Wissensbegriffes werden in der Literatur meist auch Klassifizierungen von Wissen bzw. Einteilungen von Wissen in Wissensarten vorgenommen. Eine auf POLANY (1985) zurückgehende Form einer anwendungsunabhängigen Typisierung ist das explizite und implizite Wissen.

Implizites Wissen ist persönlich, kontextspezifisch und daher nur schwer kommunizierbar. Es ist in den Köpfen von Personen gespeichert und beinhaltet technische (konkretes Können) und kognitive (mentale) Elemente. Es handelt sich um Wissen, das aus der Erfahrung des Einzelnen resultiert, meist nicht oder weniger in Worte fassbar und deshalb schwieriger kommunizierbar ist. Explizites Wissen lässt sich in Zahlen, Daten und Texten erfassen und artikulieren. Es kann daher meist problemlos anderen Personen kommuniziert bzw. auch in Datenspeichern abgelegt werden. Dieses Wissen ist das allgemein aktiv gepflegte, weitergegebene und konservierte Wissen (vgl. NONAKA et. al. 1997, SCHNAUFFER et. al. 2004).

Für eine rechnerbasierte Wissensrepräsentation steht somit das explizite Wissen im Vordergrund. SPUR et. al. (1997) teilen das explizite Wissen weiter in ein deklaratives und ein prozedurales Wissen auf. Deklaratives Wissen beschreibt die Eigenschaften eines Objektes und

deren wechselseitige Beziehungen zueinander, wie es beispielsweise in Produktmodellen der Fall ist. Die Beschreibung erfolgt in Form von Fakten (Tatsachen), weswegen auch von *Faktenwissen* gesprochen wird. Für Benutzer ist Faktenwissen verständlicher bzw. transparenter und kann auch einfacher gepflegt werden. In der Informationsverarbeitung wird deklaratives Wissen ganz allgemein durch Daten beschrieben. Als Beispiel für deklaratives Wissen können die Bauteile eines wissensbasierten Konfigurationssystems mit ihren Eigenschaften und Restriktionen zwischen Basiselementen angeführt werden. Demgegenüber beschreibt **prozedurales Wissen** eine Folge von Arbeitsschritten entweder in Form eines Algorithmus oder eines Verfahrens. Dem genannten Beispiel mit dem Konfigurationssystem folgend, beschreibt das prozedurale Wissen die kausalen Zusammenhänge zwischen den Komponenten. Dies sind beispielsweise die Konfigurationsregeln, unter welchen Bedingungen eine bestimmte Komponente ausgewählt wird. In der Informationsverarbeitung wird prozedurales Wissen ganz allgemein durch Algorithmen und Programme beschrieben. Für den Benutzer ist eine derartige Prozedur leicht nachvollziehbar, die Wartung wird in der Praxis als aufwändiger angesehen.

Zwischenfazit

Der „Schnittstelle" Mensch/Wissensbasis kommt eine hohe Bedeutung zu. Hier erfolgt die Transformation des menschlichen Wissens in eine formalisierte, rechnerverarbeitbare Form des Wissens. Mit diesem Prozess steht und fällt der praktikable Einsatz wissensbasierter Assistenzsysteme. Das in vielen Konstruktionsabteilungen nur in den Köpfen von Konstrukteuren vorliegende, implizite Expertenwissen gilt es, in geeigneter Form zu identifizieren, zu erheben und zu formalisieren.

2.4.2 Wissensmanagement und Knowledge Engineering

Die Nutzung und der Austausch von Wissen im gesamten Produkterstellungsprozess sind in vielen Unternehmen inzwischen zu einem Managementthema geworden. Ein Schlagwort hierfür ist Wissensmanagement (WM), das, allgemein formuliert, mit einer aktiven Bereitstellung von Informationen in geeigneter Form, zur rechten Zeit, am richtigen Ort umschrieben wird. Auf eine ausführliche Darstellung von WM wird an dieser Stelle verzichtet und auf die zahlreich vorhandene Literatur verwiesen (bspw. NONAKA et. al. 1997, PROBST et al. 2006, HERBST 2001, RADERMACHER 2001). Im Zusammenhang mit WM im Ingenieurwesen ist die VDI-Richtlinie 5610 eine wertvolle Informationsquelle. Für diese Arbeit erscheint allerdings eine Einordnung und Abgrenzung zu „*Knowledge Engineering*" wichtig.

Ähnlich wie die beiden Termini „Daten und Informationen" vielfach synonym verwendet werden, verhält es sich mit „*Wissensmanagement*" und „*Knowledge Engineering*". Der Ausdruck „Management" bezieht sich auf das Steuern, Verwalten und Betreiben, wohingegen „Engineering" bedeutet, etwas zu konzipieren, zu entwickeln bzw. zu bauen (vgl. KENDAL 2007). Für PROBST et al. (2006) ist WM die pragmatische Weiterentwicklung von Ideen des

organisationalen Lernens[1]. Im Zentrum des Interesses stehe dabei die Verbesserung der organisatorischen Fähigkeiten auf allen Ebenen der Organisation durch einen besseren Umgang mit der Ressource „Wissen". WM stellt insb. für Führungskräfte wertvolle Ansatzpunkte für gezielte Interventionen in die organisatorische Wissensbasis dar und entwickelt zu diesem Zwecke Konzepte und Methoden.

Als **Knowledge Engineering (KE)** wird der Prozess bezeichnet, der sich mit der Entwicklung von wissensbasierten Systemen (Knowledge-based Systems – KBS) für die verschiedensten Einsatzgebiete im öffentlichen oder privatwirtschaftlichen Umfeld beschäftigt (vgl. KENDAL 2007). KE kann somit einen Teil einer WM-Konzeption in einem Unternehmen darstellen, ist aber auf eine ganz bestimmte Problemstellung ausgerichtet. Ein wissensbasiertes System setzt zur Automatisierung des Problemlösungsprozesses vollständig formalisiertes Wissen voraus. Bei einem WM-System steht der Zugriff auf semi-strukturiertes Wissen im Vordergrund (vgl. STUDER et. al. 1999, WUNSCH 2005). Auf die Grundzüge wissensbasierter Systeme wird in Kap. 3.1 noch gesondert Bezug genommen.

Für den Entwicklungsprozess eines wissensbasierten Systems existieren etliche Vorgehensmodelle mit unterschiedlichen Abgrenzungen der einzelnen Prozessphasen (vgl. BUCHANAN 1983, KURBEL 1992, DENGEL 1994). Hierbei werden Begrifflichkeiten uneinheitlich definiert. Dies betrifft insb. den Begriff der „Wissensakquisition", der einmal mit der „Wissenserhebung" gleichgesetzt oder aber als ein ganzer Prozess verstanden wird, der sich aus Wissenserhebung, Wissensinterpretation und Wissensformalisierung zusammensetzt (vgl. GMD245 1988, PUPPE 1990). Auf eine Diskussion der verschiedenen Definitionen wird hier bewusst verzichtet. Für die Entwicklungsschritte eines KBS werden in den angeführten Quellen drei wesentliche Phasen gesehen die für diese Arbeit wie folgt benannt werden:

- **Wissenserhebung:** Welches Wissen ist zur Lösung der betrachteten Problemstellung relevant und wie kann es erhoben werden (dies ist Inhalt des nächsten Abschnitts 2.4.3)?
- **Wissensrepräsentation:** Welche Formalismen eignen sich dazu, das betrachtete Wissen darzustellen und in eine rechnerverarbeitbare Form zu bringen (dies ist Inhalt von Abschnitt 2.4.4)?
- **Wissensimplementierung** bzw. KBS-Implementierung: Wie wird ein KBS aufgebaut und wie kann das Wissen darin abgebildet werden (dies ist Inhalt von Kapitel 3)?

2.4.3 Wissenserhebung

Um Fachwissen in formalisierter Form in eine Wissensbasis zu bringen, sind in einem ersten Schritt zwangsläufig eine Identifizierung geeigneter „Quellen" sowie die Erfassung und Aufbereitung (Vorstrukturierung) von deren Inhalte erforderlich. Als „Quellen" müssen hier einerseits bestehende Datenbestände bzw. Informationsquellen (systemzentriert) als auch

[1] Organisationales Lernen betrifft die Veränderung der organisationalen Wissensbasis. Diese setzt sich aus individuellen und kollektiven Wissensbeständen zusammen, auf die eine Organisation zur Lösung ihrer Aufgaben zurückgreifen kann (PROBST et al. 2006).

Fachexperten (humanzentriert) gesehen werden. Zur Erhebung von relevantem Wissen werden drei Arten (Methodiken) unterschieden: die indirekte, die direkte und die automatische Wissenserhebung (vgl. PUPPE 1990).

Die **automatische Wissenserhebung** steht in enger Verbindung mit bestehenden (digitalen) Wissensquellen. Sie versucht eine Überführung von bspw. textuellem Wissen in rechnerverarbeitbares Wissen ohne Intervention von Personen. Heute werden insb. Techniken des „Data Mining[1]" (Wissensentdeckung in Datenbanken) zur automatischen Wissensakquisition gezählt (vgl. GABRIEL et. al. 2009). Bei der **direkten Wissenserhebung** formuliert der Experte mithilfe eines Akquisitionstools sein Wissen selbst. Voraussetzung für diese Form der Wissensakquisition ist eine mächtige Akquisitionskomponente, die die „Sprache des Experten spricht". Die direkte Wissenserhebung eignet sich im Allgemeinen nicht für die erstmalige Erstellung der Wissensbasis (KURBEL 1992).

Übernehmen Spezialisten die Aufgabe, Fachwissen von Experten zu erfassen und zu strukturieren, spricht man von **indirekter Wissenserhebung**. Obwohl im Produktentwicklungsprozess einiges Wissen bereits in digitaler Form vorhanden ist (bspw. in CAD-Modellen, Stamm- und Strukturdaten), nimmt die indirekte Wissenserhebung zur Gestaltung von IT-Unterstützungen eine zentrale Stellung ein. Die vollständige Erfassung des zur Lösung einer Problemstellung benötigten Wissens ist eines der schwierigsten Probleme, da dies ursächlich im Unvermögen des Menschen begründet ist, sein Wissen explizit zu machen (DENGEL 1994). DENGEL spricht in diesem Zusammenhang vom „Paradoxon des Expertentums": „Menschliche Experten, die über Spezialwissen sowie eine breite Basis an Erfahrung verfügen, zeigen die größten Schwierigkeiten, ihr Wissen und den Umgang damit offenzulegen." Als größte Herausforderung für „Wissen" bei der Erhebung bezeichnet die GMD388 (1988) u. a.: Das Wissen wird nicht verstanden, ist irrelevant für die Problemlösung, ist unvollständig, ist unrichtig bzw. wird falsch interpretiert, ist rein zufällig, ist nicht formulierbar, ist gar nicht verfügbar.

Rollen bei der Wissenserhebung

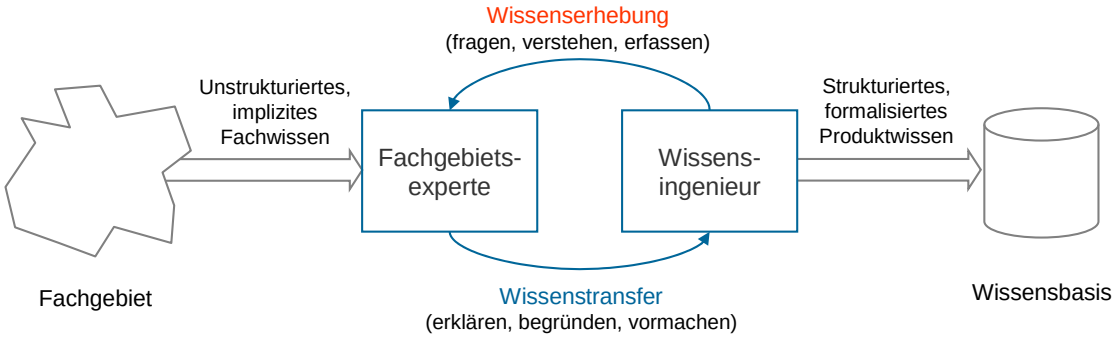
Für die Wissenserhebung (bzw. auch für die gesamte Erstellung eines KBS) sind zwei Rollen wesentlich (Abb. 2-12). Zum einen ist dies der **Experte** bzw. Fachgebietsexperte („Domain expert"), dessen (meist implizites) Problemlösungswissen über das Anwendungsgebiet (Fachgebiet) in der Wissensbasis abgebildet werden soll. Zum anderen die obengenannten Spezialisten, die dieses Fachwissen von Experten erheben – diese werden **Wissensingenieure** (engl.: Knowledge Engineer) genannt. Der Vollständigkeit halber sei noch die Rolle eines **Werkzeugentwicklers** erwähnt, welcher das zur Implementierung eines KBS verwendete Softwarewerkzeug herstellt. Dieser hat für die Wissenserhebung jedoch keine Bedeutung.

Eine entsprechend hohe Bedeutung hat die „Einstellung" eines Fachexperten zu einem KBS-Projekt. Dies wird in der Literatur kaum behandelt. Neben der richtigen Auswahl des Fachexperten (Kompetenz) sollten auch soziologische Aspekte nicht unterschätzt werden. Ein

[1] Das Ziel von „Data Mining" (engl.: KDD - Knowledge Discovery in Databases) liegt darin, durch Einsatz verschiedener Methoden aus den Wissenschaftsdisziplinen der Mathematik, der Statistik und der KI softwaregestützt verborgene Muster und Beziehungen in großen Datenbeständen zu identifizieren (vgl. GABRIEL et. al. 2009).

KBS wird vom Experten vielfach skeptisch beurteilt, da es in gewisser Weise seine Arbeit nachbildet. Dieser Thematik widmet sich Kapitel 4 noch gesondert. Der **Wissensingenieur (WI)** trägt die Hauptverantwortung bei der Wissenserhebung. Um zielgerichtete Fragen zu stellen und um den Denkprozess und die Vorgehensweise des Experten zu verstehen, muss er sich in das Wissensgebiet des Experten einarbeiten (vgl. SPUR et. al. 1997). Hierfür bedient er sich verschiedener Methoden und Techniken. Des Weiteren zählen in der Folge auch die Strukturierung und Formalisierung sowie die Implementierung des Wissens zu den Aufgaben eines WI.

Abb. 2-12: Die Rollen von Experte und WI (in Anlehnung an WATERMAN 1986)



Methoden der indirekten Wissenserhebung

Die wichtigsten Methoden der indirekten Wissenserhebung sind Interviewtechniken und die Beobachtung von Experten (vgl. GMD388 1988, KENDAL 2007, HVAM et. al. 2008, MILTON 2007). Des Weiteren wird auch die Literaturanalyse (Lehr- und Fachbücher) erwähnt, welche insb. zur Aufbereitung von dokumentiertem Fachwissen dient. Interviews und Beobachtungen sind relativ einfach handzuhabende Methoden. Bei der **Beobachtung von Experten** nimmt der WI eine eher passive Rolle ein. Der WI verfolgt dabei die Arbeitsschritte des Experten, der diese i. d. R auch verbal erklärt. Der WI macht sich eigene Aufzeichnungen und stellt nur gelegentlich Verständnisfragen. Diese Form der Wissenserhebung erfolgt in der Praxis meist zum Einstieg in die Aufgabenstellung. In der genannten Literatur wird dieser Vorgang u. a. auch Protokoll-Analyse genannt, da der WI den Problemlösungsvorgang beobachtet, protokolliert und hinterher eine Analyse erstellt. Zu den am häufigsten angewendeten Techniken zählen **Interviews** in unterschiedlichen Formen. Eine Unterscheidung erfolgt anhand der Strukturierung. Bei unstrukturierten Interviews „hangelt" sich der WI anhand von Fragen und Antworten durch die Problemstellung. Diese Methode eignet sich nicht zur Erhebung von komplizierteren Zusammenhängen und wird eher nur zum Einstieg in ein Themengebiet eingesetzt. Für ein strukturiertes Interview ist die Vorbereitung von spezifischen Fragen erforderlich. Hierfür sind Grundkenntnisse des Aufgabengebietes notwendig. Vielfach wird ein strukturiertes Interview nach einer Beobachtung bzw. Protokollanalyse oder einem unstrukturierten Interview durchgeführt. Damit können das Themengebiet vorstrukturiert und die Fragen gezielter formuliert werden. Die Ausgestaltung der Interviews ist stark von der jeweiligen Problemstellung abhängig. Entsprechende Vorgehensvorschläge können oben genannten Quellen entnommen werden.

Zwischenfazit

Zur Extraktion eines vielfach nur implizit vorhandenen Konstrukteurswissens kommt man um Interview- und Beobachtungstechniken nicht umhin. Der Fachexperte (Konstrukteur) ist dabei für die richtigen Inhalte verantwortlich, der WI für die Dokumentation und Formalisierung. Der WI muss die „Sprache" des Konstrukteurs bzw. dessen Themengebiet kennen. Dementsprechend bietet sich eine Fokussierung des WI auf bestimmte Fachgebiete an. Bei KMUs können die WI- und die Expertenrolle in einer Person zusammenfallen. Zur Wissensformalisierung benötigt der WI in jedem Fall erweiterte Kompetenzen im Bereich der Wissensrepräsentation.

2.4.4 Wissensrepräsentation

Um Systeme zur rechnerbasierten Wissensverarbeitung entwickeln zu können, bedarf es einer spezifischen Aufbereitung des entsprechenden Wissens in eine rechnerverarbeitbare Form. Eine adäquate Darstellung ist deshalb von herausragender Bedeutung. Das formale Gerüst für diese Abbildung wird mit Methoden der Wissensrepräsentation erzeugt. Nach Spur et. al. (1997) lässt sich Wissensrepräsentation definieren als „eine Menge syntaktischer und semantischer Konventionen zur Beschreibung von Dingen oder Sachverhalten". Die Syntax spezifiziert dabei Regeln, wie Ausdrücke der Repräsentationssprache formuliert werden können, die Semantik beschreibt die Bedeutung dieser Ausdrücke. Die wichtigsten aus der KI bekannten Paradigmen bzw. Formalismen zur rechnerinternen Darstellung und Repräsentation von Wissen werden wie folgt eingeteilt (Spur et. al. 1997):

- Logikorientierte Repräsentation
- Regelorientierte Repräsentation
- Constraint-Repräsentation
- Objektorientierte Repräsentation

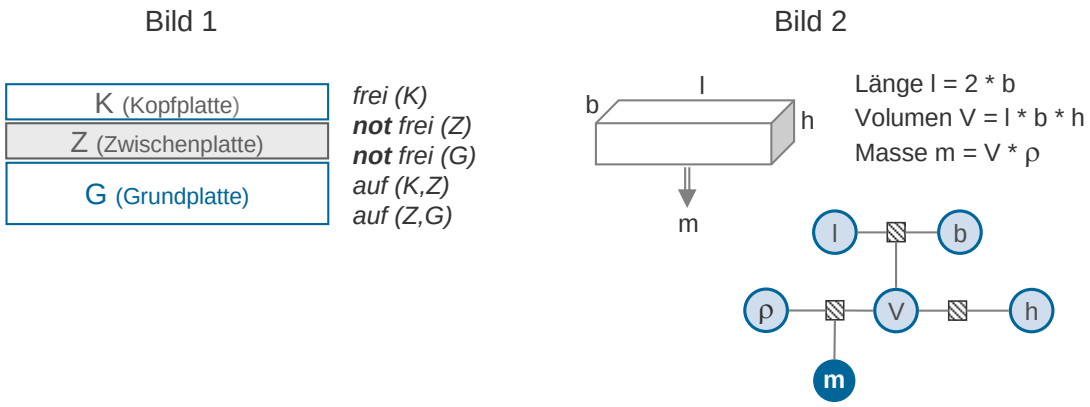
Die Charakteristik und Wirkungsweise der Repräsentationen werden im Folgenden anhand der angeführten Literatur kurz zusammengefasst. Für eine ausführliche Übersicht wird auf Ertel (2009), Görz et. al. (2003), Dengel (1994), Kurbel (1992), Puppe (1990), Richter (1989) verwiesen. Eine hinreichende Zusammenfassung ist auch in Spur et. al. (1997) zu finden.

Logikorientierte Repräsentation

Eine Möglichkeit, um qualitative Aspekte eines Problembereichs zu repräsentieren, ist die Verwendung der Prädikatenlogik, die einer Teilmenge der formalen Logik entspricht. Sie dient häufig als Bezugspunkt für andere Wissensrepräsentationsformen. Werden Aussagen (sog. Prädikate) explizit in der Wissensbasis formuliert, heißen diese Axiome, Fakten oder Annahmen. Sind für Aussagen erst Ableitungsverfahren erforderlich, werden diese als Theoreme oder Schlussfolgerungen bezeichnet. Ein logischer Sachverhalt wird mittels Literalen beschrieben. Das erste Wort eines Literals ist ein Prädikat, dessen Name frei wählbar ist und i. A. die Eigenschaften seiner Argumente beschreiben sollte. Abb. 2-13 (Bild 1) zeigt ein einfaches Beispiel einer Zusammenbau- bzw. Montagelogik eines Stanzwerkzeuges mit einer prädikatenlogischen Beschreibung. Als Prädikate, die auch negiert sein können, wurden *„frei"*

und „*auf*" definiert (*frei* bezieht sich auf die Oberseite der Platten). Die Argumente sind Symbole, wie etwa Konstanten oder Variablen, die Objekten des betrachteten Problembereichs entsprechen. Mit *frei*(K), ***not*** *frei*(Z), ***not*** *frei*(G), *auf*(K,Z) und *auf*(Z,G) lässt sich die Montagelogik komplett wiedergeben. Neben dem Operator ***not*** steht in der Prädikatenlogik zusätzlich ein Vorrat an Ausdrucksmitteln zur Verfügung, mit dessen Hilfe man Beziehungen und Zusammenhänge von Objekten darstellen kann. Dies sind die logischen Operatoren: **and** (und), **or** (oder), **not** (nicht), → (wenn-so), ↔ (genau-dann-wenn). Die Logik wird als „zweiwertig" bezeichnet, da sie mit Wahrheitswerten (wahr, falsch) arbeitet. Zur Repräsentation regelhafter Zusammenhänge und Einschränkungen werden zusätzlich der *Existenzquantor* ∃ sowie der *Allquantor* ∀ verwendet. So bedeutet ∃ *xP(x):* „Es gibt ein x, für das P(x) gilt" oder ∀ yQ(y): „Für alle y gilt die Eigenschaft Q(y). Eine typische Programmiersprache, die auf der Prädikatenlogik basiert ist PROLOG. Sie eignet sich gut zur Beschreibung von Problemen und logischen Zusammenhängen in Form von Fakten, Beziehungen und Regeln.

Abb. 2-13: Bild 1: Beispiel einer „Montagereihenfolge" mit einer prädikatenlogischen Beschreibung. Bild 2: Beispiel einer Masseberechnung mit Constraint-Netz



Constraint-Repräsentation

Ein im Technikbereich weit verbreitetes Verfahren ist die Constraint-Repräsentation. Ein Constraint (engl.: Einschränkung, Zwangsbedingung) ermöglicht die Abbildung von mathematischen Gleichungen bzw. Ungleichungen der Form f(x)=a. Der Constraint-Ansatz kann benutzt werden, um einen möglichen Lösungsraum einzuschränken und/oder zur Abbildung von zwingend zu erfüllenden Randbedingungen. Werden mehrere Variablen verschiedener Constraints (Gleichungen) miteinander verknüpft, entstehen sog. Constraint-Netze. Die Veränderung eines Variablenwertes kann an das gesamte Netz propagiert werden. Ziel ist dabei jeweils, einen validen Lösungszustand zu erreichen, sprich alle Constraints zu erfüllen. Im Gegensatz zu Regeln haben Constraints den Vorteil, dass die Zusammenhänge nicht gerichtet sind und dementsprechend nach einer Variablen aufgelöst werden können. Abb. 2-13 (Bild 2) visualisiert ein einfaches Beispiel eines Constraint-Netzes anhand der Masseberechnung einer Flanschplatte. Die Variablen der drei Gleichungen stehen dabei in einer eindeutigen Beziehung und können für einen widerspruchsfreien Zustand nur bestimmte Werte annehmen. Der Lösungsraum ist somit definiert. Soll bei vorbelegten Werten aller Variablen

ein Wert verändert werden, kann dies nur unter gleichzeitiger Anpassung mindestens eines anderen Wertes erfolgen. Constraints finden insb. im CAD-Umfeld eine breite Anwendung. Diese Formen der Geometrieverknüpfungen werden sowohl beim Skizzieren als auch bei der Zusammenstellung von Bauteilen zu Baugruppen eingesetzt. Diese Thematik wird im Kap. 3.2.1 im Zusammenhang mit der CAD-Parametrik und Featuretechnologie nochmals aufgegriffen.

Regelorientierte Repräsentation

Bei dieser Repräsentationsform wird Wissen als eine Sammlung von Regeln repräsentiert. Eine Regel baut sich aus einem Bedingungsteil (Prämisse) und einem Aktionsteil (Konklusion) auf. Die allgemeine Form lautet:

Wenn P dann Q (wenn die Prämisse P erfüllt ist, dann wird die Konklusion Q abgeleitet oder die Aktion Q ausgeführt).

Regeln sind sehr beliebt, da sie ähnlich den aus der prozeduralen Programmierung bekannten Wenn-dann-Konstruktionen oder Entscheidungstabellen sind. Die Vorteile liegen in der Analogie zur menschlichen Denk- und Problemlösungsweise, was es bspw. Experten ermöglicht, ihr Wissen direkt in dieser Form auszudrücken. Mit steigender Anzahl und Komplexität der Regeln sinkt jedoch die Leistungsfähigkeit in Bezug auf Kontrollfluss und Wartbarkeit. Im Gegensatz zu Constraints besteht ein erheblicher Nachteil einer Regel darin, dass nur gerichtete Zusammenhänge abgebildet werden können („aus P folgt Q" kann nicht gleichzeitig „aus Q folgt P" abgeleitet werden). Vielfach werden Regelwerke auch graphisch anhand von Entscheidungshierarchien in Form von miteinander verbundenen Regeln dargestellt.

Abb. 2-14: UND/ODER-Baum mit Verkettung von Regeln (DENGEL 1994)

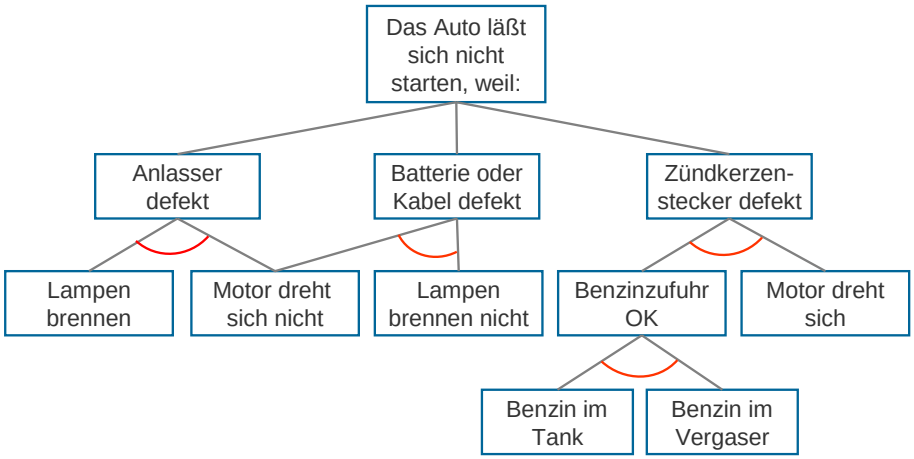


Abb. 2-14 zeigt ein Beispiel eines mit Regeln verketteten UND/ODER-Baumes, der Lösungsvorschläge für das Problem „*Das Auto lässt sich nicht starten, weil …*" beinhaltet (vgl. DENGEL 1994).

Die Kanten im Baum verbinden Bedingungen aus denen Folgerungen abgeleitet werden. Verbundene Kanten sind UND-Kanten, Kanten ohne Verbindung stellen Alternativen dar. Im

abgebildeten Baum sind somit vier Regeln definiert (Beispiel: Wenn <Benzinzufuhr OK> und <Motor dreht sich> dann <Zündkerzenstecker defekt>).

UND/ODER-Bäume veranschaulichen auch die Arbeitsweise der Regelauswertungsmechanismen. Die Regelverkettungen werden entweder „vorwärts" oder „rückwärts" durchlaufen. Bei der vorzugsweise eingesetzten Vorwärtsverkettung wird von einem Ausgangszustand zu einem Zielzustand gearbeitet. Die Reihenfolge der Regeln richtet sich an den vorhandenen Voraussetzungen (welche Bedingungen werden erfüllt) in der Wissensbasis aus. Die Rückwärtsverkettung arbeitet sich von einem Zielzustand über Ersetzungsregeln zum Ausgangszustand. Die Reihenfolge wird danach bestimmt, inwieweit eine Aktion zur Herleitung eines vorgegebenen Zieles beiträgt. Dies ist bspw. typisch für Diagnosesysteme (DENGEL 1994).

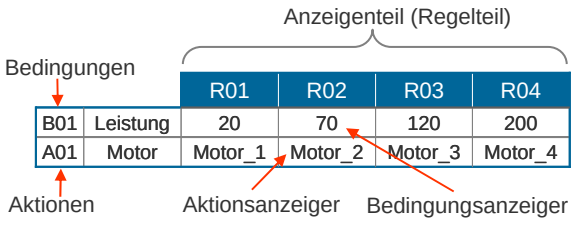
Die regelbasierte Wissensrepräsentation wird häufig für Konfigurationsaufgaben eingesetzt. In diesem Zusammenhang soll an dieser Stelle kurz auf eine Wissensrepräsentationsform eingegangen werden, die Regeln über Tabellen abbildet. Es handelt sich dabei um sog. **Entscheidungstabellen (ET)**, die in der Praxis eine weite Verbreitung finden und u. a. zur Definition von Konfigurationsregeln eingesetzt werden. Abb. 2-15 veranschaulicht eine nach DIN 66241 definierte ET anhand des Motorbeispiels aus Abschnitt 2.3.3. Eine ET ist grundsätzlich in vier Bereiche unterteilt: einen Bedingungsteil mit den Bedingungsanzeiger und einen Aktionsteil mit den Aktionsanzeiger. Bei einer einfachen ET (Bild links) werden die Bedingungen lediglich mit ja oder nein abgefragt. Dies führt bei vier Leistungstypen zu einer 4x8 Matrix. Eine erweiterte ET erlaubt individuellere Bedingungs- und Aktionsanzeiger. Darüber hinaus sind ELSE-Regeln erlaubt, wenn keine der Regeln zutrifft sowie Verknüpfungen mehrerer Tabellen zu einem Verbund. Mit Sequenzen, Verzweigungen, Schleifen und Schachtelungen können auch komplizierte Regelwerke abgebildet werden.

Abb. 2-15: Beispiel einer erweiterten Entscheidungstabelle (nach DIN 66241)

Einfache Entscheidungstabelle

		R01	R02	R03	R04
B01	Leistung 20	j	n	n	n
B02	Leistung 70	n	j	n	n
B03	Leistung 120	n	n	j	n
B04	Leistung 200	n	n	n	j
A01	Motor_1	x	-	-	-
A02	Motor_2	-	x	-	-
A03	Motor_3	-	-	x	-
A04	Motor_4	-	-	-	x

Erweiterte Entscheidungstabelle



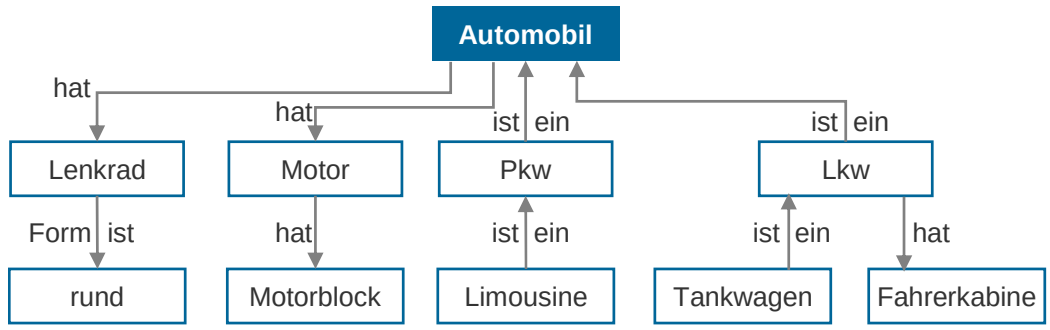
Objektorientierte Repräsentation

Die Objektorientierung zählt heute zu den am weitesten verbreiteten Methoden in der Softwareentwicklung und wurde unabhängig zu KI entwickelt. Das Grundprinzip basiert auf einem Klassensystem bzw. auf dessen Instanzen. Eine Klasse kann als Grundmuster für ein Objekt verstanden werden, das die Eigenschaften und das Verhalten bestimmt. Die einzelnen Ausprägungen einer Klasse werden als Instanzen bezeichnet. Eigenschaften und Verhaltenswei-

sen können an Unterklassen vererbt werden woraus Klassenhierarchien entstehen. Der große Vorteil dieser Vererbungsmethoden liegt in der Reduzierung von Redundanzen, da gleiche Eigenschaften nicht bei jeder Instanz geführt werden müssen.

Eine **objektorientierte Wissensrepräsentation** zeichnet sich durch die Beschreibung statischer Sachverhalte, den Aufbau einer oder mehrerer hierarchischer Strukturen von Objekten, Vererbung von Eigenschaften, in sich abgeschlossene Wissensobjekte, eine Kommunikation der Objekte untereinander und einen hohen Wiederverwendungsgrad aus (vgl. SPUR et. al. 1997). Zu den bekanntesten Ansätzen der objektorientierten Repräsentation zählen **semantische Netze**. Dies sind gerichtete Graphen, die aus einer Menge von Knoten und Kanten bestehen. Knoten symbolisieren beliebige Sachverhalte wie Ereignisse, Objekte oder allgemeine Begriffe. Die Beziehungen der Knoten untereinander werden durch Kanten repräsentiert die meist eine Bedeutung „ist ein" oder „hat" beinhalten. Abb. 2-16 ist zu entnehmen, dass ein Tankwagen ein Lkw und somit ein Automobil „ist". Umgekehrt wird ersichtlich, dass der Motor einen Motorblock bzw. ein Automobil ein Lenkrad „hat". Der Vererbungsmechanismus erlaubt u. a. einen Logikaufbau, bei dem bspw. nicht jeder Automobilausprägung ein Motor und ein Lenkrad zugeordnet werden müssen. Diese Informationen können durch geeignetes Durchlaufen des Netzes gewonnen werden (vgl. KURBEL 1992). Semantische Netze eignen sich für Wissensgebiete, in denen bereits Klassifikationsschemata und begriffliche Zuordnungen existieren wie bspw. ein Konfigurationssystem mit einer klaren, hierarchischen Struktur.

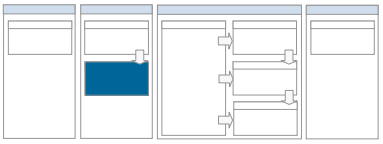
Abb. 2-16: Beispiel eines semantischen Netzes (KURBEL 1992)



Zwischenfazit

Im Zusammenhang mit Formen der Wissensrepräsentation im Engineeringumfeld werden die Begriffe „Regeln" und „Constraints" vielfach synonym verwendet. Dies ist u. a. damit zu begründen, dass diese Repräsentationsformen in Engineeringsystemen am häufigsten anzutreffen sind (CAD, KBE, Produktkonfiguratoren) – vielfach auch in Kombination (Regeln + Constraints). Nach den Grundlagen der Wissenserhebung und -repräsentation ist in einem nächsten Schritt eine systemzentrierte Betrachtung der Wissensverarbeitung (Wissensimplementierung) erforderlich.

3 Rechnergestütztes Konfigurieren und Auslegen von Produkten



Das Hauptziel dieses Kapitels ist die Diskussion der Charakteristiken einer rechnergestützten Konfiguration und Auslegung anhand des aktuellen Standes der Technik sowie weiterführenden Optionen anhand relevanter Forschungsaktivitäten. Im Gegensatz zu Kapitel 2, in dem allgemeine Grundlagen aus methodischer Sicht aufgezeigt wurden, steht in diesem Kapitel die „Systemsicht" im Vordergrund.

Nach einer Einordnung wissensbasierter Systeme und einer Klassifizierung verfügbarer IT-Technologien wird im zweiten Abschnitt deren Eignungsgrad hinsichtlich Konfiguration und Auslegung diskutiert. Der dritte Abschnitt setzt sich mit typischen Merkmalen einer IT-Unterstützung auseinander und zeigt mögliche Gestaltungsoptionen auf. Das Ergebnis dieser Applikationstypisierung ist ein Kriterienkatalog zur Typisierung einer Standardlösung.

Ergebnisse aus Industrie- und Forschungsprojekten zum Thema, insb. zu Vorgehensmodellen und Methoden der Wissenserhebung und Wissensdarstellung sowie der Integration der Wissenstechnologie in die angeführten Standardsysteme sind Inhalt von Abschnitt 4.

3.1 Einführung

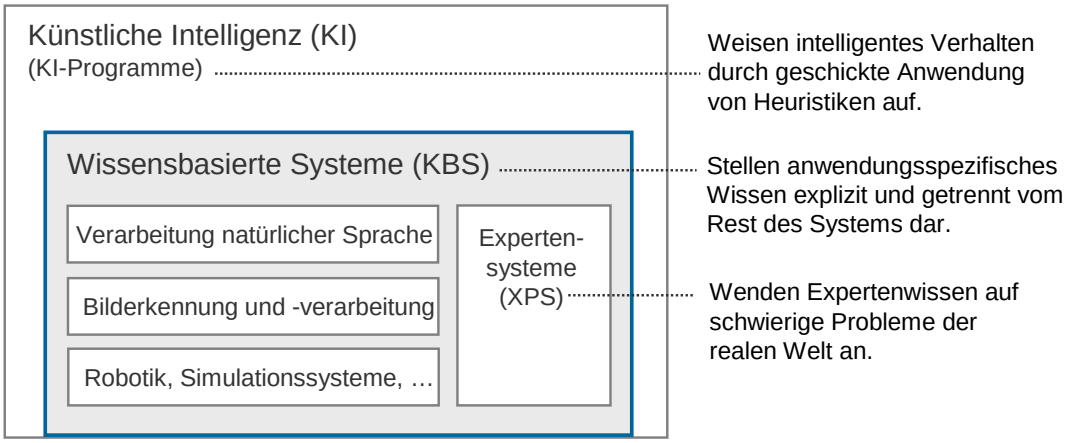
Als Grundlage bzw. Ausgangsbasis für Technologien zur rechnergestützten Konfiguration und Auslegung, die im Folgeabschnitt diskutiert werden, sind die sog. wissensbasierten Systeme zu betrachten. Unter dem Titel „Knowledge Engineering" wurde in Kap. 2.4 hierzu bereits ein Teil des Entwicklungsprozesses mit den Kernelementen „*Wissenserhebung* und *Wissensrepräsentation*" vorgestellt. Eine grobe Einordnung aus Systemsicht soll an dieser Stelle erfolgen.

3.1.1 Wissensbasierte Systeme

Wissensbasierte bzw. wissensorientierte Systeme werden eingesetzt, um Aufgaben zu bearbeiten, zu denen der Mensch üblicherweise seine Intelligenz benötigt (Bodendorf 2006). Sie verwenden hierzu Methoden der Künstlichen Intelligenz. Gegenstand der KI ist die Erforschung eines „intelligenten" Problemlösungsverhaltens und darauf aufbauend, die Entwicklung „intelligenter" Computersysteme (vgl. Kurbel 1992). Auf der Basis von KI wurde in den 1990er-Jahren eine Vielzahl wissensbasierter Systeme entwickelt. Als Beispiele sind hier v. a. Simulationssysteme, Robotik, Bild- und Sprachverarbeitungssysteme sowie insb. Expertensys-

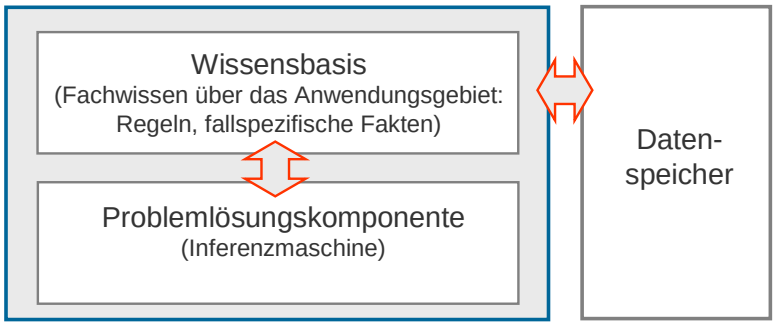
teme (XPS) zu nennen. Mit Letzteren wird versucht, die Problemlösungsfähigkeiten menschlicher Experten in eng abgegrenzten Aufgabenbereichen nachzubilden. Von WATERMAN (1986) stammt eine Darstellung zur Einordnung der Begriffe „KI, KBS und XPS" (Abb. 3-1). Für ihn bildet KI den Oberbegriff. Als KI-Programme werden Programme bezeichnet, die intelligentes Verhalten durch geschickte Anwendung von Heuristiken an den Tag legen. KBS sind als Teilmenge der KI dadurch charakterisiert, dass sie das Wissen über den Anwendungsbereich explizit und getrennt vom Rest des Systems darstellen. Als weitere Untermenge stufte WATERMAN XPS ein, da sie Expertenwissen auf schwierige Probleme aus der realen Welt anwenden. In der Praxis werden allerdings KBS und XPS vielfach synonym verwendet.

Abb. 3-1: Einordnung von KI, KBS und XPS (in Anlehnung an WATERMAN 1986)



KURBEL (1992) präzisiert KBS in einer Definition wie folgt: „Ein wissensbasiertes System ist ein Softwaresystem, bei dem das Fachwissen über ein Anwendungsgebiet („Domain Knowledge") explizit und unabhängig vom allgemeinen Problemlösungswissen dargestellt wird." Dementsprechend unterteilt er den Systemkern in eine **Wissensbasis** (WB) und eine **Problemlösungskomponente** (Abb. 3-2). Ist Wissen zusätzlich in Falldaten abgelegt, ist zusätzlich ein **Datenspeicher** vorhanden. In der **Wissensbasis** ist das Fachwissen über das Anwendungsgebiet (domänenspezifisches Wissen) in einer geeigneten Repräsentationsform abgelegt (Regeln, fallspezifische Fakten). Laut DENGEL (1994) sind dabei drei Anforderungen zu beachten: 1. Vollständigkeit: „Die Wissensbasis enthält hinreichend viel Wissen, um zu Problemstellungen des betrachteten Bereiches Lösungen zu produzieren." 2. Konsistenz: „Das in der Wissensbasis enthaltene Wissen ist widerspruchsfrei." 3. Korrektheit: „Das Wissen in der Wissensbasis umfasst keine Angaben, die zu falschen Lösungen führen können." Die Verarbeitung bzw. Interpretation des Fachwissens übernimmt die **Problemlösungskomponente**. Da diese v. a. Schlussfolgerungen durchführt, spricht man auch von Inferenzmaschine. In der Problemlösungskomponente ist das allgemeine, domänenunabhängige Wissen enthalten. Hierzu zählen bspw. die Mechanismen für die Schlussfolgerungen. Der **Datenspeicher** enthält die aktuell vorliegenden Falldaten sowie die ermittelten Zwischen- und Endergebnisse.

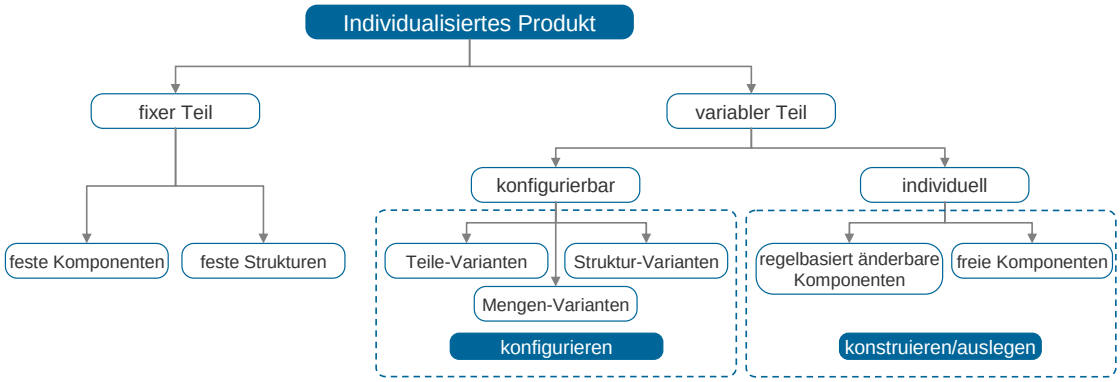
Abb. 3-2: Prinzipielle Kernarchitektur eines wissensbasierten Systems (KURBEL 1992)



3.1.2 Rechnerunterstützung zur Konfiguration und Auslegung

Eine adäquate, praxistaugliche Rechnerunterstützung muss die beiden Domänen „Konfigurieren und Konstruieren/Auslegen" gleichermaßen unterstützen. Das Produktmodell eines individualisierten Erzeugnisses vereint die in Kap. 2.3.3 erläuterten variablen Grundstrukturen (Strukturvarianten, Teilevarianten, Mengenvarianten) mit individuell definierbaren Bestandteilen in Form einer rechnerbasierten Auslegungsunterstützung. Abb. 3-3 zeigt einen schematischen Aufbau aller möglichen Komponentenausprägungen eines individualisierten Produktes. Dieser besteht prinzipiell aus einem fixen Teil (feste Komponenten und feste Strukturen) und einem variablen Teil. Beim variablen Teil kann zwischen vorgedachten Konfigurationsoptionen (Teile- und Strukturvarianten) und einem vollständig individuellen Teil (regelbasiert änderbare und freie Komponenten) differenziert werden.

Abb. 3-3: Komponentenausprägungen eines individualisierten Produktes



Feste Komponenten können bspw. Norm-, Wiederhol- oder Zukaufteile sein, aber auch einmalig konstruierte Bauteile, die eine fixe Funktion übernehmen und immer vorhanden sind. Unter „feste Strukturen" sind in diesem Zusammenhang entweder immer vorhandene ganze Baugruppen oder aber auch eine festgelegte Grundstruktur des Produktes gemeint. Das Wesen der Teile-, Struktur- und Mengenvarianten wurde bereits in Kap. 2.3.3 erklärt. Dieser Teil wird per Konfigurationsunterstützung individualisiert. Mittels einer Konstruktions- und Auslegungsunterstützung werden die individuellen Gestaltungsanteile erstellt. Dies kann

mithilfe eines regelbasiert änderbaren Parametermodells erfolgen oder durch freie Komponenten realisiert werden, die erst noch zu spezifizieren und zu konstruieren sind. Für Letztere kann bspw. eine Spezifikationsunterstützung die Neukonstruktion beschleunigen oder es wird vorerst mit einem Platzhalter gearbeitet, der nachfolgend umkonstruiert wird und am Ende des Konfigurations- und Auslegungsprozesses wieder automatisiert in die Struktur eingefügt wird.

Verfügbare Technologien zur Unterstützung

Auf dem Gebiet der rechnerunterstützten Konfiguration und Konstruktion/Auslegung, insbesondere mit einer wissensbasierten Unterstützung, existieren seit einigen Jahren verschiedene Methoden und Technologien mit unterschiedlichen Schwerpunkten in den beiden Domänen (Konfiguration, Konstruktion). Hierzu zählen insbesondere:

- CAD – Computer Aided Design
- PDM – Produktdatenmanagement
- Produktkonfiguration
- KBE – Wissensbasierte Konstruktion

Darüber hinaus haben sich durch Kombination dieser Basistechnologien noch weitere Methoden wie *3D-Produktkonfiguration* und *Design Automation* etabliert.

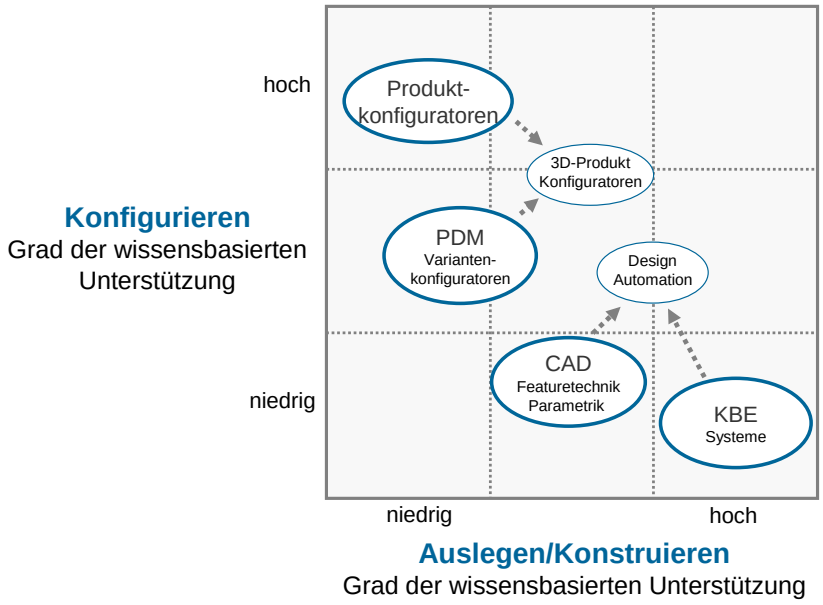
Die aufgezählten Basistechnologien bzw. deren Erweiterungen lassen sich hinsichtlich Wissensunterstützungsgrad in den Dimensionen „Konfiguration und Konstruktion/Auslegung" darstellen (Abb. 3-4). Mithilfe dieser Parameter kann eine, für die Betrachtungen dieser Arbeit, übersichtliche Kategorisierung vorgenommen werden (eine detaillierte Diskussion der benannten Technologien bzw. IT-Systeme erfolgt im nachfolgenden Abschnitt).

Die IT-gestützte Konfiguration von Produkten ist die Domäne der sogenannten **Produktkonfiguratoren**. Insbesondere aus den Aktivitäten der kundenindividuellen Massenproduktion (vgl. Kap. 2.1.3) sind in den vergangenen Jahren zahlreiche Systemlösungen entstanden, die Kunden bei ihren Individualisierungswünschen unterstützen. Dementsprechend ist der wissensbasierte Unterstützungsgrad in Bezug auf *Konfiguration* als hoch einzuschätzen. Eher bescheiden sind dabei die Möglichkeiten, gleichzeitig auch konstruktive Unterstützungen anzubieten bzw. die Konfiguration durch wissensbasierte 3D-Geometrie-Funktionen zu erweitern. Aus derartigen Marktanforderungen haben sich in jüngster Zeit sogenannte **3D-Konfiguratoren** entwickelt, die diese Mankos auszugleichen versuchen.

Die diagonal gegenüberliegende Position (Konfigurationsunterstützung: niedrig; Auslegungs- und Konstruktionsunterstützung: hoch) ist die Domäne von **KBE**. Ihr Ursprung geht auf traditionelle, wissensbasierte Systeme zurück, die nach und nach um Engineering spezifische Funktionen erweitert wurden. Die Schwerpunkte liegen hier v. a. in rechnergestützten Auslegungsverfahren. Die von Konstrukteuren in jüngster Zeit zunehmend geforderte bessere Integration von KBE in CAD bzw. die Erweiterung von CAD um Funktionen zur Konstruktionsautomatisierung brachte Lösungen mit der Bezeichnung **„Design Automation"** (DA) hervor.

Auch moderne CAD- und PDM-Systeme bieten heute erweiterte Möglichkeiten, um Konfigurations- und Auslegungsaufgaben zu lösen, wenn auch der Grad an Unterstützung in den beiden Dimensionen „Konfiguration und Konstruktion“ recht unterschiedlich ist.

Abb. 3-4: Klassierungsschema nach dem Grad der wissensbasierten Unterstützung in Bezug auf Konfigurieren und Konstruieren



3.2 IT-Systeme und deren Eignungsgrad

3.2.1 CAD – Computer Aided Design

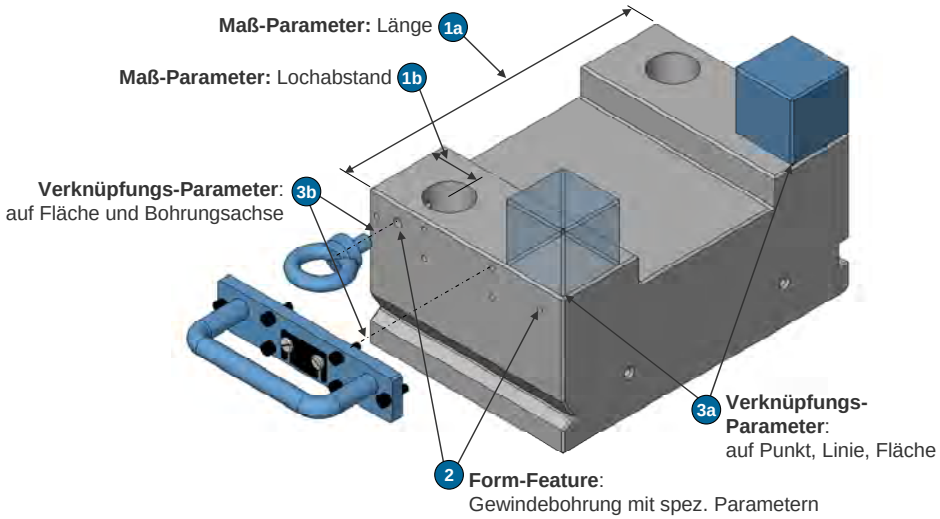
3D-CAD-Systeme sind ein Kernbaustein der virtuellen Produktentwicklung und aus einer Konstruktionsabteilung nicht mehr wegzudenken. Eine Hauptaufgabe ist die möglichst realitätsnahe Repräsentation des Produktes im Rechner. CAD-Modelle sind Grundlage für eine frühzeitige Absicherung von Produktkonzepten durch Simulation und werden in Folgeprozessen (z. B. NC-Fertigung) als zentrale Informationsträger eingesetzt. Mit der in CAD eingebauten Parametrik und Featuretechnik ist der Konstrukteur heute in der Lage, recht komfortabel Maß- und Gestaltsvarianten zu erstellen. Die parametrische Modellierung und die Featuretechnologie bilden die Grundlage für wissensbasierte Funktionserweiterungen und sollen in einem ersten Schritt einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

Parametrische Modellierung und Feature-Ansatz

Grundlage der parametrischen Modellierung ist die sogenannte dimensionsgetriebene Geometrie, bei der Änderungen an der Geometrie durch Änderung an der Bemaßung erfolgen. Man spricht hier auch von einer bidirektionalen Assoziativität zwischen Geometrie und Maßzahl. Für einen Entwurf erstellt ein Konstrukteur zunächst skizzenhaft eine Geometrie und versieht die Geometrieelemente (Abstände, Durchmesser, Winkel etc.) mit entsprechenden

Bemaßungen. Diese Maße stellen für das Modell Randbedingungen (Constraints) dar, weshalb hier auch von einem Constraint-basierten Entwurf gesprochen wird (vgl. SPUR et. al. 1997). Constraints sind Zwangsbedingungen an die Form- und Lage-Parameter bzw. die geometrischen Objekte eines CAD-Modells. Abb. 3-5 zeigt Beispiele für die Constrainttypen „Maß-Parameter" (Element 1a, 1b) und „Verknüpfungsparameter" (Element 3a, 3b). Solcherart mit variablen Parametern und Relationen versehene Geometrien werden *„parametrische Modelle"* genannt. Parametrische Modelle sind ein effizientes Instrument zum Aufbau von Baukastensystemen. Durch Verknüpfungen auf der Bauteilebene von Bauteilen (bspw. Elementsverknüpfungen wie Flächen, Kanten, Punkte etc.) lassen sich ebenfalls mächtige, sogenannte Master-Baugruppen erstellen, aus denen sehr rasch Varianten abgeleitet werden können. FRANKE et. al. (2002) sehen in dieser Arbeitsweise eine geeignete Lösung für die schnelle Adaption kundenspezifischer Wünsche, wenn auch im Grenzfall hierbei jede Anpassung eine neu zu verwaltende Variante bedeutet.

Abb. 3-5: 3D-CAD-Modell mit Parametern, Features und Verknüpfungen



Die Konstruktion mit einfachen geometrischen Elementen und Grundkörpern entspricht nicht immer der Vorstellung des Konstrukteurs, der vielfach in Funktionen denkt. Die rechnerinterne Nachbildung dieser Vorstellungswelt wird mit dem Feature-Ansatz verfolgt. Features[1] dienen dabei der Bereitstellung häufig verwendeter Objekte. Die in ihnen gespeicherten Informationen können alle Phasen der Produktentstehung betreffen (Berechnungsfeatures, Fertigungsfeatures, Montagefeatures etc.). Für SPUR et. al. (1997) sind Features Objekte, die aus semantischen und/oder geometrischen Anteilen bestehen können (Feature := Form-Feature v Semantik). Sogenannte Form-Features sind dabei die geometriebezogenen Objekte (Kontur-, Flächen-, Grundvolumenelemente – siehe Element (2) in Abb. 3-5), die zu

[1] Einige deutsche Begriffe für „Feature" sind etwa – je nach spezifischer Sichtweise – „Funktionselement", „Konstruktionselement", „Fertigungselement", „technisches Element" usw. oder auch stärker durch die Informatik geprägte Begriffe wie beispielsweise „Konstruktionsobjekt" (VDI-2209).

einem bestimmten Zweck kombiniert worden sind (z. B. Nuten, alle Arten von Bohrungen). Zusammen mit semantischen Informationen (semantische Features) wie beispielsweise Form- und Lagetoleranzen oder Einbauregeln entstehen mächtige Objekte (Features), die als Wissensträger den Anwender in jeder Phase des Produktentwicklungsprozesses aufgabenspezifisch unterstützen (vgl. VDI-2209).

Wissensbasierte Auslegung in CAD

In der VDI-Richtlinie 2209 werden als Beispiele für Formen der Wissensunterstützung in der 3D-Modellierung u. a. die wissensbasierte Parametrik und erweiterte Features genannt. Im Unterschied zur „reinen" Parametrik, wo überwiegend Maßparameter die treibende Kraft für die Geometrie sind, wird bei der wissensbasierten Parametrik die Geometrie von Konstruktions- und Konfigurationsregeln bestimmt. Konstruktionsregeln beinhalten dabei sowohl geometrische[1] und nicht-geometrische[2] Regeln als auch Prüfregeln[3]. Bei erweiterten Features wird zusätzlich zur Geometrie Produktwissen hinterlegt, das beim Einbau deren Funktion steuert bzw. zusätzliche Eigenschaften an die Geometrie übergibt.

Eine bei modernen CAD-Systemen inzwischen weit verbreitete Zusatzfunktion sind integrierte Dimensionierungs- und Auslegungsrechnungen in Form von Konstruktionsassistenten. Dabei werden Expertenfunktionen für die Berechnung und Auslegung von Maschinen- und Funktionselementen zur Verfügung gestellt. Hierzu zählen bspw. Schraubverbindungen, Welle-Nabe-Verbindungen, Getriebe und Zahnräder, Lager, Federn, Antriebe etc. Die berechneten Parameter werden durch Verknüpfungen (Constraints) direkt mit der entsprechenden Geometrie verbunden.

Wissensbasiertes Konfigurieren in CAD

Unter den Aspekten der für diese Arbeit vorgenommenen Definition für Konfiguration sind die wissensbasierten Möglichkeiten eher begrenzt. Grundsätzlich können in einer Baugruppe für ein und dieselbe Position verschiedene Teile verknüpft werden. Per Unterdrückungsfunktion lassen sich die Teile dann „umschalten". Vielfach wird dies auch über händisch erstellte Konfigurationen gesteuert. Ein wissensbasiertes Konfigurieren ist damit nicht möglich. Hierfür ist eine individuelle Zusatzprogrammierung erforderlich. Damit könnte man eine Funktion realisieren (bspw. über ein Makro), die entweder zwischen den bestehenden Konfigurationen regelbasiert eine Auswahl trifft, oder grundsätzlich auch bestehende Teile austauscht. Das Wissen läge dabei im Programmcode. Beim Austauschen von Geometrie offenbart sich allerdings die Problematik einer aufwändigen Teilepositionierung, da implizite Verknüpfungen beim Geometrieaustausch meist verloren gehen.

---

[1] Beispiel: Breite entspricht 20 mm. Die Höhe entspricht der halben Breite.

[2] Beispiel: Wenn der Typ des Adapters dem Namen KM40 entspricht, soll ein Durchmesser einer Bohrung 5 sein, sonst 10.

[3] Beispiel: Wenn der Wert1 größer als Wert2 ist, dann soll eine Warnmeldung mit dem Text „Bitte Eingabe prüfen!" ausgegeben werden.

3.2.2 PDM – Produkt Daten Management

Das Basiswerkzeug eines Konstrukteurs bildet heutzutage ein modernes 3D-CAD-System. Für die Verwaltung der für die Produktentwicklung benötigten sowie der vom Konstrukteur „produzierten" Daten wird überwiegend auf Konzepte des Produktdatenmanagements (PDM) zurückgegriffen. Die Datenmanagementfunktionen müssen dabei direkt in die Arbeitsumgebung des Konstrukteurs integriert sein. EIGNER et. al. (2001) fasst diesen Sachverhalt zusammen mit „PDM ist das Management von produktdefinierenden Daten in Verbindung mit der Abbildung und dem Management von technisch/organisatorischen Geschäftsprozessen". Die IT-technische Unterstützung dafür sind PDM-Systeme (PDMS). PDMS sind technische Datenbank- und Kommunikationssysteme, die dazu dienen, Informationen über Produkte und deren Entstehungsprozesse bzw. Lebenszyklen konsistent zu speichern, zu verwalten und transparent für alle relevanten Bereiche eines Unternehmens bereitzustellen. Sie bilden damit eine Integrationsplattform für die verschiedenen Erzeugersysteme und hier v. a. für CAD (vgl. VDI-2219). Damit bilden PDMS das informationstechnische Rückgrat in der Produktentwicklung.

Die Hauptaufgaben bzw. anwendungsbezogenen Kernfunktionen bestehen aus (vgl. EIGNER et. al. 2001, SCHÖTTNER 1999, VDI-2219):

- **Produktdaten- und Dokumentenmanagement.** Verwaltung von produktdefinierenden Daten und den dazugehörenden Dokumenten wie CAD-Modelle, Zeichnungen, Stücklisten, Arbeitspläne usw., inklusive der verschiedenen Dateitypen und der Kopplung zu den jeweiligen Erzeugersystemen. Hierzu zählt auch das Änderungsmanagement mit Versions- und Statusverwaltung.
- **Produktstruktur- und Konfigurationsmanagement.** Erstellung und Bearbeitung von Produktstrukturen mit Ableitung verschiedener Stücklistenarten und Verwendungsnachweisen. Darüber hinaus das Management der zeitlichen Veränderungen von Produktstrukturen in Form von Konfigurationen und Versionen sowie das Management von Produktvarianten.
- **Klassifizierung und Teilefamilienmanagement.** Jede Form von Teileklassifizierung (Gruppentechnik) inkl. technischer Merkmale wie Sachmerkmalleisten (SML). Bereitstellung von effizienten Mechanismen zur Suche von Teile- bzw. Produktinformationen.

Darüber hinaus sind vielfach weitere Funktionen wie Projektmanagement, Workflow-Management, Viewing/Redlining integriert, die aber im hier diskutierten Zusammenhang wenig Bedeutung haben.

Wissensbasiertes Konfigurieren in PDM

Moderne PDMS sind grundsätzlich in der Lage, anhand einer modularen Produktstruktur, Teile-, Struktur- und Mengenvarianten über Regeln abzubilden und repräsentieren damit eine vereinfachte Form eines Produktkonfigurators. Derartige Konfiguratoren werden vorzugsweise in ATO-Produktionskonzepten (Assemble-to-Order) eingesetzt, weshalb diese auch in ERP-Systemen zu finden sind. Im SAP®-Umfeld wird bei derartigen Funktionen von Variantenkon-

figuratoren gesprochen. BLUMÖHR et. al. (2009) bezeichnen die Variantenkonfiguration als eine Verallgemeinerung der Produktkonfiguration.

HENSELER (2004) hat die Möglichkeiten der Abbildung von Konfigurationswissen in verschiedenen Systemen in seiner Arbeit untersucht. Bezüglich PDMS zeigt er auf, dass diese das Konfigurationswissen, ausgehend von den Variantenkonzepten, abbilden können, die Systeme in der Regel aber nicht alle Variantenkonzepte (Teilevarianten, Mengenvariante, Strukturvariante) unterstützen. Es wird entweder nur eine eingeschränkte Strukturvariation (bezüglich einer einzelnen Strukturbeziehung) oder die Teilevariation als systemseitiges Variantenmodell verwendet. Die Funktionsweise der Teile- und Strukturvariation wurde in Kap. 2.3.3 aufgezeigt.

Wissensbasiertes Auslegen in PDM

Zur CAD-dominierten Produktauslegung kann PDM im direkten, interaktiven Sinne wenig beitragen. Wo PDMS einen wichtigen Beitrag leisten können, ist bei der Verwaltung wesentlicher Merkmale für die Auslegung. Dies können bspw. Materialeigenschaften oder technische Merkmale (Sachmerkmale) sein. Produktkonfiguratoren und KBE-Systeme können sich dieser Informationen bedienen und in ihre Regelauswertung mit einbeziehen.

3.2.3 Produktkonfiguratoren

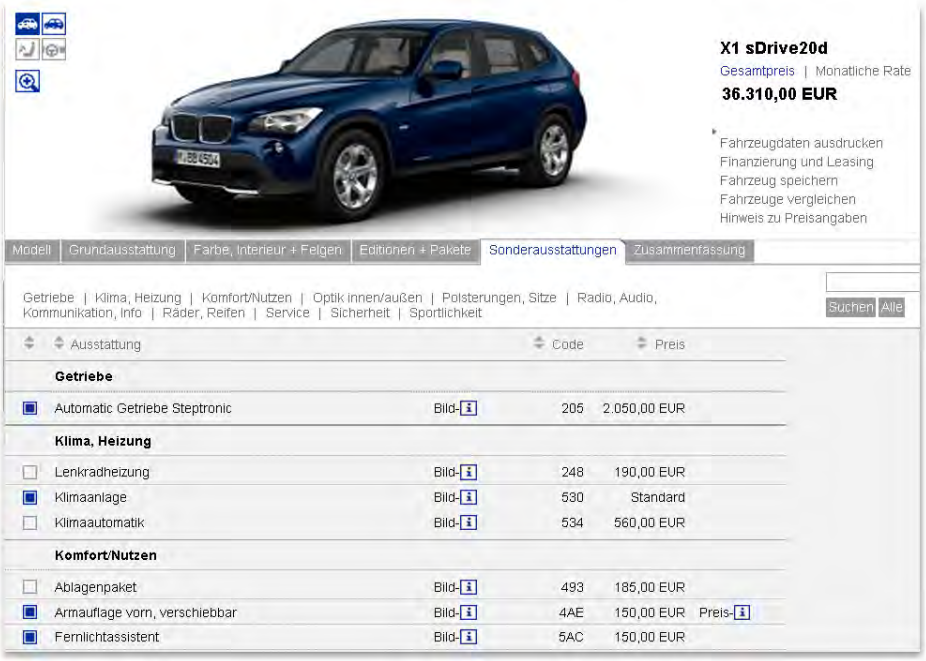
Ein beliebtes und für viele Menschen gut nachvollziehbares Beispiel für Produktkonfiguratoren sind die internetbasierten Produktkonfiguratoren diverser Automobilhersteller. Ausgehend von einem Basismodell, zeichnen sich diese Systeme durch ein schrittweises Führen durch den Konfigurationsprozess aus, bei dem, grafisch gut aufbereitet, alle Muss- und Kann-Optionen ausgewählt werden können. Neben einer integrierten und bei jedem Schritt sofort ausgeführten Plausibilitätsprüfung (bestimmte Optionen sind nur in Kombination mit anderen möglich), schätzt der Anwender v. a. die Preisangaben der einzelnen Optionen und den steten Überblick über die aktuellen Gesamtkosten des Fahrzeuges (Abb. 3-6).

Dies deutet auf den grundsätzlichen Charakter von Produktkonfiguratoren hin: Eine Fokussierung auf den Kunden, verbunden mit einer hohen Interaktion mit demselben. Der Einsatz eines solchen Werkzeuges soll u. a. auch die Kompetenz des Herstellers demonstrieren, wobei das Aussehen und die Bedienbarkeit sowie der Charakter des Konfigurationsprozesses eine zentrale Rolle spielen (vgl. REICHWALD et. al. in LINDEMANN et. al. 2006).

Produktkonfigurationssysteme (PKS) dienen der informationstechnologischen Wissens- und Aufgabenintegration mit dem Ziel, die Verkaufs- und Auftragsabwicklungsprozesse effektiv und effizient zu gestalten. PKS bringen die Kundenbedürfnisse mit den Fähigkeiten des Anbieters in Einklang und schaffen damit ein integrales Bindeglied zwischen Produktentwicklung, Fertigung und Kundenwunsch (vgl. ROGOLL et. al. 2003). Sowohl hinsichtlich Effektivität (Erweiterung des Konfigurationsumfangs) als auch der Effizienz (Kostensenkung) zählen PKS zu den wichtigsten IuK-technischen Unterstützungspotenzialen zur Umsetzung von Mass Customization (vgl. PILLER 2006). Dementsprechend liegt das Haupteinsatzgebiet im ATO/MTO-Umfeld. Am Ende des Konfigurationsprozesses stehen einerseits ein detailliertes,

durch Vertrieb und Technik geprüftes Angebot sowie die dazugehörenden Baugruppenstücklisten für eine nach Auftragserteilung möglichst rasche Einlastung ins Produktionsplanungssystem (PPS), zur Verfügung.

Abb. 3-6: Beispiel eines internetbasierten Pkw-Konfigurators (BMW 2011)



Wissensbasiertes Konfigurieren in Produktkonfiguratoren

Das regel- bzw. wissensbasierte Konfigurieren ist die Domäne der PKS. Klassische PKS weisen eine Systemarchitektur auf, wie sie bei wissensbasierten Systemen anzutreffen sind. Mit einer expliziten Wissensbasis und einer Problemlösungskomponente sind sie auch für komplexere Konfigurationsaufgaben ausgelegt. So kann die Anzahl an theoretisch möglichen Kombinationen (bspw. bei den genannten Pkw-Konfiguratoren) in die Milliarden[1] gehen.

In der Wissensbasis sind die Konfigurationsregeln von Produktspezialisten enthalten. Dies ermöglicht bspw. einem Vertriebsmitarbeiter, ein detailliertes, kundenindividuelles und technisch machbares Produktangebot ohne zeitaufwändige Rückfragen in der Konstruktion zu erstellen. Eine für Unternehmen wichtige Funktion in Produktkonfiguratoren sind Vorzugsregeln bzw. Kombinationsverbote. Hiermit können die Variantenvielfalt und somit die Herstellkosten gezielt gesteuert werden.

[1] Beim angeführten Beispiel (Abb. 3-6) des BMW-Konfigurators sind für den Modelltyp „X1 xDrive20d" allein bei den Sonderausstattungen theoretisch (ohne Kombinationsverbote) 8.203.000 Kombinationen möglich. Dies ergibt sich aus der Multiplikation der Optionen (Getriebe:2, Komfort/Nutzen:15, Lenkrad:5, Optik außen:16, Polsterung/Sitze:4, Radio/Audio/Kommunikation:19, Sicherheit:9, Sportlichkeit:5). Werden bspw. noch Lackierungen (13), Stoff- und Lederfarben (11) sowie die Motorisierung (7) miteinbezogen, explodiert die Kombinatorik in die Milliarden.

Wissensbasiertes Auslegen in Produktkonfiguratoren

Wie bereits bei PDMS angeführt, kann die Produktkonfiguration im hier verstandenen Sinne wenig zur Auslegung von Bauteilen beitragen. Im erweiterten Sinn kann ein regelbasiertes Zusammenstellen der richtigen Bauteile als Auslegen einer Baugruppe verstanden werden. Das Ergebnis ist eine Stück- bzw. Bestellliste der richtigen Bauteile und enthält damit wenig Informationen über den Zusammenbau.

Bedingt durch eine erhöhte Nachfrage nach konfigurationsbegleitenden, technischen Unterlagen (bspw. Zeichnungen, 3D-Ansichten, 3D-CAD-Modelle), werden zunehmend Kopplungen zwischen PKS und CAD realisiert. Derartige Konzeptionen sind unter den Namen **3D-Produktkonfiguratoren** oder **CAD-Konfiguratoren** bekannt. Das CAD-System wird dabei regelbasiert ferngesteuert – die gesamte Intelligenz liegt im Konfigurator. Derartige Systeme werden vorzugsweise durch technische Vertriebsmitarbeiter genutzt, die einen Zugriff auf und ein Basisverständnis für das CAD-System haben. Neben den verbesserten Angebotsunterlagen ergeben sich nach erfolgter Auftragserteilung dadurch auch Zeitvorteile für den Auftragsdurchlauf (keine bis geringere Aufwände in der Konstruktion).

3.2.4 KBE – Knowledge-based Engineering

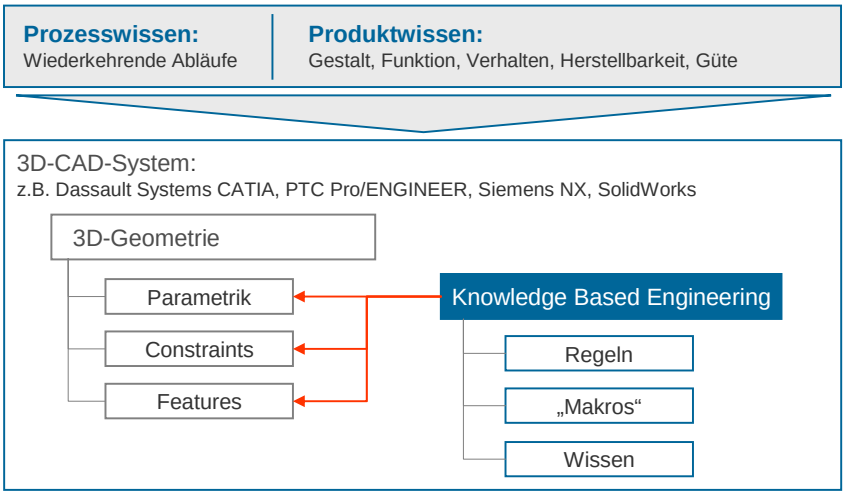
Ab Mitte der 1980er-Jahre suchten Unternehmen verstärkt nach neuen Möglichkeiten, um die Produktentwicklungszyklen mit CAD-Methoden zu verkürzen und gleichzeitig die Produktqualität zu erhöhen. Getrieben durch Anforderungen aus dem Engineering, traditionelle wissensbasierte Systeme um Geometriefunktionen zu erweitern und damit diese Technologie in den Konstruktionsprozess zu integrieren, vollzog sich der Übergang zu den heute bekannten Knowledge-based Engineering Systemen (KBES). Eines der ersten kommerziell verfügbaren Lösungen war *ICAD®* mit dem *Concept Modeller®*. ICAD besaß damals bereits alle wesentlichen Systemkomponenten heutiger KBES (eine objektorientierte Produktstrukturdefinition, einen Modellierkern zur Erzeugung von Geometrie, eine Wissensbasis sowie Werkzeuge zur Erstellung eines Benutzerinterfaces) (vgl. CHAPMAN et. al. 2007, RAFFAELI et. al. 2008).

Die Definition und die Zielsetzung von KBE bzw. KBES werden in der Literatur recht breit diskutiert. MANTWILL et. al. (2007) sehen KBE als eine Form aktiven Wissensmanagements in der Produktentwicklung mit dessen Hilfe dem Anstieg der Wissensströme in einer völlig neuen Größenordnung begegnet werden kann. VAJNA et. al. (2009) erläutert den Begriff KBE mit „Einsatz von Systemen der Wissensverarbeitung in der Produktentwicklung". KBE biete besondere Vorteile, wenn eine Kombination aus Konfiguration, (Ingenieur-)Wissen und Geometrie zur Problemlösung bzw. zur Erfüllung der Aufgabenstellung vorliege. Dies schließt u. a. die Prüfung der Einhaltung von Konstruktionsrichtlinien, Fertigungsbedingungen und der Montierbarkeit ein. Fallweise werden KBES auch mit erweiterten PKS gleichgesetzt, was eine klare Definition erschwert.

Recht einheitlich wird die Rolle von CAD im Zusammenhang mit KBE gesehen. Bei KBE steht die Integration von Produktwissen in die 3D-CAD-Modelle im Vordergrund. Diese stellen den Dreh- und Angelpunkt der digitalen Prozesskette dar (vgl. LIESE 2004, VAJNA et. al 2009). Die enge Kopplung zur CAD-Geometrie ist ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zu anderen

Expertensystemen. Damit lassen sich Konstruktionsschritte im CAD automatisiert abbilden, was als Weiterentwicklung der Feature-basierten Konstruktion verstanden werden kann (vgl. STROHMEIER 2006). Damit schafft eine geeignete Kopplung oder Integration von CAD mit dem Expertensystem eine wichtige Voraussetzung für KBE (vgl. EVERSHEIM 1998). Das Funktionsprinzip zwischen KBE und CAD ist in Abb. 3-7 dargestellt (hier als CAD-integrierte Variante). Prozess- und Produktwissen wird in Form von regelbasierten KBE-Modulen (Regeln, Makros, Wissen) in den Konstruktionsprozess eingebracht. Dieses Wissen wird durch Ansteuerung der 3D-CAD-Kernfunktionen (Parametrik, Constraints, Features) an die Geometriemodelle übergeben und unterstützt somit bspw. den Auslegungsprozess.

Abb. 3-7: Funktionsprinzip von KBE (in Anlehnung an KRAUSE et. al. 2007)



Wissensbasiertes Auslegen in KBES

Durch die enge Kopplung bzw. die Integration in CAD liegt der Anwendungsfokus auf dem wissensbasierten Konstruieren und Auslegen. Dementsprechend richtet sich das Hauptanwendungsgebiet für KBE auf das MTO/ETO-Umfeld (mittlerer bis hoher Grad an individuellen Anteilen). Teilweise kontrovers mutet die Diskussion über die Frage, wo das Konstruktionswissen abgelegt werden soll, an: direkt im CAD-Modell (bzw. in CAD-internen Wissensablagen) oder unabhängig in einer Wissensbasis. Nach Maßgabe von Expertensystemen ist eine eigenständige Wissensbasis Bestandteil des Konzeptes. Um die beiden Ansätze zu beurteilen, muss hier zwischen produktbezogenem und prozessbezogenem Wissen differenziert werden (Abb. 3-7). Für das produktbezogene Wissen (Gestalt, Funktion etc.) bietet sich eine enge „Verbindung" mit dem CAD-Modell an. Auch können hier bereits vorhandene Basisfunktionen, wie die Parametrik oder die Verknüpfungstechnik (Constraints), sehr einfach genutzt werden. So muss bspw. die Positionierung einer Führungssäule in die Führungsbohrung ohne Verknüpfungstechnik aufwändig über Referenzkoordinaten erfolgen. Ein vom CAD-Modell einfacher zu trennender Wissensinhalt ist das Prozesswissen. Hierbei geht es überwiegend um Abläufe, um Arbeitsschritte und geometrieunabhängige Regeln, für die sich eine CAD-unabhängige Speicherung anbietet. Den Vorteilen einer CAD-integrierten Wissensspeicherung (Verarbeitungsgeschwindigkeit, teilweise einfachere Regelformulierung) stehen

Nachteile beim Zugriff und der Verwaltung der Regeln von „außerhalb" gegenüber. Auf die verschiedenen Formen der CAD-Integration in KBES fokussiert Abschnitt 3.3.4 noch separat.

Bedingt durch zunehmende Anforderungen von Konstrukteuren, bestimmte CAD-Konstruktionsvorgänge selbstständig und ohne umfangreiche KBES zu automatisieren, sind in jüngster Zeit unter dem Begriff **Design Automation** neue Systemarten entstanden. Hier wird teilweise auch von einem sog. „rule-driven design" (RDD) gesprochen (vgl. RAFFAELI et. al. 2008). Design Automation zielt (wie der Name auszudrücken versucht) auf eine Erleichterung und Automatisierung der täglichen Konstruktionsarbeit ab und kann als Weiterführung der altbekannten und weitverbreiteten „Makroprogrammierung" verstanden werden. Dass die Abgrenzung zwischen 3D-Produktkonfigurator, Design Automation und KBE nicht klar zu definieren ist bzw. eine Auslegungssache bleibt, zeigen Systemangebote diverser Hersteller durch deren Einordnung ein und desselben Produktes in die verschiedenen Systemkategorien.

Wissensbasiertes Konfigurieren in KBES

Im Umkehrschluss zur Charakterisierung der wissensbasierten Funktionen in Produktkonfiguratoren (vgl. Abschnitt 3.2.3) nimmt das wissensbasierte Konfigurieren in KBES eine untergeordnete Bedeutung ein bzw. ist dies nicht das erklärte Ziel. Durch die CAD-nahe bzw. CAD-integrierte Form stehen allerdings effiziente Funktionen zur regelbasierten Positionierung von Bauteilen und damit zum Zusammenbau von Baugruppen zur Verfügung. Durch eine Erweiterung des KBE-Ansatzes um verbesserte Produktkonfigurationsfunktionen könnten hier v. a. für die Erstellung individualisierter Produkte wesentliche Verbesserungen erzielt werden.

3.2.5 Zusammenfassung und Einordnung

Der Eignungsgrad der diskutierten IT-Systeme für eine wissensbasierte Konfiguration und Auslegung von Produkten (im Auftragsfall) kann, in Abhängigkeit zu den in Abschnitt 2.1.1 definierten vier Produktarten, wie folgt zusammengefasst werden (Abb. 3-8):

CAD- und PDM-Systeme bilden die Grundlage einer modernen Produktentwicklung und sind aus der täglichen Konstruktionsarbeit nicht mehr wegzudenken. Dementsprechend sind beide Systeme an einem Konfigurations- und Auslegungsprozess beteiligt und müssen berücksichtigt werden. Für sich eigenständig bieten beide Systeme Grundfunktionen für die Produktarten bzw. Produktionskonzepte ATO, MTO und ETO. Die Domäne der KBES ist die Unterstützung beim Auslegen und Konstruieren, wohingegen die Stärke der PKS in der Konfiguration liegt. Demzufolge eignen sich KBES hauptsächlich zur Entwicklung der individuellen Anteile von MTO/ETO-Produkten. Für die komplexen Konfigurationsaufgaben bei ATO und MTO entfalten PKS ihre beste Wirkung. 3D-Produktkonfiguratoren und Design-Automation-Unterstützungen können jeweils als Weiterentwicklung der PKS bzw. KBES verstanden werden. Insbesondere für Standardprodukte mit kundenspezifischen Varianten (MTO) liefern beide Ansätze gute Voraussetzungen für die wissensbasierte Konfiguration und Auslegung/Konstruktion, wenn auch noch einige Defizite (entweder beim Konfigurieren oder beim Auslegen/Konstruieren) zu verzeichnen sind. Wie bereits eingangs erwähnt, besteht ein Optimum und somit ein „Idealsystem" aus einer Kombination eines PKS und KBES.

