



Institut für Konstruktionstechnik  
und Technisches Design  
Universität Stuttgart  
Prof. Dr.-Ing. H. Binz

Martin Kratzer

# **Anwendungsspezifische Entwicklung eines proaktiven Konstruktionssystems auf Basis von Softwareagenten**

Bericht Nr. 630



# **Anwendungsspezifische Entwicklung eines proaktiven Konstruktionssystems auf Basis von Softwareagenten**

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik  
der Universität Stuttgart  
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte  
Abhandlung

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Martin Kratzer  
aus Ludwigsburg

Hauptberichter:	Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz
Mitberichter:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Peter Göhner
Mitberichter:	Hon.-Prof. Dipl.-Ing. Alfred Katzenbach

Tag der mündlichen Prüfung: 20.11.2014

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design  
der Universität Stuttgart

**D 93**

**ISBN-10: 3-922823-88-2**

**ISBN-13: 978-3-922823-88-9**

**Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design**

Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 9

D-70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 685-66055

Telefax: +49 (0)711 685-66219

E-Mail: [mail@iktd.uni-stuttgart.de](mailto:mail@iktd.uni-stuttgart.de)

*„Gerecht ist nicht, wenn alle Kinder einen Apfel pflücken dürfen, sondern wenn der  
Zwerg unter ihnen eine Leiter bekommt.“  
(Alfred Buß)*

Für meinen Sohn Michael Matthäus Kratzer.

Für einen ganz besonderen Menschen.



## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Konstruktions-technik und Technisches Design (IKTD) der Universität Stuttgart unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz. Die Arbeit ist zum Teil das Ergebnis des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts „Proaktive Unterstützung von Konstruktionsprozessen durch Softwareagentensysteme“ (ProKon). Mein Dank gilt deshalb der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Finanzierung und Unterstützung des Projekts und dem Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik (IAS) der Universität Stuttgart als Kooperationspartner im ProKon-Projekt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz für die Betreuung der vorliegenden Arbeit. Die von ihm zugestandene Freiheit bei der Themenwahl und seine fachlichen Anmerkungen waren für mich sehr wichtig. Zudem danke ich den Herren Professoren Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Peter Göhner und Hon.-Prof. Dipl.-Ing. Alfred Katzenbach für die konstruktiven Diskussionen in den Lenkungsausschüssen des ProKon-Projekts, für die kritische Durchsicht der vorliegenden Arbeit und für die Übernahme des Mitberichts.

Für die fachlichen Diskussionen während der Bearbeitung der Themenstellung danke ich Herrn Dipl.-Ing. Daniel Roth, Herrn Dipl.-Ing. Mathias Messerle und Herrn Dipl.-Ing. Alexander Crostack, die zudem mit großer Sorgfalt die Arbeit korrekturgelesen haben. Einen besonderen Dank gilt meinem Gruppenleiter Herrn Dipl.-Ing. Daniel Roth und meinen Kollegen in der Arbeitsgruppe „Methodische Produktentwicklung“ Herrn Dipl.-Ing. Mathias Messerle und Herrn Dipl.-Ing. Benedikt Posner für die tolle Zeit am Institut und die entstandene Freundschaft.

Ich danke meinem Schwiegervater Herrn Dr.-Ing. Karl Hankele, der mich seit dem ersten Tag als Student für den Maschinenbau begeisterte sowie stets mit Rat und Tat bei Problemen und Entscheidungen zur Seite stand. Ihm danke ich auch für das Korrekturlesen der vorliegenden Arbeit.

Ausgesprochen große Dankbarkeit gilt meiner Frau Beate Kratzer, die mich immerfort in meinem Tun bestätigte. Ihr Verständnis ist beispiellos. Meinem Sohn Michael Matthäus Kratzer gilt der größte Dank, da er mich nach der Arbeit auf andere Gedanken brachte und stets ein Lächeln auf mein Gesicht zauberte. Ihm ist diese Arbeit gewidmet.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abkürzungen.....</b>	<b>V</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1    Generelle Problemstellung.....	1
1.2    Genereller Lösungsansatz .....	3
1.3    Problemstellung der vorliegenden Arbeit .....	6
1.4    Zielsetzung und Struktur der vorliegenden Arbeit .....	8
<b>2 Stand der Forschung .....</b>	<b>11</b>
2.1    Konstruktionsbereich als Einsatzkontext für das ProKon-System.....	11
2.1.1    Konstruktionsprozesse .....	12
2.1.2    Konstruktionswissen.....	16
2.1.3    Konstruktionsobjekte .....	24
2.1.4    Konstruktionsumfeld.....	27
2.1.5    Konstrukteure .....	31
2.2    Wissensbasierte Systeme und wissensbasierte Konstruktion .....	32
2.2.1    Grundlagen von wissensbasierten Systemen .....	32
2.2.2    Agenten und Agentensysteme .....	33
2.2.3    Wissensverarbeitung in Agentensystemen .....	36
2.2.4    Wissensbasierte Konstruktion .....	39
2.2.5    Wissensbasierte Konstruktionssysteme .....	42
2.2.6    Einsatz von wissensbasierten Konstruktionssystemen in der Praxis ...	46
2.3    Vorgehensweisen für wissensbasierte Systeme .....	48
2.3.1    Grundlagen des Knowledge Engineerings .....	48
2.3.2    Vorgehensweisen für allgemeine wissensbasierte Systeme .....	52
2.3.3    Vorgehensweisen für wissensbasierte Systeme in der Konstruktion ...	55
2.3.4    Vorgehensweisen für Agentensysteme .....	56
2.4    Schlussfolgerungen aus dem Stand der Forschung .....	59
<b>3 Agentenbasiertes Konstruktionssystem ProKon .....</b>	<b>65</b>
3.1    Aufbau des ProKon-Systems.....	65
3.2    Funktionalität des Basissystems.....	66
3.3    Struktur und Aufbau der Wissensbasis des ProKon-Systems .....	73
<b>4 Analyse der Grundlagen .....</b>	<b>79</b>
4.1    Analyse der Konstruktionssysteme.....	79
4.1.1    Klassische Konstruktionssysteme .....	80

---

4.1.2	Agentenbasierte Konstruktionssysteme .....	82
4.1.3	Abgrenzung der Systemarten .....	83
4.2	Analyse des ProKon-Systems.....	84
4.2.1	Einordnung des ProKon-Systems.....	84
4.2.2	Analyse der Entwicklung des Kernsystems .....	85
4.3	Analyse der Vorgehensweisen.....	87
4.3.1	Anforderungen an die eigene Vorgehensweise .....	87
4.3.2	Vergleich der Vorgehensweisen .....	90
4.4	Schlussfolgerungen aus der Analyse der Grundlagen .....	93
<b>5</b>	<b>Konkretisierung der Aufgabenstellung.....</b>	<b>95</b>
5.1	Konkretisierung der Zielsetzung.....	95
5.2	Weitere Vorgehensweise der Arbeit.....	98
<b>6</b>	<b>Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems .....</b>	<b>100</b>
6.1	Ansatz zur Unterstützung von Wissensingenieuren .....	100
6.1.1	Modellhafte Darstellung der Vorgehensweise .....	100
6.1.2	Vorgehensmodell.....	103
6.1.3	Anwendungsmöglichkeiten.....	107
6.1.4	Eingliederung und Abgrenzung .....	110
6.2	Beschreibung des Organisationsmodells .....	114
6.2.1	Ansatz zur Erarbeitung des Organisationsmodells .....	115
6.2.2	Kriterienset als Abbildung der idealen Anwendung .....	117
6.2.3	Auswahl einer Modellierungssprache .....	124
6.2.4	Vorgehen innerhalb der Unternehmensanalyse .....	126
6.2.5	Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells .....	130
6.3	Beschreibung des Agentenmodells.....	131
6.3.1	Ansatz zur Identifikation relevanter Agenten .....	131
6.3.2	Auswahl einer Methode .....	133
6.3.3	Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten .....	135
6.3.4	Vorgehen zur Erarbeitung des Agentenmodells .....	137
6.4	Beschreibung des Wissensmodells.....	141
6.4.1	Ansatz für die Erarbeitung des Wissensmodells.....	141
6.4.2	Wissensidentifikation .....	145
6.4.3	Wissensstrukturierung.....	150
6.4.4	Wissenserhebung.....	154
6.4.5	Wissensanalyse.....	156
6.4.6	Wissensrepräsentation .....	159

---

<b>7 Validierung und Verifizierung des Lösungsansatzes.....</b>	<b>170</b>
7.1 Vorstellung der Evaluationssystematik .....	170
7.2 Evaluation der Vorgehensweise in Fachexpertengesprächen .....	174
7.3 Evaluation der Organisationsmodellierung .....	176
7.3.1 Vorbereitende Evaluation.....	176
7.3.2 Evaluation der Anwendbarkeit und Nützlichkeit .....	178
7.4 Evaluation der Agenten- und Wissensmodellierung .....	179
7.4.1 Anwendung des Vorgehens zur Erarbeitung eines Agentenmodells..	180
7.4.2 Anwendung des Vorgehens zur Erarbeitung eines Wissensmodells .	181
7.5 Evaluation des ProKon-Systems im ProKon-Projekt .....	183
7.5.1 Anwendungsszenario im ProKon-Projekt.....	184
7.5.2 Beispielhafte Modellierung einer Wissensdomäne.....	186
7.5.3 Vorstellung des Prototyps des ProKon-Basissystems.....	188
7.5.4 Vorstellung der Evaluation des ProKon-Basissystems.....	194
7.5.5 Interpretation der Evaluationsergebnisse aus dem ProKon-Projekt...	196
7.6 Diskussion der Ergebnisse .....	200
<b>8 Zusammenfassung.....</b>	<b>202</b>
<b>9 Ausblick .....</b>	<b>205</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>206</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>231</b>
A.1 Übersicht über die klassischen Konstruktionssysteme .....	231
A.2 Übersicht über die agentenbasierten Konstruktionssysteme .....	232
A.3 Kriterienset.....	234
A.4 Beispielhafter KMDL-Prozess (Aktivitätssicht) .....	237
A.5 Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten.....	238
A.6 Detaillierter Entwurfsprozess .....	240
A.7 Prinzipieller Aufbau eines semantischen Netzes .....	243
A.8 Semantisches Netz für den Querpressverband .....	244
A.9 ProKon-knowledge forms für den Querpressverband.....	245
A.10 Fragebögen für die Evaluation.....	247
A.11 Evaluation Daimler AG.....	254
A.12 Evaluation ems Engineering & Management Service GmbH.....	254
A.13 Evaluation Blum AG.....	255
A.14 Evaluation :em AG.....	256
A.15 Evaluation Hella KGaA Hueck & Co. ....	257
A.16 Evaluation Institut Softwaremethodik für verteilte Systeme .....	258

## Formelzeichen

$b_{\text{Nabe}}$	Breite der Nabe in mm
$D_{\text{a}_A}$	Außendurchmesser des Außenteils (d. h. der Nabe) in mm
$D_{\text{a}_I}$	Außendurchmesser des Innenteils (d. h. der Welle) in mm
$D_{\text{i}_A}$	Innendurchmesser des Außenteils (d. h. der Nabe) in mm
$D_{\text{F}}, D_{\text{D}_F}$	Fugendurchmesser in mm
$l_{\text{Welle}}$	Länge des Abschnitts auf der Welle am Querpressverband in mm
$l_{\text{F}}, l_{\text{D}_F}$	Fugenlänge in mm
$m_{\text{max}}$	Maximal zulässiges Gewicht der Getriebewelle als Baugruppe in kg
$p$	Flächenpressung zwischen Welle und Nabe am Querpressverband in MPa oder N/mm <sup>2</sup>
$R_{\text{ZA}}$	Gemittelte Rautiefe der Fugenfläche auf der Nabe in $\mu\text{m}$
$R_{\text{ZI}}$	Gemittelte Rautiefe der Fugenfläche auf der Welle in $\mu\text{m}$
$S_{\text{R}}, S_{\text{D}_R}$	Sicherheitsbeiwert gegen Rutschen
$T_{\text{ist}}, T_{\text{D}_ist}$	Tatsächlich vom Querpressverband übertragbares Drehmoment in Nm
$T_{\text{soll}}, T_{\text{D}_soll}$	Vom Querpressverband zu übertragendes Drehmoment in Nm
$U$	Übermaß in $\mu\text{m}$
$U_{\text{w}}$	Wirksames Übermaß des Querpressverbands in $\mu\text{m}$
$v_{\text{Ru}}, v$	Haftbeiwert bei Rutschen in Umfangsrichtung

## Abkürzungen

C&C <sup>2</sup> -A	Contact and Channel Approach (dt. Elementmodell)
CAD	Computer-aided Design
CommonKADS	Common Knowledge Acquisition and Documentation Structuring
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DfX	Design-for-X (z. B.: fertigungsgerechtes Konstruieren)
DMU	Digital Mock-Up
DRM	Design Research Methodology
DS I	Descriptive Study I (d. h. Stand der Forschung)
DS II	Descriptive Study II (d. h. Evaluation)
DtX	Design-To-X (z. B.: kostengerechtes Konstruieren)
ERP	Enterprise Resource Planning
GUI	Graphical User Interface (dt. grafische Benutzungsoberfläche)
IAS	Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik der Universität Stuttgart
ICARE	Illustration Constraint Activity Rule Entity (Akronym)
IKTD	Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design der Universität Stuttgart
IT	Informationstechnologie
JT	Jupiter Tessellation (leichtgewichtiges Datenformat)
KBE	Knowledge-based Engineering (dt. wissensbasiertes Konstruieren)
KMDL	Knowledge Modeling and Description Language
LSS	Leitstützstruktur
MOKA	Methodology and tools oriented to knowledge-based engineering applications
PDM	Produktdatenmanagement
PKF	ProKon-knowledge form
PLM	Product Lifecycle Management
Pro/E	Pro/ENGINEER

ProKon	Proaktive Unterstützung von Konstruktionsprozessen durch Software-agentensysteme
PS	Prescriptive Study (d. h. Entwicklung der eigenen Lösung)
RC	Research Clarification (d. h. Forschungsplanung)
TDM	Team Data Management
UDF	User-defined Feature
WBS	Wissensbasiertes System
WF	Wirkfläche
WFP	Wirkflächenpaar

## Abstract

Today, engineering design is characterised by interdisciplinarity and complexity. Both lead to the fact that design engineers need too much time for gathering, assessing and internalising information during the engineering design process. Moreover, complexity of products is a cause for misunderstanding relations in between parts as well as between parts and assemblies. Design engineers need more time to deal with this increased complexity. Beside the non-fulfillment of requirements, a sinking level of accordance with Design for X-guidelines leads to a decreased product quality.