Abb. 3-8: Eignungsgrad von IT-Systemen für die wissensbasierte Konfiguration und Auslegung/Konstruktion (im Auftragsfall) in Abhängigkeit zur Produktart

IT-System	Produktart: Standardprodukte ohne Varianten, MTO		Standardprodukte mit herstellerspez. Varianten, ATO		Standardprodukte mit kundenspez. Varianten, MTO		Produkte nach Kundenspezifikation, ETO	
	Konfiguration	Ausl./Konstr.	Konfiguration	Ausl./Konstr.	Konfiguration	Ausl./Konstr.	Konfiguration	Ausl./Konstr.
CAD	○	○	○	○	○	◐	○	◐
PDM-System	○	○	◐	○	◐	○	○	○
KBE-System	○	○	○	○	○	●	○	●
Produktkonfig.-System	◐	○	●	○	●	○	◐	○
3D-Produktkonfiguratoren	◐	○	●	◐	●	◐	◐	◐
Design Automation	○	○	○	◐	◐	●	◐	●

Konfiguration: Eignungsgrad des IT-Systems für die Konfiguration (im Auftragsfall)
Ausl./Konstr.: Eignungsgrad des IT-Systems für die Auslegung und Konstruktion (im Auftragsfall)

● gut geeignet ◐ teilweise geeignet ○ wenig geeignet bzw. nicht sinnvoll

3.3 Gestaltungsoptionen einer IT-Unterstützung

Im vorangegangenen Abschnitt wurden IT-Systeme hinsichtlich ihrer Eignung für kundenindividuelle Aufgabenstellungen überblicksmäßig kategorisiert. Für eine praxisgerechte Auswahl und Einführung derartiger IT-Systeme ist diese Art der Einteilung noch zu ungenau. Um, passend zum Umfeld und der Aufgabenstellung, eine entsprechende Lösung konzipieren zu können, sind detaillierte Kenntnisse über mögliche Gestaltungsoptionen erforderlich. Mithilfe verschiedener Blickwinkel und Quellen werden im Folgenden relevante Systemkomponenten und Leistungsmerkmale identifiziert und deren Gestaltungsoptionen aufgezeigt. In diese Betrachtung einbezogen wurden u. a.:

- die oben vorgenommene Kategorisierung,
- eine parallel durchgeführte Marktrecherche gängiger PKS und KBES,
- verfügbare Marktstudien (Brinkop 2011, Gronau et. al. 2005, Rogoll et. al. 2003, Holthöfer et. al. 2001) sowie ausgewählte Monographien (Reichwald et. al. 2006, Piller 2006, Sandberg 2003) und Fachartikel (Abramovici et. al. 2006, Blecker et. al. 2004, Wüpping 2003, Hüllenkremer 2003) mit relevanten Informationen zu Anforderungen, Merkmalen oder Ausgestaltungsformen von PKS.

Die aufgelisteten Studien und Analysen ordnen die verfügbaren Marktlösungen anhand vorab definierten Klassierungsschemata und Kriterienlisten ein. Tabelle 3-1 listet überblicksmäßig mögliche PKS-Klassierungen.

Tabelle 3-1: Mögliche Klassierungsschemata für PKS

Brinkop (2011)	Reichwald et al. (2006) (in Anlehnung an Blecker et. al. 2004)	Gronau et. al. (2005)	Rogoll et. al. (2003)
▪ Geschäftsprozesse (hilft wem, unterstützt bei, entwickelt von, genutzt von, geeignet für) ▪ Konfigurationsansatz ▪ Anpassungen (Benutzeroberfläche, Vorlagen) ▪ Systemtechnik (Funktionen, Schnittstellen)	▪ Art der Anwender ▪ Umsetzung der Konfiguration ▪ Visualisierung ▪ Einsatzgebiet ▪ Beratung/Empfehlung ▪ Integrationslevel	▪ Produktionspositionierung (Branchenausrichtung) ▪ Integrationsfähigkeit (Schnittstellen, besteh. Daten, E-Business) ▪ Datenbasis und Funktionalität (Interaktionsmöglichkeiten, Regelprüfung) ▪ Produktvisualisierung und CAD-Integration	▪ Einsatzgebiet ▪ eingesetzte Kerntechnologien ▪ Funktionen (Anwendungsprinzip, Bedienung, Art des Regelwerkes, Datenerhebung und Datenpflege ▪ Visualisierung

Bei genauerer Betrachtung der Tabelle können mit *Einsatzgebiete*, *Anwender*, *Systemfunktionen* und *Schnittstellen* ähnliche Clusterungen festgestellt werden. Obwohl hier der Fokus auf PKS liegt, kann dies als gute Basis für eine eigene Detailbetrachtung herangezogen werden. Für die von KBES dominierten *CAD-Funktionen* wird zusätzlich eine Teilkategorie gebildet. Des Weiteren muss der *Wissensmodellierung* besonderes Augenmerk geschenkt werden. Für die anschließende Detailbetrachtung werden die Merkmale somit wie folgt gegliedert:

- Idealtypischer Systemaufbau (Bausteine einer PKA-Systemumgebung)
- Einsatzzweck und Anwendungsfokus (Auftragsarten, Zielgruppen, Lösungstypen)
- Wissensmodellierung und Konfigurationsstrategie (Wissenserfassung, -repräsentation)
- Geometrieverarbeitung und CAD-Integration (Formen der Kopplung)

Ergebnis ist eine Merkmalübersicht in Tabellenform mit jeweils einer Leitfrage und möglichen Gestaltungsoptionen. Diese Applikationstypisierung kann als Unterstützung zur Konzeption einer PKA-Wunschlösung (Idealsystem) oder zur Einordnung einer anvisierten Marktlösung herangezogen werden.

3.3.1 Idealtypischer Systemaufbau

In der Einleitung (siehe Kap. 1.4) wurde bereits der Begriff „*PKA*" (Produktkonfiguration und Auslegung) bzw. *PKA-System* als stellvertretende Bezeichnung für alle artverwandten Lösungen im PKS- und KBES-Umfeld eingeführt. Für eine weitere, vertiefte Diskussion über Komponenten eines PKA-Systems müssen begrifflich zwei Konstellationen unterschieden werden:

1. **PKA-Applikationsgenerator**
   Ist die Softwarelösung zur Gestaltung und zum Aufbau einer Unterstützung. Hiermit sind nicht die „fertigen" Anwendungen zur Konfiguration eines bestimmten Produktes oder einer bestimmten Produktfamilie gemeint, sondern generische Softwarelösungen, die es Produktanbietern bzw. Herstellern ermöglichen (oftmals mit Unterstützung des Softwareanbieters), eine produktspezifische PKA-Anwendung zu gestalten und umzusetzen. So

gesehen handelt es sich bei derartigen Werkzeugen ihrerseits wieder um eine Art Konfigurator (Entwicklungsumgebung/Toolbox/Werkzeugkasten zum Bau einer Unterstützung).

2. PKA-Applikation (PKA-AP)
   Ist die fertig konfigurierte bzw. erstellte Unterstützung. Dies ist eine Instanz, eine bestimmte Ausprägung von (1), die, abgestimmt auf eine spezifische Problemstellung (Produkt, Produktfamilie), mithilfe von Regeln den Endnutzer bei seiner Produktfindung unterstützen soll.

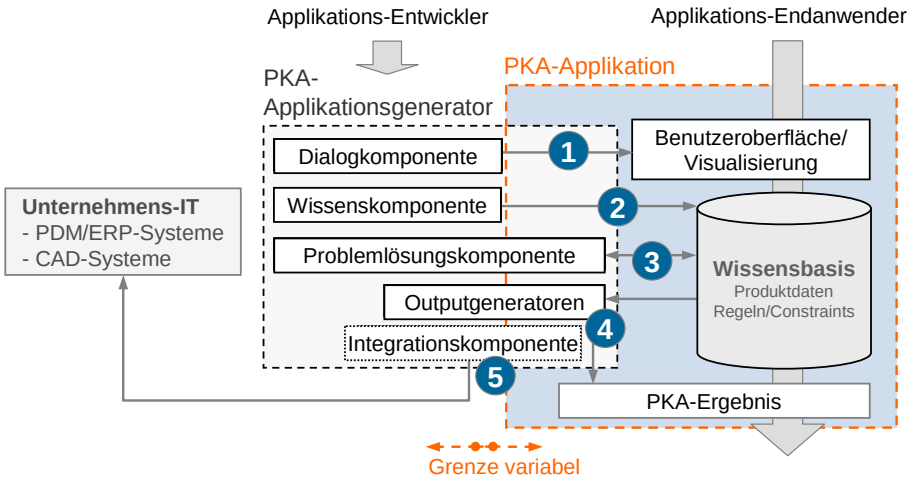
PKA-Systeme weisen i. A. die Basisarchitektur von wissensbasierten Systemen auf (vgl. Abschnitt 3.1.1). Anbieter solcher Systeme modularisieren ihre Softwarelösungen in unterschiedlicher Weise und erweitern die Systembausteine laufend um spezielle Zusatzfunktionen. Dies kann teilweise auf die historische Entwicklung und Evolution der Lösungen zurückgeführt werden. Auch spielen dabei die zugrunde liegende Softwaretechnologie, die Betriebsform der Endanwendung sowie steigende und sich verändernde Kundenanforderungen eine entsprechende Rolle.

Ein sehr feingranulares Bausteinkonzept hat bspw. der Konfigurator der Firma ACATEC® (2008). Dieser unterscheidet bis zu 13 Systemkomponenten, sogenannte *Designer*. Der Lösungsanbieter PERSPECTIX® (2006) spricht bei den Bausteinen seiner *Software Suite* von sogenannten *Engines* und unterteilt diese in fünf Module (*Configuration-, Sales-, Presentation-, Connectivity-, Content-Engine*). PILLER (2006) sieht trotz einer Vielzahl von Gestaltungsalternativen drei idealtypische Komponenten für ein Konfigurationssystem. Dies ist zum ersten eine Konfigurationskomponente, die alle Abstimmprozesse zur Definition eines individuellen Produktes vornimmt und den Benutzer zur für ihn optimalen Variante führt. Weiters eine Präsentationskomponente, die eine gültige Produktkonfiguration erstellt und diese, in (meist) grafischer Form, zielgruppenbezogen visualisiert. Als dritte Komponente führt er Auswertungswerkzeuge an. Diese setzen die optimale Variation fertigungsgerecht in Stücklisten, Konstruktionszeichnungen, Arbeitspläne etc. um und übermitteln die notwendigen Informationen an andere Unternehmensbereiche wie zum Beispiel die Auftragsbearbeitung oder Produktionsplanung.

Die genannten Bausteine beziehen sich überwiegend auf die Produktkonfiguration. Für die Produktauslegung sind zusätzlich CAD-Funktionen erforderlich. Die Verfügbarkeit und die Interaktion mit Geometrie spielt eine bedeutende Rolle. Neben der *Benutzeroberfläche*, der *Regelverarbeitung* und einem *Regeleditor* sieht SCHNEIDER (2007) deshalb einen Geometrie-Modellierer als eines von vier wichtigen Funktionsmodulen zur Gestaltung eines PKA-Systems. Diese Funktion kann je nach Integrationskonzept von einem eigenständigen Geometriemodul oder aber von einem gekoppelten oder integrierten CAD-System übernommen werden. Die CAD-Integration wird in Abschnitt 3.3.4 noch gesondert diskutiert.

Abb. 3-9 zeigt einen idealtypischen Aufbau einer PKA-Systemumgebung mit fünf benannten Kernbausteinen. Die funktionale Grenze zwischen Generator und Applikation ist dabei variabel bzw. nicht bei jeder Lösung klar zu bestimmen. Zur Charakterisierung ist dies jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Abb. 3-9: Idealtypischer Systemaufbau einer PKA-Systemumgebung mit fünf Kernbausteinen



❶ Dialogkomponente und Benutzeroberfläche/Visualisierung

Der Benutzer bzw. Anwender eines Systems erwartet grundsätzlich eine intuitive, der Aufgabe angemessene und dem Stand der Technik entsprechende Benutzeroberfläche. Mithilfe einer **Dialogkomponente** wird die Oberfläche für die Selektion bzw. Eingabe von Produktmerkmalen, die prozessbegleitende Visualisierung über den aktuellen Stand der Arbeit, die Interaktion mit den Produktkomponenten sowie die Ergebnispräsentation entwickelt. Existierende Methoden reichen hier von grafikbasierten, interaktiven Oberflächen-Designtools bis hin zu frei programmierten Dialogen auf Basis von Klassenbibliotheken. Vielfach gelangen Dialogkomponenten zum Einsatz, die Oberflächen zur Laufzeit generisch aus der Wissensbasis heraus aufbauen. Dies ermöglicht eine einfachere Pflege und bietet einen konfigurativen Zugang (ohne Programmierkenntnisse) zur Interfacegestaltung, was u. U. auf Kosten einer praktischen Anordnung der Dialoge gehen kann.

Zu den Visualisierungsaufgaben zählt auch die interaktive Präsentation der PKA-Ergebnisse. PILLER (2006) sieht in der Funktion *„Visualisierung der gefundenen Konfiguration"* einen wichtigen Beitrag für den Kunden, um die Erfüllung seiner individuellen Wünsche zu überprüfen. „Die Visualisierung steht dabei stellvertretend für die im Falle der Individualfertigung nicht mögliche Begutachtung der gekauften Leistung bei Vertragsabschluss." Bestimmte PKA-Ergebnisse müssen vor der Präsentation erst aufbereitet werden. Diese Funktion wird von den Outputgeneratoren übernommen (siehe Baustein 4 – Outputgeneratoren).

Weiters entscheidet die **Interaktionsform** bzw. Interaktionsrate mit dem System (Zyklus zwischen Eingabe und Visualisierung der damit eventuell verbundenen Veränderung) ebenso über die Gestaltung des Userinterface. Diese kann sich von der Anzeige eines jeden einzelnen Eingabeschrittes über die paketweise Abarbeitung mehrerer Eingaben bis hin zu einer Stapelverarbeitung (Batch-Betrieb) erstrecken. Letzteres wird vielfach im Zusammenhang mit Kundenanwendungen über das Internet angewendet, bei denen zur Verbesserung des Antwortzeitverhaltens oder Zugriff auf Remote-Funktionen des Anbieters Arbeitspakete vom System nur im Ganzen bearbeitet werden.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Systembaustein *Dialogkomponente und Benutzeroberfläche/Visualisierung*:

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen		
Dialogkomponente Welche Formen zur Gestaltung/Entwicklung der Oberfläche existieren?	Individuelle Entwicklung/Programmierung	Mittels grafisch interaktivem Dialog-Editor (keine Programmierung)	Generisch aus der Wissensbasis
Interaktionsformen Wie gestaltet sich die Ausführung nach Interaktion mit einem Eingabewert?	Jederzeitige sofortige Ausführung und Anzeige	Optionale Ausführung durch explizites Anwählen von „jetzt updaten“	durch klassischen Batch-Betrieb („alles“ eingeben – „alles“ ausgeben)

❷ Wissenskomponente und Wissensbasis

Mithilfe der Wissenskomponente wird eine spezifische Konfigurations- und Auslegungsaufgabe definiert und in der Folge auch gepflegt. Sämtliche hierfür benötigten Daten und Informationen werden in einer Wissensbasis abgelegt.

Die **Wissenskomponente** als Teil des PKA-Applikationsgenerators ist das Entwicklungssystem für den Aufbau der Produktwissensbasis und kann im übertragenen Sinne auch als Wissensmanagement-System bezeichnet werden. Diese Komponente kann als ein Set von Einzelwerkzeugen gestaltet oder in einem einheitlichen, zentralen Modellierungstool ausgestaltet sein. Mithilfe von Modellierungswerkzeugen werden Produktstrukturen aufgebaut, Konfigurationsregeln definiert sowie Basisdaten (Produktinformationen) der Produktkomponenten eingebracht. Für alle Aufgaben zur Pflege und Verwaltung der Wissensbasis stellt die Wissenskomponente den Zugang (das Userinterface) zur Verfügung. Auf die Wissensmodellierung wird in Abschnitt 3.3.3 noch näher eingegangen. Grundsätzlich sind auch der Aufbau und die Modellierung der Geometrieobjekte eine Aufgabe für die Wissenskomponente. Dies ist abhängig vom angewendeten Geometrieverarbeitungskonzept, das dafür entweder eine eigene Komponente vorsieht oder diese Aufgabe in ein gekoppeltes CAD-System verlagert.

Die Ablage bzw. der Speicherort für das mit der Wissenskomponente eingebrachte Produktwissen ist die **Wissensbasis (WB)**. Sie repräsentiert die Datenbank für eine spezifische PKA-Aufgabe, in der das Wissen strukturiert abgelegt und für die PKA-AP zugänglich ist. Beispiele typischer Inhalte sind: Produktstruktur, Regeln, Entscheidungstabellen, Makros, Dokumentvorlagen, Stammdaten, Produktklassifizierungen, ggf. 3D-Modelle, Bilder etc. Insbesondere für den Fall einer generischen Benutzeroberfläche sind alle dafür notwendigen Informationen ebenfalls in der WB abgelegt. Fallweise (insb. bei KBES) wird das Wissen statt in einer klassischen WB direkt in CAD gespeichert.

Die **Speicherkonzepte** von Wissensbasen reichen von proprietären Speicherformen bis hin zu relationalen oder objektorientierten Standarddatenbanken. Zunehmend werden auch Semantic-Web basierende Wissensrepräsentationen (bspw. OWL[1]) eingesetzt. Dieser W3C-

[1] Web Ontology Language (OWL) ist eine vom World Wide Web Consortium (W3C) herausgegebene Spezifikation, um Ontologien (formalisiertes Wissen) zu erstellen, zu publizieren und zu verteilen.

Standard wurde speziell für die ontologie-basierte Produktmodellierung entwickelt und vereinfacht durch eine standardisierte Beschreibungssprache die Kommunikation mit den Wissensinhalten. Die in obigem Abschnitt aufgezeigten Betriebsformen haben ebenfalls maßgebenden Einfluss auf das Speicherkonzept und bestimmen im Wesentlichen, ob eine lokale, file-basierte Abbildung (z. B. XML[1]) ausreichend ist oder auf eine zentrale Datenbank zurückgegriffen werden muss. Zentral zur Verfügung gestellte Informationen vereinfachen die Pflege und Aktualisierung der Daten und reduzieren den Verteilungsaufwand bei steigenden Benutzerzahlen. Bei einer Verwaltung über reine File-Zugriffe sinken demgegenüber die Netzwerk- und Systemanforderungen.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Systembaustein *Wissenskomponente und Wissensbasis*:

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen			
Wissenskomponente Wie ist die Wissenskomponente aufgebaut?	Einheitliches, zentrales Modellierungswerkzeug		Einzelne Module/Werkzeuge für z. B. Struktur, Produktdaten, Regeln, Klassifizierung etc.	
Wissensbasis Existiert eine explizite Wissensbasis?	Keine explizite WB vorhanden	WB im CAD-System	Klassische, explizite WB	
Speicherkonzept der Wissensbasis In welcher Form werden Produktinformationen gespeichert?	Proprietäre Ablage	Standard-DB-System (relational, objektorientiert)	In file-basierter, standardisierter Form (z. B. XML, OWL)	

❸ Problemlösungskomponente

Zur Verarbeitung, Berechnung und Auswertung der in der Wissensbasis gespeicherten Regeln und Bedingungen ist die Problemlösungskomponente[2] zuständig. Sie enthält anwendungsunabhängige Lösungsstrategien zur Interpretation der fachspezifischen Wissensinhalte und Steuerung von Schlussfolgerungsprozessen (vgl. SPUR et. al. 1997). Bei professionellen Problemlösungskomponenten ist die Reihenfolge der eingebrachten Regeln beliebig. Bei jeder Interaktion findet eine komplette Regel- und Plausibilitätsprüfung statt. Diese macht ggf. auf Fehler aufmerksam und unterbreitet Änderungsvorschläge für Parameter, die für die Lösungskonflikte verantwortlich sind. Nachdem die Problemlösungskomponente maßgeblich von der Art der Wissensrepräsentation beeinflusst wird, werden deren charakterisierende Merkmale im Abschnitt „Wissensmodellierung" aufgeführt.

[1] Extensible Markup Language (XML) ist eine vom W3C herausgegebene Spezifikation (Auszeichnungssprache in Textform), die sich insbesondere zum plattformunabhängigen Austausch und zur Darstellung hierarchisch strukturierter Daten eignet.

[2] Die Bezeichnungen für derartige Komponenten sind teilweise recht unterschiedlich und werden i. d. R. von der Art der Wissensrepräsentation bestimmt. So werden bspw. Begriffe wie Constraint-Engine, Constraint-Solver (Regelauswerter), Expertenkomponente, Inferenzmaschine/-komponente, Gleichungslöser etc. verwendet.

❹ Outputgeneratoren und PKA-Ergebnis

Outputgeneratoren sind für die bedarfsgerechte Aufbereitung der PKA-Ergebnisse zuständig. Hierzu zählen primär die Konfigurationsergebnisse in Form von Stücklisten und die Auslegungsergebnisse in Form von Geometriemodellen und Konstruktionszeichnungen. PKA-Lösungen werden vielfach auch als mächtiges Werkzeug zur Angebotserstellung eingesetzt. Basierend auf Vorlagen und einer Kopplung zu Textverarbeitungsprogrammen, können bspw. individuell bebilderte und mit Kalkulationen versehene Angebotsdokumente erstellt werden. Auch die Aufbereitung bzw. Bereinigung von CAD-Masterbaugruppen, bei der nicht benötigte Geometrieoptionen gelöscht werden, können zu den Outputgeneratoren gezählt werden.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Systembaustein *Outputgeneratoren:*

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen		
Outputgeneratoren Welche Ausgabe- und Aufbereitungsmöglichkeiten stehen zur Verfügung?	Bereinigung der Masterbaugruppen	Ausgabe von Konstruktionszeichnungen	Erstellung von Angebotsdokumenten

❺ Integrationskomponente und Betriebsformen

Wie bereits erwähnt, kommt der Integration einer PKA-Lösung in die CAD/PDM-zentrierte Arbeitsumgebung des Konstrukteurs eine hohe Bedeutung zu. Die Anbindung an diese Systeme ist Aufgabe der Integrationskomponente. Diese stellt die erforderlichen Schnittstellen und Connectoren zu Verfügung. Eine PDM-Kopplung ermöglicht den Zugriff auf konfigurationsrelevante Standardkomponenten (bspw. Variantenteile) wie auch die Verwaltung der neu entstandenen Produkte. PDM-Kopplungen werden entweder durch spezifische PDMS-Connectoren gelöst oder es bestehen Schnittstellen zu den gängigen Datenbanksystemen. Teilweise stehen auch Programmschnittstellen (API – Application Programming Interface) zur eigenständigen Anbindung von Fremdsystemen zur Verfügung. Hierfür müssen Programmaufrufe, bspw. bei der Initialisierung einer PKA-Aufgabe, möglich sein. Die CAD-Einbindung wird gesondert in Abschnitt 3.3.4 diskutiert.

Abhängig von der Zielgruppe der Endanwender müssen fallweise unterschiedliche Betriebsformen berücksichtig werden. Ein Konstrukteur in einem kleinen Entwicklerteam arbeitet überwiegend lokal an seiner CAD-Workstation und im Datennetzwerk des Teams. Bei standortübergreifenden Entwicklerteams sind unternehmensweite, serverbasierte Lösungen erforderlich. Soll der Zugriff auf die PKA-AP von außerhalb des Firmennetzwerkes möglich sein, sind webbasierte Betriebsformen erforderlich. Als Beispiel für eine Gliederung unterschiedlicher Betriebsformen sei hier die Lösung von ACATEC (2008) angesprochen. Mit einer Unterteilung in zwei Betriebsarten (Live und Batch) und drei Client-Zugriffsformen (lokal, remote, web) können sechs verschiedene Betriebsformen realisiert werden.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Systembaustein *Integrationskomponente und Betriebsformen:*

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen		
Integrationskomponente Welche Schnittstellen bzw. Connectoren sind verfügbar?	Connector für spezifisches PDM	Schnittstellen zu gängigen Datenbanken	Eigene Programm-Aufrufe möglich (API)
Betriebsformen Welche Formen des Betriebes sind möglich?	Lokale Anwendung am Arbeitsplatz	Unternehmensweite Lösung	Webbasiert (über das Internet)

3.3.2 Einsatzzweck und Anwendungsfokus

Anbieter von PKA-Unterstützungen konzentrieren sich (teilweise historisch bedingt) auf unterschiedliche Produkttypen, Zielgruppen und Einsatzzwecke. Anhand solcher Merkmale lassen sich jene Gestaltungsoptionen beschreiben und diskutieren, die maßgebend für eine zielführende Konzeption und Gestaltung einer PKA-Lösung sind. Die folgenden Kriterien erscheinen dabei wesentlich:

- Erzeugnisspektrum mit zugehörigem Produktionskonzept: Welche Produkttypen bzw. Auftragsarten werden (vorzugsweise) unterstützt?
- Zielgruppen, Anwendungsfokus: Wer ist Hauptanwender? Wem hilft das System? Aus welchen Unternehmensbereichen stammen die Anwender?
- Lösungstyp: Wo liegt der Schwerpunkt hinsichtlich Konfigurieren (Produktkonfigurator) und Auslegen/Konstruieren (KBE-System)?

Erzeugnisspektrum und Produktionskonzept

PKA-Systemanbieter ordnen ihre Lösungen vielfach in die aus Kap. 2.1.1 bekannten Produktarten und Produktionskonzepte (Auftragsarten) ein bzw. „spezialisieren" sich auf eine bestimmte Kategorie. Damit kann grundsätzlich auf das Wesen einer Lösung und deren funktionalen Schwerpunkte geschlossen werden. Teilweise werden auch mehrere Produktarten unterstützt. Die Charakteristiken der einzelnen Ausprägungen wurden bereits hinreichend diskutiert. Die Optionen MTS, ATO, MTO, ETO werden nachstehend nochmals kurz zu einer PKA-AP in Beziehung gebracht.

Bei Make-to-Stock (MTS) geht es um eine einfache Auswahl fertiger Produkte (Erzeugnisspektrum: Produkte ohne Varianten). Der Kunde wählt das gewünschte Produkt aus einer angebotenen Produktpalette. Die einfache Auswahl entspricht einer Katalogfunktion. Dementsprechend kann eine PKA-AP auch als digitaler Produktkatalog ausgeführt und verwendet werden. Im Falle der Auftragsart Assemble-to-Order (ATO) – (Erzeugnisspektrum: Standardprodukte mit herstellerspezifizierten Varianten) können vordefinierte Varianten in der PKA-AP zusammengestellt werden. Aufgrund dieses Verhaltens (nur Konfiguration – keine Auslegung) werden derartige Applikationen auch Variantengeneratoren genannt. Bei Make-to-Order (MTO) – (Erzeugnisspektrum: Standardprodukte mit kundenspezifizierten Varianten) wird kundenauftragsspezifisch produziert, wobei speziell die vorgedachten Komponenten noch hohe individuelle Ausprägungen ermöglichen. Es entstehen neue Teile, die auch entsprechend ausgelegt (dimensioniert) werden müssen. In der hier notwendigen Kombination von Konfiguration und Auslegung liegt der Hauptnutzen bzw. das Haupteinsatzgebiet der

PKA-AP. Für Produkte mit einem sehr hohen Spezialisierungsgrad wird das Engineer-to-Order (ETO) Produktionskonzept angewendet (Erzeugnisspektrum: Produkte nach Kundenspezifikation). Für individuelle Produktteile werden in der Produktstruktur Platzhalter vorgesehen. Die Aufgabe einer PKA-AP für derartige Platzhalter ist die automatische Spezifikationsermittlung anhand der Randbedingungen bzw. die Speicherung dieser auf der Basis von Kundeneingaben. Die Regelwerke für PKA-AP weisen bei ETO den höchsten Komplexitätsgrad auf. In der Praxis werden deshalb PKA-Unterstützungen vielfach nur für Teilbereiche eines kompletten Produktangebotes aufgebaut.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für das *Erzeugnisspektrum* und das *Produktionskonzept:*

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen			
Produktionskonzepte Welche Produktionskonzepte bzw. Auftragsarten werden unterstützt?	Make-to-Stock (MTS)	Assemble-to-Order (ATO)	Make-to-Order (MTO)	Engineer-to-Order (ETO)
Erzeugnisspektrum Welche Produkttypen werden unterstützt?	Produkte ohne Varianten	Standardprodukte mit herstellerspezifizierten Varianten	Standardprodukte mit kundenspezifizierten Varianten	Produkte nach Kundenspezifikation

Zielgruppen und Anwendungsfokus

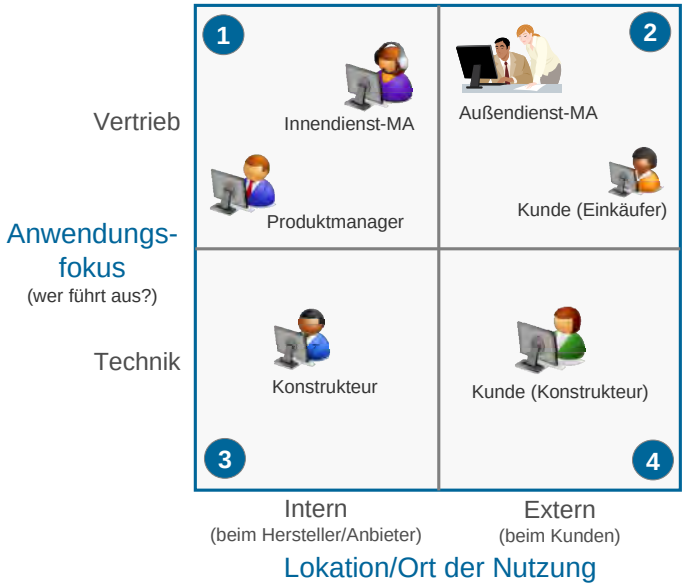
Eine PKA-AP kann verschiedene Einsatzgebiete ansprechen und speziell auf die Unterstützung bestimmter Zielgruppen ausgerichtet sein. Dies wurde ansatzweise bereits bei der Betrachtung der Betriebsformen diskutiert. REICHWALD et. al. (2006) nehmen eine Einteilung der Zielgruppen über die Frage vor, ob sich der Einsatzzweck direkt an Kunden richtet oder als Hilfsmittel für Mitarbeiter des Herstellers gedacht ist. Nachdem PKA-AP mitunter auch leistungsfähige Funktionen für das Auslegen und Konstruieren aufweisen und sich damit eher an Nutzer aus Technikbereichen (z. B. Konstrukteure) wenden, wird für diese Betrachtung die von REICHWALD vorgeschlagene Einteilung nach dem Ort der Nutzung (*Intern: beim Hersteller*, *Extern: beim Kunden*) um dem Anwendungsfokus (*Vertrieb* und *Technik)* erweitert (Abb. 3-10).

Das Betrachtungsfeld (1)[1] repräsentiert die Sichten des Produktanbieters mit einem Fokus auf die Vertriebsaspekte. Zielgruppen hier sind schwerpunktmäßig der *Vertriebsinnendienst*. Beim *Vertriebsinnendienst* handelt es sich um klassische Verkaufsmitarbeiter, die anhand einer Kundenanfrage ein Angebot erstellen. Kommt es zu einer Bestellung des solcherart generierten Leistungsangebotes durch den Kunden, kann der Vertriebsmitarbeiter beim Auftragsmanagement durch eine Stücklistengenerierung aus der PKA-AP effizient unterstützt

[1] **Beispielszenario für das Betrachtungsfeld (1):** Beschaffung einer HSC-Fräsmaschine mit Werkzeugwechsler und Palettenbahnhof für die Fertigung von Graphitelektroden. Die Beschaffung wird zentral vom Einkauf nach den Vorgaben der Elektrodenfertigung koordiniert und abgewickelt. Gemeinsam wurde ein Lastenheft erarbeitet. Auf Basis dieses Lastenheftes konzipiert der Werkzeugmaschinenhersteller mithilfe einer eigens dafür entwickelten PKA-AP eine kundenindividuelle HSC-Fräsmaschine und erstellt dafür ein detailliertes Angebot.

werden. Im vorliegenden Betrachtungsfeld ist als Nutzer und Anwender auch das *Produktmanagement* zu erwähnen. Die Aufgabe des Produktmanagements besteht in der Eingabe, Wartung und Pflege der Produktdaten bzw. Wissensbasis. Produktmanager sind somit zwar Anwender des Systems, werden aber in der vorliegenden Betrachtung als Zielgruppe nicht weiter diskutiert.

Abb. 3-10: Einteilung der Zielgruppen nach Anwendungsfokus und Ort der Nutzung



Im **Betrachtungsfeld (2)**[1] stehen ebenfalls Vertriebsaspekte im Mittelpunkt. Die Betrachtungen werden allerdings aus Sicht des Kunden angestellt. Zielgruppen hier sind schwerpunktmäßig der *Vertriebsaußendienst* des Produktanbieters und der *Kunde* selbst (z. B. ein *Einkäufer)*. Der Außendienstmitarbeiter bedient nach den Wünschen und Vorgaben des Kunden interaktiv die PKA-AP. Auswirkungen und Ergebnisse können dabei sofort diskutiert und beurteilt werden, was den Lösungsfindungsprozess bedeutend vereinfacht und beschleunigt. In bestimmten Fällen möchte der *Kunde (z. B. ein Einkäufer)* selbstständig, ohne direkte Unterstützung durch einen Vertriebsmitarbeiter seine individuelle Produktlösung finden. Diese Konstellation wird auch „Selbstkonfiguration" genannt. PILLER (2006) spricht hier von einer Verlagerung des Konfigurationsvorganges auf den Kunden, was erhöhte Anforderungen an eine Erklärungskomponente stelle.

[1] **Beispielszenario für das Betrachtungsfeld (2):** Beschaffung einer Industrieküche für ein Großrestaurant im Rahmen eines Hotelprojektes. Fall A: Anhand der Pläne und nach einer Begehung der Baustelle konfigurieren der Außendienstmitarbeiter des Küchenherstellers, der künftige Küchenchef und der Projektleiter des Hotelprojektes gemeinsam im Büro der Baufirma die neue Küche. Fall B: Die Baufirma hat einen eigenen Spezialisten für Industrieküchen, der regelmäßig mit dem Küchenhersteller zusammenarbeitet. Über einen verfügbaren Industrieküchenkonfigurator plant und erarbeitet sich der Spezialist eigenständig die neue Industrieküche.

Die **Betrachtungsfelder (3)[1] und (4)[2]** stellen technische Aspekte in den Mittelpunkt und richten sich an die Zielgruppe der *Konstrukteure*. Im Betrachtungsfeld (3) sind dies die Konstrukteure des Produktanbieters, im Feld (4) die Mitarbeiter aus der Konstruktion des Kunden. Werden grundsätzlich zur Lösungsfindung konstruktionsnahe Leistungen benötigt, kann dies allein auf der Vertriebsschiene nicht mehr abgewickelt werden. Dies trifft insbesondere für all jene Fälle zu, in denen durch kundenindividuelle Wünsche Neuteile entstehen, Platzhalter noch ausdetailliert werden müssen oder bestimmte Anforderungen die Anwendung eines CAD-Systems voraussetzen. Speziell bei komplexeren Projektierungen im Maschinen-, Anlagen- und Werkzeugbau ist dies häufig der Fall. Hier liegt die Stärke von PKA-Applikationsformen mit integrierten Geometriefunktionen und wissensbasierten Auslegungsassistenten.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Bereich *Zielgruppen/Anwendungsfokus:*

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen			
Zielgruppen/Anwendungsfokus Welche Zielgruppen werden primär unterstützt bzw. sind Hauptanwender der Lösung?	Vertriebsmitarbeiter des Produktanbieters	Beschaffung beim Kunden (z. B. Einkäufer)	Technikmitarbeiter (Konstrukteure) des Produktanbieters	Technikmitarbeiter (Konstrukteure) des Kunden

Zuordnung zu Lösungstyp/Systemkategorie

Im Abschnitt 3.1.2 wurde eine erste Kategorisierung von IT-Unterstützungen für die Produktindividualisierung vorgenommen. Diese orientiert sich am Grad der Möglichkeiten zur Wissensunterstützung im Hinblick auf Konfigurieren und Auslegen/Konstruieren (vgl. Abb. 3-4) und ist jeweils in drei Stufen (niedrig, mittel, hoch) untergliedert. Die Diskussion und Einordnung einer PKA-Lösung in dieses Klassierungsschema kann hilfreiche Erkenntnisse liefern. Die Bedeutung der drei Stufen (niedrig, mittel, hoch) wird dabei wie folgt verstanden:

Grad der Möglichkeiten zur Wissensunterstützung beim **Konfigurieren**

- **niedrig**: Es existieren nur sehr eingegrenzte Möglichkeiten, um Konfigurationsregeln zu definieren und anzuwenden. Diese werden mittels vordefinierter Entscheidungstabellen ins System eingebracht. Die Konfiguration beschränkt sich weitestgehend auf ein einfaches, durch einen Katalog vordefiniertes Zusammenstellen von Produktkomponenten.

[1] **Beispielszenario für das Betrachtungsfeld (3):** Ein auf flexible Montageprobleme spezialisierter Systemanbieter konzipiert und baut Montageanlagen für Kunden zur Assemblierung von mechanischen Produkten mit hohen Stückzahlen. Der technische Vertrieb klärt und erfasst die Kundenanforderungen anhand des zu montierenden Produktes und dessen Einzelteilen. Auf der Basis eines modularisierten Systembaukastens und mit Hilfe einer eigens entwickelten PKA-AP konfiguriert und konstruiert die Konstruktion in der Folge die Montageanlage.

[2] **Beispielszenario für das Betrachtungsfeld (4):** Gleiche Situation wie im vorigen Szenario mit dem Unterschied, dass die Betriebsmittelkonstruktion des Kunden selber die Montageanlagen konstruieren und bauen möchte. Für derartige Zwecke stellt der Montageanlagenanbieter seine PKA-AP dem Kunden zur Verfügung. Nach der Konfiguration und Auslegung der Anlage durch den Kunden werden auf Basis von generierten Stücklisten alle Systemkomponenten vom Montageanlagenanbieter geliefert und vom Kunden selber zusammengebaut. Individuelle Teile werden direkt vom Betriebsmittelbau des Kunden hergestellt.

- mittel: Die Konfigurationslogik besteht aus Spezifikationen, die in Form von Werte- und Auswahltabellen und/oder fix vorgedachten, einfacheren Prozeduren und Regeln (z. B. über Skripte und Makroprogramme) implementiert sind. Ein typisches Beispiel hierfür ist die regelbasierte Variantenstückliste.
- hoch: Die Möglichkeiten zur Wissensmodellierung, -auswertung und -anwendung erstrecken sich über alle bekannten Techniken wie Entscheidungstabellen, Regeldefinitionen in Skript-Form bis hin zu Expertensystemfunktionen, die aus komplexen Regeln und Bedingungen dem Anwender Lösungsvorschläge unterbreiten.

Grad der Möglichkeiten zur Wissensunterstützung beim Konstruieren/Auslegen

- niedrig: Bei der Interaktion mit dem System können nur bedingt geometrische Parameter neu berechnet werden. Diese werden gegebenenfalls nur tabellarisch angezeigt. Es erfolgt keine Anpassung der Visualisierung bzw. adaptive Veränderung evtl. vorhandener geometrischer Objekte (nur Prinzipdarstellungen).
- mittel: Über Formeln, Tabellen und Regeln werden Bauteildimensionen und Verknüpfungsinformationen ermittelt und im Modell entsprechend angesteuert. Funktional entspricht dies den Möglichkeiten der Parametrik und Featuretechnologie klassischer CAD-Systeme.
- hoch: Insbesondere für die Bauteildimensionierung können spezielle Berechnungsprogramme angestoßen werden, die problemorientiert entsprechende Werte zurückliefern. Diese können sich aus impliziten (direkt in der PKA-AP), umfangreicheren Berechnungsalgorithmen zusammensetzen oder aus Systemen bestehen, die über Schnittstellen eingebunden sind. Typische Beispiele sind FEM-Programme, Getriebeauslegungsmodule, Schraubverbindungsassistenten oder andere spezielle Konstruktionsassistenten.

Ein weiteres mögliches Merkmal zu *Lösungstyp bzw. Systemkategorie* ist die Einordnung der Lösung anhand der Produktbezeichnung durch den Anbieter selbst. Um den Einsatzschwerpunkt kenntlich zu machen, werden die PKA-Lösungen mit Begriffen wie Vertriebskonfigurator, Produktkonfigurator, Design Automation oder KBE-System beworben. Diese Typisierung wird ebenfalls als Merkmal aufgenommen.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Bereich *Lösungstyp/Systemkategorie*:

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen			
Konfigurieren Grad der wissensbasierten Unterstützung?	niedrig: kaum Konfigurationsregeln; einfaches Zusammenstellen von Komponenten	mittel: Logik über Tabellen und einfachere Prozeduren (Makros)	hoch: alle Techniken der Wissensrepräsentation/modellierung	
Konstruieren/Auslegen Grad der wissensbasierten Unterstützung?	niedrig: kaum Berechnungen; keine adaptiven Anpassungen	mittel: über Formeln, Tabellen, Regeln; alle Möglichkeiten der Parametrik und Featuretechnologie	hoch: Einsatz umfangreicherer Berechnungsprogramme; evtl. Schnittstellen zu FEM oder Konstruktionsassistenten	
Einordnung anhand Produktbezeichnung. Wie wird die Lösung vom Anbieter eingeordnet bzw. bezeichnet?	Vertriebskonfigurator	Produktkonfigurator	Design Automation System	KBE-System

3.3.3 Wissensmodellierung und Konfigurationsstrategie

Im Abschnitt 3.3.1 wurde der Systembaustein „Wissenskomponente bzw. Wissensbasis" hinsichtlich der prinzipiellen Aufgabe und Systemgestaltung erläutert. Ein weiteres, wichtiges Kriterium zur Kategorisierung einer PKA-Lösung sind die Methoden und Techniken zur Modellierung des Wissens. Die Wissensmodellierung beschäftigt sich mit der Aufgabe, Wissen zu erfassen und in eine rechnerverarbeitbare Form zu bringen bzw. entsprechend abzubilden (Wissensrepräsentation). In das Themenfeld der rechnerbasierten Abbildung einer PKA-Aufgabe gehört auch eine Betrachtung der Modellierorientierung (Top-Down, Bottom-Up) bzw. der Konfigurationsstrategie.

Unterstützung bei der Wissenserfassung

Zu Beginn jedes PKA-Projektes steht die Erfassung bzw. Erhebung des relevanten Konfigurations- und Auslegungswissens. Die prinzipiellen Methoden wurden in Kap. 2.4.3 vorgestellt, wobei das Interview als die gebräuchlichste Methode genannt wurde. Auf mögliche Formen der Erfassung bzw. Dokumentation des Expertenwissens wurde dabei nicht eingegangen. Fallweise stehen dafür methodische und/oder systemtechnische Unterstützungen zur Verfügung. Eine bspw. eigens vorhandene Wissenserfassungskomponente stellt den besten Grad an Unterstützung dar. Dabei wird das Wissen in einer für den Experten verständlichen Form im System erfasst. Dies kann auch durch eine rein methodische Unterstützung in Gestalt von Empfehlungen auf der Basis von Textvorlagen oder Tabellen erfolgen. Vielfach gibt es keine gesonderte Unterstützung, und der WI ist auf selbst gewählte Mittel angewiesen.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Bereich *Wissenserfassung:*

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen		
Unterstützung bei der Wissenserfassung Welche Möglichkeiten zur systematischen Wissenserfassung werden unterstützt?	Keinerlei Unterstützung: Erhebung erfolgt durch selbst gewählte Mittel	Methodische Unterstützung: Empfehlungen in Form von Textvorlagen, Tabellen etc.	Systemunterstützung: Eigene Wissenserfassungskomponente

Formen der Wissensrepräsentation

Eine zentrale Stellung bei der Wissensmodellierung nimmt die Wissensrepräsentation ein, deren unterschiedliche Formen bereits in Kap. 2.4.4 vorgestellt wurden. Die in PKA-Lösungen am häufigsten eingesetzten Methoden sind Regeln oder Constraints (Zwangsbedingungen) bzw. eine Kombination der beiden. Regelausdrücke zeichnen sich durch ihr „Wenn-Dann-Schema" aus und sind damit leicht verständlich. Constraints haben die Form einer „Gleichung", die nach jeder Variablen aufgelöst werden kann. Weit verbreitet sind auch Entscheidungstabellen, die komplexere Beziehungen und Abhängigkeiten übersichtlich darstellen. Eine weitere, gebräuchliche Methode sind Wissensmodule, die mittels einer Skriptsprache das Regelverhalten abbilden. Dies ist am ehesten mit der aus CAD-Systemen bekannten Makroprogrammierung vergleichbar und wird dementsprechend häufig in CAD-integrierten KBE-Modulen verwendet.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Bereich *Wissensrepräsentation:*

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen			
Art der Wissens-repräsentation Welche Formen der Regel-verarbeitung werden unter-stützt?	Beliebig formu-lierte Bedingun-gen per Skript-sprachen	Mittels Entschei-dungstabellen	Durch Regel-ausdrücke (wenn – dann)	Durch Constraints (Zwangsbedin-gungen)

Konfigurationsstrategie

Die Konfiguration eines Produktes kann ausgehend von einer vordefinierten Struktur bzw. einer Masterbaugruppe (Mastermodell[1]) erfolgen oder in umgekehrter Richtung, bei der, ausgehend von Einzelteilen, schrittweise ein Produkt zusammengebaut wird. Aus Sicht der 3D-Produktmodellierung wird hier von einer erzeugnisorientierten (top-down) und einer einzelteilorientierten (bottom-up) Modellierung gesprochen (vgl. VDI-2209, VAJNA et. al 2009). Bei der Top-down-Vorgehensweise wird von einer vorhandenen Struktur, bspw. einem Mastermodell, ausgegangen. Die Bottom-up-Methode kombiniert Detaillösungen bzw. Einzelteile zu einem Ganzen, ohne dass eine Produktstruktur vorgegeben ist.

Im Zusammenhang mit der Produktkonfiguration wird auch von einer sog. offenen oder geschlossenen Konfiguration gesprochen. Bei einer geschlossenen Konfiguration steht dem Anwender nur eine vorgedachte und vordefinierte Auswahl an Komponenten, Anordnungen (Strukturen) und Optionen (z. B. Farbe, Material) zur Verfügung, wohingegen die offene Konfiguration dem Anwender im Rahmen bestimmter Regeln freie Eingaben erlaubt, um noch spezifischere Ausprägungen eines Produktes zu erhalten (vgl. ZAGEL 2006).

Übertragen auf die Konfigurationsstrategie in einer PKA-AP, bedeutet dies:

- Bei einer **Top-Down-Konfiguration** wird ein vordefiniertes Mastermodell regelbasiert angesteuert. Dabei werden Elemente (Bauteile, Teilbaugruppen) unterdrückt, ausgetauscht oder gelöscht. Es können keine beliebigen neuen Strukturen erstellt werden. Mit diesem Ansatz lassen sich die möglichen Varianten sehr genau vorbestimmen.
- Bei einer **Bottom-Up-Konfiguration** erfolgt der Zusammenbau interaktiv auf Basis bestimmter Zusammenbauregeln, die den Elementen (Bauteile, Teilbaugruppen) zugeordnet sind. Damit können theoretisch beliebig viele Varianten erzeugt werden. Dies bietet insbesondere bei jenen Baukastenkonzepten große Vorteile, die eine sehr individuelle Zusammenstellung von Elementen ermöglichen (bspw. die Konfiguration einer Montagelinie aus unterschiedlichen Modulen, Zuführungen, Abzweigungen, Verpackungs- und Steuereinheiten). Um eine derartige Arbeitsweise komfortabel zu unterstützen, wird die Verbaulogik mittels klassifizierten, intelligenten Schnapppunkten definiert, an denen sich später andere Module andocken können. Dies ermöglicht beim Konfigurieren die automatische

[1] Nach VDI-2209 ist ein Mastermodell ein vollparametrisches 3-DModell, von dem durch die Änderung weniger (Führungs-)Parameter weitere geometrisch ähnliche Modelle abgeleitet werden können (gelegentlich wird auch von einer auftragsneutralen Kopiervorlage gesprochen).

Erkennung von Konstruktionsabsichten.

Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Bereich *Konfigurationsstrategie:*

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen	
Konfigurationsstrategie Welche Formen der Konfigurationsrichtung werden unterstützt?	Top-Down (erzeugnisorientiert): Ausgehend von einem Mastermodell, werden bestehende Elemente regelbasiert angesteuert.	Bottom-Up (einzelteilorientiert): Interaktiver Zusammenbau von Einzelelementen zu einem Ganzen.

3.3.4 Geometrieverarbeitung und CAD-Integration

Speziell unter den Aspekten der Konstruktion und Auslegung innerhalb einer PKA-AP spielen CAD-Funktionen eine bedeutende Rolle. Sie stellen die Basistechnologie zur Erstellung und Modifikation von 3D-Geometrie zur Verfügung (vgl. Abschnitt 3.2.1). Auch beim Konfigurieren existierender Bauteile sind CAD-Funktionen zur Anordnung und Positionierung innerhalb einer Baugruppe hilfreich. Auf der Basis von exakt beschriebener Geometrie erhöht sich nach Abschluss des Individualisierungsprozesses die Qualität einer Datenweitergabe bzw. Datenweiterverwendung. So können bspw. neu erstellte Teile durch die Konstruktion sofort an eine Fertigung übergeben werden oder man kann dem Kunden CAD-Modelle für eigene Einbauuntersuchungen zur Verfügung stellen. Auf die Möglichkeiten und den Nutzen für die Illustration von Angeboten wurde bereits in Abschnitt 3.3.1 hingewiesen. Ein nicht unbedeutender Aspekt ist auch die aufgabengerechte, grafische Visualisierung der Konfigurationsschritte. Mithilfe einer CAD-basierten oder CAD-ähnlichen Geometriepräsentation erhält der Endbenutzer eine für ihn transparente und einfach handzuhabende Interaktionsmöglichkeit mit seinem individualisierten Produkt. So erleichtern bspw. Funktionen, wie freies Drehen, Ein- und Aus-Zoomen oder das Definieren von Betrachtungsstandpunkten, das Verständnis für die aktuelle Konfiguration. Ebenso kann durch direktes Anklicken der Geometriekomponenten einfacher in der Struktur navigiert und mit dem Gesamtmodell interagiert werden.

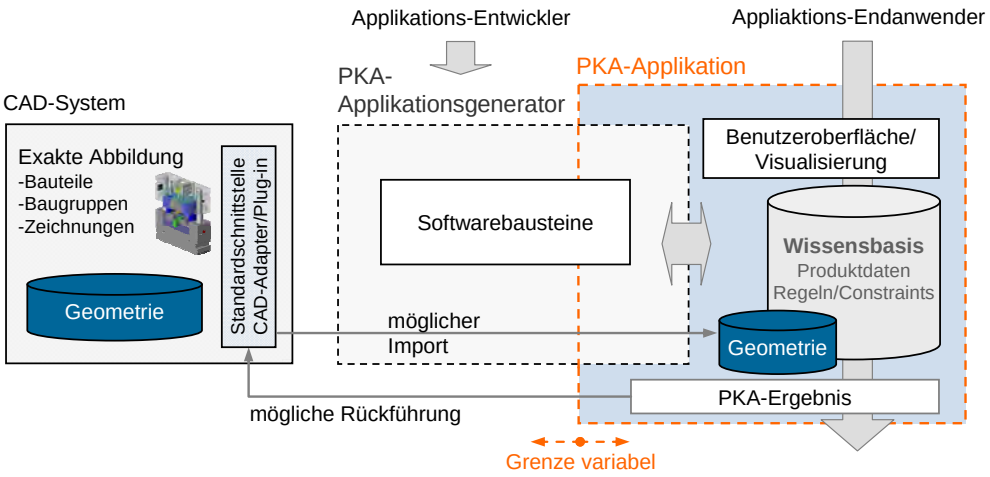
Für eine Geometrieverarbeitung bzw. CAD-Integration in wissensbasierte Systeme werden i. A. drei Integrationsansätze unterschieden. SPUR et. al. (1997) benennt die drei Formen mit „*Kopplung* der Systeme", „*Integration* der Systeme zu einem Gesamtkonzept" und „Ein *einheitliches* Systemkonzept". Der gegenseitige Austausch von Daten zwischen Wissens- und Geometrieverarbeitung bilde dabei ein komplexes Problem. SCHNEIDER (2007) klassifiziert die drei Möglichkeiten in a) das wissensverarbeitende System (WBS) ist vollkommen unabhängig vom CAD-System b) das WBS ist weitgehend unabhängig vom CAD-System und c) das WBS ist Bestandteil des CAD-Systems. Zur Charakterisierung der Gestaltungsoptionen hinsichtlich Geometrieverarbeitung und CAD-Integration werden folgende Ansätze unterschieden:

- (1) Keine direkte CAD-Kopplung – eigene Geometrieverarbeitung
- (2) Systemkopplung („zwei" Systeme) – Geometrieverarbeitung durch CAD-System
- (3) Integriertes Konzept („ein" System) – Geometrieverarbeitung im CAD-System

(1) Keine direkte CAD-Kopplung – eigene Geometrieverarbeitung

Bei diesem Ansatz verfügt die PKA-AP über eine eigene Geometrieverarbeitungskomponente (Abb. 3-11). Während der Konfiguration und Auslegung ist kein CAD-System unmittelbar beteiligt. Dies erleichtert den dezentralen Einsatz der Lösung und vereinfacht die notwendige Systemumgebung. Beim Aufbau der Wissensbasis mittels PKA-Applikationsgenerator werden (meist vereinfachte) CAD-Geometriefiles über ein standardisiertes Austauschformat[1] importiert und in eine eigene Geometriebeschreibungsform überführt sowie abgelegt. Der wesentliche Vorteil einer eigenen Geometrieverarbeitung besteht in einer weitestgehenden Unabhängigkeit von CAD-Systemen. Solcherart integrierte Modellierer können allerdings nicht mit herkömmlichen CAD-Kernen verglichen werden. Hauptfunktion ist eine adäquate 3D-Visualisierung der laufenden Konfigurationsarbeit und damit die Erfüllung von Visualisierungsanforderungen. Eine parametergesteuerte Anpassung der Geometrie ist nur bedingt möglich. Aufgrund der meist (stark) vereinfachten Geometriemodelle und dem Verzicht auf komplexe Masterbaugruppen liegen die Stärken der integrierten Geometrieverarbeitung in einer performanten Elements-Positionierung und dem Handling großer Modelle (bspw. ganze Maschinen und Anlagen). Die Herausforderung bei der Geometrievereinfachung zeigt sich dabei in der Kompromissfindung zwischen notwendigen Geometriedetails und schlanken, Ressourcen schonenden Produkt-Repräsentationen. Das Haupteinsatzgebiet dieser Form der Geometrieverarbeitung ist bei klassischen Vertriebskonfiguratoren angesiedelt. Teilweise wird dieses Konzept auch von sogenannten Entwurfskonfiguratoren bzw. KBES eingesetzt, die eine Unterstützung im Entwurfsprozess und der Auslegung von Gesamtkonzepten zum Ziel haben (vgl. PACELAB 2011).

Abb. 3-11: PKA-Applikation ohne direkte CAD-Kopplung



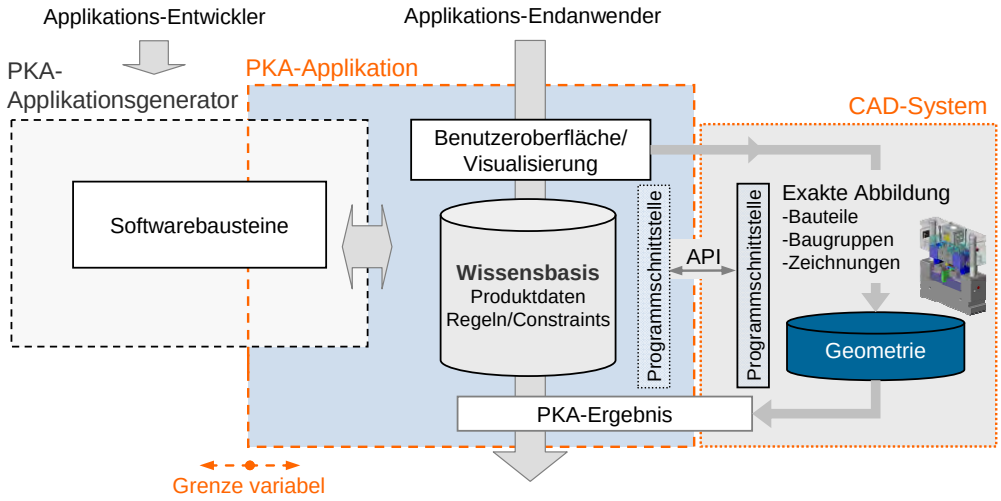
[1] Hierfür werden offizielle Standards wie IGES (Initial Graphics Exchange Specification) oder STEP (STandard for the Exchange of Product model data) angewendet. Häufig ist dies auch über Formate weit verbreiteter Modellierkerne möglich. Hierzu zählen bspw. SAT (ACIS-Kern von Dassault) oder X_T (Parasolid-Kern von Siemens).

(2) Systemkopplung („zwei" Systeme) – Geometrieverarbeitung durch CAD-System

Hauptmerkmal dieses Ansatzes ist die Möglichkeit, trotz weitestgehender Unabhängigkeit der Systeme, einen engen, bidirektionalen Datenaustausch mit dem CAD-System herzustellen (Abb. 3-12). Dies wird mittels einer Programmierschnittstelle (API[1]) realisiert. Beim Arbeiten sind dabei beide Systeme gestartet („offen"). Die PKA-AP steuert über API alle verfügbaren Funktionen des CAD-Systems bzw. die Elemente der Modellgeometrie (Parametrik, Verknüpfungen, Features etc.). Jeder Konfigurationsschritt wird im CAD-System sofort ausgeführt und visualisiert. Vom CAD-System erzeugte und errechnete Werte können an die PKA-AP wieder zurückgegeben werden. Die Tiefe der Systemkopplung ist von der Qualität der vom CAD-System zur Verfügung gestellten Programmierschnittstelle abhängig. Bedingt durch die beiden Applikationsfenster mit ihren getrennten Benutzeroberflächen, sind das Handling und die Übersichtlichkeit (insb. bei kleinen Bildschirmen) möglicherweise eingeschränkt.

Eine Sondervariante dieser Kopplungsform sind Produktkonfiguratoren, die über die API-Schnittstelle das CAD-System als reinen Grafikprozessor zur Visualisierung nutzen. Diese Kopplungsform ist für klassische ERP- oder PDM-basierte Variantenkonfiguratoren interessant, die über keine eigene Geometrievisualisierungskomponente verfügen. Im Anschluss an die Konfiguration wird eine Generierung und Ausgabe der CAD-Modelle angestoßen. Die Kommunikation erfolgt allerdings nur unidirektional – vom Produktkonfigurator zum CAD-System. Konfigurationsschritte werden dabei immer wieder an das CAD-System zur grafischen Aufbereitung übergeben. Als Beispiel sei hier der *SAP*®-Variantenkonfigurator (LO VC und IPC) erwähnt, der über einen CAD-Adapter mit verschiedenen CAD-Systemen gekoppelt werden kann (vgl. BLUMÖHR et. al. 2009). Die hier beschriebene Kopplungsform (zwei Systeme) wird vorzugsweise von 3D-Produktkonfiguratoren eingesetzt.

Abb. 3-12: PKA-Applikation mit CAD-Systemkopplung (zwei Systeme)

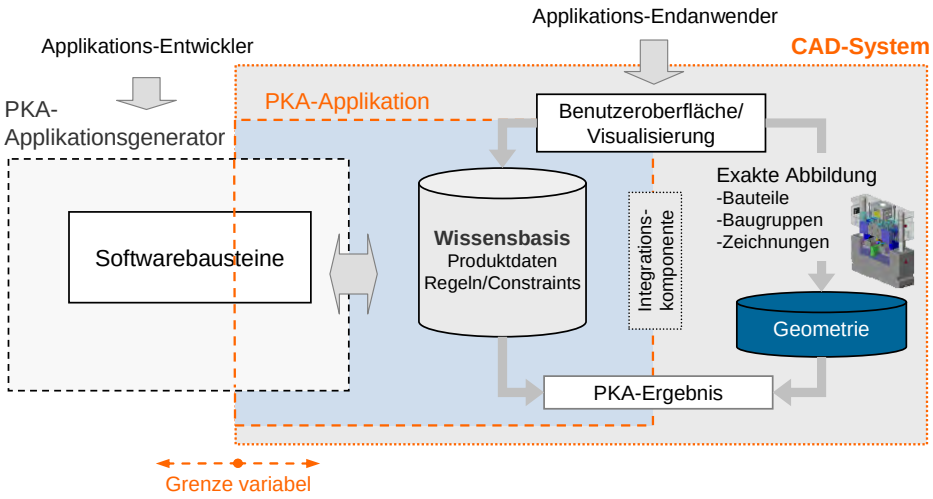


[1] API – Application Programming Interface. Schnittstelle, die von einem Softwaresystem anderen Programmen zur Anbindung an das System zur Verfügung gestellt wird.

(3) Integriertes Konzept („ein" System) – Geometrieverarbeitung im CAD-System

Dieses Konzept zeichnet sich durch eine vollständige Integration der PKA-AP in die CAD-Umgebung aus (Abb. 3-13). Der Endanwender hat es nur mit einem System zu tun (One Window Paradigm). Die Benutzeroberfläche ist einheitlich gestaltet, was wesentlich zur Akzeptanzsteigerung in der Konstruktion beiträgt. Damit ist diese Kopplungsform auch klar an der genannten Zielgruppe (Entwickler, Konstrukteure) ausgerichtet, da entsprechende CAD-Kenntnisse vorausgesetzt werden. Durch einen jederzeitigen vollen und uneingeschränkten Zugriff auf das CAD-Modell ergeben sich große Vorteile. So können bspw. Platzhalter sofort interaktiv bearbeitet oder individuell ersetzt werden (Sonderkonstruktion) oder kundenindividuelle, durch die Wissensbasis nicht bestimmte Anpassungen an bestehenden Teilen vorgenommen werden. Auch der Aufbau der Wissensbasis und die Zuordnung (Verbindung) des Regelwerkes zum Geometriemodell gestalten sich aufgrund der tiefen Integration übersichtlicher bzw. einfacher. Bezüglich Kommunikation zwischen CAD- und PKA-AP (über API-Funktionen) und auch betreffend der CAD-Nutzungsphilosophie sind die Ansätze 2) und 3) sehr ähnlich. Der Nachteil des integrierten Konzeptes ist in der unbedingten Verfügbarkeit des CAD-Systems zu sehen. Sämtliche Modifikationen bzw. Adaptionen in der Wissensbasis sind nur über das CAD-System möglich. Diese Kopplungsform ist bei nahezu allen sogenannten Design-Automation-Systemen anzutreffen, vielfach auch bei KBES.

Abb. 3-13: PKA-Applikation in CAD integriert (ein System)



Zusammenfassung der Gestaltungsoptionen für den Bereich *Geometrieverarbeitung und CAD-Integration:*

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen	
Geometrieverarbeitung In welcher Form wird Geometrie verarbeitet?	Über eigenen Geometriemodellierer	Über gekoppeltes CAD
Geometriequalität Welchen Fokus hat die Geometrieverarbeitung?	Fokus Visualisierung (vereinfachte Geometrien)	Fokus Verarbeitung (exakte Geometrien)

Geometrieobjekte Welche Objektarten können verarbeitet werden?	Formelemente/Features	Skizzen/ Zeichnungen (2D)	Bauteile (3D)	Baugruppen (3D)
Geometrieelemente Welche Geometrieelemente können gesteuert/verändert werden?	Maßparameter ändern (Parametrik)	Formelemente erzeugen, löschen, ein-/ausblenden	Verknüpfungen/Bedingungen erstellen (für Formelemente, unter Bauteilen)	
CAD-Kopplung In welcher Form kann/wird ein CAD-System gekoppelt?	Keine CAD-Kopplung: Austausch von Geometriefiles	Systemkopplung über API (getrennte Systeme)	PKA-Applikation ist in CAD integriert	

3.3.5 Zusammenfassung der Applikationstypisierung

Eine gruppierte Zusammenfassung mit allen Merkmale und diskutierten Gestaltungsoptionen ist in Anhang A1 aufgeführt. Die Übersicht wurde gleichzeitig zur Applikationstypisierung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Standardlösung verwendet (Näheres hierzu folgt in Kap. 4.1.2).

Durch die unterschiedlichen Blickwinkel auf ähnliche Kriterien ergeben sich fallweise überschneidende Optionen. Dies geschah mit Absicht, da hierdurch das Verständnis gefördert wird und zur Diskussion anregt. Die Applikationstypisierung kann als Unterstützung und Hilfestellung zur Konzeption einer PKA-Wunschlösung (Idealsystem) oder zur Einordnung einer anvisierten Marktlösung bzw. zum Vergleich unterschiedlicher Lösungen herangezogen werden. Auch kann dies die Grundlage für eine Anforderungsliste bilden.

3.4 Relevante Arbeiten aus Forschung und Technik

Im Umfeld der rechnergestützten Konfiguration und Auslegung von Produkten sind in den letzten Jahren interessante Aktivitäten bzw. Veröffentlichungen in Form von Forschungsprojekten (vielfach mit Beteiligung der Industrie), Dissertationen und Erfahrungsberichten (Monographien) zu verzeichnen. Für die vorliegende Arbeit sind insb. methodengestützte Vorgehensmodelle zur Entwicklung wissensbasierter Systeme, Methoden der Wissenserhebung, -abbildung und -darstellung sowie Möglichkeiten zur Integration der Wissenstechnologie in CAD-, PDM-, Produktkonfigurations- und KBE-Systeme von Relevanz.

3.4.1 Methodengestützte Vorgehensmodelle zur Entwicklung wissensbasierter Systeme

Der Entwicklungsprozess wissensbasierter Systeme stellt hohe Anforderungen an die Ablauforganisation, die beteiligten Ressourcen (Personal, Zeit, Kosten) sowie erforderliche Begleitmaßnahmen wie bspw. unterstützende Methoden und Werkzeuge. Seit den Anfängen der KI und der Entwicklung von Expertensystemen nimmt insb. die Wissenserfassung und Wissensmodellierung in den Vorgehensmethoden bzw. -modellen eine bedeutende Stellung ein. Tabelle 3-2 zeigt eine Übersicht veröffentlichter Ansätze, Methoden und Anleitungen zum Vorgehen bei der Entwicklung von wissensbasierten Systemen. Als charakterisierende Merk-

male werden eine grobe Einordnung zur Anwendung (XPS, KBS, KBES, PKS, WMS) angeführt, die Hauptphasen im Vorgehensmodell benannt und evtl. vorhandene Tool-Unterstützungen vermerkt. Die fortlaufende Adaption bestehender und Entwicklung neuer Ansätze sowie die unterschiedlichsten Phasenunterteilungen lassen auf wenig standardisierte Vorgehensweisen schließen.

Tabelle 3-2: Ansätze, Methoden und Anleitungen zum Vorgehen bei der Entwicklung von wissensbasierten Systemen (bspw. XPS, KBS, KBES)

Ansatz/Methode/Projekt	Autor(en)	Charakteristik, Schwerpunkte
Building Expert Systems (Monographie)	HAYES-ROTH et. al. 1983 BUCHANAN 1983	Anwendung: XPS-Projekte Detaillierte Beschreibung (mit Beispielen) der Entwicklungsschritte. Fünf Phasen: 1 Identifikation; 2 Konzeption; 3 Formalisierung; 4 Implementierung; 5 Test
PROKON Problemspezifische Werkzeuge für die wissensbasierte Konfigurierung (Forschungsprojekt)	GÜNTER 1995	Anwendung: PKS-Projekte Detaillierte Beschreibung wissensbasierter Techniken für das Konfigurieren komplexer Systeme. Themen: Konfigurationsmethoden; Repräsentations- und Problemlösungstechniken; Basismodule eines Konfigurationswerkzeuges; Wissensbasierte Erfassung von Anforderungen; Ansätze zur Abhängigkeitsverwaltung
DEKLARE Design Knowledge Acquisition and Redesign Environment (Forschungsprojekt)	FOTHERGILL et. al. 1996	Anwendung: KBS-Projekte Tool-unterstützter Ansatz zur Analyse und Erfassung von Konstruktionswissen. 10 Phasen: 1 Preliminary Study report & Definition of Requirements; 2 Draft definition of Design Process; 3 Identification of the Concepts; 4 Establishment of Technical Solutions for each Concept; 5 Definition of Design Feature list; 6 Definition of Design Feature Parameters & Constraints; 7 Synthesis of Technical Solution Parameters & Constraints; 8 Obtain & interpret Design Process Model; 9 Merge Top-Level & Bottom-Level Design Process; 10 Classification of Parameters, Standardisation & Design Manuals
CommonKADS[1] Knowledge Acquisition Documentation and Structuring (Forschungs- und Industrieprojekt)	SCHREIBER et. al. 2000	Anwendung: KBS-Projekte. Modellbasierter Ansatz. Weiterentwicklung von KADS-II. Kollektion von sechs Modellen: Organisations-, Aufgaben-, Agenten-, Kommunikations-, Wissens-, Designmodell. Organisatorische Einbettung des Systems spielt eine besondere Rolle
KOMPRESSA Knowledge-Oriented Methodology for the Planning and Rapid Engineering of Small-Scale Application (Forschungs- und Industrieprojekt)	BANCROFT et. al. 2000	Anwendung: KBES-Projekte. Wurde speziell für KMUs[2] und kleinere KBE-Projekte entwickelt. Neun Phasen: 1 Initial investigation; 2 Application classification; 3 Requirements analysis; 4 Tool selection; 5 Design; 6 Implementation; 7 Validation, verification and testing; 8 System realisation; 9 Maintenance
KCM Knowledge Capture Methodology.	TERPENNY et. al. (2001)	Anwendung: KBES-Projekte. Aufbau eines semantischen Produktmodells mit komponentenorientiertem Konstruktionswissen. 11 Phasen: 1

[1] CommonKADS Website: http://www.commonkads.uva.nl/frameset-commonkads.html (Stand: 14.07.2011)

[2] KMU – Kleine und mittlere Unternehmen: Laut Wirtschaftskammer Österreich beschäftigen Kleinunternehmen bis 50 Mitarbeiter, mittlere Unternehmen bis 250 MA (Quelle: http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?AngID=1&StID=527514&DstID=17 – Stand 24.07.2011)

(Forschungsprojekt)		Select a product or process to model; 2 Decompose the product into atomic components; 3 Assign attributes to atomic components; 4 Establish atomic instances in database or tabular data source; 5 Create component classifications for the atomic instances; 6 Create use cases by grouping atomic components into assemblies; 7 Introduce a use case for each existing component Classification; 8 Define a set of relations and create relationships between considerations; 9 Use relationships between components to propagate parametric values and apply selection constraints; 10 Associate parametric values of components for reporting and visualization; 11 Repeat the process
MOKA[1] Methodology and tools Oriented to Knowledge-Based Engineering Applications. (Forschungs- und Industrieprojekt)	Stokes 2001	Anwendung: KBES-Projekte. Modellbasierter Ansatz mit detaillierten Vorschlägen zur Erfassung von Konstruktionswissen. Sechs Phasen: 1 Identify; 2 Justify; 3 Capture; 4 Formalize; 5 Package; 6 Activate
Knowledge Acquisition in Practice A Step-by-step Guide. (Praxisanleitung)	Milton 2007	Anwendung: Wissenserfassungsprojekte (WM, KBS,KBE) Monographie mit detaillierten Vorgehensvorschlägen. Vier Phasen: 1 Start, Scope and Plan the Project; 2 Initial Capture and Modelling; 3 Detailed Capture and Modelling; 4 Share the Stored Knowledge. Insgesamt 47 Bearbeitungsschritte, teilweise mit IT-Unterstützungen
Product Customization (Praxisanleitung)	Hvam et. al. 2008	Anwendung: PKS-Projekte. Monographie mit detaillierten Vorgehensvorschlägen. Sieben Phasen: 1 Analysis of specification processes; 2 Product analysis; 3 Object-oriented analysis; 4 Object-oriented design and Choice of software; 5 Programming; 6 Implementation; 7 Maintenance and further development
KoVip Konfigurations-Software und -Dienstleistungen für virtuelle Produkte (Forschungs- und Industrieprojekt)	Abramovici et. al. 2006 Ghoffrani 2008	Anwendung: PKS-Projekte. Projektbericht und Dissertation über eine Generatorlösung für KMUs. Drei Phasen: 1 Vorbereitende Maßnahmen; 2 Systemimplementierung; 3 Laufende Anpassung und Erweiterung. Werkzeuge zur systematischen Erfassung und Formalisierung von Produktwissen
ADAPT Ajoined Design Automation Process Trajectory (Forschungs- und Industrieprojekt)	Tooren et. al. 2009	Anwendung: KBES-Projekte, WMS-Projekte. Generisches Rahmenwerk für Engineering-WM mit Methoden und IT-Tools. Sechs Phasen: 1 Process Analysis; 2 Knowledge acquisition; 3 Knowledge structuring; 4 Knowledge application development; 5 Tool integration and deployment; 6 Business implementation

Als Ausgangspunkt und fundierte Basis können die Arbeiten von Hayes-Roth et. al. und Buchanan aus den 1983er-Jahren gelten, die sich mit der systematischen Entwicklung von Expertensystemen beschäftigten. In der Folge entstanden mit den Esprit-Projekten KADS und KADS-II weitere Vorgehensmodelle, die von Schreiber (2000) in CommonKADS zusammengefasst wurden. Einen modellbasierten, sehr detaillierten Ansatz mit besonderem Fokus auf KBE-Applikationen entwickelte Stokes (2001) mit MOKA. Insbesondere für die strukturierte

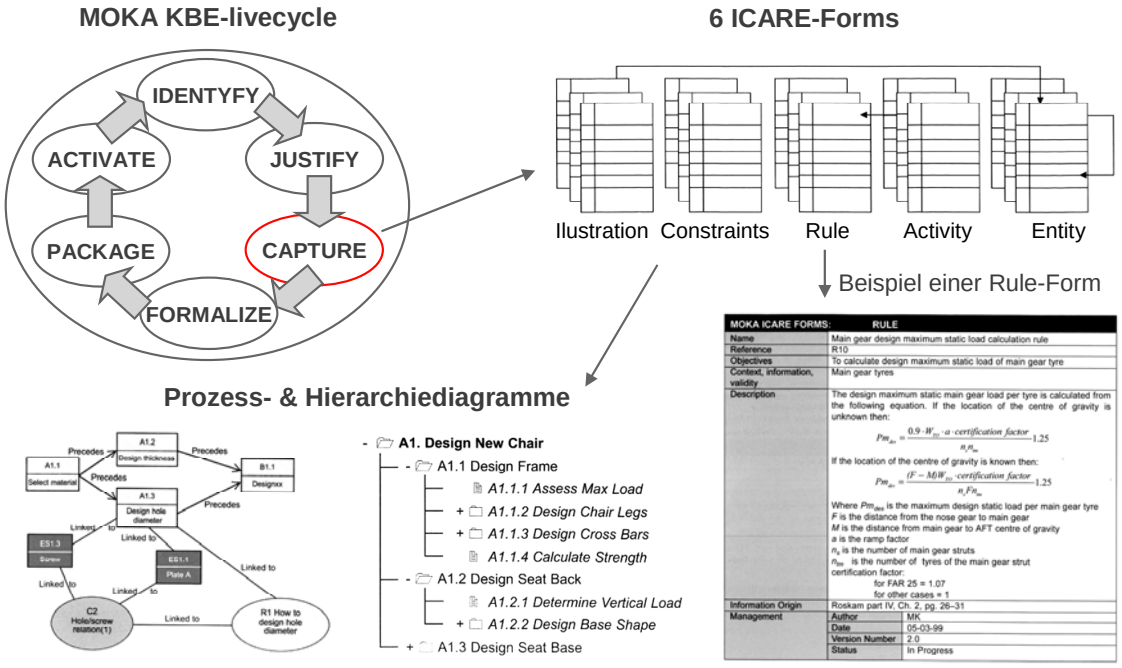
[1] MOKA Website: http://web1.eng.coventry.ac.uk/moka/default.htm (Stand 14.07.2011)

Erfassung und Beschreibung des Produktwissens in informeller Form wurde mit sog. ICARE-Forms eine ganzheitliche Methode vorgestellt (siehe nächster Abschnitt). Ein jüngeres Forschungs- und Industrieprojekt entwickelte mit ADAPT ein generisches Rahmenwerk, das ebenfalls nachfolgend kurz erläutert wird.

MOKA – Methodology and tools Oriented to Knowledge-based Engineering Applications

Die MOKA-Methode definiert den KBE-Life-Cycle über sechs wesentliche Phasen. Im ersten Schritt IDENTIFY (Identifizieren) wird der Handlungsbedarf für bzw. die Anforderungen an eine KBE-Applikation definiert. Mit JUSTIFY (Rechtfertigen) soll das KBE-Projekt geplant und gerechtfertigt werden. Die Folgephase CAPTURE (Erheben) stellt das Kernstück der Vorgehensmethode dar. Zur systematischen Erfassung aller relevanten Daten und Informationen werden fünf vordefinierte Formulare (ICAR-Forms: Illustration, Constraints, Rule, Activity, Entity) herangezogen (Abb. 3-14).

Abb. 3-14: ICARE-Forms zur Erfassung und Beschreibung von informellem Produktwissen (vgl. Stokes 2001)



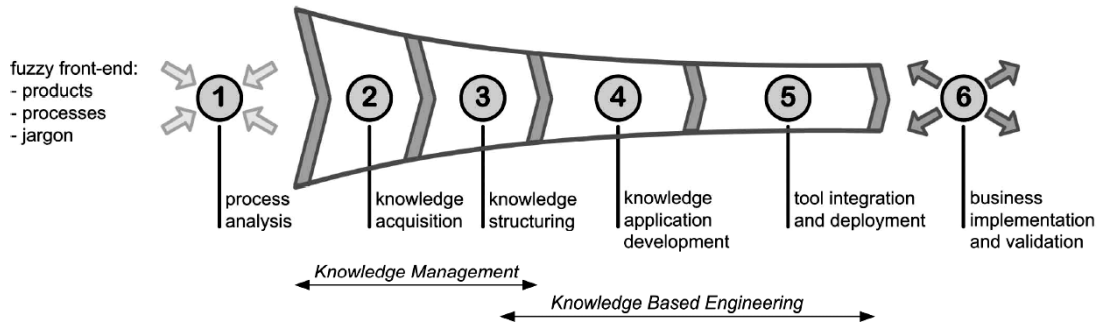
Allen Formularen gemein sind ein Name, eine Referenznummer, die Informationsquelle und der Verantwortliche. Der formularspezifische Teil beschreibt bspw. ein Anwendungsbeispiel (Illustration-Form), Limitationen (Constraint-Form), Regeln und Bedingungen (Rule-Form), den Design-Prozess (Activity-Form) sowie die Produktkomponenten (Entity-Form). Die Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen ICARE-Formularen werden über Prozess- und Hierarchie-Diagramme hergestellt. Das solcherart beschriebene „Informal-Model" wird in der vierten Phase FORMALIZE (Formalisieren) in eine rechnerverarbeitbare Form gebracht (Formal-Model). Hierfür wird eine eigene auf UML basierte Modellierungssprache (MOKA Modelling Language) eingesetzt. Mit PACKAGE (Bündeln) wird die Phase der Implementie-

rung bzw. KBE-Applikationserstellung beschrieben. Die Einführung und der Betrieb der Applikation werden im sechsten und letzten Schritt ACTIVATE (Aktivieren) behandelt.

ADAPT – Ajoined Design Automation Process Trajectory

Mit ADAPT wird ein generisches Rahmenwerk vorgestellt, das eine strukturierte Einführung von Knowledge Management und KBE in die Technikbereiche eines Unternehmens zum Ziel hat (vgl. TOOREN et. al. 2009). Abb. 3-15 veranschaulicht den in sechs Phasen unterteilten ADAPT-Prozess. Zu Beginn steht eine Prozessanalyse, in der das Produkt und dessen Entstehungsprozess sowie deren Produktbeschreibungssprache (Jargon) untersucht werden. Als Methode wird VSM[1] (Value Stream Mapping) eingesetzt. Ziel des zweiten Schrittes ist die Erfassung des Domänenwissens von Experten und die Speicherung in einer Wissensbasis. Als Unterstützung wird PCPACK[2] vorgeschlagen. Die dritte Phase widmet sich der Wissensstrukturierung, die mithilfe von objektorientierten Methoden ein rechnerverarbeitbares Produktmodell erstellt. Zur Formalisierung wird eine eigens entwickelte, auf UML basierte „Domain Specific modelling Language (DSL)" genutzt. Anschließend erfolgt in Schritt vier die Softwareentwicklung der Wissensapplikation. Dies erfolgt entweder auf Basis kommerziell verfügbarer Entwicklungsumgebungen oder mithilfe eigener Softwarebausteine. Für den Einsatzfall einer Standardlösung wird zur Übertragung des modellierten Wissens ein sog. „central model generator" eingesetzt. Die Zusammenführung der Softwarebausteine und Kommunikationsschnittstellen ist Aufgabe der Phase fünf. Mit der Einführung bzw. Eingliederung der Wissensapplikation in den Entwicklungsprozess schließt das Vorgehensmodell. Der Gesamtprozess wird darüber hinaus in einen Wissensmanagement- und einen KBE-Teil gegliedert und zeigt auf, dass mit den Schritten zwei und drei auch allgemeine Wissensobjekte für das WM erzeugt werden können.

Abb. 3-15: ADAPT-Prozess mit sechs Hauptphasen (TOOREN et. al. 2009)



Einen interessanten Vergleich mit kritischer Diskussion nimmt CHAPMAN et. al. (2007) vor, der bei der Wissensmodellierung für KBE zwischen einem neutralen, von der KBE-Applikation

[1] Deutsch: Wertstromanalyse od. Wertstromaufnahme – aus der Betriebswirtschaft bekannte Methode zur Optimierung der Prozessführung.

[2] PCPACK entstand in den frühen 1990er-Jahren aus einer Forschungsarbeit an der Universität von Nottingham/UK (Prof. Nigel Shadbolt, Artificial Intelligence Group) und wurde zu einem kommerziellen Produkt weiterentwickelt.

unabhängigen Ansatz (bspw. MOKA) und einem KBE-Applikations-nahen Ansatz unterscheidet, für den sich vorzugsweise RAD[1]-Methoden (Rapid Application Development) anbieten. Erfolgreiche KBE-Projekte in der Industrie würden insb. den RAD-Ansatz bevorzugen, weil dieser einfacher zu handhaben, kostengünstiger wäre und schneller zum Ziel führe. Des Weiteren argumentiert er, die Trennung der Wissensmodellierung durch einen WI und die Implementierung durch eine Softwareentwickler kämen einer Dequalifikation (engl.: deskilling) des traditionellen WI gleich.

3.4.2 Methoden der Wissenserhebung, -abbildung und -darstellung

Einflussmatrizen

Für die Darstellung und Analyse von Beziehungen und Strukturen finden Matrizen seit Jahren eine breite Anwendung. Matrizen sind sehr kompakt und ermöglichen eine einfache und klar lesbare Darstellung von Beziehungen zwischen Elementen. Dementsprechend sind diese auch im Konstruktionsumfeld weit verbreitet (Variantendarstellung/-tabellen, morphologische Kästen, Verträglichkeiten etc.). Eine seit den 1980er-Jahren erfolgreich eingesetzte Methode zur Erfassung von Relationen und der Optimierung von Strukturen ist die Einflussanalyse bzw. „*Design Structure Matrix*" (DSM)[2], bei der die Achsen gleiche Domänen enthalten sowie die „*Domain-Mapping-Matrix*" (DMM), bei der unterschiedliche Domänen gegenübergestellt werden. Einflussmatrizen werden auch im Variantenmanagement zur Analyse und Optimierung von Varianten- und Produktstrukturen eingesetzt. Dabei werden die zu betrachtenden Elemente eines Produktes zeilen- und spaltenweise aufgetragen. Ein vorhandener Einfluss eines Elementes auf ein anderes wird im entsprechenden Schnittpunkt der Elemente in der Matrix markiert. Sind alle Relationen in der Matrix abgebildet, können durch gleichförmige Umsortierung strukturelle Besonderheiten erkannt werden (vgl. LINDEMANN et. al. 2006).

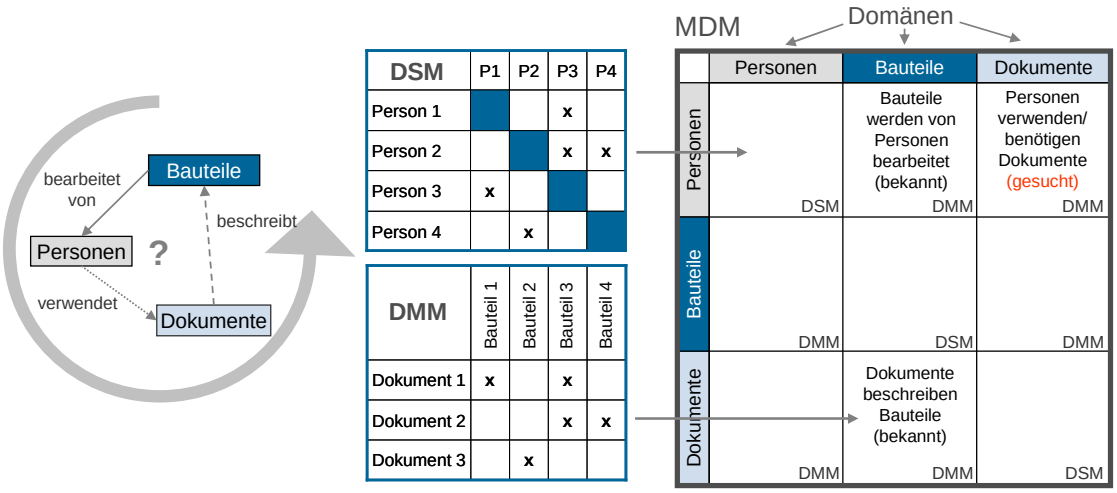
Die Kombination von mehreren DSM-Strukturen zu einer sog. „Multiple-Domain-Matrix" (MDM) ist Inhalt jüngerer Forschungsarbeiten (vgl. RENNER 2007, MAURER 2007, DEUBZER et. al. 2007). Ziel ist die Darstellung und kombinierte Bewertung von unterschiedlichen Strukturen in einem Gesamtsystem. Dies wird u. a. zur Definition von Baukästen sowie zur Bewertung von Produktarchitekturen in der frühen Phase eingesetzt, bei der sich Einflussketten über mehrere Domänen hinweg erstrecken. Oftmals sind nur bestimmte Abhängigkeiten mit überschaubarem Aufwand zu ermitteln. Durch geeignete „Verrechnung" der Matrizen untereinander lassen sich auch schwer oder nicht erfassbare Abhängigkeiten eruieren. Abb. 3-16 zeigt ein MDM-Beispiel anhand von drei Domänenbeziehungen: a) Bauteile werden von Person bearbeitet. b) Personen verwenden bzw. benötigen Beschreibungsdokumente. c) Dokumente beschreiben Bauteile. Die Diagonaleinträge der MDM-Matrix sind DSMs, alle

[1] Mit RAD (Rapid Application Development) wird ein prototypisches Vorgehen angewendet (Spiralmodell). Dies steht im Gegensatz zum klassischen Wasserfallmodell, bei dem die Entwicklungsphasen sequentiell durchlaufen werden.

[2] Umfassende Informationen zu den Wirkprinzipien und unterstützenden Tools sind auf der vom Institut für Produktentwicklung der TU München betriebenen Website http://www.dsmweb.org zu finden.

anderen Einträge sind DMMs. Sind bspw. die Beziehungen zwischen Bauteilen und Personen sowie Bauteilen und Dokumenten erfasst, kann rechnerisch bestimmt werden, welche Personen welche Dokumente benötigen.

Abb. 3-16: Multiple-Domain-Matrix zur Darstellung bzw. Erfassung von Beziehungen über mehrere Domänen hinweg (in Anlehnung nach Maurer 2007)



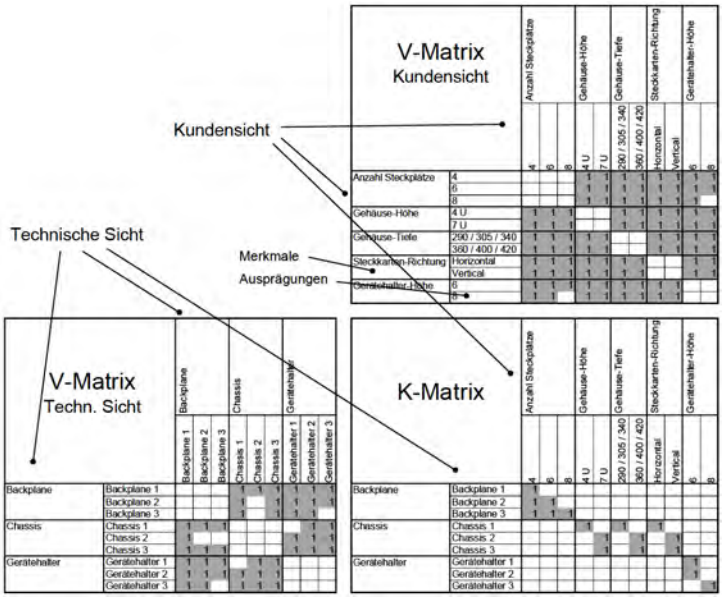
Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix

Aufgrund eines Darstellungsproblems der Kombinierbarkeit von Teillösungen in morphologischen Kästen entwickelte BIRKHOFER (1980) eine sog. Verträglichkeitsmatrix, die vom Grundprinzip mit einer DSM zu vergleichen ist. Für die Erfassung, Beschreibung und Darstellung von Konfigurationswissen (K-Wissen) griffen PULS (2003), BONGULIELMI (2003) und HENSELER (2004) in ihren Forschungsarbeiten diese Methode auf und konzipierten eine sog. Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix (K- & V-Matrix) mit unterschiedlichen Erweiterungen. PULS hat hierzu in seiner Arbeit unterschiedliche Wissensrepräsentationsformen für Konfigurationswissen bewertet. Die Hauptformen waren: Sachmerkmale, Codes, Graphen, Matrizen, KI und verfügbare Produktkonfiguratoren. Dabei arbeitete er die gute Eignung von Sachmerkmalen, Konstruktionskatalogen und insb. Verträglichkeitsmatrizen heraus und verwies auf eine mögliche Kombination dieser.

Abb. 3-17 visualisiert den prinzipiellen Aufbau einer K- & V-Matrix. Im klassischen Fall sind zwei Produktsichten einander gegenübergestellt. In einer ersten V-Matrix wird die funktionale, kundennahe Sicht erzeugt, in der zweiten V-Matrix eine produktnahe, technische Sicht. In diesen Matrizen (mit gleichen Elementen) wird die gegenseitige Kombinierbarkeit überprüft. Die K-Matrix dient der Gegenüberstellung (Korrelationen) der technischen und kundenrelevanten Produkteigenschaften und kann u. a. als Basis für einen Produktkonfigurator verwendet werden. Ein entsprechendes K- & V-Matrix-System (KVMS) zum Aufbau einer Konfigurator-Wissensbasis wurde von PULS und HENSELER entwickelt. Für die Regeldefinition können allerdings nur binäre Entscheidungen (ja/nein) automatisch überführt werden, was lediglich für einfachere Konfigurationsaufgaben ausreichend ist. Zur Abbildung komplexerer Informa-

tionsflüsse, bspw. bis hin zu einer CAD-nahen Sicht, zeigt BONGULIELMI (2003) die Möglichkeiten einer Verkettung mehrerer K- & V-Matrizen auf.

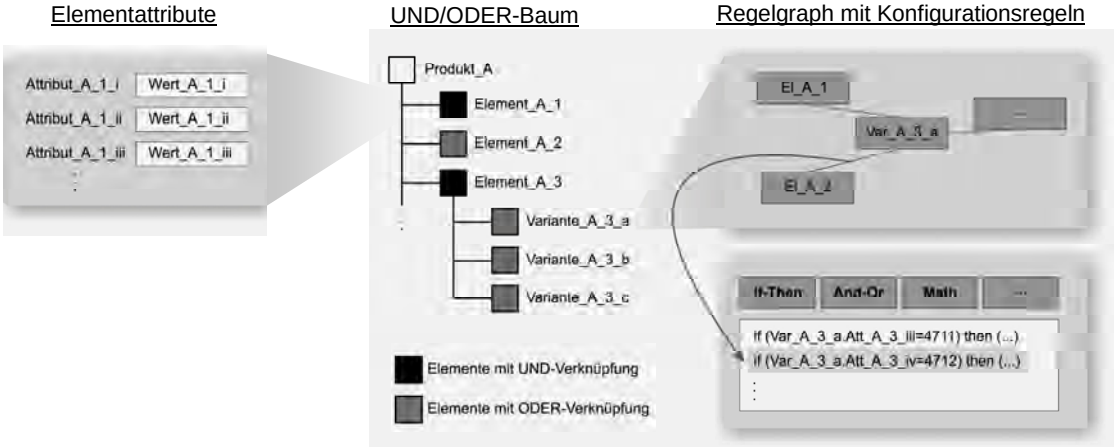
Abb. 3-17: Prinzipieller Aufbau der K- & V-Matrix (HENSELER 2004)



3.4.3 Integration der Wissenstechnologie in die IT-Systeme

Mit der Entwicklung und Einführung eines **flexiblen Softwaresystems zur Konfigurierung virtueller Produkte** beschäftigte sich GHOFFRANI (2006) im Rahmen des oben bereits erwähnten Forschungsprojektes KoVip. Das Softwaresystem besteht aus einem Rahmenwerk und einer Bibliothek konfigurierbarer Standardsoftwaremodule. Das Konzept sieht u. a. ein **Wissensakquisitionswerkzeug** vor, das über eine grafische Oberfläche verfügt und Produktstrukturen, Produktvarianten, Konfigurationsregeln und Abhängigkeiten zwischen Produktbausteinen abbilden kann (Abb. 3-18).

Abb. 3-18: Wissensakquisitionswerkzeug für Produktkonfigurator (vgl. GHOFFRANI 2006)



Als Repräsentationsmethoden wurden verschiedene existierende Darstellungsformen kombiniert. Zur Darstellung variantenreicher Produktstrukturen wurden UND/ODER-Bäume eingesetzt. Den einzelnen Knoten können direkt Attribute zugeordnet werden. Produktvarianten werden unter Einsatz von Sachmerkmalen abgebildet. Die Konfigurationsregeln werden mithilfe eines Texteditors vorgenommen, der bei jedem Produktelement eingeblendet werden kann. Ein ungerichteter Regelgraph visualisiert anhand der Regel die Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Produktelementen.

Die **Integration von** in **PDM** gespeicherten Standardkomponenten **in ein KBE-System** war Ziel einer Forschungsarbeit von COLOMBO et. al. (2007). Die dafür entwickelte Methode basiert auf einem Komponentencode, bestehend aus einem Klassifizierungsschlüssel plus den erforderlichen Attributen (bspw. Durchmesser, Länge). Diese Codes müssen im Vorfeld den relevanten Standardkomponenten im PDM-System zugewiesen werden. Für den Produktkonfigurator wird auf Basis von UML ein allgemeines Konfigurationsmodell erstellt. Während der Konfiguration errechnet sich das System auf Basis der Konfigurationsbedingungen einen Code und sucht in PDM ein entsprechendes Standardteil. Dieses wird ggf. direkt als CAD-Objekt in die Konstruktion eingefügt. Ist der Einsatz eines neuen Variantenteiles erforderlich, wird nach der Konstruktion hierfür vom System ein entsprechender Code generiert und das Teil in PDM gespeichert. Damit steht dieses in weiterer Folge dem Konfigurationsprozess zur Verfügung.

Die Erforschung der **Verwendung des CAD-Modells als Träger der Wissensbasis** war Ziel im DFG[1]-Projekt WAM – Wissensbasierte agentengestützte Modellierung in parametrischen 3D-CAD-Systemen (vgl. ANDERL et. al. 2003). Bei diesem Ansatz wird Konstruktionswissen direkt im CAD-Modell gespeichert. Im Rahmen des Projektes entwickelte LIESE (2004) u. a. erweiterte Methoden der CAD-Wissensrepräsentation und -Modellierung. Ziel dabei war ein in das CAD-System integrierter Modellierungsagent, der Konstruktionsabsichten ereignisgesteuert erfasst und dem Produktentwickler eine adäquate Unterstützung anbietet. Das methodische Vorgehen sieht vor, in einem ersten Schritt (Definition) auf der Basis existierender CAD-KBE-Module erweiterte bzw. um spezifisches Konstruktionswissen angereicherte CAD-Modelle aufzubauen und in einem Wissenspool zu speichern. Im Konstruktionsprozess (Anwendung) wird dieser Wissenspool dann durchsucht und durch Instanziierung eines ggf. gefundenen, wissensbasierten CAD-Modells eine neue Komponente erzeugt.

Eine **Erweiterung zu bestehenden Produktkonfigurationsprozessen** im Zusammenhang mit unzureichenden Kundeninteraktionen präsentiert SCHEER (2006) in seiner Forschungsarbeit. Dabei wurden zwei Problemfelder aufgegriffen und Lösungsvorschläge entwickelt. Zum Ersten geht es um Optionsauswahlprobleme (Kunde kann keine Präferenz bilden), denen mit Möglichkeiten zu eigenen Spezifikationsvorschlägen seitens des Kunden begegnet wird. Zum Zweiten müssen diese Vorschläge in das Konfigurationsmodell adaptiert werden. Der Lösungsansatz erlaubt eine vom Anbieter nicht vorgedachte Modellerweiterung durch den Kunden und damit eine spezifische Erweiterung der Produktindividualität. Hierfür können

[1] DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft (Website: http://www.dfg.de)

vom Kunden Bestandteile des Produktmodells durch andere Optionen und Optionswerte ersetzt werden bzw. kann durch Hinzufügen, Verändern oder Löschen einzelner Modellbestandteile das Modell verändert werden. Ergebnis des Konzeptvorschlages ist die Vermeidung kundeninitiierter Prozessabbrüche bei Präferenzlosigkeit und Sonderwünschen in der Produktspezifikation.

Die Entwicklung eines PKS-Rahmenwerkes auf der Basis von Semantic Web Technologien war Forschungsziel im EU-Projekt SWOP (Semantic Web-based Open engineering Platform; STRP NMP2-CT-2005-016972; ECKSTEIN et. al. 2008). Mithilfe eines eigens entwickelten Applikationsgenerators werden eine Produktstruktur erstellt und ein Regelwerk in Form von Ontologien (auf Basis von OWL) aufgebaut. Eine Besonderheit bei der Produktkonfiguration ist die Kopplung zu Optimierungsmöglichkeiten. Der Ansatz beruht auf der Annahme, dass bei der Konfiguration vielfach Zielkonflikte zu lösen sind und dies zu mehreren Produktalternativen führen kann. Soll bspw. eine Baugruppe möglichst leicht und möglichst kostengünstig sein, kann dies durch Konfigurationsregeln nicht mehr abgebildet werden. Ein spezielles Suchverfahren auf der Basis von genetischen Algorithmen ermittelt unter Einbezug der Konfigurationsregeln mögliche Lösungsvarianten und versieht diese mit einer Lösungsgüte (solution fitness). Ergebnis der Anwendung ist eine gewichtete Liste mit realisierbaren Konfigurationsvorschlägen.

3.5 Fazit und Einordnung in den Kontext der Arbeit

Anhand der ausführlichen Untersuchung und Diskussion von Kriterien zur rechnergestützten Konfiguration und Auslegung kann ein erstes Fazit in Bezug auf die Themenstellung dieser Arbeit gezogen werden.

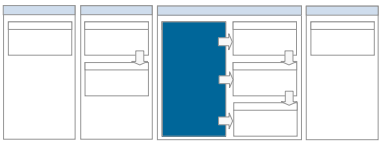
PKS und KBES bilden die technologische Grundlage für PKA-Systeme, sind jedoch im Unterstützungsgrad hinsichtlich Konfiguration und Auslegung unterschiedlich. Weiterentwicklungen in Form von Design-Automation-Systemen bzw. 3D-Produktkonfiguratoren können einige Defizite ausgleichen. Die jeweils eingesetzten Wissenstechnologien bzw. die Grundarchitektur der Systeme sind zwar grundsätzlich ähnlich, beinhalten aber eine Vielzahl zu berücksichtigender Faktoren. Zur Gestaltung problemgerechter Lösungen kommt der Kenntnis von charakterisierenden Merkmalen und deren Optionen eine hohe Bedeutung zu. Die erarbeitete Applikationstypisierung stellt eine gute Grundlage zur Diskussion und Klärung der verschiedenen Fragestellungen dar.

Für ein Unternehmen sind PKA-Projekte eine große Herausforderung und müssen geplant werden. Es existieren zahlreiche Vorgehensmodelle mit unterstützenden Methoden. Der Detaillierungsgrad ist recht unterschiedlich. CommonKADS und MOKA bieten sehr systematische, modellbasierte Ansätze. Die Schwierigkeit besteht hier in der Praktikabilität für kleinere Unternehmen (KMUs), die PKA-Projekte aus der Konstrukteurssicht angehen. Dementsprechend gibt es auch Forschungsaktivitäten, die diese Klientel zu berücksichtigen versuchen. Den einfacheren, KMU-gerechteren Vorgehensmodellen fehlt es wiederum an detaillierten, praktikablen Handlungsanweisungen, insb. für die konstrukteursgerechte Wissenserfassung von Konfigurations- und Auslegungswissen.

Die **Wissenserfassung** geht stark einher mit der Wissens- bzw. Produktmodellierung. Hier existiert bereits eine Vielzahl an Ansätzen. Intensive Forschungsaktivitäten belegen die Aktualität des Themas. Graphenbasierte Ansätze bieten eine gute Übersicht über Produktstrukturen, können aber Produktkomponentenbeziehungen nur über Umwege erfassen und anzeigen. Letzteres ist die Domäne der Matrixmethoden, die Elementsbeziehungen sehr plakativ darstellen können. Die Festlegung inhaltlicher Details der Beziehungen beschränkt sich aber meist auf eine binäre Information (ja/nein). Weiters lassen sich Produktstrukturen nur über eine eigene Matrix darstellen, die dann bspw. mittels Graphen auch visuell angezeigt werden können. Für eine konstrukteursgerechte Modellierung und Wissenserfassung individualisierter Produkte ist eine Kombination bzw. Erweiterung der bekannten Methoden erforderlich.

Die unterschiedlichen Ansätze zur **Integration der Wissenstechnologie in IT-Systeme** (CAD, PDM, PKS, KBES) werfen die Frage auf, wo Konstrukteurswissen idealerweise abgelegt werden soll. Prinzipiell werden für KBS explizite Wissensbasen aufgebaut. Dies ermöglicht eine saubere, eigenständige Erfassung und Pflege der Konfigurations- und Auslegungsregeln. Dem gegenüber stehen Ansätze, Wissen direkt in CAD-Modellen zu speichern. Dies bringt etliche Vorteile im CAD-dominierten Konstruktionsprozess, insb. dann, wenn Wissen direkt die Geometrie beeinflusst (Auslegung). Gefördert wird dieser Ansatz durch zunehmende Erweiterungen im Bereich der Featuretechnologie und geometriebasierten Wissensmodule (Templates). Ungeeignet ist dieser Ansatz für die Definition und Verwaltung von Konfigurationswissen, das vornehmlich auf Metadaten und Sachmerkmalen existierender Komponenten aufbaut. Diese Daten sind vielfach in PDM-Systemen verwaltet. Das in den Produkten enthaltene Wissen über Funktion, Teileherstellung und Montage ist existenziell für ein Unternehmen. Unter Berücksichtigung entsprechender Schutzmechanismen gegen Missbrauch bzw. ungewollte Verteilung kommt einer transparenten, verständlichen Dokumentation des Expertenwissens eine hohe Bedeutung zu. Zur Erfüllung der vielfältigen Anforderungen an ein rechnergestütztes Konfigurieren und Auslegen hinsichtlich Vorgehen, Wissenserfassung und Ablage sowie der CAD/PDM-Integration ist eine ganzheitliche Konzeption erforderlich.

4 Detailuntersuchung und Anforderungsanalyse



Aufgabe und Zielsetzung dieses Kapitels ist die Ermittlung von Anforderungen an eine ganzheitliche PKA-Unterstützung und Ableitung eines entsprechenden Handlungsbedarfes.

Nach einem kurzen Rückblick auf die bisherigen Aktivitäten wird im ersten Abschnitt der prinzipielle Entstehungsprozess einer PKA-Applikation aufgezeigt. Eine Beschreibung der eingesetzten Standardlösung sowie ein strukturierter Leitfaden sollen die Detailuntersuchung vorbereiten und unterstützen.

Im Abschnitt 2 und 3 werden anhand der gemachten Erfahrungen aus der Wissenserhebung und der Systemimplementierung jeweils die Unzulänglichkeiten und Problemfelder extrahiert. Dies ermöglicht im letzten Abschnitt die Beschreibung des konkreten Handlungsbedarfes.

4.1 Einführung in die Aufgabenstellung

Im Einführungskapitel (siehe 1.2) wurde der *Fallgeber* bereits vorgestellt. Ebenso erfolgte eine grobe Beschreibung der beiden Referenzbeispiele aus dem Betriebsmittelumfeld (Grundwerkzeuge und Handlingmodule). Die Ausgangsituation beim Fallgeber in Bezug auf die bisherigen PKA-Aktivitäten stellt sich wie folgt dar:

Im Bereich „Engineering" werden seit Jahren individuelle Applikationen zur Automatisierung und Unterstützung des Konstruktionsprozesses entwickelt. Einen Schwerpunkt bilden dabei in CAD integrierte Zusatzanwendungen. Die Wünsche der Fachabteilungen nach automatisierter Konstruktion nehmen ständig zu. Die Softwareprogramme werden in Hochsprachen programmiert. Der Zugriff auf die nur im Quellcode vorhandene Dokumentation der Verarbeitungslogik sowie deren Wartung bereitet zunehmend Schwierigkeiten. Auch der Wissenstransfer vom Konstrukteur zum Programmierer, und lange Entwicklungszeiten bei neuen Aufgabenstellungen erhöhen den Druck auf alternative Lösungswege. Als mögliche Abhilfen wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit (LUTZ 2008) eine konkrete PKA-Aufgabenstellung implementiert und eine Marktlösung eingeführt. Die oberste Zielsetzung für Umsetzungsprojekte ist jeweils, so rasch als möglich, eine für den Endbenutzer funktionierende und Nutzen bringende Endanwendung zu generieren. Der Entwicklungsprozess dieser Endanwendungen läuft recht pragmatisch ab und orientiert sich weitestgehend an den Vorgaben und Rahmenbedingungen der Marktlösung. Aufgrund einer hohen Änderungsdynamik hat der Wartungsaufwand der bereits realisierten Unterstützungen erheblich

zugenommen. Mühe bereitet nach wie vor der systematische Transfer des Konstruktionswissens vom Experten zum Wissensingenieur.

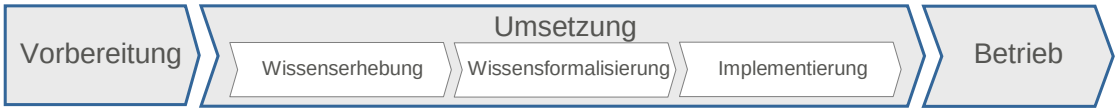
4.1.1 Der Entstehungsprozess einer PKA-Applikation

Vor dem Start der Detailanalyse soll eine Prozessbetrachtung über die Entstehung einer PKA-AP den prinzipiellen Ablauf, die Rollenverteilung sowie generelle Anforderungen an die Lösung aufzeigen.

Allgemeines Phasenmodell

Anhand der Literatur und einschlägigen Forschungsarbeiten über Vorgehenskonzepte (vgl. Kap. 3.4) lässt sich ein allgemeines, praktikables Phasenmodell definieren, das auch eine gute Übereinstimmung mit dem bis dato beim *Fallgeber* praktizierten Vorgehen aufweist (Abb. 4-1). Die Hauptphasen setzen sich aus einer *Vorbereitung*, der praktischen *Umsetzung* und dem *Betrieb* der PKA-AP zusammen. Wie aus dem allgemeinen Projektmanagement bekannt, ist eine gute **Projektvorbereitung** mit einer Beschreibung der Aufgabenstellung, einer Anforderungsformulierung, Planungsaktivitäten, Voranalysen und möglicherweise Machbarkeitsuntersuchungen eine wichtige Voraussetzung für den Projekterfolg.

Abb. 4-1: Allgemeines Phasenmodell zur Entwicklung einer PKA-Applikation



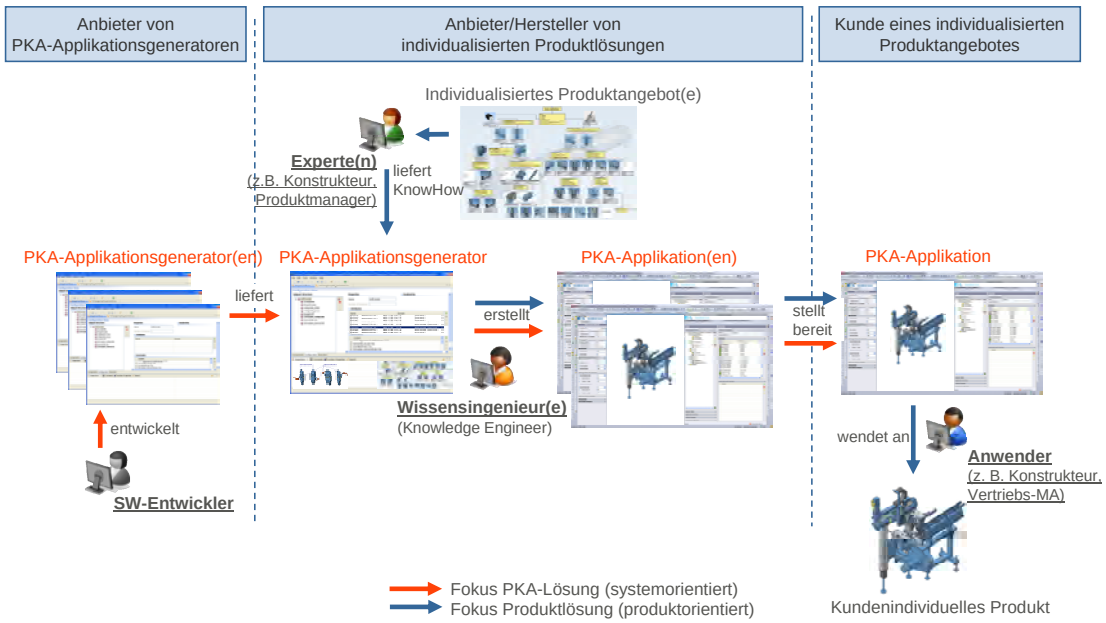
Die Phase der Umsetzung startet mit der **Wissenserhebung**. Ein wesentlicher Punkt dabei ist die Erfassung und Dokumentation des Expertenwissens (vgl. Kap. 2.4.3). Die Überführung des erfassten Expertenwissens in eine Wissensbasis fällt der Phase **Wissensformalisierung** zu. Hierbei werden Produktinformationen sowie Konfigurations- und Auslegungsregeln in eine rechnerverarbeitbare Form gebracht (vgl. 2.4.4). Mit der **Implementierung** startet der eigentliche Bau der PKA-AP. Ziel dabei ist der Aufbau eines Konfigurationsmodells, die Implementierung der Verarbeitungsregeln, ggf. die Verbindung zu einem CAD-Modell sowie die Gestaltung eines Benutzerdialoges (Details hierzu folgen im nächsten Abschnitt). Nach Fertigstellung der Applikation wird diese in die Fachabteilung (z. B. Konstruktion) zum **Betrieb** übergeben. In die Betriebsphase fallen u. a. eine gezielte Einführung und Begleitung sowie ggf. notwendige Änderungs- und Wartungsvorgänge.

Rollen und Aufgaben in der Applikationsentstehung

Die Rolle von Experten und Wissensingenieuren wurde bereits in Kap. 2.4.3 beleuchtet. Ebenso differenzierte Kap. 3.3.1 zwischen einem PKA-Applikationsgenerator und einer PKA-AP. Zur verständlichen Einordnung eines spezifischen PKA-Projektes soll anhand von Abb. 4-2 der Entstehungsprozess in Bezug auf die involvierten Organisationsbereiche und beteiligten Akteure aufgezeigt werden.

Grundsätzlich kann zwischen einer systemorientierten Sicht, bei der die IT-Lösung im Vordergrund steht, und einer Produktsicht, die das zu unterstützende individualisierte Produktangebot in den Mittelpunkt stellt, unterschieden werden. Die Produktsicht ist der primäre Auslöser für eine IT-Lösung: Der Anbieter/Hersteller eines individualisierten Produktangebotes möchte seine Kunden bei der Konfiguration und Auslegung unterstützen und sich damit Wettbewerbsvorteile verschaffen. Auftraggeber ist bspw. der Vertrieb oder die Fachabteilung selbst. Mit Unterstützung eines WI wird das Expertenwissen (z. B. Konstrukteur, Produktmanager) in eine IT-Lösung verpackt und dem Kunden zur Verfügung gestellt.

Abb. 4-2: Entstehungsprozess einer PKA-Applikation

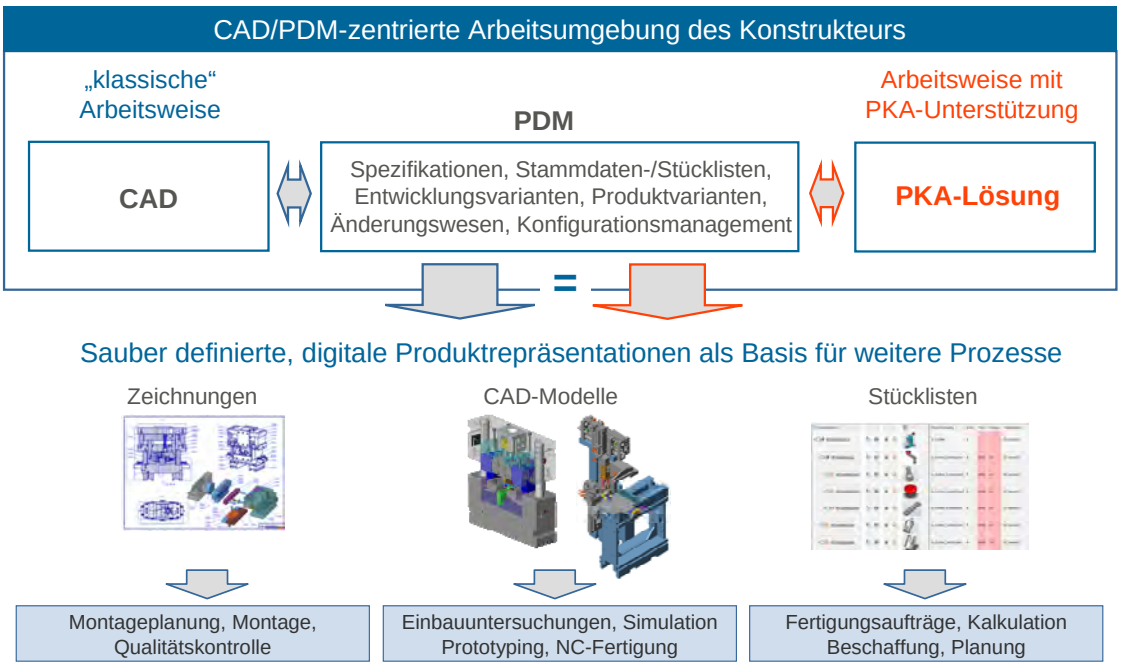


Für die Entwicklung einer PKA-AP (systemorientierte Sicht) bedient sich ein Produktanbieter einer Basistechnologie bzw. eines sog. PKA-Applikationsgenerators. Am Markt existieren mehrere Anbieter von Applikationsgeneratoren. Diese Generatoren werden von Softwareentwicklern programmiert. Anbieter/Hersteller von individualisierten Produktlösungen beschaffen sich einen geeigneten PKA-Applikationsgenerator zur selbstständigen Entwicklung einer PKA-AP. Zusammen mit einem Fachexperten (im konkreten Fall ein Betriebsmittelkonstrukteur) entwickelt ein Wissensingenieur eine spezifische PKA-AP für eine spezifische Aufgabenstellung. In der Regel existieren mehrere unterschiedliche, individualisierte Produktangebote bzw. Aufgabenstellungen. Mit dem jeweiligen Experten entwickelt der WI auf Basis des beschafften Generators dafür PKA-Applikationen (im konkreten Fall: Grundwerkzeuge für Folgeverbundverfahren, Handlingmodule für Montageanlagen). Der Anbieter/Hersteller eines individualisierten Produktes stellt die spezifische PKA-AP seinem Kunden zur Verfügung (im konkreten Fall ist der Kunde die eigene Betriebsmittelkonstruktion). Beim Kunden nutzen Anwender (z. B. Vertriebsmitarbeiter, Konstrukteure) die PKA-AP zur Konfiguration und Auslegung eines kundenindividuellen Produktes.

Generelle Anforderungen an eine PKA-Lösung

Mit einer PKA-Lösung werden Konstruktionsvorgänge automatisiert, unterstützt und damit nachgebildet. Eine generelle Maßgabe beim internen Einsatz (direkt in der Konstruktion) ist der Prozess der klassischen Arbeitsweise. Zwei wesentliche Anforderungen sind dabei zu berücksichtigen bzw. zu erfüllen (Abb. 4-3): Zunächst ist das konstruktionsbegleitende Datenmanagement (PDM) in gleicher Weise einzubeziehen. Des Weiteren müssen am Ende des Prozesses sämtliche Produktrepräsentationen wie Modelle, Zeichnungen und Stücklisten zur Weitergabe an Folgeprozesse (Fertigung, Montage) in gleicher Qualität zur Verfügung stehen. Nur unter diesen Voraussetzungen ist eine flexible Wahl und ggf. ein Mischbetrieb der beiden Vorgehensweisen gewährleistet. So ist es in der Praxis durchaus üblich, in der Konzeption der PKA-AP nicht vorgesehene Sonderfälle (ausgefallene Kundenwünsche) mit der Applikation „Vorzukonfigurieren" und den Rest dann individuell anzupassen. Weiters kann es erforderlich sein, kurzfristige Änderungswünsche an bestehenden Produktvarianten händisch auf Basis der bestehenden Konfigurationsresultate durchzuführen, bevor diese Änderungen in der PKA-AP dann nachgezogen werden.

Abb. 4-3: Generelle Anforderungen an eine PKA-Lösung: Selbe Qualität des Outputs für Folgeprozesse wie bei der klassischen Arbeitsweise



4.1.2 Beschreibung der eingesetzten Standardlösung

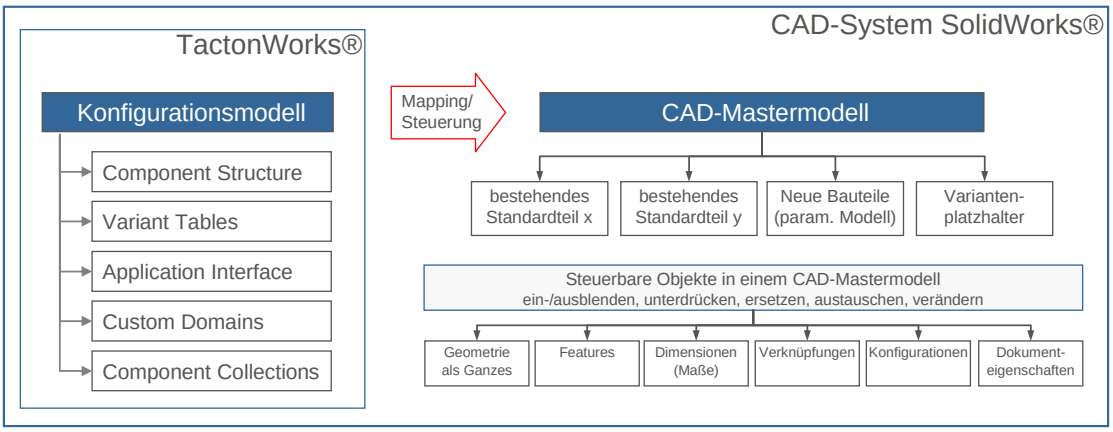
Beim Fallgeber wird die Marklösung (Standardlösung) *TactonWorks®*[1] (in der Folge mit „TW" bezeichnet) eingesetzt. Für die Untersuchung der mit TW realisierten Projekte (Fallbeispiele)

[1] TactonWorks ist eine Konfigurations- bzw. KBE-Lösung der Firma *TACTON Systems* (Website: www.tacton.com)

sind Kenntnisse über Aufbau, Charakteristik und Wirkungsweise der Software erforderlich. Mit Unterstützung des in Kap. 3.3.5 geschaffenen Typisierungsschemas (siehe Anhang A1) werden nachfolgend die wesentlichen Merkmale der Standardlösung aufgezeigt.

TW ist als Add-In komplett in die beim *Fallgeber* eingesetzte CAD-Software *SolidWorks®*[1] (in der Folge mit „SWX" bezeichnet) eingebunden. Die PKA-Lösung teilt sich dabei in den PKA-Applikationsgenerator (*TW-Studio®*) und die spezifische PKA-AP (TW-Engineer®). Das Funktionsprinzip der PKA-Lösung besteht aus einem Konfigurationsmodell, das mit einem CAD-Mastermodell verbunden ist (Abb. 4-4). Die Hauptbestandteile des **Konfigurationsmodells** sind die *Component Structur* bzw. die *Components* mit ihren beschreibenden Attributen und zugehörigen Regeln sowie das *Application Interface*. Variantenteile werden in eigenen *Variant Tables* abgebildet. In sog. *Custom Domains* können benutzerdefinierte Datensets (bspw. klein/mittel/groß) angelegt werden. Mittels *Component Collections* lassen sich Komponenten zur gemeinsamen Ansteuerung gruppieren.

Abb. 4-4: Schematischer Aufbau und Funktionsweise von TactonWorks®



Das **CAD-Mastermodell** repräsentiert die Komponentenstruktur in Form von Standardgeometrien (Standardbauteile), parametrischen Geometrien (kundenindividuelle Neuteile) und Platzhaltergeometrien (Variantenplatzhalter). Sämtliche Objekte lassen sich über ihre Eigenschaften ansteuern bzw. mit dem Konfigurationsmodell mappen. Hierzu zählen die Geometrien als Ganzes (ein-/ausblenden, unterdrücken, austauschen/ersetzen), aber auch Features (ein-/ausblenden, unterdrücken), Dimensionen/Maße (verändern), Verknüpfungen (unterdrücken), Konfigurationen (umschalten) und Dokumenteigenschaften (setzen, verändern). Der große Vorteil dieser Methode liegt u. a. auch darin, fertige, ausdetaillierte CAD-Geometrien zu verbauen, die vom Konfigurations- und Auslegungsprozess entweder gar nicht betroffen sind oder fixe Geometriepartien enthalten, die keine extra Berücksichtigung finden müssen.

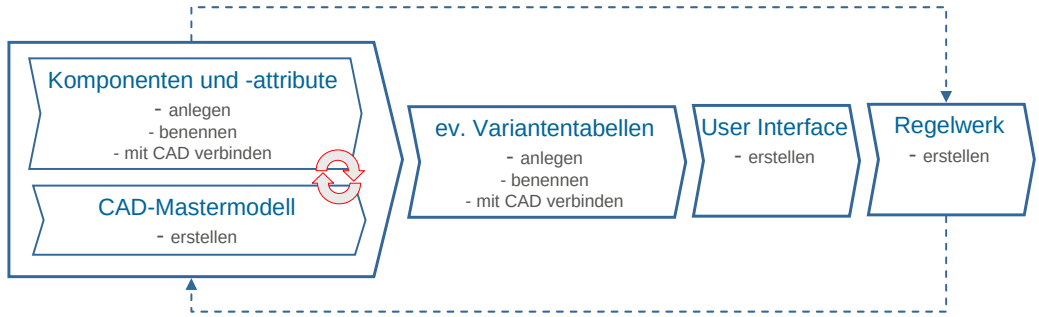
[1] SolidWorks ist die CAD-Lösung der gleichnamigen Firma SolidWorks Corp. (Website: www.solidworks.com)

Das Konfigurationsmodell mit allen fallspezifischen Daten wird in einer XML-Datei abgelegt. Diese kann auch in das Mastermodell eingebettet werden, was v. a. für die Verwaltung (PDM) von Vorteil ist.

Prinzipieller Ablauf bei der Implementierung einer Aufgabe

Abb. 4-5 visualisiert das Vorgehen beim Aufbau eines Konfigurationsmodells bzw. für die Implementierung einer Aufgabe. Zu Anfang sind jeweils die Definition und die Erstellung der Komponentenstruktur und des CAD-Mastermodells durchzuführen. Aufgrund der großen Abhängigkeit dieser beiden Strukturen werden diese vorzugsweise iterativ entwickelt. Im Konfigurationsmodell werden nacheinander alle **Komponenten** angelegt, mit einem eindeutigen Namen versehen und mit der entsprechenden Geometrie im **Mastermodell** verknüpft. Weiters werden für jede Komponente relevante **Attribute** (z. B. ein beschreibendes Maß) angelegt und deren Datentypen sowie evtl. deren mögliche/zulässige Wertebereiche definiert. Die angelegten Attribute werden gleichfalls mit den entsprechenden Geometrieelementen verknüpft. Mithilfe dieser Attribute können in der Folge auch Regeln und Constraints implementiert werden.

Abb. 4-5: Vorgehen für den Aufbau eines Konfigurationsmodells



Ein eigener Objekttyp sind die **Variantentabellen**. Diese enthalten alle erlaubten Ausprägungen einer Komponente und werden ebenso über ein oder mehrere Attribute (Sachmerkmale) präzisiert. Die Variantentabelle wird der entsprechenden Komponente in der Struktur zugewiesen und auch mit einer Geometrie im Mastermodell verknüpft. Die CAD-Geometrie kann dabei als Platzhalter fungieren, der jeweils entweder durch ein bereits existierendes Modell ausgetauscht oder durch Parameteränderung direkt am Modell zu einer neuen Variante wird.

Für das **User Interface** werden Eingabeparameter-Gruppen und dann jeweils einzelne Eingabeparameter angelegt. Ferner wird das Erscheinungsbild bzw. der GUI-Typ (z. B. Drop-Down Menü) festgelegt und bestimmt, auf welches Attribut sich die Eingabe bezieht. Hiermit sind alle wesentlichen Elemente definiert, und das **Regelwerk** kann komplettiert werden. Eine detailliertere Beschreibung der Implementierungsschritte mit den konkreten Systemfunktionen des PKA-Applikationsgenerators erfolgt im Zuge der Fallbeispieldiskussion.

Prinzipielle Anwendung einer fertigen PKA-Applikation

Zur Nutzung einer fertigen PKA-AP lädt der Anwender das entsprechende Mastermodell (ggf. mit PDM-Unterstützung) in sein CAD-System und startet die Applikation. Das Konfigurationsmodell ist so angelegt, dass zusammen mit der Problemlösungskomponente automatisch eine gültige Startlösung konfiguriert wird. In der Folge können sämtliche im User Interface vorgesehenen Parameter, unabhängig von einer bestimmten Reihenfolge, verändert werden. Jede Parameteränderung wird wahlweise sofort auf das CAD-Modell übertragen. Dabei können nur gesamthaft gültige (valide) Lösungen erzeugt werden. Diese Arbeitsweise wird durch Funktionen unterstützt, die den Anwender bei jedem Konfigurationsschritt informieren, welche Eingabemöglichkeiten erlaubt oder bereits ausgeschlossen sind. Widersprüchliche Anforderungen generieren automatisch Hinweise zur Konfliktlösung. Dieses Konzept regt den Anwender grundsätzlich zum „Ausprobieren" der unterschiedlichen Optionen und Lösungsmöglichkeiten an.

4.1.3 Leitfaden zur Detailuntersuchung der Fallbeispiele

In Kap. 2.4.3 wurden allgemeine Methoden der Wissenserhebung aufgezeigt. Für die Detailuntersuchung der ausgewählten Fallbeispiele ist eine aufgabenspezifischere Systematik erforderlich, die anhand des folgenden Leitfadens gestaltet werden soll.

Hauptansprechpartner der Untersuchung sind die Wissensingenieure (Ersteller der realisierten Endanwendungen) sowie deren Hauptansprechpartner im Projekt (Experten aus der Werkzeug- und Montagemaschinenkonstruktion). Die Untersuchungen werden anhand von Interviews durchgeführt. Der Leitfaden gewährleistet dabei ein strukturiertes, vergleichbares Vorgehen und erleichtert die Klassifizierung von Problemfeldern. Vier wesentliche Fragestellungen sind zu klären bzw. zu bearbeiten:

1. Wie lauteten die Problemstellung und die Zielsetzung? Wie war die Ausgangssituation?
2. Wie wurde das Produkt- und Konstrukteurswissen identifiziert, erfasst und dokumentiert?
3. Wie wurde die Aufgabenstellung umgesetzt und in die IT-Marktlösung implementiert?
4. Welche Umstände und Faktoren bereiten Schwierigkeiten? Wo sind Problemfelder?

1. Ausgangssituation, Problemstellung und Zielsetzung

Grundvoraussetzung für die Analyse des Projektablaufes ist ein klares Verständnis für die Aufgabenstellung. Die *Ausgangssituation* beschreibt dabei die Arbeitsweise vor dem Automatisierungsprojekt. Vorhandene Schwierigkeiten und Wünsche zur Verbesserung werden in der *Problemstellung* aufgezeigt. Die *Zielsetzung* formuliert den Auftrag zur Unterstützung mittels einer Softwareapplikation.

2. Erfassung und Dokumentation von Produkt- und Expertenwissen

An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass in den beiden Umsetzungsprojekten die maßgebenden Treiber für die Form der Erfassung und Formalisierung von Expertenwissen, die Vorgaben der Marktlösung waren. Die Anforderungen und notwendigen Inputs für eine Implementierung bestimmten jeweils die Art und den Inhalt des zu erfassenden Fallwissens,

das durch entsprechendes Rückwärtsschreiten jeweils spezifisch ermittelt wurde. Dementsprechend erfolgte dieser Schritt in hoher Interaktion und Iteration mit der Implementierung. Für die systematische Analyse der Fallbeispiele wird dessen ungeachtet hier die *„Identifikation, Erfassung und Formalisierung von Produkt- und Expertenwissen"* der Untersuchung über die *„Umsetzung und Implementierung"* vorangestellt.

Anhand der bereits aufgearbeiteten Erkenntnisse aus dem Theorieumfeld (insb. Produktstrukturierung, Regeldefinition, CAD- und PDM-Systemeigenschaften) und Erfahrungen aus den Pilotprojekten können die wesentlichen **Wissensobjekte** benannt werden:

- **Teile-Informationen**: Alle Informationen, die zur vollständigen Definition und Beschreibung eines Teiles notwendig sind (z. B. Metadaten wie Identifikation, Name, Material, Änderungsstatus etc. und Geometriedaten wie Sachmerkmale).
- **Strukturinformationen**: Alle Informationen, die den Aufbau bzw. die Strukturierung eines Produktes in Baugruppen regeln (z. B. alle Arten von Stücklisten).
- **Kombinations- bzw. Konfigurationsregeln**: Informationen, die die Kombinierbarkeit von Komponenten und Baugruppen festlegen (z. B. eine regelbasierte Variantenstückliste oder anderweitig definierte Kombinationsregeln).
- **Auslegungsregeln**: Alle Informationen, die für eine richtige Dimensionierung von Bauteilen notwendig sind (z. B. Mindestwandstärken, Wellendurchmesser, Abstände).

Weiters muss untersucht und erfasst werden, aus welchen **Wissensquellen** das entsprechende Wissen für die einzelnen Komponenten stammt und welche Mittel zur Dokumentation und Formalisierung angewandt wurden. Fünf Hauptquellen können benannt werden:

- **Erfahrungswissen des Konstrukteurs**: Hiermit ist speziell das undokumentierte (implizite) Wissen gemeint, das sich im Lauf der Jahre im Kopf des Konstrukteurs angesammelt hat.
- **Dokumentationen**: Alle Informationen, die in strukturierter oder unstrukturierter Form auf Papier oder in digitalen Medien vorliegen (z. B. Aufzeichnungen, Anleitungen, Präsentationen).
- **CAD-System**: In CAD-Modellen ist Produktwissen in vielfacher Form vorhanden. Dies sind bspw. parametrische Maße, die über Formeln gesteuert sind oder implizite Konfigurationsfunktionen. Auch Positions-Verknüpfungen zwischen Teilen sind wichtige Informationsquellen.
- **PDM-System**: Einem PDM-System können vielfältige Informationen entnommen werden. So sind bspw. Teile- und Stücklisteninformationen nahezu vollständig abgebildet. Auch die Klassifizierung und Sachmerkmalleisten sind wertvolle Quellen.
- **Berechnungsprogramme und Auslegungsunterstützungen**: Hiermit sind alle Hilfsmittel gemeint, die speziell die Auslegung von Bauteilen unterstützen (z. B. Excel-Makros, Auslegungsassistenten im CAD-System).

Die methodische Erfassung der Wissensobjekte in Abhängigkeit der Herkunft von Daten, Informationen und Wissen lässt sich zweckmäßig in einer Matrix (im Folgenden „Wissensquell-Matrix" genannt) bewerkstelligen. Diese kann gleichzeitig auch als Checkliste eingesetzt werden (Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Wissensquell-Matrix zur Identifikation und Erfassung von Produkt- und Expertenwissen

Wissensobjekt / Wissensquelle	Teile-Informationen	Struktur-informationen	Konfigurations-regeln	Auslegungs-regeln
Erfahrungswi. des Konstrukteurs				
Dokumentationen				
CAD-System				
PDM-System				
Berechnungsprogramme				

3. Umsetzung und Implementierung in TW

In Abschnitt 4.1.2 wurde das Vorgehen zum Aufbau eines Konfigurationsmodells vorgestellt. Anhand dessen können die funktionalen Inhalte sowie mögliche Besonderheiten bei der Implementierung aufgezeigt werden. Dies beinhaltet bspw. die maßgebenden Komponenten und Strukturen, das Regelwerk und das CAD-Mastermodell.

4. Schwierigkeiten und Problembereiche

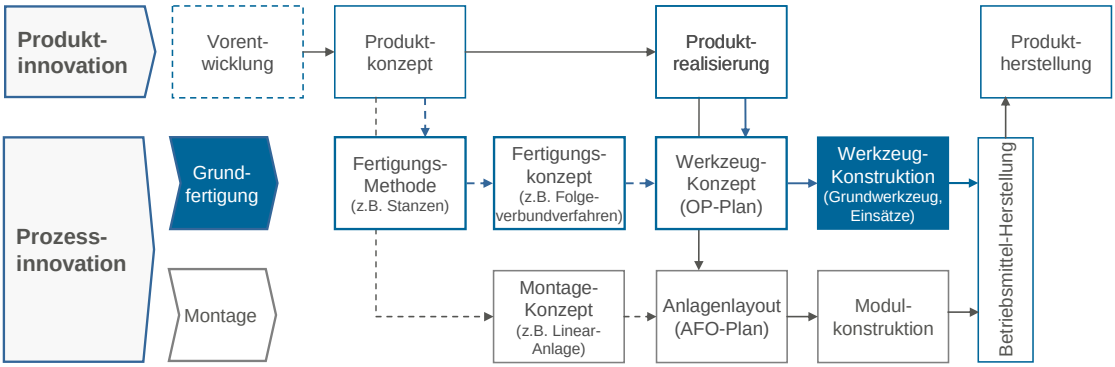
Im letzten Abschnitt der jeweiligen Fallbeispiel-Untersuchung werden die Auffälligkeiten, kritischen Faktoren und fallspezifischen Problembereiche zusammengefasst. Dies stellt die Basis für eine abschließende Bewertung dar, woraus der Handlungsbedarf abgeleitet werden kann.

4.2 Fallbeispiel I – Grundwerkzeuge für Folgeverbundfertigung

Die Aufgabe der Betriebsmittelkonstruktion ist die beherrschte Herstellung der Produkte. Zur Fertigung der qualitativ hochwertigen Einzelteile (Blechbiege-, Stanz-, und Tiefziehteile, Kunststoffspritzteile, Zinkdruckgussteile) werden Werkzeuge konstruiert und hergestellt, zur Assemblierung dieser Einzelteile Montageanlagen entwickelt und gebaut. Die Herstellung bzw. die Herstellbarkeit hat einen hohen Einfluss auf das Produktkonzept und dessen Freigabe zur Realisierung.

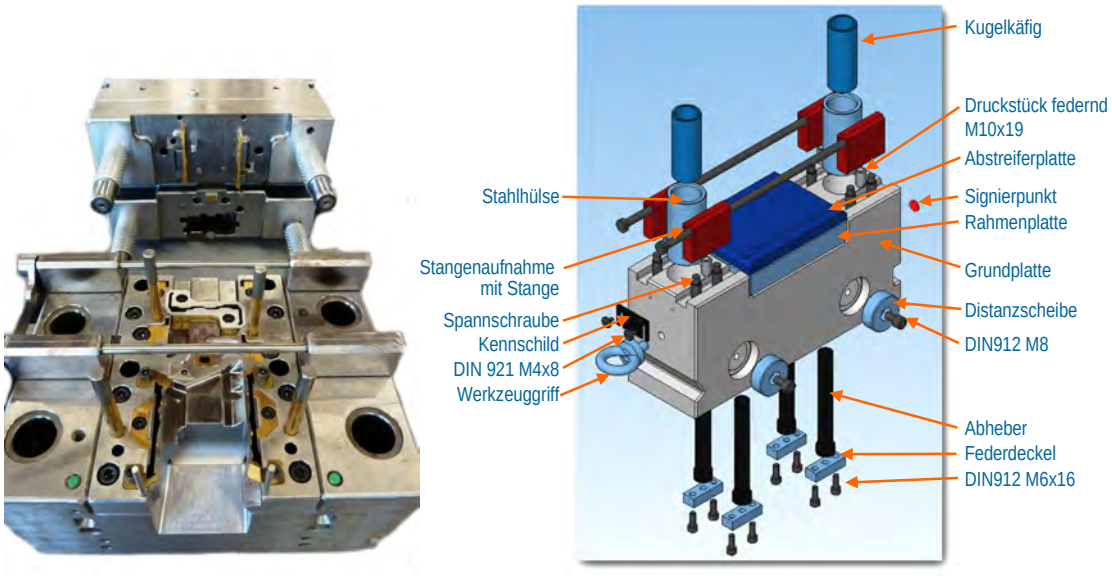
Abb. 4-6 skizziert den prinzipiellen Entwicklungs- bzw. Konstruktionsprozess vom Produktkonzept bis zu den entsprechenden Betriebsmitteln für die Grundfertigung und die Montage. Im vorliegenden Beispiel wurden aus dem Produktkonzept die Fertigungsmethode (Stahlteil Stanzen) und das Fertigungskonzept (Folgeverbundverfahren) abgeleitet bzw. bestimmt. Nach der Freigabe zur Produktrealisierung und dem Vorliegen der Einzelteildetaillierungen kann das Werkzeugkonzept in Form eines Operationsplanes erstellt werden. Dieser bestimmt den Fertigungsschritt der einzelnen Werkzeugstationen, womit die Konstruktion der Grundwerkzeuge plus Werkzeugeinsätzen begonnen werden kann.

Abb. 4-6: Prinzipieller Ablauf der Produktentstehung und Einordnung des Fallbeispiels „Grundwerkzeuge für Folgeverbundfertigung“



Die Funktion der Grundwerkzeuge wurde bereits in der Einführung erläutert. Es geht dabei um die Basis für ein Stanzwerkzeug, die produktspezifische Stempel und Matrizen aufnehmen kann. Diese werden durch entsprechende Platten gehalten. Das Werkzeug ist in ein Ober- und Unterteil gegliedert und über Führungssäulen miteinander verbunden (Abb. 4-7).

Abb. 4-7: Beispiel eines Werkzeugunterteils (real und als CAD-Modell) (Quelle: Blum)



Optional kann der Blechstreifen durch eine Abstreiferplatte daran gehindert werden, mit den Stempeln aus der Führung abzuheben. Die Abstreiferplatte muss durch Abheber für den Blechstreifenvorschub angehoben werden. Gleichzeitig wird das Abheben nach oben durch Stangen und federnd gelagerte Aufnahmen begrenzt. Die Anzahl der Führungssäulen und Stangeneinheiten (Stangen, Stangenaufnahmen, Federn, Schrauben) ist von der Werkzeuglänge abhängig. In Summe besteht ein Grundwerkzeug aus 32 verschiedenen Komponenten, die mehrfach vorkommen können.

4.2.1 Ausgangssituation, Problemstellung und Zielsetzung

Ausgangssituation

Aufgrund der hohen Auftragsfrequenz (2-3 Werkzeuge pro Woche) und der Vorgaben für kurze Durchlaufzeiten (maximal ein Tag) haben die Konstrukteure ein Basiskonzept (Grundstruktur) in Form einer Kopiervorlage entwickelt und im Laufe der Zeit optimiert. Die Handhabung der Kopiervorlage ist rudimentär dokumentiert. Darin sind teilweise auch Auslegungsrichtlinien, -regeln und -empfehlungen aufgelistet. Neue Werkzeugaufträge werden entweder mithilfe dieser Kopiervorlagen erstellt oder es wird fallweise auf bereits konstruierte Grundwerkzeuge zurückgegriffen.

Problemstellung

Für den erfahrenen Konstrukteur ist diese Arbeit Routine. Ständig herrscht Termindruck. Neben der Erstellung von Grundwerkzeugen müssen auch die produktspezifischen Stempel und Matrizen konstruiert werden. Neue Mitarbeiter bzw. weniger erfahrene Konstrukteure tun sich schwer, sich anhand der vorhandenen Hilfsmittel in die Thematik einzuarbeiten und derartige Aufgaben in Eigenverantwortung zu übernehmen. Obwohl ein gemeinsames Verständnis für die Konstruktionsabläufe vorhanden ist und nach Meinung der erfahrenen Leute alles Wissen ausreichend dokumentiert ist, kommt es aufgrund unterschiedlicher Interpretationen der Vorgehensrichtlinien immer wieder zu Problemen in der Fertigung und der entsprechenden Datenverwaltung. Beispiele hierfür sind unterschiedliche Standardteile für ein und dieselbe Funktion, mangelnde Berücksichtigung von Vorzugsteilen, Dimensionierungs- und damit Festigkeitsprobleme, unvollständige Fertigungsunterlagen, Flüchtigkeitsfehler.

Zielsetzung

Mithilfe der Marktlösung TW soll eine IT-Unterstützung entwickelt werden, die alle bisher gemachten Erfahrungen berücksichtigt, den Erstellungsprozess beschleunigt und Nachwuchskonstrukteuren die eigenständige Bearbeitung ermöglicht. Dabei ist im Besonderen die Arbeitsumgebung mit CAD und PDM zu berücksichtigen, um jederzeit eine klassische (manuelle) Nachbearbeitung (z. B. für kleinere adhoc-Änderungen) der Ergebnisse zu ermöglichen. Des Weiteren erwarten sich die Führungsverantwortlichen eine „Konservierung" des Konstrukteurswissens für das Unternehmen.

4.2.2 Erfassung und Dokumentation des Produkt- und Expertenwissens

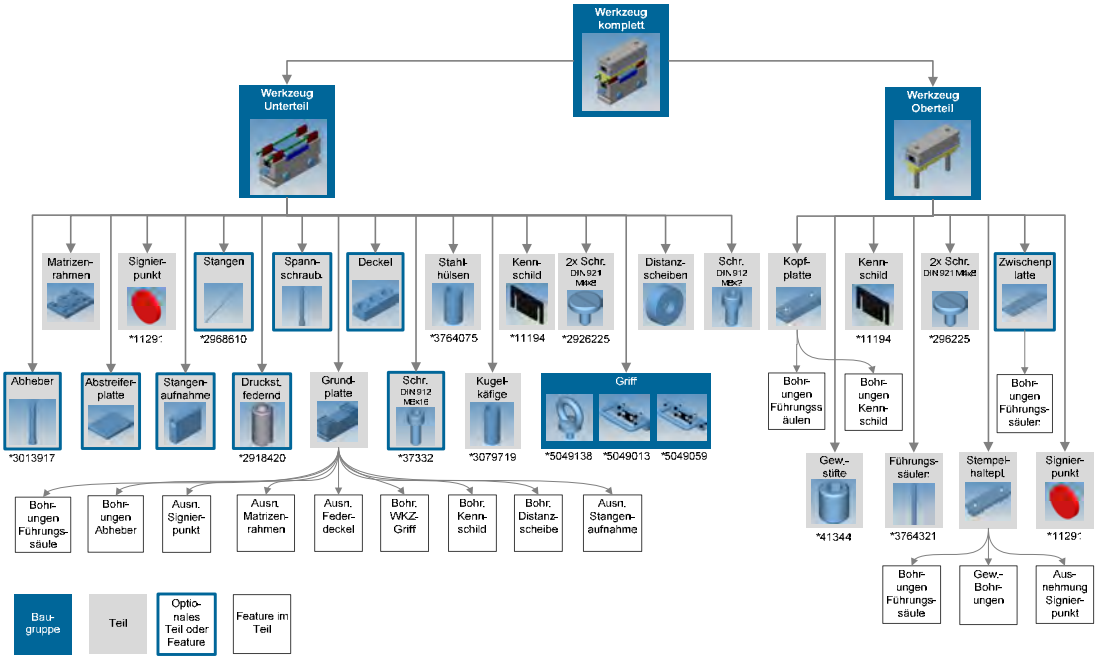
Für das Umsetzungsprojekt wurde von der Fachabteilung ein erfahrener Konstrukteur als Experte benannt. Dieser hat auch das Basiskonzept für die Grundwerkzeuge der Automatenfertigung entwickelt sowie die bisher eingesetzten CAD-Kopiervorlagen (Templates) erstellt.

Prinzipielle Vorgehensweise bei der seinerzeitigen Erfassung

Im Rahmen eines Startworkshops zwischen WI und Experten erfolgte durch Aufzeigen des gesamten Erstellungsprozesses die Einführung in die Thematik. Als Hilfsmittel bediente sich der Konstrukteur teilweise seiner eigens angefertigten Dokumentationen. Auch wurde der

Erstellungsprozess interaktiv am System anhand der Templates durchgespielt, wobei der Experte laufend die Besonderheiten erklärte. Der WI machte sich Notizen und fertigte für sich eine erste Dokumentation an. Im „Erklärungsprozess" wurden vom WI parallel die Wissensquellen identifiziert und festgehalten. Beispielsweise erlangte er so Kenntnis von Anleitungen im Intranet sowie Teile-, Stücklisten- und CAD-Nummern der Vorlagen oder Bezeichnungen (bzw. Identnummern) bereits realisierter Grundwerkzeuge. In der Folge wurden in kurzen Abständen Besprechungen zu Teilfragen abgehalten. Hierfür wurden vom WI jeweils spezifische Fragen vorbereitet. In den Gesprächen mit dem Experten kristallisierte sich rasch heraus, dass insb. die Template-Stückliste bzw. die Strukturliste der CAD-Zusammenstellung eines Grundwerkzeuges ein wesentliches Informations- und Kommunikationsinstrument darstellt. Der WI erstellte hierfür eine bebilderte Variantenstückliste mit Kennzeichnung der Baugruppen, Einzelteile, optionalen Teile sowie der variablen Geometriefeatures (Abb. 4-8). Hiermit konnten Diskussionen besser geführt und Fragen gezielter gestellt werden (bspw. über Zusammenhänge und Regeln der optionalen Teile). Des Weiteren notierte er sich die Identnummern bekannter Standardteile.

Abb. 4-8: Visuell aufbereitete Variantenstückliste (Quelle: Blum)



Anhand dieses sehr informell geprägten Wissenstransfers erstellte der WI laufend prototyphafte Implementierungen. Im Laufe des Projektes waren aufgrund unvollständiger und/oder unberücksichtigter Bedingungen immer wieder Anpassungen am Regelwerk erforderlich. Bei Abstimmungen interpretierte der WI dabei die Regeln in TW (TW-Regelsprache) gegenüber dem Experten. Dieser versuchte, dies in seine Sicht/Sprache umzusetzen und zu verifizieren. Umgekehrt definierte bzw. wiederholte der Experte sein Fallwissen, das der WI im TW-Regelwerk zu verifizieren suchte.

Erfassung mittels Wissensquell-Matrix

Zusammen mit dem WI, der seinerzeit auch als Projektleiter fungierte, wurden für die vorliegende Analyse unter Zuhilfenahme der Wissensquell-Matrix die Herkunft (Wissensquelle) des für die Realisierung notwendigen Produkt- und Expertenwissens erfasst (Tabelle 4-2) sowie die angewendeten Methoden für die Dokumentation diskutiert. Bei genauerer Betrachtung der befüllten Matrix können schwerpunktmäßig zwei Korrelationsbereiche ausgemacht werden. So werden aus

- CAD- und PDM-Systemen schwerpunktmäßig alle Teile-, Struktur- und Geometrieinformationen gewonnen, wohingegen aus dem
- Erfahrungswissen des Konstrukteurs und Dokumentationen zum überwiegenden Teil das Regelwissen (Kombinatorik, Auslegung) stammt. Wichtig in diesem Zusammenhang ist ferner die Feststellung, dass die Dokumentationen großteils vom Experten selbst erstellt werden.

Bei den Teile- und Strukturinformationen sind insb. die bestehenden Kopiervorlagen eine wichtige Quelle (sowohl bei CAD wie auch bei den Stücklisten). Beim Regelwissen existieren teilweise Dokumentationen im Intranet. Ein bedeutender Teil, insb. das Auslegungswissen wie bspw. die richtige Anzahl und Platzierung der Führungssäulen, die Auswahl und Anzahl der Stangenaufnahmen oder die Mindestwanddicken für die Federdeckelausnehmungen, ist nur implizit beim Fachexperten vorhanden.

Tabelle 4-2: Wissensquell-Matrix für Grundwerkzeuge

	Teile-Informationen	Strukturinformationen	Konfigurationsregeln	Auslegungsregeln
Erf.wissen des Konstrukteurs			▪ undokumentierte Empfehlungen (Vorzugskombinationen, Beschaffung von Standardteilen, weiterführende Infos von Herstellern)	▪ undokumentierte Empfehlungen zur Auslegung (wenn ... dann) ▪ Abhängigkeit von Werkzeuglänge zu Typ Werkzeuggriff, Anzahl Führungssäulen, Abstreiferplatte ja/nein, Zwischenplatte ja/nein, Anzahl Stangen, Einbau Federdeckel, Distanzscheiben, Werkzeughöhe, Mindestwanddicken für Federdeckelausnehmungen, Mindestabstände von Führungssäulen,
Dokumentationen			▪ Doku im Intranet (Anleitungen in Textform, Vorzugsteile bei Säulen) ▪ Kombinationsregeln Stangen/Stangenaufnahmen	▪ Doku im Intranet (Auslegungsformeln, Anleitungen in Textform) ▪ teilweise Dokus zu Abhängigkeit von Werkzeuglänge zu Typ Werkzeuggriff, Anzahl Führungssäulen, Abstreiferplatte ja/nein, Zwischenplatte ja/nein, Anzahl Stangen, Einbau Federdeckel, Distanzscheiben, Werkzeughöhe,

CAD-System	▪ CAD-Vorlagen für Neuteile (Grundplatte, Kopfplatte, Zwischenplatte, Stempelhalteplatte, Rahmenplatte, Abstreiferplatte) ▪ realisierte CAD-Volumen	▪ Grundwerkzeug-Template für CAD-Zusammenstellung ▪ realisierte CAD-Zusammenstellungen von Grundwerkzeugen		▪ Formeln in Parametrik (Mindestwanddicken)
PDM-System	▪ Komponenten-Vorlagen bzw. realisierte Werkzeugteile (Teilenummer, Benennung, Material, Teileklasse, Beschaffung, zugehörige Dokumente/ Dokumentstammdaten) ▪ Variantenteile: Stangenaufnahmen, Distanzscheiben (Sachmerkmale)	▪ Stücklistenvorlagen bzw. Stückliste von realisierten Werkzeugen		
Berechnungsprog.				▪ Excelprogramm (Auslegung Distanzscheiben und der zugehörigen Befestigung) ▪ Konstruktionsbibliotheken (Büchsenbohrungen, Bohrungen für Federdeckel)

4.2.3 Implementierung in die Standardlösung

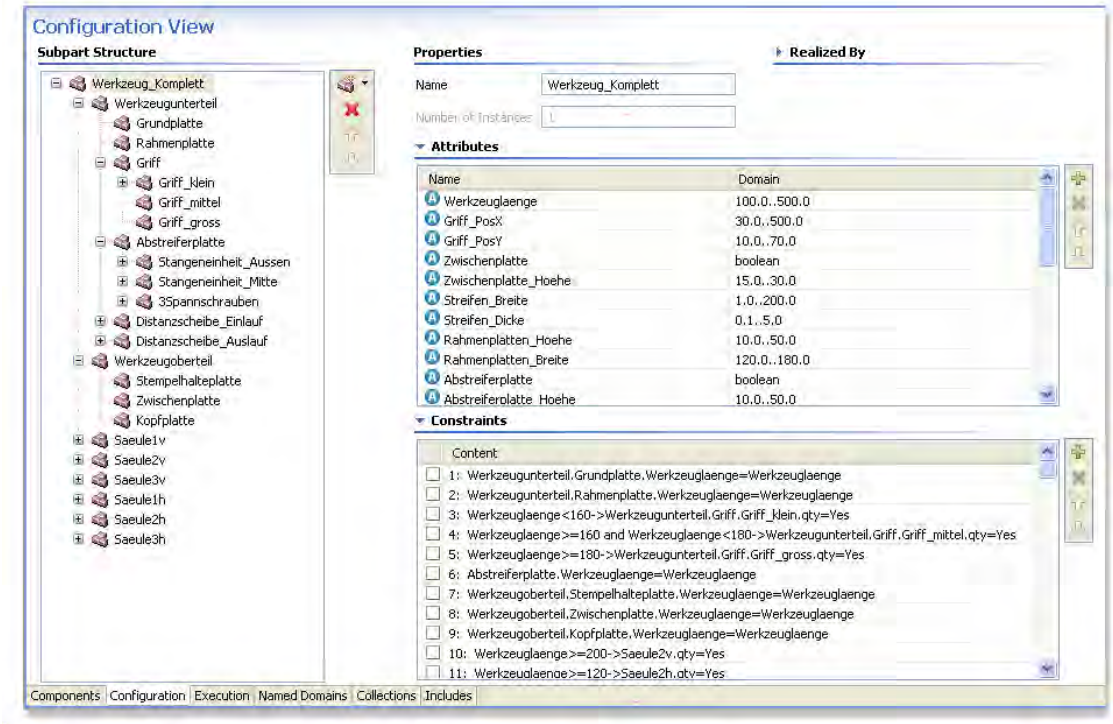
Ein Grundwerkzeug ist eine klassische MTO-Aufgabenstellung. Neben der Verwendung von Standardteilen entstehen etliche Neuteile. Der Aufbau des Konfigurationsmodells orientierte sich anfangs stark an der CAD-Vorlage, die wiederum stark an der realen Stückliste angelehnt war. Mit Fortdauer des Projektes und der Implementierung aller Regeldetails musste das Konfigurationsmodell mehrmals umgebaut bzw. angepasst werden. Selbiges traf auch auf das CAD-Mastermodell zu. Gründe hierfür waren u. a. sich ständig ändernde Regeln und die damit verbundenen Auswirkungen auf zweckmäßige Strukturen sowie die Erkenntnis, dass Stückliste, Mastermodell und Konfigurationsmodell letztendlich unterschiedlich behandelt werden müssen.

Komponentenstruktur, Komponenten, Attribute

Die Struktur im Konfigurationsmodell *Werkzeug_Komplett* wurde in ein *Werkzeugunterteil*, ein *Werkzeugoberteil* und sechs *Säulenbaugruppen* unterteilt (Abb. 4-9). Die Säulenbaugruppen bestehen jeweils aus der Säule selbst, einem Kugelkäfig, der Stahlhülse sowie Gewindestiften zur Befestigung. Zur einzelnen, individuellen Ansteuerung wurden die sechs möglichen Säulenpositionen als eigene Strukturknoten angelegt. Im *Werkzeugoberteil* sind die *Kopfplatte*, die *Stempelhalteplatte* sowie die optionale *Zwischenplatte* zusammengefasst. Im *Werkzeugunterteil* sind neben der *Grund-* und *Rahmenplatte* sowie die einlauf- und auslaufseitigen *Distanzscheiben*, die optionalen *Griffe* und die optionale *Abstreifereinheit* (*Abstreiferplatte*, *Stangeneinheiten*, *Spannschrauben*) als logischer Knoten ausgeführt. Speziell die individuelle, gemeinsame Ansteuerung der *Stangeneinheiten* (bestehend aus *Stan-*

genaufnahmen, *Stange*, *Abheber*, *Federdeckel*, *Druckstücke* und *Spannschrauben*) erforderte eine separate Unterstruktur (außen liegend, mittige Anordnung).

Abb. 4-9: Aufbau der Komponentenstruktur des kompletten Grundwerkzeuges mit jeweiligen Attributen und Constraints (Quelle: Blum)

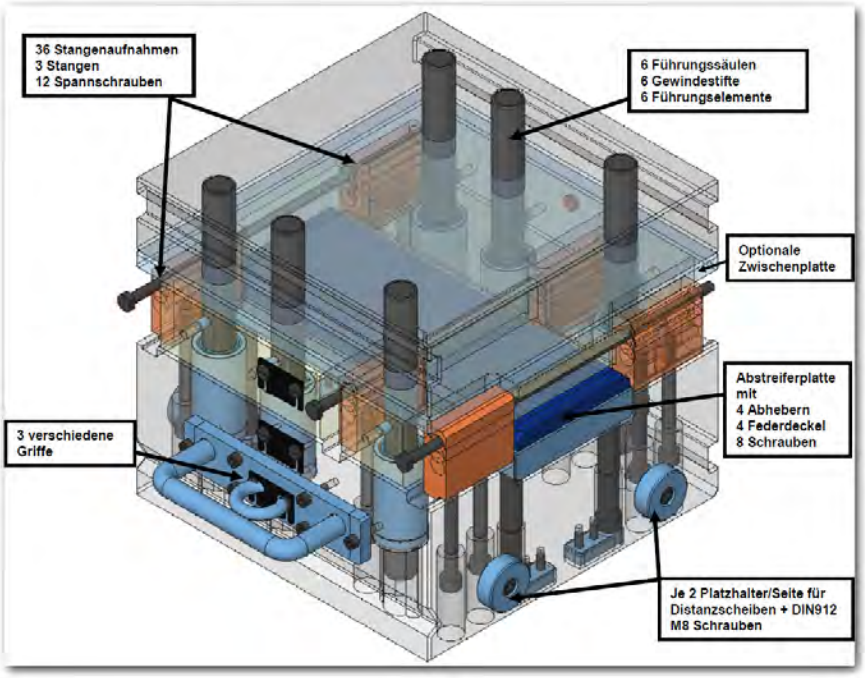


Die relevanten Attribute für den jeweiligen Knoten wurden definiert und zugeordnet. So sind bspw. alle Eingabeparameter (Abb. 4-12 - Benutzeroberfläche) im obersten Knoten definiert, wohingegen ein Geometrieattribut genau auf Ebene der jeweiligen Komponente zugeordnet werden muss.

CAD-Mastermodell

Die Struktur bzw. die Elemente des Mastermodells müssen mit dem Konfigurationsmodell übereinstimmen. Die Entwicklung der beiden Strukturen erfolgte dementsprechend parallel. Das Mastermodell (Abb. 4-10) enthält die maximal mögliche Ausgestaltung des Grundwerkzeuges. Laut Auslegungsvorgaben können eine bis max. drei Säulen verbaut werden. Die Anzahl kann vorne und hinten unterschiedlich sein. Dementsprechend wurden vorne und hinten je drei Säulen mit allen Abhängigkeiten (Führungen, Säulenbohrungen durch alle Platten etc.) konstruiert. Mit den Stangeneinheiten und den dafür benötigten Ausnehmungen und Bohrungen wurde gleich verfahren. Ebenso trifft dies auf die Griffarten zu.

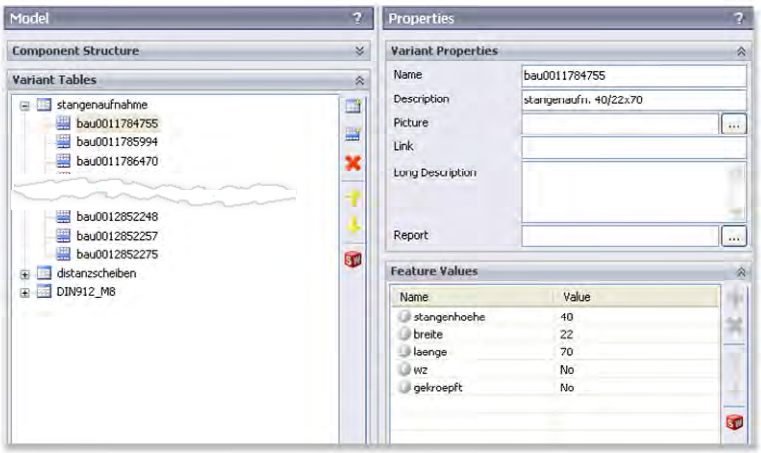
Abb. 4-10: CAD-Mastermodell des Grundwerkzeuges (Quelle: Blum)



Variantentabellen

Für die Variantenteile *Stangenaufnahmen*, *Distanzscheiben* und *DIN-Schrauben* wurden Tabellen mit Eigenschaften (Properties) und Sachmerkmalen (Feature Values) angelegt. Als Name der jeweiligen konkreten Komponente wurden die Dokumentnummern aus dem PDM-System verwendet. Abb. 4-11 zeigt die „Feature Values" (*stangenhoehe*, *breite*, *laenge*, *wz*, *gekroepft*) der *Stangenaufnahme* mit dem Namen „*bau0011784755*" der Variantentabelle „*stangenaufnahme*". In den drei Variantentabellen wurden insgesamt 148 Standardteile (36 Stangenaufnahmen, 91 Distanzscheiben, 21 M8-Schrauben) erfasst.

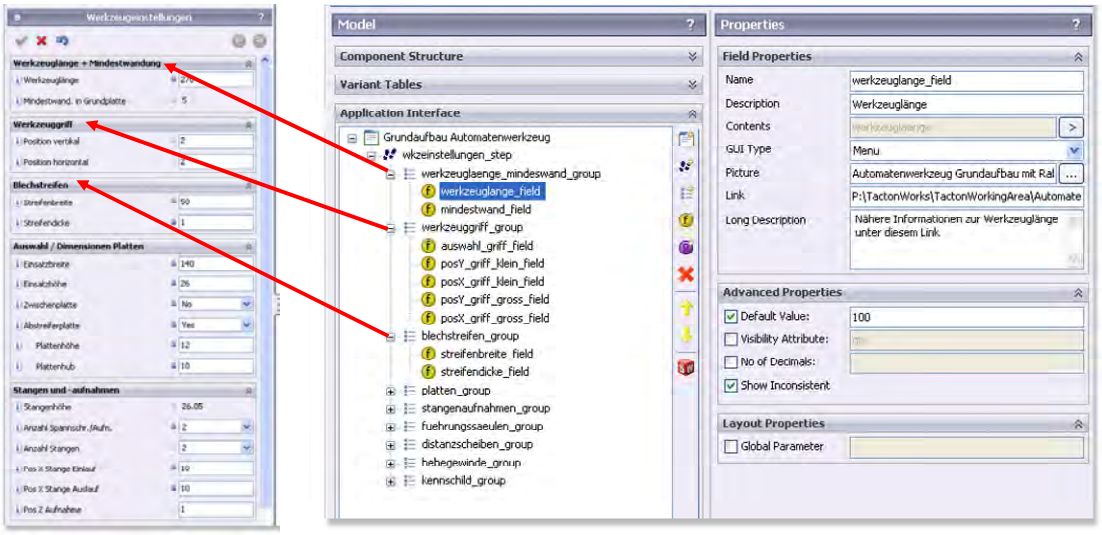
Abb. 4-11: Anlegen der Variantentabellen (Stangenaufnahme, Distanzscheiben, DIN-Schrauben) mit den jeweils zugehörigen Sachmerkmalen (Feature Values) (Quelle: Blum)



Benutzeroberfläche

Die Eingabe- und Interaktionsmöglichkeiten durch den Anwender wurden in mehrere Parametergruppen gegliedert, die i. d. R. von oben nach unten durchlaufen werden. So wurde bspw. die einflussreiche Werkzeuglänge an oberster Stelle platziert (Abb. 4-12).

Abb. 4-12: Struktur und Definition der Benutzeroberfläche (Bild rechts) mit entsprechendem Ergebnis innerhalb von SWX (Bild links) (Quelle: Blum)



Die Parametergruppen entsprechen weitestgehend den Funktionseinheiten wie bspw. der Gestaltung des Werkzeuggriffes, der Auswahl und Dimensionierung der Platten, der Führungssäulen sowie der Stangen und Stangenaufnahmen. Zur Konstruktion und Auslegung des Grundwerkzeuges waren in Summe 285 Parameter erforderlich. Zur übersichtlichen Darstellung können einzelne Parameter oder ganze Parametergruppen vom Status anderer Eingabefelder abhängig gemacht werden. So steuert bspw. ein Schalter „Abstreiferplatte ja/nein" den kompletten Dialog für die optionalen Abstreifer-Abhängigkeiten.

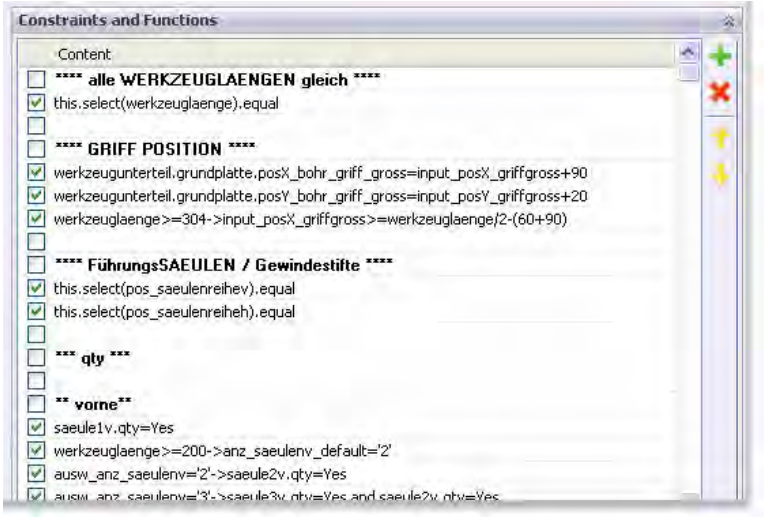
Regelwerk

Im Regelwerk wurden insgesamt 209 Bedingungen (Constraints) definiert. Dabei spielt die Reihenfolge keine Rolle. Der organisatorische Zusammenhang (Überblick, zu welchen Komponenten gehören welche Regeln) kann auf zwei Arten erfolgen: entweder auf der Ebene jeder Komponente in der Produktstruktur oder gesamthaft auf oberster Ebene. Letzteres ermöglicht den leichteren Zugriff auf alle Regeln. Für diesen Fall empfiehlt sich eine verbale Kennzeichnung der zusammengehörenden Regeln. Abb. 4-13 zeigt einen Ausschnitt aus der Regeldefinition. Einzelne Ausdrücke können komfortabel aktiviert oder deaktiviert werden, was insb. das Testen bzw. die Fehlersuche erleichtert. Die Regeln bzw. Constraints werden in einer TW-eigenen Regelsprache formuliert. In Abb. 4-13 lautet bspw. die dritte Regel bei „**** GRIFF POSITION ****":

werkzeuglaenge>=304->input_posX_griffgross>=werkzeuglaenge/2-(60+90)

Diese Notation hat folgende Bedeutung: Wenn die Werkzeuglänge (werkzeuglaenge) größergleich 304 mm ist, berechnet sich die X-Position des großen Griffes (input_posX_griffgross) aus der halben Werkzeuglänge minus 150 (60+90). Diese muss allerdings gleichzeitig eine „größer-gleich"-Bedingung erfüllen und ist deshalb erforderlich, weil die X-Position für den Griff auch als Eingabeparameter vorgesehen ist (der Anwender darf die Position in bestimmten Grenzen verändern).