Knowledge-based systems in engineering design are one measure to overcome these problems. The research on them had its focus from the mid-eighties to the end of the nineties in the last century. Especially, rule based systems and case based systems were developed. Unfortunately, most of these systems stayed in academia and failed to get used in practice.

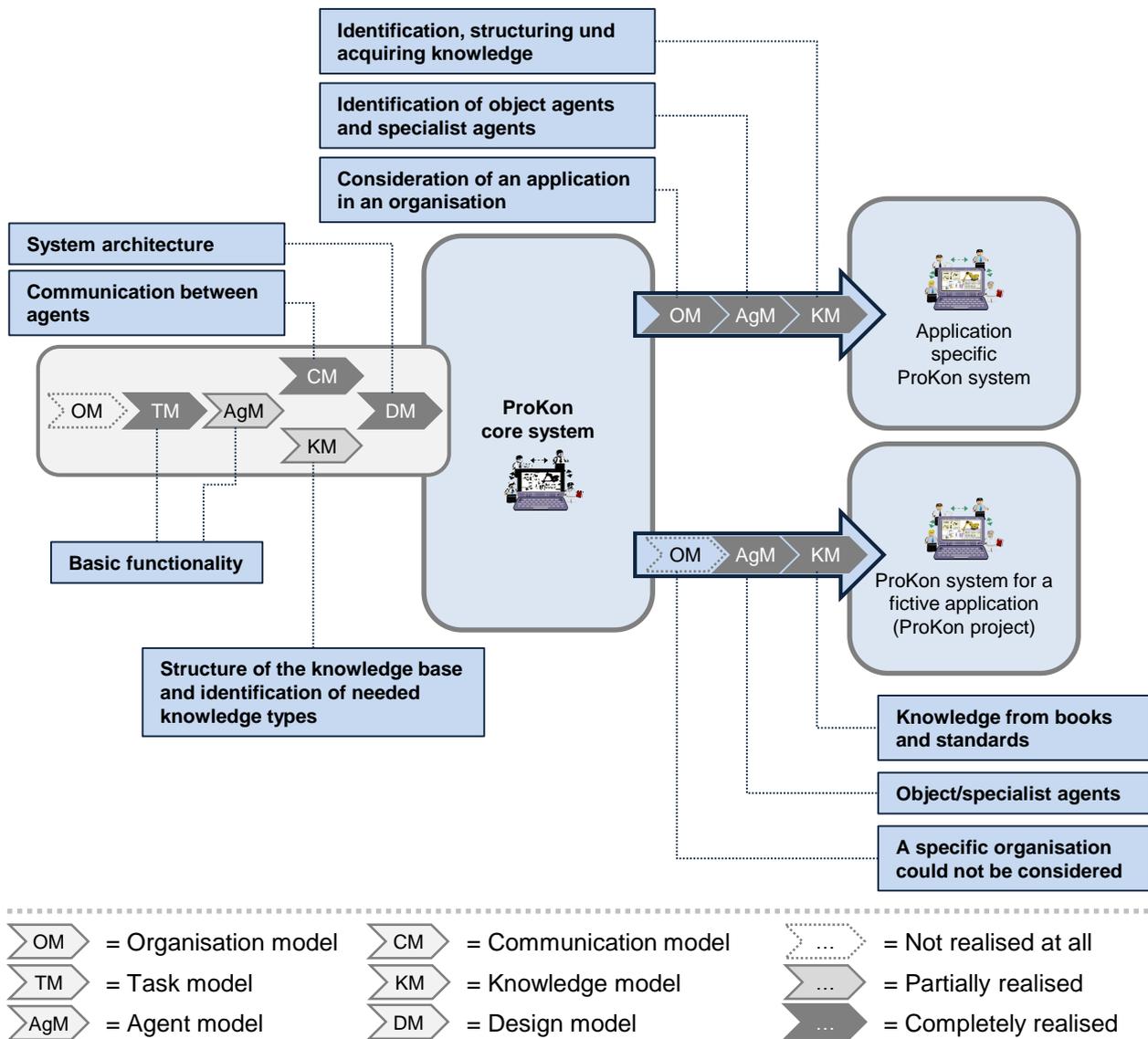
The ProKon project deals with the development of a multi-agent design system (MADS) as one form of knowledge based system, whereby the project served as a feasibility study. The basic functionality of the ProKon system comprises a consistency check of a product model in accordance with requirements, the function and Design for X-guidelines. If there are some inconsistencies, the ProKon system finds solutions and autonomously realises them into the product model. Considering other MADS, this functionality is unique. The ProKon system serves as a personal assistant to design engineers, whereby they get assisted and not overruled.

The aim of the system is to increase the level of accordance with Design for X-guidelines. Besides that, the time for gathering, assessing and internalising knowledge and the time for improving and revising complex product models should decrease. Then design engineers are able to concentrate more on the value-added activities.

As a result, a core system has been developed which includes the basic functionality, the communication between the agents, the fundamentals of knowledge processing and the architecture (see Figure 1). However, the core system is not aligned to a specific application and organisation. Therefore, it does not comprise neither application oriented agents nor organisational knowledge. But those are needed to really support design engineers.

To align the core system to a specific application and organisation the present work describes a model-based procedure. As foundations, the CommonKADS approach as

well as the distinction between the knowledge level and the symbol level is used. Three models are intended: organisation model, agent model and knowledge model (see Figure 1). They are located on the knowledge level without sparing a thought about computer aspects.



**Figure 1:** Development of the ProKon core system and the present procedure to develop an application specific ProKon system

First, the organisation model represents the ideal application within an organisation for the ProKon system. This application for the ProKon system is defined, inter alia, by an engineering design process in which the product is developed by changing geometrical dimensions and material configurations (variant design). Original designs and adaptive designs cannot be effectively supported by the ProKon system. Moreover, the engineering design process should be iterative and has to have different process owners with

opposed goals. The product should not exceed a certain level of complexity and the organisation itself needs to be susceptible to methods in knowledge management.

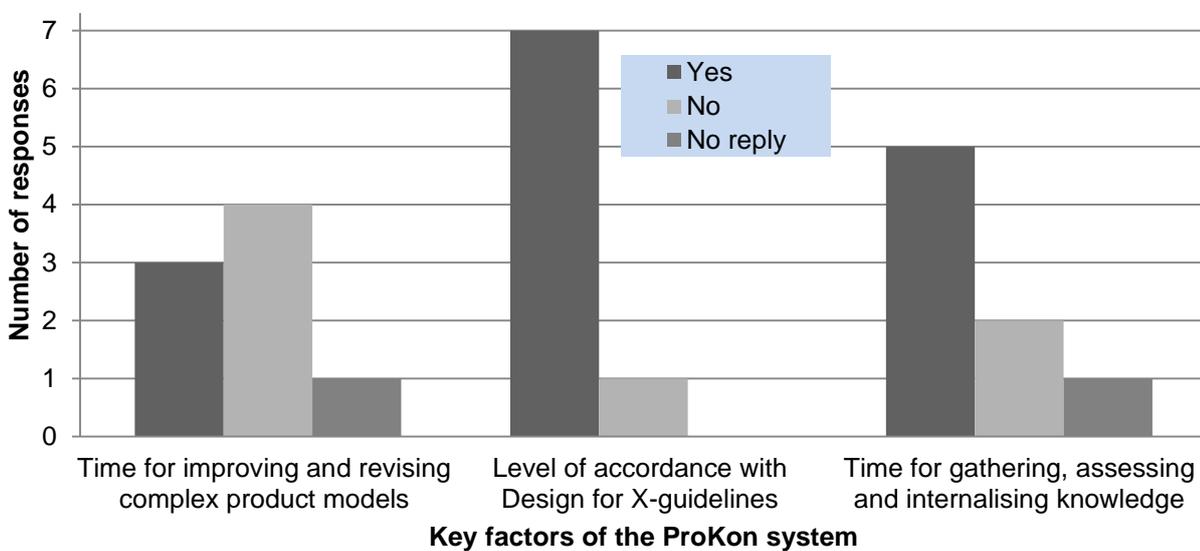
Within the organisation model, the approach of Hubka and Eder is used to figure out which success factors have to be considered in order to analyse organisations. By means of these success factors and subsequent criteria, knowledge engineers are empowered to identify the application in which the ProKon system can be used. Once a suitable application in an organisation has to be identified, the application specific agents have to be identified. This is done by carrying out a graphical product analysis by using the Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A). Knowledge engineers model the product by means of system boundaries, working surface pairs and channel structures in order to identify the force transmission. With an analogy, the needed object agents and specialist agents are identified and stored in the agent model.

One specialist agent deals with one knowledge domain. Therefore, it has to be ensured that this agent can access formalised knowledge within this knowledge domain. In addition to specialist agents, knowledge for aspects agents has to be acquired. This is realised by five steps to achieve a knowledge model. There, two principles are considered. The principle of competence ensures that not only the process owners are taken into consideration within the knowledge acquisition. Moreover, the principle of roles implied that one agent comprises only knowledge which fits to its role. A role in the human organisation does mostly not comply with a role in the agent community. After the knowledge acquisition the knowledge is stored in the knowledge model on a semi-formal level by neglecting computer specific integration aspects. The specific outcomes of the knowledge model are ProKon-knowledge forms, knowledge distributions and knowledge-to-role structures.

The knowledge engineer passes the models to software engineers. They operate on the symbol level and realise the ProKon system for a application. Both knowledge engineers and software engineers are the decisive roles in the development process of the ProKon system. Supporting roles are decision makers and leading design engineers.

Within the ProKon project a fictive application has been developed (see Figure 1). A gear shaft with spur wheels, bearings, sealings, circlips and one fitted key serves as the application scenario (not depicted in Figure 1). Due to the fact that the ProKon project is publicly funded, the participation of industrial organisations is not common practice. The organisation model could not be used in this case. However, the agent model and the knowledge model were developed to build up the foundation of the prototype.

The final prototype was evaluated in industrial practice. Eight design engineers in gear-box industry designed with the support of the ProKon system on the fictive application. It turned out that the level of accordance with Design for X-guidelines increased, if the prototype is transferred into practice. As Figure 2 shows, is this the same for the time for gathering, assessing and internalising knowledge. However, the practitioners stated that the time for improving and revising complex product models is not explicitly influenced by the ProKon system. Due to the fact that the procedure is significantly involved into the ProKon project, it can also be concluded that the procedure had its use. There, side effects on the functionality of the ProKon system have to be neglected.



**Figure 2:** Interpretation of the evaluation results considering the key factors of the ProKon system

This statement was confirmed by seven domain experts, to whom the procedure was presented. They stated that the procedure is generally applicable, useful and the state of the art was fully considered. In certain methods, the procedure is too abstract yet and knowledge engineers need a lot of time to go through. The methods have to be concretised and a modular structure has to be implemented. Overall, the procedure represents no real revolution on the top level. However, the PKF forms and the knowledge distribution as methods within the procedure are new approaches in the design community. The organisation model is prototypically used within one workshop with engineering designers from industrial practice. Although the usage could not be proofed, a first positive statement about the applicability is given. As the main part of the organisation model, the criteria are theoretically tested by five academic assistants. The set of criteria is applicable, consistent and complete.