Abb. 4-13: Regelwerk in Form von gruppierten Constraints (Quelle: Blum)



4.2.4 Unzulänglichkeiten und Probleme

Die Applikation befindet sich im produktiven Einsatz und wird laufend vom WI gepflegt. Aufgrund des großen Aufwandes wurden die vom WI erstellten Dokumentationen bis dato nicht auf Stand gebracht. Referenz für den aktuellen Stand ist das Konfigurationsmodell in TW und das CAD-Mastermodell. In Zusammenarbeit mit dem WI können rückblickend zahlreiche Auffälligkeiten, kritische Faktoren und Problembereiche identifiziert werden.

Projektplanung, Ressourcen, Wirtschaftlichkeit

Die Erwartungshaltung seitens der Auftraggeber war zu Beginn des Projektes hoch. Die Aufwände bis zur fertig umgesetzten und eingeführten IT-Unterstützung wurden unterschätzt. Die Aufgabenstellung gestaltete sich weit komplexer als ursprünglich angenommen. Ursache dafür war u. a. eine zu allgemein definierte Aufgabenstellung und Zielsetzung. Eine Änderung im Basiskonzept (ausgelöst durch Erkenntnisse aus einem Werkzeugcrash aufgrund einer zu schwach dimensionierten Verschraubung der Stangenaufnahmen) gegen Ende des Projektes verursachte erhebliche Verzögerungen und brachte das Projekt in arge Bedrängnis. Die erforderliche Zeit des Experten zur Begleitung wurde in dieser Form als hoch angesehen. Aufgrund der vielen Aufgaben war der Experte nur bedingt verfügbar. Dies führte zu Wartezeiten, einerseits bei der Wissenserfassung, andererseits bei den Tests. Hingegen war die Auswahl des Experten optimal. Dieser war auch Entwickler des Basiskonzeptes und Ersteller

der Kopiervorlagen. Während der Implementierung wurde mehrmals das Thema „Rentabilität" aufgeworfen.

Art und Form der Wissenserfassung

Die Erfassungsmethode basierte auf dem einfachen Ansatz „Erklären-Zuhören-Fragen-Dokumentieren" und stützte sich auf die Erklärungsfolge des Experten. Etliches Konfigurations- und Auslegungswissen war nicht dokumentiert und nur im „Kopf" des Experten vorhanden. Die Erfassung und Dokumentation dieser Zusammenhänge war die Hauptschwierigkeit. Der WI behalf sich mit einer visuell aufbereiteten Variantenstückliste und eigens angefertigten Swimlane[1]-Modellen. Bezüglich der farblichen bzw. grafischen Kennzeichnung der Objekttypen in der Variantentabelle stellte sich heraus, dass weitere Kennzeichnungen (bspw.: Was sind Neuteile? Was sind Fixteile? Wo gibt es mehrere Teile?) hilfreich wären, auf diese Art aber nur mehr schwer zu handhaben sind. Dies insbesondere auch dann, wenn die Optionen kombiniert werden müssen.

Die während der Erfassung kontinuierlich steigende Zahl an Informationen pro Komponente (speziell für Neuteile) erforderte weiterführende Strukturierungsüberlegungen. Der WI erstellte hierfür ein Datenblatt pro Komponente und hielt dort alle komponentenrelevanten Informationen wie Attribute und Regeln fest. Probleme bereitete dabei der Umstand, dass Zusammenhänge bzw. Abhängigkeiten zwischen Komponenten jeweils doppelt (im jeweiligen Datenblatt) aufgelistet werden mussten. Hilfreich waren Dokumentationen im Firmen-Intranet, die vom Experten als Unterstützung für Kollegen angelegt wurden. Allerdings musste der WI daraus einen Extrakt für seine Datenblätter erstellen, was erhebliche Aufwände generierte. Die wesentlichen Informationsquellen für Produktstrukturen waren die im PDM-System verwalteten Stücklisten. Es stellte sich jedoch heraus, dass die Strukturen der Stücklisten ungleich der Strukturen im Konfigurationsmodell sind. So sind bspw. konfigurationsirrelevante Komponenten im Konfigurationsmodell nicht abgebildet. Regeln wurden direkt im Konfigurationsmodell eingepflegt, was die Kommunikation mit dem Experten ungemein erschwerte.

Einige Zusammenhänge wurden vom WI falsch verstanden und falsch implementiert. Dies wurde teilweise erst bei den Tests durch den Experten konstatiert. Die Ursache dafür lag hauptsächlich daran, dass der Experte im Vorlauf kaum Möglichkeiten zur Überprüfung hatte.

Kommunikation zwischen WI und Experte

Die benutzten Fachterminologien bereiteten zu Anfang Probleme und wurden nach und nach vom WI in die Dokumentation eingebaut. Schwierigkeiten bereitete der Umstand, dass der Experte einerseits allgemeines Wissen zur Konstruktion von Werkzeugen voraussetzte bzw. unbewusst gar nicht erklärte, der WI andererseits dies aber als Fachfremder auch nicht erfragen konnte. Umgekehrt hatte der Experte große Mühe, die TW-Umgebung zu verstehen

[1] Swimlane bedeutet Schwimmbahn und repräsentiert bspw. eine Organisationseinheit, eine Funktion oder ein System. Ein Prozess kann so mittels Ereignissen in der jeweiligen Schwimmbahn übersichtlich dargestellt werden.

bzw. nachzuvollziehen, was dort mit seinem Wissen passiert. Dies führte fallweise zu einer reservierten Haltung gegenüber der TW-Wissensbasis und zu einem Gefühl des „Kontrollverlustes".

Überprüfung bzw. Anpassung des Regelwerkes

Die richtige Übertragung des erfassten Regelwissens nach TW war ein kritischer Faktor. Bei späteren Diskussionen (z. B. bei Änderungen, Fehlerbehebungen, Anpassungen) bereitete die Kette – „Experte erklärt" ⇨ „WI dokumentiert" ⇨ „WI implementiert" ⇨ „Experte prüft" – große Schwierigkeiten und führte mehrfach zu Fehlern. Die Fehler konzentrierten sich überwiegend auf die Transformation des vom Experten erklärten und vom WI dokumentierten Konfigurations- und Auslegungswissens. Speziell bei der Fehlersuche, aber auch bei Regelanpassungen waren sich Experte und WI oftmals uneins, was denn als bereits diskutierte Grundlage (Regel, Verhalten, Abhängigkeit) heranzuziehen sei bzw. richtig ist.

Erstellung des CAD-Master- und Konfigurationsmodells

Mit Fortdauer des Projektes mussten die Strukturen der Modelle mehrmals umgebaut werden. Die Strukturen zwischen der Konstruktionsstückliste, dem Konfigurationsmodell in TW und dem CAD-Mastermodell sind ungleich. Der WI sieht sich hier mit mehreren Problemen und Rahmenbedingungen konfrontiert. Zum einen gibt es aus Gründen der Weiterverwendung des CAD-Modells Strukturvorgaben aus der Konstruktion. Zum anderen erleichtern zweckmäßige Konfigurationsmodellstrukturen die Implementierung von Regeln, was die Übersichtlichkeit erhöht und den Pflegeaufwand reduziert. So können bspw. logische Knoten im Konfigurationsmodell die Steuerung mehrerer Komponenten stark vereinfachen. Der WI muss somit immer in zwei Modellstrukturen denken: „Wie baue ich das CAD-Mastermodell auf, damit es möglichst gut zum idealen Konfigurationsmodell passt? Wie gestalte ich die Struktur des Konfigurationsmodells, damit es gut mit einem Mastermodell, das den Vorgaben der Konstrukteure entspricht, verbunden werden kann?"

Das Mastermodell muss nach Abschluss des Konfigurationsvorganges instanziiert (kopiert) und um nicht benötigte bzw. verwendete Komponenten bereinigt werden. Obwohl hierfür Basisfunktionen in TW bestehen – so werden bspw. unterdrückte Komponenten automatisch gelöscht – ist eine händische Bereinigung notwendig (z. B. unterdrückte Features löschen). Als Problembeispiel kann hier die unterschiedliche Implementierung von Teilevarianten erwähnt werden. Dies kann einerseits durch „*Komponente ersetzen*", bei der ein Platzhalter durch eine andere Komponente ausgetauscht wird, oder durch „*Komponente unterdrücken/aktivieren*" erzielt werden. Bei Letzterem sind alle Varianten bereits im Mastermodell vorhanden und werden über einen Status gesteuert. Die richtige Komponente wird regelbasiert von „*unterdrückt*" auf „*aktiv*" umgestellt.

Die Methode „*Komponente ersetzten*" führt zu einem weiteren Problem in Bezug auf CAD-Referenzen. Der Vorteil eines CAD-Mastermodells ist die Verwendung von CAD-internen Funktionen, wie bspw. Geometrieverknüpfungen zwischen Komponenten zur richtigen Positionierung. Das CAD-System benutzt dafür einen internen, eindeutigen Namen für alle Geometrieelemente. Wird nun eine Komponente mit einer aktiven Verknüpfung (bspw. Fläche auf Fläche) ausgetauscht, kann es vorkommen, dass durch einen anderen internen Namen

der gleichen Fläche die Verknüpfung nicht mehr zueinander findet und verloren geht. Dies tritt insb. dann auf, wenn Variantenteile im CAD-System sukzessive von Hand (meist von unterschiedlichen Konstrukteuren) erstellt wurden und die Konstruktionsreihenfolge und damit die interne Namensgebung von Geometrieelementen nicht gleich war.

Verwaltung der Ergebnisse im PDM-System

Eine Vorgabe aus dem Fachbereich für den Einsatz von TW lautete, dass nach Abschluss des Konfigurations- und Auslegungsvorganges die Verwaltung der Bauteil- und Baugruppenvolumen in gleicher Weise zu funktionieren hat, wie wenn das Ganze von Hand erstellt worden wäre. Idealerweise sollten die Verwaltungsvorgänge ebenfalls automatisch erfolgen. Bei der Instanziierung entstehen etliche neue Baugruppen. Dies sind das Gesamtwerkzeug selbst sowie jede Unterbaugruppe, in der eine Komponente modifiziert oder ausgetauscht wurde. Es entstehen jeweils auch Neuteile im Werkzeug wie bspw. die Kopf-, Zwischen-, Stempelhalte-, Abstreifer- und Grundplatte. Nachdem CAD-Systeme intern i. d. R. die einzelnen Komponenten über ihre Namen referenzieren, werden dafür bereits beim Konstruieren vom PDM-System laufend eindeutige Dokumentidentifikationsnummern (kurz Doc-IDs) vergeben. Alle Komponenten im Mastermodell, auch die Platzhalter für Variantenteile, sowie die parametrischen Geometrien für Neuteile, sind mit entsprechenden Doc-IDs verwaltet. Verwendete Standardteile sollen ihren Namen und damit ihre Referenzen behalten und müssen somit nicht neu angelegt werden. Nach der Instanziierung und der oben erwähnten Bereinigung des neuen Grundwerkzeuges entsteht somit erhebliche Verwaltungs-Handarbeit für den Konstrukteur. Diese Aufwände werden dadurch erschwert, dass das notwendige Umbenennen von Baugruppen und Komponenten eine andere, umständlichere Arbeitsweise im PDM-System erfordert, als wenn beim Konstruieren ein Neuteil angelegt wird.

Ein weiteres Problemfeld im Zusammenhang mit der Verwaltung eröffnen die Variantenteile. Variantenteile müssen in TW als Tabelle mit Namen und Sachmerkmalen angelegt sein. Im Grundwerkzeug ist vorgesehen, dass für das Variantenteil *Distanzscheibe* auch ein neues Variantenteil angelegt werden darf, wenn keines der Bestehenden verwendet werden kann. Dies erfordert einerseits ein weiteres, spezielles Verwaltungsprozedere und wirft andererseits auch neue Fragen auf: Wie erhält TW beim nächsten Konfigurationsvorgang Kenntnis von einer neuen Distanzscheibe?

Betrieb der Anwendung und Pflege der Daten

Eine Schulung und erste Begleitung der Anwendung war eine wichtige Voraussetzung für eine gruppen- bzw. abteilungsweite Akzeptanz. Ein positiver Effekt war die hierdurch ausgelöste Teamdiskussion und der damit verbundene Austausch über bis anhin praktizierte Arbeitsweisen. Leider stellte sich auch heraus, dass die vom Experten definierte und in TW implementierte Vorgehensweise in bestimmten Details nicht allen Konstrukteuren entsprach.

Trotz Tests im Vorfeld durch den Experten kam es zu einigen Optimierungswünschen und Verbesserungsvorschlägen anderer Benutzer (Konstrukteure). Dabei bereitete einmal mehr das Aufzeigen und Kommunizieren des bisher definierten Regelwerkes große Mühen. Auch die neuerliche Einarbeitung für gewünschte Anpassungen (z. B. nach einigen Monaten) gestaltete sich recht schwierig. Bei einem Stellenwechsel des für dieses Projekt verantwortli-

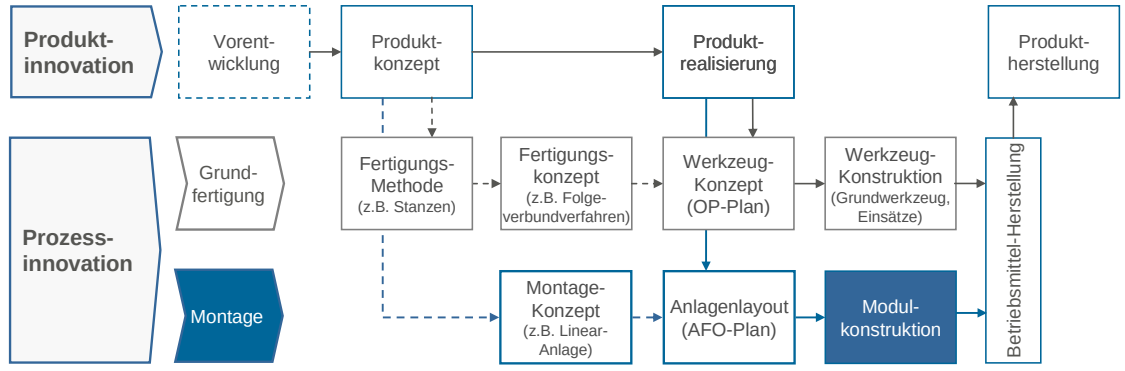
chen WI wäre derzeit die Pflege der Anwendung problematisch und nur mit großen Einarbeitungs- und Übergabeaufwänden zu bewerkstelligen.

Neben der erwähnten Problematik mit neuen Variantenteilen (z. B. Distanzscheiben), die während eines Konfigurationsvorganges entstehen, ist nur ungenau geklärt, wie neue Standardteile (bspw. durch Zukauf oder Eigenkonstruktion) in die Wissensbasis von TW gelangen. Derzeit wird von Zeit zu Zeit vom WI eine Abfrage im PDM-System vorgenommen und relevante Neuteile werden händisch nachgetragen. Weiters wird bei zunehmender Anzahl von Konfigurationsmodellen bzw. CAD-Mastermodellen das schnelle Auffinden der richtigen Modelle wichtig. Heute hat sich der Konstrukteur die Doc-ID des Grundwerkzeuges einfach notiert.

4.3 Fallbeispiel II – Handlingmodule für Montageanlagen

Den prinzipiellen Entwicklungs- bzw. Konstruktionsprozess in Bezug auf die Montage zeigt Abb. 4-14. Die bestimmenden Parameter für das Montagekonzept sind das auf der Anlage zu fertigende Produktspektrum, die zu erzielende Taktzeit sowie die eingeplanten Stückzahlen. Nach der Freigabe zur Produktrealisierung und dem Vorliegen der Einzelteildetaillierungen kann das Anlagenlayout aus dem Arbeitsfolgeplan entwickelt werden. Dieses bestimmt die Montageschritte der einzelnen Module und damit die Rahmenbedingungen für die **Modulkonstruktion**.

Abb. 4-14: Prinzipieller Ablauf der Produktentstehung und Einordnung des Fallbeispiels „Handlingmodule für Montageanlagen“



Die Funktion der Handlingmodule wurde bereits in der Einführung erläutert. Die Montageanlage besteht aus linear miteinander verketteten Stationen. Der Transport des Produktes zwischen den einzelnen Stationen wird mittels einer Kette, auf der sich Werkstückträger befinden, durchgeführt. Diese positionieren die Produkteinzelteile auf der Verkettung. Der Torso bildet den Rahmen der Lineranlagen, unter anderem sind Kette und Module an den Torso montiert. Für das Ein- und Ausbringen der Einzelteile werden Handlingmodule eingesetzt. Diese basieren auf einem Systembaukasten, der laufend erweitert wird. Neukonstruktionen finden nur an Bauteilen, die die Produktschnittstelle bilden, statt (bspw. Werkstückträger).

Abb. 4-15: Beispiel eines Handlingmoduls (real und als CAD-Modell) (Quelle: Blum)

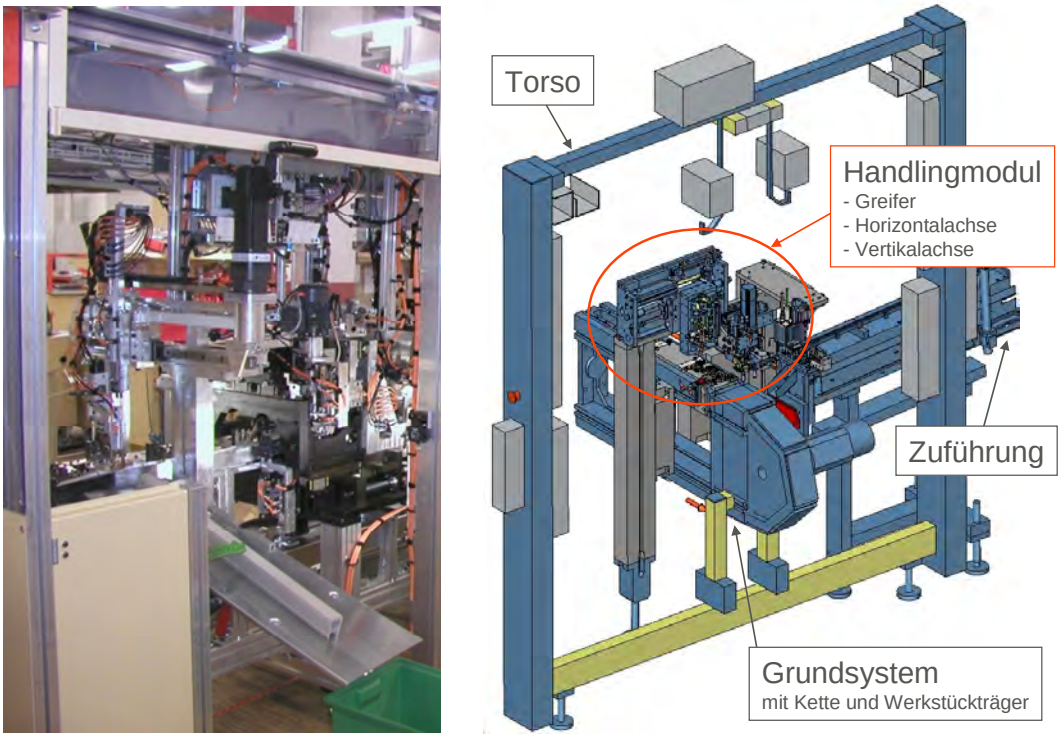


Abb. 4-15 zeigt ein Handlingmodul mit Grundsystem, Torso und Teilezuführung. Das Handlingmodul selbst besteht aus einem Greifersystem, einer Horizontal- und einer Vertikalachse, die über Flanschplatten miteinander verschraubt sind. Die Kriterien für die Auswahl und den Zusammenbau sind vielfältig und von zahlreichen Faktoren abhängig. Eine wichtige Größe dabei ist der in die Montagelinie einzubringende Artikel (Größe, Form, Gewicht), der maßgeblich das Greifersystem mit Klemmart und Greifkraft bestimmt. Die Achsauswahl erfolgt über Parameter wie Taktgeschwindigkeit, zu verfahrende Wege und Gewicht der gesamthaft zu bewegenden Lasten (inkl. der Eigengewichte).

4.3.1 Ausgangssituation, Problemstellung und Zielsetzung

Ausgangssituation

Die eingesetzten Systemkomponenten stammen zum überwiegenden Teil aus einem Baukasten eines externen Systemlieferanten. Hierfür hat der Partner einen Systemkatalog erstellt und in Kombination mit seinem PDM bei sich eine spezifische Konfigurationslösung im CAD realisiert. Dieser Systemkatalog wird im CAD-System des Fallgebers nachgebildet und über PDM händisch verwaltet. Für die Konfigurationslogik gibt es keine Unterstützung. Das Wissen wird vom Konstrukteur eingebracht. Die Auslegung kann nur von erfahrenen Mitarbeitern durchgeführt werden. Pro Monat wird eine Montageanlage entwickelt und gebaut. Hierfür sind jeweils zwischen 20 und 30 Montage- und Handlingmodule erforderlich.

Problemstellung

Als Unterstützung haben sich die Konstrukteure Teile des Systemkatalogs als fiktive CAD-Baugruppen zusammengestellt. Bedingt durch die Variantenvielfalt der Horizontal- und Vertikalachsen mit ihren spezifischen Achspositionen, existiert eine Vielzahl an Mustervorlagen mit redundanten Katalogbauteilen. Die Pflege ist inzwischen sehr aufwändig geworden. Durch die Redundanzen kommt es zu Situationen, bei denen bereits modifizierte Achsen nicht berücksichtigt und „alte" Funktionseinheiten verbaut werden. Dies führt zu Verzögerungen im Bestellablauf und aufwändigen Nachbesserungen im CAD-Modell. Die Komponenten des Systemkataloges werden laufend optimiert und ständig erweitert. Dies erschwert zusätzlich die heutige Arbeitsweise. Aufgrund der großen Baugruppen (Anzahl der Komponenten > 1000) gestaltet sich das CAD-Handling zunehmend aufwändiger.

Zielsetzung

Auf der Basis eines zentral gepflegten Systemkataloges soll mithilfe von TW eine Konfigurationsunterstützung entwickelt werden, die regelbasiert die vielfältigen Auslegungskriterien berücksichtigt und das CAD-Handling beschleunigt. Nachdem die Handlingmodule in übergeordneten CAD-Baugruppen (ganze Station, ganze Anlage) verwendet werden, ist insb. darauf zu achten, dass die Konfigurationsergebnisse den heute definierten Modulstrukturen entsprechen und in die PDM-Verwaltung eingebunden sind.

4.3.2 Erfassung und Dokumentation des Produkt- und Expertenwissens

Für das Umsetzungsprojekt wurden von der Fachabteilung ein erfahrener Konstrukteur sowie ein weiterer MA zur Verfügung gestellt, der für die Pflege des Systemkataloges verantwortlich zeichnet. Letzterer hat auch einige Dokumentationen über Auslegungswissen im Intranet angelegt.

Prinzipielle Vorgehensweise bei der seinerzeitigen Erfassung

Die Vorgehensweise gestaltete sich sehr ähnlich wie beim Grundwerkzeug und war eine Mischung aus „Vorzeigen" der heutigen Konstruktionsschritte, der Sichtung der vorhandenen Informationsquellen und der Anfertigung einer eigenen Dokumentation. Die Arbeitsweise des Systempartners mit dem Systemkatalog war eine bedeutende Maßgabe. So wurde u. a. bei einem Vorortbesuch der Auslegungsprozess mit der dort realisierten CAD-Unterstützung analysiert und festgehalten. Anhand dieses sehr informell geprägten Wissenstransfers erstellte der WI Prototypen in TW.

Erfassung mittels Wissensquell-Matrix

Analog wie im Beispiel aus Fall I wurde zusammen mit dem WI die Wissensquell-Matrix erstellt (Tabelle 4-3). Hier ergab sich ein ähnliches Bild in Bezug auf die Korrelationen zwischen Wissensobjekten und Wissensquellen. Das Konstruktionswissen setzt sich aus implizitem Erfahrungswissen und teilweise von ihnen selbst erstellten, explizit verfügbaren Dokumentationen (im Intranet) zusammen. Für Teile- und Strukturinformationen sind CAD und PDM die primären Informationsquellen.

Tabelle 4-3: Wissensquell-Matrix für Handlingmodule

	Teile-Informationen	Strukturinformationen	Konfigurationsregeln	Auslegungsregeln
Erf.wissen des Konstruk-			▪ undokumentierte Empfehlungen (Vorzugskombinationen Achsen, Beschaffung von Zylindern, weiterführende Infos von Herstellern)	▪ undokumentierte Empfehlungen zur Auslegung von Flanschplatten ▪ Greiferauswahl, Achsenauswahl ▪ Positionen der Initiatoren, Lagekriterien je Zangengreifertyp ▪ Befestigung Vertikal- und Horizontalachsen
Dokumentationen	▪ Systemkatalog im Intranet mit Kennzeichnung der Vorzugskomponenten (Greifer, Achsen)		▪ Doku im Intranet (Anleitungen in Textform über Vorzugsreihen, Empfehlungen zur Beschaffung von Standardteilen bei STIWA, Links zu externen Produktkonfiguratoren -> FESTO) ▪ Kombinationsregeln Flanschplatten/Greifer	▪ Doku im Intranet (Animation in Powerpoint zur schrittweisen Modulkonzeption; Auslegung von Flanschplatten und Verstellplatten; Wahl der richtigen Achsen in Abhängigkeit der Verfahrwege
CAD-System	▪ CAD-Volumen-Templates für Neuteile (Flanschplatten) ▪ realisierte CAD-Volumen	▪ Modul-Template für CAD-Zusammenstellung ▪ realisierte CAD-Zusammenstellungen (Assemblies) von Modulen	▪ definierte Konfigurationen (Achsvarianten) innerhalb der CAD-Zusammenstellung	
PDM-System	▪ Komponenten-Vorlagen bzw. realisierte/angelegte Komponenten (Teilenummer, Benennung, Material, Teileklasse, Beschaffung, zugehörige Dokumente/ Dokumentstammdaten) ▪ Variantenteile (Greifer, Flanschplatten, Achsen)	▪ Stücklistenvorlagen bzw. Stückliste von realisierten Modulen		
Berechnungsprog.				▪ CAD-integrierte Assistenten für Schraubverbindungen ▪ Konstruktionsbibliotheken

4.3.3 Implementierung in die Standardlösung

Die Konfiguration eines Handlingmoduls ist eine typische ATO-Aufgabenstellung (fallweise auch MTO, wenn bspw. neue Flanschplatten erforderlich sind). Aufgrund der überwiegend eingesetzten Standards aus dem Systemkatalog liegt der Schwerpunkt auf der Konfiguration. Die CAD-technische Abbildung mit der richtigen Positionierung der Achsen zueinander ist

eine wichtige Anforderung. Hierfür müssen die Positionierungselemente der Antriebseinheit (Pneumatikzylinder, Elektromotoren) flexibel angesteuert werden können.

Die Implementierung in TW gestaltete sich sowohl methodisch wie auch systemtechnisch analog zum Vorgängerbeispiel. Auf eine bebilderte Dokumentation der Implementierungsschritte (wie bei Fallbeispiel I) wird an dieser Stelle verzichtet. Die Komponentenstruktur erwies sich als recht einfach und bestand aus den Platzhalterelementen „Greifersystem, Horizontalachse und Vertikalachse". Die Flanschplatte zur Verbindung von Greifersystem und Vertikalachse ist als variabel dimensionierbares Parametrikelement ausgelegt, bei der insb. die Bohrbilder aufeinander abgebildet werden müssen.

Die Herausforderung im CAD-Mastermodell war die Vorgabe, bestehende Containerbaugruppen aus dem Systemkatalog einzusetzen. Die damit verbundenen Probleme sind im Folgeabschnitt angeführt.

Zur Abbildung der Varianten wurden drei Variantentabellen mit entsprechenden Sachmerkmalen angelegt: a) die beiden Achsen mit den technischen Merkmalen, Zylinderhub (Verfahrweg der Achse in mm), Antriebsart (pneumatisch, elektrisch), Zwischenposition (ja/nein), Nutzlast (in kg), Eigengewicht (in kg) und Achstyp. b) das Greifersystem mit den Merkmalen, Greifkraft (in N), Öffnungswinkel pro Backe (in Grad), Eigengewicht (in kg), Klemmart (innen, außen) sowie Gehäusebreite und Gehäusehöhe (in mm).

Die bestimmenden Größen für die Benutzeroberfläche und das Regelwerk sind der in die Montagelinie einzubringende Artikel (Größe, Form, Gewicht), die Taktgeschwindigkeit sowie die zu verfahrenden Wege. Weiters bestimmt bspw. die Anwahl einer Zwischenposition den Einbau zusätzlicher Zylinder. Auch die Eigengewichte bzw. die Aufsummierung der gesamthaft zu bewegenden Lasten musste im Regelwerk durch entsprechende Constraints berücksichtigt werden.

4.3.4 Unzulänglichkeiten und Probleme

Etliche der in Fallbeispiel I aufgezeigten Probleme finden sich in gleicher Form auch in diesem Beispiel wieder. Dies betrifft insb. Aspekte der Projektvorbereitung, der Wissenserhebung sowie der PDM-Integration. Im Folgenden werden die darüber hinausgehenden Auffälligkeiten aufgezeigt.

Art und Form der Wissenserfassung

Bedingt durch den Systembaukasten des Entwicklungspartners, ist das Regelwerk bereits vorgegeben, was den Wissenstransfer zusätzlich erschwert. Existierende Dokumentationslücken wurden durch eigene Aufbereitungen von den Experten ergänzt. Zur Erklärung von technischen Zusammenhängen wurden bspw. aufwändige Animationen angefertigt, die jungen Konstrukteuren eine wertvolle Hilfestellung bieten. Die Aufbereitung der Variantentabellen erfolgte über verschiedene Suchabfragen im PDM-System. Teilekataloge von weiteren Zulieferern waren im Intranet teilweise ausführlich dokumentiert, jedoch nicht immer auf dem neuesten Stand. Dies führte beim WI zu Fehlinterpretationen und unrichtigen Regeln.

Eine Besonderheit bei der Modulkonstruktion ist die Verwendung eines externen Produktkonfigurators (*Festo*[1]) zur Konfiguration und Bestellung von Ventilinseln.

Kommunikation zwischen WI und Experte

Eine der ersten Aufgaben für den WI war, sich mit Unterstützung des Experten in die Dokumentationen des Systemanbieters einzuarbeiten. Hierfür musste der WI zuerst ein Grundverständnis für die Denk- und Herangehensweise des Experten entwickeln. Hilfreich waren in diesem Zusammenhang die bereits vom Experten erstellten CAD-Vorlagen für einzelne Teilevarianten. Für diese erstellte der WI funktionale Prototypen, bei deren Aufbau und Tests viel an Wissenstransfer stattfand („Learning by Doing").

Überprüfung bzw. Anpassung des Regelwerkes

Während der Tests flossen vom Experten Modul-übergreifende Verbesserungsvorschläge ein, die vielfach ohne Dokumentation in Gesprächen direkt an den WI weitergegeben wurden. Dies erforderte in einigen Fällen die Überarbeitung aller vorangegangenen Arbeitsabschnitte, was wiederum eine Überarbeitung der vom WI erstellten Dokumentationen nach sich zog.

Erstellung des CAD-Master- und Konfigurationsmodells

Die bereits bestehenden, vom Experten konstruierten CAD-Variantenmodelle bzw. Teile der als CAD-Baugruppen vorliegenden Katalogelemente wurden direkt als Mastermodell verwendet. Hierdurch konnten zu Anfang einige Aufwände reduziert werden. Um die Strukturen der CAD-Modelle an das Konfigurationsmodell anzupassen, waren allerdings Modifikationen notwendig. Dies zog in der Fachabteilung einiges an Änderungsarbeit nach sich. Hintergrund dieses Umstandes war die Idee bzw. die Vorgabe, die Mastermodelle auch zum „händischen" CAD-Konstruieren (als Kopiervorlage) einzusetzen bzw. darin eine Art Bauteilcontainer zu sehen, der bei Überarbeitung eines bestehenden Moduls rasch die zur Verfügung stehenden Bauteile liefern sollte. Die gegenseitige Beeinflussung, insb. bei Änderungen, verkomplizierte die Sache ungemein.

Betrieb der Anwendung und Pflege der Daten

Die Pflege der Daten konzentriert sich bei diesem Fallbeispiel auf den Systemkatalog beim Partner. Änderungen bzw. Erweiterungen müssen dementsprechend immer zuerst vom Partner eingepflegt und anschließend beim Fallgeber nachgezogen werden. Derzeit wird nach Möglichkeiten einer direkteren PDM-Kopplung gesucht. Hiermit könnte das Problem auf die (verbesserte) Einbindung von PDM in TW reduziert werden.

4.4 Anforderungen und Handlungsbedarf

Die aufgezeigten Schwierigkeiten und Problembereiche aus den beiden Fallbeispielen sind in Tabelle 4-4 zusammengefasst. Trotz der recht unterschiedlichen Einsatzgebiete aus Werk-

[1] Festo bietet Lösungen für die Fabrik- und Prozessautomatisierung mittels pneumatischer und elektrischer Automati-

zeugbau und Maschinenbau sind die Problemfelder ähnlich gelagert. Dies erlaubt eine Zusammenfassung und allgemeine Formulierung der Anforderungen. Pro Projektphase sind die wesentlichen Teilprobleme und die damit einhergehenden Anforderungen zur Lösung aufgelistet. Letztere richten sich hier sowohl an das Vorgehen wie auch die PKA-Unterstützung selbst und sind als generelle Aufgabenstellung für eine ganzheitliche Prozessunterstützung zu verstehen.

Tabelle 4-4: Zusammenfassung der Problemfelder und Definition der Anforderungen

Teilprobleme	Anforderungen
Projektvorbereitung und Planung ▪ Erwartungshaltung war zu Beginn groß. Aufgabenstellung war komplexer als angenommen. Zielsetzung unklar formuliert. ▪ Aufwände wurden unterschätzt. Frage nach Rentabilität. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung schwierig. ▪ Machbarkeit (aufgrund der Komplexität) lange unsicher. Späte Änderungen im Basiskonzept kritisch für Erfolg. ▪ Erforderliche Begleitkapazitäten durch Experten hoch – Verfügbarkeit aber begrenzt. Dies führte zu Verzögerungen.	Für einen positiven Projektentscheid sind im Vorfeld wichtige Entscheidungskriterien zu definieren. Dies erfordert aufgabenspezifische Analyse- und Planungsarbeit, die entsprechend unterstützt werden muss. ▪ Einteilung des Projektes in planbare Phasen und Bearbeitungsschritte ▪ Kriterien für Machbarkeit und Risiko ▪ Gerüst für Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ▪ Planung der Experten-Begleitkapazität
Wissenserhebung und -formalisierung ▪ Erfassungsmethode „Erklären-Zuhören-Fragen-Dokumentieren" ist einseitig und stark personenabhängig. ▪ Viel Wissen ist nur implizit (im Kopf des Experten) vorhanden. Systematische Erfassung sehr schwierig. ▪ Explizites Wissen in Form von Dokumentationen ist teilweise nicht auf Stand. Erfassung und Extraktion der relevanten Inhalte zeitaufwändig. Es gibt drei unterschiedliche Wissensrepräsentationen: Doku des Experten, Doku des WI, Konfigurationsmodell/Wissensbasis. ▪ Klassifizierung der Elemente in der Produktstruktur über grafische Eigenschaften (Farben, Formen) aufwändig ▪ Wenig Systematik bei der Identifikation der Wissensobjekte und deren Beziehungsgeflecht. ▪ Darstellungs- und Verständnisprobleme bei Komponentenbeziehungen. Keine gemeinsame Sicht auf das Regelwerk. Experte hat keinen Zugriff auf die Wissensbasis bzw. versteht dessen Inhalt nicht. WI muss sich tief in den Konstruktionsprozess einarbeiten. ▪ Stückliste in PDM ist wichtige Infoquelle. Strukturen sind nur bedingt (anfangs) zur Wissenserfassung geeignet und müssen für das Konfigurationsmodell angepasst werden. ▪ Unrichtig erfasste Zusammenhänge und Regeln werden erst spät im Rahmen der Expertentests erkannt. ▪ Mühsame Wiedereinarbeitung in die Zusammenhänge bei Fehlerbehebungen und Regeländerungen durch WI und Experte.	Die Identifikation, die Erfassung und die Formalisierung von Produkt- und Expertenwissen für ein Projekt müssen in systematischer Weise erfolgen und die Belange des Experten wie auch des WI berücksichtigen. ▪ Systematik zur Erfassung von implizitem wie auch explizitem Wissen ▪ Gemeinsame, rollenspezifische Sichten auf alle Informationen (Strukturen, Zusammenhänge, Regeln) durch geeignete Erfassungsmethoden und Darstellungsformen ▪ Praktikable, übersichtliche und eindeutige Form einer Elementsklassifizierung mit allen Eigenschaften (auch Kombinationen) ▪ Paralleles Handling unterschiedlicher Produktstrukturen bereits zu Beginn ▪ Pflege aller Daten und Regeln möglichst an einer Stelle ▪ Möglichkeiten zur automatischen Erstellung und Pflege von systemunabhängigen Dokumentationen ▪ Aufwände für Wissenserfassung müssen signifikant reduziert werden

sierungstechnik. Produktkatalog: http://www.festo.com/pnf/de_de/products/catalog?action=search&key=dsbf

Implementierung ▪ TW benötigt ein eigenes, vollständig definiertes Konfigurationsmodell in einer vorgegebenen Form. ▪ CAD-Mastermodell und TW-Konfigurationsmodell sind ungleich. CAD-Mastermodell kann nicht beliebig gestaltet werden. Der WI muss in mehreren Modellstrukturen denken. ▪ Teils händische Bereinigung des CAD-Mastermodells nach Abschluss der Konfiguration notwendig. ▪ Verlust von CAD-Referenzen beim Ersetzen von Komponenten. ▪ Erhöhte Verwaltungsaufwände bei der Überführung in PDM-System (Verwaltung neu entstandener Bauteile und Baugruppen).	TW sollte möglichst viele Informationen aus dem Wissenserfassungsprozess automatisch übernehmen können. Der Implementierungsaufwand muss reduziert werden. Die Applikation muss nahtlos in die CAD- und PDM-Umgebung integriert werden. Das Ergebnis eines Konfigurationsvorganges muss identisch zum „klassisch-händischen" Vorgehen sein. ▪ Unterstützung zur parallelen Entwicklung von Modellstrukturen ▪ Nutzung bereits erfasster Informationen für ein automatisiertes Anlegen des Konfigurationsmodells in TW ▪ Automatisierte Bereinigung des Mastermodells ▪ Automatisierte Überführung in PDM-System
Betrieb ▪ Änderungswünsche und Verbesserungsvorschläge durch andere Benutzer: Schwierige Kommunikation, da nur mehr TW-Modell auf Stand. Einarbeitung nach einiger Zeit schwierig und zeitintensiv. ▪ Pflege der Anwendung ist stark vom jeweiligen WI abhängig, der die Implementierung durchgeführt hat. ▪ Händisches Anlegen von Variantenteilen in TW, die während eines Konfigurationsvorganges entstehen. ▪ Händisches Nachführen von neuen Variantenteilen, die im PDM-System angelegt wurden. ▪ Auffinden der richtigen Master- und zugehörigen Konfigurationsmodelle.	Auch nach längerer Zeit sollte für Änderungen und Anpassungen eine schnelle Einarbeitung in die Aufgabenstellung möglich sein. Für den laufenden Betrieb muss die Pflege der Daten klar geregelt sein. Neu entstehende Einzel- und Variantenteile müssen dem PDM-System (automatisch) zugeführt werden. Neue Variantenteile im PDM-System müssen TW zugeführt werden. ▪ Schnelle, personenunabhängige Einarbeitung in das Regelwerk der bestehenden Anwendung durch übersichtliche, verständliche Projektdokumentation ▪ Automatisiertes Anlegen von neuen Variantenteilen in TW (entstanden durch Applikation selbst oder unabhängig durch Neukonstruktion/Zukauf) ▪ Verwaltungskonzept für Master- und Konfigurationsmodelle

Handlungsbedarf

Die formulierten Anforderungen an eine ganzheitliche Prozessunterstützung sind weitestgehend unabhängig vom eingesetzten CAD- und PDM-System. Die erforderlichen Basisfunktionalitäten (bei CAD: Parametrik, Featuretechnologie, API; bei PDM: Stamm- & Strukturverwaltung, SML, API) sind bei heute gängigen Systemen vorhanden. Auf Basis der These, dass die erarbeiteten Anforderungen auch auf andere Marktlösungen gleicher Kategorie übertragen werden können, lassen sich drei wesentliche Problemfelder bzw. Handlungsbedarfe ableiten:

I. **Ganzheitliche Betrachtung und adäquates Vorgehen bei der Konzeption und Einführung von PKA-Unterstützungen.**

Entscheidungsträger erkennen das Potenzial derartiger Technologien. Mit dem Kauf einer Marktlösung ist dies nicht abgetan. Es gilt, schon im Vorfeld die Rahmenbedingungen zu kennen und entsprechende Voraussetzungen zu schaffen. Für eine Einführung sind Hilfestellungen in allen Projektphasen erforderlich. Wie sehen diese Teilschritte im Detail

aus? Was ist die Aufgabe, was ist das Ergebnis? Welche Gestaltungsoptionen gibt es? Welche Probleme können auftreten? Gibt es Methoden und Werkzeuge zur Unterstützung? Die Klärung dieser Fragen erfordert einen praxiserprobten Leitfaden für den Gesamtprozess.

II. **Methodische und rechnergestützte, rollengerechte Erfassung, Formalisierung und Verwaltung von Konfigurations- und Konstruktionswissen.**
Konfigurations- und Konstruktionswissen ist über viele Quellen bzw. „Träger" verteilt. Unternehmen möchten dies langfristig für sich sichern und möglichst vielen Nutzern zugänglich machen. Konstrukteure (Experten) und WI haben sehr unterschiedliche Sichten auf dieses Wissen und benutzen unterschiedliche Methoden und Werkzeuge zur Dokumentation bzw. Formalisierung. Wie kann dies zusammengeführt und vereinheitlicht werden? Wie lässt sich dieses Wissen pflegen und einfach adaptieren? Wie kann dies einer Marktlösung zugeführt werden? Der Bedarf richtet sich an ein (IT-)Konzept, Expertenwissen systematisch zu erfassen und so in eine formalisierbare Form zu bringen, dass dieses einerseits maschinenlesbar wird und andererseits trotzdem für den Konstrukteur verständlich und beherrschbar bleibt.

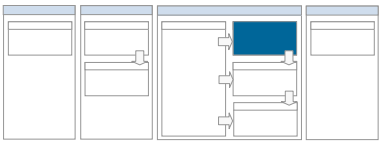
III. **Einbindung der PKA-Unterstützung in die Arbeitsumgebung des Konstrukteurs.**
Das Basiswerkzeug eines Konstrukteurs zur Beschreibung von Geometrieinformationen ist ein 3D-CAD-System. Für das Datenmanagement wird überwiegend ein in die CAD-Umgebung integriertes PDM-System eingesetzt. Zur Weitergabe an Folgeprozesse muss zum Ende der Konstrukteursarbeit ein fertigungs- bzw. montagegerechtes, konsistent aufgebautes und verwaltetes CAD-Modell (Bauteile, Baugruppen) vorliegen. Eine potenzielle PKA-Unterstützung muss dementsprechend nahtlos in diese Konstruktionsumgebung integriert sein und mit diesen Systemen kommunizieren. Wie kann ein solcher Datenaustausch gestaltet werden? Wie kann entstehenden Datenredundanzen begegnet werden? Wie kann ein Konfigurationsergebnis automatisiert in die Standardprozesse überführt werden? Der Bedarf richtet sich hier an ein (IT-)Konzept zur systemneutralen Kopplung der beteiligten Softwareanwendungen bzw. deren Datenquellen.

Aus diesen drei Handlungsfeldern lässt sich zusammenfassend die zentrale Aufgabenstellung formulieren:

> Konzeption eines flexiblen Rahmenwerkes zur Umsetzung ganzheitlicher PKA-Assistenzsysteme in die Konstruktion.

Anmerkung: Der Begriff „Konzeption" wird in dieser Arbeit in zweifacher Hinsicht verwendet: Einmal geht es um die Konzeption des Rahmenwerkes in dieser Arbeit. Zum anderen kann mithilfe dieses Rahmenwerkes ein ganzheitliches PKA-Assistenzsystem konzipiert werden (vgl. Titel der Dissertation: Rahmenwerk für die Konzeption und Einführung wissensbasierter Assistenzsysteme in die Konstruktion).

5 Konzeption eines flexiblen Rahmenwerkes



In Kapitel 4 wurden spezifische Anforderungen erarbeitet und ein entsprechender Handlungsbedarf abgeleitet. Ziel dieses Kapitels ist die generische Konzeption eines flexiblen Rahmenwerkes für ein ganzheitliches Assistenzsystem. Der erste Abschnitt präsentiert das Grobkonzept für die Handlungsfelder und benennt die wesentlichen Bestandteile.

Entlang des allgemeingültigen Phasenmodells wird im anschließenden Abschnitt das Vorgehen im Detail diskutiert und entwickelt. Die Vorgehensschritte werden durch Methoden aus einem Baukasten unterstützt. Ein Teil davon soll in einer exemplarischen Umsetzung auch in Form einer IT-Unterstützung realisiert werden.

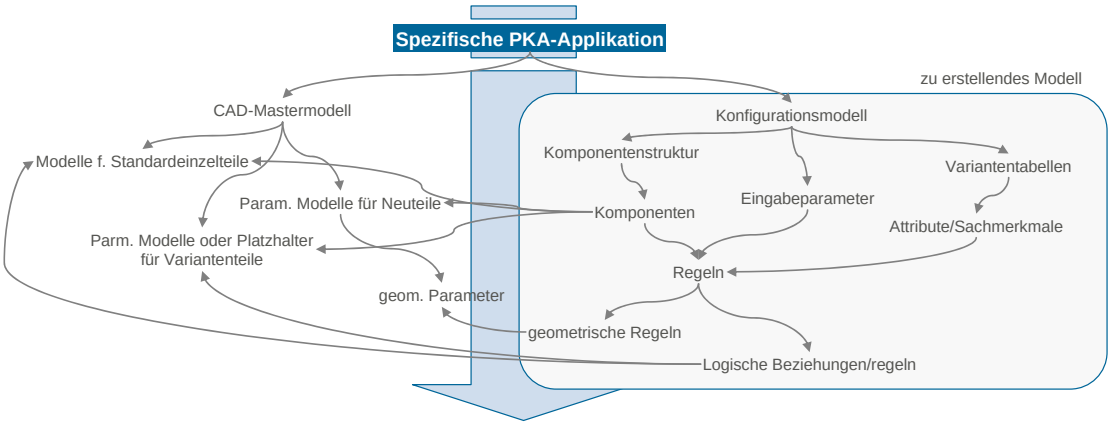
Der Methodenbaukasten bildet den dritten Abschnitt. Hier erfolgt eine Einordnung und Detailbeschreibung der einzelnen Methoden.

Hinweis zum prinzipiellen Vorgehen

Wie bereits mehrfach erwähnt, wird von (zwei) bereits umgesetzten PKA-Applikationen ausgegangen. Diese wurden durch aufwändige, wenig systematische Handarbeit und individuelle Anpassungen erstellt. Die erstellen Applikationen funktionieren in der Praxis und erfüllen ihren Zweck. Somit kann der Output bzw. das Ergebnis als Referenz betrachtet werden. Durch ein gedankliches Rückwärtsschreiten können jeweils die Anforderungen an den vorangegangenen Schritt definiert werden: Was ist im vorangegangenen Schritt zu tun, aufzuarbeiten, zu definieren, damit ein entsprechendes Schritt-Resultat erzielt werden kann?

Abb. 5-1 zeigt ein Beispiel für die Entstehungskette einer spezifischen PKA-AP. Für die praktische Anwendung sind ein CAD-Mastermodell sowie ein Konfigurationsmodell erforderlich. Zum Aufbau eines Konfigurationsmodells werden eine Komponentenstruktur, Eingabeparameter und Variantentabellen benötigt. Die Komponentenstruktur enthält Komponenten, die wiederum mit entsprechenden Regeln belegt werden (usw.). Auf diese Weise können notwendige, zu erarbeitende Informationen definiert und bis an ihren Ursprung bzw. deren Quelle verfolgt werden.

Abb. 5-1: Prinzip des Rückwärtsschreitens, ausgehend von einer funktionierenden PKA-Applikation



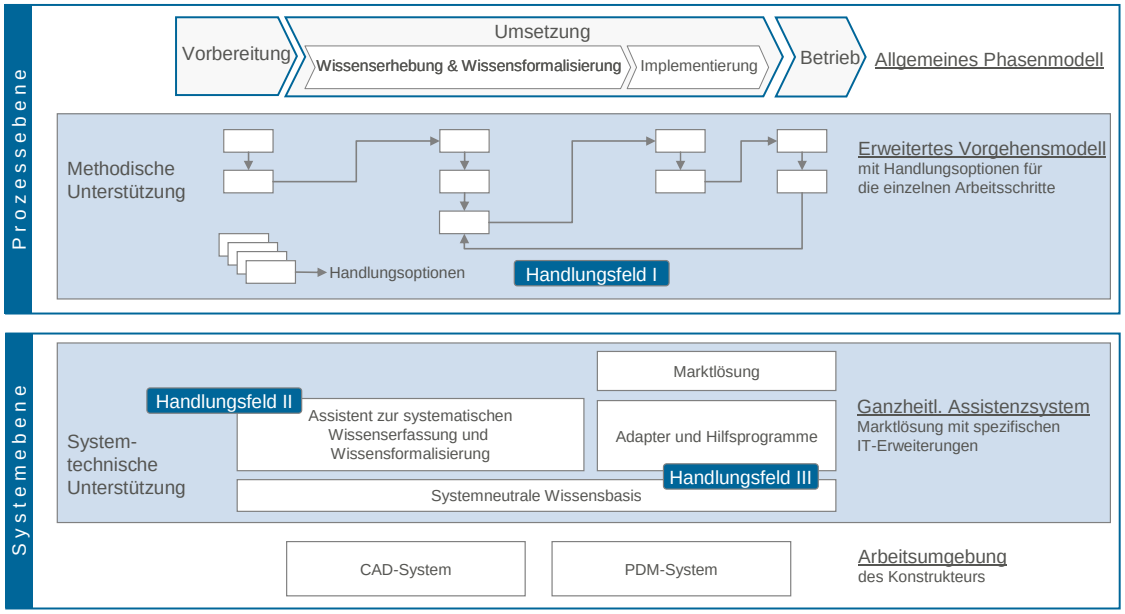
5.1 Grobkonzept für Handlungsfelder

Eine genauere Betrachtung der Anforderungsliste aus dem Vorgängerkapitel lässt zwei Kategorien von Anforderungen erkennen: Anforderungen in Richtung einer organisatorisch/methodischen Unterstützung und Anforderungen, die mit einer systemtechnischen Unterstützung erfüllt werden können. Entlang des allgemeinen Phasenmodells lässt sich die Aufgabenstellung dementsprechend durch zwei Ebenen darstellen (Abb. 5-2):

1. Durch eine **Prozessebene** (methodische Unterstützung): Handlungsfeld I
   Lösungsidee ist dabei ein erweitertes Vorgehensmodell mit detaillierten Handlungsoptionen für die einzelnen Prozessschritte.
2. Durch eine **Systemebene** (systemtechnische Unterstützung): Handlungsfeld II + III
   Der Lösungsansatz beruht auf spezifischen IT-Erweiterungen, die zusammen mit einer Standardlösung (Marktlösung) ein ganzheitliches Assistenzsystem bilden. Kernelemente der Erweiterung bilden dabei ein *Assistent zur systematischen Wissenserfassung und Wissensformalisierung*, eine *systemneutrale Wissensbasis* sowie *Adapter und Hilfsprogramme*.

Im Folgenden wird das Grobkonzept für die drei Handlungsfelder vorgestellt. Das Vorgehen orientiert sich am allgemeinen Problemlösungsprozess in der Produktentwicklung (Vorgehen auf Ebene von Phasen bzw. Arbeitsabschnitten: Anforderungen -> lösungsneutrale Funktionen - > prinzipielle Lösung -> Detaillieren/Ausarbeiten). Konzipieren bedeutet in diesem Zusammenhang die prinzipielle Festlegung einer Lösung. Dementsprechend wird die Aufgabe jeweils mittels einer Hauptfunktion bzw. einer **Funktionsstruktur**, in der die relevanten Informationsflüsse ersichtlich sind, dargestellt. Daran anschließend wird der prinzipielle **Ansatz zur Lösung und Unterstützung** der Aufgabenstellung vorgestellt und beschrieben, was in der Folge als Basis in die Feinkonzeption einfließt.

Abb. 5-2: Lösungsidee und Grobkonzept: Eine methodische sowie systemtechnische Unterstützung des gesamten Prozesses

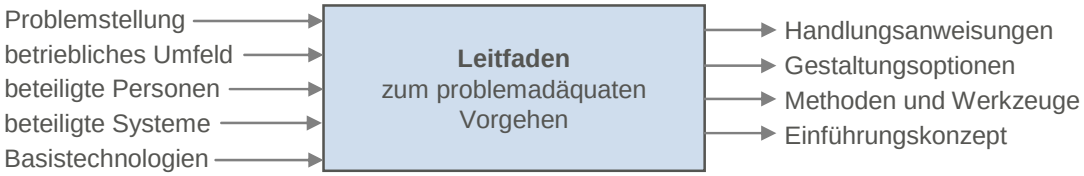


5.1.1 Handlungsfeld I: Ganzheitliche Betrachtung und adäquates Vorgehen

Hauptfunktion: Leitfaden zum Vorgehen

Unter Berücksichtigung des betrieblichen Umfeldes, der beteiligten Personen, der beteiligten Systeme sowie verfügbarer Basistechnologien sollen für die PKA-Problemstellung Handlungsanweisungen, Gestaltungsoptionen, hilfreiche bzw. erforderliche Methoden und Werkzeuge sowie ein Einführungskonzept erstellt werden (Abb. 5-3).

Abb. 5-3: Funktionsstruktur für Leitfaden

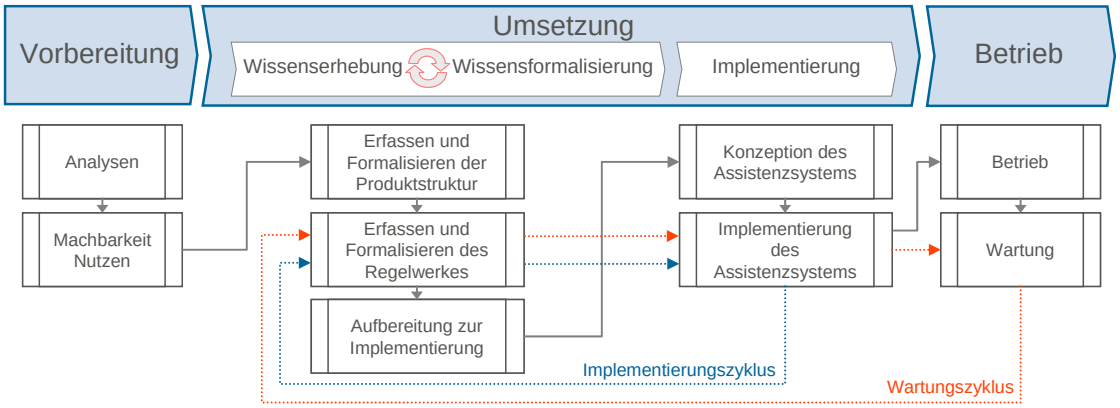


Lösungsansatz

Als Lösungsansatz dafür wird eine „Erweiterung des allgemeinen Phasenmodells zu einem Vorgehensmodell" gewählt. Dabei werden die Hauptphasen in Teilphasen (Teilprozesse) und weiters dann in einzelne Bearbeitungsschritte zerlegt, was entsprechend detaillierte Handlungsanweisungen ermöglicht. Abb. 5-4 skizziert eine erste Untergliederung der Hauptphasen in Teilphasen. So wird bspw. die Wissenserhebung und Wissensformalisierung in die Teilprozesse *„Erfassen und Formalisieren der Produktstruktur"*, *„Erfassen und Formalisieren des Regelwerkes"* und *„Aufbereitung zur Implementierung"* unterteilt. Auch soll das Vorgehensmodell erweiterte Prozessbetrachtungen wie bspw. Implementierungs- und Wartungs-

zyklen berücksichtigen.

Abb. 5-4: Erweiterung des allgemeinen Phasenmodells zu einem Vorgehensmodell



Die Beschreibung der jeweiligen Bearbeitungsschritte soll dabei nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Aufgabe und Ergebnis: Kurze und präzise Beschreibung der Aufgabe sowie der zu erzielenden Ergebnisse und Resultate.
- Vorgehen und unterstützende Methoden: Hierbei soll das Vorgehen im Detail aufgezeigt werden. Eine wichtige Basis dafür bilden organisatorische und IT-technische Unterstützungen in Form von Methoden aus einem Methodenbaukasten. Der Methodenbaukasten soll im Anhang detailliert ausgeführt und auch als Nachschlagewerk[1] eingesetzt werden können. Jede Methode wird mit einem „M" und einer fortlaufenden Nummer bezeichnet (Mxx). Methoden, für die auch eine IT-Unterstützung vorgesehen ist, werden zusätzlich mit einem „i" gekennzeichnet (IT-Funktion).
- Herausforderungen: Hiermit soll auf kritische Punkte, zu beachtende Konstellationen bzw. mögliche Schwierigkeiten bei der Bearbeitung hingewiesen werden.

Jeder Bearbeitungsschritt wird abschließend in einer Tabelle nach folgendem Muster übersichtlich zusammengefasst:

Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
▪ (...)	▪ (...)	▪ (...)	▪ Mxx

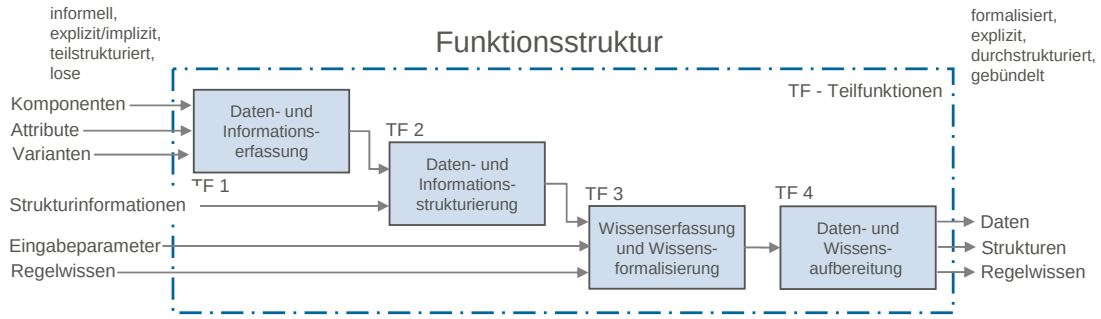
[1] Im Rahmen des folgenden Feinkonzeptes (Beschreibung der Vorgehensschritte) und insb. bei der Beschreibung der Softwarefunktionen in Kapitel 6 müssen zur Erklärung des jeweiligen Sachverhaltes Methodenbeschreibungen aus dem Baukasten auszugsweise wiedergegeben werden. Da der Methodenbaukasten auch als Nachschlagewerk benutzt werden soll, ist diese „Doppelbeschreibung" sinnvoll und notwendig.

5.1.2 Handlungsfeld II: Methodische Erfassung und Formalisierung von Konfigurations- und Konstruktionswissen

Hauptfunktion: IT-gestützte Wissenserfassung und -formalisierung

Aufgabe dieser Funktion ist eine methodische, IT-gestützte, rollengerechte Erfassung, Strukturierung und Formalisierung von Daten, Informationen und Wissen und damit eine Zusammenführung der Sichten von Experte und WI. Aus überwiegend nur informell, implizit, lose und teilstrukturiert vorliegenden Informationen sollen formalisierte, durchstrukturierte und explizit verfügbare Produktmodelle entstehen. In den untersuchten Fallbeispielen konnten (durch Rückwärtsschreiten) vier wichtige Teilfunktionen identifiziert werden (Abb. 5-5) : TF1: *Daten- und Informationserfassung* (für alle Produktdaten); TF2: *Daten- und Informationsstrukturierung* (für die Produktstrukturen); TF3: *Wissenserfassung und Wissensformalisierung* (für das Produkt-Regelwissen und die Eingabeparameter); TF4: *Daten- und Wissensaufbereitung* (für die komplette Produktdefinition).

Abb. 5-5: Funktionsstruktur mit Teilfunktionen für die Wissenserfassung und -formalisierung



Lösungsansatz

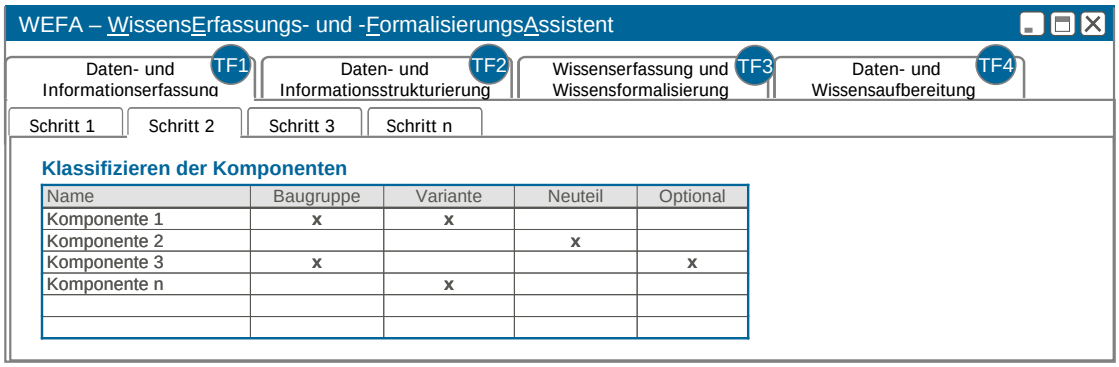
Der Ansatz zur Lösung dieser Funktion ist ein „IT-Assistent" bzw. konkreter, ein „Wissenserfassungs- und -formalisierungsassistent" (WEFA) mit Modulen zur Unterstützung der Teilfunktionen bzw. der einzelnen Prozessschritte. Dabei sollen Teilfunktionen schrittweise durch den gesamten Prozess führen. Abb. 5-6 zeigt die Lösungsidee anhand einer idealisierten Benutzeroberfläche für den WEF-Assistenten. Die Zielsetzung und die Wirkungsweise der einzelnen Teilfunktionen (TFx) sind:

- TF1: Daten- und Informationserfassung (Produktdaten)
  Ziel ist das Erfassen der Komponenten und deren beschreibenden Attribute. Mithilfe eines Klassifizierungsschemas wird die weitere Bearbeitung unterstützt. Dies betrifft im Besonderen die Aufbereitung der Varianten sowie die Spezifikation der Neuteile.
- TF2: Daten- und Informationsstrukturierung (Produktstrukturen)
  Ziel ist das Entwickeln der variablen Produktstruktur mithilfe einer Sichten- und Sortierfunktion auf der Basis einer Element-Strukturcodierung. Die Unterscheidung verschiedener Strukturformen wird mittels paralleler, alternativer Codierungen gelöst.
- TF3: Wissenserfassung und Wissensformalisierung (Produkt-Regelwissen)

Ziel ist das Erfassen und die Formalisierung von Beziehungswissen mithilfe von erweiterten Matrixmethoden. Matrizen sind sehr kompakt und ermöglichen eine einfache und klar lesbare Darstellung von Beziehungen zwischen Elementen. Dementsprechend sind diese auch im Konstruktionsumfeld weit verbreitet (Variantendarstellung/-tabellen, morphologische Kästen, Verträglichkeiten, QFD etc.). Als Lösungsansatz wird die Methode der Design Structure Matrix (DSM) aufgegriffen (DSM: vgl. Kap. 3.4.2). Die Lösungsidee beruht auf einer Erweiterung der Zellen (Kreuzungspunkt der Elemente) um ein Informationsobjekt zur einfachen und schrittweisen Definition der Konfigurations- und Konstruktionsregeln.

- TF4: Daten- und Wissensaufbereitung (Produktdefinition)
  Ziel ist die generische Erzeugung des Konfigurationsmodells für die Marklösung sowie die automatische Ausleitung einer Referenzdokumentation. Dies wird mithilfe der bis zu diesem Schritt systematisch aufgearbeiteten Informationen ermöglicht.

Abb. 5-6: IT-Assistent mit Modulen zur Unterstützung der Prozessschritte

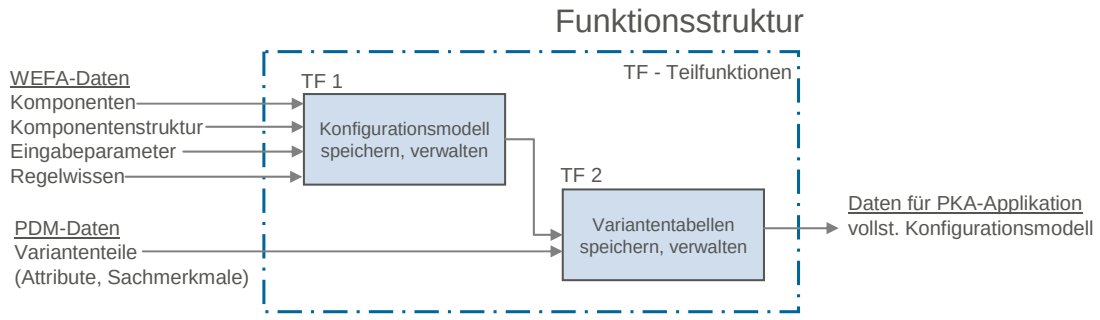


5.1.3 Handlungsfeld III: Einbindung in die Konstruktionsumgebung

Hauptfunktion: Systemneutrale Datenkopplung zu PDM

Das Ziel dieser Funktion ist die Einbindung der IT-Unterstützung in die Arbeitsumgebung des Konstrukteurs durch eine systemneutrale Datenkopplung zu den betroffenen Softwareanwendungen bzw. deren Datenquellen (hier v. a. PDM). Die mittels WEFA erfassten Daten bilden zusammen mit den Daten aus dem PDM-System ein aktuelles, vollständiges Informationsmodell. Die Funktion wird dementsprechend in zwei Teilfunktionen unterteilt (Abb. 5-7). TF1: *Konfigurationsmodell speichern & verwalten* (für das erstmalige Anlegen des Konfigurationsmodells); TF2: *Variantentabellen speichern & verwalten* (für die sich im Betrieb ändernden Variantentabellen).

Abb. 5-7: Funktionsstruktur für die systemneutrale Datenkopplung zu PDM



Lösungsansatz

Als Lösungsansatz wird eine, zur föderierten Wissensbasis ausgebaute WEFA-Datenbasis mit allen relevanten WEFA- und PDM-Daten vorgesehen. Unter einer föderierten[1] Wissensbasis wird in diesem Zusammenhang die Zusammenfassung aller, für die Lösung der Konfigurations- und Auslegungsaufgabe notwendigen Daten und Informationen verstanden. Dabei ist es (vorerst) unerheblich, ob diese Daten bewusst redundant gehalten werden oder durch eine Abfrage anderer Quellen zur Laufzeit der Wissensbasis zur Verfügung stehen.

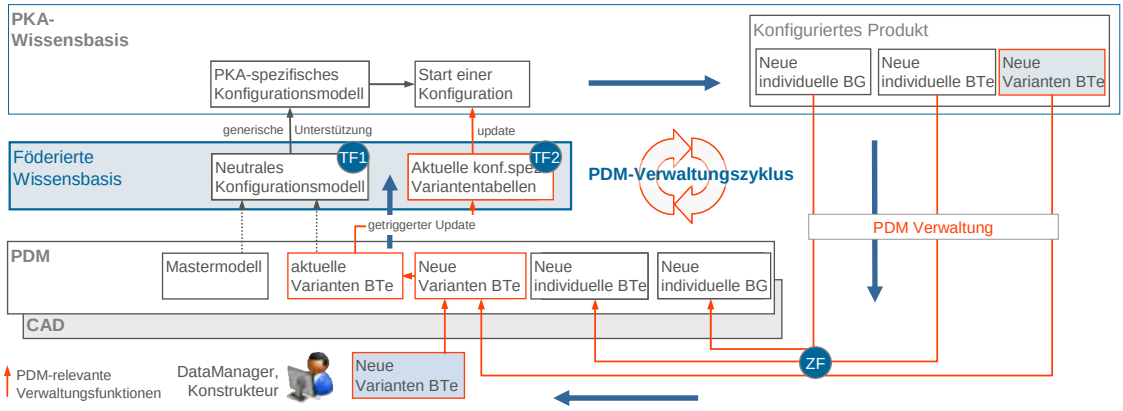
Die föderierte Wissensbasis fungiert somit als Bindeglied und Integrationskomponente zwischen der Marktlösung und dem PDM-System (Abb. 5-8). Die Wissensbasis kann des Weiteren auch als Verwaltungssystem für alle erstellten Informationsmodelle dienen und repräsentiert letztlich das vollständige Produkt- und Expertenwissen zum Aufbau einer IT-Unterstützung. Die Zielsetzung und die Wirkungsweise der beiden Teilfunktionen können wie folgt definiert werden:

- TF1: Informationsmodell speichern & verwalten
  Ziel ist die Speicherung und Verwaltung aller relevanten Daten für das erstmalige Anlegen des Konfigurationsmodells in der PKA-AP. Dabei handelt es sich um die entsprechenden Daten aus den Informationsobjekten des WEFA (Komponentenstruktur, Komponentenattribute, Eingabeparameter, Regelwissen). Sie bilden die Grundlage für die WEFA-Teilfunktion TF4 (Daten- und Wissensaufbereitung).
- TF2: Variantentabellen speichern & verwalten
  Ziel ist die Aktualisierung von Variantentabellen in der PKA-Wissensbasis bei Änderungen im PDM-System. Dies kann entweder beim Start der Konfiguration durch die Applikation selbst oder vorab durch eine entsprechende Triggerfunktion im PDM-System (beispielsweise über Teileklassifizierung) erfolgen. Zur automatischen Verwaltung von neuen Standardteilen im PDM-System sind nach Abschluss einer Konfiguration weitere Funktionen

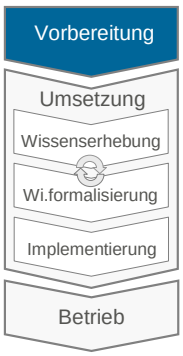
[1] Der Begriff „Föderation" hat seinen Ursprung in der Politik und bezeichnet eine bestimmte Ordnung von Staaten bzw. Form eines Zusammenschlusses. Dieser wurde in die Informatik und hier insb. auf eine spezielle Art von Datenbanksystemen mit Namen „Föderierte Datenbanksysteme" übertragen. Unter einem föderierten DB-System wird der Zugriff auf verschiedene autonome Datenbanken bzw. Datenbestände über eine globale Sicht bzw. Anwendung verstanden (vgl. CONRAD 1997).

(ZF – Zusatzfunktionen) erforderlich, die bei der Gesamtkonzeption berücksichtigt werden müssen. Diese Zusatzfunktionen müssen auch die PDM-Verwaltung neuer, durch die PKA-AP generierte Bauteile und Baugruppen gewährleisten.

Abb. 5-8: Föderierte Wissensbasis zur Datenkopplung mit PDM



5.2 Feinkonzept Phase I: Projektvorbereitung

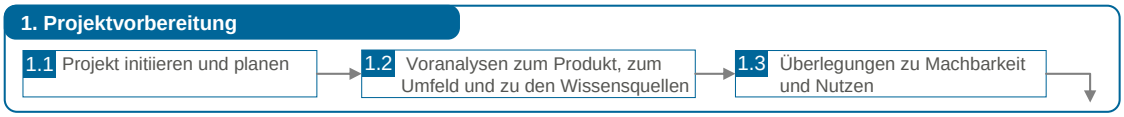


Wie bereits in Kapitel 4 (Detailuntersuchung und Anforderungsanalyse) erläutert, erfolgt die Initiative bzw. Beauftragung eines PKA-Assistenzsystems vielfach aus der Konstruktionsabteilung. Bei kleineren Unternehmungen bzw. technikzentrierten Führungsstrukturen kann dies auch vom Inhaber oder Geschäftsführer direkt erfolgen. Bei Produktangeboten mit einem hohen individuellen Engineeringanteil können Initiativen auch vom technischen Verkauf ausgehen (vgl. Kap. 4.1.1).

Insbesondere die erstmalige Einführung eines PKA-Assistenzsystems bedeutet einen großen Einschnitt in die bis anhin praktizierten Konstruktionsabläufe. Eine sorgfältige Projektvorbereitung sichert dabei nicht nur die notwendigen Budgetmittel, sondern hat v. a. auch zum Ziel, Aufbau- und Ablauforganisationen auf diese neue Konstellation vorzubereiten. Für die Phase der Projektvorbereitung gelten uneingeschränkt auch alle bekannten Kriterien aus dem allgemeinen Projektmanagement wie Leistungsplanung, Terminplanung, Ressourcenplanung, Gestaltung, Projektorganisation (vgl. GAREIS 2004). Weiterführende, umfassende Informationen zu Projektmanagement sind bei der GPM – Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V. (RKW EDITION 2011) – sowie in DIN 69901 zu finden.

Eine klassische Aufbereitung aller Detailkriterien würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. In der Analyse der Anforderungen (vgl. Kapitel 4.4) wurde insbesondere die aufgabenspezifische Analyse- und Planungsarbeit erwähnt. Die Phase I (Projektvorbereitung) konzentriert sich auf diese vorbereitenden Arbeiten und kann in drei wesentliche Teilschritte untergliedert werden (Abb. 5-9). Neben einer *Projektinitiierung und Planung* sind dies vor allem *produktspezifische Voranalysen* sowie *Überlegungen zu Nutzen und Machbarkeit*.

Abb. 5-9: Drei wesentliche Bearbeitungsschritte in der Projektvorbereitung



5.2.1 S1.1: Projekt initiieren und planen

Jedes Projekt bedarf vor dem Start einer bestimmten Vorbereitung und Planung (auch Vorprojektphase genannt). Idealerweise sollte vom späteren Projektleiter eine Vorstrukturierung des Projektes und der Problemstellung durch einen Planungsrahmen ausgearbeitet werden. Hierzu zählen insbesondere eine hinreichende Beschreibung der Aufgabe und der Zielsetzung, ein Vorschlag für eine Projektorganisation bzw. für Teammitglieder, ein Projektplan sowie ein Lastenheft mit Anforderungen. Neben einer Projektbeschreibung sind als Ergebnis ein Anforderungskatalog sowie die Festlegung der Projektorganisation, des Projektteams sowie eines Phasenplans anzustreben.

Vorgehen und Methoden

Als Teil eines Projektauftrages wird im ersten Schritt das Projekt mit den wesentlichen Eckpunkten beschrieben und abgegrenzt. Als kleine Hilfestellung hierfür kann die Projektvorlage M01 herangezogen werden (siehe M01: Projektvorlage S. 216). Mit der Festlegung einer Projektorganisation werden Rollen und Aufgaben verteilt. Zur Analyse des Umfeldes mit den zu berücksichtigenden bzw. beteiligten Organisationseinheiten und deren maßgebenden Personen kann die Methode M03 (siehe M03: Umfeldanalyse S. 217) einen Beitrag leisten. Hier sind insb. die Rollen und Aufgaben des WI und Experten von großer Bedeutung. Der WI agiert vielfach auch als Projektleiter. Dieser übernimmt die Koordination der zu bearbeitenden Aufgaben. Zur zeitlichen Einordnung des Projektes und einer ersten Strukturierung wird ein Projektplan erstellt. Eine mögliche Phasenunterteilung dokumentiert M09 (siehe M09: Projekt-/Phasenplan S. 223). Zur Präzisierung der Zielsetzung wird in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber und dem benannten Experten aus den Hauptaufgaben der Projektbeschreibung eine Anforderungsliste ausgearbeitet. Ein exemplarisches Beispiel einer Anforderungsliste kann der Methode M02 entnommen werden (siehe M02: Anforderungsliste S. 216).

Herausforderungen

Insbesondere bei Erstprojekten (Neueinstieg in die Thematik) sind unklar formulierte Ziele und falsche bzw. zu hohe Erwartungen seitens des Auftraggebers ein kritischer Erfolgsfaktor. Wie generell bei allen Formen der Anforderungserfassung gilt hier: Zu beachten sind auch die nicht ausgesprochenen Anforderungen bzw. die als „selbstverständlich" vorausgesetzten Funktionalitäten („... aber das kann doch jedes System"). Weiters ist die richtige Auswahl und Verfügbarkeit des oder der Experten erfolgsentscheidend. Die Experten sind gleichzeitig Multiplikatoren in den Fachbereichen und tragen erheblich zur Akzeptanz bzw. Beseitigung evtl. auftretender Widerstände bei. Die Funktion eines WI ist bei Erstprojekten nicht oder nur unzureichend vorhanden. Der grundsätzliche Entscheid zur Einführung von PKA-

Assistenzsystemen kann zum Aufbau und zur „Einschulung" einer WI-Rolle genutzt werden. Die entsprechenden Aufgaben müssen für diesen Fall dann allerdings von extern, bspw. vom Anbieter einer Standardlösung, eingebracht werden.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S1.1:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
1.1	▪ Beschreibung der Aufgabe und der Zielsetzung/Erwartung ▪ Festlegung der Projektorganisation/-team ▪ Projektplan erstellen ▪ Anforderungen ausformulieren	▪ Projektbeschreibung ▪ Projektorganisation ▪ Phasenplan ▪ Anforderungskatalog	▪ Unklare Ziele ▪ Zu hohe Erwartungen ▪ Funktion/Rolle eines WI muss erst aufgebaut werden ▪ Auswahl und Verfügbarkeit des/der Experten ▪ Akzeptanz/ Widerstände	▪ Projektvorlage (M01) ▪ Anforderungsliste (M02) ▪ Umfeldanalyse (M03) ▪ Projekt-/Phasenplan (M09)

5.2.2 S1.2: Voranalysen zum Produkt, zum Umfeld und zu den Wissensquellen

Das zu konfigurierende Produkt bestimmt in hohem Maße die Aktivitäten im Projekt. Die Kenntnis über die Zusammensetzung und Struktur des Produktes sowie dessen Entstehungsprozess ist eine wichtige Aufgabe. Als Grundlage für Überlegungen zu Machbarkeit und Nutzen dienen Voranalysen zu Wissensquellen, aus denen das Auslegungs- und Konfigurationswissen ermittelt werden kann. Hieraus können auch eventuell beteiligte IT-Systeme identifiziert werden. Eine mögliche Aufgabe in dieser Phase ist die Evaluation und Auswahl einer PKA-Standardlösung. Ergebnisse dieses Bearbeitungsschrittes sind eine hinreichende Produkt- und Prozessbeschreibung sowie eine Übersicht über die wichtigsten Wissensquellen. Gegebenenfalls liegt auch eine Grundsatzentscheidung für eine Standardlösung vor.

Vorgehen und Methoden

Mit Unterstützung des benannten Experten wird anhand heutiger Arbeitsweisen der Entstehungs- bzw. Konstruktionsprozess überblicksmäßig analysiert. Möglicherweise existieren seitens des Experten hierfür Dokumentationen. Anhand bestehender Stücklisten oder CAD-Baugruppen werden der prinzipielle Aufbau und die Struktur des Produktes bzw. der Produktfamilie analysiert. Durch eine systematische Erstanalyse verfügbarer Wissensquellen und der dort gespeicherten Produktinformationen wird die Basis für weitere Schritte geschaffen. Dieser Schritt wird anhand einer Wissensquellmatrix (siehe M04: Wissensquellmatrix S. 218) methodisch unterstützt. Hiermit kann bspw. rasch identifiziert werden, welche Produktinformationen bereits verfügbar sind und was noch erarbeitet werden muss. Dies fließt in der Folge in die Aufwandseinschätzungen mit ein. Bei Erstprojekten erfolgt an dieser Stelle i. d. R. auch eine Evaluation und Auswahl einer PKA-Standardlösung. Als Hilfestellung dafür kann ein Kriterienkatalog eingesetzt werden (siehe M05: Kriterienkatalog Standardlösung S. 218). Dieser Punkt wird in Abschnitt 5.4.1 noch gesondert diskutiert.

Herausforderungen

Übersehene Wissensquellen bzw. Wissensinhalte können zu Anfang gewisse Informationsdefizite verursachen und zu Fehleinschätzungen insb. für die Erfassungsaufwände führen. Dies wird spätestens bei der Implementierung bzw. beim nicht praxiskonformen Verhalten der Applikation festgestellt und muss dann u. U. aufwändig nachgebessert werden. Als sehr kritisch wird die Auswahl bzw. der Einsatz einer für die Aufgabenstellung ungeeigneten Standardlösung angesehen. Dem Evaluationsprozess muss dementsprechend große Beachtung und Sorgfalt gewidmet werden. Soll die Standardlösung auch für andere Problemstellungen als Basis dienen (was in der Praxis meistens der Fall ist), liegt die Herausforderung im Konsens der Anforderungen, die zum Zeitpunkt der Evaluation möglicherweise gar nicht vorliegen.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S1.2:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
1.2	▪ Analyse des betroffenen Produktes ▪ Grobanalyse vorhandener Wissensquellen ▪ optional: Evaluation und Auswahl einer PKA-Standardlösung	▪ Produkt- und Prozessbeschreibung ▪ Übersicht Wissensquellen ▪ optional: Entscheid Standardlösung	▪ ungeeignete Standardlösung ▪ übersehene Wissensquellen	▪ Wissensquellmatrix (M04) ▪ Kriterienkatalog Standardlösung (M05)

5.2.3 S1.3: Überlegungen zu Machbarkeit und Nutzen

Eine Machbarkeits- bzw. Durchführbarkeitsuntersuchung eines Projektes prüft, ob die definierten Ziele erreichbar sind und wie möglichen Risiken begegnet werden kann. Die Ziele sind im Projektauftrag formuliert. Es gilt, Projektrisiken zu identifizieren und zu bewerten. Risiken sind Ereignisse, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten und dann einen Schaden mit definierter Tragweite verursachen würden (vgl. RKW EDITION 2011). Zur Bewertung des Nutzens müssen quantitative und qualitative Betrachtungen angestellt werden. Letztere können durch eine Diskussion allgemeiner Nutzenpotenziale erfolgen. Eine monetäre (quantitative) Bewertung kann anhand einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden. Dies stellt eine beträchtliche Herausforderung dar, insb. bei Erstprojekten, wenn kaum Erfahrungen vorliegen. Bei Folgeprojekten gestaltet sich dies etwas einfacher, da hier vom WI treffsichere Einschätzungen gemacht werden können. Handelt es sich um ein erstes Projekt, kann dieses auch als Pilotprojekt fungieren und einen „Bonus" hinsichtlich Wirtschaftlichkeit erhalten. Um die Anfangsinvestitionen für Lizenzen der Standardlösung überschaubar zu halten, bieten sich für diesen Fall Sondervereinbarungen mit dem Anbieter an (beispielsweise eine Mietvariante). Ergebnis der gesamten Überlegungen ist eine Entscheidungsgrundlage für die Linienorganisation (i. d. R. für den Auftraggeber) zur Realisierung des PKA-Assistenzsystems.

Vorgehen und Methoden

Wie aus der allgemeinen Betriebswirtschaftlehre bekannt, kann die Wirtschaftlichkeit eines Objektes (Projektes, System etc.) als das Verhältnis zwischen erreichtem Erfolg (Ertrag/Nutzen) und dafür benötigtem Mitteleinsatz (Aufwand/Kosten) ausgedrückt werden. Ist

der Quotient gleich oder größer als eins, ist eine Wirtschaftlichkeit gegeben. Bei den Kosten werden einmalige und laufende Kosten, beim Nutzen ein quantifizierbarer und ein nicht quantifizierbarer Nutzen unterschieden. Für die vorliegende Aufgabe der Konzeption und Einführung eines PKA-Assistenzsystems wurde ein vereinfachtes, spezifisches Kalkulationsmodell erstellt. Mithilfe der Methode M06i (Kalkulationsvorlage – siehe S. 219) können Einflussgrößen in ihrer Wirkung erkannt und Rentabilitäten eingeschätzt werden. Als aussagefähige Kennzahl wird durch Umformung eine Amortisationszeit berechnet. Der Ansatz beruht auf einer speziellen, komponentenabhängigen Ermittlung der Aufwände zur Erstellung des Assistenzsystems. Es werden nur direkte, der Erstellung und dem Betrieb des Assistenzsystems zuordenbare Kosten berücksichtigt. Auf Größen wie Zinsen, Abschreibungen, Gemeinkosten, weiterführende Nutzeneffekte etc. wurde bewusst verzichtet da diese im Verhältnis entweder geringen Einfluss haben oder durch ihre schwierige Bestimmung die Aussagekraft des Ergebnisses verwässern. Neben monetär bewertbaren Potenzialen, die zugegebenermaßen nicht in jedem Fall eine volle Rechtfertigung belegen können, hilft bisweilen zusätzlich auch eine weiterführende Diskussion über qualitative Nutzenpotenziale für das Unternehmen (siehe M08: Nutzenpotenziale S. 222).

Die Kennzeichnung denkbarer Projektrisiken[1] ermöglicht ein gezieltes und v. a. rechtzeitiges Gegensteuern. Dies trägt zum Projekterfolg bei. So stellen bspw. eine unzureichende Verfügbarkeit des Experten oder Akzeptanzprobleme in der Fachabteilung ein nicht unerhebliches Projektrisiko dar. Als Unterstützung zur Identifizierung möglicher Projektrisiken kann die Methode M07 (Risikocheckliste – siehe S. 222) eingesetzt werden.

Herausforderungen

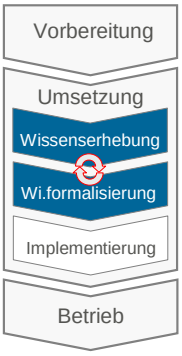
Die Ermittlung der Erststellungskosten mithilfe der Kalkulationsvorlage setzt die Kenntnis der Produktstruktur voraus. Dies erfordert frühzeitige Überlegungen zu den vorkommenden Teilearten (Standardteile, Neuteile, Variantenteile), was im Detail erst später erarbeitet wird. Eine Kontrolle bzw. Überarbeitung der Kalkulation zu einem späteren Zeitpunkt sollte dementsprechend vorgesehen werden. Des Weiteren können Fehleinschätzungen hinsichtlich Machbarkeit (gut machbar <-> nicht machbar) und Nutzen (hoch <-> niedrig) erheblichen Einfluss auf die Projektfreigabe ausüben. Dies gilt es, über Quervergleiche und unterschiedliche Blickwinkel laufend abzusichern.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S1.3:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
1.3	▪ Überlegungen zu Wirtschaftlichkeit/Rentabilität ▪ Identifizieren möglicher Projektrisiken	▪ Entscheidungsgrundlage zur Realisierung	▪ Fehleinschätzungen	▪ Kalkulationsvorlage (M06i) ▪ Risikocheckliste (M07) ▪ Nutzenpotenziale (M08)

[1] Ein Projektrisiko kann als Möglichkeit einer negativen oder positiven Abweichung von einem Projektziel definiert werden (GAREIS 2004). Damit sind auch alle Einflüsse und Faktoren gemeint, die den Erfolg des Projektes in Gefahr bringen können.

5.3 Feinkonzept Phase II: Wissenserhebung und -formalisierung

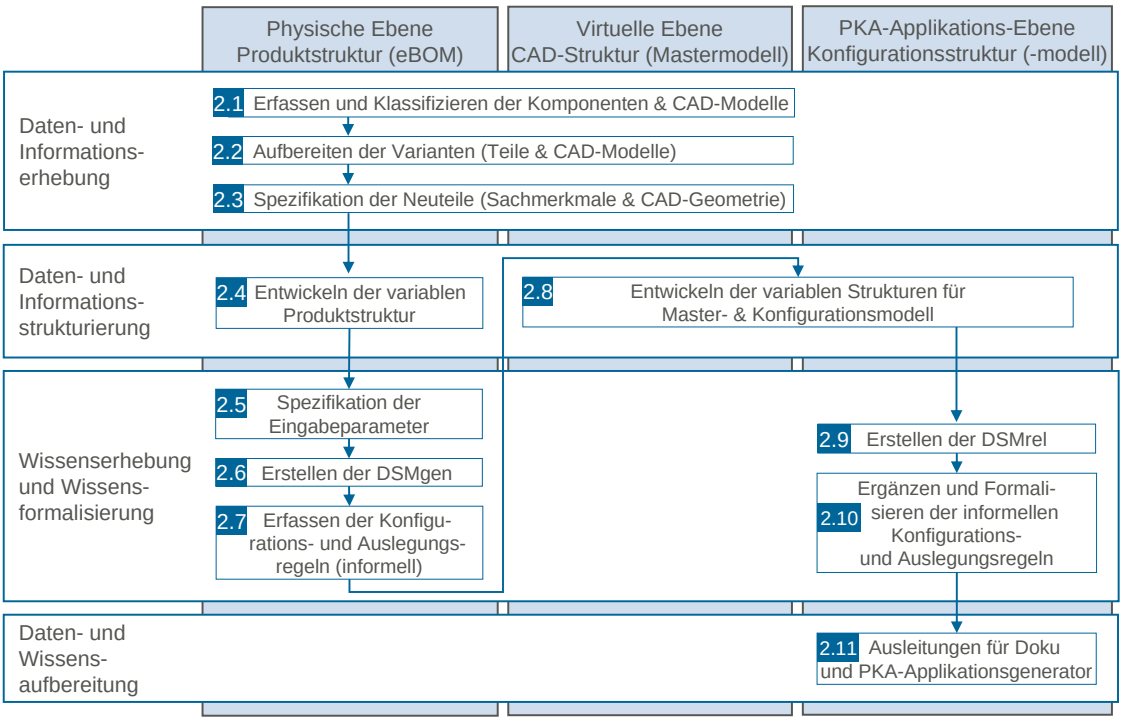


Die vollständige Erfassung und Aufbereitung aller relevanten Wissensbestandteile sind ein Schlüssel für den späteren Implementierungserfolg. Aufgrund der Vielfältigkeit und Menge an Daten, Informationen und Regeln und der damit einhergehenden Komplexität ist ein schrittweises Vorgehen zwingend erforderlich. Dabei dürfen die Bearbeitungsschritte nicht als strikter, sequentieller Ablauf gesehen werden. Zwischen der Erhebung und der Formalisierung von Daten, Informationen und Wissen sind Iterationen notwendig.

Abb. 5-10 zeigt eine Übersicht über bzw. einen Leitfaden für die erforderlichen Bearbeitungsschritte. Der Ablauf kann grob in eine *„Daten und Informationserhebung"*, eine *„Daten- und Informationsstrukturierung"*, eine *„Wissenserhebung und Wissensformalisierung"* sowie in eine *„Daten- und Wissensaufbereitung"* unterteilt werden.

Zwischen der Strukturierung und der Formalisierung (Schritte S2.4 bis S2.10) finden besagte Iterationen statt. Die Grundidee dabei beruht auf einer Zweiteilung des Vorgehens in Bezug auf die Datensicht. Dies erfolgt durch eine Zuordnung in verschiedene Ebenen.

Abb. 5-10: Übersicht der wesentlichen Bearbeitungsschritte zur Erhebung, Strukturierung und Formalisierung von Daten, Informationen und Wissen



So beziehen sich die Schritte S2.1 bis S2.7 auf die physische Produktstrukturebene, bei der die Konstruktionsstückliste (eBOM[1]) im Vordergrund steht und die Sicht des Experten widerspiegelt. Die beiden anderen Ebenen fokussieren auf Bearbeitungsschritte (S2.8 bis S2.11), die sich mit der CAD-Struktur (Virtuelle Ebene) sowie der Konfigurationsstruktur der PKA-AP auseinandersetzen (PKA-Applikationsebene) und damit schwerpunktmäßig die Sicht des WI repräsentieren.

5.3.1 S2.1: Erfassen und Klassifizieren der Komponenten und CAD-Modelle

Ein wichtiger Schritt zum Start eines Umsetzungsprojektes ist die detaillierte Kenntnis über alle Produktkomponenten. Ziel dabei ist das Sammeln, Beschreiben und Klassifizieren aller Komponenten, die in irgendeiner Weise beteiligt sind. Das Ergebnis dieses Bearbeitungsschrittes ist eine vollständige Komponententabelle (Maximalliste) mit allen identifizierenden und beschreibenden Merkmalen und zugehörigen CAD-Modelle.

Vorgehen und Methoden

Mithilfe von Stücklisten und CAD-Baugruppen von bereits realisierten Produkten und/oder vorhandenen Kopiervorlagen werden alle erforderlichen (beteiligten) Komponenten eruiert und in eine Komponentenliste (oder auch Komponententabelle genannt) eingetragen. Die vorhandenen Stücklisten und Baugruppen können der zuvor erfassten Wissensquellmatrix (M04) entnommen werden. Die Einträge in die Komponentenliste erfolgen mit Unterstützung der Methode bzw. IT-Funktion M10i (Komponentenliste verwalten – siehe S. 224). Hierbei werden gleichzeitig identifizierende Merkmale wie eine eindeutige Komponenten-Identifikation, ein Komponentenname, die Dokumentnummer eines evtl. vorhandenen CAD-Bauteiles sowie (für Standardkomponenten) eine zugehörige Materialnummer erfasst. Als Hilfestellung zu den weiteren, komponentenspezifischen Erfassungsaufgaben werden alle Komponenten nach dem Schema M11i (Komponenten klassifizieren – siehe S. 224) in die fünf Kriterien „Element-Typ, Element-Vorkommen, Element-Art und Element-Anzahl" klassifiziert. Als Vorbereitung zur genauen Spezifikation der Komponenten wird eine Attributliste (Spezifikationstabelle) pro Komponente vorbereitet, die alle relevanten Merkmale wie bspw. Geometrieparameter von Neuteilen enthält. Hierfür wird die Methode M13i (Komponentenattribute verwalten – siehe S. 226) eingesetzt.

Herausforderungen

Die Vorgehensweise bildet eine gute Ausgangsbasis, garantiert aber keine Vollständigkeit. Durch Quervergleiche (z. B. Stücklisten/CAD-Baugruppen) oder Expertenbefragungen kann dies überprüft werden. Sollte in dieser Phase eine Komponente übersehen werden, ist dies nicht erfolgskritisch und kann später nachgepflegt werden (i. d. R. werden spätestens bei der Definition des Konfigurations- und Auslegungswissens fehlende Komponenten erkannt).

[1] eBOM: Im PDM-Umfeld gebräuchliche Abkürzung für Konstruktionsstückliste. BOM ist die englische Abkürzung für „Bill of Material" (Stückliste). Das „e" steht für „engineering" und bezeichnet die Produktentwicklung bzw. die Konstruktion.

Auch können durch eine unrichtige Komponentenklassifizierung (vorerst) falsche Folgeschritte gesetzt werden (z. B. keine Aufbereitung von Teilevarianten, keine Attributerhebung bei Neuteilen). Dies kann allerdings ebenso später relativ unkritisch nachgeholt werden.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.1:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.1	▪ Erfassen und klassifizieren aller Komponenten & CAD-Modelle ▪ Vorbereiten der Attributliste	▪ Komponententabelle (Maximalliste) mit Merkmalswerten ▪ CAD-Modelle	▪ Fehlende (übersehene) Komponenten ▪ falsche Klassifizierung	▪ Wissensquellmatrix (M04) ▪ Komponentenliste verwalten (M10i) ▪ Komponenten klassifizieren (M11i) ▪ Komponentenattribute verwalten (M13i)

5.3.2 S2.2: Aufbereiten der Varianten

Für alle in Schritt S2.1 als Teilevariante klassifizierten Komponenten müssen Variantentabellen erstellt und die zugehörigen CAD-Modelle aufbereitet werden. Sachmerkmale beschreiben dabei die Unterscheidungskriterien. Ergebnis dieses Bearbeitungsschrittes ist eine vollständig definierte Variantentabelle, eine Sammlung aller zugehörigen CAD-Modelle sowie fallweise auch CAD-Variantenmodelle.

Vorgehen und Methoden

Anhand der aus der Wissensquellmatrix (M04) bekannten Informationsträger (bspw. PDM-Stücklisten, PDM-Sachmerkmalleisten, CAD-Design-Tables, Herstellerkataloge, Normblätter) werden die beschreibenden Merkmale (Sachmerkmale) für alle Variantenteile zusammengetragen und in die vorbereitete Attributliste (M13i) übernommen. Anschließend werden alle bestehenden Variantenteile der gleichen Variantenklasse (selbe Variantenausprägung) gesucht bzw. identifiziert und mit ihren Sachmerkmalwerten (vgl. hierzu auch Kap. 2.3.4) in eine Variantentabelle eingetragen. Zur Erstellung der Variantentabellen kann die Methode M12i (Variantentabelle verwalten – siehe S. 226) eingesetzt werden. Mithilfe der bestimmten Sachmerkmale werden pro Variantenteil dann die CAD-Parametermodelle erstellt. Hierbei sind evtl. bestehende Kopiervorlagen eine gute Ausgangsbasis.

Herausforderungen

Bei der späteren Anwendung bestimmen die Variantenlisten die Verwendung bereits bestehender Standardteile. Ist eine Liste unvollständig, würden hierdurch möglicherweise Neuteile produziert bzw. bestellt werden. Der Vollständigkeit der Variantenlisten kommt somit eine hohe Bedeutung zu.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.2:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.2	▪ Sachmerkmale von Variantenteilen bestimmen und Werte erfassen ▪ Aufbereitung der CAD-Modelle	▪ Variantentabellen ▪ zugehörige CAD-Modelle ▪ CAD-Variantenmodelle	▪ unvollständige Variantenlisten	▪ Wissensquellmatrix (M04) ▪ Variantentabelle verwalten (M12i) ▪ Komponentenattribute verwalten (M13i)

5.3.3 S2.3: Spezifikation der Neuteile

Wurden beim Schritt S2.1 auch entstehende Neuteile identifiziert, muss deren Gestalt durch entsprechende Geometriemerkmale beschrieben werden. Ein Platzhalter im Mastermodell ermöglicht über die Parameteransteuerung die Gestaltung dieser Teileart. Ergebnis ist eine Spezifikationstabelle pro Neuteil (Parameterliste mit Datentypen und zulässigen Wertebereichen) sowie das jeweils zugehörige, parametrische CAD-Modell.

Vorgehen und Methoden

Die Maßgabe für diesen Bearbeitungsschritt sind parametrische CAD-Modelle für die kundenindividuellen Neuteile. Die Leitfrage lautet: Durch welche Parameter wird die Gestalt der Neuteile bestimmt bzw. durch welche Größen darf das Neuteil in seiner Gestalt verändert werden? Als Ausgangsbasis hierfür bieten sich evtl. vorhandene Konstruktionsmodelle realisierter Bauteile an. Im interaktiven Dialog mit dem Experten werden die gestaltbestimmenden Größen ermittelt und in die vorbereiteten Attributlisten (M13i) bzw. Spezifikationstabellen eingetragen. Gemäß der Methode werden auch hierfür die Datentypen und zulässigen Wertebereiche festgelegt.

Herausforderungen

Zur Festlegung der gestaltbestimmenden Größen und deren Wertebereiche müssen mögliche bzw. erlaubte Ausprägungen vorgedacht werden. Damit begibt man sich unweigerlich bereits in den Prozess der Regelerfassung. Wie bereits erwähnt, ist dies ein Beispiel dafür, dass der Erfassungs- und Formalisierungsprozess keine strikte Schrittabfolge, sondern teilweise auch ein iteratives „Vor-und-Zurück" beinhaltet.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.3:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.3	▪ Geometrieparameter von Neuteilen bestimmen und deren Wertebereiche festlegen ▪ Aufbereitung der parametrischen CAD-Modelle	▪ Spezifikationstabelle pro Neuteil ▪ parametrische CAD-Modelle	▪ „Vorausdenken" erforderlich	▪ Komponentenattribute verwalten (M13i)

5.3.4 S2.4: Entwickeln der variablen Produktstruktur

Aus der in Schritt S2.1 erstellten Komponentenliste wird eine variable Produktstruktur in Form einer Maximalstückliste respektive einer Variantenstückliste entwickelt (vgl. hierzu auch Kap. 2.3.3). Im vorliegenden Fall entspricht eine bestimmte Ausprägung der Maximalstückliste einer Konstruktionsstückliste. Diese stellt die Grundlage für Schritt S2.6 dar, in dem eine erste, generelle Beziehungsmatrix (DSM) aufgebaut wird. Ergebnis ist eine strukturierte Komponententabelle, die einer Variantenstückliste entspricht. Durch Konfiguration entstehen später daraus alle erlaubten Konstruktionsstücklisten.

Vorgehen und Methoden

Nach der Sammlung und Klassifizierung aller beteiligten Komponenten (M11i) wird eine erste Produktstruktur aus Sicht der Konstruktion (bzw. des Experten) gebildet. Als Hilfestellung können auch hier evtl. vorhandene und in der Wissensquellmatrix (M04) erfasste Stücklisten und/oder CAD-Baugruppen eingesetzt werden. Die Position eines Elementes in der Produktstruktur wird mithilfe eines Ebenencodes bestimmt. Die genaue Funktions- und Arbeitsweise wird in der Methode M14i (Produkt strukturieren – siehe S. 227) erläutert. Eine, bei jedem einzelnen Element solcherart ergänzte Codierung ermöglicht eine strukturgerechte Sortierung der Komponentenliste.

Herausforderungen

Eine variable Produktstruktur (Variantenstückliste) unterscheidet sich von einer normalen Konstruktionsstückliste. In der Definition und Diskussion mit dem Experten (Konstrukteur) kann dies unter Umständen dazu führen, dass Elemente im Klassierungsschema neu definiert oder umklassifiziert werden müssen. So kann beispielsweise die Einführung eines neuen logischen Knotens hilfreich bzw. notwendig sein.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.4:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.4	▪ Entwickeln der variablen Produktstruktur	▪ Strukturierte Komponententabelle (Variantenstückliste)	▪ Verständigung mit dem Experten über die Variantenstruktur	▪ Wissensquellmatrix (M04) ▪ Komponenten klassifizieren (M11i)) ▪ Produkt strukturieren (M14i)

5.3.5 S2.5: Spezifikation der Eingabeparameter und Steuergrößen

Neben den Elementen der Produktstruktur und deren beschreibenden Attributen sind die Eingabeparameter und Steuergrößen ein weiterer Vorbereitungsschritt für die Regeldefinition. Diese Größen gehen später auch in die Definition und Gestaltung der Benutzeroberfläche ein. Die Erfassung und Spezifikation aller Eingabeparameter ist Aufgabe dieses Bearbeitungsschrittes. Ergebnis ist eine Spezifikationstabelle mit allen Eingabeparametern und deren Wertebereichen (Min-/Max-Werte).

Vorgehen und Methoden

Die Leitfragen für diesen Bearbeitungsschritt lauten: Durch welche Eingabegrößen wird die PKA-AP gesteuert? Welche Konfigurations- und Auslegungsbedingungen möchte der Endanwender durch seine Eingaben steuern/beeinflussen? Zusammen mit dem Experten werden die Eingabeparameter identifiziert, spezifiziert und in eine Eingabeparameterliste eingetragen (siehe M16i: Eingabeparameter verwalten S. 229). Die Eingabegrößen werden vom Konfigurations- und Auslegungsprozess bestimmt sind dementsprechend weitestgehend vom Experten abhängig. Hier kann u. U. eine Checkliste mit Leitfragen hilfreich sein, die das Identifizieren der gesuchten Parameter fördern bzw. anregen (siehe M15: Expertenbefragung Steuergrößen S. 228).

Herausforderungen

Die Erfassung basiert auf einer Befragung des Experten. Dies impliziert die Möglichkeit, dass nach diesem Schritt die Parameterliste evtl. unvollständig ist. Werden in weiterer Folge fehlende Eingabeparameter erkannt, müssen die Bearbeitungsschritte ab hier neu durchlaufen werden. Wie beim Schritt S2.3 bereits erwähnt, ist auch hier ein gewisses „Vorausdenken" in den späteren Konfigurationsablauf erforderlich, was automatisch eine iterative Arbeitsweise mit sich bringt.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.5:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.5	▪ Erfassen und spezifizieren der Eingabeparameter	▪ Spezifikationstabelle mit allen Eingabeparametern	▪ Unvollständige Liste ▪ „Vorausdenken" erforderlich	▪ Expertenbefragung Steuergrößen (M15) ▪ Eingabeparameter verwalten (M16i)

5.3.6 S2.6: Erstellen der DSMgen auf Basis der Produktstruktur

Mithilfe der Komponenten- und Eingabeparameterliste kann nun eine Matrix aufgebaut werden. Da es sich hierbei um eine erste Matrix zur generellen weiteren Diskussion mit dem Experten handelt, wird diese mit DSMgen (Präfix „gen" für „generell") bezeichnet. Primäres Ziel der DSMgen ist in der Folge (nächster Schritt S2.7) die erstmalige Erfassung und Dokumentation von Regelwissen des Experten. Sie stellt somit die Grundlage für eine Verständigung zwischen WI und Experten im Hinblick auf die zu erstellende Konfigurationsunterstützung dar. Ergebnis ist eine Zellenstruktur (Matrix), die jegliche Beziehung zwischen jeweils zwei Elementen (Komponente zu Komponente sowie Komponente zu Eingabeparameter) abbilden kann.

Vorgehen und Methoden

Die strukturgerecht sortierte Komponentenliste (vgl. Schritt S2.4 – Methode M14i) wird zusammen mit der Eingabeparameterliste in eine DSM adaptiert. Die vertikale Achse bilden dabei die Eingabeparameter plus die Komponenten. Auf der horizontalen Matrixachse werden nur die Komponenten angeordnet. Als Methoden- bzw. Funktionsunterstützung dafür ist

M17i (siehe M17i: DSMx erzeugen S. 230) vorgesehen. Damit sind alle Vorbereitungen zur ersten, informellen Regelerfassung abgeschlossen.

Herausforderungen

Mögliche Probleme durch fehlende bzw. nicht erfasste Komponenten und Eingabeparameter wurden bereits bei den Schritten S2.1 und S2.5 diskutiert.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.6:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.6	▪ Erstellen der DSMgen anhand der Komponenten und Eingabeparameter	▪ Matrix mit Zellen zur Aufnahme von Elementsbeziehungen		▪ Produkt strukturieren (M14i) ▪ DSMx erzeugen (M17i)

5.3.7 S2.7: Erfassen der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln

Wie in Schritt S2.6 aufgezeigt, sind nun die wesentlichen Rahmenbedingungen für eine erstmalige Erfassung von Konfigurations- und Auslegungswissen gegeben. Im Vordergrund steht vorerst eine Dokumentation auf informeller Basis, in dem Regelwissen des Experten in gemeinsprachlicher Form in die Zellen eingetragen wird. Ergebnis ist eine von der PKA-AP unabhängige Repräsentation des Expertenwissens über die jeweilige Aufgabe in einer übersichtlichen, systematischen und für alle Beteiligten gut lesbaren Form. Nach diesem Schritt hat der WI die Aufgabe in seiner Ganzheit erfasst und verstanden und ist in der Lage, im darauf folgenden Schritt die Strukturen für das Master- und Konfigurationsmodell zu entwickeln.

Vorgehen und Methoden

Zusammen mit dem Experten werden die Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen entweder intuitiv (getrieben vom Experten) oder systematisch (durch „Moderation" des Experten) erfasst und in die entsprechenden Zellen eingetragen. Die Beschreibung einer Konfigurations- oder Auslegungsregel erfolgt dabei (vorerst) in gemeinsprachlicher und/oder semiformaler Form. Der Erfassungsvorgang wird anhand der Methode und IT-Funktion M18i (siehe M18i: Regelerfassung S. 231) erklärt bzw. unterstützt.

Herausforderungen

Ziel ist die Erfassung von *direkten* Elementsbeziehungen (Element A beeinflusst Element B in der Form „xxx"). Dies kann gerade zu Anfang Mühe bereiten, insbesondere, wenn die Zusammenhänge komplexer werden. *Indirekte* Beziehungen entstehen immer dann, sobald versucht wird, die ganze Kette der Auswirkungen abzubilden. Beispiel: Verschiedene Griffe bestehen jeweils aus einer Halteplatte und einem entsprechenden Bügelgriff. Zu jeder Halteplatte gehört ein bestimmter Bügelgriff. Die Auswahl der richtigen Halteplatte wird vom Eingabeparameter Werkzeuglänge bestimmt. Somit gibt es zwei direkte Beziehungen: a) Werkzeuglänge steuert Art der Halteplatte, b) Art der Halteplatte bestimmt die Form des Bügelgriffes. Man könnte nun auch eine Beziehung zwischen Werkzeuglänge und Bügelgriff

eintragen. In diesem Fall wird von einer *indirekten* Beziehung gesprochen, die das Regelwerk unnötig aufbläht, da dieser Fall durch a) und b) bereits eindeutig bestimmt ist. Durch die rein informelle Beschreibung ist dies allerdings vorerst nicht weiter tragisch und sollte im Zweifelsfall aufgenommen werden. Dies fördert die Diskussion und die Abstimmung zwischen Experte und WI. Vor Abschluss dieses Bearbeitungsschrittes sollten die indirekten Beziehungen allerdings bereinigt werden.

Weiters können durch Beziehungen zu einem dritten Element mehrfache Zelleneinträge mit gleichem Inhalt (derselben Regel) entstehen. Dies ist im Sinne der Methodik korrekt. Hieraus resultieren in der Folge (siehe Schritt S2.10) mehrfache, formale Ausdrücke der gleichen Form. In der Regel bereitet dies der Problemlösungskomponente keine Schwierigkeiten bzw. kann dort sehr einfach eliminiert werden.

Die Praxis hat gezeigt, dass im Zuge dieser Erfassung fallweise zusätzliche, bisher nicht identifizierte Attribute und Eingabeparameter identifiziert werden. Auch dies ist im Sinne der Vorgehensmethodik eine erlaubte bzw. berücksichtigte Situation. Wichtig dabei ist, dass die richtigen Aktualisierungsschritte durchgeführt werden: 1. Aktualisierung der Attribut- und Eingabeparameterliste. 2. Aktualisierung der DSM. Im WEF-Assistent ist dafür eine entsprechende Aktualisierungsfunktion vorgesehen.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.7:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.7	▪ Erfassen der Konfigurations- und Auslegungsregeln in gemeinsprachlicher (informeller) Form	▪ Systemunabhängige Repräsentation der Konfigurationsaufgabe	▪ Umgang mit indirekter Beziehungen	▪ Regelerfassung (M18i)

5.3.8 S2.8: Entwickeln der variablen Strukturen für das Master- und Konfigurationsmodell

Wie bereits mehrfach erwähnt, unterscheiden sich die Strukturen der Variantenstückliste, des CAD-Mastermodells und des Konfigurationsmodells teilweise erheblich voneinander. Im Besonderen ist die Gestaltung des Konfigurationsmodells (Elementstruktur für eine spätere Implementierung) weitestgehend dem WI überlassen und somit stark von seinen Überlegungen abhängig. Mithilfe und Wissen der vorangegangenen Bearbeitungsschritte (Produktstruktur, Regeln) kann der WI nun beginnen, für die Aufgabe ein entsprechendes Konfigurationsmodell zu entwickeln. Dies erfolgt in enger Abstimmung bzw. paralleler Erstellung eines zugehörigen CAD-Mastermodells. Ergebnis ist eine Komponentenstruktur, die in Schritt S2.11 für eine Überführung in den PKA-Applikationsgenerator herangezogen wird, sowie eine konfigurationsrelevante Komponentenliste für den nächsten Bearbeitungsschritt. Mithilfe der in den Schritten S2.1 bis S2.3 erfassten und aufbereiteten CAD-Modelle ist ein, zum Konfigurationsmodell kompatibel aufgebautes Mastermodell ebenfalls ein Bearbeitungsergebnis.

Vorgehen und Methoden

In Schritt S2.4 wurde eine variable Produktstruktur aus Sicht der Konstruktion entwickelt. Für den Aufbau und die Implementierung eines Konfigurationsmodells ist eine weitere Struktur erforderlich, die mithilfe der bereits bekannten Methode M14i konkretisiert wird. Diese Struktur ist vom WI zu entwickeln. Dabei sind grundsätzlich zwei Teilschritte durchzuführen:

1. **Entwickeln der relevanten Struktur für das Konfigurationsmodell der PKA-Applikation.**
   Dies ist insb. dann erforderlich, wenn im CAD-Mastermodell mehrere gleiche Komponenten unterschiedlich angesteuert werden müssen. Dies ist bspw. beim Grundwerkzeug für die Führungssäulen und die dafür notwendigen Bohrungen in den Platten erforderlich. Nachdem hier jede Führungssäule separat angesteuert werden muss, sind in der Konfigurationsstruktur dafür auch ebenso viele Knoten vorzusehen.
2. **Adaption und Generalisierung der Struktur für die zugehörige DSM.**
   Vielfach gelten Regeln für eine ganze Gruppe von Komponenten, die im Konfigurationsmodell alle separat aufscheinen. Für die Regeldefinition genügt somit ein „logischer" Knoten für die ganze Gruppe, was die Elementsanzahl in der DSM wesentlich verringern kann. Die oben genannten Führungssäulen bestehen neben der Säule selbst aus einem Kugelkäfig, einer Stahlhülse und Gewindestiften. Diese können in Bezug auf die Regeln der Führungssäulenposition gemeinsam bspw. durch ein Element „Führungssäule" behandelt werden.

Parallel zur Entwicklung der Konfigurationsstruktur wird die CAD-Struktur bzw. das CAD-Mastermodells aufgebaut.

Herausforderungen

Die Parallelentwicklung von Konfigurationsmodell und CAD-Mastermodell erfordert, insb. bei komplexen Sachverhalten, fallweise prototyphafte Implementierungsversuche. Erkenntnisse daraus können u. U. Strukturänderungen auslösen bzw. erforderlich machen, was wiederum Konsequenzen für die DSM und die Regeldefinition hat. Hiermit wird einmal mehr die starke Wechselwirkung zwischen Produktstruktur und Regelwerk deutlich was die zyklische Vorgehensweise begründet. Mögliche Fehler und Unvollständigkeiten im Regelwerk haben großen Einfluss auf den Aufbau des Konfigurationsmodells und sind dementsprechend als kritisch zu betrachten.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.8:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.8	▪ Entwickeln der Strukturen für das Master- und Konfigurationsmodell ▪ Erstellen des CAD-Mastermodells	▪ Konfigurationsmodell zur Überführung in den PKA-Applikationsgenerator ▪ Konfigurationsrelevante Komponentenliste ▪ CAD-Mastermodell	▪ evtl. Implementierungsversuche notwendig ▪ Fehler und Unvollständigkeiten im Regelwerk	▪ Produkt strukturieren (M14i)

5.3.9 S2.9: Erstellen der DSMrel auf Basis der Konfigurationsstruktur

In Schritt S2.8 wurde eine, für die Überführung und Implementierung in eine PKA-AP maßgebende Struktur entwickelt. Diese beinhaltet alle notwendigen und relevanten Elemente zur exakten und vollständigen Formalisierung des Regelwerkes. Die zu bildende Matrix wird deshalb, im Unterschied zur *generellen* DSM (*DSMgen*) von Schritt S2.6, als *relevante* DSM (*DSMrel*) bezeichnet. Die überwiegend informell formulierten Zellinformationen aus der DSMgen müssen zur Weiterverarbeitung und Ergänzung in die DSMrel übertragen werden. Ergebnis ist eine aufbereitete, um Ergebnisse aus Schritt S2.6 (Erfassung der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln) ergänzte Matrix, die die Grundlage zur Regelformalisierung bildet.

Vorgehen und Methoden

Das Vorgehen zum Aufbau der Matrix ist prinzipiell identisch zum Schritt S2.6 (Methode M17i – Erstellen der DSMx). Die für die Übernahme in die Matrix relevante Komponentenliste wird hier allerdings von der im vorhergehenden Schritt S2.8 entwickelten Konfigurationsmodellstruktur bestimmt (Methode M14i). Abschließend müssen die bereits informell erfassten Konfigurations- und Auslegungsregeln in die neue Matrix adaptiert werden. Als Unterstützung wird hierfür die IT-Funktion M19i (siehe M19i: WB-Operationen S. 232) eingesetzt.

Herausforderungen

Die Matrizen einer DSMgen und DSMrel sind nie identisch. Sie unterscheiden sich sowohl in Anzahl und Reihenfolge wie auch in einzelnen Elementstypen. Bei der Übernahme von Zellinformationen aus der DSMgen nach DSMrel muss (trotz IT-Unterstützung) darauf geachtet werden, dass alle Einträge ausgewertet und ggf. händisch zugeordnet werden.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.9:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.9	▪ Erstellen der DSMrel anhand der Komponenten aus der Konfigurationsstruktur ▪ Übernahme der Zelleninformationen aus der DSMgen	▪ Matrix mit informellen Zellinformationen als Vorbereitung für die Regelformalisierung	▪ Fehler bei der Übernahme von DSMgen Zellinformationen	▪ Produkt strukturieren (M14i) ▪ DSMx erzeugen (M17i) ▪ WB-Operationen (M19i)

5.3.10 S2.10: Formalisieren der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln

Die Matrix (DSMrel) enthält nun alle relevanten Elemente, die für eine Ausformulierung und Beschreibung der kompletten Konfigurations- und Auslegungsaufgabe notwendig sind. Informationen aus der Ersterfassung (DSMgen) wurden übernommen und gegebenenfalls ergänzt. Alle Zellen mit Regelinformationen müssen jetzt in eine entsprechende, formale Notation gebracht werden. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme der Elementsattribute, mit denen Regel- bzw. Formelausdrücke gebildet werden. Ergebnis ist eine von der PKA-AP unabhängi-

ge Repräsentation des kompletten Konfigurations- und Auslegungswissens in einer Form, die sowohl für den Experten lesbar bleibt als auch die formalen Anforderungen des WI erfüllt. Weiters sind mit den formalen Regelausdrücken auch alle Voraussetzungen für eine Ausleitung in die PKA-AP gegeben.

Vorgehen und Methoden

Bedingt durch Änderungen in der Komponentenliste (vgl. Schritt S2.8 und S2.9), ist im ersten Schritt eine Prüfung, Bereinigung und ggf. Ergänzung von informellen Regeln erforderlich. Im zweiten Schritt werden für alle Zelleinträge, mithilfe der Attribute, formale Notationen gebildet. In der vorliegenden Arbeit wird dafür die Regelsyntax des Zielsystems (Standardlösung TW) verwendet. Um den systemunabhängigen Charakter des Konzeptes auch hier zu wahren, müsste eine standardisierte Sprache eingesetzt werden, die in der Folge durch eine Softwarefunktion die Regelausdrücke automatisch in die Sprache der PKA-Standardlösung überträgt. Diese Aufgabe würde den Rahmen der Arbeit sprengen und wird deshalb nicht weiter verfolgt. Zur „Übersetzung" der informellen Regeln in formale Regelausdrücke wird die bereits oben erwähnte Methode und IT-Funktion M18i herangezogen.

Herausforderungen

Bei der Aufnahme der formalen Regelausdrücke (in der Formelsprache der PKA-Standardlösung) in die DSMrel-Zellen erfolgt keine Syntaxprüfung. Dies kann u. U. zu Problemen bzw. Nachbesserungen im Zielsystem führen.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.10:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.10	▪ Ergänzen und Formalisieren der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln	▪ Systemunabhängige Repräsentation des kompletten Konfigurations- und Auslegungswissens	▪ Syntaxfehler bei der formalen Regeldefinition	▪ Regelerfassung (M18i)

5.3.11 S2.11: Ausleitungen für die Dokumentation und den PKA-Applikationsgenerator

Das Konfigurationsmodell der PKA-Standardlösung (vgl. Kap. 4.1.2) besteht im Wesentlichen aus der Komponentenstruktur mit den zugehörigen Attributen, den Variantentabellen mit ihren Sachmerkmalleisten, dem Regelwerk mit allen Constraints und Funktionen sowie der Benutzeroberfläche mit ihren spezifischen Parametern. Mit den in der Schrittfolge S2.1 bis S2.10 erarbeiteten Daten kann dieses Modell erzeugt werden. Des Weiteren lässt sich mit den Daten eine kompakte Referenzdokumentation (z. B. für das Intranet) generieren.

Vorgehen und Methoden

Das Konfigurationsmodell muss für die Überführung in den PKA-Applikationsgenerator in eine standardisierte Form gebracht werden. Hierfür eignet sich bspw. XML sehr gut. Mithilfe der IT-Funktion M20i (Konfigurationsmodell generieren) wird ein entsprechendes XML-Modell

erzeugt. Bei dieser Funktion handelt es sich um einen sehr spezifischen Vorgang, bei dem die allgemeine Methodenbeschreibung nur das Ausleitungsprinzip darstellt (siehe M20i/M21i: Ausleitungen generieren S. 232). In Kap. 6.2.5 erfolgt eine ausführliche Beschreibung dieses IT-Moduls.

Ähnlich verhält es sich mit der automatisierten Erstellung einer Referenzdokumentation. Um Informationen über ein individualisiertes Produkt in einem zentralen Informationspool (bspw. ein Unternehmensintranet) zur Verfügung zu stellen, wird gleichfalls eine IT-Funktion eingesetzt (M21i: Referenzdokumentation generieren). Hierbei werden die variable Produktstruktur, die Komponentenklassifizierung, die Bauteilbeschreibungen sowie die Variantentabellen mit ihren Sachmerkmalleisten in Form einer kompakten Dokumentation aufbereitet. Eine detaillierte Beschreibung dieser IT-Funktion erfolgt ebenfalls in Kap. 6.2.5.

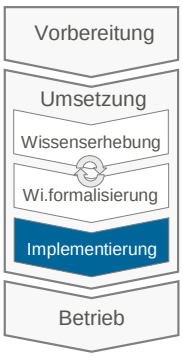
Herausforderungen

Variantentabellen können sich im Laufe des Betriebes ändern (bspw. durch neue Standardteile). Dies muss sowohl in bereits bestehenden Dokumentationen wie auch im aktiven Konfigurationsmodell berücksichtigt werden. Auf diese Problematik wird im Bearbeitungsschritt S4.4 noch gesondert eingegangen.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S2.11:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
2.11	▪ Aufbereitung der ermittelten Daten zur Übergabe an den PKA-Applikationsgenerator ▪ Aufbereitung einer Dokumentation zur einfachen Einsicht	▪ Applikationsspezifisches Konfigurationsmodell ▪ Referenzdokumentation im Intranet	▪ Aktualisierung der Dokumentation und des Konfigurationsmodells bei Änderungen	▪ Konfigurationsmodell generieren (M20i) ▪ Referenzdokumentation generieren (M21i)

5.4 Feinkonzept Phase III: Implementierung



Unter einer Implementierung wird in diesem Zusammenhang die Realisierung der Aufgabenstellung in einem PKA-Assistenzsystem verstanden. Dies ist Aufgabe des Wissensingenieurs.

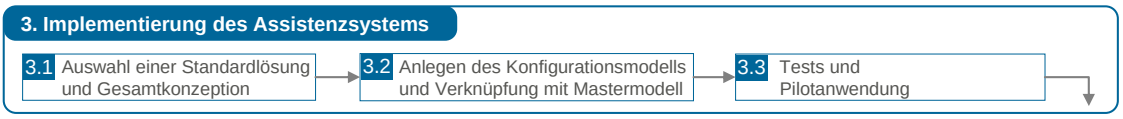
In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Implementierung in eine, im Unternehmen bereits evaluierte, existierende PKA-Standardlösung. Davon kann nicht immer ausgegangen werden. Im Sinne eines ganzheitlichen, allgemein verwendbaren Vorgehensmodells müssen hier zwei Fälle unterschieden werden:

a) Ein Erstprojekt – bei dem die Auswahl einer für das Aufgabenumfeld geeigneten Standardlösung vorausgehen muss und eine Konzeption des gesamten Assistenzsystems erstellt wird – und b) ein Folgeprojekt – das sich rein auf die Realisierung bzw. Implementierung einer spezifischen Konfigurationsaufgabe konzentriert.

Mit der Entscheidung für ein Erstprojekt muss also zwangsläufig eine Standardlösung (Basistechnologie) evaluiert werden. Erfahrungsgemäß erfolgt dies bereits in der Vorbereitungs-

phase (vgl. Abschnitt 5.2). Nachdem die Standardlösung im Mittelpunkt der Implementierungsphase steht, wird die Aufgabe im Vorgehensmodell hier eingeordnet. Somit kann die Phase in drei wesentliche Bearbeitungsschritte unterteilt werden (Abb. 5-11). Ein, als „optional" gekennzeichneter Bearbeitungsschritt S3.1 beschreibt die *„Auswahl einer Basislösung und Gesamtkonzeption"*. Die für Folgeprojekte maßgebende Implementierungsaufgabe *„Anlegen des Konfigurationsmodells und Verknüpfung mit Mastermodells"* ist in Schritt S3.2 ausgeführt. Ein zweckmäßiges Vorgehen für die abschließenden Tests und den Start einer Pilotanwendung beschreibt Schritt S3.3.

Abb. 5-11: Drei wesentliche Bearbeitungsschritte für die Implementierung des PKA-Assistenzsystems



5.4.1 S3.1 (optional): Auswahl einer Standardlösung und Gesamtkonzeption

Ein idealtypischer Systemaufbau einer Basislösung sowie mögliche Handlungsoptionen wurden in Kapitel 3 eingehend erläutert. Eine sehr wichtige Aufgabe bildet die, für die PKA-Aufgabe geeignete, Auswahl einer Standardlösung. Wichtig dabei sind auch die Anforderungen und Rahmenbedingungen für eine Integration in das betriebliche IT-Umfeld, was eine Gesamtkonzeption des Assistenzsystems erst ermöglicht. Das Arbeitsergebnis ist eine in das Unternehmen eingeführte Standardlösung sowie ein den Anforderungen entsprechendes Integrationskonzept.

Vorgehen und Methoden

Mit Unterstützung eines Kriterienkataloges (siehe M05: Kriterienkatalog Standardlösung S. 218) werden die für das Unternehmen und insb. für die PKA-Aufgabe maßgebenden Anforderungen erarbeitet und mit möglichen Standardlösungen abgeglichen. In der Regel kommt der Integration der Standardlösung in die Arbeitsumgebung des Konstrukteurs eine hohe Bedeutung zu. Hier sind im Besonderen die CAD- und PDM-Schnittstellen genau zu spezifizieren und ggf. anzupassen. Idealerweise bringt die Standardlösung die notwendigen Komponenten bereits mit. Vielfach sind jedoch unternehmensspezifische Anpassungen erforderlich. Die Schnittstellenanforderungen können großteils von den gewünschten Arbeitsweisen in der Betriebsphase abgeleitet werden. Hierauf reflektiert Abschnitt 5.5 (Betriebsphase).

Herausforderungen

Auf die Problematik einer ungeeigneten Standardlösung wurde bereits in Abschnitt 5.2.2 hingewiesen. Als weitere, erfolgskritische Punkte können fehlende oder eingeschränkte Integrationsmöglichkeiten in CAD und PDM genannt werden.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S3.1:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
3.1	▪ Evaluation und Auswahl einer geeigneten Standardlösung ▪ Identifikation der erforderlichen Rahmenbedingungen für eine Integration in das betriebliche IT-Umfeld.	▪ Eingeführte Standardlösung mit Integrationskonzept	▪ Ungeeignete Standardlösung ▪ Eingeschränkte Integrationsmöglichkeiten in CAD und PDM	▪ Kriterienkatalog Standardlösung (M05)

5.4.2 S3.2: Anlegen des Konfigurationsmodells und Verknüpfung mit dem Mastermodell

Das im Bearbeitungsschritt S2.11 erzeugte Konfigurationsmodell (bspw. als XML-File) kann nun in den PKA-Applikationsgenerator importiert und mit dem CAD-Mastermodell verknüpft werden. Ergebnis ist eine erste, lauffähige, spezifische PKA-AP für die aktuelle Aufgabenstellung.

Vorgehen und Methoden

PKA-Applikationsgeneratoren bieten i. d. R. eine Möglichkeit, Konfigurationsmodelle über ein standardisiertes Format (z. B. XML) zu exportieren bzw. zu importieren. Über eine derartige Funktion wird das in Schritt S2.11 generierte Modell in den PKA-Applikationsgenerator importiert. Anschließend werden die Elemente im Konfigurationsmodell (händisch über eine Standardfunktion im PKA-Applikationsgenerator) mit den Komponenten im CAD-Mastermodell verknüpft (vgl. hierzu auch Kap. 4.1.2). Um die PKA-AP erstmalig aufzurufen, sind noch einige Ergänzungen für die Benutzeroberfläche (bspw. die Anordnung und Gruppierung der Eingabeparameter) durchzuführen.

Herausforderungen

Ein inkorrektes Applikationsverhalten bzw. eine unvollständige Definitionen tritt spätestens nach diesem Arbeitsschritt zutage. Hierauf wurde laufend hingewiesen. Angefangen bei Komponenten und Strukturen, weiter über Attribute und Eingabeparameter, bis hin zu Regeln und deren Syntax – dies können alles Ursachen für eine nicht funktionierende Praxisanwendung sein. Eingehenden Tests und einer ersten Pilotanwendung kommt somit eine große Bedeutung zu. Dies ist Aufgabe des nächsten Bearbeitungsschrittes.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S3.2:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
3.2	▪ Import des Konfigurationsmodells in den PKA-Applikationsgenerator ▪ Modellergänzungen (Benutzer Interface) ▪ Verknüpfung mit CAD-Mastermodell	▪ Lauffähige, erste PKA-Applikation	Unvollständiges Konfigurationsmodell	

5.4.3 S3.3: Tests und Pilotanwendung

Nachdem im vorangegangenen Schritt die prinzipielle Lauffähigkeit der PKA-AP hergestellt wurde, muss die Vollständigkeit und Korrektheit des kompletten Assistenzsystems im Kontext der Praxis überprüft werden. Gegebenenfalls sind Nachbesserungen anzustrengen. Das Ergebnis ist ein hinreichend getestetes Assistenzsystem, das in die Fachabteilung (Konstruktion) eingeführt und zum produktiven Betrieb übergeben werden kann.

Vorgehen und Methoden

Für das Testprozedere gelten grundsätzlich auch alle aus der Softwareentwicklung bekannten Methoden und Vorgehensweisen. Eine gängige Methode ist bspw. die Unterteilung in vier Teststufen: erstens ein *Komponententest* (prüft die einzelnen Softwarebausteine), zweitens ein *Integrationstest* (prüft ganze Module bzw. Gruppen von Softwarebausteinen), drittens ein *Systemtest* (prüft das System als Ganzes) und viertens ein *Abnahmetest* (Prüfung aus Sicht des Kunden) (vgl. SPILLNER et. al. 2010).

Eine weitere praktikable Methode richtet sich bspw. an den Personen aus, die die Tests unter verschiedenen Blickwinkeln durchführen. Anhand einer systematischen Kontrolle der Konfigurations- und Auslegungsoptionen überprüft der WI als Erster das Arbeitsergebnis. Mithilfe von mehreren Praxisszenarien testet in weiterer Folge der Experte das System auf Korrektheit der Ergebnisse. Die Tests werden durch eine Pilotanwendung im Fachbereich abgeschlossen, bei der sich ausgewählte Endanwender (Konstrukteure) an ersten produktiven Aufgaben versuchen oder bereits händisch realisierte Produktvarianten nachbilden. Wichtig bei allen Tests ist eine enge Abstimmung mit dem WI, der ein Fehlverhalten sofort analysieren und ggf. beheben muss.

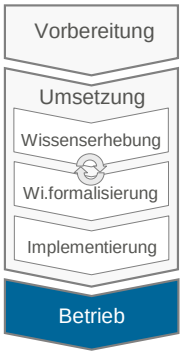
Herausforderungen

Eine einwandfrei funktionierende PKA-AP bestimmt den Startzeitpunkt und die rasche sowie problemlose Einführung in die Fachabteilung. Durch unzureichende Tests wird dieser Schritt stark gefährdet. Schlimmstenfalls kann es zu fehlerhaften Produktkonfigurationen kommen, die erst sehr spät (bspw. in der Produktion oder gar beim Kunden) entdeckt werden. Ein weiterer kritischer Faktor sind konzeptionelle Fehler im Konfigurationsmodell bzw. vom Experten unrichtig erarbeitete Konstruktionszusammenhänge. Dies kann zu erheblichen Umbauarbeiten führen oder im Extremfall einen kompletten Neustart des Projektes bewirken.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S3.3:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
3.3	▪ Erste systematische Tests durch den WI ▪ Erste Praxistests durch den Experten ▪ Pilotanwendung im Fachbereich	▪ Fertiges PKA-Assistenzsystem zur Übergabe in den produktiven Betrieb	▪ Konzeptionelle Fehler ▪ Unzureichende Tests	

5.5 Feinkonzept Phase IV: Betrieb

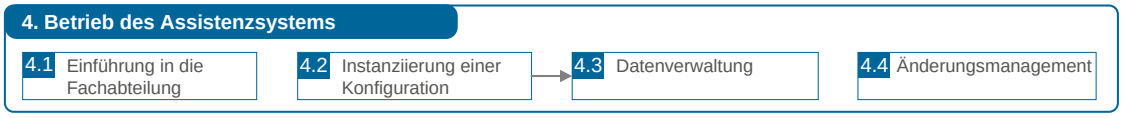


Nach Abschluss der Tests kann das PKA-Assistenzsystem in die Fachabteilung eingeführt und zum produktiven Betrieb übergeben werden. Wie bei jeder anderen Softwareapplikation sind auch für das Assistenzsystem neben der Einschulung und ersten Begleitung Aspekte wie Betreuung, Wartung und Änderungsmanagement zu berücksichtigen bzw. zu organisieren.

Des Weiteren sind, nach produktiver Anwendung des Systems, die Konfigurationsergebnisse für die Folgeprozesse aufzubereiten (vgl. Kap. 4.1.1). Dies betrifft insb. die CAD-Modelle und die gesamte Verwaltung der neu entstandenen Produktvarianten.

Die erwähnten Aufgaben werden in vier idealisierte Bearbeitungsschritte unterteilt, die in der Praxis nur bedingt in dieser Reihenfolge ablaufen (Abb. 5-12). Der Schritt S4.1 „*Einführung in die Fachabteilung*" ist v. a. nach der Neuerstellung eines PKA-Assistenzsystems relevant. Die Schritte S4.2 „*Instanziierung einer Konfiguration*" und S4.2 „*Datenverwaltung*" sind wiederum nach jeder Anwendung zu durchlaufen. S4.4 „Änderungsmanagement" ist ein prinzipieller Vorgehensschritt, der in der gesamten Lebensphase des Assistenzsystems auftreten kann.

Abb. 5-12: Vier wesentliche Teilschritte für den Betrieb des PKA-Assistenzsystems



5.5.1 S4.1: Einführung in die Fachabteilung

Eine zielgerichtete Einführung des Assistenzsystems trägt viel zur Akzeptanz und zum Projekterfolg bei. Mithilfe einer kompakten Schulungsunterlage wird das Anwendertraining vorbereitet. Das Training selbst wird idealerweise vom oder mit Unterstützung des Experten durchgeführt. Wichtig ist auch, insb. in der Anfangsphase, eine Betreuung bzw. fachgerechte Begleitung sicherzustellen. Nach möglichen letzten Anpassungen kann das Projekt abgeschlossen und das System einem offiziellen Praxisbetrieb übergeben werden. Ergebnis ist ein erfolgreich eingeführtes PKA-Assistenzsystem.

Vorgehen und Methoden

Für den gesamten Einführungsprozess sollte ein wichtiger Umstand beachtet werden: Das PKA-Assistenzsystem unterstützt Aufgaben, die im Prinzip vom Fachbereich auch vorher schon bearbeitet wurden (Erstellen von individualisierten Produktvarianten). Der Fokus der Einschulung muss dementsprechend auf der Handhabung und den Möglichkeiten der Systemfunktionen liegen. Eine Schulungsunterlage bzw. auch die Einschulung selbst sollte sich am Erstellungsprozess ausrichten. Zur Erklärung des Konfigurationsmodells bzw. der zugrunde liegenden, variablen Produktstruktur kann die (generische) Referenzdokumentation von Schritt S2.11 gut eingesetzt werden. Hiermit kann man gleichzeitig auf die Existenz dieser Informationsquelle und auf die Zugriffsmöglichkeiten hinweisen. Die Praxis hat gezeigt, dass in Assistenzsystem-Schulungen Fragestellungen zur Handhabung (Spezialist ist WI) und fachliche Fragen (Spezialist ist Experte) auftreten. Idealerweise wird deshalb die Schulung im Beisein von WI und Experte abgehalten. Für die erste Zeit nach der Schulung ist mit weiteren Unterstützungsanfragen zu rechnen. Die Verfügbarkeit von WI und Experte in dieser Zeit ist entsprechend einzuplanen. Ggf. können hierfür auch Mitarbeiter aus dem Pilottest (-> Erfahrungsvorsprung) eingesetzt werden bzw. können diese als sog. Multiplikatoren fungieren.

Herausforderungen

Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass Mitarbeiter fallweise nicht an den vorgesehenen Schulungen teilnehmen (bspw. aus Termingründen). Dies kann negative Auswirkungen haben (bspw. durch unsachgemäße Handhabung und/oder zeitintensive Rückfragen).

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S4.1:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
4.1	▪ Schulungsunterlagen erstellen ▪ Schulung der Anwender ▪ Begleitung/Betreuung sicherstellen	▪ Eingeführtes PKA-Assistenzsystem	▪ Anwendergerechte Schulung bzw. Systemnutzung ohne ausreichende Schulung	

5.5.2 S4.2: Instanziierung einer Konfiguration

Das mit dem Konfigurationsmodell gekoppelte CAD-Mastermodell repräsentiert die Summe der möglichen Produktausprägungen und entspricht einer Variantenstruktur. Diese enthält Parametermodelle für Neuteile, Platzhalter für Variantenteile und Modelle für Standardteile. Zur gewohnten Weiterverarbeitung der CAD-Baugruppe müssen nach Abschluss eines PKA-Vorganges nicht benötigte Platzhalter (Bauteile) und Geometrieoptionen (Features) eliminiert werden. In diesem Zusammenhang wird die Aufbereitung und Bereinigung eines CAD-Mastermodells zu einem konkreten Konfigurationsergebnis als „Instanziierung" bezeichnet. Ergebnis ist ein spezifisches CAD-Modell einer neuen Produktvariante.

Vorgehen und Methoden

Das Vorgehensprinzip sieht vor, vom CAD-Mastermodell eine Kopie zu erzeugen und diese um nicht benötigte Bauteile und Features zu bereinigen. Das Prinzip wird anhand der Metho-

de M22i durchgeführt (siehe M22i: Instanziierung des Mastermodells S. 233). Dabei ist zu beachten, dass von den beteiligten Komponenten lediglich die Referenzen und nicht die ganzen Geometrien gelöscht werden. Für den reinen Kopiervorgang wird vom CAD-System i. d. R. eine Standardfunktion zur Verfügung gestellt. Der Bereinigungsvorgang wird durch eine, in die Standardlösung bzw. das CAD-System eingebundene, IT-Funktion (M22i) unterstützt (Details siehe Kap. 6.2.5).

Herausforderungen

Zur Einbindung einer komfortablen Instanziierungsfunktion müssen sowohl von der PKA-Standardlösung sowie auch vom CAD-System entsprechende API-Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden. Dies u. U. nicht bei allen Systemen gegeben.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S4.2:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
4.2	▪ Instanziierung (Bereinigung) des Mastermodells nach einem Konfigurationsvorgang	▪ Spezifisches CAD-Modell einer neue Produktvariante	▪ Unzureichende Möglichkeiten (API-Schnittstellen) zur Steuerung der Bereinigung	▪ Instanziierung des Mastermodells (M22i)

5.5.3 S4.3: Datenverwaltung

Für den laufenden Betrieb muss die Pflege der Daten klar geregelt sein. Bei mehreren im Einsatz befindlichen PKA-Unterstützungen beginnt dies bei der Verwaltung der zugehörigen Mastermodelle mit all ihren Variantenplatzhaltern sowie individuellen Parametermodellen und erstreckt sich bis zur lückenlosen Verwaltung der Konfigurationsergebnisse. Hierzu zählen insb. neu entstandene Einzel- und Variantenteile. Diese müssen dem PDM-System (automatisch) zugeführt werden. Im Vorgängerschritt S4.2 wurden bereits alle Voraussetzungen für eine eindeutige Komponentenverwaltung geschaffen. Werden umgekehrt seitens des PDM-Systems, bspw. durch Zukauf oder händische Konstruktion, neue konfigurationsrelevante Variantenteile eingepflegt, muss die Wissensbasis der PKA-Unterstützung aktualisiert werden. Ergebnis ist ein, dem gesamten händischen Erstellungs- und Verwaltungsprozess identisches Resultat einer neuen, korrekt verwalteten Produktvariante.

Vorgehen und Methoden

Für eine PDM-System-basierte Datenverwaltung müssen zwei unabhängige Szenarien unterschieden werden:

1. **Die Verwaltung der Konfigurationsergebnisse im PDM-System.**
   Das CAD-Mastermodell und die zugehörigen Variantenplatzhalter und Parametermodelle sind idealerweise im PDM-System selber unter einer eindeutigen ID verwaltet. Dies erleichtert den zentralen Zugriff und bietet die Möglichkeit, klassische PDM-Funktionen für die Änderungsverwaltung zu nutzen. Um ein Überspeichern dieser Modelle mit modifizierten Daten zu verhindern, wird beim Start eines PKA-Vorganges das gesamte CAD-Mastermodell schreibgeschützt geöffnet (i. d. R. eine PDM-Standardfunktion). Modifikati-

onen können somit nur unter einer neuen ID in das PDM-System zurückgespeichert werden. Mithilfe der Methode und IT-Funktion M23i (siehe M23i: PDM-Verwaltung S. 234) wird dieser Vorgang gesteuert bzw. unterstützt.

2. **Aktualisierung der Wissensbasis bei Änderungen im PDM-System.**
   Jegliche neuen Bauteile, egal, ob durch Zukauf, Änderung oder Neukonstruktion, werden im PDM-System angelegt bzw. verwaltet. Dies kann auch durch Personen erfolgen (bspw. durch Disponenten), die keine Kenntnis von der Existenz eines PKA-Assistenzsystems und der damit verbundenen Abhängigkeiten besitzen. Sind derartige Neuteile für ein PKA-System relevant (bspw. ein Variantenteil), muss die entsprechende WB aktualisiert werden. Selbiges gilt auch für den Fall, dass während einer Konfiguration neue Variantenteile entstehen. Diese werden über den PDM-Verwaltungsvorgang (M23i) in die WB rückgeführt. Methode M24i (siehe M24i: Update PDM2Wissensbasis S. 234) stellt drei mögliche Lösungsansätze vor, wovon die letzte exemplarisch als IT-Funktion umgesetzt wurde. Allen Ansätzen gemein ist die Voraussetzung, dass im PDM-System die Variantenteile als solche klassifiziert sind.

Herausforderungen

Zur Automatisierung der Verwaltung müssen sowohl von der PKA-Standardlösung sowie auch vom PDM-System entsprechende API-Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden. Dies ist u. U. nicht bei allen Systemen gegeben.

Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S4.3:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
4.3	▪ Verwaltung der Konfigurationsergebnisse in PDM ▪ Aktualisierung der WB bei Ergänzungen im PDM-System	▪ Konsistente, aktuelle Datensätze (sowohl in PDM wie auch in der WB)	▪ Unzureichende Möglichkeiten (API-Schnittstellen) zur automatisierten Verwaltung	▪ PDM-Verwaltung (M23i) ▪ Update PDM2Wissensbasis (M24i)

5.5.4 S4.4: Änderungsmanagement

Ein individualisiertes Produkt unterliegt in seinem Lebenszyklus verschiedenen Änderungen. Ursachen für Änderungen sind bspw. Konfigurations- und Auslegungsfehler, Produktverbesserungen/-optimierungen, neue Kundenwünsche, Einflüsse und Vorgaben z. B. aus der Fertigung. Potenzielle Änderungsobjekte sind alle Elemente des Konfigurations- und Mastermodells (bspw. Strukturen, Komponenten, Attribute, Regeln, Geometrien). Einem raschen, systematischen Änderungsmanagement kommt eine hohe Bedeutung zu. Durch Analyse der Änderungseinflüsse können die richtigen Schritte in den Modellen gesetzt werden. Ergebnis ist eine neue Version des PKA-Assistenzsystems.

Vorgehen und Methoden

Als Maßgabe für den Änderungsprozess werden die Vorgehensschritte bei der Entwicklung des Systems herangezogen. Ausgangspunkt ist das zu ändernde Element (Änderungsobjekt). Dies bestimmt den Einstieg in das Vorgehensmodell und das Durchlaufen der entsprechen-

den Bearbeitungsschritte. Dieser Vorgang wurde evtl. schon während der Entwicklungsphase durchgeführt, bspw. wenn nach Tests Fehler gesucht und behoben oder Elemente in der Struktur ausgetauscht, ergänzt oder umpositioniert werden mussten (vgl. bspw. 5.3.4). Wichtig ist in diesem Zusammenhang eine saubere Versionsverwaltung, die die einzelnen Änderungen mit Modellzuständen in Verbindung bringt.

Herausforderungen

Je größer der Eingriff in das Konfigurationsmodell, desto schwieriger wird eine Änderungsdurchführung. Grundlegende, konzeptionelle Änderungen können im Extremfall bis zu einer Neuentwicklung des Assistenzsystems führen.

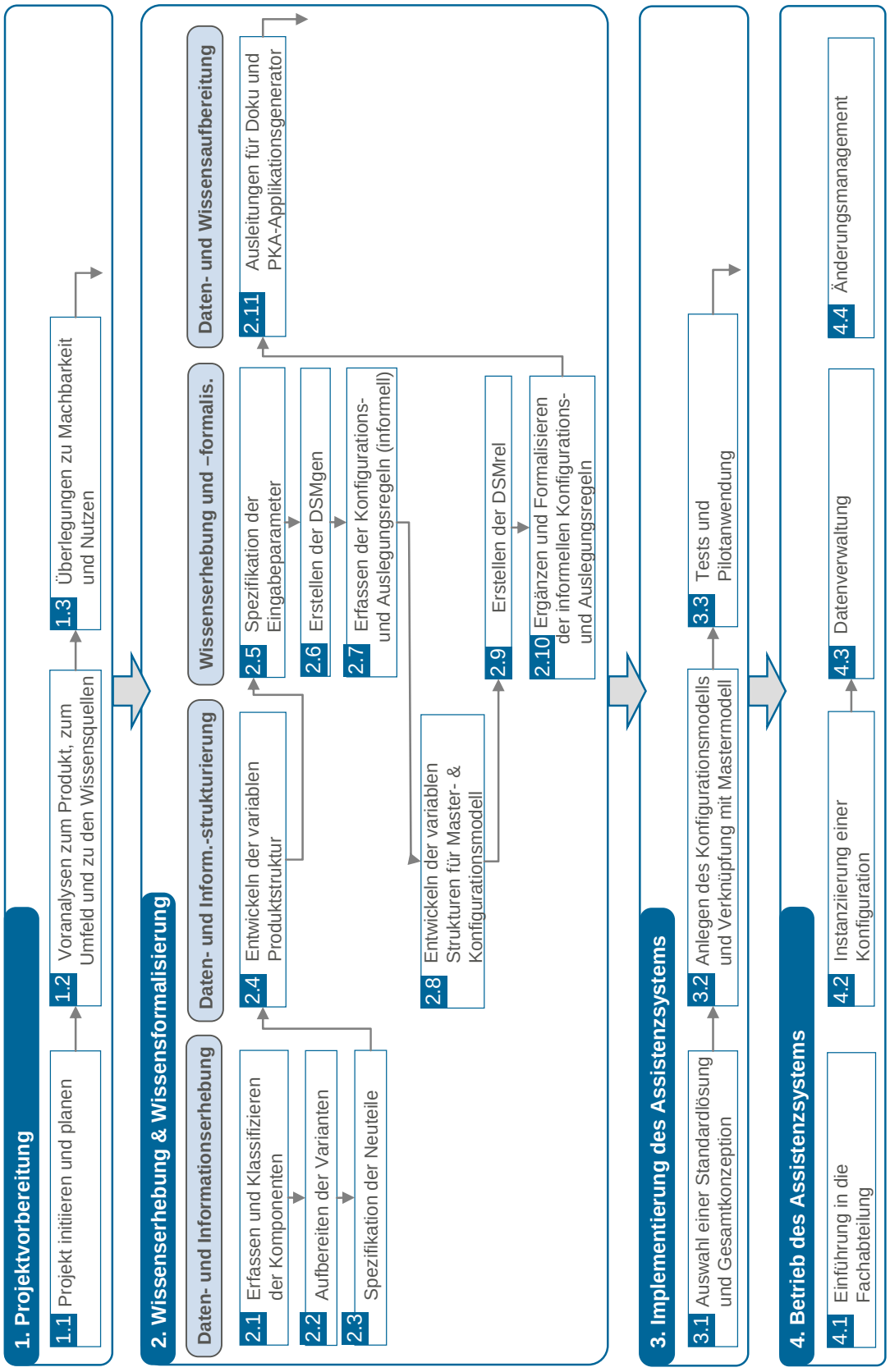
Zusammenfassung Bearbeitungsschritt S4.4:

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
4.4	▪ Änderungseinflüsse analysieren und in PKA-Applikation durchführen	▪ Neue Version des PKA-Assistenzsystems	▪ Konzeptionelle Änderungen	

5.6 Feinkonzept: Zusammenfassung und Gesamtmodell

Als Zusammenfassung und Übersicht werden die 21 Bearbeitungsschritte durch ein Gesamtmodell repräsentiert. Abb. 5-13 zeigt das Vorgehensmodell zur Konzeption und Einführung eines Assistenzsystems in die Konstruktion. Anschließend sind die Vorgehensschritte mit den jeweiligen Aufgaben, Ergebnissen, Herausforderungen und den unterstützenden Methoden in Tabellenform zusammengefasst.

Abb. 5-13: Vorgehensmodell mit Einzelschritten zur Konzeption und Einführung eines Assistenzsystems in die Konstruktion



Phase I: Projektvorbereitung

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
1.1	▪ Beschreibung der Aufgabe und der Zielsetzung/Erwartung ▪ Festlegung der Projektorganisation/-team ▪ Projektplan erstellen ▪ Anforderungen ausformulieren	▪ Projektbeschreibung ▪ Projektorganisation ▪ Phasenplan ▪ Anforderungskatalog	▪ Unklare Ziele ▪ Zu hohe Erwartungen ▪ Funktion/Rolle eines WI muss erst aufgebaut werden ▪ Auswahl und Verfügbarkeit des/der Experten ▪ Akzeptanz/ Widerstände	▪ Projektvorlage (M01) ▪ Anforderungsliste (M02) ▪ Umfeldanalyse (M03) ▪ Projekt-/Phasenplan (M09)
1.2	▪ Analyse des betroffenen Produktes ▪ Grobanalyse vorhandener Wissensquellen ▪ optional: Evaluation und Auswahl einer PKA-Standardlösung	▪ Produkt- und Prozessbeschreibung ▪ Übersicht Wissensquellen ▪ optional: Entscheid Standardlösung	▪ Ungeeignete Standardlösung ▪ Übersehene Wissensquellen	▪ Wissensquellmatrix (M04) ▪ Kriterienkatalog Standardlösung (M05)
1.3	▪ Überlegungen zu Wirtschaftlichkeit/Rentabilität ▪ Identifizieren möglicher Projektrisiken	▪ Entscheidungsgrundlage zur Realisierung	▪ Fehleinschätzungen	▪ Kalkulationsvorlage (M06i) ▪ Risikocheckliste (M07) ▪ Nutzenpotenziale (M08)

Phase II: Wissenserhebung und Wissensformalisierung

Schritt	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen, mögl. Problemfelder	Methoden, Funktionen
2.1	▪ Erfassen und klassifizieren aller Komponenten & CAD-Modelle ▪ Vorbereiten der Attributliste	▪ Komponententabelle (Maximalliste) mit Merkmalswerten ▪ CAD-Modelle	▪ Fehlende (übersehene) Komponenten ▪ Falsche Klassifizierung	▪ Wissensquellmatrix (M04) ▪ Komponentenliste verwalten (M10i) ▪ Komponenten klassifizieren (M11i) ▪ Komponentenattribute verwalten (M13i)
2.2	▪ Sachmerkmale von Variantenteilen bestimmen und Werte erfassen ▪ Aufbereitung der CAD-Modelle	▪ Variantentabellen ▪ zugehörige CAD-Modelle ▪ CAD-Variantenmodelle	▪ Unvollständige Variantenlisten	▪ Wissensquellmatrix (M04) ▪ Variantentabelle verwalten (M12i) ▪ Komponentenattribute verwalten (M13i)
2.3	▪ Geometrieparameter von Neuteilen bestimmen und deren Wertebereiche festlegen ▪ Aufbereitung der parametrischen CAD-Modelle	▪ Spezifikationstabelle pro Neuteil ▪ Parametrische CAD-Modelle	▪ „Vorausdenken" erforderlich	▪ Komponentenattribute verwalten (M13i)
2.4	▪ Entwickeln der variablen Produktstruktur	▪ Strukturierte Komponententabelle (Variantenstückliste)	▪ Verständigung mit dem Experten über die Variantenstruktur	▪ Wissensquellmatrix (M04) ▪ Komponenten klassifizieren (M11i)) ▪ Produkt strukturieren (M14i)

2.5	▪ Erfassen und spezifizieren der Eingabeparameter	▪ Spezifikationstabelle mit allen Eingabeparametern	▪ Unvollständige Liste ▪ „Vorausdenken" erforderlich	▪ Expertenbefragung Steuergrößen (M15) ▪ Eingabeparameter verwalten (M16i)
2.6	▪ Erstellen der DSMgen anhand der Komponenten und Eingabeparameter	▪ Matrix mit Zellen zur Aufnahme von Elementsbeziehungen		▪ Produkt strukturieren (M14i) ▪ DSMx erzeugen (M17i)
2.7	▪ Erfassen der Konfigurations- und - Auslegungsregeln in gemeinsprachlicher (informeller) Form.	▪ Systemunabhängige Repräsentation der Konfigurationsaufgabe	▪ Umgang mit indirekten Beziehungen	▪ Regelerfassung (M18i)
2.8	▪ Entwickeln der Strukturen für das Master- und Konfigurationsmodell ▪ Erstellen des CAD-Mastermodells	▪ Konfigurationsmodell zur Überführung in den PKA-Applikationsgenerator ▪ konfigurationsrelevante Komponentenliste ▪ CAD-Mastermodell	▪ evtl. Implementierungsversuche notwendig ▪ Fehler und Unvollständigkeiten im Regelwerk	▪ Produkt strukturieren (M14i)
2.9	▪ Erstellen der DSMrel anhand der Komponenten aus der Konfigurationsstruktur ▪ Übernahme der Zelleninformationen aus der DSMgen	▪ Matrix mit informellen Zellinformationen als Vorbereitung für die Regelformalisierung	▪ Fehler bei der Übernahme von DSMgen Zellinformationen	▪ Produkt strukturieren (M14i) ▪ DSMx erzeugen (M17i) ▪ WB-Operationen (M19i)
2.10	▪ Ergänzen und formalisieren der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln	▪ Systemunabhängige Repräsentation des kompletten Konfigurations- und Auslegungswissens	▪ Syntaxfehler bei der formalen Regeldefinition	▪ Regelerfassung (M18i)
2.11	▪ Aufbereitung der ermittelten Daten zur Übergabe an den PKA-Applikationsgenerator ▪ Aufbereitung einer Dokumentation zur einfachen Einsicht	▪ Applikationsspezifisches Konfigurationsmodell ▪ Referenzdokumentation im Intranet	▪ Aktualisierung der Dokumentation und des Konfigurationsmodells bei Änderungen	▪ Konfigurationsmodell generieren (M20i) ▪ Referenzdokumentation generieren (M21i)

Phase III: Implementierung des Assistenzsystems

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
3.1	▪ Evaluation und Auswahl einer geeigneten Standardlösung ▪ Identifikation der erforderlichen Rahmenbedingungen für eine Integration in das betriebliche IT-Umfeld	▪ Eingeführte Standardlösung mit Integrationskonzept	▪ Ungeeignete Standardlösung ▪ Eingeschränkte Integrationsmöglichkeiten in CAD und PDM	▪ Kriterienkatalog Standardlösung (M05)
3.2	▪ Import des Konfigurationsmodells in den PKA-Applikationsgenerator ▪ Modellergänzungen (Benutzer Interface) ▪ Verknüpfung mit CAD-Mastermodell	▪ Lauffähige, erste PKA-Applikation	Unvollständiges Konfigurationsmodell	
3.3	▪ Erste systematische Tests durch den WI ▪ Erste Praxistests durch den Experten ▪ Pilotanwendung im Fachbereich	▪ Fertiges PKA-Assistenzsystem zur Übergabe in den produktiven Betrieb	▪ Konzeptionelle Fehler ▪ Unzureichende Tests	

Phase IV: Betrieb des Assistenzsystems

	Aufgabe	Ergebnis	Herausforderungen	Methoden, Funktionen
4.1	▪ Schulungsunterlagen erstellen ▪ Schulung der Anwender ▪ Begleitung/Betreuung sicherstellen	▪ Eingeführtes PKA-Assistenzsystem	▪ Anwendergerechte Schulung bzw. Systemnutzung ohne ausreichende Schulung	▪ Schulungsunterlagen erstellen ▪ Schulung der Anwender ▪ Begleitung/Betreuung sicherstellen
4.2	▪ Instanziierung (Bereinigung) des Mastermodells nach einem Konfigurationsvorgang	▪ Spezifisches CAD-Modell einer neue Produktvariante	▪ Unzureichende Möglichkeiten (API-Schnittstellen) zur Steuerung der Bereinigung	▪ Instanziierung des Mastermodells (M22i)
4.3	▪ Verwaltung der Konfigurationsergebnisse in PDM ▪ Aktualisierung der WB bei Ergänzungen im PDM-System	▪ Konsistente, aktuelle Datensätze (sowohl in PDM wie auch in der WB)	▪ Unzureichende Möglichkeiten (API-Schnittstellen) zur automatisierten Verwaltung	▪ PDM-Verwaltung (M23i) ▪ Update PDM2Wissensbasis (M24i)
4.4	▪ Änderungseinflüsse analysieren und in PKA-Applikation durchführen	▪ Neue Version des PKA-Assistenzsystems	▪ Konzeptionelle Änderungen	

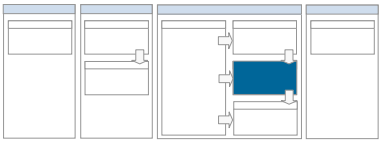
5.7 Methodenbaukasten

Ein wichtiger Bestandteil des Vorgehensmodellkonzeptes sind unterstützende Methoden. Diese wurden in einem Baukasten zusammengefasst und im Anhang detailliert erklärt. Tabelle 5-1 zeigt eine Übersicht aller verfügbaren Methoden mit einer Zuordnung zur entsprechenden Phase und einem Seitenverweis zur Detailbeschreibung. Für Methoden mit IT-Unterstützung (WEFA, Adapter, Hilfsprogramme) beinhaltet die Beschreibung nur das Funktionsprinzip. Dies ermöglicht über weite Strecken grundsätzlich auch ein Nachvollziehen der Funktionen bspw. mit einem Tabellenkalkulationsprogramm. Die Methodenbeschreibungen sind jeweils in drei Abschnitte gegliedert: *„Aufgabe und Zielsetzung"*, *„Prinzip und Vorgehen"* sowie *„Ergebnis und Nutzen"*.

Tabelle 5-1: Übersicht aller Methoden mit Verweis zur Detailbeschreibung im Anhang.

Methodennummer und -name	Seite	Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV
M01: Projektvorlage	216	■			
M02: Anforderungsliste	216	■			
M03: Umfeldanalyse	217	■			
M04: Wissensquellmatrix	218	■	■		
M05: Kriterienkatalog Standardlösung	218	■		■	
M06i: Kalkulationsvorlage	219	■			
M07: Risikocheckliste	222	■			
M08: Nutzenpotenziale	222	■			
M09: Projekt-/Phasenplan	223	■			
M10i: Komponentenliste verwalten	224		■		
M11i: Komponenten klassifizieren	224		■		
M12i: Variantentabelle verwalten	226		■		
M13i: Komponentenattribute verwalten	226		■		
M14i: Produkt strukturieren	227		■		
M15: Expertenbefragung Steuergrößen	228	■	■		
M16i: Eingabeparameter verwalten	229		■		
M17i: DSMx erzeugen	230		■		
M18i: Regelerfassung	231		■		
M19i: WB-Operationen	232		■		
M20i/M21i: Ausleitungen generieren	232		■	■	
M22i: Instanziierung des Mastermodells	233				■
M23i: PDM-Verwaltung	234				■
M24i: Update PDM2Wissensbasis	234				■

6 Exemplarische Umsetzung eines Assistenzsystems



Das Fachkonzept im Kapitel 5 sieht neben einer methodischen Unterstützung (Handlungsfeld I) auch eine systemtechnische Unterstützung (Handlungsfeld II + III) in Form eines ganzheitlichen Assistenzsystems vor. Der Lösungsansatz beruht auf spezifischen Erweiterungen zu einer Standardlösung, für die im ersten Abschnitt ein IT-Konzept erstellt wird.

Zur Validierung des Gesamtkonzeptes ist, neben dem methodischen Vorgehen, das Assistenzsystem ein zentraler Bestandteil. Im zweiten Abschnitt wird eine exemplarische Umsetzung der benötigten Softwaremodule aufgezeigt.

6.1 IT-Konzept

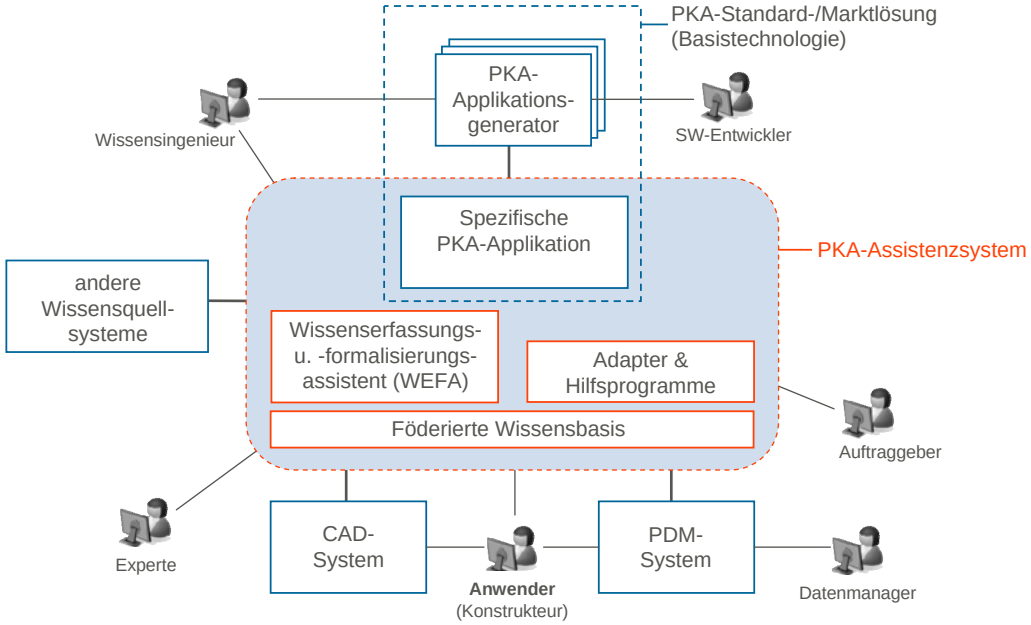
Die Gesamtkonzeption des Rahmenwerkes wird durch eine Prozesssicht und eine Systemsicht abgebildet (vgl. Kapitel 5). Während sich die Prozesssicht auf die organisatorischen Abläufe konzentriert, stellt die Systemsicht Systeme und deren Softwarekomponenten in den Mittelpunkt. Anhand eines *Systemkontextdiagramms* wird im ersten Schritt das Assistenzsystem spezifiziert und abgegrenzt. Ein *Systemaufbau* definiert anschließend die grundsätzliche Architektur der Teilsysteme. Mit der Beschreibung einzelner Softwaremodule und deren Lösungsbausteinen wird die IT-Konzeption finalisiert.

6.1.1 Systemkontext und Abgrenzung

Mithilfe eines *Systemkontextdiagramms* kann ein bestimmtes System gegenüber seiner Umwelt bzw. der in einem Zusammenhang stehenden anderen Systeme abgegrenzt werden. Damit wird bspw. ein neu zu entwickelndes System grob eingeordnet.

Abb. 6-1 zeigt das Systemkontextdiagramm des zu konzipierenden Assistenzsystems. Die Beschreibung widmet sich zuerst den Einzelsystemen. Darauf aufbauend, können die Grenzen des Assistenzsystems definiert werden.

Abb. 6-1: Systemkontextdiagramm für das PKA-Assistenzsystem



PKA-Applikationsgenerator

Hierbei handelt es sich um ein am Markt erhältliches Softwaresystem, mit dessen Hilfe eine spezifische PKA-AP (z. B. eine KBE-Anwendung oder ein Produktkonfigurator) aufgebaut (generiert) werden kann. Man spricht hier auch von einer Entwicklungsumgebung mit entsprechenden Softwarebausteinen.

PKA-Applikation

Das Resultat einer Generatoranwendung ist eine spezifische PKA-AP. Dies ist die technische Realisierung einer bestimmten Konfigurations- bzw. Auslegungsaufgabe. In der Regel besteht eine PKA-AP u. a. aus der Laufzeitumgebung des PKA-Applikationsgenerators und setzt auf einer entsprechenden Wissensbasis auf. Die PKA-AP ist die Basis- bzw. Kernkomponente eines PKA-Assistenzsystems.

Wissenserfassungs- und Wissensformalisierungsassistent (WEFA)

Zum Aufbau einer spezifischen Wissensbasis muss das entsprechende Experten-Know-how systematisch erfasst und formalisiert werden. Dies ist Aufgabe des WEF-Assistenten, der im Folgenden noch genauer spezifiziert wird.