# 1 Einleitung

## 1.1 Generelle Problemstellung

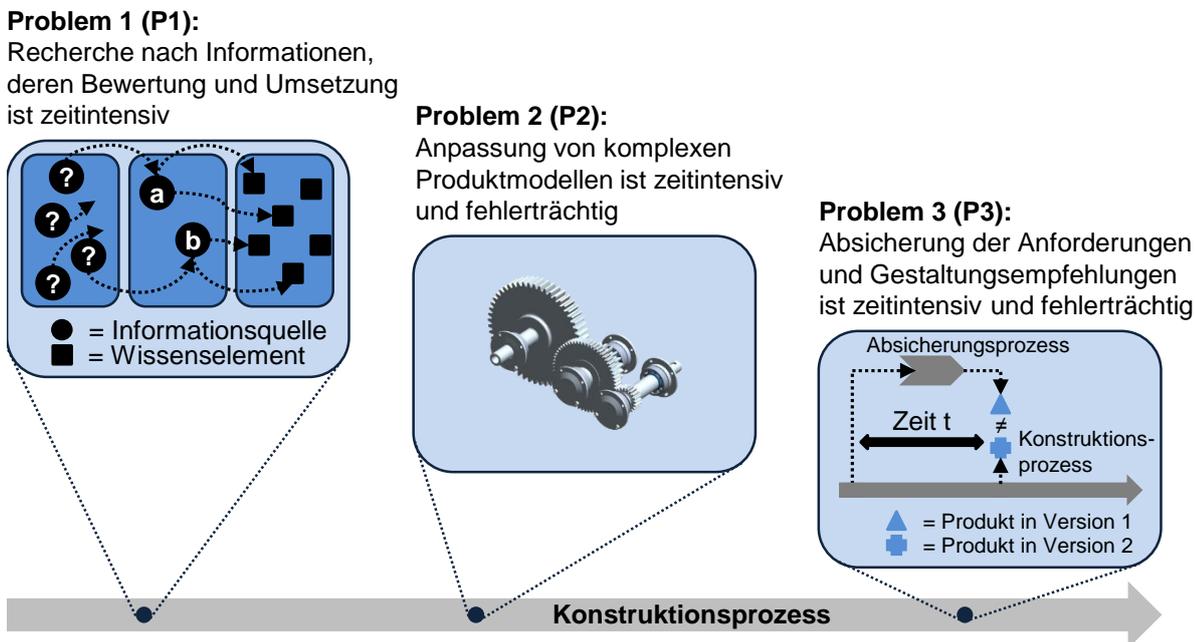
Unternehmen müssen im heutigen wirtschaftlichen Umfeld innovative Produkte entwickeln, um zum einen die Zufriedenheit der Kunden sicherzustellen und um zum anderen am Markt zu bestehen [MAHDJOURB10, S. 402; ROSENMAN01, S. 385]. Die Erweiterung der Produktpalette und die Ausrichtung der Produkte nach den Kundenwünschen stellen Möglichkeiten dar, auf die Umweltsituation (Markt, Kunden, Konkurrenten etc.) zu reagieren [CANDI07, S. 560; EVERSHEIM05, S. 5]. Bei diesen Entscheidungen spielen für Unternehmen die Produktentwicklungszeit, die Produktqualität und die Produktkosten eine entscheidende Rolle [FREUND04, S. 2 ff.; LINDEMANN09A, S. 14]. Diese bilden u. a. nach Freund [FREUND04] und Lindemann [LINDEMANN09A] das „magische Dreieck“, in dem sich Unternehmen bewegen. Für eine marktwirtschaftliche Weiterentwicklung des Unternehmens muss der Istzustand dieses Dreiecks bekannt sein.

Die Erhöhung der Funktionalität von Produkten auf einem kleineren oder zumindest gleich bleibenden Bauraum ist eine Möglichkeit, den Sollzustand des magischen Dreiecks zu erreichen. Dies ist über eine höhere geometrische und funktionale Integrationsstufe zu erzielen und führt in der Produktentwicklung zu einer steigenden Produktkomplexität [EVERSHEIM05, S. 14; KRAUSE07, S. 6 ff.; MAHDJOURB10, S. 402; LINDEMANN09B, S. 3]. Der Einsatz der Mechatronik als „innovative Technologie“ ist hierfür ein Beispiel. Dabei werden neben der angestammten Kerndisziplin weitere Fachdisziplinen (Elektrotechnik, Informationstechnik etc.) betrachtet [KRAUSE07, S. 5].

Die Arbeit von Konstrukteuren ist von Komplexität und von Interdisziplinarität gekennzeichnet. In diesem Spannungsfeld wurden drei Probleme identifiziert.

Bei der Entwicklung von mechatronischen Produkten muss der Konstrukteur aufgrund der Interdisziplinarität neben seiner angestammten Domäne angrenzende Disziplinen beherrschen, damit ein späterer Wissenserwerb möglich ist [EHRENSPIEL90, S. 286; GEHRKE05, S. 1 ff.]. Wie Bild 1.1 zeigt, sind von Konstrukteuren zunächst Informationsquellen zu identifizieren, worauf diese internalisiert werden müssen. Es entsteht Wissen, welches den Konstrukteur zu Handlungen befähigt. Eine Folge ist der steigende Zeitanteil des Konstrukteurs bei der Informationsrecherche, -bewertung und -umsetzung (siehe Problem 1 in Bild 1.1) [BASHIR99, S. 248; BROU09, S. 9; BROU10,

S. 76; MURMANN94, S. 248]. Quantitativ haben diesen Zusammenhang u. a. Hertzum und Pejtersen nachgewiesen [HERTZUM00, S. 761].



**Bild 1.1:** Zusammenfassende Darstellung der identifizierten Problematiken

Die zunehmende Komplexität der Systeme hat zur Folge, dass Konstrukteure einem steigenden Zeitanteil zur Verbesserung und Überarbeitung von Produkten bzw. deren Systembestandteilen gegenüberstehen (siehe Problem 2 in Bild 1.1) [AMERI08, S. 163; ECKERT04, S. 14; KRAUSE07, S. 23; LINDEMANN09B, S. 3; VDI 2206 2004, S. 22]. Die Komplexität zeigt sich im Kontext der Verbesserung und Überarbeitung von Produkten vor allem durch die Anzahl der Elemente in einem System und durch die Beziehungen zwischen den Elementen [AMERI08, S. 162]. Jarratt et al. [JARRATT05, S. 282] konnten durch ihre Studie nachweisen, dass die Überarbeitung und Verbesserung von Produkten einen „signifikanten“ Anteil an der Konstruktionsdauer besitzt.

Beide oben genannten Zeitanteile tragen nur mittelbar zur Wertschöpfung bei [GRABOWSKI97, S. 68 f.]. Sie können daher mehr zur Routinearbeit des Konstrukteurs gerechnet werden [ROTHER06, S. 3]. Bei der Erhöhung der Routinearbeit reduziert sich die wertschöpfende Arbeit des Konstrukteurs, wobei die Dauer der Produktentwicklungszeit steigt [GRABOWSKI97, S. 68 f.].

Weiterhin beschäftigen sich Unternehmen intensiv mit dem Anforderungsmanagement. Anforderungen an Produkte können in Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen eingeteilt werden [MATZLER09, S. 322 ff.]. Alle drei Arten von Anforderungen tragen unterschiedlich stark zur Produktqualität bei [HUBER09, S. 75]. Huber et al.

[HUBER09, S. 74] identifizierten vor allem die Erfüllung der Basisanforderungen als ein entscheidendes Qualitätsmerkmal von Produkten. Die Berücksichtigung von Anforderungen in der heutigen Konstruktion und Produktentwicklung ist nicht immer in vollem Umfang gewährleistet (siehe Problem 3 in Bild 1.1). Unter anderem identifizierten Müller [MÜLLER06], Jung [JUNG06] und Almfelt et al. [ALMEFELT03] Probleme bei der Berücksichtigung von Anforderungen in der heutigen Konstruktion und Produktentwicklung. Müller [MÜLLER06, S. 3] sieht in der natürlichsprachlichen Verarbeitung von Anforderungen ein Problem, da diese Anforderungen nicht formal mit einem Produkt verknüpft werden können. Der Aufbau von „Kommunikationsmauern“ führt nach Jung [JUNG06, S. 4] zu einem Vergessen von Anforderungen, zu einer Verfälschung oder zu einer inkorrekten Gewichtung der Anforderungen. Letztlich haben Almfelt et al. [ALMEFELT03, S. 8] festgestellt, dass Anforderungen während des Konstruktionsprozesses häufig einer Neupriorisierung bedürfen, da die Produktkomplexität über dem Prozess zunimmt. Die Reduzierung der Produktkosten ist neben der Verkürzung der Produktentwicklungszeit und der Steigerung der Produktqualität ein Ziel jedes Unternehmens. Eine Möglichkeit hierzu ist es, Informationen aus nachgelagerten Bereichen in die Konstruktion zurückfließen zu lassen [MEERKAMM98, S. 199; MEERKAMM05, S. 307; VAJNA09, S. 24]. Thomke [THOMKE03, S. 171] bezeichnet diesen Effekt „Frontloading“. Hierfür ist es entscheidend, Produkte nach den Grundregeln der Gestaltung (vgl. Pahl et al. [PAHL07]) und nach den Kriterien des Design for X (DfX, vgl. Meerkamm und Koch [MEERKAMM05]) bzw. Design to X (DtX, vgl. Huang [HUANG96]) zu entwickeln. Nach Rother [ROTHER06, S. 3] müssen allgemein Standards und Regeln eingehalten werden, um die Effizienz in der Konstruktion zu steigern. Im Kontext des DfX sind diese Standards und Regeln in zahlreichen Richtlinien integriert, die jeweils auf eine konkrete Anwendung und auf ein konkretes Maschinenelement übertragen werden müssen. Entscheidend für den Konstrukteur ist es, die aktuell geltenden Gestaltungsrichtlinien zu identifizieren und das nicht zu vermeidende Konfliktmanagement bei sich überschneidenden oder konfliktären Zielen im Fokus zu haben (siehe Problem 3 in Bild 1.1).

## 1.2 Genereller Lösungsansatz

Zur Überwindung der identifizierten Probleme können u. a. Maßnahmen des technologischen Wissensmanagements eingesetzt werden. Diese stellen eine Möglichkeit dar, um Wissen informationstechnisch in Unternehmen zu nutzen [LEHNER08, S. 33]. Im Umfeld der Konstruktion ist damit vor allem die Einführung von wissensbasierten Sys-

temen gemeint [MULET06, S. 34]. Diese Systeme können den Konstrukteur während des Konstruktionsprozesses unterstützen und ordnen sich dem Begriff Knowledge-based Engineering (KBE) unter [KLEINER05, S. 32; ROTHER01, S. 19]. Mithilfe dieser Unterstützung ist eine Reduktion der Produktentwicklungszeit und -kosten sowie eine Steigerung der Qualität möglich [SAINTER00A, S. 1; SPUR97, S. 720]. Der Umgang mit Wissen in der Konstruktion in Verbindung mit einem CAD-System trägt wesentlich zu einer Steigerung der Effizienz bei [KLEINER07, S. 38; ROTHER01, S. 19; ROTHER06, S. 3]. In Tabelle 1.1 findet eine Abgrenzung des Einsatzes von KBE-Systemen zu weiteren Maßnahmen des Wissensmanagements statt. Dabei werden die Probleme aus Bild 1.1 berücksichtigt.

Maßnahmen des Wissensmanagements	P1	P2	P3
<b>Einsatz von KBE-Systemen</b> (z. B. Bachschuster [BACHSCHUSTER97])	✓	✓	✓
<b>Einsatz von Informationssystemen</b> (z. B. Diederich [DIEDERICH06] oder Jutzi et al. [JUTZI11])	✓	-	✓
<b>Einsatz des Requirement Engineerings</b> (z. B. Broy et al. [BROY07] oder Lindemann [LINDEMANN09A])	-	-	✓
<b>Ablegen von Informationen in elektronischen Katalogen</b> (z. B. López Garibay et al. [LÓPEZ GARIBAY06])	✓	-	✓
<b>Örtliche Zusammenfassung von Entwicklungsteams</b> (z. B. Koppenhöfer et al. [KOPPENHÖFER98])	✓	-	✓

**Tabelle 1.1:** Lösung der identifizierten Probleme in der Konstruktion mit Maßnahmen des Wissensmanagements

Das grundlagenorientierte Forschungsprojekt ProKon („Proaktive Unterstützung von Konstruktionsprozessen durch Softwareagentensysteme“) nahm sich den in Abschnitt 1.1 identifizierten Problemen an. Zur Lösung wurde der Einsatz eines agentenbasierten KBE-Systems verfolgt. Ursprünglich wurden KBE-Systeme als regel- und fallbasierte Systeme ausgeführt, die aufgrund ihres Entwicklungskonzepts schnell an ihre Kapazitäts- und Funktionalitätsgrenzen stießen. Sie werden als Systeme der ersten Generation bezeichnet [FUNKAT03, S. 33]. Wissensbasierte Systeme zweiter Generation, wie z. B. Agentensysteme, nehmen sich dieser Kapazitäts- und Funktionalitätsproblematik an und überzeugen mit ihrer Fähigkeit zur Lösung von komplexen und umfangreichen Problemen [FUNKAT03, S. 34; WAGNER03, S. 9 ff.]. Nach Aylett [AYLETT98, S. 303] und Wagner et al. [WAGNER03, S. 4] sind Agentensysteme für Anwendungen geeignet, die komplexe Abläufe aufweisen. Sie bestehen aus

Softwareagenten und lösen Probleme stochastisch. Dies führt zu nicht vorhersagbaren und nicht reproduzierbaren Lösungen [WAGNER03, S. 10]. Trotzdem können Agentensysteme im Umfeld der Konstruktion eingesetzt werden, wie u. a. Fang et al. [FANG08], Lander [LANDER96; LANDER97], Rosenman und Wang [ROSENMAN01], Toledo Muñoz [TOLEDO MUÑOZ06] und Wang [WANG06] zeigten (siehe Abschnitt 2.2.5).

Zur Lösung der in Abschnitt 1.1 vorgestellten Probleme ist bisher kein agentenbasiertes KBE-System entwickelt worden. Ziel des ProKon-Projekts war es, mithilfe einer Machbarkeitsanalyse nachzuweisen, dass ein agentenbasiertes Konstruktionssystem die im letzten Abschnitt definierten Problemstellungen lösen kann.

Die Aufgabe des agentenbasierten Konstruktionssystems ProKon ist es, den Konstrukteur bei der Auslegung und Gestaltung von Produkten nach geltenden Normen und Richtlinien zu unterstützen. Diese Unterstützung soll mit einer proaktiven, geometrischen und semantischen Konsistenzprüfung von Produktmodellen ermöglicht werden. Durch diese Prüfung und eine nachgelagerte, automatisierte Lösungsfindung durch die Agenten findet eine Reduzierung des Zeitanteils zur Verbesserung und Überarbeitung statt. Die Prüfung stellt ein frühzeitiges initiatives Überprüfen im Sinne einer proaktiven Handlung dar. Zusätzlich soll sich der Zeitanteil zur Informationsrecherche, -bewertung und -umsetzung reduzieren, da der Konstrukteur z. B. beim Nachschlagen von Tabellenwerten oder Gestaltungsrichtlinien entlastet wird. [KRATZER11C, S. 178 ff.]