Föderierte Wissensbasis

Der WEF-Assistent speichert seine Daten in eine Wissensbasis. Diese fungiert gemäß Fachkonzept auch als systemneutrale Informationsbasis und Integrationskomponente zwischen den einzelnen Systemen und Informationsnutzern.

Adapter und Hilfsfunktionen

Für die nahtlose Einbindung einer PKA-AP in die betriebliche IT-Umgebung sind Schnittstellen (Adapter) erforderlich. Sie übernehmen eine wichtige Rolle im gesamten Erstellungsprozess. Die engen Kopplungen zu CAD bzw. PDM stellen hier besonders hohe Anforderungen an die Adapter. Zusätzliche Hilfsfunktionen unterstützen den WI bei der Arbeit. Es handelt sich dabei bspw. um eigenständige Auslegungsprogramme für erklärungsintensive Zusammenhänge oder IT-mäßig realisierte Checklisten und Vorlagen.

CAD- und PDM-System

Für den Konstrukteur gehören CAD- und PDM-Systeme zu den Kernanwendungen seiner täglichen Arbeit. Dementsprechend stehen diese Gestaltungs- und Informationssysteme in enger Beziehung zur IT-gestützten Produktkonfiguration und -auslegung.

Andere Wissensquellsysteme

Vielfach sind in einem Unternehmen bereits Wissensbasen bzw. Wissensquellen für Teilaufgaben vorhanden. Diese gilt es, ggf. zu berücksichtigen. Beispiele hierfür können sein: Dokumentsammlungen, Intranet, Wikis etc.

Beteilige Personen und deren Rollen

- Experte: In der Regel ein erfahrener Konstrukteur, der das entsprechende Wissen einbringt. Der Experte ist auch Anwender von WEFA.
- Wissensingenieur: Mittler zwischen dem Experten und der zu erstellenden PKA-AP. Er erfasst und formalisiert Wissen (mit Unterstützung von WEFA) und erstellt/entwickelt mithilfe des Generators die PKA-AP. Der WI nutz u. a. Adapter und Hilfsfunktionen.
- Anwender: Meist ein Konstrukteur – kann aber auch der Experte selbst sein. Verwendet das Assistenzsystem zur schnellen Konfiguration und Auslegung einer bestimmten Aufgabe.
- Datenmanager: Verwaltet (und disponiert) Standardteile im PDM-System.
- SW-Entwickler: Entwickelt den PKA-Applikationsgenerator. Er ist ein MA des Anbieters/Herstellers der Marktlösung und steht evtl. in Kontakt mit dem Wissensingenieur (Fehler, Verbesserungsvorschläge, individuelle Erweiterungen).
- Auftraggeber: Vielfach der Leiter der Konstruktion. Er erhofft sich durch das PKA-Assistenzsystem Vorteile hinsichtlich Qualität und Umsetzungsgeschwindigkeit von variantenreichen, individuellen Produktkonstruktionen.

PKA-Assistenzsystem

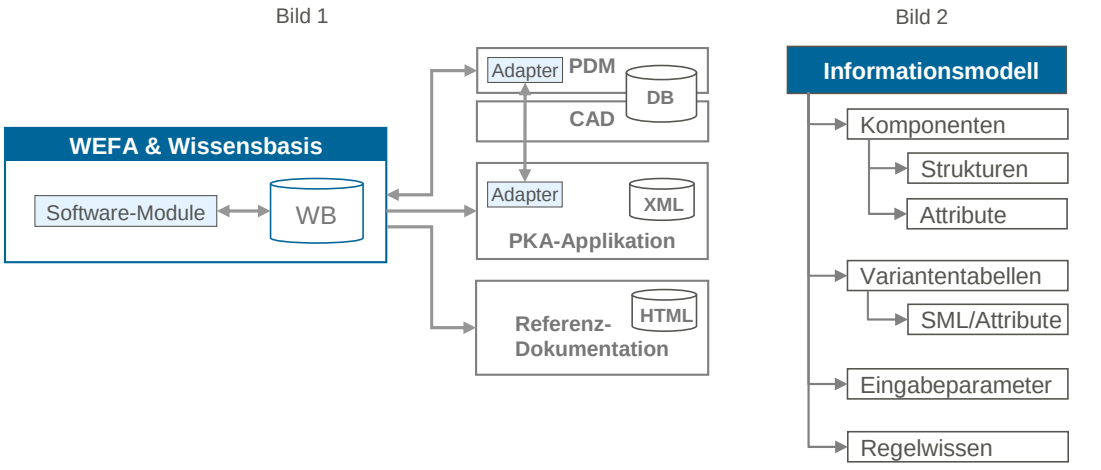
Anhand der oben definierten Einzelsysteme kann das PKA-Assistenzsystem abgegrenzt und genauer spezifiziert werden. Bei dem Assistenzsystem handelt es sich nicht um eine komplette Neuentwicklung. Der Kern wird von einer, auf einer Standardlösung basierenden PKA-AP gebildet. Zur effizienten Erstellung dieser Applikation mit allen hierfür notwendigen Arbeitsschritten, sowie zur praxisgerechten Integration der Applikation in die Arbeitsumgebung des Konstrukteurs dienen IT-Erweiterungen in Form eines WEFA mit föderierter Wissensbasis und von Adaptern und Hilfsprogrammen. Durch die Wechselwirkung dieser Komponenten und

den integrativen Gesamtcharakter zusammen mit der PKA-AP wird dieses „Paket" als *PKA-Assistenzsystem* bezeichnet.

6.1.2 Systemaufbau und Informationsmodell

Abb. 6-2 (Bild_1 - links) zeigt den grundsätzlichen Aufbau (Systemarchitektur) des PKA-Assistenzsystems mit den wesentlichen Komponenten und deren Beziehungen untereinander. Eine zentrale Rolle spielt dabei die sogenannte *föderierte Wissensbasis*. Hierin sind alle Produktinformationen wie Komponenten, Strukturen, Spezifikationen, Varianteninformationen sowie Regeln und Logiken in einer systemneutralen Form abgelegt. Systematisch erfasst und gepflegt werden diese Informationen durch einen Wissenserfassungs- und Wissensformalisierungs-Assistenten (WEFA). Der WEFA selbst ist in einzelne *Softwaremodule* unterteilt (siehe nächster Abschnitt), die u. a. die Ausleitungen an die *XML-Datenbasis* der PKA-AP sowie die *HTML-Datenbasis* der Referenzdokumentation steuern. Spezifische *Adapter* im PDM-System und der PKA-AP übernehmen Aufbereitungs- und Schnittstellenaufgaben (Details siehe nächster Abschnitt). Im Besonderen wird damit auch die geforderte Kommunikation zwischen PDM/CAD und der föderierten Wissensbasis sichergestellt.

Abb. 6-2: Bild 1: Systemaufbau des PKA-Assistenzsystems *Bild 2: Informationsmodell der WEFA-Wissensbasis*



Informationsmodell der WEFA-Wissensbasis

Das Informationsmodell der Wissensbasis orientiert sich am generellen Aufbau eines Konfigurationsmodells einer PKA-AP (Abb. 6-2, Bild_2 - rechts). Basisobjekte sind die *Komponenten*, die jeweils über Attribute beschrieben werden. Eine Komponente kann ein Einzelteil oder eine Baugruppe sein. Dieser ist auch eine Strukturinformation (Ebenencode) zugeordnet, die eine Positionierung innerhalb der Produktstruktur festlegt. *Variantentabellen* beschreiben über Sachmerkmale und Sachmerkmalswerte konkrete Ausprägungen von Variantenteilen. *Eingabeparameter* spezifizieren Informationen, die insb. zur Regeldefinition benötigt werden. Das *Regelwissen* wird im Modell durch einzelne Regelausdrücke (Constraints) repräsentiert.

6.1.3 Softwaremodule

Im Fachkonzept wurden für die Handlungsfelder II+III (Methodische Erfassung und Formalisierung von Konfigurations- und Konstruktionswissen; Einbindung in die Konstruktionsumgebung) Teilfunktionen definiert und anschließend im Rahmen eines Vorgehensmodells in Bearbeitungsschritte zerlegt. Zur Unterstützung des Vorgehens wurde ein Set an Methoden entwickelt und in einem Baukasten phasenorientiert eingeordnet (vgl. Kap. 5.7). Für einen Teil der Methoden ist eine softwaretechnische Unterstützung vorgesehen. Dies wurde bei der Nummerierung der Methoden entsprechend gekennzeichnet (Mxi).

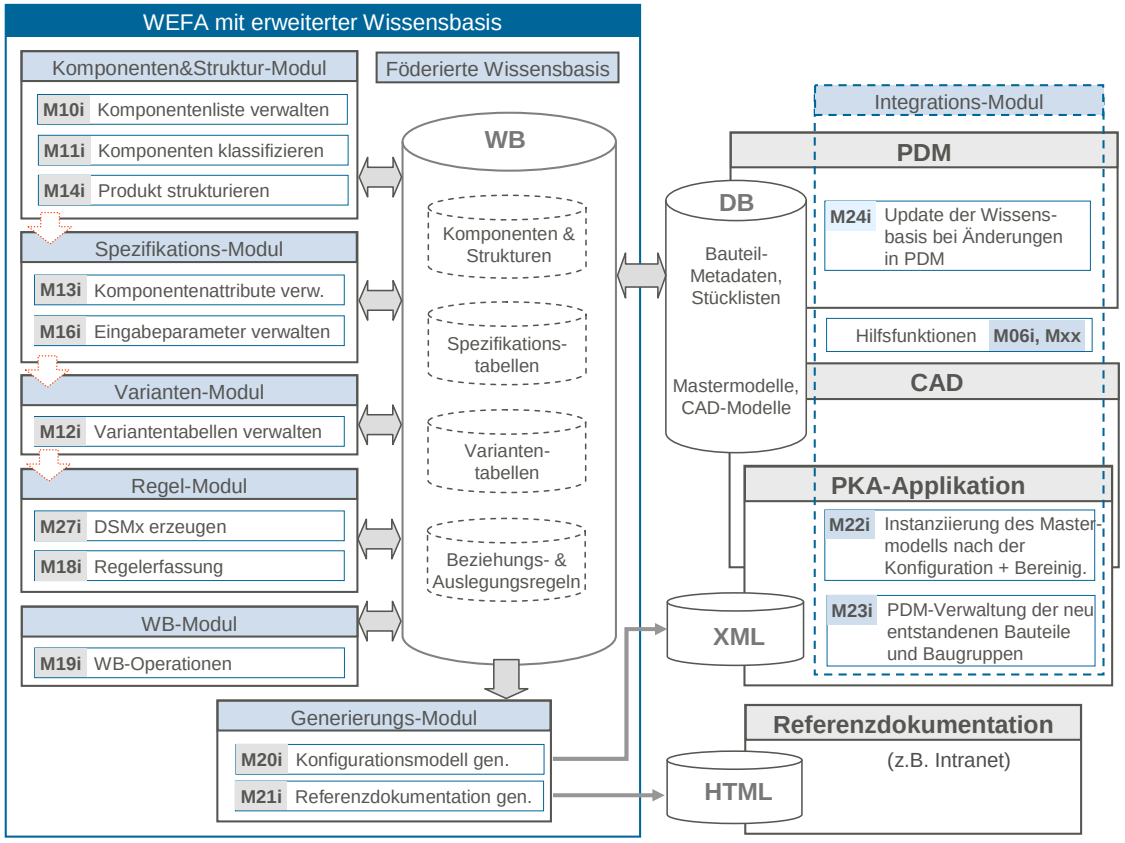
Tabelle 6-1: Gliederung der Lösungsbausteine in Softwaremodule

Handlungsfeld	Teilfunktion laut Grobkonzept	Software-Lösungsbausteine														
		M10i Komponentenliste verwalten	M11i Komponenten klassifizieren	M14i Produkt strukturieren	M13i Komponentenattribute verwalten	M16i Eingabeparameter verwalten	M12i Variantentabellen verwalten	M17i DSMx erzeugen	M18i Regelerfassung	M20i Konfigurationsmodell generieren	M21i Referenzdokumentation generieren	M19i WB-Operationen	M22i Instanziierung des Mastermodells	M23i PDM-Verwaltung	M24i Update PDM2Wissensbasis	Hilfsfunktionen
Handlungsfeld II: Methodische Erfassung und Formalisierung von Konfigurations- und Konstruktionswissen	Daten- und Informationserfassung (Produktdaten)	■	■		■		■									
	Daten- und Informationsstrukturierung (Produktstrukturen)			■												
	Wissenserfassung und Wissensformalisierung (Produkt-Regelwissen)					■		■	■							
	Daten- und Wissensaufbereitung (Produktdefinition)									■	■					
Handlungsfeld III: Einbindung in die Konstruktionsumgebung	Informationsmodell speichern & verwalten											■				
	Variantentabellen speichern & verwalten											■				
	Adapter & Hilfsfunktionen												■	■	■	■
	Softwaremodule															
	Komponenten&Struktur-Modul	■	■	■												
	Spezifikations-Modul				■	■										
	Varianten-Modul						■									
	Regel-Modul							■	■							
	Generierungs-Modul									■	■					
	WB(Wissensbasis)-Modul											■				
	Integrations-Modul												■	■	■	■

Der obere Teil von Tabelle 6-1 dokumentiert die Methoden mit softwaretechnischer Unterstützung in Form von *Software-Lösungsbausteinen* in Bezug zu den Teilfunktionen der Handlungsfelder. Pro Teilfunktion ist/sind ein oder mehrere Lösungsbausteine zugeordnet. Aus informationstechnischer Sicht ist eine Gliederung bzw. Clusterung der Lösungsbausteine in *Softwaremodule* zweckmäßig. Diese Gliederung entspricht nicht 1:1 der Teilfunktionszuordnung. So macht es bspw. Sinn, die Komponentenfunktionen mit den Strukturfunktionen zusammenzulegen, da die Komponenten selbst ein Bestandteil der Struktur sind. Auch die Verwaltung der Komponentenattribute und Eingabeparameter hat viele Gemeinsamkeiten und sollte zusammen betrachtet werden. Der untere Teil von Tabelle 6-1 zeigt eine zweckmäßige Gliederung und Benennung der erforderlichen Softwaremodule mit den entsprechenden Lösungsbausteinen (Softwarefunktionen). Mithilfe dieser Modulbildung kann das allgemeine Architekturschema (Abb. 6-2, Bild_1) erweitert bzw. präzisiert werden. Bis auf das Integrations-Modul, das aus verschiedenen Softwareadaptern für PDM und die PKA-AP besteht, sind alle Softwaremodule Teil von WEFA (inklusive einer zugehörigen, erweiterten Wissensbasis). Abb. 6-3 gibt einen Überblick über die Anordnung der Module und deren Kommunikation (Datenaustausch) innerhalb des Assistenzsystems.

Das Komponenten&Struktur-Modul schafft mit seinen Funktionen M10i *(Komponentenliste verwalten)*, M11i *(Komponenten klassifizieren)* und M14i *(Produkt strukturieren)* die Voraussetzungen zur Wissenserfassung und -formalisierung. Es speichert Komponenten- und Strukturinformationen in die WB und legt damit den Grundstein für alle anderen Module. Im Spezifikations-Modul werden *Komponentenattribute* (M13i) und *Eingabeparameter* (M16i) spezifiziert und über Spezifikationstabellen in der WB verwaltet. Die Komponentenattribute und Eingabeparameter werden insb. im Regel-Modul zur Bildung von formalen Ausdrücken benötigt. Mit dem Varianten-Modul und der Funktion M12i (*Variantentabellen verwalten)* werden für alle Komponenten des Klassifizierungstyps „Teilevariante" (Vt) Variantentabellen angelegt und verwaltet. Eine Variantentabelle besteht dabei aus *n* Sachmerkmalen und den entsprechenden Sachmerkmalswerten (Ausprägungen). Das *Erzeugen der DSMx* (M17i) sowie die *Regelerfassung* (M18i) ist Aufgabe des Regel-Moduls. Die Beziehungsmatrizen (DSMx) fungieren dabei als zentrale Übersichtsdokumentation und dienen gleichzeitig der Festlegung formaler Regelausdrücke, die mittels Generierungs-Modul (Funktion M20i – *Konfigurationsmodell generieren*) an die PKA-AP übertragen werden. Des Weiteren lassen sich mit der Funktion M21i (*Referenzdokumentation generieren)* Projektdokumentationen in Infopools (z. B. Intranet) erzeugen. Zur Sicherung bestehender Zelleninhalte bei Änderungen in der DSMx-Struktur sowie zum Datenaustausch zwischen den Matrizen DSMgen und DSMrel sind verschiedene *WB-Operationen* (M19i) erforderlich. Dies ist Aufgabe des WB-Moduls. In einem sogenannten Integrations-Modul sind Softwarefunktionen organisatorisch zusammengefasst, die innerhalb der beteiligten Systeme ablaufen bzw. dort implementiert werden müssen. Es handelt sich dabei um Funktionen zur *Instanziierung des Mastermodells* (M22i), zur *PDM-Verwaltung* der Konfigurationsergebnisse (M23i) sowie um eine Funktion zum *Update der WEFA-Wissensbasis* bei Änderungen an Variantenteilen im PDM-System (M24i).

Abb. 6-3: Softwarearchitektur des PKA-Assistenzsystems



6.2 Exemplarische Umsetzung der Softwaremodule

Zur Validierung des Gesamtkonzeptes (methodischer Leitfaden und IT-Unterstützungen) werden die Softwaremodule exemplarisch umgesetzt. Die Kernfunktionen (ohne Integrationsmodule) wurden u. a. im Rahmen einer vom Autor definierten und betreuten Masterarbeit realisiert (Cho 2010). Ziel ist die prinzipielle Verifikation der erweiterten Matrixmethode und des generischen Ansatzes zur Erstellung eines Konfigurationsmodells. Mithilfe der Erkenntnisse aus dieser prototypischen Umsetzung kann in weiterer Folge eine klassische Systementwicklung erfolgen.

Softwaretechnik und Systemumgebung

Die Informationserfassung und Darstellung beruht zu einem großen Teil auf klassischer Tabellentechnik. Auch für Matrixmethoden werden diese Techniken eingesetzt. Bekannteste Hilfsmittel hierfür sind Tabellenkalkulationsprogramme. Diese werden ebenfalls im Konstrukteursalltag für vielfältige Aufgaben eingesetzt und dementsprechend häufig benutzt. Zur prototypischen Umsetzung wurde deshalb *Microsoft Excel*® plus die Programmiererweiterung

VBA[1] ausgewählt. Die Auswahl kann u. a. damit begründet werden, dass ein Großteil der Operationen prinzipiell auch „händisch" in jedem Tabellenkalkulationsprogramm durchgeführt werden kann und somit ein gewisser Nutzen auch ohne Programmierung gegeben ist. Neben der Verwendung von Excel+VBA für die Realisierung der Softwaremodule wird auch die Wissensbasis mithilfe von Referenztabellen simuliert. Die beteiligten Systeme werden durch die beim *Fallgeber* vorhandene Systemlandschaft bestimmt. Es sind dies das PDM-System *ENOVIA SmarTeam*®, das CAD-System *SolidWorks*®, die PKA-Standardlösung *Tacton-Works*® sowie das *Unternehmens-Technik-Intranet*. Die Systeme wurden in Kap. 4.2.3 bereits vorgestellt. Im Folgenden werden die exemplarisch zu realisierenden Softwaremodule im Einzelnen diskutiert. Dabei liegt der Schwerpunkt auf einer funktionalen Beschreibung. Auf das methodische Vorgehen bei der Erstellung und Verwaltung der Daten- und Wissensinhalte wurde im Kapitel 5 eingegangen und wird an dieser Stelle nur zu Verständniszwecken im Zusammenhang mit den Softwarefunktionen wiederholt. Es wird hier auch nochmals auf die Methodenbeschreibungen im Anhang (Methodenbaukasten) hingewiesen.

6.2.1 Komponenten&Struktur-Modul

In diesem Modul sind die drei Funktionen M10i (*Komponentenliste verwalten)*, M11i (*Komponenten klassifizieren)* und M14i (*Produkt strukturieren)* realisiert. Beim erstmaligen Start sind die Spalten für die zu erfassenden Produktinformationen vorbereitet. Die tabellenförmige Anordnung ermöglicht einen zentralen Blick auf alle unterschiedlichen Strukturen und deren Elemente (Abb. 6-4). Wie bereits oben erwähnt, verdeutlicht diese Anordnung die Vorteile einer konzeptionellen Zusammenfassung der Komponenten- und Strukturverwaltung.

Abb. 6-4: Komponenten&Struktur-Modul mit den SW-Funktionen M10i (Komponentenliste verwalten), M11i (Komponenten klassifizieren) und M14i (Produkt strukturieren)

Komponentenliste verwalten										Komponenten klassifizieren				Produkt strukturieren		
Komponenten Name	Komponenten ID	CAD DocId.	Material Nr.	Element-Typ	Element-Vorkommen	Element-Art	Varianten-Typ	Element-Anz.	Relevanz	DSMgen Struktur	Mastermodell Struktur	DSMrel Struktur	PKA-Applikations Struktur	DSMrel Struktur	Ebene 1	Ebene 2
Produkt_XY	C001								R	G0000	M000000	R000000	A000000	Produkt_XY		
Baugruppe_1	C002			BG	M	N	E	1	R	G0100	M010000	R010000	A010000		Baugruppe_1	
Bauteil_3	C006	Doc0001	ID0017	BT	M	S	Vt	1	R	G0200	M010100	R010100	A010100			Bauteil_3
Baugruppe_3	C004	Doc0002	ID0017	BG	O	S	E	1	R	G0300	M010200	R010200	A010200			Baugruppe_3
Baugruppe_2	C003			BG	M	N	E	1	R	G0400	M020000	R020000	A020000		Baugruppe_2	
Bauteil_4	C007	Doc0005	ID0014	BT	O	S	E	1	R	G0500	M020100	R020100	A020100			Bauteil_4
Bauteil_5	C008	Doc0006	ID0013	BT	O	S	E	1	R	G0600	M020200	R020200	A020200			Bauteil_5
Bauteil_1	C005	Doc0007	ID0012	BT	O	S	Vm	0;4;6	R	G0700	M030000	R030000	A030000		Bauteil_1	
Bauteil_6	C009	Doc0003	ID0016	BT	M	S	E	1			M010300		A010201			
Bauteil_7	C010	Doc0004	ID0015	BT	M	S	E	1			M010300		A010202			
Bauteil_2	C011	Doc0008	ID0011	BG	M	S	E	1			M040000					

[1] VBA – Visual Basic for Applications. Bei VBA handelt es sich um eine leistungsfähige Scriptsprache innerhalb von Microsoft-Office-Programmen.

M10i: Komponentenliste verwalten

Beim Start eines neuen Projektes ist dies die erste auszuführende Funktion. Sie unterstützt zu Beginn die Erfassung der Komponenten und ihre beschreibenden Merkmale. Hierzu zählen eine eindeutige, fortlaufende Komponenten-ID (Cxxx) sowie für Standardteile eine, aus dem PDM-System stammende, firmenspezifische Identifikationsnummer der CAD-Geometrien und Materialien. Bei den Komponentennamen ist darauf zu achten, keine Umlaute, Sonder- oder Leerzeichen zu verwenden, da dies Softwaresystemen (z. B. bei der Bildung von Regelausdrücken) vielfach Schwierigkeiten bereitet. Zur schnellen und komfortablen Übersicht und Beschaffung von Detailinformationen von bestehenden Komponenten, bspw. einer 3D-Visualisierung oder erweiterten Materialdaten, wird eine direkte Verlinkung (Hyperlink) mit dem PDM-System eingefügt. Im weiteren Projektverlauf werden hier auch Änderungen (z. B. Komponenten hinzufügen/löschen) eingepflegt. Für die Verwaltung von spezifizierenden Attributen pro Komponente ist diese Funktion eng mit dem Spezifikations-Modul verbunden.

M11i: Komponenten klassifizieren

Über Auswahlboxen bietet diese Funktion eine Klassifizierung des *Element-Typs* (BT: Bauteil, BG: Baugruppe oder LE: logisches Element), des *Element-Vorkommens* (M: Muss-Element, O: Optionales Element), der *Element-Art* (S: Standardelement, N: neues Element oder S/N: beides), der *Varianten-Art* (E: Einzigartiges Element bzw. keine Variante, Vm: Mengenvariante, Vt: Teilevariante, Vs: Strukturvariante) sowie der *Element-Anzahl*. Aus den Klassifizierungsparametern *Element-Vorkommen*, *Element-Art*, *Varianten-Typ* sowie der *Element-Anzahl* kann bestimmt werden, ob eine Komponente konfigurationsrelevant ist. Diese werden von der Funktion automatisch mit „R" (Spalte „Relevanz") gekennzeichnet. Nicht konfigurationsrelevante Komponenten (Regel dafür: M: Muss-Element, S: Standardteil, E: keine Variante, Element-Anzahl: feste Anzahl an Komponenten) werden zum leichteren Auffinden im entsprechenden Feld farblich markiert und später bei der Übernahme in eine DSMx (Regel-Modul) ignoriert (Abb. 6-4). Im abgebildeten Beispiel entstehen 2 neue Teile (*Baugruppe_1*, *Baugruppe_2*). Diese beinhalten jeweils optionale Elemente. Die Komponente *Bauteil_3* ist ein Variantenteil (Vt), das später (im Varianten-Modul) noch detaillierter behandelt werden muss. Das *Bauteil_1* ist eine Mengenvariante (Vm), deren Anzahl entweder 0, 4 oder 6 sein kann (siehe auch Methodenbeschreibung *M11i* im Anhang).

M14i: Produkt strukturieren

In Funktionsteil M14i (*Produkt strukturieren)* werden mithilfe von Codes die Strukturen für die *DSMgen*, die *DSMrel*, das *Mastermodell* und die *PKA-AP* gebildet bzw. entwickelt. Anhand dieser Struktur-Codes wird eine Strukturstückliste baumartig aufgebaut und visualisiert. Dabei wird in einem ersten Schritt eine aufsteigende Sortierung auf die jeweilige, der Struktur entsprechenden Spalte angewendet. Hierbei werden nicht relevante Komponenten (kein Code) an das Ende der Liste gestellt. Mittels eines einfachen Positionierungsalgorithmus können die Elemente (Zelle mit Namen) in die entsprechende Ebenenspalte verschoben werden. Durch die parallele Anordnung der Strukturen kann mit dieser Funktion sehr einfach zwischen den einzelnen Sichten hin und her geschaltet werden. Abb. 6-4 zeigt bspw. Struktur und Komponenten, wie sie zur Bildung der DSMrel benötigt werden (Spalte DSMrel).

6.2.2 Spezifikations-Modul

Nachdem alle Komponenten mit einer eindeutigen ID (Cxx) verwaltet sind, können die weiteren Spezifikationen vorgenommen werden. Dies ist zum einen die Spezifikation der Komponenten selbst (Funktion M13i – *Komponentenattribute verwalten*) und zum anderen die Spezifikation der Eingabeparameter (Funktion M16i – *Eingabeparameter verwalten*). Mithilfe der Komponentenattribute und Eingabeparameter werden im *Regel-Modul* formale Ausdrücke gebildet. Wie schon bei den Komponentennamen angeführt, gilt auch hier, keine Umlaute, Sonder- oder Leerzeichen in den Namen zu verwenden. Für jedes Attribut bzw. jeden Eingabeparameter wird ein Datentyp (integer, float, boolean) sowie dessen/deren mögliche Minimal- und Maximalwerte bestimmt. Dies wird später im Konfigurationsmodell benötigt.

M13i: Komponentenattribute verwalten

Die Funktion verwaltet alle Attribute der Komponenten aus der Komponentenliste. Attribute sind beispielsweise Geometriemerkmale (speziell für Neuteile), die Anzahl von Komponenten oder ein logischer Ja/Nein-Wert. Von der Funktion wird für jede Komponente eine Tabelle mit dem Komponentennamen und der Komponenten-ID initialisiert (Abb. 6-5). In die Spalte *Attribut Name* werden zeilenweise alle notwendigen Komponentenattribute erfasst und spezifiziert (Datentyp, Min-/Maxwerte). Es kann auch eine Geometrieskizze eingefügt werden. Diese trägt zur besseren Erklärung der Geometriemerkmale bei. Mithilfe dieser Funktion werden alle Attribute den Komponenten zugewiesen und stehen anschließend sowohl in der Komponentenliste wie auch in der DSMx zur Verfügung.

Abb. 6-5: SW-Funktion M13i: Komponentenattribute verwalten

Komponenten Name	Komponenten ID	Attribut Name	Datentyp	Min-Wert	Max-Wert
Baugruppe_1	C002	Attribut_1	float	100	500
		Attribut_2	boolean	0	1
		Attribut_n	boolean	0	1
Baugruppe_2	C003	Attribut_1	float	10	15
		Attribut_2	float	20	40
		Attribut_n	boolean	0	1
Baugruppe_3	C004				

M16i: Eingabeparameter verwalten

Die Funktion besteht aus einer Tabelle (Tabelle 6-2), die mittels einer eindeutigen ID alle erforderlichen Eingabeparameter (EP) spezifiziert (Datentyp, Min-/Maxwerte). Eingabeparameter sind über Regeln immer mit Komponentenattributen verknüpft. Vielfach steuern sie die

Gestalt von Komponentengeometrien. Aber auch Größen wie Anzahl/Menge oder logische Werte werden mit ihnen bestimmt. Die EP gehen später in die DSMx zur Regelerfassung ein. Neben der Verwendung in Regelausdrücken bestimmen EP auch die Benutzeroberfläche der PKA-AP.

Tabelle 6-2: SW-Funktion M16i: Eingabeparameter verwalten

Eingabeparameter ID	EP Name	Datentyp	Min-Wert	Max-Wert
EP01	Eingabeparameter_1	float	1	10
EP02	Eingabeparameter_2	boolean	0	1
EP03	Eingabeparameter_n	boolean	0	1

6.2.3 Varianten-Modul

Im Konfigurationsmodell der PKA-AP wird später mittels *Generierungs-Modul* eine Variantenklasse pro Teilevariante angelegt. Die Verwaltung dieser Variantenklassen ist Aufgabe des *Varianten-Moduls*. bzw. der Funktion M12i (*Variantentabellen verwalten).* Für alle als Teile- oder Strukturvariante (Vt, Vs) klassifizierten Komponenten (vgl. M11i: *Komponenten klassifizieren*) wird mit dieser Funktion eine Variantentabelle in der WB angelegt. Die Tabelle ist zum Start mit den Spalten *„Name der Variantenausprägung"*, *„Name der Variantenklasse"*, und n *Sachmerkmalen* vorbereitet. In den Spalten mit den Sachmerkmalen wird zusätzlich der *Datentyp* definiert. Das *Varianten-Modul* bzw. die Variantentabellen in der WB stehen in Verbindung mit der Funktion M24i (*Update PDM2Wissensbasis)* aus dem *Integrations-Modul*. Werden im PDM-System neue Variantenteile der entsprechenden Variantenklasse angelegt, wird hierdurch die WB aktualisiert (Näheres siehe Beschreibung *Integrations-Modul*). Tabelle 6-3 zeigt schematisch die Variantentabelle der bei M11i (*Komponenten klassifizieren*) als Teilevariante (Vt) klassifizierten Komponente *„Bauteil_3"*. In dem Beispiel existieren drei Typen des Variantenplatzhalters *Bauteil_3* mit unterschiedlichen Ausprägungen, die durch Sachmerkmale beschrieben sind. Unter dem eindeutigen Klassennamen *Bauteil_3_var* wird später die Variantentabelle im Konfigurationsmodell angelegt und der Variantenplatzhalter *Bauteil_3* in der Konfigurationsstruktur realisiert.

Neben der Verwaltung aller relevanten Variantenklassen im *Varianten-Modul* müssen die Sachmerkmale auch in das Spezifikationsmodul übernommen werden. Sachmerkmale sind Attribute von Komponenten des Varianten-Typs *Vt (Teilevariante).* Diese müssen gleichsam bei der Bildung von formalen Regelausdrücken zur Verfügung stehen.

Tabelle 6-3: SW-Funktion M12i: Variantentabellen verwalten

Name der Variantenausprägung	Name der Variantenklasse	float Sachmerkmal_1	float Sachmerkmal_2	integer Sachmerkmal_n
Bauteil_3_Typ1	Bauteil_3_var	4,6	100,0	4
Bauteil_3_Typ2	Bauteil_3_var	11,7	200,0	6
Bauteil_3_Typ3	Bauteil_3_var	23,0	300,5	8

6.2.4 Regel-Modul

Das Regel-Modul setzt auf den entwickelten Produkt- bzw. Konfigurations-Strukturen auf. Zwei Funktionen kennzeichnen das Modul: M17i (*DSMx erzeugen*) und M18i (*Regelerfassung*). Im Vorgehensmodell werden beide Funktionen je zweimal mit unterschiedlicher Zielsetzung benutzt. M17i (*DSMx erzeugen)* wird einmal zur Erstellung der DSMgen (auf Basis der Produktstruktur) und einmal zur Erstellung der DSMrel (auf Basis der Konfigurationsstruktur) eingesetzt. Die Funktion M18i (*Regelerfassung)* wird einmal zur Erfassung der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln und einmal zur Formalisierung der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln genutzt. Mithilfe von *WB-Operationen* (WB-Modul) können Inhalte zwischen den Matrizen ausgetauscht werden.

M17i: DSMx erzeugen

Funktional ist die Erstellung der DSMgen sowie der DSMrel weitestgehend identisch und wird deshalb gemeinsam betrachtet. Ausgangspunkt ist die im *Komponenten&Struktur-Modul* ausgewählte und somit aktive DSM-Struktur. Wie bereits oben geschildert, wird hierdurch von der Funktion M14i (*Produkt strukturieren)* eine entsprechende Komponentenauswahl und -sortierung vorgenommen. Genau mit dieser Auswahl und Reihenfolge wird zusammen mit den Eingabeparametern eine DSM gebildet. Auf der vertikalen Achse werden zuerst die Eingabeparameter und anschließend die Komponenten, auf der horizontalen Achse nur die Komponenten eingefügt. Abb. 6-6 visualisiert den Aufbau einer DSMrel anhand der Komponentenliste aus Abb. 6-4, bei der die Komponenten C001 bis C008 (in der entsprechenden Reihenfolge) sowie die Eingabeparameter EP01 bis EP03 übernommen werden. Zur informativen Unterstützung werden auch die Klassifizierungsmerkmale der Komponenten angezeigt. Nach Fertigstellung der DSM sind alle Vorbereitungen für die Regelerfassung getroffen.

Abb. 6-6: SW-Funktion M17i: DSMx erzeugen

							C001	C002	C006	C004	C003	C007	C008	C005
Element-Vorkommen	Element-Art	Varianten-Typ	Element-Anz.	Komponenten/EP ID	Komponenten/EP Name		Produkt_XY	Baugruppe_1	Bauteil_3	Baugruppe_3	Baugruppe_2	Bauteil_4	Bauteil_5	Bauteil_1
							R000000	R010000	R010100	R010200	R020000	R020100	R020200	R030000
				EP01	Eingabeparameter_1									
				EP02	Eingabeparameter_2									
				EP03	Eingabeparameter_n									
				C001	Produkt_XY	R000000								
M	N	E	1	C002	Baugruppe_1	R010000								
M	S	Vt	1	C006	Bauteil_3	R010100								
O	S	E	1	C004	Baugruppe_3	R010200								
M	N	E	1	C003	Baugruppe_2	R020000								
O	S	E	1	C007	Bauteil_4	R020100								
O	S	E	1	C008	Bauteil_5	R020200								
O	S	Vm	0;4;6	C005	Bauteil_1	R030000								

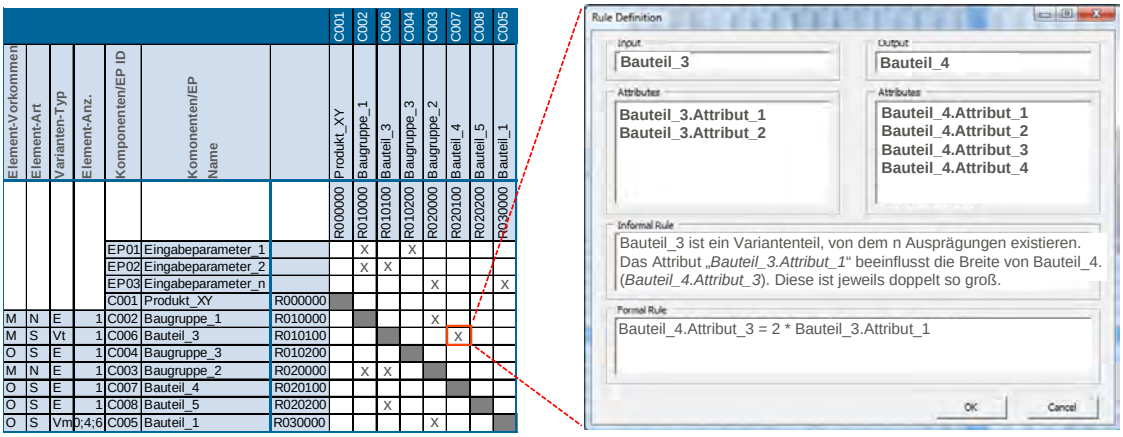
Ein Spezifikum bildet die Situation nach Erstellung der DSMrel. Hier möchte man bereits erfasste Zellinformationen aus der DSMgen übernehmen (siehe M19i: WB-Operationen). Die Vorgehensmethode sieht vor, dass sich die Strukturen zwischen DSMgen und DSMrel ändern. Komponenten können wegfallen oder neu hinzukommen. Durch die Komponenten-ID-Paare (horizonal/vertikal) sind die Zellen eindeutig definiert. Eine Übernahme in weiterhin existierende Zellen der DSMrel ist somit kein Problem. Für Zellinformationen, die aufgrund ersetzter Komponenten (bspw. die Aufgliederung eines Knotens in Unterelemente) in der DSMrel nicht mehr aufscheinen, ist eine Prüffunktion erforderlich. Diese listet die betroffenen Zellen (mit Inhalt) aus der DSMgen anhand der ID-Paare auf. Durch einfaches Kopieren/Einfügen können die Informationen ggf. übertragen werden.

M18i: Regelerfassung

Die funktionale Beschreibung der *Regelerfassung* auf Basis der DSMgen (Erfassen der informellen Regeln) und der DSMrel (Formalisieren der informellen Regeln) kann aufgrund des gleichen Verhaltens auch gemeinsam betrachtet werden. Der Ansatz zur Regelerfassung basiert auf einer Erweiterung der entsprechenden Element-Kreuzungspunkte (Zellen) in der Matrix. Hier sollen für den WI und den Experten jederzeit alle erforderlichen Informationen und Regeln (informelle/formelle) zugänglich sein. Die Funktion M18i (*Regelerfassung)* bietet dem Anwender die Möglichkeit, durch „Doppelklick" auf eine Zelle entsprechende Beziehungsinformationen bspw. zwischen Komponenten und Eingabeparametern einzubringen. Neben der Kennzeichnung der Zelle mit einem „X" wird durch den „Doppelklick" eine spezielle Dialogkomponente aufgerufen. Diese visualisiert evtl. bereits vorhandene Informationen, ermöglicht Änderungen und Ergänzungen oder bietet die erstmalige Erfassung von Beziehungswissen. Abb. 6-7 zeigt den Aufbau der Dialogkomponente am Beispiel der Regelerfassung zwischen *Bauteil_3* (Input) und *Bauteil_4* (Output). Im Feld *Attributes* werden jeweils für das Input- und Output-Element alle im Spezifikations-Modul definierten Attribute angezeigt. Das Eingabefeld *„Informal Rule"* dient der Aufnahme von Beziehungswissen in gemeinsprachlicher (informeller) Form. Die Formatierung bzw. die Formulierungsform (Stichworte, Halbsätze, Sätze, Formeln etc.) ist dabei völlig frei, da die Informationen hauptsächlich einer für alle verständlichen Dokumentation dienen. Anders verhält sich dies im Eingabefeld *„Formal Rule"*. Hier werden in der gewählten Regelsprache die formalen Notationen gebildet. Im abgebildeten Beispiel geht es um die Erfassung und Formalisierung einer Regel, dass ein Merkmal von *Bauteil_4* immer doppelt so groß wie ein Merkmal von *Bauteil_3* zu betragen hat. Bei *„Informal Rule"* wird dies allgemein beschrieben und dokumentiert. Mit einer *„Formal Rule"* wird ein exakter Regelausdruck mit den entsprechenden Attributnamen gebildet. Dieser wird später 1:1 in das Konfigurationsmodell der PKA-AP übernommen und von der Problemlösungskomponente ausgewertet.

Vielfach besteht der Regelausdruck nur aus Attributen der beiden aktuellen Elemente (Input/Output). Für diesen Fall können die aufgelisteten Attribute sehr einfach übernommen werden. Wird ein Attribut eines dritten Elementes (Komponente oder Eingabeparameter) benötigt, kann dieses direkt aus der Matrix (beim entsprechenden Element) abgegriffen werden.

Abb. 6-7: SW-Funktion M18i: Regelerfassung (zellenbasierte Regelerfassung mit Dialogkomponente)



Element-Vorkommen	Element-Art	Varianten-Typ	Element-Anz.	Komponenten/EP ID	Komponenten/EP Name		C001	C002	C006	C004	C003	C007	C008	C005
							Produkt_XY	Baugruppe_1	Bauteil_3	Baugruppe_3	Baugruppe_2	Bauteil_4	Bauteil_5	Bauteil_1
							R000000	R010000	R010100	R010200	R020000	R020100	R020200	R030000
				EP01	Eingabeparameter_1			X		X				
				EP02	Eingabeparameter_2			X	X					
				EP03	Eingabeparameter_n						X			X
				C001	Produkt_XY	R000000								
M	N	E	1	C002	Baugruppe_1	R010000					X			
M	S	Vt	1	C006	Bauteil_3	R010100						X		
O	S	E	1	C004	Baugruppe_3	R010200								
M	N	E	1	C003	Baugruppe_2	R020000		X	X					
O	S	E	1	C007	Bauteil_4	R020100								
O	S	E	1	C008	Bauteil_5	R020200			X					
O	S	Vm	0;4;6	C005	Bauteil_1	R030000					X			

6.2.5 Generierungs-Modul

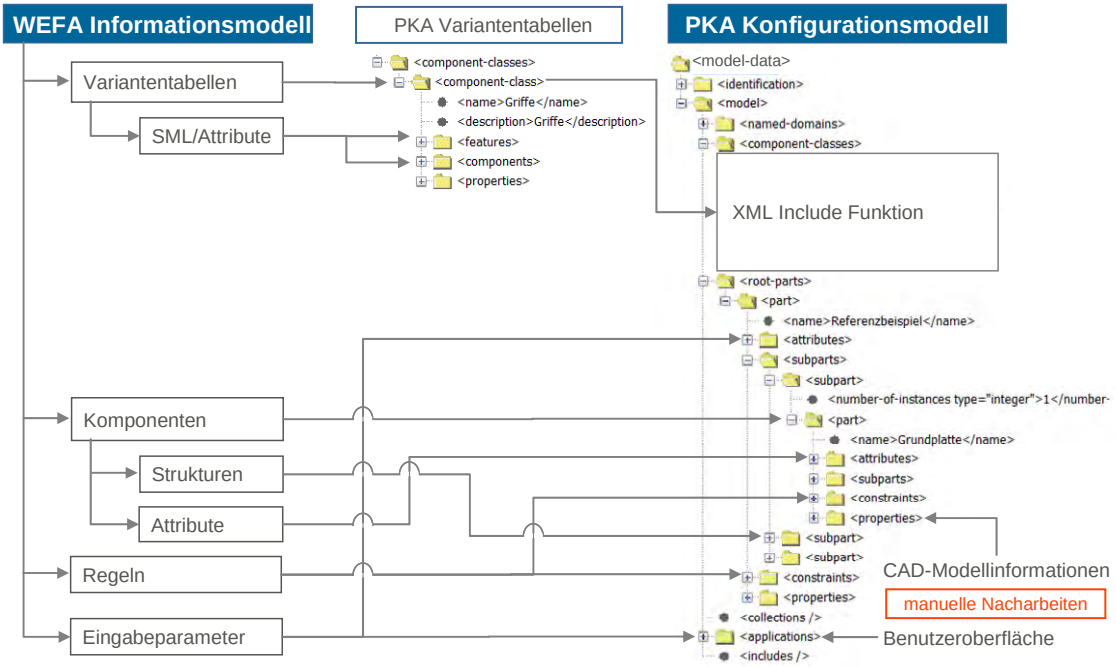
Mithilfe des Generierungsmoduls werden Ausleitungen aus der WB bewerkstelligt. Es besteht aus den Funktionen M20i (Konfigurationsmodell generieren) und M21i (Referenzdokumentation generieren). Grundsätzlich werden die beiden Funktionen im Vorgehensmodell zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingesetzt. Die Generierung des Konfigurationsmodells (M20i) ist im Entwicklungsprozess mehrmals erforderlich (Test- und Änderungszyklen). Eine Dokumentation wird erst zum Schluss des Projektes generiert. An dieser Stelle sei auf eine konzeptionelle Problematik hingewiesen. Am Konfigurationsmodell werden nach der Übertragung in die PKA-AP Ergänzungen vorgenommen (bspw. die Verknüpfungen mit den CAD-Modellen, Design der Benutzeroberfläche). Dies führt bei Modifikationen zu einem Zielkonflikt. Entweder müssen die händischen Ergänzungen nach einer Neugenerierung nachgeführt oder die Modifikationen zweimal (WEFA-WB + WB der PKA-AP) durchgeführt werden. Für Variantentabellen wurde diese Problematik gelöst (siehe Abschnitt 6.2.7).

M20i: Konfigurationsmodell generieren

Maßgabe für die Generierung ist das XML-Schema für das Konfigurationsmodell der PKA-AP. Abb. 6-8 skizziert den prinzipiellen Aufbau der XML-Struktur eines Konfigurationsmodells sowie die entsprechenden Objekte des WEFA-Informationsmodells, aus denen die erforderlichen Daten und Informationen gewonnen werden. *Variantentabellen* werden in eigenständige, sog. <*component-classes*> übertragen und durch eine XML-Include-Funktion[1] im Konfigurationsmodell referenziert.

[1] XML Inclusions sind eine W3C-Empfehlung. Sie ermöglichen innerhalb einer XML-Struktur einen Verweis auf andere XML-Dateien, die bei der Auflösung eingebunden werden.

Abb. 6-8: SW-Funktion M20i: Konfigurationsmodell generieren (als XML für PKA-Applikation)



Dieser Lösungsansatz wird später zur automatisierten Aktualisierung der Variantentabellen benötigt (siehe M24i: Update PDM2Wissensbasis). Eine <*component-class*> besteht neben einem Namen und einer Beschreibung aus <*features*>, mit denen Sachmerkmale beschrieben werden, aus <*components*>, die alle Ausprägungen der Variantentabelle abbilden und aus <*properties*>, in denen die Verbindung zu den CAD-Modellen abgebildet sind. Letzteres kann nicht aus dem WEFA-Informationsmodell generiert werden und ist ein manueller Vorgang nach der Erstellung. *Komponentenstrukturen* werden durch <*parts*> und <*subparts*> abgebildet. Jede *Komponente* wird durch ein <*part*> repräsentiert, das neben dem Namen aus <*attributes*>, möglichen <*subparts*>, <*constraints*> und <*properties*> besteht. In den <*constraints*> sind die *Regelausdrücke* abgelegt, die <*properties*> enthalten wiederum CAD-Modellinformationen. *Eingabeparameter* finden sich auf zwei Ebenen wieder. Zum einen gehen diese in die <*application*> ein, in der die gesamte Benutzeroberfläche definiert ist. Hierfür sind nach der Konfigurationsmodellerstellung noch händische Zusatzdefinitionen erforderlich. Zum anderen werden Eingabeparameter zusätzlich auch als <*attributes*> in den <*parts*> definiert.

M21i: Referenzdokumentation generieren

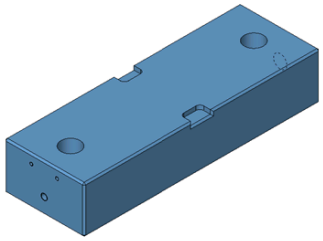
Die Aufbereitung einer Dokumentation erfolgt in zwei Schritten. Innerhalb der WB wird pro Komponente eine sog. ComponentCard angelegt, die alle erfassten Informationen einer Komponente übersichtlich darstellt. Dies vereinfacht einerseits die nachfolgende Ausleitung in eine Referenzdokumentation und bietet andererseits auch Möglichkeiten, sich innerhalb der WB eine komprimierte Sicht auf bestimmte Komponenten zu verschaffen. Abb. 6-9 zeigt exemplarisch die ComponentCard für die Komponente *Bauteil_3*. Im oberen Teil werden die zugehörigen Attribute aufgelistet. Des Weiteren folgen alle Komponentenbeziehungen mit

Elementsbezeichnung und definierter Regel. Laut DSMrel in Abb. 6-7 wird die Komponente C006 (Bauteil_3) von den Elementen EP02 (Eingabeparamter_2), C003 (Baugruppe_2) und C008 (Bauteil_5) beeinflusst. Selbst wirkt bzw. beeinflusst die Komponente C006 das Element C007 (Bauteil_4). Ein möglicherweise gespeichertes Bild ergänzt die ComponentCard.

Abb. 6-9: SW-Funktion M21i: Generieren einer ComponentCard pro Komponente

Komponenten ID	Komponente	Attribute	
C006	Bauteil_3	Bauteil_3.Attribut_1 Bauteil_3.Attribut_2	

Bild



ID	wird beeinflusst von Element:	Regel
EP02	Eingabeparameter_2	***Informal Rule*** Das Attribut_1 ist gleich wie der Eingabeparameter_2 ... ***Formal Rule*** Bauteil_3.Attribut_1 = Eingabeparameter_1
C003	Baugruppe_2	***Informal Rule*** (Erklärung der Regel) ***Formal Rule*** (formale Regel)
C008	Bauteil_5	***Informal Rule*** (Erklärung der Regel) ***Formal Rule*** (formale Regel)

ID	beeinflusst das Element:	Regel
C007	Bauteil_4	***Informal Rule*** Bauteil_3 ist ein Variantenteil, von dem n Ausprägungen existieren. Das Attribut „Bauteil_3.Attribut_1" beeinflusst die Breite von Bauteil_4. (Bauteil_4.Attribut_3). Diese ist jeweils doppelt so groß. ***Formal Rule***

Auf Basis der Produktstrukturinformationen, der ComponentCard und der Variantentabellen lässt sich eine informative Referenzdokumentation erzeugen. Mithilfe einer vordefinierten HTML-Vorlage wird die Dokumentation generiert und bspw. direkt im Firmenintranet abgelegt. Das Erstellungskonzept zeigt eine problemlose Realisierbarkeit. Auf eine exemplarische Umsetzung wurde nachfolgend verzichtet.

6.2.6 WB-Modul

Das WB-Modul hat die primäre Aufgabe, bestehende DSMx-Inhalte zu speichern, zu löschen oder andere DSMx-Inhalte zu laden. Dies ist bspw. notwendig, wenn in der Komponentenliste Elemente ergänzt oder gelöscht werden und hierdurch die DSMx neu generiert bzw. aufgebaut werden muss. Weiters, im Rahmen der Vorgehensmethodik, wenn Zellinformationen aus der DSMgen in die DSMrel übernommen werden müssen. Diese Vorgänge werden durch die Funktion M19i (WB-Operationen) abgedeckt.

M19i: WB-Operationen

Die Funktion besteht aus fünf Operationen: *Speichern einer DSMgen* (DSMgen -> WB), *Laden einer bestehenden DSMx in eine DSMgen* (WB -> DSMgen), *Speichern einer DSMrel* (DSMrel -> WB), *Laden einer bestehenden DSMx in eine DSMrel* (WB -> DSMrel) sowie Löschen einer bestehenden DSMx. Hiermit können alle im Vorgehensmodell erwähnten WB-Operationen abgedeckt werden. Soll bspw. bei einer bereits existierenden DSMgen (mit erfassten informellen Regeln) eine weitere Komponente hinzugefügt werden, sieht der Ablauf wie folgt aus: 1.) Bestehende DSMgen speichern. 2.) Komponente anlegen und spezifizieren. 3.)

DSMgen aus Komponentenliste neu erzeugen. 4.) Inhalte der gespeicherten „alten" DSMgen laden.

In der WB werden die Zellinformationen anhand von Wertetupel (ID des Elementes vertikal, ID des Elementes horizontal) abgelegt. Dies ermöglicht den Austausch von Inhalten unterschiedlicher Matrizen. Gleiche Elementspaare finden so zueinander, auch wenn die Elementsanzahl sowie Elementsreihenfolge der beiden Matrizen divergieren (vgl. hierzu auch Methodenbeschreibung M19i S. 232). Des Weiteren können hierdurch Wertetupel gekennzeichnet werden, die bei einer Übertragung keine Entsprechung finden.

Abb. 6-10: SW-Funktion M19i: Verwalten der Zellinhalte

Zell-ID horizontal	Komponentenname	Zell-ID vertikal	Komponentenname	Regeln
EP01	Eingabeparameter_1	C002	Baugruppe_1	***Informal Rule*** Eingabeparameter_1 beeinflusst die Baugruppe_1 ..... ***Formal Rule*** Baugruppe_1 = Eingabeparameter_1 * xxx + yyy
EP01	Eingabeparameter_1	C004	Baugruppe_3	***Informal Rule*** Eingabeparameter_1 beeinflusst die Baugruppe_3 ..... ***Formal Rule*** Baugruppe_3 = Eingabeparameter_1 * yyy + zzz
EP02	Eingabeparameter_2	C002	Baugruppe_1	***Informal Rule*** Eingabeparameter_2 beeinflusst die Baugruppe_1 ..... ***Formal Rule*** Baugruppe_1 = Eingabeparameter_2 * zzz
EP02	Eingabeparameter_2	C006	Bauteil_3	***Informal Rule*** Eingabeparameter_2 beeinflusst die Bauteil_3 ..... ***Formal Rule*** Bauteil_3 = Eingabeparameter_2 + xxx

Abb. 6-10 zeigt exemplarisch die ersten vier gespeicherten Zellinformationen des DSM-Beispiels aus Abb. 6-7, jeweils mit Zell-ID horizontal mit Komponentenname, Zell-ID vertikal mit Komponentenname und der entsprechend formulierten Regeln. In dem Beispiel wurde das Elementspaar EP02/C002 vom System (farblich) markiert, da bei einer Übertragung in eine modifizierte oder andere Matrix kein entsprechendes Wertetupel gefunden wurde.

6.2.7 Integrations-Modul

Nach Abschluss einer Konfiguration müssen die Ergebnisse für die Folgeprozesse aufbereitet und dem PDM-System zugeführt werden bzw. muss für den Betrieb die Kommunikation zwischen PDM-System und PKA-AP gewährleistet sein. Im Integrations-Modul sind alle Softwarefunktionen für diese Aufgaben organisatorisch zusammengefasst. Das Modul repräsentiert den Assistenzsystembaustein „*Adapter und Hilfsprogramme*" (vgl. Abb. 6-1). Die eng miteinander verknüpften Funktionen M22i (Instanziierung des Mastermodells) und M23i (PDM-Verwaltung) sind Erweiterungen der PKA-AP und müssen dementsprechend dort implementiert werden. Dies setzt Möglichkeiten zur Einbindung eigener Programme voraus. Die Aktualisierung der WB bei Modifikationen an konfigurationsrelevanten PDM-Variantentabellen ist Aufgabe der Funktion M24i (Update PDM2Wissensbasis). Hilfsfunktionen wie bspw. eine Kalkulationsvorlage (M06i) ergänzen dieses Modul.

M22i: Instanziierung des Mastermodells

Durch den Konfigurationsvorgang wurde das CAD-Mastermodell bearbeitet bzw. verändert. Bestimmte Elemente (Komponenten, Features) sind aktiv und somit sichtbar, nicht benötigte Elemente sind unterdrückt, einige Elemente wurden evtl. geometrisch verändert. Mithilfe von Programmfunktionen des CAD-Systems arbeitet sich die Funktion M22i systematisch durch den Strukturbaum des Mastermodells, löscht alle unterdrückten Elemente (bzw. deren Referenz) und vergibt an Neuteile spezifische Namen. Anschließend wird das Modell unter einem neuen Namen abgespeichert (vgl. hierzu auch Methodenbeschreibung M22i S. 233).

Abb. 6-11: SW-Funktion M22i: Instanziierung und Bereinigung des Mastermodells

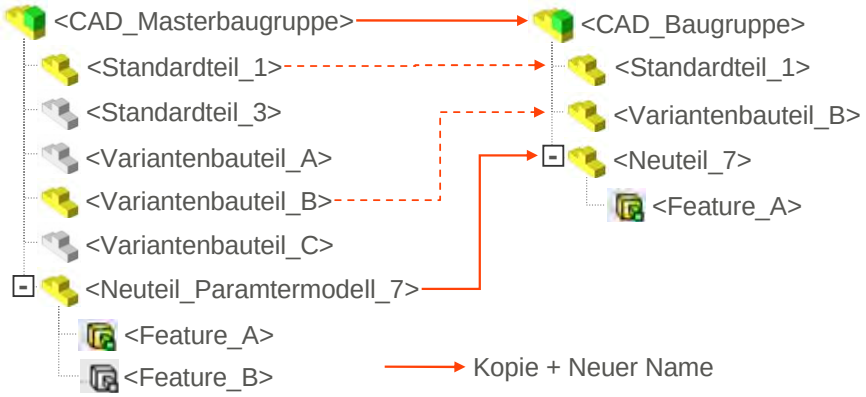


Abb. 6-11 veranschaulicht links exemplarisch die Struktur einer CAD-Masterbaugruppe mit unterdrückten Komponenten (*Standardteil_3*, *Variantenbauteil_A* und *Variantenbauteil_C)*. Beim *Neuteil_Parametermodell_7* ist das *Feature _B* unterdrückt. Die Struktur rechts zeigt die bereinigte CAD-Struktur, bei der zusätzlich das Platzhalterelement *Neuteil_Paramtermodell_7* mit einem neuen Namen (*Neuteil_7)* versehen wurde. Auf Basis dieser Instanziierung kann in einem Folgeschritt die PDM-Verwaltung (M23i) erfolgen.

M23i: PDM-Verwaltung

Die PDM-Verwaltung (M23i) der neu entstandenen Produktvariante setzt die Aufbereitung bzw. Instanziierung des CAD-Modells voraus. Die Funktion besteht im Wesentlichen aus einem Programmaufruf des PDM-Systems zur Speicherung der Produktvariante. Die Situation kann zu diesem Zeitpunkt mit einer „händisch" (ohne PKA-Unterstützung) erstellten Konstruktion verglichen werden. Für die automatische Zuweisung von Identifikationsnummern (Doc-IDs) an neue Baugruppen und Bauteile sowie die Überführung in die Datenbank bieten PDM-Systeme i. d. R. Standardfunktionen. Ebenfalls eine Standardfunktion ist die Eigenschaft, dem System bereits bekannte und nicht modifizierte Standardteile nicht in den Speichervorgang mit einzubeziehen. Für das oben aufgezeigte Beispiel (Abb. 6-11) bedeutet dies konkret, dass für die *CAD_Baugruppe* und das *Neuteil_7* Doc-IDs gelöst und zugeordnet werden. *Standardteil_1* und *Variantenbauteil_B* sind bereits verwaltete Teile und werden beim Speichervorgang nicht berücksichtigt.

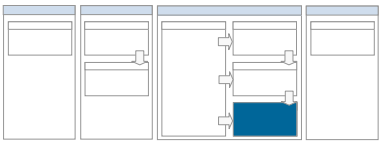
M24i: Update PDM2Wissensbasis

Im Methodenbaukasten sind unter M24i drei Lösungsansätze angeführt (siehe M24i: Update PDM2Wissensbasis S. 234). Die exemplarische Umsetzung erfolgt anhand von Ansatz 3 – „Bringschuld-Prinzip" des PDM-Systems. Durch eine im PDM-System standardmäßig integrierte Triggerfunktion auf dem PDM-Objekt „Variantentabelle" wird bei der Zuordnung zu einer Variantenklasse (Klassifizierungsvorgang) die SW-Funktion M24i aufgerufen. Diese bereitet die entsprechende Variantentabelle auf und erzeugt ein Update in der WEFA-Wissensbasis. Konkret werden die Tabellen in den vom Variantenmodul verwalteten Datenbereich geschrieben. Ferner ist eine automatisierte Aktualisierung des PKA-Konfigurationsmodells erforderlich. Hierfür wird gleichzeitig eine Ausleitung der betroffenen Variantentabelle im XML-Format angestoßen (vgl. auch M20i). Beim Neustart des PKA-Assistenzsystems stehen damit die aktualisierten Variantentabellen zur Verfügung.

Hilfsfunktionen

Unter Hilfsfunktionen sind im Konzept kleinere Softwareprogramme bzw. Erweiterungen subsummiert, die im Erstellungs- und Betriebsprozess hilfreiche Dienste leisten. Dies sind bspw. eigenständige Auslegungsprogramme oder programmiertechnisch realisierte Checklisten und Vorlagen aus dem Methodenbaukasten. Exemplarisch umgesetzt wurde ein Kalkulationsprogramm, das eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit eines PKA-Projektes unterstützt. Dies ist ausführlich unter M06i (Kalkulationsvorlage S. 219) erläutert und wird hier nicht weiter ausgeführt.

7 Validierung des Rahmenwerkes



Ziel dieses Abschnittes ist die Validierung (Erfüllung der Anforderungen) und Verifikation (Korrektheit der Ergebnisse) des konzipierten Rahmenwerkes im Praxisumfeld des *Fallgebers*. Mittels des erarbeiteten Leitfadens und mit Unterstützung der IT-Erweiterungen erfolgt eine konkrete Umsetzung der beiden in Kapitel 4 beschriebenen Aufgabenstellungen (Grundaufbauten, Handlingmodule) in Form zweier spezifischer PKA-Assistenzsysteme. Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt entlang der vier Projektphasen und teilt sich in einen prinzipiellen Teil, der die allgemeine Vorgehensmethodik validiert und einen aufgabenbezogenen Teil, der mögliche Spezifika der Fallbeispiele in Bezug auf Konfiguration und Auslegung beleuchtet. Nachdem insb. für den prinzipiellen Vorgehensteil viele Gemeinsamkeiten zu verzeichnen sind, werden die beiden Fallbeispiele parallel bzw. gemeinsam betrachtet.

7.1 Phase I: Projektvorbereitung

Durch die Analyse der Aufgabenstellungen in Kap. 4 sind weite Teile der für diese Phase vorgesehenen Vorbereitungsschritte bereits durchgeführt worden. Durch eine Diskussion und Beurteilung des generellen Vorgehens und der vorgeschlagenen, unterstützenden Methoden mit den betroffenen Personen sollen an dieser Stelle die wichtigsten Kriterien nochmals zusammengefasst werden.

S1.1: Projekt initiieren und planen

Die Beschreibung der Aufgabenstellung und der Zielsetzung wurde, wie oben erwähnt, nicht mehr gesondert durchgeführt. Für die Projektorganisation wurden die beiden wichtigsten Rollen WI und Experte entsprechend verteilt. Durch die bereits von einem firmeneigenen WI mit einer Standardlösung implementierten Aufgabenstellungen lag das Konfigurations- und Auslegungswissen zum überwiegenden Teil vor. Der WI fungierte für beide Aufgaben deshalb als Experte und griff fallweise auf die „echten" Experten in den Fachbereichen zurück. Der Autor übernahm die Rolle des WI. Diese Konstellation wurde bewusst gewählt, da hiermit gleichzeitig eine fortlaufende Validierung des gesamten Prozesses durch den WI erfolgen konnte. Ein spezieller Projektplan wurde in der aktuellen Situation als nicht notwendig erachtet. Die für die Validierung maßgebenden Phasen II bis IV wurden wie vorgesehen schrittweise geplant und durchgeführt. Eine Anforderungsliste lag bereits aus der Analyse (Kapitel 4) vor. Eine Vorstellung der erzielbaren bzw. prinzipiell vorgesehenen Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes bei potenziellen Auftraggebern aus den Fachbereichen wurde als praxisgerecht

und hilfreich eingestuft. Hervorgehoben wurde die für die Ressourcenplanung sehr wichtige, übersichtliche Darstellung des Projektablaufes und der erwarteten Beiträge seitens der Experten.

S1.2: Voranalysen zum Produkt, zum Umfeld und zu den Wissensquellen

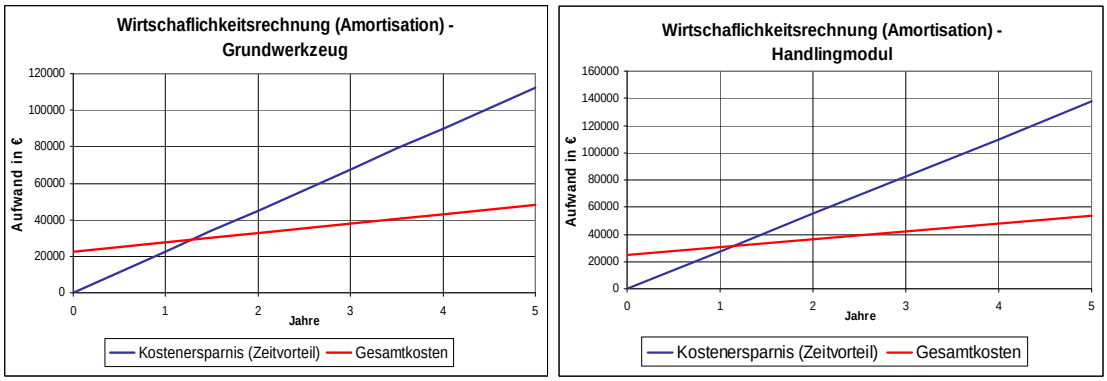
Auch die Arbeitsschritte im Zusammenhang mit den Voranalysen waren in der empfohlenen Form nicht mehr erforderlich. Mit den erstellten Wissensquellmatrizen (nach Vorgabe Methode M04) zeigten sich erstmals die Vorteile dieser Systematik. So war bei beiden Fallbeispielen gut zu erkennen, dass große Teile der Konfigurations- und Auslegungsregeln der Kategorie „undokumentiertes Erfahrungswissen" zugeordnet werden kann. Auch dies wurde von der Linienführung als wertvolle und in dieser Ausprägung nicht bewusste Information eingestuft. Die PKA-Standardlösung war mit *TactonWorks* vorgegeben und musste nicht eigens evaluiert werden. Ein Quervergleich mithilfe der Methode M05 (*Kriterienkatalog Standardlösung)* ergab, dass die seinerzeitige Evaluation und Auswahl der PKA-AP richtig war und dass diese die beim *Fallgeber* gängigen Problemstellungen gut adressieren kann.

S1.3: Überlegungen zu Machbarkeit und Nutzen

Anhand der *Kalkulationsvorlage* (M06i) wurde im Nachgang eine Rentabilitätsrechnung angestellt. Die notwendigen Einschätzungen (Vergleichszahlen) waren dementsprechend praxiserprobt und ein guter Gradmesser für den Ansatz. Für beide Fallbeispiele sind Amortisationszeiten von knapp über einem Jahr erzielbar (Abb. 7-1). Laut Absprache mit den Fachabteilungen ist dies ein realistischer Wert. Beim Grundwerkzeug ergibt sich demnach eine jährliche Ersparnis von € 22.500. Beim Handlingmodul sind es € 27.500. Die Einsparungen erscheinen für sich betrachtet nicht sehr hoch. Laut Fachabteilung sind die qualitativen, monetär schwer bewertbaren Vorteile ebenso wichtig (vgl. M08: Nutzenpotenziale). Hierzu wurden vor allem die Entlastung der erfahrenen Konstrukteure (Experten), die kontrollierte Reproduzierbarkeit und Fehlervermeidung sowie die Know-how-Sicherung genannt. Ein weiterführender Nutzen der Kalkulationsvorlage wird auch darin gesehen, dass durch gezielte Parameteränderungen sehr rasch und einfach deren Einflüsse simuliert werden können. Die Ermittlung der Erststellungskosten auf Basis der Komponentenstrukturen erwies sich als praktikabel und kann in der Projektvorbereitung bereits der Vorstrukturierung des Produktes dienen. Idealerweise sollte diese Kalkulation nach dem Bearbeitungsschritt S2.1 der Phase II (Erfassen und Klassifizieren der Komponenten und CAD-Modelle) nochmals überarbeitet werden, da hier präzisere Komponenteninformationen vorliegen. Auch sollte die Kalkulation direkt in das Softwaremodul *Komponenten&Strukturen* integriert werden.

Das Thema „Risikoabschätzung in der Vorprojektphase" wurde auch im Nachgang diskutiert. Die in der Risikocheckliste (M07) aufgeführten Punkte wurden vom WI vollumfänglich bestätigt. Als erfolgskritischste Punkte wurden hier insbesondere die hohe Erwartungshaltung vonseiten der Fachabteilung, eine unabdingbar notwendige, gute Zusammenarbeit zwischen WI und Experte(n) sowie eine geeignete, auf die Problemstellung abgestimmte Standardlösung als Basistechnologie genannt. Im Zusammenhang mit der erwähnten Grundvoraussetzung einer guten Verständigung zwischen WI und Experten wurde insbesondere die hierfür sehr förderliche Methode der matrixbasierten Wissenserfassung hervorgehoben.

Abb. 7-1: Amortisationszeiten für das Grundwerkzeug und das Handlingmodul



7.2 Phase II: Wissenserhebung und Wissensformalisierung

S2.1: Erfassen und Klassifizieren der Komponenten und CAD-Modelle

Mithilfe des *Komponenten&Struktur-Moduls* gestaltete sich die Erfassung der einzelnen Komponenten recht einfach und ging zügig von statten. Im ersten Schritt wurden primär bekannte Komponenten aus existierenden, bereits erstellten Stücklisten erfasst. Durch die fortlaufende Nummerierung mit einer eigenen Komponenten-ID (Cxx) ist die Reihenfolge der Erfassung unerheblich. Dies wird später durch die Strukturcodes gesteuert. Die Erfahrung zeigte, dass eine sofortige Klassifizierung der Komponenten möglich und von Vorteil sein kann. Insbesondere Standardteile konnten vom Experten als solche gleich gekennzeichnet werden. Zusammen mit der CAD-Dokument-ID und der Materialnummer (mit einem entsprechenden Link auf das PDM-System) sind Standardteile rasch übersichtlich verwaltet. Neuteile, wie bspw. im Grundwerkzeug die Grund-, Rahmen- und Abstreiferplatte, sind neben der Klassifizierung auch durch die fehlenden bzw. „speziellen" CAD-Dokument-IDs und Materialnummern leicht als solche zu identifizieren (Abb. 7-2). Mit „speziell" ist hier eine sehr einfache, aber nützliche Funktion gemeint, bei der für Neuteile ein Verweis (Link) auf eine bereits realisierte, ausgelegte Komponente mit dem Präfix „Bsp_" eingefügt wird. Das CAD-Modell verschafft bspw. einen schnellen Überblick über das auszulegende Bauteil und kann später als Grundlage für den parametrischen Platzhalter im Mastermodell herangezogen werden. Ein Vorteil dieser Komponentenerfassungsform ergab sich auch aus einer Iteration zwischen Produktstrukturbildung (S2.4) und der Komponentenklassifizierung. Insbesondere bei der Einordnung „Bauteil (BT), Baugruppe (BG) oder logisches Element (LE)" sind Überlegungen zur Produktstruktur bzw. eine visuelle Darstellung von Vorteil. Das Konzept einer parallelen Anordnung der Strukturcodes ermöglicht und fördert diese Arbeitsweise. Nach Abschluss dieses Bearbeitungsschrittes waren das Grundwerkzeug mit 32 und das Handlingmodul mit 15 Komponenten repräsentiert.

Abb. 7-2: Erfassen und Klassifizieren der Komponenten und CAD-Modelle am Beispiel „Grundwerkzeug“

Komponenten Name	Komponenten ID	CAD DocId.	Material Nr.	Element-Typ	Element-	Element-Art	Varianten-Typ	Element-Anz.	Relevanz
Werkzeug_Komplett	C001			BG	M	N	E	1	R
Werkzeugunterteil	C002			BG	M	N	E	1	R
Grundplatte	C003			BT	M	N	E	1	R
Rahmenplatte	C004			BT	M	N	E	1	R
Abstreiferplatte	C005	Bsp_BAU00022918420		BT	O	N	E	1	R
Stangenaufnahmen	C006	BAU0003013564	1414783	BT	O	S	Vt	0;4;6	R
Stangen	C007	BAU0002968610	5115075	BT	O	S	E	0;2;3	R
Abheber	C008	BAU0003013917	1066432	BT	O	S	E	0;4;6	R

S2.2: Aufbereiten der Varianten

Für alle in S2.1 als Varianten klassifizierten Komponenten wurden mithilfe des *Varianten-Moduls* die Variantentabellen mit den entsprechenden Sachmerkmalen erstellt und alle Ausprägungen ermittelt. Für das Grundwerkzeug waren dies Tabellen für Stangenaufnahmen (36 Typen), Distanzscheiben (91 Typen), Griffe (3 Typen) und Schrauben (21 Typen). Das Handlingmodul benötigte Variantentabellen für die Vertikal- und Horizontalachsen (14/20 Typen) sowie für die Greifer (6 Typen). Abb. 7-3 zeigt die Aufbereitung der Variantentabelle für die Horizontalachsen im Handlingmodul. Als Sachmerkmale sind der ausführbare Hub der Achse, der Achstyp (Achsfamilie), die Antriebsart (pneumatisch oder elektrisch), die Möglichkeit des Anfahrens einer Zwischenposition sowie die maximale Nutzlast (in kg) erfasst. An diesem Beispiel hat sich gezeigt, dass im Verlauf der Assistenzentwicklung auch weitere, notwendige Sachmerkmale hinzugefügt werden mussten. Im erwähnten Beispiel waren dies Abstandswerte für die Befestigung (Positionierung) der Horizontalachse am Steher des Grundaufbaus sowie Werte für die Positionierung der Vertikalachse am Schlitten der Horizontalachse. Durch die eigenständige Verwaltung der Varianten ist dies jederzeit möglich und bestätigt den konzeptionellen Ansatz.

Abb. 7-3: Aufbereiten der Varianten am Beispiel der Horizontalachsen im Handlingmodul

Y:\Projects\ES_Archiv\CAPE	22.03.2011, 13:43:25		Hub_var	Ausw_HOZTyp_var	Antriebsart_var	boolean	int	float	float	float
Name	**Description**	**Class**	**Hub**	**Ausw_Achse_HOZ**	**Antriebsart**	**Zwischenpos**	**Nutzlast**	***Abst_Oben***	***Abst_Vorne***	***Abst_Obe***
AMP2_HUB125	AMP-2 HUB 125	HOZ_var	125	AMP2	pneumatisch	unspecified	12	*808.22*	*279*	*107.5*
AMP2_HUB160	AMP-2 HUB 160	HOZ_var	160	AMP2	pneumatisch	unspecified	12	*808.22*	*297*	*107.5*
AMP2_HUB260_Bandzyl	AMP-2 HUB 260 mit Bandzyl	HOZ_var	260	AMP2	pneumatisch	unspecified	12	*808.22*	*347*	*107.5*
AMP2_HUB510_Bandzyl	AMP-2 HUB 510 mit Bandzyl	HOZ_var	510	AMP2	pneumatisch	unspecified	12	*808.22*	*472*	*107.5*
ADE1_HUB300	ADE-1 HUB 300	HOZ_var	300	ADE1	elektrisch	unspecified	35	*783.72*	*305.8*	*79.5*
ADE1_HUB400	ADE-1 HUB 400	HOZ_var	400	ADE1	elektrisch	unspecified	35	*783.72*	*352.8*	*79.5*
ADE4_HUB200	ADE-4 HUB 200	HOZ_var	200	ADE4	elektrisch	unspecified	6	*783.97*	*321*	*47.5*
ADE4_HUB300	ADE-4 HUB 300	HOZ_var	300	ADE4	elektrisch	unspecified	6	*783.97*	*371*	*47.5*
ADE4_HUB400	ADE-4 HUB 400	HOZ_var	400	ADE4	elektrisch	unspecified	6	*783.97*	*421*	*47.5*

Auch das Erweitern der Tabelle um zusätzliche Varianten ist jederzeit sehr einfach möglich und bildet die Grundlage für die spätere Wartung und Pflege im Betrieb. Dabei spielt das

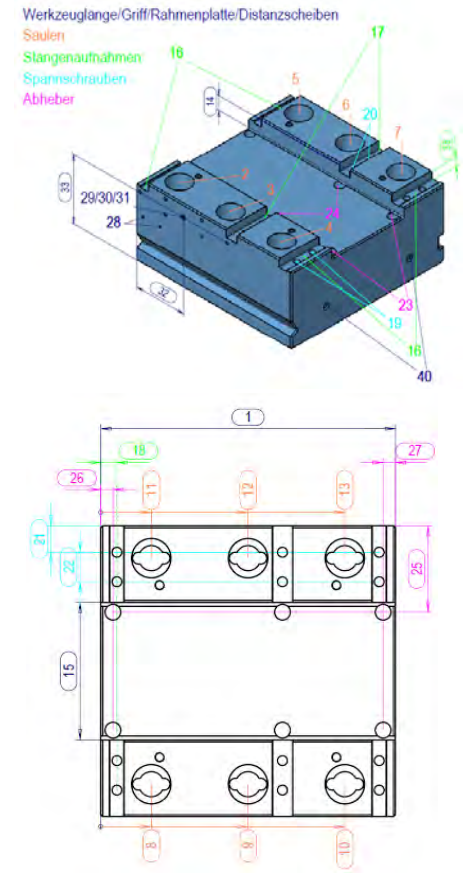
Zusammenspiel mit einem eventuell vorhandenen PDM-System eine wichtige Rolle. Hierauf wird in Schritt S4.3 noch gesondert eingegangen. Am Ende dieses Bearbeitungsschrittes wurden die Sachmerkmale vom System in die Spezifikationen übernommen und standen damit in der Folge zur Bildung von Regelausdrücken zur Verfügung.

S2.3: Spezifikation der Neuteile

Beide Fallbeispiele enthalten Bauteile, die während des Konfigurations- und Auslegungsvorganges neu entstehen. Beim Handlingmodul ist dies die Flanschplatte, beim Grundwerkzeug die Grund-, Rahmen-, Abstreifer-, Stempelhalte-, Zwischen- und Kopfplatte sowie in Sonderfällen die Distanzscheiben. Die Spezifikationen dafür werden im Spezifikations-Modul angelegt und verwaltet. Die Praxisumsetzung hat gezeigt, dass auf Anhieb die vollständige Beschreibung eines Neuteiles nur selten gelingt. Vielfach werden zusätzliche Attribute im Zuge der Regelbildung benötigt. So können bspw. „boolean-Attribute" sehr gut zur Ansteuerung von Ja/Nein-Entscheidungen für das ganze Bauteil oder für Teilgeometrien (Features) eingesetzt werden.

Abb. 7-4: Spezifikation eines Neuteiles am Beispiel der Grundplatte im Grundwerkzeug

Komponenten Name	Komponenten ID
Grundplatte	C003



Attribut Name	Datentyp	Min-Wert	Max-Wert	Maß-Ref
Werkzeuglaenge	float	100	500	1
Bohr_Saeule_1v	boolean	0	1	2
Bohr_Saeule_2v	boolean	0	1	3
Bohr_Saeule_3v	boolean	0	1	4
Bohr_Saeule_1h	boolean	0	1	5
Bohr_Saeule_2h	boolean	0	1	6
Bohr_Saeule_3h	boolean	0	1	7
Bohr_Saeule1v_PosX	float	10	500	8
Bohr_Saeule2v_PosX	float	10	500	9
Bohr_Saeule3v_PosX	float	10	500	10
Bohr_Saeule1h_PosX	float	10	500	11
Bohr_Saeule2h_PosX	float	10	500	12
Bohr_Saeule3h_PosX	float	10	500	13
Ausn_Rahmenplatte_Hoehe	float	10	50	14
Ausn_Rahmenplatte_Breite	float	50	200	15
Ausn_Stangenaufnahme_Aussen	boolean	0	1	16
Ausn_Stangenaufnahme_Mitte	boolean	0	1	17
Ausn_Stangenaufnahme_PosX	float	5	500	18
Bohr_Spannschrauben_Aussen	boolean	0	1	19
Bohr_Spannschrauben_Mitte	boolean	0	1	20
Bohr_Spannschrauben_PosZ	float	5	500	21
Bohr_Spannschrauben_AbstandZ	float	5	500	22
Bohr_Abheber_Aussen	boolean	0	1	23
Bohr_Abheber_Mitte	boolean	0	1	24
Bohr_Abheber_PosZ	float	0	100	25
Bohr_Abheber_PosX_Einlauf	float	0	100	26
Bohr_Abheber_PosX_Auslauf	float	0	100	27
Bohr_Kennschild	boolean	0	1	28
Bohr_Griff_klein	boolean	0	1	29
Bohr_Griff_mittel	boolean	0	1	30
Bohr_Griff_gross	boolean	0	1	31
Bohr_Griff_PosX	float	30	500	32
Bohr_Griff_PosY	float	10	70	33
Ausn_Federdeckel_Aussen	boolean	0	1	34
Ausn_Federdeckel_Mitte	boolean	0	1	35
Bohr_DIN912M6x16_Aussen	boolean	0	1	36
Bohr_DIN912M6x16_Mitte	boolean	0	1	37
Ausn_Stangenaufnahme_Hoehe	float	6	25	38
Bohr_Distanz_Einlaufseite	boolean	0	1	39
Bohr_Distanz_Auslaufseite	boolean	0	1	40

Nachträge tun der Methode bzw. dem Vorgehen an dieser Stelle keinen Abbruch. Bei Modifikationen und Ergänzungen der Attributlisten müssen einzig die Komponenten in den Matri-

zen aktualisiert werden, was durch eine entsprechende Funktion in WEFA berücksichtigt wurde. Auch hat sich gezeigt, dass die Anzahl der Attribute eine beträchtliche Größenordnung annehmen kann. So sind bspw. zur vollständigen Beschreibung der Grundplatte 40 Attribute notwendig. Abb. 7-4 dokumentiert die Spezifikation der Grundplatte im Grundwerkzeug. Jedes Attribut ist mit Name, Datentyp sowie Minimal- und Maximalwert spezifiziert. Der Vorteil eines Parameterbildes mit einer Nummerierung der Maßreferenzen lässt sich anhand dieses Beispiels gut demonstrieren.

S2.4: Entwickeln der variablen Produktstruktur

Mithilfe des Strukturcode-Schemas (Methode M14i) wurde eine Strukturierung der Komponentenliste vorgenommen und damit die variable Produktstruktur festgelegt. Hierfür wurden im *Komponenten&Struktur-Modul* in der Spalte *„DSMgen Struktur"* entsprechende Einträge eingepflegt. Diese Strukturen bilden die Grundlage zur Erstellung der ersten Wissenserfassungs-Matrix (DSMgen) und repräsentieren die variable Produktstückliste bzw. Variantenstückliste. Die Struktur (Stückliste) einer bestimmten Variantenausprägung muss der geforderten Konstruktionsstückliste entsprechen.

Die visuelle, baumartige Darstellung (Abb. 7-5 rechts) erwies sich laut WI als äußerst hilfreich und hat die Arbeit ungemein erleichtert. So kann bspw. sofort die Richtigkeit überprüft werden (Stimmt die Ebene? Stimmt der übergeordnete Knoten?). Auch Vergleiche mit bestehenden Stücklisten sind damit einfacher durchzuführen. Etwas schwieriger gestaltete sich die Festlegung von logischen Knoten bzw. Strukturvarianten. So ist bspw. der Griff beim Grundwerkzeug einerseits eine Strukturvariante, bei der der Bügelgriff fix ist und die Bügelhalteplatte sowie die Anzahl der Befestigungsschrauben variieren. Andererseits ist der Griff auch ein Variantenplatzhalter (LE - logisches Element), der den Griff als „Ganzes" repräsentiert.