Zur proaktiven Unterstützung des Konstrukteurs im Umgang mit Produktmodellen muss das Agentensystem das Produktmodell im CAD-System analysieren, um den aktuellen Konstruktionsstand erfassen zu können. Auf Basis dieses aktuellen Stands der Konstruktion ist eine Anpassung notwendig, sofern in der Konsistenzprüfung Fehler in Bezug auf das im ProKon-System gespeicherten Wissen identifiziert wurden.

Die Systemarchitektur muss dementsprechend für eine bidirektionale Kopplung mit einem 3D-CAD-System ausgelegt sein. Dieses System soll mit einem gängigen Berechnungsprogramm gekoppelt werden, um Standardberechnungen auszulagern. Somit werden Maschinenelemente normgerecht ausgelegt und berechnet. Die in den letzten drei Abschnitten beschriebenen Funktionalitäten werden durch das „ProKon-Basissystem“ erfüllt.

Aufgrund einer geringen Halbwertszeit von Wissen in der Ingenieursdomäne und der Tatsache, dass in der industriellen Praxis auf interne Normen und Richtlinien zugegriffen wird, ist neben der Überprüfung von Produktmodellen eine selbstständige und benutzerfreundliche Integration von benutzerspezifischem Konstruktionswissen von

Bedeutung. Hierbei soll der Konstrukteur die Wissensbasis modifizieren können. Dieses System heißt im weiteren Verlauf „ProKon-Wissensintegrationssystem“ und wird während des Betriebs des Basissystems eingesetzt. Die Vereinigung von Basis- und Wissensintegrationssystem stellt das gesamte System dar und wird im Folgenden als „ProKon-System“ bezeichnet. [KRATZER13C, S. 1 ff.]

### 1.3 Problemstellung der vorliegenden Arbeit

Agentensysteme bilden zum einen die Aufbauorganisation in Unternehmen nach, indem Agentenrollen nach den Zielen der im Unternehmen vorhandenen Rollen modelliert werden. Die Rollen werden durch Personen ausgefüllt. Es erfolgt dabei eine teilweise Übertragung der Fähigkeiten und Eigenschaften der Rolle mit deren Wissen auf den Agenten [SAUNDERS04, S. 153].

Zum anderen können Agenten Produkte bzw. Produktbestandteile informationstechnisch repräsentieren, die innerhalb von Entwicklungsprozessen, d. h. innerhalb von Ablauforganisationen, des Unternehmens entwickelt werden. Bei Wagner [WAGNER08, S. 48 ff.] übernehmen Agenten bspw. Verantwortlichkeiten für Komponenten innerhalb eines Automatisierungssystems und besitzen Informationen darüber.

Je nach Branche (Maschinenbau, Fahrzeugbau etc.), Produkt (Industriegetriebe, Axialpumpe etc.) und Unternehmen unterscheiden sich die Aufbau- und Ablauforganisationen, in denen Konstrukteure tätig sind. Dementsprechend müssen Agenten bei der Unterstützung eines Konstrukteurs in einem Maschinenbauunternehmen A bei der Konstruktion einer Auszugsmechanik für Schublade andere Rollen ausfüllen als in einem Maschinenbauunternehmen B bei der Konstruktion einer Welle für eine Dampfturbine. Dabei greifen sie auf anderes Wissen zu und übernehmen Verantwortlichkeiten für andere Produkte bzw. Produktbestandteile.

Es kann somit kein unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten entwickeltes ProKon-System existieren, das Konstrukteure in allen Aufbau- und Ablauforganisationen in unterschiedlichen Branchen und Unternehmen bei der Entwicklung von unterschiedlichen Produkten unterstützt. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird anstatt von Branchen, Unternehmen und Produkten sowie Aufbau- und Ablauforganisationen von Anwendungen gesprochen, in denen Konstrukteure durch das ProKon-System unterstützt werden.

**Definition einer Anwendung:** *Eine Anwendung wird als eine durch das ProKon-System unterstützenswerte Konstrukteurstätigkeit innerhalb einer Aufbau- und Ablauf-*

*organisation eines einer Branche zugehörigen Unternehmens bezeichnet, in der der Konstrukteur ein Produkt bzw. Produktbestandteile konstruiert.*

Mit dem ProKon-Basissystem ist, wie Abschnitt 1.2 zeigt, eine grundlegende Kernfunktionalität mit zugehöriger Wissensbasis und umschließender Architektur entwickelt worden. Die Kernfunktionalität innerhalb des Basissystems ist jedoch anwendungsspezifisch, da weder bekannt ist, von welchen Rollen das Wissen auf die Agenten übertragen werden soll, noch welche Produkte in welchen Konstruktionsprozessen entwickelt werden. Die Kernfunktionalität stellt vielmehr den kleinsten gemeinsamen Nenner, d. h. den Kern, der Unterstützung von Konstrukteuren dar.

Gegenüber dem Basissystem ist das Wissensintegrationssystem bereits vollständig in dessen Funktionalität entwickelt worden. Es handelt sich um ein System zur direkten Wissensakquise, das nicht auf Agentenbasis entwickelt wurde. Es funktioniert mit jeder anwendungsspezifischen Ausrichtung des Basissystems und bedarf somit nur einer geringfügigen Anpassung auf eine Anwendung.

**Definition des ProKon-Kernsystems:** *Das ProKon-Kernsystem stellt das Endergebnis des ProKon-Projekts dar. Es beinhaltet die Grundfunktionalität mit zugehöriger Wissensbasis und umschließender Architektur. Eine Unterstützung von Konstrukteuren ist nicht möglich. Das ProKon-Kernsystem beinhaltet Basis- und Wissensintegrationssystem (WIS), wobei das WIS geringfügig auf eine Anwendung ausgerichtet werden muss.*

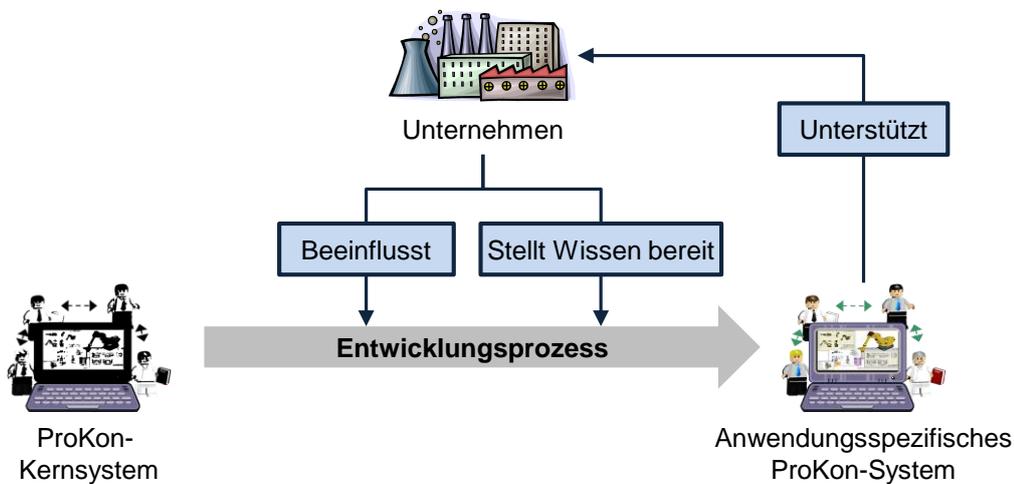
Das Kernsystem bedarf einer Anpassung mithilfe einer Vorgehensweise, um innerhalb einer spezifischen Anwendung Konstrukteure tatsächlich zu unterstützen (siehe Bild 1.2). Das Endergebnis stellt ein anwendungsspezifisches ProKon-System dar.

**Definition eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems:** *Das anwendungsspezifische ProKon-System ist auf eine Anwendung ausgerichtet worden und basiert auf dem Kernsystem. Es unterstützt Konstrukteure innerhalb der Anwendung, wobei es in ein Unternehmen integriert wurde. Das ProKon-System beinhaltet wie das Kernsystem Basis- und Wissensintegrationssystem gleichermaßen.*

Wie Bild 1.2 zeigt, ist die Anwendung in einen Unternehmenskontext eingebettet, der u. a. durch die Aufbau- und Ablauforganisation sowie durch das Produkt repräsentiert ist. Weitere Aspekte des Unternehmens sind unbekannt und bedürfen einer Identifikation.

Auf Basis der Problemstellung ist für die vorliegende Arbeit die folgende Forschungsfrage zu beantworten: „Mithilfe welcher Vorgehensweise wird die Entwicklung eines

*anwendungsspezifischen ProKon-Systems auf Basis des ProKon-Kernsystems ermöglicht, damit Konstrukteure innerhalb einer Anwendung unterstützt werden?“*



**Bild 1.2:** Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems

## 1.4 Zielsetzung und Struktur der vorliegenden Arbeit

Auf Basis der in Abschnitt 1.3 aufgestellten Problemstellung ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, eine Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems zu erarbeiten. Die Zielgruppe für die Vorgehensweise stellen Wissensingenieure in entwicklungsintensiven Unternehmen dar, die sich mit Produkten aus dem Maschinen- und Anlagenbau sowie aus der Fahrzeugtechnik beschäftigen. Wissensingenieure sind als Rolle zu verstehen und können von unterschiedlichen Mitarbeitern ausgefüllt werden. Damit sind Mitarbeiter aus den Bereichen klassische Konstruktionstechnik, Konstruktions- und CAD-Methodik, Wissensmanagement und Wissensverarbeitung sowie IT-Management und IT-Organisation gemeint.

Zur Ausfüllung der Rolle des Wissensingenieurs ist beispielhaft der Konstrukteur zu nennen, der die Aufgabe zugewiesen bekommen hat, in einem Unternehmen eine Unterstützung von Konstrukteuren mithilfe des ProKon-Systems zu konzeptionieren. Daneben ist es möglich, dass externe Wissensingenieure mit einem Beratungsauftrag die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems vornehmen.

Neben der direkten Unterstützung von Wissensingenieuren durch die Vorgehensweise erfolgt indirekt eine Befähigung von Softwareingenieuren, die für die formale Umsetzung des Konzepts verantwortlich sind. Dadurch wird indirekt die Funktionalität des anwendungsspezifischen ProKon-Systems beeinflusst, was sich wiederum auf die in Abschnitt 1.1 identifizierten Probleme in der heutigen Konstruktion auswirkt. Es lässt

sich die Produktentwicklungszeit reduzieren und die Qualität des Produkts erhöhen. Gleichzeitig sinken die Kosten.

Die vorliegende Arbeit ist unter Verwendung der „Design Research Methodology“ (DRM) nach Blessing und Chakrabarti [BLESSING09] entstanden. Bild 1.3 zeigt die Strukturierung der Arbeit. Begonnen wird nach der Durchführung der „Research Clarification“ (RC) in Kapitel 1 mit der „Descriptive Study I“ (DS I) in Kapitel 2. Darin wird der Stand der Forschung behandelt, der Antworten auf die folgenden Forschungsfragen liefern soll:

1. Wie sieht der Einsatzkontext des ProKon-Systems aus? (Abschnitt 2.1)
2. Wie lässt sich das ProKon-System unter Berücksichtigung der wissensbasierten Systeme und der Agentensysteme charakterisieren? (Abschnitt 2.2)
3. Welche Vorgehensweisen kommen für die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems generell in Frage? (Abschnitt 2.3)

In Abschnitt 2.4 werden Schlussfolgerungen aus der Beantwortung der Forschungsfragen 1 bis 3 gezogen. In Kapitel 3 erfolgt die Beschreibung des ProKon-Kernsystems als Ergebnis aus dem ProKon-Projekt. Dabei ist die folgende Forschungsfrage zu beantworten:

4. Welche Aspekte wurden bei der Entwicklung des ProKon-Kernsystems im ProKon-Projekt unter Beachtung der Vorgehensweise CommonKADS beachtet?

Kapitel 4 beinhaltet die Analyse der Grundlagen, wobei auf die vorherigen Forschungsfragen aufgebaut wird. Es sollen dabei die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden:

5. Wie lässt sich unter Einbeziehung der Antwort auf Forschungsfrage 2 das ProKon-System gegenüber den bisher existierenden Konstruktionssystemen einordnen bzw. abgrenzen? (Abschnitt 4.1)
6. Welche Aspekte müssen unter Einbeziehung der Antwort auf Forschungsfrage 4 bei der Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems beachtet werden? (Abschnitt 4.2)
7. Welche der bei der Beantwortung von Forschungsfrage 3 untersuchten Vorgehensweisen beinhalten die in Forschungsfrage 6 identifizierten Aspekte und beschreiben eine Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems? (Abschnitt 4.3)

In Abschnitt 4.4 werden Schlussfolgerungen bzgl. der Forschungsfragen 5 bis 7 gezogen. Sie stellen die gesammelten Erkenntnisse aus den Grundlagen dar und bereiten die vorliegende Arbeit vor. Kapitel 5 rundet die Descriptive Study I ab, indem die Aufgabenstellung auf Basis der Schlussfolgerungen konkretisiert wird. Das weitere Vorgehen innerhalb der vorliegenden Arbeit wird vorgestellt. Mit Kapitel 6 beginnt die Prescriptive Study (PS), indem die Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems beschrieben wird. Dabei wird die zentrale Forschungsfrage beantwortet. Begleitende Methoden und Hilfsmittel werden vorgestellt. Zum Nachweis der Anwendbarkeit und Nützlichkeit ist eine Evaluation notwendig, die in Kapitel 7 beschrieben wird („Descriptive Study II“, DS II). Dort erfolgt die Darstellung der Evaluation der Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems. Die Zusammenfassung in Kapitel 8 und der Ausblick in Kapitel 9 runden die Arbeit ab.