Abb. 7-5: Entwicklung der Produktstruktur (DSMgen Struktur) mithilfe der Strukturcodes (Gxxxx) am Beispiel „Handlingmodul"

Komponenten Name	Komponenten ID	CAD DocId.	Material Nr.	Element-TyBT	Element-Vorkommen	Element-Art	Varianten-Typ	Element-Anz.	Relevanz	DSMgen Struktur	Mastermodell Struktur	DSMrel Struktur	PKA-Applikations Struktur
Handlingmodul	C00			BG	M	N	Vs	1	R	G000000	M0000	R0000	T0000
Horizontalachse	C03			LE	M	S	Vt	1	R	G030000	M0100	R0100	T0100
AMP2	C07	BSP_BAU0017202970	BSP_5356225	BG	O	S	Vt	0;1	R	G030100			
AME1	C08	BSP_BAU0012396104	BSP_5968039	BG	O	S	Vt	0;1	R	G030200			
ADE1	C09	BSP_BAU0017678614	BSP_6002787	BG	O	S	Vt	0;1	R	G030300			
ADE4	C10	BSP_BAU0017491389	BSP_7007965	BG	O	S	Vt	0;1	R	G030400			
AMP5	C11	BSP_BAU0017457394	BSP_4693864	BG	O	S	Vt	0;1	R	G030500			
Vertikalachse	C04			LE	M	S	Vt	1	R	G040000	M0200	R0200	T0200
ADP5	C12	BSP_BAU0003358546	BSP_1683912	BG	O	S	Vt	0;1	R	G040100			
AMP4	C13	BSP_BAU0014543070	BSP_4622949	BG	O	S	Vt	0;1	R	G040200			
AMP3	C14	BSP_BAU0011814393	BSP_4986041	BG	O	S	Vt	0;1	R	G040300			
AMP8	C15	BSP_BAU0018514766	BSP_7280979	BG	O	S	Vt	0;1	R	G040400			
Greifer	C05	BSP_BAU0011589196	BSP_4864295	BG	M	S	Vt	1	R	G050000	M0300	R0300	T0300
Flanschplatte	C06	BSP_BAU0004193584	BSP_8952110	BT	O	N	E	0;1	R	G060000	M0400	R0400	T0400

DSMgen Struktur	TCX	
Handlingmodul		
	Horizontalachse	
		AMP2
		AME1
		ADE1
		ADE4
		AMP5
	Vertikalachse	
		ADP5
		AMP4
		AMP3
		AMP8
	Greifer	
	Flanschplatte	

Im Grundwerkzeug wurde der Griff bei diesem Schritt als Variantenplatzhalter in die Struktur aufgenommen[1]. Beim Handlingmodul (Abb. 7-5) wurde mit der Horizontal- und Vertikalachse auf Wunsch des Konstrukteurs jeweils auch ein logischer Knoten eingefügt (C03, C04), um die unterschiedlichen Achstypen aufzuführen bzw. kenntlich zu machen. Zu diesem Zeitpunkt herrschte die Meinung vor, auf diese Weise könnten die verschiedenen Verarbeitungsregeln übersichtlicher definiert werden. Die unterschiedliche Herangehensweise bei den beiden Fallbeispielen belegte, dass bei diesem Schritt eine von Fall zu Fall differenzierte Sichtweise denkbar ist und den Ablauf nicht behindert.

S2.5: Spezifikation der Eingabeparameter und Steuergrößen

Ausgangslage zur Spezifikation der Eingabeparameter waren die Vorgaben und Wünsche des Experten, das Produkt durch entsprechende Interaktionen (Eingaben) aufzubauen und zu bestimmen. Im Spezifikations-Modul wurden diese Steuergrößen entsprechend eingepflegt, mit einer fortlaufenden Nummer (IPxx) versehen, durch einen Datentyp bestimmt und mit Min-/Maxwerten vorbelegt. Für das Grundwerkzeug waren hierfür 25, für das Handlingmodul 9 Eingabeparameter erforderlich. Die Erkenntnis aus diesem Bearbeitungsschritt ist die große Abhängigkeit vom Experten. Wie möchte er das Konfigurations- bzw. CAD-Modell steuern? Eine nützliche Hilfestellung war dabei laut Aussage des WI die Methode *„Expertenbefragung Steuergrößen"* (M15), die mithilfe von Leitfragen das Identifizieren und Definieren von Eingabeparametern unterstützt.

S2.6: Erstellen der DSMgen auf Basis der Produktstruktur

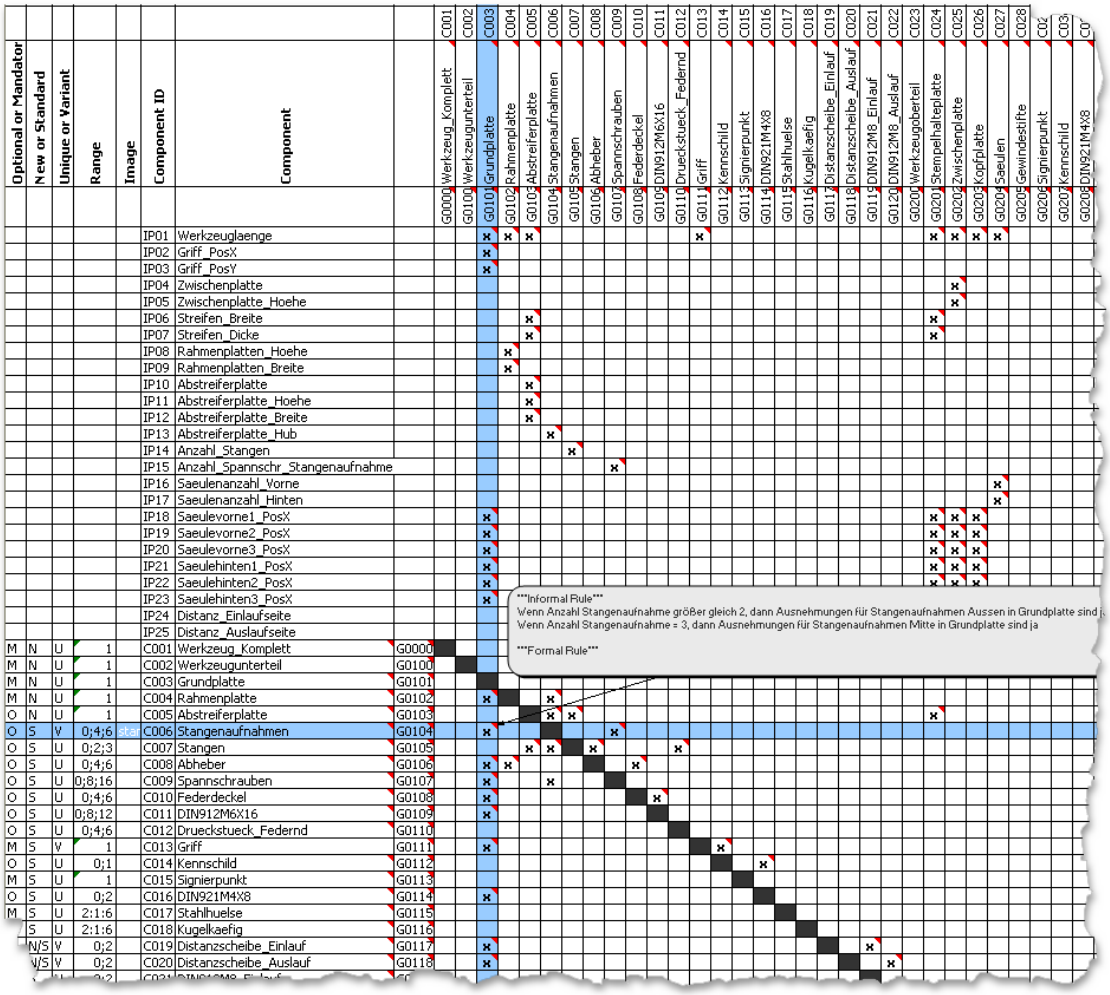
Dieser Schritt gestaltete sich durch eine einmalige Ausführung der Funktion bzw. Methode *„DSMx erzeugen"* (M17i) recht einfach. Das einzig Wichtige dabei war, die richtige Ausgangsstruktur festzulegen. In Schritt S2.6 ist dies die Produktstruktur (DSMgen Struktur), im Unterschied zu S2.9, bei dem die Matrix auf Basis der Konfigurationsstruktur erzeugt wird. Die Auswahl der richtigen Struktur erfolgt im *Komponenten&Struktur-Modul* durch Aktivierung der Strukturvisualisierung/-sortierung. Dies wurde von den Nutzern als praktikabel eingestuft. Existiert bereits eine Matrix (DSMgen) und soll diese neu generiert werden, bspw. weil sich an den Komponenten etwas geändert hat, ist eine vorangehende Sicherung zu empfehlen. Gerade zu Projektbeginn, wenn durch wenig Routine oder fehlende Zeit die Komponenten, Attribute und Strukturen einer starken Änderungsfrequenz unterliegen, kann sich dieser Vorgang des Öfteren wiederholen. Zum Schluss lagen je zwei Matrizen zur Aufnahme von Beziehungswissen zwischen Eingabeparametern und Komponenten sowie zwischen Komponenten untereinander vor. Die Größe der Matrizen wird dabei von der Anzahl der Eingabeparameter und der Anzahl der Komponenten bestimmt. Im Fallbeispiel „Grundwerkzeug" waren dies 56 x 31 Zellenelemente (25 Eingabeparameter + 31 Komponenten = 56 mal 31 Komponenten). Beim Handlingmodul entsprechend 24 x 14 Zellenelemente (10 Eingabeparameter +14 Komponenten = 24 mal 14 Komponenten).

[1] Später sollte sich herausstellen, dass im Zuge der Regeldefinition und Ansteuerung des Mastermodells die Griffe nicht mehr als Varianten, sondern als einzelne Komponenten behandelt werden mussten.

S2.7: Erfassen der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln

Mit Unterstützung der erstellten Matrizen (DSMgen) startete der intensive Dialog mit dem Experten. Ziel dieses Bearbeitungsschrittes war die informelle Erfassung von Beziehungswissen zwischen den Matrixelementen. Auf den ersten Blick erschienen vor allem die 1736 (56x31) möglichen Zellen beim Grundwerkzeug eine enorme Herausforderung zu sein (Abb. 7-6). Im Fallbeispiel Handlingmodul war die Aufgabe mit 336 (24x14) etwas überschaubarer. Durch eine geführte Systematik mit verschiedenen Schwerpunkten und Eingrenzungen konnten die Vorteile der Methode aber rasch genutzt und unter Beweis gestellt werden. Ein bewährtes Vorgehen dabei war, die Betrachtung vorerst auf den oberen Teil der Matrix mit den Beziehungen „Eingabeparameter zu Komponenten" zu richten.

Abb. 7-6: Wissenserfassungsmatrix DSMgen am Beispiel „Grundwerkzeug"



Die Erfassung einer Beziehung („befüllen" einer Zelle) kann grundsätzlich sehr individuell ablaufen. In der einen Situation war es hilfreich, durch ein rasches, einfaches Kennzeichnen der Zelle mit einem „x" einen schnellen Überblick über die vorhandenen Beziehungen zu bekommen. In einem anderen Fall war es zweckmäßiger, eine Detaildiskussion bzw. Erklä-

rung des Experten an der entsprechenden Stelle sofort festzuhalten. Die Methode unterstützt beide Vorgehensweisen gleichermaßen.

Von den involvierten Mitarbeitern (WI, Experten) wurde im Besonderen „der zentrale Überblick an einer Stelle" hervorgehoben, der durch die Zellenkennzeichnungen („x") bewirkt wird. Mittels „Mouseover" (Kommentarfunktion) kann der Detailinhalt einer Zelle sehr einfach angezeigt werden. Abb. 7-6 demonstriert dies für die Beziehung Stangenaufnahme (C006) zu Grundplatte (C003). Angezeigt werden die, für diesen Schritt maßgebenden, informellen Beschreibungen (Informal Rule). Auch die Aktivierung einer Zellenbearbeitung per „Doppelklick" wurde als sehr intuitiv und benutzergerecht eingestuft. Eine wertvolle Erkenntnis war u. a. die Einschätzung der beiden Experten (Grundwerkzeug, Handlingmodul), bei künftigen Projekten diesen Schritt durchaus auch selbstständig durchführen zu können. Dem entgegen spricht allerdings der Lerneffekt für den WI, der in diesem Prozess durch einen interaktiven Dialog mit dem Experten sehr viel Problemverständnis für die spätere Formalisierung und Implementierung mitnehmen kann.

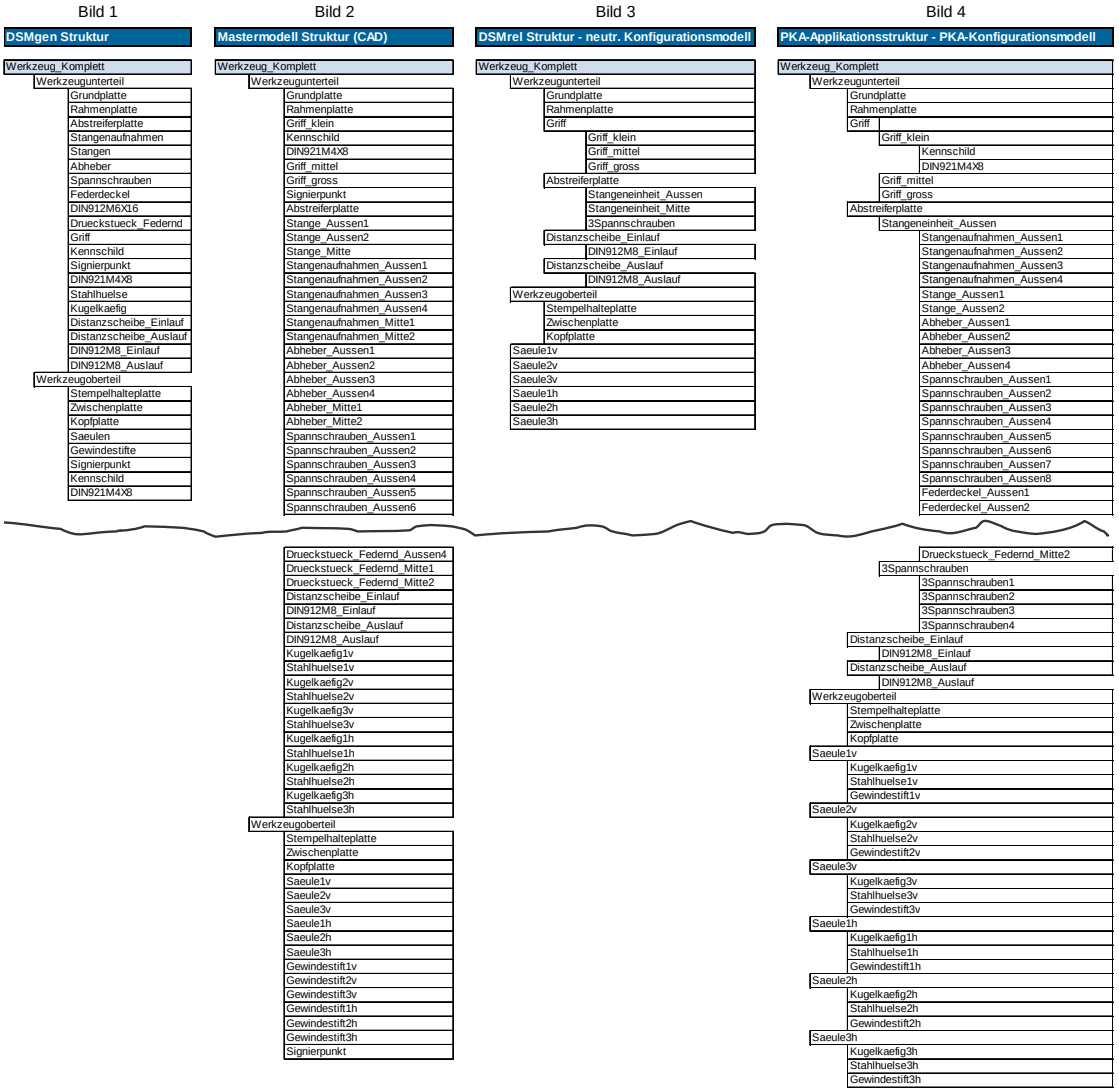
S2.8: Entwickeln der variablen Strukturen für das Master- und Konfigurationsmodell

Für das gesamte Erstellungsprozedere ist dieser Schritt von zentraler Bedeutung. Hier werden die Strukturen bzw. Modelle für die spätere PKA-AP festgelegt. Konkret handelt es sich dabei um die Struktur für das *CAD-Mastermodell*, die Struktur für das *Konfigurationsmodell der PKA-AP* sowie die Struktur für das *neutrale (systemunabhängige) Konfigurationsmodell*. Letzteres wird für die Bildung der relevanten Wissensmatrix (DSMrel) verwendet, die im Folgeschritt (S2.9) mit formalen Regeln befüllt werden soll. Die aus den Erfahrungen durch Rückwärtsschreiten konzipierte Vorgehensmethode mit WEFA-Unterstützung ermöglichte ein adäquates Entwickeln der erforderlichen Strukturen. Wichtigster Punkt dabei war der parallele Aufbau des CAD-Mastermodells und der Struktur für die PKA-AP. Erst nach Festlegung dieser Strukturen kann der Aufbau des neutralen Konfigurationsmodells definiert werden. Von den Anwendern wurde hier das einfache, aber effektive Konzept der raschen Visualisierung der unterschiedlichen Strukturen hervorgehoben.

Speziell beim Grundwerkzeug wichen die Strukturen teilweise erheblich voneinander ab und unterstrichen die Notwendigkeit einer guten, parallelen Handhabung. Abb. 7-7 veranschaulicht diese Situation durch eine parallele Anordnung der vier notwendigen Produktstruktursichten des Grundwerkzeuges. Ganz links (Abb. 7-7: Bild 1) ist die sogenannte *DSMgen Struktur* dargestellt. Hierbei handelt es sich um die bei Schritt S2.6 erstellte, erste, expertengetriebene Produktstruktur, mit deren Hilfe die informelle Wissenserfassung erfolgt. Mit zwei Hauptknoten (Werkzeugunterteil, Werkzeugoberteil) ist der Aufbau relativ flach. Dies ist, wie bereits oben erwähnt, eine Vorgabe der Konstruktionsstückliste. Das *CAD-Mastermodell (*Bild 2) weist dieselbe Strukturierung auf. Auch dies ist eine Vorgabe aus der Konstruktion, da man aus Gründen der Stücklistenableitung (Generierung einer Stückliste aus der CAD-Struktur) möglichst einen identischen Aufbau anstrebt. Allerdings sind bedeutend mehr Komponenten enthalten. Dies resultiert aus der Erfordernis, dass gleiche Komponenten, die mehrfach verbaut sind, regelbedingt unterschiedlich angesteuert werden müssen. Als Beispiel können hier die Säulen und Stangenaufnahmen mit allen dafür notwendigen Bauteilen genannt werden. Je nach Breite des Werkzeuges und Stanzsituation sind mehrere

Führungssäulen mit bestimmten Positionsbedingungen vorgesehen. Ebenso verhält es sich mit den Stangenaufnahmen. Nachdem die Komponenten vorne und hinten nicht immer symmetrisch verbaut werden, muss auch dies durch eine Separierung Berücksichtigung finden. Aufgrund dieses Umstandes entstehen die vielen zusätzlichen Elemente in der Struktur.

Abb. 7-7: Vergleich der vier unterschiedlichen Produktstrukturen am Beispiel „Grundwerkzeug"



Das Pendant zum CAD-Mastermodell ist die Struktur des *PKA-Konfigurationsmodells* (Bild 4). Was die Elemente betrifft, sind die beiden Modelle weitestgehend ident.[1] Für jede konfigurationsrelevante Komponente (Geometrie) im CAD-Mastermodell existiert ein Element im PKA-Konfigurationsmodell. Die Struktur ist allerdings eine komplett andere. Für den Strukturauf-

[1] Das CAD-Mastermodell kann zusätzlich nicht-konfigurationsrelevante Geometrien enthalten. Das PKA-Konfigurationsmodell kann wiederum zusätzliche, im Mastermodell nicht existierende logische Knoten aufweisen.

bau des PKA-Konfigurationsmodells sind dem WI nahezu alle Freiheiten überlassen. Hier kommt es im Wesentlichen auf geschickte Zusammenfassungen von Einheiten an, die aufgrund von Abhängigkeiten (Regeln) gemeinsam und auf einfache Weise angesteuert werden sollen. So gehören bspw. zu jeder der möglichen sechs Säulen je ein Kugelkäfig, eine Stahlhülse und ein Gewindestift. Ein anderes Beispiel sind die von der Abstreiferplatte abhängigen Stangeneinheiten. Für diesen Fall sind die Außenpositionen immer vorhanden. Dementsprechend bringt eine logische Zusammenfassung aller beteiligten Komponenten wie Stangen, Stangenaufnahmen, Abheber etc. große Vorteile bei der Ansteuerung.

In einem dritten Teilschritt wird die DSMrel-Struktur (Struktur für das systemunabhängige Konfigurationsmodell) erstellt. Die genannten logischen Zusammenfassungen in der PKA-Applikationsstruktur finden in der DSMrel-Struktur in Form von Platzhalter- bzw. logischen Elementen statt. Hiermit wird die Elementsanzahl beträchtlich reduziert und damit die Regelerfassungsmatrix vereinfacht. Dies ist der Hauptzweck der DSMrel-Struktur. Recht eindrücklich ist dies in Abb. 7-7 (Bild 3) ersichtlich. Für die Regelerfassung im Zusammenhang mit den Stangeneinheiten (Außen und Mitte) und den Spannschrauben kann auf die jeweiligen Strukturzweige verzichtet werden, ebenso für die einzelnen Säulen. Alle Regeln werden den Platzhalterelementen zugeordnet und später automatisch an die logischen Zusammenfassungen im PKA-Konfigurationsmodell übertragen.

S2.9: Erstellen der DSMrel auf Basis der (systemneutralen) Konfigurationsstruktur

Mithilfe der Funktion M17i konnte die DSMrel ohne Probleme aufgebaut werden. Im Unterschied zur DSMgen reduzierte sich die Komponentenanzahl beim Grundwerkzeug von 31 auf 26 und beim Handlingmodul von 13 auf 4. Gründe hierfür sind, wie bereits oben erläutert, unterschiedliche (logische) Zusammenfassungen der Komponenten. Insbesondere beim Handlingmodul waren für die Regelerfassung mit den Platzhaltern „*Horizontalachse*, *Vertikalachse*, *Greifer* und *Flanschplatte*“ erheblich weniger Elemente in der Matrix erforderlich. Die Übernahme der in Schritt S2.7 informell erfassten Regeln funktionierte wie vorgesehen. Durch die veränderten Matrizen konnten nicht alle Regeln automatisch übernommen werden. Mithilfe der Kennzeichnung in der WB wurden diese händisch auf äquivalente Zellkombinationen übertragen. Im Grundwerkzeug wurden so bspw. alle informellen Regeln in Bezug auf die *Stangenaufnahmen*, *Stangen* und *Abheber* auf die entsprechenden Zellen der *Stangeneinheit* übertragen (kopiert). Diese Arbeitsweise ist laut WI praktikabel, wenn auch fallweise etwas zeitaufwändig, da die inhaltliche Äquivalenz (stimmen die Regeln auch für die neue Elementskombination?) genau geprüft werden muss.

S2.10: Formalisieren der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln

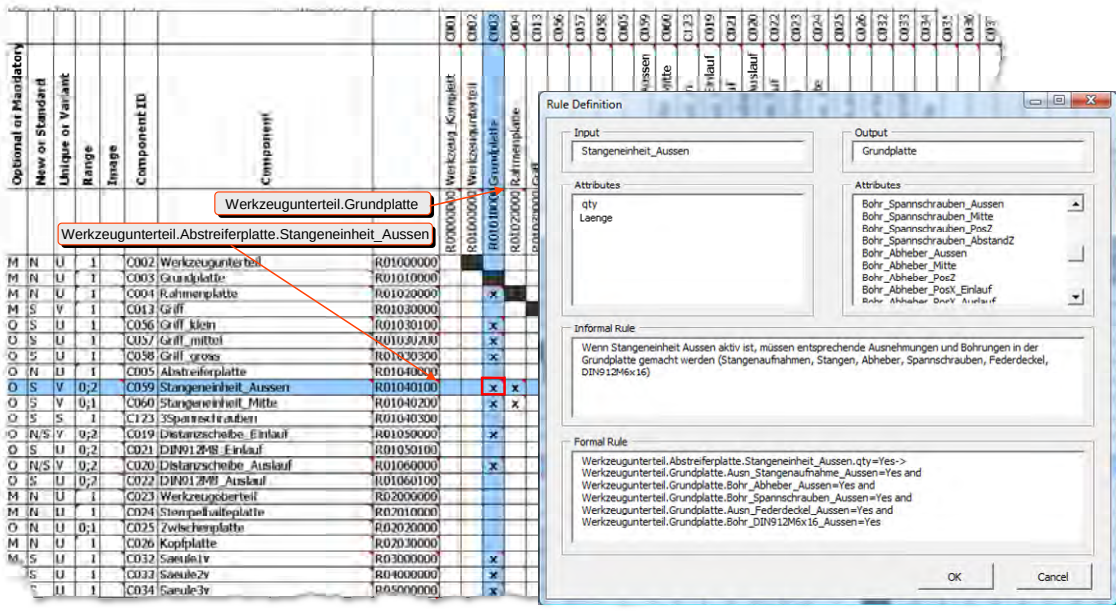
Eine erste und wichtige Aufgabe war die neuerliche, systematische Prüfung aller bis dato definierten Regeln. In beiden Fallbeispielen ergaben sich zwischen DSMgen- und DSMrel-Inhalten einige Unterschiede. Die weggefallenen Komponenten wurden bereits im Vorgängerschritt S2.9 überprüft. Beim Grundwerkzeug waren auch neue Komponenten hinzugekommen, die ergänzende bzw. gesplittete Regeldefinitionen erforderten. So wurde bspw. der Variantenplatzhalter „*Griff*“ in der DSMgen infolge einer verbesserten CAD-Ansteuerung in drei spezifische Komponenten (*Griff_klein, Griff_mittel, Griff_groß*) aufgelöst. Nachdem

der Knoten „Griff“ in der DSMrel-Struktur aus organisatorischen Gründen weiterhin existiert, wurde der informelle Inhalt automatisch und ohne besondere Kennzeichnung (da weiterhin vorhanden) in Schritt S2.9 übertragen. Die für alle drei Griffvarianten zusammengefassten Regeln mussten deshalb auf die einzelnen Griffe aufgeteilt (gesplittet) werden.

Mithilfe der Funktion M18i (Regelerfassung) wurden anschließend die formalen Notationen gebildet. Mit der Regelsyntax der PKA-AP war der WI aus den Vorgängerprojekten bereits vertraut, was eine zügige Arbeitsweise ermöglichte. Positiv hervorgehoben wurde die gleichzeitige Visualisierung der informellen Regeln. Als sehr hilfreich und komfortabel erwies sich der direkte Zugriff auf die Elementsattribute. Bedingt durch den Umstand, dass aus Gründen der Übersichtlichkeit im PKA-Konfigurationsmodell alle Regeln auf oberster Ebene angeordnet werden, mussten die Variablen um die jeweilige Komponentenstruktur ergänzt werden.

Abb. 7-8 zeigt ein Beispiel einer formalen Regeldefinition im Grundwerkzeug. Die *Stangeneinheit_Aussen* bewirkt dabei verschiedene Ausnehmungen und Bohrungen in der *Grundplatte* (siehe Eingabefeld „Informal Rule“). Die Komponentenstruktur zur vollständigen Variablendefinition wird mithilfe der Strukturcodes automatisch gebildet (siehe Kommentarfunktion bei R01040100). Die *Stangeneinheit_Aussen* ist in der DSMrel-Struktur der *Abstreiferplatte* zugeordnet. Diese wiederum dem Knoten *Werkzeugunterteil*. Zur Steuerung der optionalen *Stangeneinheit_Aussen* dient das Attribut *qty* (Quantity). Der formale Regelausdruck beginnt dementsprechend mit der Abfrage:
„Wenn *Werkzeugunterteil.Abstreiferplatte.Stangeneinheit_Aussen.qty = Yes*, dann ...“. Mit den Attributen der *Grundplatte* wurde in gleicher Weise verfahren.

Abb. 7-8: Definition der formalen Regeln in der DSMrel am Beispiel „Grundwerkzeug“ (Stangeneinheit_Aussen bewirkt versch. Ausnehmungen in der Grundplatte)

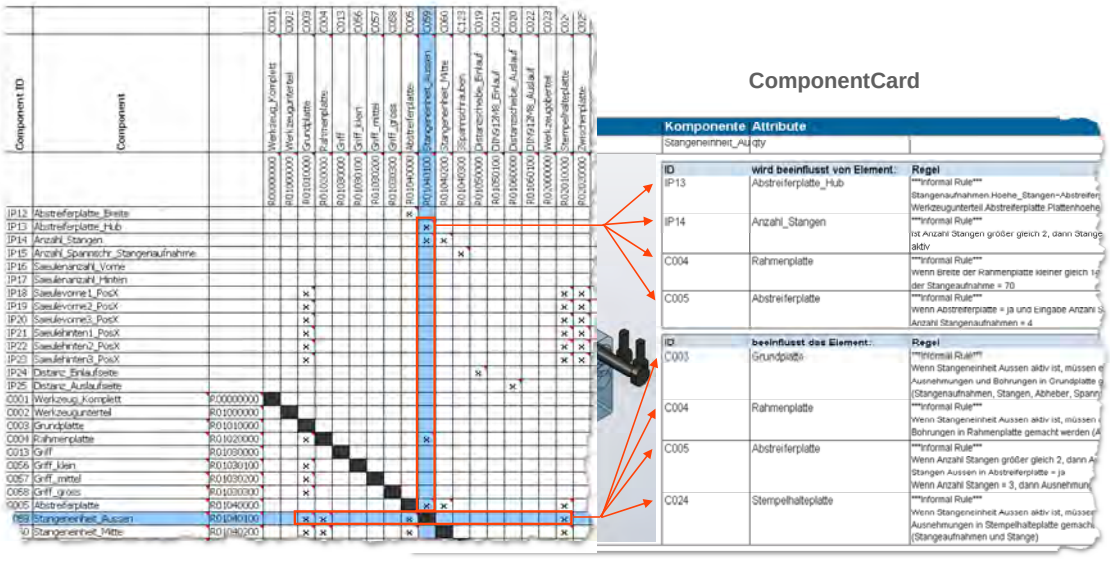


S2.11: Ausleitungen für die Dokumentation und den PKA-Applikationsgenerator

Zur Übernahme des WEFA-Konfigurationsmodells in den PKA-Applikationsgenerator wurden mithilfe der Funktion M20i eine XML-Datei für das Modell und je eine Datei für die Variantentabellen erzeugt. Hiermit wurde gleichzeitig auch die WB der PKA-AP angelegt.

Mit der Funktion M21i wurde pro Komponenten eine ComponentCard erzeugt. Dies ist der exemplarisch umgesetzte Teil der Referenzdokumentation. Abb. 7-9 zeigt dies für die im Vorgängerschritt diskutierte Komponente *Stangeneinheit_Aussen*. Aus der DSMrel werden alle Elemente aufgelistet, die die *Stangeneinheit_Aussen* beeinflussen (vertikale Sicht) sowie alle Elemente, die von dieser beeinflusst werden (horizontale Sicht). Bei den beeinflussenden Elementen sind auch zwei Eingabe- bzw. Inputparameter beinhaltet (IP13: *Abstreiferplatte_Hub*, IP14: *Anzahl_Stangen*). Obwohl bereits in der Matrix erkennbar (Symmetrie zur Diagonalen), zeigt die ComponentCard in übersichtlicher Form eine Wechselbeziehung der *Stangeneinheit_Aussen* mit den Komponenten C004 (Rahmenplatte) und C005 (Abstreiferplatte). Wechselbeziehungen (auch bidirektionale Beziehungen genannt) erhöhen die Komplexität eines Systems und bedürfen einer erhöhten Aufmerksamkeit. Im vorliegenden Beispiel führte eine neuerliche Kurzkontrolle zur Behebung eines Fehlers. Die richtige Wechselbeziehung lautet: Die Breite der *Rahmenplatte* beeinflusst die Länge der *Stangenaufnahmen* in der *Stangeneinheit_Aussen*. Die *Stangenaufnahmen* in der *Stangeneinheit_Aussen* wirken wiederum auf bestimmte Bohrungen in der *Rahmenplatte*.

Abb. 7-9: Erstellung einer Zusammenfassung (ComponentCard) pro Komponente am Beispiel „Stangeneinheit_Aussen"



7.3 Phase III: Implementierung

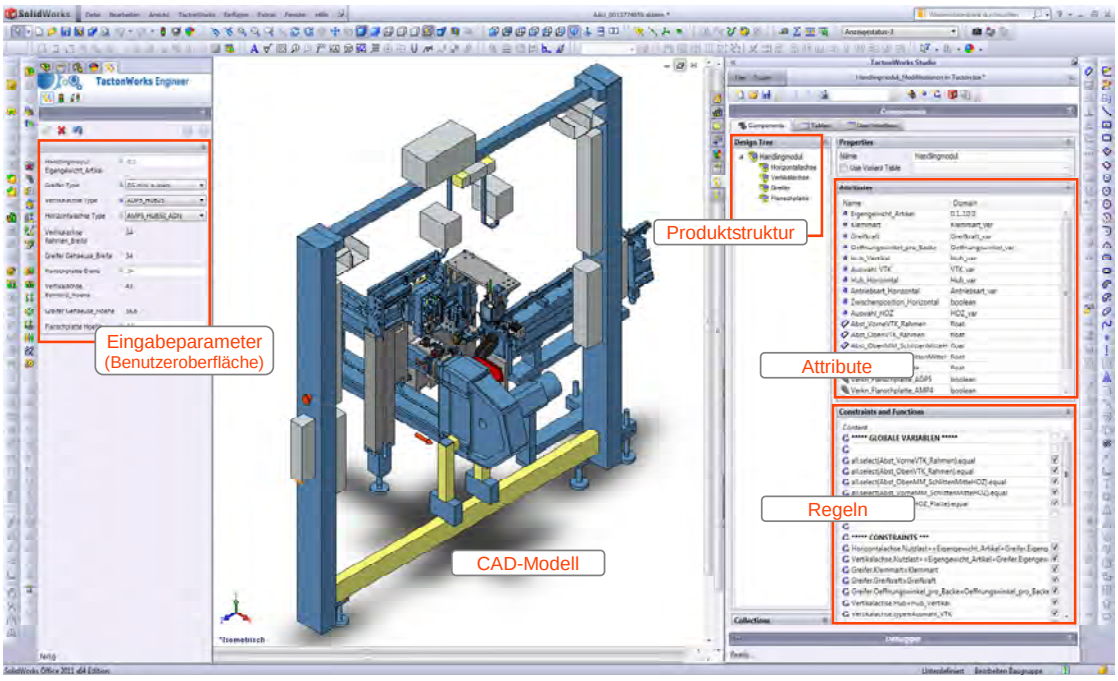
S3.1 (optional): Auswahl einer Standardlösung und Gesamtkonzeption

Die Auswahl einer Standardlösung war für die Validierung nicht relevant (da bereits vorgegeben). An dieser Stelle sei nochmals auf den Kriterienkatalog (M05) und die Applikationstypisierung (Anhang A1) der vorliegenden PKA-AP hingewiesen.

S3.2: Anlegen des Konfigurationsmodells und Verknüpfung mit Mastermodell

Das Einlesen der in Schritt S2.11 ausgeleiteten bzw. angelegten WB-Dateien erzeugte für beide Fallbeispiele ein funktionstüchtiges Konfigurationsmodell. Fallweise vorhandene Regel-Syntaxfehler (insb. zu Beginn der Testzyklen) wurden vom System entsprechend gekennzeichnet und konnten mithilfe der eingebauten Syntaxprüfung relativ einfach behoben werden. Anschließend wurde das Konfigurationsmodell im PKA-Applikationsgenerator manuell um die Verbindungen zum CAD-Mastermodell und um die Benutzeroberfläche komplettiert. Aufgrund der bereits vorgedachten bzw. vorentwickelten, kongruenten Strukturen gestaltete sich dieser Schritt sehr effektiv. Abb. 7-10 zeigt den in CAD integrierten PKA-Applikationsgenerator mit dem Mastermodell (Bildmitte), dem Konfigurationsmodell (rechtes Fenster) und der Benutzeroberfläche (linkes Fenster). Die Produktstruktur, die Regeln sowie die Attribute pro Komponenten wurden automatisch angelegt. Für Standardkomponenten erfolgte die Verknüpfung zwischen den Modellen durch eine Zuordnung „*Konfigurationsstrukturelement <-> CAD-Komponente*". Zur Steuerung der Geometrie von Neuteilen mussten zusätzlich die Attribute mit den jeweiligen CAD-Parametern bzw. -Features verbunden werden.

Abb. 7-10: Komplettierung der PKA-Applikation im PKA-Applikationsgenerator am Beispiel des Handlingmoduls



Grundsätzlich könnten die Verknüpfungen zwischen CAD-Mastermodell und Konfigurationsmodell auch generisch erfolgen. Durch entsprechende Konventionen und Anpassungen des Mastermodells (bspw. über eine eindeutige Namensgebung von Geometrieparameter) könnten die erforderlichen XML-Einträge (properties) im Konfigurationsmodell automatisch erzeugt werden.

S3.3: Tests und Pilotanwendung

Das im Vorgehensmodell vorgesehene Testprozedere, das sich an den beteiligten Personen ausrichtet, hat sich in den vorliegenden Fallbeispielen gut bewährt. In einem zyklischen und systematischen Prozess stellte der WI die prinzipielle Lauffähigkeit der PKA-AP sicher. Als typische Fehlerbereinigungen können hier die bereits erwähnten Syntaxfehler, falsche bzw. fehlende CAD-Verknüpfungen oder unrichtige Datentypen und Wertebereiche bei Attributen genannt werden. Derartige Fehler waren rasch gefunden und stellten kein großes Problem dar. Auch konnten vom WI anhand der DSMrel bereits Logikprüfungen vorgenommen werden. Hier zeigte sich einmal mehr der hohe Nutzen dieser Form der Wissensdokumentation. Der Hauptteil der funktionalen Tests wurde von den beiden Experten anhand von Praxisszenarien durchgeführt. Die auf Anhieb erzielte hohe Qualität in Bezug auf die Richtigkeit der Ergebnisse konnte in der Diskussion auf die systematische, methodengestützte Vorgehensweise zurückgeführt werden. Da es sich bei den Fallbeispielen um bereits realisierte Applikationen handelt, wurde auf weitere Tests durch eine Pilotanwendung verzichtet.

7.4 Phase IV: Betrieb

Für das exemplarisch umgesetzte Assistenzsystem fand kein Echtbetrieb (produktiver Einsatz im Fachbereich) statt. Zum Schritt S4.1 (Einführung in die Fachabteilung) liegen somit keine Aussagen vor. Die dieser Phase zugeordneten Funktionen *„Instanziierung einer Konfiguration"* und *„Datenverwaltung"* können anhand der Tests durch WI und Experten validiert werden. Auch zum generellen Änderungsmanagement ist eine Reflexion der gemachten Erfahrungen möglich.

S4.1: Einführung in die Fachabteilung

Nicht durchgeführt.

S4.2: Instanziierung einer Konfiguration

Zur Weiterverwendung der Konfigurationsergebnisse in Folgeprozessen (bspw. Fertigung) muss das konfigurierte Mastermodell durch Bereinigungen (Löschen von nicht benötigten Komponenten und Features) in eine spezifische Variante überführt werden.

Abb. 7-11: Instanziierung des Grundwerkzeug-Mastermodells zu einer spezifischen Produktvariante

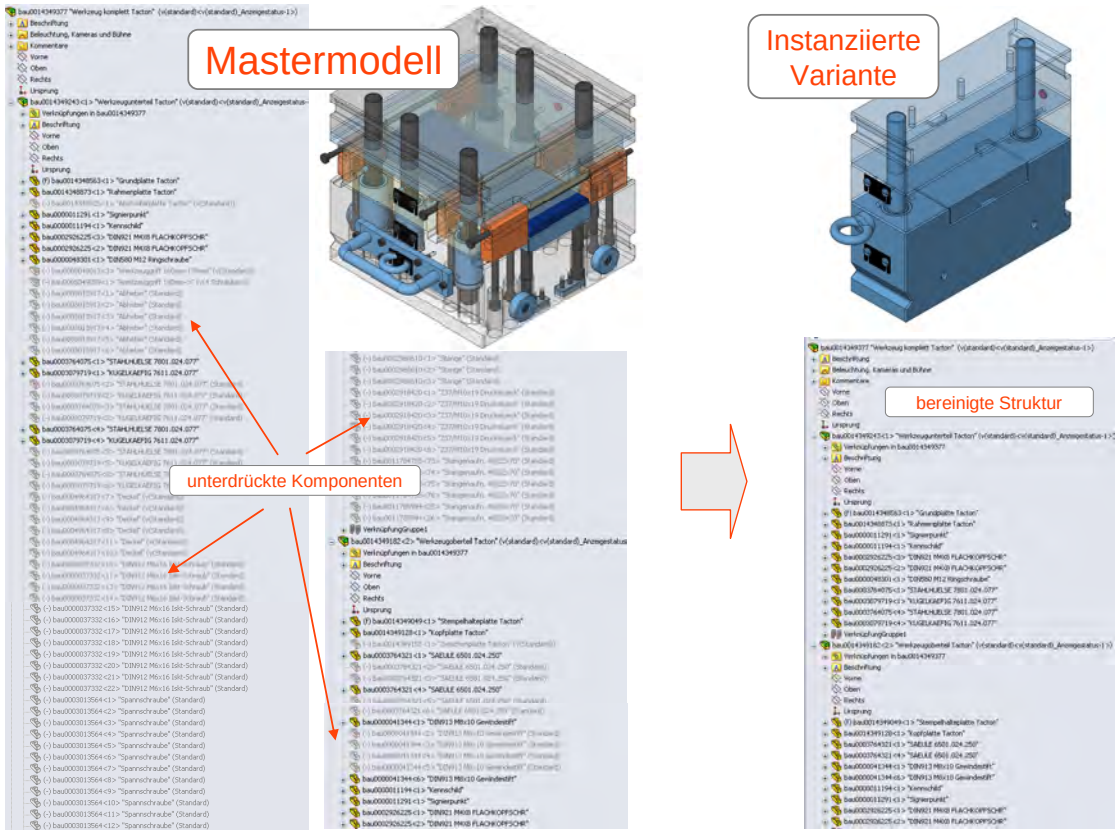


Abb. 7-11 veranschaulicht dies am Beispiel einer einfachen Grundwerkzeugvariante ohne Abstreiferoption (schmale Ausführung, nur eine Säule, keine Abstreiferplatte, Stangen, Stangenaufnahmen etc.). Im Mastermodell sind 97 Komponenten (Baugruppen und Bauteile)

verbaut. Die konfigurierte Grundwerkzeugvariante wurde mithilfe der Funktion M22i auf 24 Komponenten reduziert und um 50 nicht benötigte Features in der Grund-, Rahmen-, Stempelhalte- und Kopfplatte bereinigt. Ohne diesen Schritt wäre das Konfigurationsergebnis unbrauchbar.

S4.3: Datenverwaltung

Die auf Basis der Instanziierung exemplarisch realisierte Datenverwaltung in PDM funktionierte einwandfrei und stellt für die Anwender eine bedeutende Arbeitserleichterung dar. Diese Funktion wurde beim *Fallgeber* bereits in das Produktivsystem der bestehenden Applikation übernommen. Im praktischen Einsatz stellte sich hier heraus, dass ein Umbenennen bzw. eine Neuzuweisung einer Dokumentnummer an die neuen Instanzen (modifizierte Baugruppen und Neuteile) für eine korrekte Verwaltung ausreichend ist. Das Speichern der richtigen Komponenten (Neuteile -> ja, Standardteile -> nein) ist eine Grundfunktion des PDM-Systems und möchte vom Anwender gezielt gesteuert werden. Diese Vorgehensweise unterstützt auch Sondersituationen, bei denen vor einer Speicherung noch manuelle Modifikationen durchgeführt werden müssen.

Auch der Ansatz mit den eigenständigen Variantentabellen (Funktion M24i) stellte sich als sehr praktikabel heraus und wird beim *Fallgeber* in die Produktivumgebung übernommen. Ein positiver Nebeneffekt war die Förderung des PDM-Gedankens als zentrales Repository für technische Produktdaten (Sachmerkmale) und die Nutzung der Klassifizierungsfunktion – dies sowohl im Unternehmen selbst als auch in einer Diskussion über eine verbesserte PDM-Schnittstelle mit dem PKA-Applikationsanbieter. Durch die explizite Aufbereitung der Variantentabellen konnten weitere Nutzen erzielt werden. Zum einen konnten bei den Horizontalachsen Dubletten (gleiche Achsen mit verschiedenen Dokumentnummern) identifiziert und eliminiert werden. Zum anderen waren nicht alle Varianten richtig klassifiziert bzw. wurden neue, allgemein nutzbringende Variantenklassen angelegt.

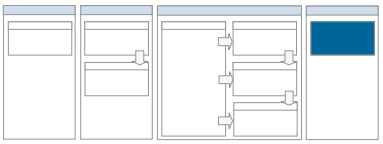
S4.4: Änderungsmanagement

Das Vorgehensmodell konnte sich auch als Leitfaden für Änderungsprozesse bewähren. Eine Änderung bestimmt mit ihrer Art den Einstiegspunkt in das Modell und die neuerlich zu durchlaufenden Bearbeitungsschritte. Nach der Inbetriebnahme wurde bspw. vom Handlingmodul-Experten eine Optimierung vorgeschlagen, für die Auswahl der Horizontal- und Vertikalachsen zusätzlich einen Kostenparameter (bspw. „standard" und „kostengünstig") einzuführen. In einer testweise durchgeführten Umsetzung waren folgende Änderungsschritte erforderlich: S2.2: Ergänzung des Merkmals in den Variantentabellen und Aufnahme in die Attributliste. S2.3 und S2.4: Nicht relevant. S2.5: Ergänzung der Eingabeparameterliste. S2.6 bis S2.8: Nicht relevant. S2.9 und S2.10: DSMrel neu erzeugen, bestehende Regeln übernehmen, neue Regeln für Auswahl „*kostengünstig*" hinzufügen. S2.11: Neues Konfigurationsmodell erzeugen.

Das angeführte Änderungsbeispiel wirft eine prinzipielle Problematik bei der Modellpflege auf. Durch die manuellen Ergänzungen (Verknüpfung mit CAD-Mastermodell, Benutzeroberfläche) stimmt das PKA-Konfigurationsmodell nicht mehr mit dem WEFA-Modell überein. Bei einer neuerlichen Übertragung von WEFA an die PKA-AP müssen die Ergänzungen erneut

getätigt werden. Alternativ kann die Änderung in beiden Modellen oder nur am PKA-Applikationsmodell erfolgen. Letzteres würde bedeuten, dass das WEFA-Modell hauptsächlich der systematischen Erstgenerierung dient bzw. wenn das WEFA-Modell mitgepflegt wird, einer aktuellen Dokumentation. Ein praktikabler Lösungsansatz für dieses Problem wäre eine Rückführung des modifizierten PKA-Konfigurationsmodells in die WEFA-WB. Hierfür müsste das WEFA-Informationsmodell erweitert werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick



In einem stark geänderten Wettbewerbsumfeld erkennen viele Unternehmen einen möglichen Schlüssel für einen anhaltenden Markterfolg in einer noch fokussierteren Kundenorientierung. Hierfür wird verstärkt auf individualisierte Produkte gesetzt, die sich teils aus konfigurierbaren, vorgefertigten Standardkomponenten und teils aus individuellen Neuteilen zusammensetzen. Die termin- und kostengerechte Konstruktion und Herstellung der individuellen Anteile stellt die Unternehmen vor große Herausforderungen. Die Anzahl der Teile- bzw. Produktvarianten erhöht sich beträchtlich. Hierdurch sehen sich insb. die Konstruktionsabteilungen mit zusätzlichen Erstellungsaufwänden und komplexeren Produktzusammenhängen konfrontiert. Neben permanenten Standardisierungsbemühungen werden zunehmend wissensbasierte, rechnerunterstützte Methoden und Werkzeuge zur raschen Umsetzung individualisierter Produkte eingesetzt. Trotz verfügbarer Marktlösungen für derartige Aufgaben fehlt es an einer ganzheitlichen Betrachtung für die Konzeption und Einführung wissensbasierter Assistenzsysteme, sowohl in methodischer wie auch funktionaler Hinsicht. Mit der vorliegenden Dissertation wurde diese Problemstellung aufgegriffen.

Fazit zur Vorgehensmethode

Das prinzipielle Vorgehen zur strukturierten Bearbeitung der Problemstellung richtete sich an vier Thesen aus (siehe S. 7), die besagen, dass auf der Grundlage ausgewählter Praxisszenarien ein allgemeingültiges, generisches Konzept erstellt werden kann. Dies entspricht einem induktiven Forschungsansatz. Die Thesen können als „bewiesen" eingestuft werden. Mit Unterstützung eines eingangs erstellten, theoretischen Bezugsrahmens konnten – durch eine detaillierte Diskussion der Charakteristika rechnergestützter PKA-Systeme – Handlungsoptionen zur Gestaltung aufgezeigt und zu einem Typisierungsschema zusammengefasst werden (These 1). Anhand einer systematischen Analyse und Aufbereitung von repräsentativen Fallbeispielen aus der industriellen Praxis ließen sich generelle Anforderungen und Handlungsfelder an eine ganzheitliche Lösung ableiten (These 2). Hieraus konnte ein allgemeingültiges Vorgehensmodell, bestehend aus 21 Teilschritten, entwickelt werden. Die hierbei angestellte Prozess- und Rollenbetrachtung ermöglichte die Konzeption spezieller IT-Methoden bzw. -Bausteine zu einem flexiblen Rahmenwerk (These 3+4). Zur Validierung der vorgeschlagenen Lösung wurde ein Assistenzsystem exemplarisch umgesetzt und anhand der Fallbeispiele angewendet.

Erzielte Ergebnisse

Das Gesamtergebnis der Dissertation ist ein generischer Ansatz für ein praxistaugliches Rahmenwerk, das Engineeringabteilungen eine rasche und zielgerichtete Umsetzung von Assistenzsystemen für die Konstruktion individualisierter Produkte ermöglicht. Ferner bietet die Arbeit einen Beitrag zur konstrukteursgerechten Wissensabbildung, womit die Verständigungslücke zwischen Konstrukteuren (Experten) und Assistenzentwicklern (Wissensingenieuren) weitestgehend geschlossen werden kann. Aus der Anforderungsermittlung ergaben sich drei wesentliche Ziele bzw. Handlungsfelder (HF), anhand derer die Teilergebnisse zusammengefasst werden:

HF 1: Ganzheitliche Betrachtung des Konstruktionsprozesses individualisierter Produkte und adäquates Vorgehen bei der Konzeption und Einführung von PKA-Unterstützungen.

HF 2: Methodische und rechnergestützte, rollengerechte Erfassung, Formalisierung und Verwaltung von Konfigurations- und Konstruktionswissen.

HF 3: Einbindung der PKA-Unterstützung in die gewohnte, CAD/PDM-zentrierte Arbeitsumgebung des Konstrukteurs.

Maßgebend für die ganzheitliche Betrachtung (HF 1) und die Gestaltung eines Rahmenwerkes waren die Vorgaben der Konstruktion, dass Arbeitsergebnisse einer Systemunterstützung identisch zu klassisch konstruierten Produktvarianten sein müssen. Hierzu zählen insb. fertigungs- bzw. montagegerechte, konsistent aufgebaute CAD-Modelle, die automatische Verwaltung der Varianten und Neuteile in PDM sowie die Berücksichtigung des spezifischen Erfahrungswissens des Konstrukteurs. Die Herausforderung lag in der Kombination der erforderlichen, praxistauglichen Vorgehensschritte für Experten und WI sowie einer möglichst rechnerbasierten Methodenunterstützung dieser. Der entwickelte Leitfaden für die Phasen „Vorbereitung", „Wissenserhebung und -formalisierung", „Implementierung" sowie „Einführung und Betrieb" bietet Hilfestellungen in Form von konkreten Handlungsanweisungen pro Bearbeitungsschritt (Teilaufgabe, Teilergebnis, Vorgehen und Methoden, mögliche Probleme). Das Vorgehensmodell berücksichtigt Erstprojekte (Einstieg eines Unternehmens in rechnerbasierte PKA-Unterstützungen) gleichermaßen wie Folgeprojekte, die aktuelle Produktindividualisierungsvorhaben durch PKA-Applikationen unterstützen sollen. Als Grundvoraussetzung ist die Verfügbarkeit einer Basistechnologie (PKA-Applikationsgenerator) zu beachten. Die dafür erforderlichen Rahmenbedingungen (Rollen, problemgerechte Auswahl, Basisfunktionen) wurden in der Arbeit ausführlich aufgezeigt. Bis auf wenige Funktionen (bspw. Vorgaben der eingesetzten PKA-Lösung für das Konfigurationsmodell sowie des PDM-Systems für Verwaltungsfunktionen) ist das Verfahren systemneutral und kann für ATO/MTO-Aufgabenstellungen auf breiter Basis eingesetzt werden.

Ein Kernelement der Konzeption bzw. des Rahmenwerkes bildet der „Wissenserfassungs- und -formalisierungsassistent" (WEFA). Dieser unterstützt eine methodische und rechnergestützte, rollengerechte Erfassung, Formalisierung und Verwaltung von Konfigurations- und Konstruktionswissen (HF 2). Mit einer Erweiterung der Matrixmethode DSM, bei der Auslegungs- und Konfigurationswissen in einer einfach anwendbaren Form gebündelt wird, konnte ein wesentliches Teilziel erreicht werden: eine informelle und verständliche Wissensdoku-

mentation für den Konstrukteur sowie eine formalisierte, maschinenlesbare Wissensrepräsentation für den WI bzw. das PKA-Assistenzsystem – und dies an einer zentralen Stelle. Eine weitere, wichtige Anforderung bzw. Zielsetzung betraf das Handling der im Erstellungsprozess benötigten unterschiedlichen Produktstrukturen. Anhand von Strukturcodes und einer entsprechenden IT-Funktion konnte eine geeignete Lösung gefunden werden. Mithilfe der in WEFA schrittweise geführten Wissenserfassung und -formalisierung war es möglich, ein nahezu vollständiges Konfigurationsmodell für eine PKA-Applikation automatisch zu generieren. Dies wurde anhand der Fallbeispiele nachgewiesen. Die Verbindung zum CAD-Modell sowie einige Adaptionen für die Benutzeroberfläche müssen händisch ergänzt werden.

Für die Einbindung der PKA-Applikation in die gewohnte Arbeitsumgebung des Konstrukteurs (HF 3) wurde im Konzept eine föderierte Wissensbasis eingesetzt. Diese ermöglicht die Datenintegration von bestehenden, im PDM-System verwalteten konfigurationsrelevanten Standardkomponenten und gewährleistet eine automatische Aktualisierung des PKA-Konfigurationsmodells bei Änderungen an bzw. Ergänzungen von Variantenteilen in PDM. In der exemplarischen Umsetzung wurden hierfür API-Funktionen des „Fallgeber-PDM-Systems" eingesetzt. Da es sich dabei um PDM-Standardfunktionen handelt, kann dieser Ansatz auch auf andere Systeme übertragen werden.

Erkenntnisse und Ausblick

Die entwickelte Vorgehensmethode sowie der WEFA-Prototyp werden beim Fallgeber teilweise bereits produktiv eingesetzt. Etliche Teilschritte lassen sich methodisch auch ohne Softwareunterstützung mithilfe herkömmlicher Tabellenkalkulationsprogramme durchführen. Es gibt Überlegungen, den Prototypen zu einer Standardanwendung auszubauen bzw. weiterzuentwickeln. Dies betrifft insb. die ansatzweise aufgezeigte Rückführung des modifizierten PKA-Konfigurationsmodells in die systemneutrale Wissensbasis sowie die automatische Verknüpfung mit dem CAD-Mastermodell. Des Weiteren sind Aktivitäten geplant, die aufgezeigten Defizite auch mit PKA-Systemanbietern zu diskutieren.

Neben den oben erwähnten methodischen und IT-technischen Erfahrungen resultieren wichtige Erkenntnisse v. a. aus der Perspektive der beteiligten Akteure. So stehen aufgrund von Kontrollverlust- und/oder Existenzängsten Konstrukteure (Experten) den PKA-Assistenzsystemen bzw. deren Wissensbasen teilweise kritisch gegenüber. Nur eine frühzeitige Projektbeteiligung sowie ein jederzeitiger, einfacher Zugriff auf die digitalisierten Wissensinhalte können hier Abhilfe schaffen. Ferner muss eine IT-Unterstützung für individualisierte Produktangebote die Produktauslegung gleichermaßen unterstützen wie die Produktkonfiguration. Ohne Berücksichtigung von CAD und PDM findet ein Assistenzsystem bei den Konstrukteuren keine Akzeptanz. Eine weitere hohe Bedeutung kommt dem WI zu. Ihm obliegt die Transformation des Expertenwissens in ein funktionierendes Assistenzsystem. Die gute Zusammenarbeit zwischen Experte und WI ist erfolgsentscheidend. Durch die starke Rollenausrichtung des Rahmenwerkes werden diese Erkenntnisse in hohem Maße berücksichtigt.

In der Arbeit offen geblieben ist die Frage nach einer standardisierten „Sprache" zur Definition und Anwendung von Regeln und Constraints. Dies gilt sowohl für WEFA als insb. auch

für die PKA-Applikationen. Ein gemeinsam genutzter Standard würde es Unternehmen ermöglichen, Wissensbausteine einfacher miteinander zu verknüpfen. Dies könnte ein Themenfeld für weiterführende Forschungsarbeiten darstellen. Ein weiteres, offenes Problemfeld stellen inkonsistente CAD-Bauteilreferenzen bzw. Geometrieverknüpfungen dar, die beim Austausch von Standardkomponenten entstehen. Hierfür müsste ein alternativer Ansatz zu bestehenden, CAD-System-internen Referenzierungsmethoden gefunden werden.

In der wissensbasierten Produktkonfiguration und -auslegung liegt erhebliches Zukunftspotenzial. Der Bedarf nach PKA-Lösungen, insb. für einen problemgerechten Einsatz bei KMUs, wird weiter ansteigen. Dementsprechend sollten Lösungsanbieter wie auch Forschungsinstitutionen ihre Anstrengungen für dieses Themenfeld weiterhin intensivieren.

Literaturverzeichnis

Abramovici, Michael; Bertram, Sven; Ghoffrani, Mehdi; Neubach, Manuel (2006): KoVip: Konfigurations-Software und -Dienstleistungen für virtuelle Produkte. In: CAD-CAM Report, Nr. 9, S. 60-63

Abramovici, Michael; Schulte, Stefan (2007): Megatrends im Engineering. In: eDM-Report (2007), Nr. 2

ACATEC (2008): POWER CONFIGURATOR: Produktkonfiguration und CAD-Automation – URL: http://www.acatec.de/de/produktkonfigurator-download/produktinfos.html (Stand 23.05.2011)

Anderl, Reiner; Liese, Harald (2003): Wissensbasierte agentengestützte Modellierung in parametrischen 3D-CAD-Systemen. In: Industrie Management, Nr. 19, S. 18-21

Anderl, Reiner (2007): Zukunft der wissensbasierten Produktentwicklung: Ausschuss Normenpraxis (ANP). In: DIN Mitteilungen, April 2007, S. 12-14

Aslanidis, Stephanie; Wagner, Kristina (2002): Nutzung von Erfahrungswissen in den frühen Phasen der Produktentstehung. In: Abschlussbericht Leitprojekt iVip - integrierte Virtuelle Produktentstehung (Hrsg. Ahle, Ulrich), 2002, S. 84-91

Bancroft, C.N.; Crump, S.J.; Lovett, P.J.; Bone, D.; Kightley, N.J. (2000): Taking KBE into the Foundry. Proceedings of the 7th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Lyon, France. Vol. 24, pp.17-20

Birkhofer, Herbert (1980): Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte. Düsseldorf: VDI-Verl., Techn. Univ., Diss.—Braunschweig, 1980

Blecker, Thorsten; Abdelkafi, Nizar; Kreuter, Gerold; Friedrich, Gerhard (2004): Product Configuration Systems: State-of-the-Art, Conceptualization and Extensions. In: Hamadou, A. B./Gargouri, F./Jmaiel, M. (Hrsg.): Génie logiciel & Intelligence artificielle. Eight Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence (MCSEAI 2004), Sousse/Tunisia, 9-12, May 2004, (Centre de Publication Universitaire), S. 25-36

Blumöhr, Uwe; Münch, Manfred; Ukalovic, Marin (2009): Variantenkonfiguration mit SAP. 1. Aufl. Bonn: Galileo Press

BMW AG, München, Carconfigurator: http://www.bmw.de/de/de/newvehicles/x/x1/2010/showroom/carconfigurator/configurator.html (Stand: 20.05.2011)

Bodendorf, Freimut (2006): Daten- und Wissensmanagement. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin: Springer

Bongulielmi, Luca (2003): Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zur Darstellung konfigurationsrelevanter Aspekte im Produktentstehungsprozess. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 16, Technik und Wirtschaft. 151, Eidgenössische Techn. Hochsch., Diss.—Zürich, 2002

Brinkop, Axel (2011): Marktführer Produktkonfiguration - URL: http://brinkop-consulting.com/guide/marktfuehrer.pdf (Stand 25.07.2011)

Buchanan, B. G. (1983): Constructing an Expert System. In: Hayes-Roth, F.; Waterman, D. A.; Lenat, D. (1983): Building expert systems. London: Addison-Wesley. S.127-168

Chapman, C.; Preston, S.; Pinfold, M.; Smith, G. (2007): Utilising enterprise knowledge with knowledge based engineering. In: Int. J. Computer Applications in Technology, Nr.28, Nos. 2-3, S. 169-179

Cho, Jullius Nde (2010): Knowledge Formalization for Modular Product Configuration and Design. Dornbirn: FH-Vorarlberg, Masterarbeit

Colombo, Giorgio; Pugliese, Dante; Spurio, Maurizio Saturno (2007): About the Integration between KBE and PLM. In: Proceedings of the 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan, June 11th-13th, 2007, Springer, London

Conrad, Stefan (1997): Föderierte Datenbanksysteme. Konzepte der Datenintegration. Berlin: Springer

Conrad, Klaus-Jörg (2008): Grundlagen der Konstruktionslehre. Methoden und Beispiele für den Maschinenbau. 4., neu bearb. Aufl. München: Hanser

Dengel, Andreas (1994): Künstliche Intelligenz. Allgemeine Prinzipien und Modelle. Mannheim: BI-Taschenbuchverlag

Deubzer, F.; Braun, T. (2007): New Variant Management Using Multiple Domain Mapping. In: Lindemann, U.; Danilovic, M.; Deubzer, F.; Maurer, M.; Kreimeyer, M. (Eds.): Proceedings of the 9th International DSM Conference, 16.10.-18.10.2007, München, S. 73-85

DIN-199 (1977): DIN199. Teil 2: Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen. Berlin: Beuth

DIN-4000-1 (2011): Sachmerkmal-Listen - Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth

DIN-66241 (1979): Informationsverarbeitung; Entscheidungstabelle, Beschreibungsmittel. Berlin: Beuth

DIN-69901 (2009): DIN 69901 Teil 1-5: Projektmanagement – Projektmanagementsysteme. Berlin: Beuth

Drucker, Peter F. (1993): Post-capitalist society. Reprinted. Oxford: Butterworth Heinemann

Eckstein, Holger; Josefiak, Frank (2008): Increased Efficiency in Customer Involvement in Configuration Processes: The SWOP Approch. In: 14th International Conference on Concurrent Enterprising, Costa da Caparica — Lisboa, Portugal, 23-25 June 2008

Ehrlenspiel, Klaus; Kiewert, Alfons; Lindemann, Udo (2003): Kostengünstig entwickeln und konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 4., bearb. Aufl. Berlin: Springer

Ehrlenspiel, Klaus (2009): Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 4., aktualisierte Aufl. München: Hanser

Eigner, Martin; Stelzer, Ralph (2001): Produktdatenmanagement-Systeme. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Berlin: Springer

Ertel, Wolfgang (2009): Grundkurs Künstliche Intelligenz. Eine praxisorientierte Einführung. 2., überarb. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner

Eversheim, Walter (1998): Organisation in der Produktionstechnik 2. Konstruktion. 3., vollst. Überarb. Aufl. Berlin: Springer

Fothergill, P.; Forster, J.; Arana, I (1996): Re-design knowledge representation with DEKLARE. In Pierret-Golbreich, C.; Fensel, D.; Motta, E.; Willems, M (1996): Proceedings of KEML'96: 6th Workshop on Knowledge Engineering: Methods & Languages, Paris, France

Franke, Hans-Joachim; Hesselbach, Jürgen; Huch, Burkhard; Firchau, L. Norman (Hrsg.) (2002): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. München: Hanser

Gabriel, R.; Gluchowski, P.; Pastwa, A. (2009): Datawarehouse & Data Mining. Witten: W3L

Gareis, Roland (2004): Happy projects!. Projekt- und Programmmanagement, Projektportfolio-Management, Management der projektorientierten Organisation, Management in der projektorientierten Gesellschaft ; [neue Theorien, Modelle, best practices, Fallstudien]. 2. Aufl. Wien: Manz

Gausemeier, Jürgen; Steffen, Daniel (2007): Modularisierung mechatronischer Systeme. In: INDUSTRIE Management, 6/2007, S. 9-12

Ghoffrani, Mehdi (2008): Entwicklung und Einführung eines flexiblen Softwaresystems zur Konfigurierung virtueller Produkte. Aachen: Shaker, Univ., Dissertation Bochum, 2007

Glaser, Horst (1992): PPS – Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Konzepte, Anwendungen. 2., überarb. Aufl. Wiesbaden: Gabler

Arbeitspapiere der GMD 245 (1988): Wissensakquisition. Hrsg. Gesellschaft Mathematik und

Datenverarbeitung mbH

Arbeitspapiere der GMD 338 (1988): Methoden und Techniken des Knowledge Engineering. Hrsg. Gesellschaft Mathematik und Datenverarbeitung mbH

Görz, Günther; Nebel, Bernhard (2003): Künstliche Intelligenz. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Fischer, S., Verlag GmbH

Gronau, Norbert; Schmid, Simone (2005): Marktüberblick: Konfiguratoren in ERP-/PPS-Systemen. In: PPS Management (2005), Nr.10, S. 55-61

Günter, Andreas (1995): Wissensbasiertes Konfigurieren. Ergebnisse aus dem Projekt PROKON. Berlin: Akad. Verl.-Gruppe

Hagendorf, Svenja; Schmaltz, Robert; Schuhmann, Matthias (Hrsg.) (2003): Entwicklung von Anwendungssystemen für das Wissensmanagement: State of the Art der Literatur. In: Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Wirtschaftsinformatik, Arbeitsbericht Nr. 5/2003

Hayes-Roth, F.; Waterman, D.A.; Lenat, D. (1983): Building expert systems. London: Addison-Wesley

Henseler, Patrick (2004): Die Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix als Beitrag für eine differenzierte Betrachtung von Konfigurierungsproblemen. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 20, Rechnerunterstützte Verfahren. 378, Eidgenössische Techn. Hochschule, Diss.—Zürich, 2003.

Herbst, Dieter (2001): Erfolgsfaktor Wissensmanagement. Das professionelle 1x1; [Wissen als einzigartige Kombination von Information und Erfahrung; systematische Erfassung, Archivierung und Verbreitung von Wissen ; Instrumente des Wissensmanagement]. 1. Aufl., [Nachdr.]. Berlin: Cornelsen

Holthöfer, Norbert; Szilágyi, Sándor; Dangelmaier, Wilhelm (Hrsg.) (2001): Marktstudie: Softwaresysteme zur Produktkonfiguration. Paderborn: ALB-HNI-Verlagsschriftenreihe

Hüllenkremer, Michael (2003): Erfolgreiche Unternehmen arbeiten mit Produktkonfiguratoren. In: Industrie Management, Nr.19, S. 37-40

Hvam, Lars; Mortensen, Niels Henrik; Riis, Jesper (2008): Product Customization. Berlin: Springer

Kendal, S.; Creen, M. (2007): An Introduction to Knowledge Engineering. London: Springer

Klose, Burkhard (1996): Projektabwicklung. Arbeitshilfen für die Projektabwicklung bei Gutachten, Studien, Konzepten, Projektanalyse, -planung, -steuerung, -kontrolle mittlerer und kleiner Projekte: anwendungsbezogene Beispiele: praxisorientierte Checklisten, Formulare und Merkblätter. 2., komplett überarb. u. wesentl. erw. Aufl. Wien: Ueberreuter

Krause, Frank-Lothar; Franke, Hans-Joachim; Gausemeier, Jürgen (Hrsg.) (2007): Innovationspotenziale in der Produktentwicklung. München: Hanser

Kurbel, Karl (1992): Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen. Eine anwendungsorientierte Einführung in wissensbasierte Systeme. 2., verb. Aufl. Berlin: Springer

Liese, Harald (2004): Wissensbasierte 3D-CAD Repräsentation. Aachen: Shaker, Techn. Univ., Diss—Darmstadt, 2003

Lindemann, Udo; Reichwald, Ralf; Zäh, Michael F. (Hrsg.) (2006): Individualisierte Produkte. Komplexität beherrschen, in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer (VDI-Buch)

Lindemann, Udo (2007): Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 2., bearb. Aufl. Berlin: Springer (VDI)

Lingnau, Volker (1994): Variantenmanagement. Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie. Berlin: Schmidt (Betriebswirtschaftliche Studien. 58, Techn. Univ., Diss.—Berlin, 1994

Link, Jörg; Hildebrand, H. (1993): Database Marketing und Computer aided selling. Strategische Wettbewerbsvorteile durch neue informationstechnologische Systemkonzeptionen. München: Vahlen

Luczak, Holger; Eversheim, Walter (Hrsg.) (2001): Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 2., korrigierte Aufl., Nachdr. Berlin: Springer (VDI-Buch)

Lutz, Christiane (2008): Konzeption und Umsetzung einer Unterstützung zur Konstruktion von Stanzwerkzeug-Grundaufbauten für die Automatenfertigung. Dornbirn: FH-Vorarlberg, Bachelorarbeit

Mantwill, Frank; Brockmeyer, Henrich; Lucko, Andreas (2007): Entwicklung eines KBE-Ansatzes zur Absicherung von Schweißpunkten in CATIA V5. In: UNIFORSCHUNG Forschungsmagazin der Helmut-Schmidt-Universität

Maurer, Maik S. (2007): Structural awareness in complex product design. München: Dr. Hut, Techn. Univ., Diss.—München

Meier, Markus (2004): Der Innovations-Prozess. ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zentrum für Produkt-Entwicklung. doi:10.3929/ethz-a-005046883.

Milton, Nick R. (2007): Knowledge acquisition in practice. A Step-by-step Guide. London: Springer

Nonaka, Ikujiro; Takeuchi, Hirotaka; aus dem Engl. von Friedrich Mader (1997): Die Organisation des Wissens. Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen. Frankfurt/Main: Campus-Verlag

North, Klaus (2005): Wissensorientierte Unternehmensführung. Wertschöpfung durch Wissen. Wiesbaden: Gabler

PACE Aerospace Engineering and Information Technology GmbH. . Parametrische Modellierung und Platzierungshilfen – URL: http://www.pace.de/detail.php?myid=2&subid=3&last=0&detid=41376&myprodid=41373&produkt=1 (Stand: 25.05.2011)

Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (2007): Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung. 7. Aufl. Berlin: Springer

Perspectix (2006): Vertrieb im Maschinen- und Anlagenbau - URL: http://www.perspectix.com/pdf/PX5_Solutions_Masch-Anlagenbau.pdf (Stand 23.05.2011)

Piller, Frank Thomas (1998): Kundenindividuelle Massenproduktion. Die Wettbewerbsstrategie der Zukunft. München: Hanser

Piller, Frank Thomas (2006): Mass Customization. Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag | GWV Fachverlage GmbH

Pine, B. Joseph (1996): Mass customization. The new frontier in business competition. 5. print. Boston, Mass: Harvard Business School Press

Polanyi, M. (1985): Implizites Wissen. Frankfurt/Main: Suhrkamp.

Probst, Gilbert; Raub, Steffen; Romhardt, Kai (2006): Wissen managen. Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. 5., überarb. Aufl. Wiesbaden: Gabler

Puls, Christoph (2003): Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zum Management von Konfigurationswissen in KMU, Eidgenössische Techn. Hochschule, Dissertation Zürich, 2002

Puppe, F. (1990): Problemlösungsmethoden in Expertensystemen. Berlin: Springer

Radermacher, F. J (2001): Management von nicht explizitem Wissen: Noch mehr von der Natur lernen. Abschlussbericht ; Teil 1: Ergebnis und Einordnung; FAM-Methodologie des Wissensmanagements und Anwendungen, Zusammenfassungen der Beiträge anderer Projektpartner und Vorschlag für ein Forschungsprogramm. [Elektronische Ressource]. Hannover: Universitätsbibliothek u. Technische Informationsbibliothek

Raffaeli, Roberto; Germani, Michele (2008): Object-oriented framework for managing modular product configuration: Proceedings of the CIRP Design Conference 2008: Design Synthesis

Reichwald, R.; Moser, K.; Schlichter, T.; Leckner, T.; Stegmann, R. (2006): Marketing- und Vertriebswerkzeuge für individualisierte Produkte. In: Lindemann, Udo; Reichwald, Ralf; Zäh, Michael F. (Hrsg.) (2006): Individualisierte Produkte. Komplexität beherrschen, in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer (VDI-Buch). S. 19-39

Renner, Ingo (2007): Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil. München: Dr. Hut, Techn. Univ., Dissertation München, 2007

Richter, Michael M. (1989): Prinzipien der künstlichen Intelligenz. Stuttgart: Teubner

RKW Edition (Hrsg.) (2011): Projektmanagement – Fachmann. Sternenfels: Wissenschaft & Praxis

Rogoll, Timm; Piller, Frank (2003): Konfigurationssysteme für Mass Customization und Variantenproduktion. Strategie, Erfolgsfaktoren und Technologie von Systemen zur Kundenintegration; Marktstudie 2003. 2. unveränd. Aufl. München: ThinkConsult

Sandberg, Marcus (2003): Knowledge Based Engineering – in product development. In: Technical report/Luleå University of Technology, ISSN 1402-1536

Scheer, Christian (2006): Kundenorientierter Produktkonfigurator: Erweiterung des Produktkonfiguratorkonzeptes zur Vermeidung kundeninitiierter Prozessabbrüche bei Präferenzlosigkeit und Sonderwünschen in der Produktspezifikation. Berlin: Logos (Wirtschaftsinformatik - Theorie und Anwendung. 3, Johannes Gutenberg-Univ., Diss.—Mainz, 2006

Schnauffer, Hans-Georg; Stieler-Lorenz, Brigitte; Peters, Sibylle; Bullinger, Hans-Jörg (2004): Wissen vernetzen. Wissensmanagement in der Produktentwicklung. Berlin: Springer

Schneider, Thomas (2007): Arbeitsweisen und Möglichkeiten verschiedener Entwicklungsplattformen. Vortrag 7. CADFEM Forum, 18.09.2007, München

Schomburg, Eckart (1980): Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau. Aachen: Dissertation RWTH, Techn. Hochsch., Fak. für Maschinenwesen, Diss.—Aachen, 1980

Schönsleben, Paul (2007): Integrales Logistikmanagement. Operations und Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken. 5., bearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer

Schotten, Martin; Heiderich, Thorsten (2001): Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung: In: Produktionsplanung und -steuerung, Hrsg. Eversheim, Berlin: Springer

Schöttner, Josef (1999): Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie. Prinzip, Konzepte, Strategien. München: Hanser

Schreiber, Guus; Akkermans, Hans (2000): Knowledge engineering and management. The CommonKADS Methodology. Cambridge, Mass.: MIT Press

Schuh, Günther (2005): Produktkomplexität managen. Strategien – Methoden – Tools. 2. überarb. und erw. Aufl. München: Hanser

Schuh, Günther (2006): Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3., völlig neu bearb. Aufl. Berlin: Springer

Schwaninger, Markus (2005): Systemorientiertes Design – ganzheitliche Perspektive in Innovationsprozessen. In: Schäppi, Bernd; Andreasen, M.; Kirchgeorg, M.; Rademacher, F.-J. (2005): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser. S. 29-55

Spillner, Andreas; Linz, Tilo (2010): Basiswissen Softwaretest. Aus- und Weiterbildung zum Certified Tester ; Foundation Level nach ISTQB-Standard. 4., überarb. und aktualisierte Aufl. Heidelberg: dpunkt-Verlag

Spur, Günter; Krause, Frank-Lothar (1997): Das virtuelle Produkt. Management der CAD-Technik. München: Hanser

Stokes, Melody (2001): Managing engineering knowledge. MOKA: methodology for knowledge based engineering applications. London: Professional Engineering Publishing.