**Bild 1.3:** Struktur der vorliegenden Arbeit

## 2 Stand der Forschung

Nach der Einführung in die Problemstellung und die darauf aufbauende Zielsetzung soll die Beschreibung des Stands der Forschung eine wissenschaftliche Fundierung und die Beantwortung der ersten drei Forschungsfragen liefern. Der Stand der Forschung ist deskriptiv, sodass versucht wird, fremde Argumentationen und eigene Interpretation zu trennen. Zunächst ist in Abschnitt 2.1 die Beschreibung des Konstruktionsbereichs als Einsatzkontext für das ProKon-System zu finden. Im weiteren Verlauf erfolgt die Darstellung der wissensbasierten Systeme (Abschnitt 2.2) und der Vorgehensweisen zur Entwicklung von wissensbasierten Systemen (Abschnitt 2.3).

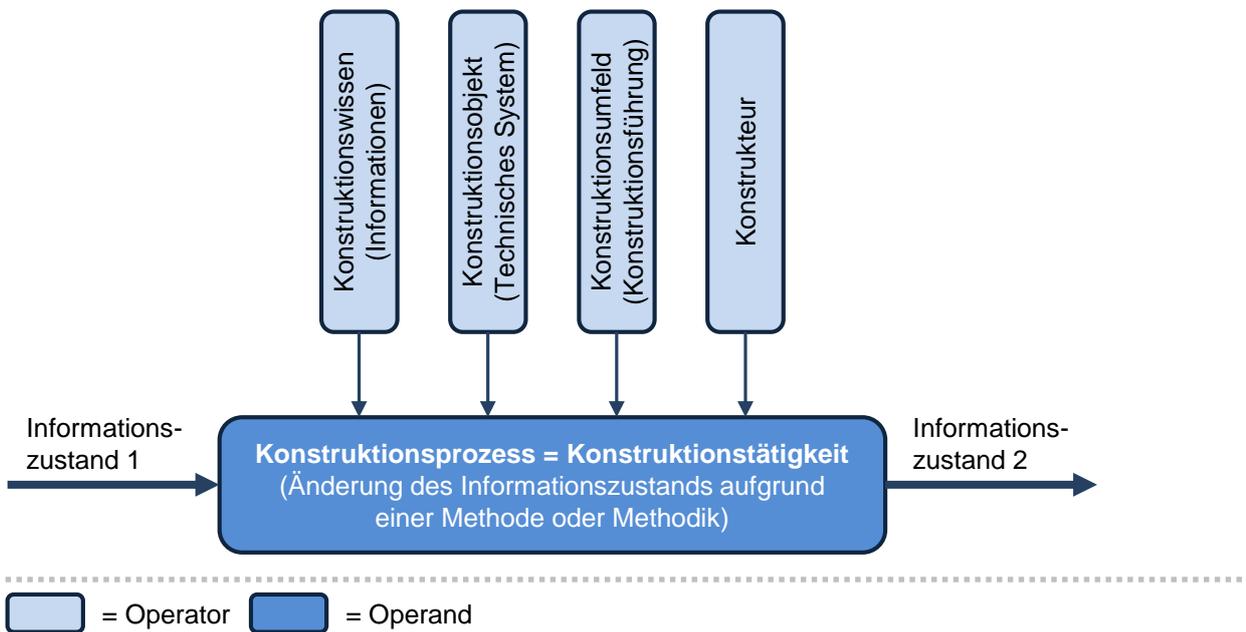
### 2.1 Konstruktionsbereich als Einsatzkontext für das ProKon-System

Zur Darstellung der Konstruktion als Einsatzkontext ist ein Ansatz zu identifizieren, um dem Unterstützungsauftrag des ProKon-Systems gerecht zu werden. Der Ansatz muss relevante Aspekte innerhalb eines Unternehmens abdecken. Neben weiteren Ansätzen ist der Ansatz von Hubka und Eder [HUBKA92, S. 70] sowie Eder und Hosnedl [EDER08, S. 17] hierfür geeignet. Er wurde für die vorliegende Arbeit ausgewählt, da er innerhalb der Konstruktionswissenschaft einen hohen Bekanntheitsgrad besitzt. Der Konstruktionsprozess wird in das Zentrum der Betrachtung gesetzt, da durch ihn die eigentliche Wertschöpfung erfolgt. Der Konstruktionsprozess ist der Operand in der Konstruktionswissenschaft, der für die Transformation von Anforderungen an ein Produkt in das Produkt selbst sorgt [HUBKA92, S. 70].

Für die Durchführung des Prozesses sind vier Operatoren notwendig, die einen Einfluss auf den Konstruktionsprozess ausüben [HUBKA92, S. 112]. Nach Hubka und Eder [HUBKA92, S. 113] sind dies die Konstrukteure, das Technische System, die Informationen und die Konstruktionsführung. Zusammen definieren sie mit dem Operand den Anwendungskontext. Hubka und Eder [HUBKA92] bezeichnen diesen Anwendungskontext als „Konstruktionssystem“, das nicht mit dem informationstechnischen System verwechselt werden darf. Vergleichbar ist der Ansatz mit den klassischen Ursache-Wirkungs-Diagrammen (z. B. Ishikawa-Diagramm), die ebenfalls versuchen, eine ganzheitliche Sichtweise auf einen Aspekt zu erzeugen.

Bild 2.1 zeigt das Konstruktionssystem mit den vier Operatoren und dem Operand. Die Operatoren wurden im Vergleich zur ursprünglichen Darstellung an den im ProKon-Projekt geltenden Sprachgebrauch angepasst. So ergeben sich die Operatoren Kon-

struktionswissen, Konstruktionsobjekt, Konstruktionsumfeld und Konstrukteur. Der Konstruktionsprozess als Operand wird begrifflich belassen.



**Bild 2.1:** Konstruktionssystem mit Operand und Operatoren nach Hubka und Eder [HUBKA92, S. 116]

Der Ansatz erlaubt es, die Konstruktion in einem entwicklungsintensiven Unternehmen ganzheitlich zu betrachten. Der Operand und die Operatoren sind für die Anwendung in der vorliegenden Arbeit weiter zu charakterisieren, sodass das Einsatzfeld des ProKon-Systems bekannt ist.

### 2.1.1 Konstruktionsprozesse

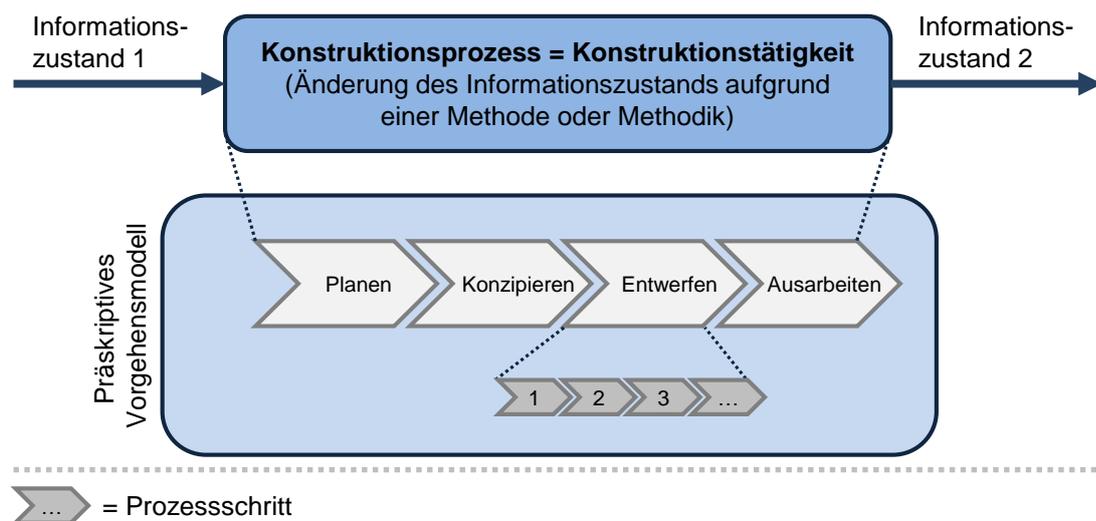
Der Konstruktionsprozess ist ein Transformationsprozess, in welchem Anforderungen unter Berücksichtigung von Randbedingungen in ein physisches Produkt überführt werden [MAIER11, S. 191]. Pahl et al. [Pahl07, S. 2] bezeichnen ihn als wertschaffend. Für das Erreichen einer optimalen Wertschöpfung legen Unternehmen z. T. auf Basis von allgemeinen Vorgehensmodellen definierte Abläufe fest [PAHL07, S. 189]. Dies können u. a. die VDI 2221 [VDI 2221 1993], das Münchner Vorgehensmodell [LINDEMANN09A] und die iPeM [ALBERS10] sein.

Diese sind präskriptiv und erzeugen für Konstrukteure einen Rahmen, in dem sie sich bei ihrer täglichen Arbeit bewegen können. Sie gelten meistens nicht nur für die Konstruktion, sondern fassen produktentwicklungs- oder produktentstehungsrelevante

Phasen zusammen. Es wird dabei von unternehmensinternen Produktentwicklungs- oder Produktentstehungsprozessen gesprochen.

Wie Bild 2.2 zeigt, bestehen allgemeine Vorgehensmodelle aus Phasen [PAHL07, S. 204 ff.]. Am Beispiel des Vorgehensmodells nach Pahl et al. [PAHL07, S. 204 ff.] sind dies das Planen und Klären der Aufgabe, das Konzipieren, das Entwerfen und das Ausarbeiten.

Für die Unterstützung von Konstrukteuren durch das ProKon-System ist die Phase des Entwerfens ausschlaggebend, da dort digitale Produktmodelle auf Basis einer Prinzipi- lung erstellt und ausdefiniert werden. Ausgehend von der Erkennung gestaltungsbestimmender Anforderungen wird eine Grobgestalt erarbeitet, diese feingestaltet und nach der technischen und wirtschaftlichen Bewertung optimiert, kontrolliert und vervollständigt [PAHL07, S. 305 ff.]. Dementsprechend wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Entwurfsprozess nach Pahl et al. [PAHL07] betrachtet.



**Bild 2.2:** Einordnung von allgemeinen Vorgehensmodellen

In der industriellen Praxis orientieren sich Konstrukteure an den oben genannten Vorgehensmodellen, wobei Abweichungen auftreten können [PAHL07, S. 189]. Pahl et al. [PAHL07, S. 781] bezeichnen dies als die „Infiltration der Methodik“ in die industrielle Praxis. Je nach Relevanz verwenden Konstrukteure Bestandteile eines Vorgehensmodells mit dessen Methoden und Hilfsmitteln [PAHL07, S. 781]. Ehrlenspiel [EHRENSPIEL09, S. 262] stellte fest, dass in der Praxis Aufgaben selten sequenziell abgearbeitet werden können.

Konstruktionsprozesse unterscheiden sich weiterhin anhand der Konstruktionsart [EHRENSPIEL09, S. 258]. Pahl et al. [PAHL07, S. 4] sprechen bspw. von Neu-, Anpas-

sungs- und Variantenkonstruktionen. Teilweise wird die Wiederholkonstruktion mit dazugerechnet [PAHL07, S. 94], die jedoch im Folgenden aufgrund der fehlenden Relevanz nicht detailliert wird. Neu-, Anpassungs- und Variantenkonstruktionen werden in der nachfolgenden Aufzählung nach Pahl et al. [PAHL07, S. 4] kurz erläutert. Ergänzt wird die Aufzählung durch eine empirische Untersuchung von Romanow [ROMANOW94], der das Auftreten einer Konstruktionsart im Bereich der Werkzeugmaschinen quantifizierte.

- **Neukonstruktion:** Konstruktion eines Produkts unter Verwendung neuer Lösungsprinzipien, die entweder aus der Kombination bekannter Prinzipien entstehen oder völlig neu entwickelt werden. Neukonstruktionen können das gesamte Produkt oder Produktbestandteile betreffen. Bei Neukonstruktionen ist es erforderlich, dass alle Konstruktionsphasen durchlaufen werden. Nach Romanow [ROMANOW94] sind ca. 15 % aller Konstruktionen Neukonstruktionen.
- **Anpassungskonstruktion:** Das Produkt wird an sich veränderte Randbedingungen angepasst, wobei die Lösungsprinzipien bereits bekannt und bewährt sind. Es stehen vor allem „geometrische, festigkeitsmäßige, fertigungs- und werkstofftechnische Fragestellungen im Vordergrund.“ [PAHL07, S. 4] Nach Romanow [ROMANOW94] sind ca. 15 % aller Konstruktionen Anpassungskonstruktionen.
- **Variantenkonstruktionen:** Innerhalb von Baureihen und Baukastenstrukturen werden „Größe und/oder Anordnung von Teilen und Baugruppen“ [PAHL07, S. 4] verändert. Das Produkt entsteht unter gleichbleibendem Lösungsprinzip. Nach Romanow [ROMANOW94] sind ca. 70 % aller Konstruktionen Variantenkonstruktionen.

### **Charakterisierung von Konstruktionsprozessen**

Wissensintensive Geschäftsprozesse sind nach Eppler et al. [EPPLER99, S. 375] Prozesse, die z. T. von Zufall geprägt sind und einen hohen Freiheitsgrad besitzen. Die Prozessbearbeiter müssen dabei Probleme mit Kreativität lösen, haben einen großen Einfluss auf die Ergebnisse, benötigen viel Zeit um die notwendigen Fertigkeiten zu erlernen und müssen sich ständig weiterbilden [EPPLER99, S. 375]. Komplexe Geschäftsprozesse sind dynamisch und weisen viele Schritte und Bearbeiter auf, wobei die Wechselwirkungen zwischen den Schritten und den Bearbeitern vielschichtig sind [EPPLER99, S. 376]. Konstruktionsprozesse stellen einen Teil der im Unternehmen vorhandenen Geschäftsprozesse dar [KATZENBACH12, S. 26]. Die Geschäftsprozesse

lassen sich nach Eppler et al. [EPPLER99, S. 374 f.] über die Wissensintensität und Komplexität beschreiben, wie Bild 2.3 zeigt.