Strohmeier, Oliver (2006): Integration von Wissensmodulen in den virtuellen Produktentwicklungsprozess. Aachen: Shaker, Univ., Dissertation Duisburg-Essen, 2006

Studer, Rudi; Fensel, Dieter; Decker, Stefan; Benjamins, Richard V. (1999): Knowledge Engineering: Survey and Future Directions. In: Puppe Frank (Hrsg.), XPS-99: Knowledge-Based Systems. Survey and Future Directions. 5th Biannual German Conference on Knowledge-Based Systems, Würzburg, Germany, S. 1-23

Terpenny, Janis; Strong, Stephen; Wang, Jiachuan (2001): A methodology for knowledge discovery and classification. In: Proceedings of the Tenth FAIM 2000 – Flexible Automation and Intelligent Manufacturing Conference. University of Maryland, College Park, Maryland, June 26-28, 2000

van Tooren, M. J. L.; van der Elst, S. W. G.; Vermeulen, B. (2009): Structured Design Automation. In: Competitive Design, Proceedings of the 19th CIRP Design conference, S. 86-93

Vajna, Sandor; Weber, Christian; Bley, Helmut; Zeman, Klaus (2009): CAx für Ingenieure. eine praxisbezogene Einführung. 2., völlig neu bearb. Aufl. Berlin: Springer

VDI-2209 (2009): VDI-Richtlinie 2209. 3-D-Produktmodellierung. Technische und organisatorische Voraussetzungen Verfahren, Werkzeuge und Anwendungen Wirtschaftlicher Einsatz in der Praxis. Berlin: Beuth

VDI-2210 (1975): VDI-Richtlinie 2210. Datenverarbeitung in der Konstruktion. Analyse des Konstruktionsprozesses im Hinblick auf den EDV-Einsatz. Berlin: Beuth

VDI-2219 (2002): VDI-Richtlinie 2219. Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung. Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen. Berlin: Beuth

VDI-2221 (1993): VDI-Richtlinie 2221. Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth

VDI-2243 (2002): VDI-Richtlinie. Recyclingorientierte Produktentwicklung. Berlin: Beuth

VDI-5610 (2009): VDI-Richtlinie Blatt 1: Wissensmanagement im Ingenieurwesen – Grundlagen, Konzepte, Vorgehen. Berlin: Beuth

Waterman, D. A. (1986): A guide to expert systems. Reading: Addison-Wesley

Wüpping, Josef (2003): Variantenmanagement und Produktkonfiguration. In: Industrie Management (2003), Nr.19, S. 49-52

Wunsch, Matthias (2005): Wissensbasierte Konstruktion kundenindividueller Produkte am Beispiel von Schuhen. Aachen: Shaker, Univ., Diss.–Karlsruhe, 2004

Zagel, Mathias (2006): Übergreifendes Konzept zur Strukturierung variantenreicher Produkte und Vorgehensweise zur iterativen Produktstruktur-Optimierung. Kaiserslautern: Techn. Univ. (Schriftenreihe VPE. 1, Techn. Univ., Dissertation Kaiserslautern, 2006

Zwicker, E.; Montau, R. (2005): Informationstechnologien im digitalen Produkt. ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zentrum für Produktentwicklung. doi:10.3929/ethz-a-004918338

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Praxisbeispiele aus dem Betriebsmittelumfeld (Quelle Blum): 5
Abb. 1-2: Idealisierte Darstellung des zu entwickelnden, methodengestützten Leitfadens (Vorgehensschema) 8
Abb. 1-3: Klassifizierung der bekannten Unterstützungsmöglichkeiten in Bezug auf den Grad der wissensbasierten Konfigurations- und Konstruktionsunterstützung und Einordnung des anvisierten, ganzheitlichen Assistenzsystems..... 9
Abb. 1-4: Aufbau und Struktur der Arbeit..... 11
Abb. 2-1: Ablauf einer kundenindividuellen Massenproduktion auf der Basis eines modularen Baukastens (in Anlehnung an Piller 2006) 18
Abb. 2-2: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte nach VDI-Richtlinie 2221 und Einordnung in den Gesamtprozess der Lebensphasen eines Produktes nach VDI-2243 21
Abb. 2-3: Zuordnung von Konstruktionsarten zu den Konstruktionsphasen (VDI-2210)..... 24
Abb. 2-4: Zusammenhang Konfigurieren und Konstruieren (Franke et. al. 2002) 25
Abb. 2-5: Integral- und Differenzialbauweise am Beispiel eines Feingussteiles (Ehrlenspiel 2009) 28
Abb. 2-6: Übersicht möglicher Strukturdarstellungen (in Anlehnung an Eigner 2001) 31
Abb. 2-7: Beispiel einer Produktstruktur in Form eines „Table-Trees" (Quelle: Blum)..... 32
Abb. 2-8. Variantenkonzepte für Produktstrukturen (in Anlehnung an Zwicker et. al. 2005) 33
Abb. 2-9: IT-geeignete Variantenstückliste (in Anlehnung an Eigner et. al. 2001)..... 35
Abb. 2-10: Aufbau einer Sachmerkmalleiste/-Liste nach DIN 4000-1 37
Abb. 2-11: Wissenstaxonomie mit einer Einordnung Mensch/Wissensbasis (vgl. Vajna et. al. 2009) 39
Abb. 2-12: Die Rollen von Experte und WI (in Anlehnung an WATERMAN 1986) 43
Abb. 2-13: Bild 1: Beispiel einer „Montagereihenfolge" mit einer prädikatenlogischen Beschreibung. Bild 2: Beispiel einer Masseberechnung mit Constraint-Netz 45
Abb. 2-14: UND/ODER-Baum mit Verkettung von Regeln (DENGEL 1994)..... 46
Abb. 2-15: Beispiel einer erweiterten Entscheidungstabelle (nach DIN 66241) 47
Abb. 2-16: Beispiel eines semantischen Netzes (KURBEL 1992)..... 48
Abb. 3-1: Einordnung von KI, KBS und XPS (in Anlehnung an WATERMAN 1986)..... 50
Abb. 3-2: Prinzipielle Kernarchitektur eines wissensbasierten Systems (KURBEL 1992)..... 51
Abb. 3-3: Komponentenausprägungen eines individualisierten Produktes 51
Abb. 3-4: Klassierungsschema nach dem Grad der wissensbasierten Unterstützung in Bezug auf Konfigurieren und Konstruieren..... 53
Abb. 3-5: 3D-CAD-Modell mit Parametern, Features und Verknüpfungen..... 54
Abb. 3-6: Beispiel eines internetbasierten Pkw-Konfigurators (BMW 2011) 58

Abb. 3-7: Funktionsprinzip von KBE (in Anlehnung an KRAUSE et. al. 2007).....60
Abb. 3-8: Eignungsgrad von IT-Systemen für die wissensbasierte Konfiguration und Auslegung/Konstruktion (im Auftragsfall) in Abhängigkeit zur Produktart.....62
Abb. 3-9: Idealtypischer Systemaufbau einer PKA-Systemumgebung mit fünf Kernbausteinen.....65
Abb. 3-10: Einteilung der Zielgruppen nach Anwendungsfokus und Ort der Nutzung.....71
Abb. 3-11: PKA-Applikation ohne direkte CAD-Kopplung.....77
Abb. 3-12: PKA-Applikation mit CAD-Systemkopplung (zwei Systeme).....78
Abb. 3-13: PKA-Applikation in CAD integriert (ein System).....79
Abb. 3-14: ICARE-Forms zur Erfassung und Beschreibung von informellem Produktwissen (vgl. Stokes 2001).....83
Abb. 3-15: ADAPT-Prozess mit sechs Hauptphasen (TOOREN et. al. 2009).....84
Abb. 3-16: Multiple-Domain-Matrix zur Darstellung bzw. Erfassung von Beziehungen über mehrere Domänen hinweg (in Anlehnung nach Maurer 2007).....86
Abb. 3-17: Prinzipieller Aufbau der K- & V-Matrix (HENSELER 2004).....87
Abb. 3-18: Wissensakquisitionswerkzeug für Produktkonfigurator (vgl. GHOFFRANI 2006).....87
Abb. 4-1: Allgemeines Phasenmodell zur Entwicklung einer PKA-Applikation.....92
Abb. 4-2: Entstehungsprozess einer PKA-Applikation.....93
Abb. 4-3: Generelle Anforderungen an eine PKA-Lösung: Selbe Qualität des Outputs für Folgeprozesse wie bei der klassischen Arbeitsweise.....94
Abb. 4-4: Schematischer Aufbau und Funktionsweise von TactonWorks®.....95
Abb. 4-5: Vorgehen für den Aufbau eines Konfigurationsmodells.....96
Abb. 4-6: Prinzipieller Ablauf der Produktentstehung und Einordnung des Fallbeispiels „Grundwerkzeuge für Folgeverbundfertigung“.....100
Abb. 4-7: Beispiel eines Werkzeugunterteils (real und als CAD-Modell) (Quelle: Blum).....100
Abb. 4-8: Visuell aufbereitete Variantenstückliste (Quelle: Blum).....102
Abb. 4-9: Aufbau der Komponentenstruktur des kompletten Grundwerkzeuges mit jeweiligen Attributen und Constraints (Quelle: Blum).....105
Abb. 4-10: CAD-Mastermodell des Grundwerkzeuges (Quelle: Blum).....106
Abb. 4-11: Anlegen der Variantentabellen (Stangenaufnahme, Distanzscheiben, DIN-Schrauben) mit den jeweils zugehörigen Sachmerkmalen (Feature Values) (Quelle: Blum).....106
Abb. 4-12: Struktur und Definition der Benutzeroberfläche (Bild rechts) mit entsprechendem Ergebnis innerhalb von SWX (Bild links) (Quelle: Blum).....107
Abb. 4-13: Regelwerk in Form von gruppierten Constraints (Quelle: Blum).....108
Abb. 4-14: Prinzipieller Ablauf der Produktentstehung und Einordnung des Fallbeispiels „Handlingmodule für Montageanlagen“.....112
Abb. 4-15: Beispiel eines Handlingmoduls (real und als CAD-Modell) (Quelle: Blum).....113
Abb. 5-1: Prinzip des Rückwärtsschreitens, ausgehend von einer funktionierenden PKA-Applikation.....122

Abb. 5-2: Lösungsidee und Grobkonzept: Eine methodische sowie systemtechnische Unterstützung des gesamten Prozesses 123
Abb. 5-3: Funktionsstruktur für Leitfaden 123
Abb. 5-4: Erweiterung des allgemeinen Phasenmodells zu einem Vorgehensmodell 124
Abb. 5-5: Funktionsstruktur mit Teilfunktionen für die Wissenserfassung und -formalisierung 125
Abb. 5-6: IT-Assistent mit Modulen zur Unterstützung der Prozessschritte 126
Abb. 5-7: Funktionsstruktur für die systemneutrale Datenkopplung zu PDM 127
Abb. 5-8: Föderierte Wissensbasis zur Datenkopplung mit PDM 128
Abb. 5-9: Drei wesentliche Bearbeitungsschritte in der Projektvorbereitung 129
Abb. 5-10: Übersicht der wesentlichen Bearbeitungsschritte zur Erhebung, Strukturierung und Formalisierung von Daten, Informationen und Wissen 133
Abb. 5-11: Drei wesentliche Bearbeitungsschritte für die Implementierung des PKA-Assistenzsystems 145
Abb. 5-12: Vier wesentliche Teilschritte für den Betrieb des PKA-Assistenzsystems 148
Abb. 5-13: Vorgehensmodell mit Einzelschritten zur Konzeption und Einführung eines Assistenzsystems in die Konstruktion 153
Abb. 6-1: Systemkontextdiagramm für das PKA-Assistenzsystem 160
Abb. 6-2: Bild 1: Systemaufbau des PKA-Assistenzsystems Bild 2: Informationsmodell der WEFA-Wissensbasis 162
Abb. 6-3: Softwarearchitektur des PKA-Assistenzsystems 165
Abb. 6-4: Komponenten&Struktur-Modul mit den SW-Funktionen M10i (Komponentenliste verwalten), M11i (Komponenten klassifizieren) und M14i (Produkt strukturieren) 166
Abb. 6-5: SW-Funktion M13i: Komponentenattribute verwalten 168
Abb. 6-6: SW-Funktion M17i: DSMx erzeugen 170
Abb. 6-7: SW-Funktion M18i: Regelerfassung (zellenbasierte Regelerfassung mit Dialogkomponente) 172
Abb. 6-8: SW-Funktion M20i: Konfigurationsmodell generieren (als XML für PKA-Applikation) 173
Abb. 6-9: SW-Funktion M21i: Generieren einer ComponentCard pro Komponente 174
Abb. 6-10: SW-Funktion M19i: Verwalten der Zellinhalte 175
Abb. 6-11: SW-Funktion M22i: Instanziierung und Bereinigung des Mastermodells 176
Abb. 7-1: Amortisationszeiten für das Grundwerkzeug und das Handlingmodul 181
Abb. 7-2: Erfassen und Klassifizieren der Komponenten und CAD-Modelle am Beispiel „Grundwerkzeug“ 182
Abb. 7-3: Aufbereiten der Varianten am Beispiel der Horizontalachsen im Handlingmodul 182
Abb. 7-4: Spezifikation eines Neuteiles am Beispiel der Grundplatte im Grundwerkzeug 183
Abb. 7-5: Entwicklung der Produktstruktur (DSMgen Struktur) mithilfe der Strukturcodes (Gxxxx) am Beispiel „Handlingmodul“ 184

Abb. 7-6: Wissenserfassungsmatrix DSMgen am Beispiel „Grundwerkzeug“ 186
Abb. 7-7: Vergleich der vier unterschiedlichen Produktstrukturen am Beispiel „Grundwerkzeug“ 188
Abb. 7-8: Definition der formalen Regeln in der DSMrel am Beispiel „Grundwerkzeug“ (Stangeneinheit_Aussen bewirkt versch. Ausnehmungen in der Grundplatte) 190
Abb. 7-9: Erstellung einer Zusammenfassung (ComponentCard) pro Komponente am Beispiel „Stangeneinheit_Aussen“ 191
Abb. 7-10: Komplettierung der PKA-Applikation im PKA-Applikationsgenerator am Beispiel des Handlingmoduls.....192
Abb. 7-11: Instanziierung des Grundwerkzeug-Mastermodells zu einer spezifischen Produktvariante 194

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Merkmalsausprägungen für „Erzeugnisspektrum“ (vgl. SCHOMBURG1980)..... 14
Tabelle 2-2: Prinzipielle Zuordnung der Ausprägungen von Erzeugnisspektrum und Produktionskonzept sowie Einordnung von individualisierten Produkten 16
Tabelle 2-3: Grundlegende Charakteristiken von Sonderanfertigungen, variantenreichen Serienprodukten und individualisierten Produkten (Lindemann et. al. 2006) 17
Tabelle 3-1: Mögliche Klassierungsschemata für PKS..... 63
Tabelle 3-2: Ansätze, Methoden und Anleitungen zum Vorgehen bei der Entwicklung von wissensbasierten Systemen (bspw. XPS, KBS, KBES) 81
Tabelle 4-1: Wissensquell-Matrix zur Identifikation und Erfassung von Produkt- und Expertenwissen 99
Tabelle 4-2: Wissensquell-Matrix für Grundwerkzeuge 103
Tabelle 4-3: Wissensquell-Matrix für Handlingmodule..... 115
Tabelle 4-4: Zusammenfassung der Problemfelder und Definition der Anforderungen..... 118
Tabelle 5-1: Übersicht aller Methoden mit Verweis zur Detailbeschreibung im Anhang..... 157
Tabelle 6-1: Gliederung der Lösungsbausteine in Softwaremodule 163
Tabelle 6-2: SW-Funktion M16i: Eingabeparameter verwalten 169
Tabelle 6-3: SW-Funktion M12i: Variantentabellen verwalten 169

Anhang A1: Applikationstypisierung

Im Rahmen der Fallbeispieluntersuchung in Kapitel 4 wurde die Marktlösung TactonWorks® näher beschrieben. Zur systematischen Charakterisierung der Lösung wurde u. a. das in Kapitel 3.3.5 erstellte Typisierungsschema eingesetzt. Nachfolgend sind die Gestaltungsoptionen bzw. Charakterisierungsmerkmale aufgeführt. Blau markierte Felder bedeuten: zutreffend; graue Felder: teilweise zutreffend.

Idealtypischer Systemaufbau

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen			
Dialogkomponente Welche Formen zur Gestaltung/Entwicklung der Oberfläche existieren?	Individuelle Entwicklung/ Programmierung	Mittels grafisch interaktivem Dialog-Editor (keine Programmierung)	Generisch aus der Wissensbasis	
Interaktionsformen Wie gestaltet sich die Ausführung nach Interaktion mit einem Eingabewert?	Jederzeitige sofortige Ausführung und Anzeige	Optionale Ausführung durch explizites Anwählen von „jetzt updaten“	Durch klassischen Batch-Betrieb („alles“ eingeben – „alles“ ausgeben)	
Wissenskomponente Wie ist die Wissenskomponente aufgebaut?	Einheitliches, zentrales Modellierungswerkzeug		Einzelne Module/Werkzeuge für z. B. Struktur, Produktdaten, Regeln, Klassifizierung etc.	
Wissensbasis Existiert eine explizite Wissensbasis?	Keine explizite WB vorhanden	WB im CAD-System	Klassische, explizite WB	
Speicherkonzept der Wissensbasis In welcher Form werden Produktinformationen gespeichert?	Proprietäre Ablage	Standard-DB-System (relational, objektorientiert)	In file-basierter, standardisierter Form (z. B. XML, OWL)	
Outputgeneratoren Welche Ausgabe- und Aufbereitungsmöglichkeiten stehen zur Verfügung?	Bereinigung der Masterbaugruppen	Ausgabe von Konstruktionszeichnungen	Erstellung von Angebotsdokumenten	
Integrationskomponente Welche Schnittstellen bzw. Connectoren sind verfügbar?	Connector für spezifisches PDM	Schnittstellen zu gängigen Datenbanken	Eigene Programm-Aufrufe möglich (API)	
Betriebsformen Welche Formen des Betriebes sind möglich?	Lokale Anwendung am Arbeitsplatz	Unternehmensweite Lösung	Web-basiert (über das Internet)	

Einsatzzweck und Anwendungsfokus

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen			
Produktionskonzepte Welche Produktionskonzepte bzw. Auftragsarten werden unterstützt?	Make-to-Stock (MTS)	Assemble-to-Order (ATO)	Make-to-Order (MTO)	Engineer-to-Order (ETO)
Erzeugnisspektrum Welche Produkttypen werden unterstützt?	Produkte ohne Varianten	Standardprodukte mit herstellerspezifizierten Varianten	Standardprodukte mit kundenspezifizierten Varianten	Produkte nach Kundenspezifikation
Zielgruppen/Anwendungsfokus Welche Zielgruppen werden primär unterstützt bzw. sind Hauptanwender der Lösung?	Vertriebsmitarbeiter des Produktanbieters	Beschaffung beim Kunden (z. B. Einkäufer)	Technikmitarbeiter (Konstrukteure) des Produktanbieters	Technikmitarbeiter (Konstrukteure) des Kunden
Konfigurieren Grad der wissensbasierten Unterstützung?	Niedrig: kaum Konfigurationsregeln; einfaches Zusammenstellen von Komponenten	Mittel: Logik über Tabellen und einfachere Prozeduren (Makros)	Hoch: alle Techniken der Wissensrepräsentation/modellierung	
Konstruieren/Auslegen Grad der wissensbasierten Unterstützung?	Niedrig: kaum Berechnungen; keine adaptiven Anpassungen	Mittel: über Formeln, Tabellen, Regeln; alle Möglichkeiten der Parametrik und Featuretechnologie	Hoch: Einsatz umfangreicherer Berechnungsprogramme; evtl. Schnittstellen zu FEM oder Konstruktionsassistenten	
Einordnung anhand Produktbezeichnung. Wie wird die Lösung vom Anbieter eingeordnet bzw. bezeichnet	Vertriebskonfigurator	Produktkonfigurator	Design Automation System	KBE-System

Wissensmodellierung und Konfigurationsstrategie

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen			
Unterstützung bei der Wissenserfassung Welche Möglichkeiten zur systematischen Wissenserfassung werden unterstützt?	Keinerlei Unterstützung: Erhebung erfolgt durch selbst gewählte Mittel	Methodische Unterstützung: Empfehlungen in Form von Textvorlagen, Tabellen etc.	Systemunterstützung: Eigene Wissenserfassungskomponente	
Art der Wissensrepräsentation Welche Formen der Regelverarbeitung werden unterstützt?	Beliebig formulierte Bedingungen per Skriptsprachen	Mittels Entscheidungstabellen	Durch Regel-Ausdrücke (wenn – dann)	Durch Constraints (Zwangsbedingungen)
Konfigurationsstrategie Welche Formen der Konfigurationsrichtung werden unterstützt?	Top-Down (erzeugnisorientiert): Ausgehend von einem Mastermodell, werden bestehende Elemente regelbasiert angesteuert		Bottom-Up (einzelteilorientiert): Interaktiver Zusammenbau von Einzelelementen zu einem Ganzen	

Geometrieverarbeitung und CAD-Integration

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen			
Geometrieverarbeitung In welcher Form wird Geometrie verarbeitet?	Über eigenen Geometriemodellierer		Über gekoppeltes CAD	
Geometriequalität Welchen Fokus hat die Geometrieverarbeitung?	Fokus Visualisierung (vereinfachte Geometrien)		Fokus Verarbeitung (exakte Geometrien)	
Geometrieobjekte Welche Objektarten können verarbeitet werden?	Formelemente/Features	Skizzen/ Zeichnungen (2D)	Bauteile (3D)	Baugruppen (3D)
Geometrieelemente Welche Geometrieelemente können gesteuert/verändert werden?	Maßparameter ändern (Parametrik)	Formelemente erzeugen, löschen, ein-/ausblenden	Verknüpfungen/Bedingungen erstellen (für Formelemente, unter Bauteilen)	
CAD-Kopplung In welcher Form kann/wird ein CAD-System gekoppelt?	Keine CAD-Kopplung: Austausch von Geometriefiles	Systemkopplung über API (getrennte Systeme)	PKA-Applikation ist in CAD integriert	

Anhang A2: Methodenbaukasten

M01: Projektvorlage

Methode für Phase I (Vorbereitung)

Aufgabe und Zielsetzung

Hinreichende Beschreibung des Projektes hinsichtlich Ausgangssituation, Aufgabe und Zielsetzung.

Prinzip und Vorgehen

- Projektname; Auftraggeber
  Unter welchem Namen soll das Projekt initiiert und kommuniziert werden? Wer ist der Auftraggeber und somit „Sponsor" des Projektes?
- Kurze Beschreibung der Ausgangssituation
  Was sind die Bedürfnisse? Wie ist der unbefriedigende Ist-Zustand? Was bereitet Probleme und Schwierigkeiten? Wo sind die Schwachstellen? Was ist der Handlungsbedarf?
- Projektziele und Erwartungen; Nicht-Ziele
  Inhaltliche Abgrenzung durch die Beschreibung von **Zielen** (Ziele = **was** erreicht werden soll. Ziele sind nach Abschluss sichtbar) und **Nicht-Zielen** (werden formuliert, um bessere Klarheit der Ziele zu erreichen; Outputs die nicht erreicht werden sollen) sowie
  Inhalten (Inhalte = **wie** Ziele erreicht werden sollen; wichtigste Schritte, die zur Zielerreichung bearbeitet werden müssen; Inhalte sind nach Abschluss nicht sichtbar) und **Nicht-Inhalten** (werden formuliert, um bessere Klarheit der Inhalte zu erreichen; Schritte, die nicht bearbeitet werden sollen).
  Welche besonderen Erwartungen gibt es seitens des Auftraggebers? Gibt es bewertbare/messbare Vorgaben (z. B. „ich erwarte mir eine Halbierung des Konstruktionsaufwandes")?
- Prämissen und Randbedingungen
  Welche Besonderheiten sind zu berücksichtigen?

Ergebnis und Nutzen

Ausformulierte Projektbeschreibung als Teil eines Projektauftrages.

M02: Anforderungsliste

Methode für Phase I (Vorbereitung)

Aufgabe und Zielsetzung

Liste mit Anforderungen an das Assistenzsystem. Diese wird aus den Hauptaufgaben (Lastenheft) der Projektbeschreibung abgeleitet und ist eine Grundlage für die Konzeption sowie die spätere Zielüberprüfung.

Prinzip und Vorgehen

Das grundsätzliche Vorgehen zur Erstellung einer Anforderungsliste sieht folgende Schritte vor:

- Anforderungen Sammeln und Beschreiben
- Anforderungen Clustern/Ordnen (zweckmäßige Gliederung erstellen)
- Anforderungen klassifizieren (bspw. in Mindestforderungen und Wünsche)
- ggf. Anforderungen gewichten

Exemplarisches Beispiel einer Anforderungsliste:

Anforderungen	Klassifizierung	Gewichtung
1. Auslegungs-/Konfigurationsergebnis		40
1.x Anforderungen (z. B. 3D-Modell, Zeichnungen, Stückliste etc.	MF,W	
2. PKA-Systemfunktionen		10

2.x Anforderungen (bspw. Betriebsart, DB-Typ etc.)	MF,W	
3. Anwendung und Handhabung		15
3.x Anforderungen (bspw. Benutzeroberfläche, Konfig.richtung etc.)	MF,W	
4. Integration in die Konstruktionsumgebung (Schnittstellen)		25
4.x Anforderungen (bspw. CAD-System, PDM-System)	MF,W	
5. Nicht funktionale Anforderungen		10
5.x Anforderungen (bspw. zu erzielende Einsparung)	MF,W	

Möglicherweise lassen sich Anforderungen auch aus dem Kriterienkatalog ableiten (siehe M05: Kriterienkatalog Standardlösung S. 218). Hieraus könnten Anforderungen zu Systemaufbau, Einsatzzweck und Anwendungsfokus, Wissensmodellierung und Konfigurationsstrategie oder zu Geometrieverarbeitung und CAD-Integration entnommen und formuliert werden.

Ergebnis und Nutzen

Eine gut strukturierte und priorisierte bzw. klassifizierte Anforderungsliste ist eine Leistungsvereinbarung mit dem Auftraggeber und hilft sowohl bei der Konzeption wie auch bei der abschließenden Resultatsüberprüfung.

M03: Umfeldanalyse

Methode für Phase I (Vorbereitung)

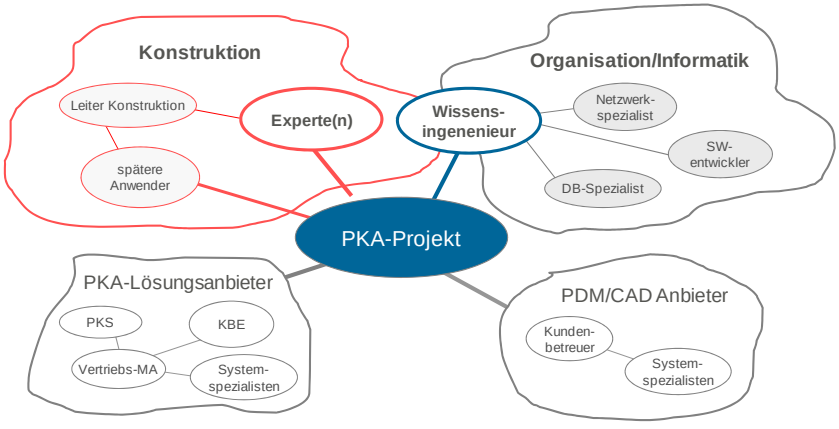
Aufgabe und Zielsetzung

Zur Etablierung eines Projektes ist u. a. eine Umfeldanalyse zweckmäßig. Diese analysiert die zu berücksichtigenden bzw. beteiligten Organisationseinheiten und deren maßgebende Personen.

Prinzip und Vorgehen

Das Projektumfeld zeigt die zu berücksichtigenden bzw. beteiligten Organisationseinheiten und deren maßgebende Personen auf: WI, Experte(n), Endanwender, SW-Entwickler, Anbieter von PKA-Standardlösungen (KBE, PKS), Anbieter von CAD/PDM etc. Auch können ggf. die Beziehungen zwischen den Akteuren entsprechend aufgezeigt werden. Die org. Zugehörigkeit des WI kann von Unternehmen zu Unternehmen variieren.

Darstellungsbeispiel einer Umfeldanalyse:



Anforderungen an den WI: Zur Bewältigung ihrer Aufgaben benötigen WI eine hohe Fach- und Methodenkompetenz. Diese beinhaltet ausreichendes Know-how über den Konstruktionsprozess (Verständigung mit dem Experten), über Modellierungskriterien (Produktmodelle, Wissensmodellierung, Konfigurationsmodell), CAD und PDM sowie IT-Kenntnisse in Bezug auf Datenbanken und Softwareentwicklung. Der WI kann gut strukturieren und komplexe Sachverhalte rasch verstehen und abstrahieren.

Anforderungen an Experten: Der Experte bringt die notwendige Kompetenz über das relevante Fachgebiet mit. Er kann Probleme und Zusammenhänge gut erklären und strukturieren. Für ein gutes, gegenseitiges Verständnis mit dem WI verfügt er idealerweise über IT-Grundkenntnisse.

Ergebnis und Nutzen

Die entsprechenden Rollen sind benannt und verteilt. Alle zu berücksichtigenden Organisationseinheiten sind identifiziert und eingeordnet.

M04: Wissensquellmatrix

Methode für Phase I (Vorbereitung) + Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)

Aufgabe und Zielsetzung

Methodische Erfassung der Wissensobjekte in Abhängigkeit der Herkunft von Daten, Informationen und Wissen.

Prinzip und Vorgehen

Für die maßgebenden Wissensobjekte *„Teileinformationen"*, *„Strukturinformationen"*, *„Konfigurationsregeln"* und *„Auslegungsregeln"* werden für die vorstrukturierten Wissensquellen *„Erfahrungswissen des Konstrukteurs"*, *„Dokumentationen"*, *„CAD-System"* und *„PDM-System"* konkrete Inhalte gesucht und in der Matrix erfasst. Eine detaillierte Beschreibung der Wissensobjekte und Wissensquellen findet sich in Kap. 4.1.3 (S. 97).
Die Leitfrage für die Erfassung der Wissensinhalte lautet: „Zu welchen Wissensobjekten sind in welchen Quellen, welche konkreten Informationen zu finden"?

Aufbau der Wissensquellmatrix:

Wissensobjekt / Wissensquelle	Teile-Informationen	Struktur-informationen	Konfigurations-regeln	Auslegungs-regeln
Erfahrungswi. des Konstrukteurs				
Dokumentationen				
CAD-System				
PDM-System				
Berechnungsprogramme				

Ergebnis und Nutzen

Die methodische Erfassung der Wissensobjekte lässt sich zweckmäßig in einer Matrix bewerkstelligen. Diese kann gleichzeitig auch als Checkliste eingesetzt werden.

M05: Kriterienkatalog Standardlösung

Methode für Phase I (Vorbereitung) + Phase III (Implementierung)

Aufgabe und Zielsetzung

Zur Evaluation und Auswahl einer Standardlösung sind bestimmende Kriterien hilfreich. Ein Kriterienkatalog bietet Gestaltungsoptionen zu wichtigen Merkmalen, mit deren Hilfe bspw. eine Anforderungsliste erstellt werden kann.

Prinzip und Vorgehen

Der Kriterienkatalog ist in vier Themenfelder unterteilt:

- Idealtypischer Systemaufbau
- Einsatzzweck und Anwendungsfokus
- Wissensmodellierung und Konfigurationsstrategie
- Geometrieverarbeitung und CAD-Integration

Jedes Themenfeld enthält Merkmale mit einer Leitfrage und möglichen Antworten (Gestaltungsoptionen), die systematisch durchgearbeitet werden. Die Bewertung erfolgt entweder in Zusammenarbeit

mit dem Lösungsanbieter, mithilfe von Produktbeschreibungen und/oder durch eigene Tests. Die Gestaltungsoptionen helfen in der Folge bei der Auswahl einer passenden Lösung bzw. durch Variation, bei der Konzeption einer Gesamtlösung. Auch können ggf. konkrete Anforderungen mit den Merkmalen abgeglichen werden und als erweiterte Anforderungsliste zur Lösungssuche herangezogen werden.
Die einzelnen Kriterien sind in Kap. 3.3 detailliert beschrieben und im Anhang A1 zusammengefasst. Auf eine neuerliche Auflistung wird an dieser Stelle verzichtet.

Beispiel anhand des Merkmals „Betriebsformen“:

Merkmal mit Leitfrage	Gestaltungsoptionen		
Betriebsformen Welche Formen des Betriebes sind möglich?	Lokale Anwendung am Arbeitsplatz	Unternehmensweite Lösung	Web-basiert (über das Internet)

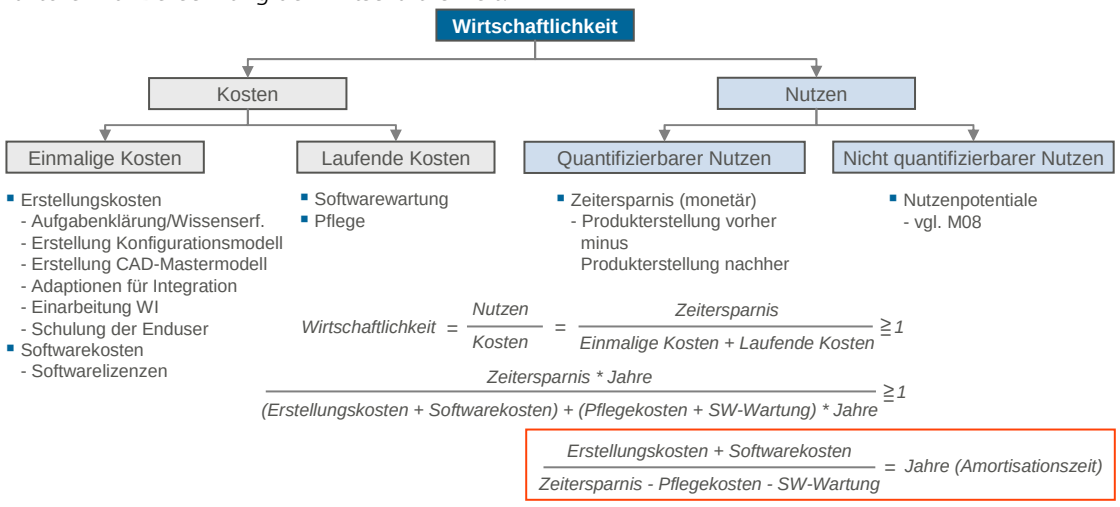
Ergebnis und Nutzen
Ergebnis ist entweder eine erweitere Anforderungsliste oder eine bewertete Standardlösung. Auch sensibilisieren die Kriterien in Richtung offener Fragegestellungen bzw. zu bearbeitender Aufgaben.

M06i: Kalkulationsvorlage
Methode und IT-Funktion für Phase I (Vorbereitung)

Aufgabe und Zielsetzung
Erkennen der Kostenfaktoren bzw. Kostentreiber. Berechnung der Amortisationszeit in Jahren.

Prinzip und Vorgehen
Die Wirtschaftlichkeit ist das Verhältnis zwischen dem erreichten Erfolg (Ertrag/Nutzen) und dem dafür benötigten Mitteleinsatz (Aufwand/Kosten). Ist der Quotient gleich oder größer als 1, ist eine Wirtschaftlichkeit gegeben. Durch Gleichungsumformung kann eine Amortisationszeit berechnet werden (siehe Abbildung). Die Kosten sind die Summe aus einmaligen Kosten (Erststellungskosten plus Softwarekosten) und laufenden Kosten (SW-Wartung und Pflege). Für das spezifische, vereinfachte Berechnungsmodell wird der Nutzen als Zeitersparnis (in Geld) zur Erstellung einer Produktvariante ohne und mit Assistenzsystem definiert.

Faktoren zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit:



- Festzulegende Werte
  Stundensatz Experte, Stundensatz WI, Anzahl geschätzter Produktvarianten pro Jahr, Beschaffungskosten pro Lizenz der Standardlösung, Anzahl benötigter Lizenzen der Standardlösung, Kosten der

jährliche Wartung pro Lizenz, Anzahl der geschätzten Pflegestunden pro Jahr, Erstellungszeit für Produktvariante ohne Assistenzsystem, Erstellungszeit für Produktvariante mit Assistenzsystem,

- Ermittlung der **Erstellungskosten**
  Die Erstellungskosten setzten sich im Wesentlichen aus den Zeitaufwänden des WI und des Experten für die Projektvorbereitung (Initiierung, Einführung in die Problemstellung), der Wissenserfassung und -formalisierung, der Implementierung (Erstellung des Konfigurationsmodells, Tests) und Einführung (Schulung) zusammen. Hierfür werden Stundenaufwände eingeschätzt und mit dem jeweiligen Stundensatz multipliziert. Die Einschätzung für die Wissenserfassung und -formalisierung wird auf die Komponentenebene heruntergebrochen. Über die Anzahl der Neuteile, Variantenklassen, Variantenteile sowie konfigurationsrelevante und nicht relevante Standardteile werden Erfahrungswerte für die Erstellung aller Komponenten- und CAD-Informationen ermittelt.
  Beispiel: ((Anzahl Neuteile) mal (Aufwand zur Erstellung) plus (Anzahl noch zu erstellender CAD-Modelle) mal (Aufwand zur Erstellung)) mal (Stundensatz WI)
- Ermittlung der **Softwarekosten**
  (Kosten pro Lizenz der Standardlösung) mal (Anzahl Lizenzen)
- Ermittlung der **Zeitersparnis** (pro Jahr)
  ((Erstellungszeit für Produktvariante ohne Assistenzsystem) minus (Erstellungszeit für Produktvariante mit Assistenzsystem)) mal (Anzahl geschätzter Produktvarianten pro Jahr)
- Ermittlung der **Pflegekosten**
  (Anzahl der geschätzten Pflegestunden pro Jahr) mal (Stundensatz WI)
- Ermittlung der **Software-Wartung**
  (Kosten der jährliche Wartung pro Lizenz) mal (Anzahl Lizenzen)

Ergebnis und Nutzen

Das Ergebnis sind Kostenschätzungen für die einmaligen und laufenden Kosten des PKA-Assistenzsystems sowie eine Amortisationszeit in Jahren. Die Vorlage ist eine praktikable Methode, um durch Wertevariation die Einflussgrößen in ihrer Wirkung auf die Kosten einschätzen/einordnen zu können. Die folgende Abbildung zeigt ein komplettes Beispiel anhand der Kalkulationsvorlage. Felder mit roter Umrandung sind Eingabefelder. Im ersten Block werden alle notwendigen Eingabewerte definiert, womit im zweiten Block die Zeitersparnis ermittelt werden kann. Der dritte Block dient der Berechnung des Aufwandes zur Erstellung des Assistenzsystems (mit Projektvorbereitung, Wissenserfassung und -formalisierung + CAD-Modelle, Implementierung, Betrieb). Der letzte Block berechnet die laufenden Pflegekosten. Ein Diagramm illustriert zum Abschluss die Amortisation durch Gegenüberstellung der Zeitersparnis und der Gesamtkosten.

Kalkulationsbeispiel:

Eingabewerte

Personalkosten:	**Softwarekosten Standardlösung**	**Produktvarianten pro Jahr**	**Zeitersparnis**
			Erstellungszeit für Produktvariante
Stundensatz Konstrukteur	benötigte Anzahl an Lizenzen	Anzahl	ohne Assistenzsystem
50 €/Stunde	3	100	5 h
Stundensatz WI	Softwarekosten pro Lizenz		mit Assistenzsystem
70 €/Stunde	5000 €		0,5 h
	SW-Wartungskosten Pro Lizenz		
	1.250 €		

Ermittlung der Kostenersparnis durch Zeitvorteil (Zeitersparnis)

h/Jahr ohne A.system	h/Jahr mit A.system	Zeitersparnis/Jahr	Monetäre Ersparnis	Ersparnis in %
500 h	50 h	450 h	22500 €/Jahr	900%

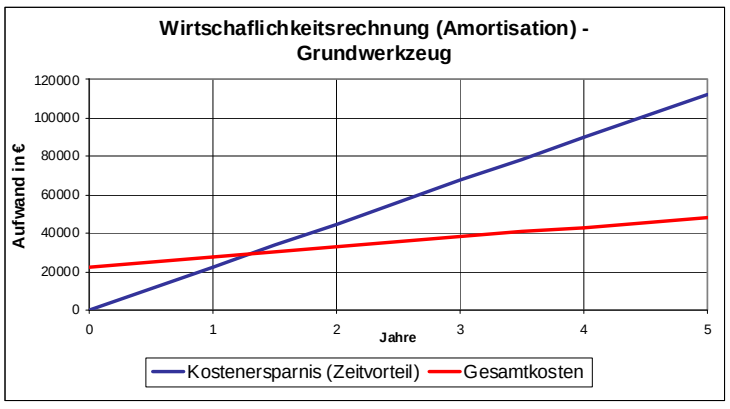
Berechnung des Aufwandes zur Erstellung des Assistenzsystems

					Aufwände (h)	Kosten:	Anteil an Kosten
Projektvorbereitung		WI		Experte			
Projektinitiierung		5		2 h	7 h	980 €	13 %
Einführung in die Problemstellung		5 h		3 h	8 h	1120 €	15 %
Wissenserfassung und -formalisierung, CAD-Modelle							
	Anzahl Komponenten	Anzahl kein CAD-Modell	Aufwand pro CAD-Modell	Aufwand WEF pro Komp.			
Neuteile	9	8	2 h	2 h	34 h	2380 €	31%
Varianten(Klassen)	4	0	0 h	1 h	4 h	280 €	4%
Variantenteile	362	0	0 h	0,02 h	7,24 h	506,8 €	7%
Standardteile (rel.)	13	0	0 h	0,5 h	6,5 h	455 €	6%
Standardteile (n. rel.)	1	0	0 h	0 h	0 h	0 €	0%
Erstellen Mastermodell					5 h	350	5%
Summen gesamt	389	8			56,7 h	3971,8 €	52%
(unterschiedl. Teile)	27						
Implementierung							
Erstellung des Konfigurationsmodells					5 h	350 €	5%
Tests					5 h	350 €	5%
Betrieb							
Einschulung					2 h	140 €	2%
Zuschlag in %				10 %			
Gesamte Erstellungskosten					92,1 h	7602,98 €	

Laufende Kosten

Pflegekosten Konfigurationsmodell/CAD-Mastermodell / Jahr	20 h/Jah	1400 €/Jahr

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Erstellungskosten + Softwarekosten}}{\text{Zeitersparnis - Pflegekosten - Softwarewartung}} = \textbf{1,3 Jahre}$$



LEGENDE:
Eingabefeld
Ergebnisfeld

M07: Risikocheckliste

Methode für Phase I (Vorbereitung)

Aufgabe und Zielsetzung

Bei der Konzeption und Einführung von PKA-Assistenzsystemen existieren auch Risiken. Diese gilt es vor einem Projekt abzuschätzen, zu bewerten und im Besonderen zu beachten.

Prinzip und Vorgehen

Grundsätzlich können hier auch alle aus dem Projektmanagement bekannten Projektrisiken auftreten. Allgemeine Risikochecklisten können bspw. aus GAREIS 2004 (S. 281), RKW EDITION 2011 (S. 1091) und KLOSE 1996 (S. 11) entnommen werden. Im Zusammenhang mit PKA-Projekten gelten alle Punkte, die bei den einzelnen Bearbeitungsschritten in Kap. 5 unter „Herausforderungen" genannt sind.
Mögliche Risiken und Herausforderungen für das Projekt sind insbesondere:

- Unklar formulierte Ziele im Projektauftrag. Hierdurch laufend hinzukommende Forderungen
- Zu hohe Erwartungen seitens des Auftraggebers bzw. der Endanwender
- Funktion eines WI muss erst geschaffen/aufgebaut werden
- Falsche Auswahl des/der Experten hinsichtlich der spezifischen Fachkompetenz
- Experte(n) ist/sind für das Projekt nur unzureichend verfügbar
- Zwischenmenschliche Probleme zwischen WI und Experte
- Vom Experten unrichtig kommuniziertes bzw. vom WI falsch verstandenes Produktwissen
- Widerstände in der Fachabteilung gegen das PKA-Assistenzsystem („Existenzängste")
- Eine für die Aufgabenstellung ungeeignete Standardlösung
- Fehleinschätzungen zu Machbarkeit und Nutzen
- Nicht erfasste bzw. übersehene Wissensquellen
- Späte Änderungen im Produktkonzept

Ergebnis und Nutzen

Ein systematischer Check anhand der Liste identifiziert eventuell besonders kritische Punkte. Dies ermöglicht ein rechtzeitiges Gegensteuern bzw. das Setzen von Maßnahmen, die das Risiko mindern oder gar ausschließen.

M08: Nutzenpotenziale

Methode für Phase I (Vorbereitung)

Aufgabe und Zielsetzung

Zusätzlich zur quantitativen Betrachtung der Wirtschaftlichkeit sollen Nutzenpotenziale weitere qualitative Argumente für einen Einsatz von PKA-Assistenzsystemen liefern.

Prinzip und Vorgehen

Für ein aktuelles Projekt können mithilfe der aufgeführten Argumente Nutzenpotenziale identifiziert und evtl. qualitativ bewertet werden.

Beispiele für Nutzenargumente:

Nutzenargument	Nutzenpotenzial für Bereich: Generell	Vertrieb	Konstruktion	Produktion	Kunden
Entlastung der „kreativen" Köpfe und Einsatz dieser für die Entwicklung neuer Produktinnovationen. Gerade in Zeiten akuten Technikermangels müssen die Personalressourcen effektiv eingesetzt werden.			■		
Reduzierung der Abhängigkeit von (bestimmten) Mitarbeitern (Experten). Durch die Formalisierung des unternehmensspezifischen Produktwissens kann diese wichtige Ressource (Alleinstellungsmerkmale) für das Unternehmen gesichert werden.	■				

Schnellere Umsetzung von kundenindividuellen Wünschen.		■			■
Schnellere Einarbeitung neuer Mitarbeiter und Übertragung von Entwicklungsverantwortung.			■		
Erhöhung der Prozess- und Kalkulationssicherheit durch erprobte Produktkonzepte.	■				
Ersatz für unpflegbar gewordene Eigenentwicklungen (Software) im Bereich der Konstruktionsautomatisierung.			■		
Neues, verbessertes Dienstleistungsangebot für Kunden mit Wünschen in Richtung der Verfügbarkeit von CAD-Modellen.		■			■
Unterstützung des technischen Vertriebes zur schnellen Angebotserstellung mit CAD-Unterlagen. Dadurch auch Entlastung der Konstruktion.		■	■		
Bessere Beherrschung der Komplexität variantenreicher Produkte durch analysiertes Produktmodell und formales Regelwerk.	■				
Vorhaben, kundenindividuelle Massenprodukte mit der Losgröße „eins“ anzubieten. (Stichwort: „Mass Customization“).				■	
Reproduzierbarkeit und Wiederverwendung von Produktvarianten. Vermeidung von „schon einmal gemachten“ Fehlern.				■	

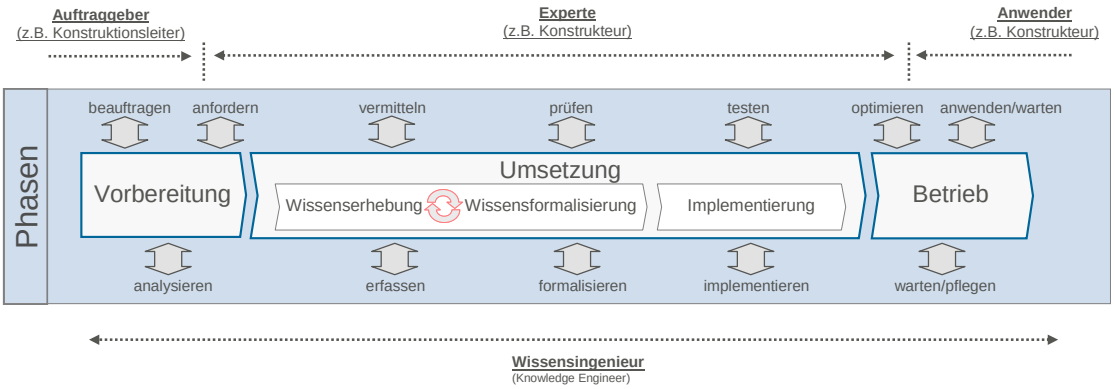
Ergebnis und Nutzen
Möglicherweise lassen sich Argumente identifizieren, die für das Unternehmen eine hohe (strategische) Bedeutung haben und somit positiven Einfluss auf den Projektentscheid ausüben.

M09: Projekt-/Phasenplan
Methode für Phase I (Vorbereitung)

Aufgabe und Zielsetzung
Zerlegung des Projektes in einzelne Phasen mit entsprechenden Zielsetzungen und Meilensteinen.

Prinzip und Vorgehen
Das PKA-Projekt wird in drei wesentliche Phasen unterteilt:
- Vorbereitung des Projektes (Auftrag, Voranalysen)
- Umsetzung (Identifizierung und Erhebung des Wissens, Strukturierung und Formalisierung des Wissens, Implementierung in die Standardlösung)
- Betrieb (Einführung, laufende Pflege)

Phasenplan mit Rollenzuordnung:



Diese Unterteilung kann auch für einen Projekt- bzw. Terminplan herangezogen werden. Dabei sind die Phasen anhand des Vorgehensmodells (siehe S. 153) mit Aufwänden zu bewerten und in einen Terminplan zu überführen.

Ergebnis und Nutzen

Das Ergebnis ist ein Projektplan der dabei hilft, die notwendigen Ressourcen einzuplanen und einen Fertigstellungstermin abzuschätzen.

M10i: Komponentenliste verwalten

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

Aufgabe und Zielsetzung

Erfassung und Verwaltung aller für das Umsetzungsprojekt relevanten Komponenten. Anhand von Metadaten werden die Komponenten zur weiteren Bearbeitung eindeutig und hinreichend beschrieben.

Prinzip und Vorgehen

Zusammen mit dem Experten und/oder mithilfe der Wissensquellmatrix (M04) werden die beteiligten Komponenten eruiert und in eine Tabelle eingetragen. Die wichtigsten Metadaten dabei sind:

- Komponentenname
  Möglichst ein sprechender Begriff. Bei Standardteilen bietet sich an, die Bezeichnung aus der PDM-Verwaltung zu verwenden.
- Eine eindeutige Komponenten-Identifikation
  Buchstabe und drei Ziffern (Beispiel: C001). Dieses ist einfacher in der Handhabung als evtl. vorhandene Materialnummern. Außerdem können auch neue Teile entstehen, die noch keine Nummer haben.
- Dokumentnummer eines evtl. vorhandenen CAD-Bauteiles
  Dies hilft später beim Aufbau des Mastermodells, bei der Ermittlung und Diskussion evtl. benötigter Geometrieattribute und zur Dokumentation.
- Zugehörige Materialnummer (bei Standardelementen)
  Hiermit kann schnell auf erweiterte Produktdaten (erweiterte Stammdaten, zugehörige Dokumente, Klassifizierung etc.) zugegriffen werden.

Beispiel einer Komponentenliste:

Komponentenname	Komponenten-ID	CAD-Dokument-ID	Material-ID
Komponente_1	C001	DocID_001	1234567
Komponente_2	C003	DocID_002	1234568
Komponente_n	C00n	DocID_00n	1234569

Gängige PDM-Systeme bieten die Möglichkeit, über eine Verknüpfung (Link) von extern auf das entsprechende Element (Stammdatensatz, Dokument) zuzugreifen. Ein solcher Link in der Tabelle ermöglicht einen schnellen, komfortablen Zugriff. Als Hilfsmittel zur Identifizierung der richtigen Komponenten kann die Wissensquellmatrix (M04), vorhandene Stücklisten, vorhandene CAD-Baugruppen oder existierende Mustervorlagen eingesetzt werden.

Ergebnis und Nutzen

Ergebnis ist eine vollständige Komponententabelle (Maximalliste) mit identifizierenden und beschreibenden Merkmalen. Dies ermöglicht eine gute Übersicht und einen schneller Zugriff auf Detailinformationen (Links) und ist die Basis für weitere Schritte (Erweiterungen wie Klassifizierung, Strukturierung).

M11i: Komponenten klassifizieren

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

Aufgabe und Zielsetzung

Eine Klassifizierung der Komponenten nach vorbereiteten Kriterien, die eine spezifische, weitere Detailbehandlung der Komponenten kennzeichnet.

Prinzip und Vorgehen

Zur Klassifizierung existieren fünf Kriterien, für die jeweils eine Spalte in der Komponententabelle vorgesehen ist. Jedes Kriterium besteht aus n Merkmalen, die über eine Kurzbezeichnung (KB) deren Ausprägung bestimmen.

Merkmalstabelle zur Klassifizierung der Komponenten:

KB	Merkmal	Beschreibung
Kriterium 1: Element-Typ		
BT	Bauteil	als physisches Bauteil in der Struktur vorhanden
BG	Baugruppe	als physische Baugruppe in der Struktur vorhanden
LE	Logisches Element	als logisches Element in der Struktur vorhanden
Kriterium 2: Element-Vorkommen		
O	Muss-Element	Element (BT/BG) in Struktur immer vorhanden
M	Optionales Element	Element (BT/BG) unter bestimmten Voraussetzungen vorhanden
Kriterium 3: Element-Art		
S	Standardelement	BT/BG vorhanden; im Teilestamm angelegt (Lager, Zukauf)
N	Neues Element	BT/BG neu zu konstruieren und zu fertigen
SN	S oder N	Wenn möglich Standardteil verwenden, ansonsten Neuteil möglich
Kriterium 4: Varianten-Art		
E	Einzigartiges Element	BT/BG einmalig/einzigartig vorhanden (Gegenteil zu Variante)
Vm	Mengenvariante	BT/BG Variante; gleiches BT/BG und Menge > 1
Vt	Teilevariante	BT Variante; gleiche Teile mit geometrischer Varianz
Vs	Strukturvariante	BG Variante; gleiche Baugruppe mit unterschiedlichen Teilen
Kriterium 5: Element-Anzahl		
Anz	Anzahl gleicher Elemente	1 -> es gibt genau ein (1) Element 0;2;4 -> es gibt entweder keine (0), zwei (2) oder vier (4) Elemente 2:1:6 -> es gibt mindestens zwei (2) und maximal sechs (6) Elemente in Schritten von eins (1)

Anhand dieser Klassifizierung lassen sich weitere Aufgaben und Erkenntnisse ableiten. Ein optionales Element (O) bedingt immer eine Verarbeitungsregel. Ein neues Element (S) erfordert weitere, genaue Spezifikationen sowie ein parametrisches CAD-Modell. Für Teilevarianten (Vt) müssen Variantentabellen erstellt werden. Varianten (Vm, Vt, Vs) erfordern immer eine Auswahlbedingung. Die Kenntnis über die Anzahl gleicher Elemente (Anz) gibt ebenfalls einen Input für weitere Bearbeitungsschritte (Modellaufbau, Regeln). Ist eine Komponente immer vorhanden (M), ein Standardteil (S) und einzigartig (E), so ist dieses nicht konfigurations-relevant und braucht nur im CAD-Mastermodell berücksichtigt zu werden.

Ergebnis und Nutzen

Mithilfe dieser selektiven Klassifizierung wird die Komponentenerfassung um eine nächste Stufe präzisiert und beschrieben. Die Merkmale indizieren weitere Bearbeitungsschritte.

Beispiel einer Klassifizierungstabelle:

Komponente_1	Element_Typ	Element-Vork.	Element-Art	Varianten-Typ	Element-Anzahl
Komponente_1	BG	M	S	E	1
Komponente_2	BT	M	N	Vt	0;2;4
Komponente_n	BT	O	N	Vt	0:1:6

M12i: Variantentabelle verwalten

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

Aufgabe und Zielsetzung

Eine Variantentabelle listet alle verfügbaren Ausprägungen einer spezifischen Erzeugnisvariante (Variantenklasse) inklusive ihrer beschreibenden Sachmerkmale auf und definiert damit auch die erlaubten Wertekombinationen.

Prinzip und Vorgehen

Mit Unterstützung des WI werden für eine bestimmte Variantenklasse alle relevanten Sachmerkmale eruiert und in eine Tabelle eingetragen. Anschließend werden alle bestehenden bzw. erlaubten Variantenausprägungen ermittelt und mit ihren Merkmalwerten in die Tabelle übernommen. Die wichtigsten Kennzeichen einer Variantentabelle sind:

- Name der Variantenklasse
  Eine Variantenklasse ist der Oberbegriff für einen variantenbehafteten Platzhalter in der Produktstruktur. Dementsprechend wird der Name des Platzhalterelementes aus der Komponentenliste gewählt. Dieser kann sowohl eine Teilevariante als auch eine Baugruppenvariante repräsentieren.
- Name der Variantenausprägung
  Eine Variantenausprägung ist ein spezifisches Element der Variantenklasse. Vielfach sind dies die verfügbaren Ausprägungen einer Baureihe.
- Sachmerkmale (SM) 1 – n
  Varianten werden über Sachmerkmale und deren Werte beschrieben. Die Festlegung des Datentyps erleichtert später die Implementierung.

Beispiel einer Variantentabelle:

Name der Variantenklasse	Name der Variantenausprägung	Datentyp: float **SM1: Hub in mm**	Datentyp: integer **SM2: Beaufschlagung**
Pneumatikzylinder	P-Zylinder_300	300	einfach
	P-Zylinder_400	400	einfach
	P-Zylinder_500	500	zweifach

Ergebnis und Nutzen

Ergebnis ist eine vollständige Definition und Aufbereitung einer Erzeugnisvariante, wie sie für die Implementierung benötigt wird.

M13i: Komponentenattribute verwalten

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

Aufgabe und Zielsetzung

Für jede Komponente wird eine Attributliste mit relevanten Merkmalen angelegt. Diese dient einer für die Konfiguration und Auslegungen hinreichenden Beschreibung.

Prinzip und Vorgehen

Die Liste besteht aus folgenden Merkmalen:

- Komponenten-ID
  Entsprechende ID dieser Komponente aus der Komponentenliste
- Komponentenname
  Entsprechender Name dieser Komponente aus der Komponentenliste
- Attribut-Name
  Idealerweise wird dafür eine selbsterklärende Bezeichnung gewählt. Attribute sind bspw. Geometriemerkmale (speziell für Neuteile), die Anzahl von Komponenten oder ein logischer Ja/Nein-Wert.

Mit diesen Komponentenattributen/-parametern werden später formale Regelausdrücke gebildet. Dementsprechend sollte er keine Umlaute oder Leerzeichen enthalten.

- Datentyp (float, integer, boolean)
- Min-Wert (minimaler Wert)
- Max-Wert (maximaler Wert)

Der Datentyp sowie die Min-/Max-Werte werden in der PKA-Applikation für die Regelauswertung benötigt.

Beispiel einer Attributliste:

Komponenten-ID	Komponentenname	Attribut Name	Datentyp	Min-Wert	Max-Wert
C002	Zahnrad	Zahnrad_Durchmesser	float	100	500
		Anzahl_Zahnraeder	integer	0	3
		Zahnrad_ja_nein	boolean	0	1

Ergebnis und Nutzen

Eine sauber und einheitlich definierte Merkmalsbeschreibung aller Komponenten erleichtert den Überblick sowie die Pflege der Daten. Weiters werden diese Informationen für die Implementierung benötigt.

M14i: Produkt strukturieren

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

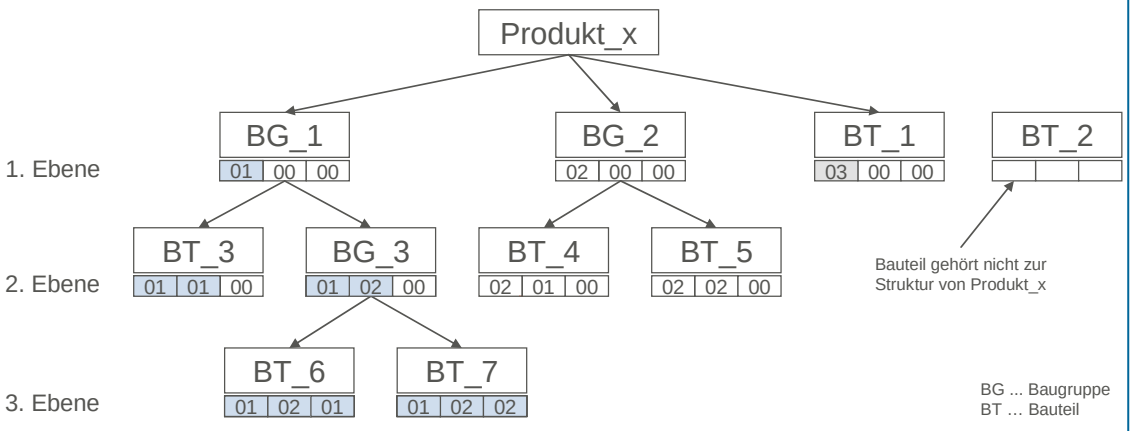
Aufgabe und Zielsetzung

Produktstrukturen werden im Laufe eines Umsetzungsprojektes in mehrfacher Hinsicht benötigt. Diese gilt es, zu entwickeln und festzulegen.

Prinzip und Vorgehen

Die Mindestvoraussetzung für eine Produktstruktur und deren weitere Verarbeitung ist die Komponentenliste (M10i) in einer logisch sortierten Form. Im Laufe der Strukturentwicklung müssen Komponenten eingefügt, unterdrückt oder umstrukturiert werden. Zur einfachen und auch händischen (mithilfe einer Tabelle) Bewältigung dieser Aufgabe wird ein Struktur- bzw. Ebenen-Code eingesetzt. Jeweils zwei Stellen des Codes bestimmen eine Ebene. Die beiden Ziffern der jeweiligen Ebene definieren die Rangfolge innerhalb der Ebene.

Schematischer Aufbau einer zu codierenden Produktstruktur:



Die Codierung 020200 des Bauteils BT_5 beschreibt die Position als zweites Unterelement von BG_2. BT_1 mit dem Code 030000 ist das dritte Element in der ersten Ebene und besitzt keine Unterelemente. Das Bauteil BT_2 hat keinen Code und gehört nicht zur Struktur.

Umgesetzt und eingetragen werden die Ebenen-Codes in einer separaten Spalte der Komponentenliste. Durch eine aufsteigende Sortierung der Liste nach dieser Spalte entsteht so die gewünschte Produktstruktur. Durch die parallele Anordnung mehrerer Spalten können gleichzeitig mehrere Strukturen auf Basis derselben Komponenten entwickelt und betrachtet werden.

Ergebnis und Nutzen

Ergebnis ist eine strukturierte Komponententabelle, die einer Strukturstückliste entspricht. Die damit festgelegten Ordnungen werden zum Aufbau einer DSM benötigt, wie auch zur Bildung des Konfigurationsmodells der PKA-Applikation. Das gleichzeitige Handling unterschiedlicher Strukturen ist im Besonderen für die Entwicklung der DSMx-Strukturen, der Mastermodell-Struktur sowie der PKA-Applikationsstruktur von großem Nutzen.

Komponente	Struktur A	Struktur B
Produkt_x	000000	000000
BG_1	010000	010000
BT_3	010100	010100
BG_3	010200	
BT_6	010201	010201
BT_7	010202	010202
BG_2	020000	
BT_4	020100	020000
BT_5	020200	030000
BT_1	030000	040000
BT_2		050000

Die Tabelle (links) zeigt die nach „Struktur_A" aufsteigend sortierte Komponententabelle des oben angeführten Beispiels. Die Spalte „Struktur B" definiert eine andere Produktstruktur bei der Elemente hinzugefügt (BT_2) und Elemente eliminiert wurden (die Baugruppen BG_2 und BG_3 wurden in ihre Einzelelemente aufgelöst).
Wahlweise kann nun durch Spaltensortierung zwischen den beiden Strukturen hin und her gewechselt werden.

M15: Expertenbefragung Steuergrößen

Methode für Phase I (Vorbereitung) + Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)

Aufgabe und Zielsetzung

Mithilfe von Leitfragen an den Experten sollen möglichst alle Eingabeparameter (Steuergrößen) identifiziert werden.

Prinzip und Vorgehen

Leitfragen

- Durch welche Eingabegrößen wird die PKA-Applikation gesteuert?
- Welche Konfigurations- und Auslegungsbedingungen möchte der Endanwender durch seine Eingaben steuern/beeinflussen?
- Durch welche Interaktionen soll das Produkt definiert/verändert werden können?
- Welcher Parameter ist ein Haupttreiber?
- Welcher Parameter hat die meisten Abhängigkeiten?
- Systematische Betrachtung der Variantenteile: Nach welchen Gesichtspunkten wird eine Variante ausgewählt/bestimmt?
- Systematische Betrachtung der Neuteile: Welche beschreibenden Attribute (gestaltsbestimmende Größen) sollen von außen gesteuert werden können?
- Systematische Betrachtung der optionalen Teile: Welche Inputs von außen bestimmen die Auswahl optionaler Teile?

Ergebnis und Nutzen

Sammlung aller zur Konfiguration und Auslegung erforderlichen Steuergrößen. Diese können in die Eingabeparameterliste übernommen werden.

M16i: Eingabeparameter verwalten

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

Aufgabe und Zielsetzung

Für den Aufbau der Benutzeroberfläche und zur Steuerung der Produktvariante müssen Parameter und Steuergrößen bestimmt und spezifiziert werden.

Prinzip und Vorgehen

Das Prinzip besteht aus einer Tabelle, die mittels einer eindeutigen ID alle erforderlichen Eingabeparameter (EP) beinhaltet. Eingabeparameter sind über Regeln immer mit Komponentenattributen verknüpft. Vielfach steuern sie die Gestalt von Komponentengeometrien. Aber auch Größen wie Anzahl/Menge oder logische Werte werden mit EP bestimmt. Zusammen mit dem Experten müssen folgende Spezifikationen vorgenommen werden:

- Eingabeparameter-ID
  Eindeutige, nicht-sprechende Identifikation (bspw. ein Buchstabe mit fortlaufender Nummer).
- Eingabeparameter Name
  Idealerweise wird dafür eine selbsterklärende Bezeichnung gewählt. Der Parametername wird auch zur Bildung von Regelausdrücken verwendet. Dementsprechend sollte er keine Umlaute oder Leerzeichen enthalten.
- Datentyp (float, integer, boolean)
- Min-Wert (minimaler Wert)
- Max-Wert (maximaler Wert)

Der Datentyp sowie die Min-/Max-Werte werden in der PKA-Applikation u. a. für die Überprüfung der Benutzereingaben benötigt.

Beispiel einer Eingabeparameterliste:

Eingabeparameter-ID	Eingabeparameter Name	Datentyp	Min-Wert	Max-Wert
EP01	Griff_Breite	Float	100	180
EP02	Griff_Anzahl	Integer	1	3
EP0n	EP_n			

Ergebnis und Nutzen

Übersichtliche Sammlung aller Eingabeparameter mit den für die Implementierung erforderlichen Spezifikationen.

M17i: DSMx erzeugen

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

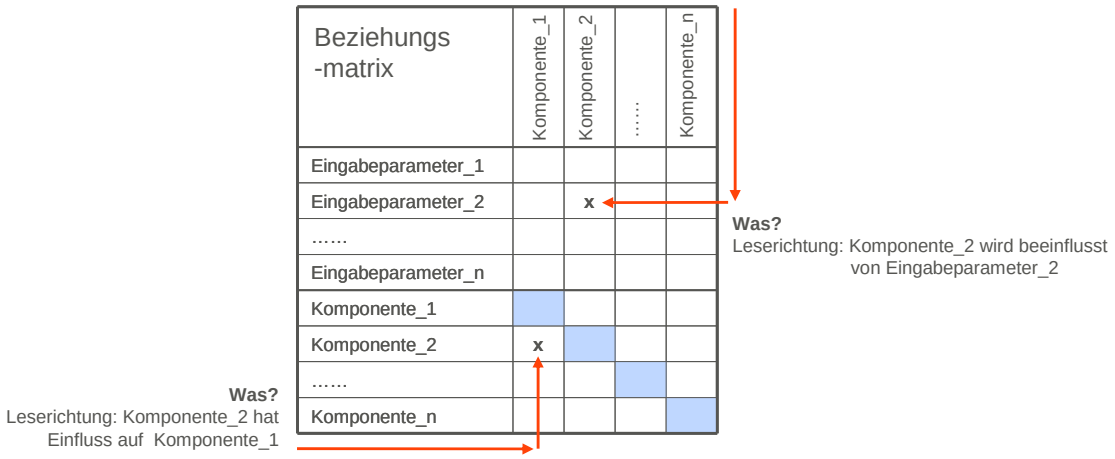
Aufgabe und Zielsetzung

Erzeugen bzw. Anlegen einer Design Structure Matrix (DSM) als Basis zur Erfassung von Beziehungen.

Prinzip und Vorgehen

Zur Erfassung der Beziehungen zwischen Komponenten untereinander und Beziehungen zwischen Eingabeparameter und Komponenten werden auf der vertikalen Achse im oberen Teil die Eingabeparameter und die Komponenten, auf der horizontalen Achse nur die Komponenten eingefügt. Die Auswahl der entsprechenden Struktur und damit die richtige Reihenfolge der Komponenten wurde in einem separaten Schritt getroffen (vgl. M14i: Produkt strukturieren). Die prinzipielle Funktion der entstandenen Zellen in der Matrix liegt darin, durch eine Kennzeichnung (bspw. mit einem „x") eine Elementsbeziehung darzustellen. Die Wirkung bzw. der Einfluss eines Elementes auf ein anderes Element kann in den Zeilen abgelesen werden (Abbildungsbeispiel: Komponente_2 hat Einfluss auf Komponente_1). Der Einfluss eines anderen Elementes auf ein betrachtetes Element kann den Spalten entnommen werden (Abbildungsbeispiel: Komponente_2 wird beeinflusst von Eingabeparameter_2).

Beispiel einer DSM für Komponenten und Eingabeparameter:



Ergebnis und Nutzen

Ergebnis ist eine zur Regelerfassung vorbereitete Matrix.

M18i: Regelerfassung

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

Aufgabe und Zielsetzung

Erfassen der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln auf Basis einer DSM und Formalisierung dieser in eine von der PKA-Standardlösung verarbeitbare Form.

Prinzip und Vorgehen

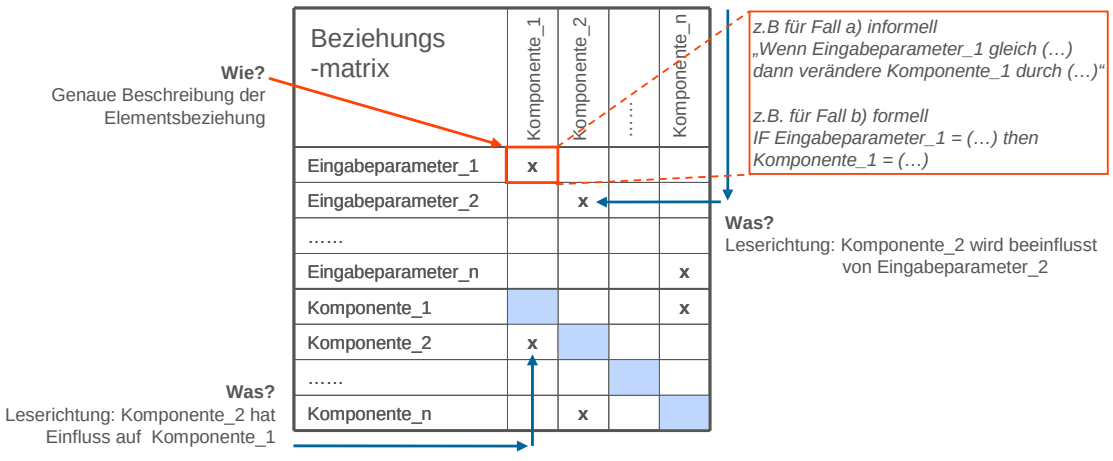
Fall a) Erfassung der informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln:
Diese weitestgehend vom Experten abhängige Regelerfassung kann entweder intuitiv (getrieben vom Experten) oder nach gewissen Systematiken (durch „Moderation" des Experten) erfolgen. Bei der intuitiven Form startet die Erfassung bspw. beim Element mit dem größten Einfluss bzw. bei den für den Experten vordergründigsten Regeln. In der Folge hangelt man sich von Einfluss zu Einfluss, in der Hoffnung, am Ende alle erfasst zu haben. Die Zellen der Matrix können auch systematisch bearbeitet werden. Ganz pragmatisch könnte die Matrix von oben links nach unten rechts durchlaufen werden. Zielgerichteter ist ein Vorgehen, das sich pro Element die Frage stellt: Auf welche anderen Elemente wirkt dieses Element bzw. umgekehrt, von welchen anderen Elementen wird dieses Element beeinflusst? In der Praxis ist meist eine Mischung der Ansätze zweckmäßig. Auch kann der jeweils andere Ansatz als Gegenprüfung zur Vervollständigung eingesetzt werden. Bei der Erfassung der Inhalte können prinzipiell zwei Arbeitsweisen angewendet werden:

a) Im ersten Durchlauf werden bekannte Beziehungen vorerst nur gekennzeichnet (bspw. mit einem „x"). In einem zweiten Schritt werden dann die markierten Zellen mit detaillierten Beschreibungen vervollständigt (siehe Abbildungsbeispiel).
b) Jede Zelle bzw. jede Regeldefinition wird sofort komplett bearbeitet.

Auch hier zeigt die Praxis, dass eine Kombination der beiden Vorgehensweisen durchaus Sinn macht.

Fall b) Formalisieren der durch a) erfassten informellen Konfigurations- und Auslegungsregeln:
Aus den informell beschriebenen Zusammenhängen werden mithilfe der Komponentenattribute und Eingabeparameter formale Regeln in der Syntax der PKA-Standardlösung gebildet.

Beispiel einer DSM mit detaillierter Beziehungsregel:



Ergebnis und Nutzen

Ergebnis ist eine übersichtliche Dokumentation aller Konfigurations- und Auslegungsregeln als Grundlage zur Implementierung in eine PKA-Applikation.

M19i: WB-Operationen

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

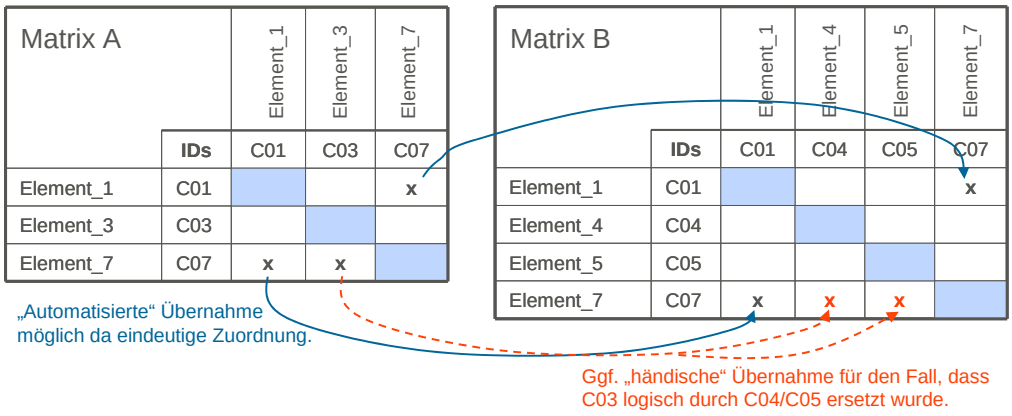
Aufgabe und Zielsetzung

Im Laufe der Wissenserhebung und Wissensformalisierung entstehen mehrere unterschiedliche Matrizen mit unterschiedlichen Wissensinhalten. Ziel dieser Methode ist die Verwaltung und der Austausch dieser Wissensinhalte.

Prinzip und Vorgehen

Alle Matrixelemente sind durch eine eindeutige ID (Komponenten-ID: C0x, Eingabeparameter-ID: EP0x) verwaltet. Somit ist jede Matrixzelle bzw. Zellinformation durch eine ID-Kombination (C0x/C0y oder EP0x/C0y) eindeutig bestimmt und kann gespeichert werden. Für die Übertragung von Zellinformationen von einer Matrix zur anderen wird im ersten Schritt für jede bestehende (alte) Information die entsprechende Zelle in der neuen Matrix gesucht und (automatisiert) übertragen (siehe Beispiel: Zelleninhalt C01/C07 und C07/C01). Zellinformationen, für die keine gleichen ID-Kombinationen existieren, werden entsprechend gekennzeichnet und ggf. händisch auf logisch äquivalente Zellen übertragen. Dies ist bspw. dann der Fall, wenn ein Element aus Matrix A (mit erfasster Regel) durch mehrere Unterelemente ersetzt und in eine Matrix B überführt werden muss. Für diesen Fall kann es Sinn machen, den Inhalt der entsprechenden „alten" Zelle, händisch auf alle neu entstandenen Zellen zu übertragen (siehe angeführtes Beispiel: Die Information aus C07/C03 kann händisch auf C07/C04 und C07/C05 übertragen werden).

Prinzip einer Übernahme von Informationen aus Matrix A nach Matrix B:



Ergebnis und Nutzen

In der Zielmatrix sind alle Informationen aus einer Ausgangsmatrix übernommen. Dies hilft bei Änderungen wie auch bei der Übernahme einer DSMgen in eine DSMrel.

M20i/M21i: Ausleitungen generieren

Methode und IT-Funktion für Phase II (Wissenserwerb & -formalisierung) + Phase III (Implementierung)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im WEF-Assistent.

Aufgabe und Zielsetzung

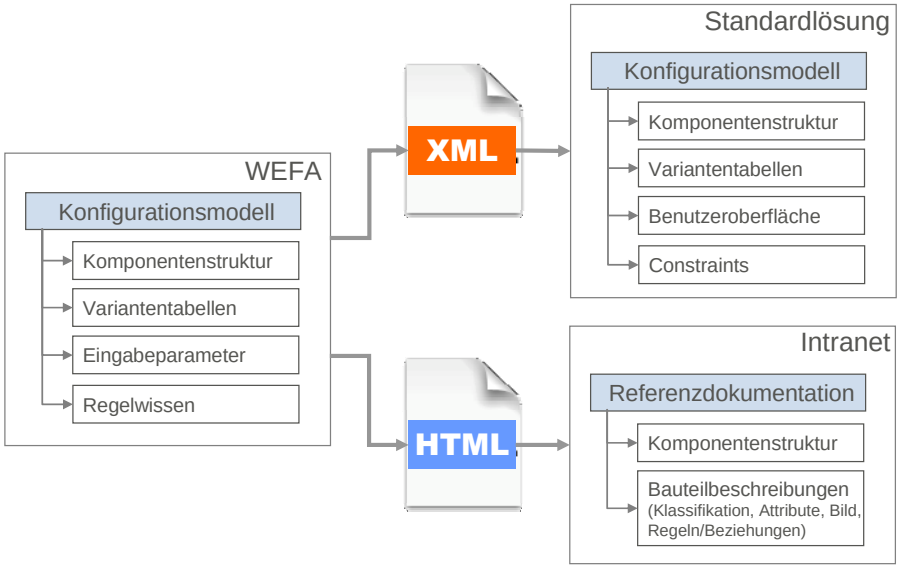
Automatische Generierung eines Konfigurationsmodells für die Standardlösung sowie einer Referenzdokumentation (z. B. für das Intranet).

Prinzip und Vorgehen

Das systemunabhängige WEFA-Konfigurationsmodell enthält alle wesentlichen Informationen zur generischen Übertragung in:

- Spezifisches Konfigurationsmodell für die Standardlösung
  Die Informationen werden per XML in das Schema der Standardlösung übertragen. Dieses ist i. d. R. gut dokumentiert bzw. kann durch eine Analyse von Beispielen abgeleitet werden. Komponentenstruktur und Variantentabellen können direkt übernommen werden. Aus den Eingabeparametern lässt sich eine erste grobe Definition der Benutzeroberfläche erstellen. Aus dem WEFA-Regelwissen werden die formalen Ausdrücke als Constraints übertragen.
- Referenzdokumentation
  Die Dokumentation kann bspw. direkt für das Intranet (HTML) aufbereitet werden. Idealerweise bedient man sich hier einer vordefinierten Struktur und ansprechenden Formatierung. Die Informationen müssen selbsterklärend aufbereitet werden. Für die Komponentenstruktur kann bspw. die Stücklistenform eingesetzt werden. Die einzelnen Komponenten werden mit ihren Attributen, evtl. einem Bild, der Teileklassifikation und den allgemeinsprachlich beschriebenen Regeln bzw. Beziehungen dokumentiert.

Prinzip der Ausleitungen für das Konfigurationsmodell der Standardlösung und die Referenzdokumentation:



Ergebnis und Nutzen

Ergebnis ist ein nahezu fertiges Konfigurationsmodell für die Standardlösung sowie eine allgemein zugängliche Referenzdokumentation. Der generische Vorgang reduziert die Erstellungsaufwände und verhindert weitestgehend Übernahmefehler.

M22i: Instanziierung des Mastermodells

Methode und IT-Funktion für Phase IV (Betrieb)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im Integrations-Modul.

Aufgabe und Zielsetzung

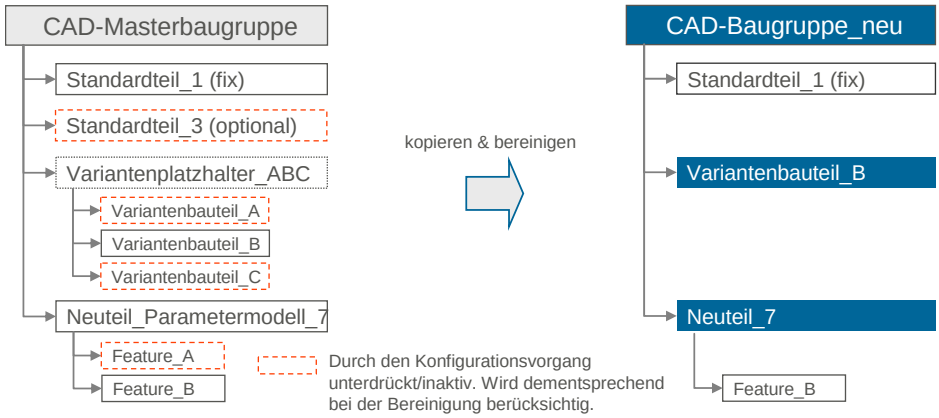
Überführung des CAD-Mastermodells in eine konkrete, der Konfiguration und Auslegung exakt entsprechende Ausprägung der Produktvariante.

Prinzip und Vorgehen

Unter „Instanziierung" wird in diesem Zusammenhang die Aufbereitung und Bereinigung eines CAD-Mastermodells in ein konkretes Konfigurationsergebnis verstanden. Die Abbildung illustriert das Prinzip. In einem ersten Schritt werden die Bereinigungen vorgenommen. Im angeführten Beispiel wird das nicht benötigte (unterdrückte), optionale *„Standardteil_3"* aus der Baugruppe gelöscht (bzw. deren Referenz). Ebenso werden die Referenzen zu den unterdrückten Komponenten *„Variantenbauteil_A"* und *„Variantenbauteil_C"* eliminiert womit anstatt des fiktiven Variantenplatzhalters nur mehr *„Variantenbauteil_B"* in der Baugruppe aufscheint. In einem zweiten Schritt wird der Geometrieplatzhalter

„*Neuteil_Parametermodell_7*“ in „*Neuteil_7*“ umbenannt und um das „*Feature_A*“ bereinigt. Zum Schluss wird die oberste Baugruppe kopiert und unter einem neuen Namen („*CAD-Baugruppe-neu*“) gespeichert. Dabei bleiben die Referenzen auf die Standardteile erhalten. Für neu entstehende Unterbaugruppen wird prinzipiell gleich verfahren, was hier aber nicht weiter ausgeführt wird.

Prinzip der Instanziierung eines CAD-Mastermodells:



Ergebnis und Nutzen

Ergebnis ist ein spezifisches CAD-Modell einer neuen Produktvariante. Hiermit sind alle Voraussetzungen für eine PDM-Verwaltung (siehe M23i) gegeben.

M23i: PDM-Verwaltung

Methode und IT-Funktion für Phase IV (Betrieb)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im Integrations-Modul.

Aufgabe und Zielsetzung

Automatisierte Verwaltung der Konfigurationsergebnisse.

Prinzip und Vorgehen

Der Basismechanismus ist i. d. R. eine Standardfunktion des PDM-Systems. Für die in Schritt S4.2 (Methode M22i) aufbereiteten Kopien der neu entstandenen Baugruppen und Bauteile muss jeweils eine neue ID vom System gelöst und den Komponenten zugewiesen werden. Hiermit sind alle Voraussetzungen für einen standardisierten Speicher- bzw. Verwaltungsvorgang im PDM-System gegeben, bei dem bspw. Strukturinformationen (zur Ableitung von Stücklisten) und/oder Datensätze neuer Komponenten angelegt werden.

Ergebnis und Nutzen

Sämtliche neu entstandenen Komponenten (Baugruppen, Bauteile) sind in PDM angelegt und können auf standardisiertem Wege dem Herstellprozess zugeführt werden.

M24i: Update PDM2Wissensbasis

Methode und IT-Funktion für Phase IV (Betrieb)
Erklärt wird hier nur das Funktionsprinzip. Praktikabel umgesetzt ist dies im Integrations-Modul.

Aufgabe und Zielsetzung

Aktualisierung der WB einer spezifischen PKA-Applikation bei Änderungen an oder Neuanlage von konfigurationsrelevanten Bauteilen im PDM-System.

Prinzip und Vorgehen

Eine Grundvoraussetzung für diese Funktion ist die Klassifizierung eines Variantenteiles im PDM-System nach der Neueröffnung, was i. d. R. zur Standardaufgabe einer Variantenverwaltung zählt. Durch die

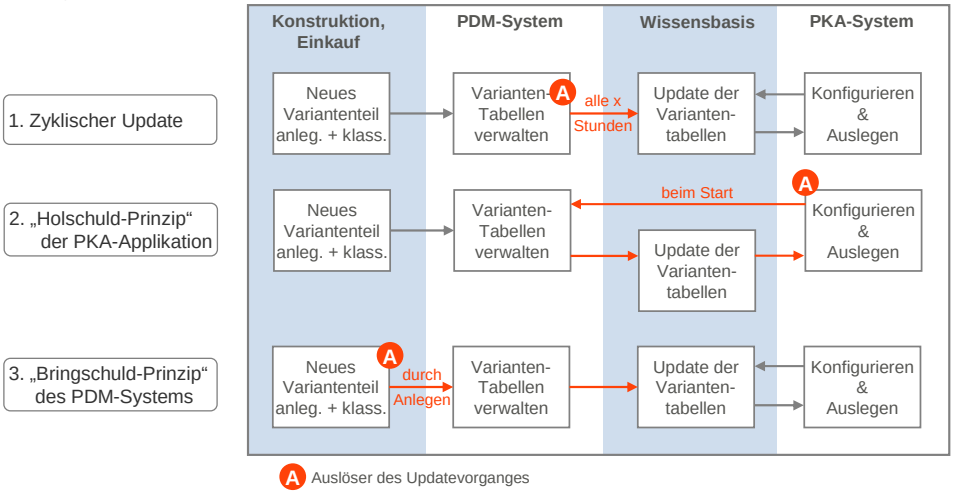
Zuordnung zu einer Variantenklasse stehen auch die entsprechenden Sachmerkmale zur Verfügung, in die die spezifischen Sachmerkmalswerte eingetragen werden. Für den Aktualisierungsvorgang der WB können grundsätzlich drei Lösungsansätze unterschieden werden (siehe Abbildung):

1. Zyklisches Update
Hierbei werden durch ein Dienstprogramm zyklisch (bspw. jeweils in der Nacht) alle relevanten Variantentabellen aus dem PDM-System ausgelesen, aufbereitet und in die WB übertragen. Durch eine Abfrage der Änderungshistorie der Variantenklasse kann dieser Vorgang optimiert werden (Übertragung nur für den Fall, dass sich bspw. in den letzten 24h an der Tabelle etwas geändert hat). Vorteil: Relativ einfach zu realisieren. Nachteil: Die Aktualität der WB differiert (maximal) um die Zeitspanne der Zykluszeit.

2. „Holschuld-Prinzip" der PKA-Applikation
Beim Start der PKA-Anwendung werden die notwendigen Informationen „geholt" bzw. erfolgt zuerst ein Update der WB. Hierbei werden mit API-Funktionen die relevanten Variantentabellen aus dem PDM-System ausgelesen. Auch hier kann der Vorgang optimiert bzw. die Aktualisierungszeit verkürzt werden, indem der Änderungsstatus im Vergleich zum letzten Start ausgewertet wird. Vorteil: Ein Update erfolgt nur bei Verwendung der PKA-Applikation. Nachteil: Der Beginn einer PKA-Anwendung wird verzögert bzw. der Startvorgang zieht sich für den Anwender unangenehm in die Länge. Der Ansatz setzt voraus, dass die Standardlösung beim Start eine Möglichkeit zum externen Programmaufruf bietet.

3. „Bringschuld-Prinzip" des PDM-Systems
Die Aktualisierung der Wissensbasis wird seitens des PDM-Systems gesteuert (Informationen werden „gebracht"). Der Vorgang wird in dem Moment angestoßen, in dem das Teil der Variantenklasse zugeordnet wird. Derartige „Triggerfunktionen" (oder allg. auch unter dem Begriff „Eventhandling" bekannt) sind in gängigen PDM-Systemen verfügbar. Hiermit können verschiedene Ereignisse wie bspw. Änderungen, Löschungen oder eine Neuanlage von Objekten überwacht werden. Vorteil: Ein Update erfolgt genau dann, wenn Variantentabellen verändert werden.

Drei Lösungsansätze für eine Aktualisierung der Wissensbasis:



Ergebnis und Nutzen

Die Wissensbasis des PKA-Assistenzsystems ist immer auf dem aktuellen Stand. Dies verhindert ein „Neuproduzieren" eines bestehenden Standardteiles.