Zusammengefasst kommen Eppler et al. [EPPLER99, S. 377] zu dem Resultat, dass der Konstruktionsprozess und der Produktinnovationsprozess die Prozesse mit dem höchsten Grad an Komplexität und Wissensintensität sind. Sie unterscheiden sich z. B. deutlich von der Auftragserfüllung. Theil [THEL07, S. 50 f.] sowie Maier und Störrle [MAIER11, S. 192] charakterisieren den Konstruktionsprozess ebenso als komplex und wissensintensiv.



**Bild 2.3:** Einordnung verschiedener Geschäftsprozesse unter Berücksichtigung der Komplexität und Wissensintensität nach Eppler et al. [EPPLER99, S. 377]

Es ist festzustellen, dass entlang des Konstruktionsprozesses eine erhebliche Menge an Daten und Informationen produziert wird. Barth et al. [BARTH07, S. 540] beschreiben den Produktentstehungsprozess als einen Vorgang, bei dem eine erhebliche Menge an Daten generiert werden. Darunter fallen strukturierte Dokumente oder Datensätze sowie CAD-Modelle mit geometrischen und semantischen Informationen.

Leemhuis [LEEMHUIS05] beschreibt, dass die Menge an Informationen über die einzelnen Phasen der Konstruktion zunimmt, wobei jedoch der relative Zuwachs von Phase zu Phase gegen Ende des Konstruktionsprozesses abnimmt. Dies hängt mit der zunehmenden Detaillierung des Produkts zusammen, das in den frühen Phasen noch unvollständiger erscheint, als bei der Ausarbeitung, d. h. bei der Ableitung von Zeichnungen, Stücklisten, Montageanleitungen etc. [LEEMHUIS05, S. 59 ff.]

Neben Barth [BARTH07] und Leemhuis [LEEMHUIS05] stellen Spur und Krause [SPUR97, S. 427, Bild 5.3-01] fest, dass das gesamte Wissen über ein Produkt erst in der Phase der Fertigungsvorbereitung existent ist. Am Ende der Ausarbeitungsphase ist noch kein vollständiges Produktverständnis erlangt worden. Letztlich begründet Liese [LIESE04, S. 87] die Zunahme an Wissen über dem Prozess mit dem mentalen Produktmodell des Konstrukteurs. Jedes mentale Produktmodell stellt sich gegenüber dem vorherigen als detaillierter dar. Das Produkt wird mental und real weiter ausdefiniert.

An diesem Punkt stellen sich die Fragen, wie Konstruktionswissen charakterisiert werden kann und welches Wissen in das System zur Erfüllung der Funktionalität integriert werden muss. Vor der Beantwortung der Fragen sind zuvor die Grundlagen von Wissen in der Konstruktion zu erläutern. Es ist zudem eine Abgrenzung von Daten, Informationen und Wissen vorzunehmen.

### **2.1.2 Konstruktionswissen**

Aufgrund der Eigendynamik, der Anzahl der Randbedingungen, den unterschiedlichen Interessen, der Globalisierung und weiteren Faktoren ist die Konstruktion und Produktentwicklung in der heutigen Zeit in einem hohen Maß von Wissensarbeit geprägt [OERDING09, S. 159]. Innerhalb unserer Gesellschaft, in Unternehmen und in der Konstruktion existiert eine Vielzahl von Wissensdefinitionen. Eine Abgrenzung zwischen Daten, Informationen und Wissen ist notwendig [THEL07, S. 5].

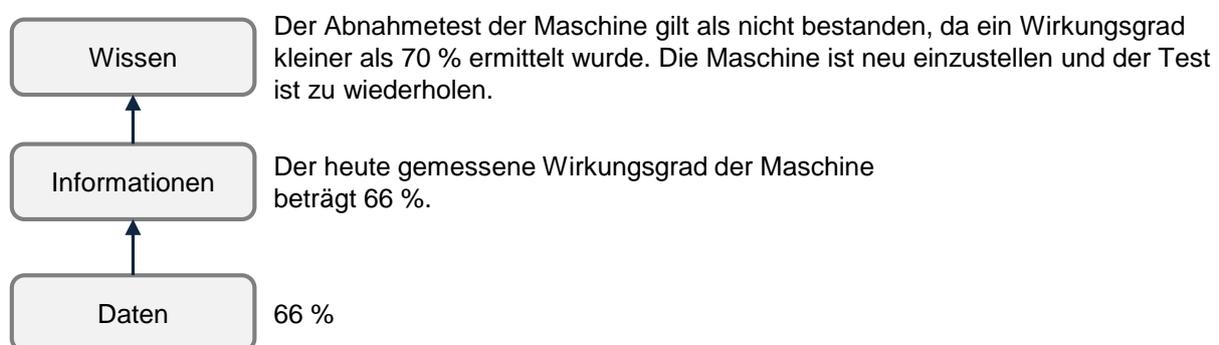
Die für das betriebswirtschaftlich geprägte Wissensmanagement sicherlich wichtigste Definition haben Probst et al. [PROBST10] aufgestellt. Probst et al. [PROBST10, S. 23] beziehen sich in ihrer Definition besonders auf die Lösung von Problemen und bezeichnen Wissen aus diesem Grund als „Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen“. Hierbei werden theoretische Erkenntnisse genauso berücksichtigt wie praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Sie weisen darauf hin, dass Wissen personengebunden ist [PROBST10, S. 23]. Weiterhin wird Wissen in der VDI 5610 [VDI 5610 2009, S. 4] als vernetzte Informationen definiert, die Personen „in die Lage versetzt, Vergleiche anzustellen, Verknüpfungen herzustellen und Entscheidungen zu treffen“. Katzenbach [KATZENBACH12, S. 26 ff.] geht über die Definition der VDI 5610 [VDI 5610 2009] hinaus und definiert Wissen als die Summe von Inhalt (Daten und Informationen), Bezügen und Zusammenhängen.

Im Bereich der Konstruktion definieren Koller und Berns [KOLLER90, S. 85] Konstruktionswissen systemtheoretisch als das Wissen, welches für eine erfolgreiche

Durchführung eines Konstruktionsprozesses als Grundlage vorausgesetzt wird und als das Wissen, das während des Konstruierens gewonnen wird.

Spur und Krause [SPUR97, S. 428 f.] machen das Konstruktionswissen an den für den Konstrukteur notwendigen Tätigkeiten fest. Demnach ist Konstruktionswissen für das Berechnen und Gestalten notwendig. Hubka und Eder [HUBKA92, S. 4] beziehen sich auf Technische Systeme. Mit technischem Wissen ist das Wissen über künstliche Objekte gemeint, welche Menschen zur Erreichung bestimmter Ziele geschaffen haben.

Neben der Definition von Wissen ist die Abgrenzung zu Daten und Informationen wichtig. Probst et al. [PROBST10, S. 23] definieren Daten und Informationen als Basis für Wissen, das sich auf beides stützt. Weiterhin beinhaltet die VDI 5610 [VDI 5610 2009] eine Abgrenzung, die sich inhaltlich an den Definitionen von North [NORTH02, S. 36 f.] orientiert. Informationen sind strukturierte Daten mit einer Relevanz und einem Zweck, die in einen Kontext gebracht werden können. Daten, als unterste Ebene, werden als objektive Fakten definiert, die ohne Hintergrund nicht zu verstehen sind und Rohmaterial darstellen. In Anlehnung an Davenport und Prusak [DAVENPORT98] wurde in der VDI 5610 [VDI56102009, S. 4] ein Beispiel im ingenieurwissenschaftlichen Kontext aufgestellt. Das in Bild 2.4 gezeigte Beispiel verdeutlicht die Abgrenzung der drei Begriffe.

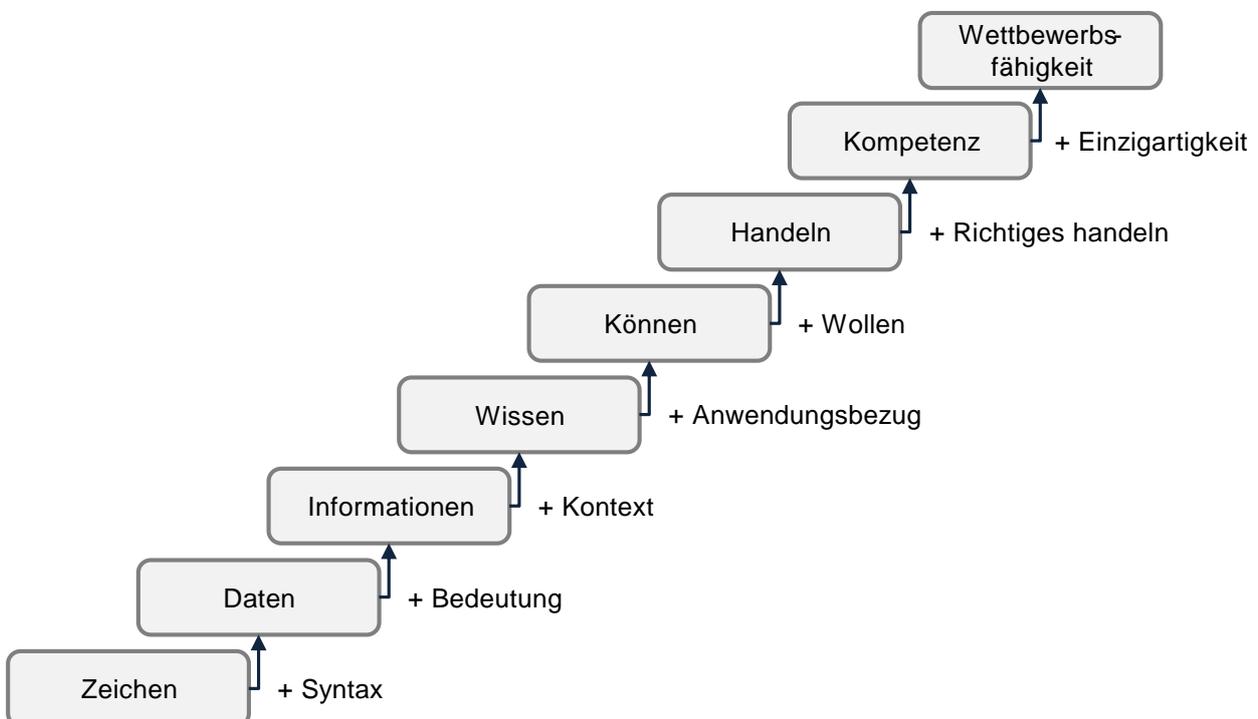


**Bild 2.4:** Abgrenzung zwischen Daten, Informationen und Wissen nach der VDI 5610 [VDI 5610 2009, S. 4]

Unter Kenntnis des gezeigten Datenelements in Bild 2.4 ist beispielsweise ein Maschinentechner nicht zu weiteren Handlungen fähig. Der Sachverhalt kann nicht weiter eingeordnet werden und bleibt bedeutungslos. Das Datenelement wird erst zur Information, wenn eine gewisse Relevanz zugrunde liegt, die in diesem Beispiel der aktuell gemessene Wirkungsgrad darstellt. Eine Handlung kann der Maschinentechner erst ausführen, wenn die in Bild 2.4 implizit enthaltene Regel bekannt ist. Diese Regel stellt ein Wissensselement dar.

Was die Abgrenzung von Daten, Informationen und Wissen aus Bild 2.4 nicht veranschaulicht, ist die Tatsache, dass neben dem Wirkungsgrad weitere Faktoren, wie bspw. die Betriebsstunden der Maschine, die Schlussfolgerung beeinflussen. Dies macht die Wissensdefinition von Katzenbach [KATZENBACH12, S. 26 ff.] deutlich, in der die weiteren Faktoren Zusammenhängen und Bezügen entsprechen. Aufgrund dieser undefinierten Anzahl von Faktoren, die die Schlussfolgerung beeinflussen, ist eine echte Wissensverarbeitung innerhalb von wissensbasierten Systemen schwer zu realisieren [KATZENBACH13].

Eine detailliertere Beschreibung von Wissen und die Abgrenzung zwischen den Begriffen Daten, Informationen und Wissen liefert North [NORTH02] mit der von ihm aufgestellten Wissenstreppe (siehe Bild 2.5). Eine entscheidende Aussage von North [NORTH02, S. 36] ist, dass Wissen alleine nicht zum Erfolg des Unternehmens beiträgt, sondern stets ein konkreter Anwendungsbezug, eine Motivation und entsprechende Fähigkeiten der Anwender vorliegen müssen. Die dadurch erreichte Kompetenz ist für Unternehmen nutzbar. Weitere Abgrenzungen liefern Düselmann [DÜSSELMANN07] sowie Davenport und Prusak [DAVENPORT98].



**Bild 2.5:** Wissenstreppe nach North [NORTH02, S. 36]

Nach der Einführung in die Wissensthematik, der Zusammenstellung von Definitionen und nach der Abgrenzung von Daten, Informationen und Wissen sind Wissens-elemente (engl. chunks of knowledge) zu charakterisieren. Doignon und Falmagne [DOIGNON88]

sehen in einer Charakterisierung von Wissensselementen eine Voraussetzung für die Wissensakquise.

Neben Ahmed et al. [AHMED05] haben sich vor allem Roth et al. [ROTH10] mit der Charakterisierung von Wissensselementen im Bereich der Produktentwicklung/Konstruktion beschäftigt. Unter anderem ist das folgende Wissensselement mit den von Roth et al. [ROTH10, S. 1685] erarbeiteten Strukturparametern Wissenstyp, Wissensart, Wissensform, Wissensort und Wissensqualität beschreibbar:

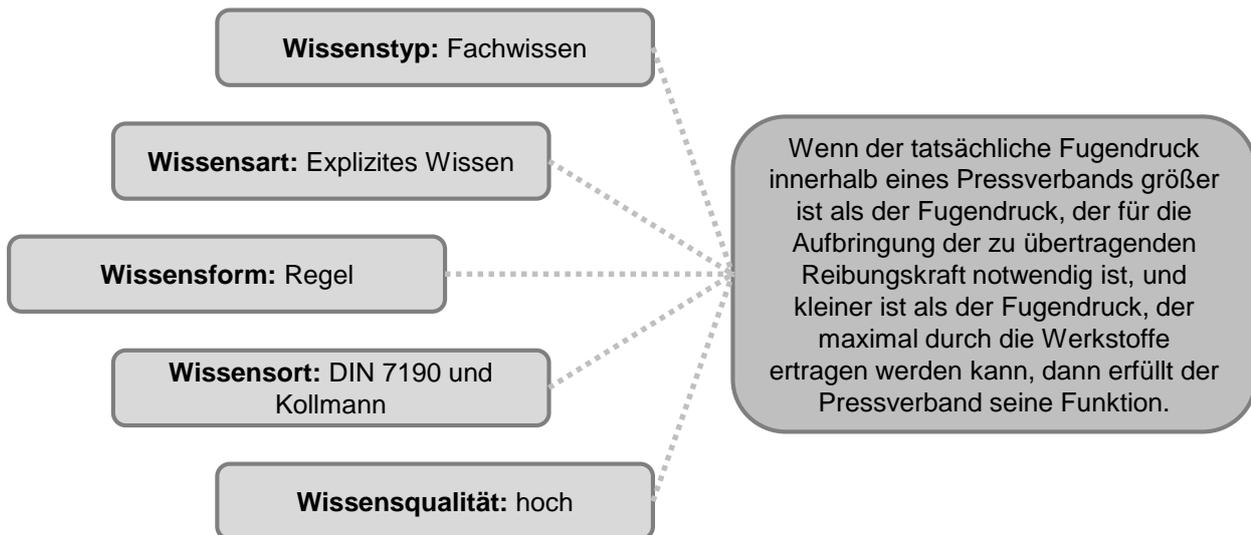
*Wenn der tatsächliche Fugendruck innerhalb eines Pressverbands größer ist als der Fugendruck, der für die Aufbringung der zu übertragenden Reibungskraft notwendig ist, und kleiner ist als der Fugendruck, der maximal durch die Werkstoffe ertragen werden kann, dann erfüllt der Pressverband seine Funktion.*

Die Strukturparameter nach Roth et al. [ROTH10, S. 1685] werden in der folgenden Aufzählung beschrieben.

- **Wissenstyp:** Der Wissenstyp beschreibt allgemein die übergeordnete Klasse, in der sich das Wissensselement befindet. Hierbei wird eine Gruppe von Wissensselementen gebildet, die Gemeinsamkeiten aufweisen. Der Wissenstyp muss jedoch nicht unbedingt mit Gruppierungen in der realen Welt übereinstimmen. Ein Beispiel ist das Wissen über Konstruktionsprinzipien.
- **Wissensart:** Eine Wissensart ist eine Beschreibung der weiteren Eigenschaften eines Wissensselements hinsichtlich der Art und Weise, wie das Wissen vorliegt. Explizites oder implizites Wissen sind hierfür Beispiele.
- **Wissensform:** Der dritte Parameter ist die Wissensform, die die Form des Auftretens hinsichtlich der Wissensverarbeitung beurteilt (Regel, Formel, Begriff, Wert etc.). Hier kann von elementaren Wissensformen, wie Begriffen, Werten etc. gesprochen werden oder von aggregierten Wissensformen, die mehrere elementare Wissensformen zusammenfassen.
- **Wissensort:** Bei der Charakterisierung von Wissensselementen nach deren Wissensorten wird der tatsächliche Ort des Vorliegens definiert. Beispielsweise ist die DIN 7190 [DIN 7190 2001] als eine Norm ein Wissensort.
- **Wissensqualität:** Weiterhin beschreiben Roth et al. [ROTH10] die Wissensqualität, die ein Maß für das korrekte Wissen zur Durchführung eines Konstruktionsprozesses bzw. zur Entwicklung eines Produkts darstellt. Es kann gemutmaßt werden, dass eine hohe Wissensqualität dazu beiträgt, ein Produkt effektiv und effizient zu entwickeln. Roth et al. [ROTH10] messen die Wissensqua-

lität mit den folgenden Kriterien: Korrektheit, Nachvollziehbarkeit, Aktualität, Vollständigkeit, Nützlichkeit und Konsistenz. Eine weitergehende Abgrenzung der Wissensqualität in diesem Kontext hat Moll [MOLL10] vorgenommen.

Bild 2.6 verdeutlicht den Strukturierungsvorschlag von Roth et al. [ROTH10] anhand des obigen Beispiels für ein Wissensselement aus der DIN 7190 [DIN 7190 2001] und aus Kollmann [KOLLMANN84].



**Bild 2.6:** Verwendeter Strukturierungsvorschlag am Beispiel des Pressverbands

Der Strukturierungsvorschlag von Roth et al. [ROTH10] wird im weiteren Verlauf des Abschnitts verwendet. Es erfolgt dabei eine Konkretisierung der Strukturparameter Wissenstyp, Wissensart, Wissensform und Wissensort unter Berücksichtigung des Konstruktionsbereichs. Die Wissensqualität wurde analog zu Roth et al. [ROTH10] im ProKon-Projekt bereits definiert. Wissen ist demnach qualitativ hochwertig, sofern das integrierte Wissen die richtige Form aufweist, den richtigen Agenten zugewiesen wurde, zur Anwendung passt sowie konsistent und abgeschlossen ist.

### Wissenstyp

Zu Anfang ist es das Ziel herauszufinden, wie Konstruktionswissen mithilfe der Wissenstypen charakterisiert und unterteilt werden kann, um die Kategorien zu identifizieren, die bei der Integration von Konstruktionswissen in das ProKon-System beachtet werden müssen. Es sind vorrangig die Wissenstypen relevant, die speziell die Entwurfsphase fokussieren. Wissenstypen aus angrenzenden Bereichen der Produktentwicklung, wie z. B. nach Berger [BERGER04] und Roth et al. [ROTH10], wurden nicht mit betrachtet. Eine Darstellung der Wissenstypen aus dem allgemeinen Wissensmanagement erfolgt ebenso nicht. Tabelle 2.1 fasst die Wissenstypen zusammen.

Autor(en)	Wissenstypen	Orientierung
<b>Koller und Berns</b> [KOLLER90]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verfahrensbedingtes Konstruktionswissen (Vorgehensweisen und Methodiken)</li> <li>Aufgabenbedingtes Konstruktionswissen (u. a. Produktgeschichte, die Produkthierarchie und der Entwicklungsprozess)</li> </ul>	Prozessorientiert 
<b>Hubka und Eder</b> [HUBKA92]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deskriptives Wissen über Technische Systeme</li> <li>Präskriptives Wissen über Technische Systeme</li> <li>Deskriptives Wissen über Konstruktionsprozesse</li> <li>Präskriptives Wissen über Konstruktionsprozesse</li> </ul>	Prozessorientiert  Produktorientiert 
<b>Szykman und Sriram</b> [SZYKMAN01]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wissen über Anforderungen an ein Produkt</li> <li>Wissen über geometrische Repräsentationen</li> <li>Wissen über Entscheidungen</li> <li>Wissen über Randbedingungen an ein Produkt</li> <li>Wissen über Beziehungen zwischen Grundelementen</li> </ul>	Produktorientiert 
<b>Degener</b> [DEGENER99]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wissen über gestaltungsbestimmende Anforderungen</li> <li>Wissen über maßgebende Funktionsträger</li> <li>Wissen über Schwachstellenanalysen</li> <li>Wissen über Endberechnungen, Gesamtentwurf und über korrigierte Bewertungen</li> <li>Wissen über den Konstruktionsentwurf</li> <li>Wissen über den Konstruktionsbericht</li> <li>Wissen über Probleme und Störungen in der Entwurfsphase</li> </ul>	Prozessorientiert  Produktorientiert 
<b>Ishino und Jin</b> [ISHINO01]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wissen über Konstruktionsprinzipien</li> <li>Produktwissen (Wissen über Funktionen, Randbedingungen und begleitendes Wissen)</li> <li>Prozesswissen (Wissen über die Aufgabenerlegung und Wissen über die Beziehung von einzelnen Aufgaben)</li> <li>Know-how (Wissen über Vorgehensweisen)</li> <li>Know-why (Wissen über den Grund einer Vorgehensweise)</li> </ul>	Prozessorientiert  Produktorientiert 
<b>Hicks et al.</b> [Hicks02]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wissen über Konstruktionsprinzipien</li> <li>Allgemeinwissen</li> <li>Spezifisches Wissen</li> <li>Wissen über unterschiedliche Anwendungsfälle</li> </ul>	Prozessorientiert  Produktorientiert 
<b>Haasis</b> [HAASIS95B]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wissen über konstruktive Objekte und relevante Attribute</li> <li>Wissen über Parameter- und Objektabhängigkeiten</li> <li>Wissen über Konstruktions- und Gestaltungsregeln</li> <li>Wissen über räumliche Beziehungen</li> </ul>	Produktorientiert 

**Tabelle 2.1:** Zusammenfassung von Wissenstypen innerhalb der Konstruktion

Es ist darin eine Unterteilung zu finden, die aufzeigt, ob die Wissenstypen tendenziell eher prozess- oder produktorientiert sind. Es wurden sieben Strukturierungsansätze für Wissenstypen im Bereich der Konstruktion identifiziert, wobei die meisten den Prozess und das Produkt gleichermaßen berücksichtigen. Der Ansatz nach Hubka und Eder [HUBKA92] stellt den mit dem höchsten Abstraktionsgrad dar. Demgegenüber steht der Ansatz von Degener [DEGENER99]. Er hat für die Phase des Entwerfens Wissenstypen identifizieren können. Dies erfolgte anhand einer Fallstudie, die sich auf Untersuchun-

gen in einem Unternehmen stützt. Mithilfe von Beobachtungen der Tätigkeiten von Konstrukteuren wurde der Konstruktionsprozess dokumentiert.

### **Wissensart**

Nach den Ausführungen von Polanyi [POLANYI85], Ahmed et al. [AHMED05] und anderen kann Wissen (und damit Konstruktionswissen) in drei Wissensarten eingegliedert werden: explizites, implizites und stilles Wissen. Explizites Wissen wird hierbei als das Wissen beschrieben, welches mitteilbar (engl.: articulated) ist. Ist es mitteilbar, so kann es als Information niedergeschrieben und verbreitet werden. Implizites Wissen ist das Wissen, das ein Konstrukteur nicht einfach äußern kann. Es muss zunächst ein Bewusstsein für das Wissen entwickelt werden. Nur so können die Erhebung und die Überführung in explizites Wissen erfolgen. Stilles Wissen ist nach Ahmed et al. [AHMED05, S. 2] mehr ein Gefühl oder eine Intuition, welches der Konstrukteur hat.

Letztlich kann ein Vergleich zwischen den gebräuchlichen Definitionen über das stille und implizite Wissen mit Kahnemans [KAHNEMAN12] Beschreibung des langsamen Denkens (implizites Wissen) und des schnellen Denkens (stilles Wissen) gezogen werden. Nach seinen Definitionen reagiert der Mensch zunächst rein intuitiv mithilfe von bereits gespeichertem, stillem Wissen (schnelles Denken). Dies kann als eine „Schnellschussreaktion“ bezeichnet werden. Erst anschließend denkt der Mensch mithilfe des langsamen Denkens über das Gesagte/Getane nach und wendet implizites Wissen an.

### **Wissensform**

Neben dem Wissenstyp und der Wissensart, ist die Wissensform eine Beschreibungsmöglichkeit für Wissens Elemente. Es bildet die Verbindung zwischen den eher informalen Strukturparametern Wissenstyp und Wissensart sowie der formalen Wissensintegration. Liese [LIESE04, S. 170 ff.] unterscheidet beispielsweise zwischen elementaren und aggregierten Wissensformen. Mithilfe der Wissensarten-Repräsentationsarten-Matrix (WA-RE-Matrix) findet die Korrelation statt. Die Tabelle ist eine aggregierte Wissensform, da sie eine „spaltenweise Verkettung von Listen“ darstellt [LIESE04, S. 171]. Die gesamte Übersicht über die identifizierten Wissensformen findet sich in Tabelle 2.2. Darin ist zudem eine Abgrenzung des Begriffs der Wissensform zu finden, da dieser in der Literatur häufig unterschiedlich verwendet wird.

Autor(en)	Wissensformen	Begriffsabgrenzung
<b>Liese</b> [LIESE04]	Parameter, Beziehung, Bedingung, Formel, Text, Liste, Vorgang, Graph, Tabelle, Regel, Algorithmus, Prozess, Funktion, Semantisches Netz	Verwendet den Begriff der Repräsentationsart
<b>Stokes</b> [STOKES01]	Abbildung, Rand- oder Zwangsbedingung, Vorgang, Regel und Entität	Verwendet den Begriff Wissensform
<b>Theil</b> [THEL07]	Regel, Funktion, Geometrieelement, Feature, Programmcode	Verwendet den Begriff der Repräsentationsart
<b>Haasis</b> [HAASIS95A]	Objektorientiert, Regel, Constraint	Verwendet den Begriff der Repräsentationsform
<b>Groeger</b> [GROEGER92]	Objekte (Regeln, Bedingungen, Eigenschaften, Formeln)	Verwendet den Begriff der Repräsentationsform
<b>Schiebeler und Ehrlenspiel</b> [SCHIEBELER93]	Regeln	Verwenden den Begriff Bestandteil des Wissens
<b>Kurfürst und Majschak</b> [KURFÜRST93]	Objekte und Regeln	-
<b>Günther und Saße</b> [GÜNTHER91]	Substantive (Objekte, Effekte, Begriffe), Verben (z. B. verknüpfen), Adjektive und Adverbien (qualitativ oder quantitativ), Strukturen (ist-Teil-von, ist-eine-Art-von), Produktionsregeln	Verwenden den Begriff Wissensform
<b>Muth</b> [MUTH94]	Basisobjekte, Funktionselemente und Wirkprinzipien, Geometrie-elemente, Technologieelemente, Organisationselemente	Verwendet den Begriff Beschreibungselemente
<b>Rude</b> [RUDE98]	Regel, Objekt, Constraint, Semantisches Netz, Truth Maintenance System, Fall, Blackboard, Neuronales Netz	Verwendet den Begriff Repräsentationsform

**Tabelle 2.2:** Überblick über die in der Literatur definierten Wissensformen

### Wissensort

Der von Roth et al. [ROTH10] definierte Begriff des Wissensorts ist eng mit der Wissensform verbunden, da manche Wissensformen (z. B. Tabelle) teilweise nur innerhalb eines speziellen Wissensorts gespeichert werden können (z. B. Datenbank). Tabelle 2.3 zeigt eine Auswahl der in der Literatur zu findenden Wissensorte. Eine Begriffsabgrenzung ist je nach Existenz in der Literatur aufgeführt. Die Literaturrecherche erstreckte sich über den Bereich der Konstruktion- und Produktentwicklung und über den Bereich des allgemeinen Wissensmanagements.

Insgesamt fällt bei der Betrachtung der Tabelle 2.3 auf, dass die Abstraktionsebene der einzelnen Wissensorte verschieden ist. Die Bandbreite reicht von einem „natürlichen

Speichersystem“ nach Güldenbergs [GÜLDENBERG97] bis zu einem „Feature/UDF“ nach Liese [LIESE04]. Übergreifend ist nach der VDI 5610 [VDI 5610 2009, S. 8] und Amelingmeyer [AMELINGMEYER02, S. 52] festzustellen, dass die oberste Ebene aus materiellen und personellen Wissensorten gebildet wird. Alle weiteren Wissensorte gliedern sich darunter auf. Beispielsweise ist ein Geometrieelement ein materieller Wissensträger. Ein Experte stellt einen personellen Wissensträger dar.

Autor(en)	Wissensorte	Begriffsabgrenzung
<b>Liese</b> [LIESE04]	Geometrieelement, Anordnung, System, Konstruktionselement, Feature/UDF, Part, Assembly	Verwendet den Begriff Repräsentationsart
<b>Pfeiffer</b> [PFEIFFER65]	Materielle Träger, personelle Träger, quasi-materielle Träger, rechtliche Träger	Nicht bekannt
<b>Steiger</b> [STEIGER00]	Text, Skizze, Grafik, Animation, Video, Virtual Reality	Verwendet den Begriff Repräsentationsform
<b>Barth</b> [BARTH07]	Strukturierte Dokumente, Datensätze, CAD-Modelle	Wurde explizit nicht definiert
<b>Güldenbergs</b> [GÜLDENBERG97]	Natürliche Speichersysteme, künstliche Speichersysteme, kulturelle Speichersysteme	Nicht bekannt
<b>Lutz</b> [LUTZ11]	CAD-Geometrie, Stücklisten und Teileverwaltung, Spezialisierte Wissensbasen (z. B. Regel- und Constraint-Sammlungen), Software-Programme	Verwendet den Begriff Wissensträger
<b>Schwenke</b> [SCHWENKE91]	Normen, VDI-Richtlinien, Tagungsbände, Fachzeitschriften, Fachbücher, Konstruktionskataloge, Tabellenwerke, Zeichnungen, Werknormen, Produktkataloge, Firmenzeitschriften	Verwendet den Begriff Dokumentationsart
<b>Muth</b> [MUTH94]	Anforderungen, Geometrie, Gestalt, Design, Materialeigenschaften, Kostenrechnung, Vorschriften, Richtlinien, Verordnungen, Normen, Standardteile, Erfahrungswissen, Intuition etc. [MUTH94, S. 54]	Verwendet den Begriff Wissensquellen
<b>Haasis</b> [HAASIS95B]	Normen, Konstruktions- und Fertigungsrichtlinien, Fachliteratur, Konstruktionszeichnungen und Stücklisten, Wiederholteilkataloge, Experten	Verwendet den Begriff Wissensquellen

**Tabelle 2.3:** Überblick über die in der Literatur identifizierten Wissensorte u. a. nach Amelingmeyer [AMELINGMEYER02]

### 2.1.3 Konstruktionsobjekte

Das Konstruktionsobjekt (d. h. das Produkt) als Technisches System stellt in Hubka und Eders [HUBKA92, S. 112] Konstruktionsystem einen wichtigen Operator, d. h. Einflussfaktor, auf den Konstruktionsprozess dar. Es entsteht durch die Wertschöpfung innerhalb des Konstruktionsprozesses. Nach Lutz [LUTZ11, S. 27] „gehört die Produktstruktur mit zu den wichtigsten Informationsträgern.“ Aus diesem Grund ist zunächst die

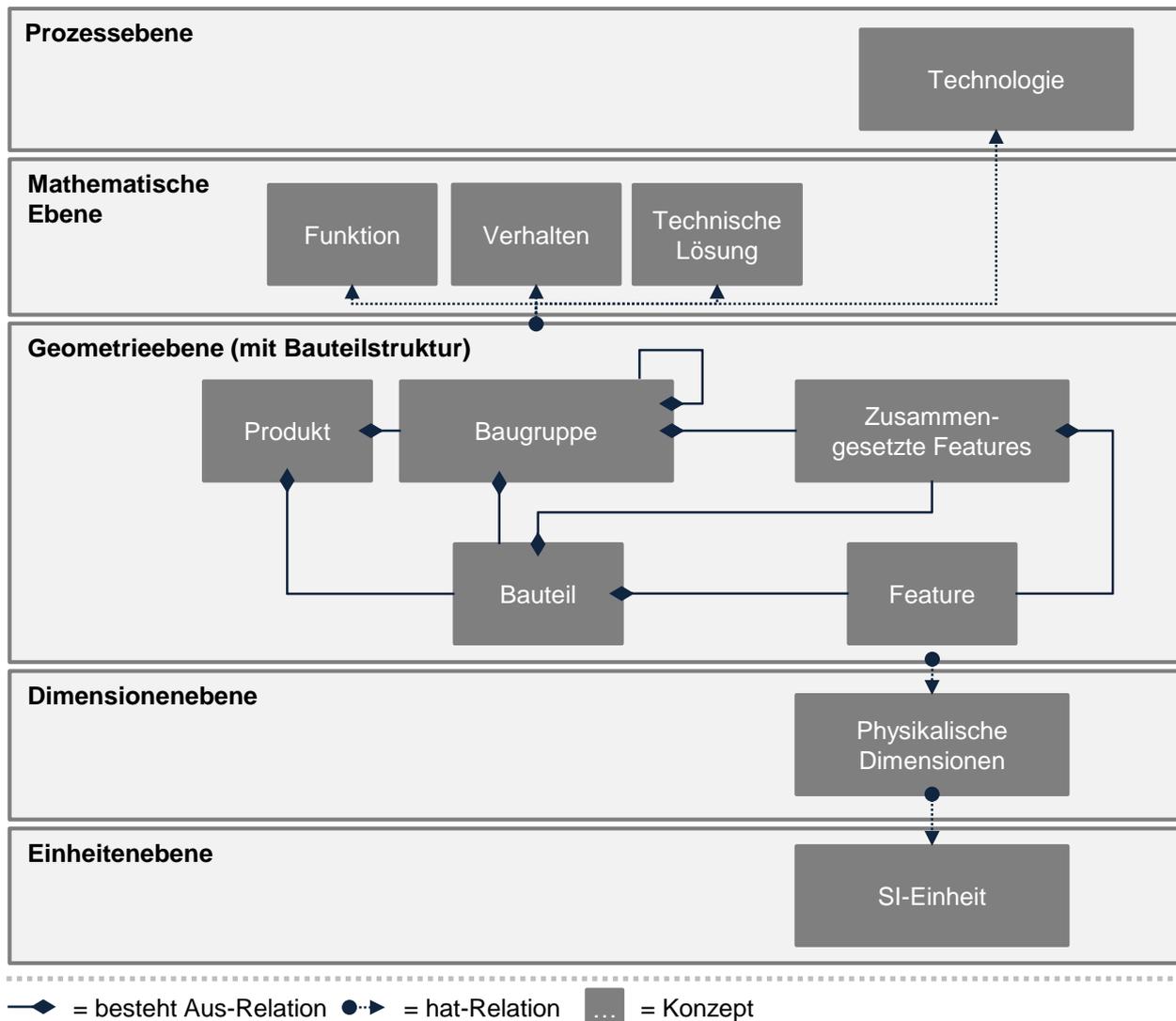
Frage zu beantworten, wie Produkte hinsichtlich ihrer Struktur unter den Gesichtspunkten der Geometrie und Semantik charakterisiert werden können. Anschließend ist auf die Produktkomplexität einzugehen.

Das Produkt manifestiert sich entlang des Produktentwicklungsprozesses in unterschiedlichen, modellhaften Repräsentationen. Der Detaillierungsgrad nimmt hierbei von der Anforderungsliste bis zu den ausgearbeiteten Produktunterlagen, wie z. B. technischen Zeichnungen und Stücklisten, stetig zu. In der dazwischen liegenden Entwurfsphase, die in der vorliegenden Arbeit vorrangig betrachtet wird, erarbeitet der Konstrukteur eine erste gestaltbehafte Repräsentation des Produkts. Auf Basis der prinzipiellen Lösung wird Geometrie und Werkstoff definiert [PAHL07, S. 305 f.]. Eigner und Stelzer [EIGNER09, S. 79] unterstützen diese Sichtweise und stellen eine Veränderung der Produktstruktur über den Phasen des Produktentstehungsprozesses fest, wobei in den frühen Phasen (Anforderungen und Produktplanung) von Strukturen und in den späten Phasen (Entwicklung bis Betrieb) von Stücklisten gesprochen wird. Beide sehen in der Verknüpfung der Produktstrukturen über den Prozess ein wichtiges Forschungsfeld.

Das (integrierte) Produktdatenmodell stellt eine logische Abbildung von zusammenhängenden Informationen über ein Produkt dar. In der „Engineering IT“ nutzen Erzeugungssysteme (z. B. CAD-Systeme) und Verwaltungssysteme (z. B. PDM-System) diese Repräsentation gleichermaßen. Durch das integrierte Produktdatenmodell werden u. a. eine signifikante Verbesserung der Wiederverwendung von Konstruktionslösungen und eine Verwendung des Produktmodells über einen großen Bereich des Produktentstehungsprozesses erreicht. [GRABOWSKI02, S. 81]

Innerhalb dieses integrierten Produktdatenmodells stellt nach Franke et al. [FRANKE07, S. 117] das Geometriemodell „die Grundlage zur Repräsentation der Gestalt des zu entwickelnden Produkts dar“. Dieses wird auch rechnerinternes Datenmodell (RID-Modell) genannt und besteht aus Daten, einer Struktur und Algorithmen [KATZENBACH12, S. 80 f.]. Nach Liese [LIESE04, S. 50] ist mit STEP (Standard for the Exchange of Product model data), das u. a. dieses Geometriemodell enthält, ein ubiquitäres Produktmodell entwickelt worden. Aufbauend auf STEP hat sich Stokes [STOKES01] im Rahmen des EU-Projekts „ESPRIT“ zur Entwicklung der MOKA-Vorgehensweise mit den Zusammenhängen von Produkten und deren Bestandteilen beschäftigt. Stokes nutzte dies zur formalen Modellierung der Wissensdomäne.

In Bild 2.7 ist die von Stokes [STOKES01] gewählte Modellierung in der MOKA-Vorgehensweise abgebildet. Das Produkt stellt das zentrale Element dar und besteht aus Baugruppen und aus Bauteilen, wobei die Baugruppe ebenfalls aus Bauteilen besteht. Zusammen mit den Features sowie den zusammengesetzten Features ergibt sich daraus die Bauteilstruktur auf der Geometrieebene. Features sind in diesem Zusammenhang als „informationstechnische Elemente, die Bereiche von besonderem (technischen) Interesse von einzelnen oder mehreren Produkten darstellen“, zu verstehen [VDI 2218 2003, S. 10].



**Bild 2.7:** Modellierung einer Produktstruktur nach Stokes [STOKES01, S. 181] (siehe Geometrieebene) und nach Marquardt et al. [MARQUART10]

Die Bauteilstruktur auf der Geometrieebene ist mit nicht-geometrischen, d. h. mit semantischen, Konzepten verbunden (Technologie, Funktion etc.). Ergänzt wurde die Darstellung durch die umfassendere Betrachtung einer Wissensdomäne nach Mar-

quardt et al. [MARQUARDT10], die darüber hinaus mathematische Konzepte, Einheiten, Dimensionen und weitere Ebenen berücksichtigen. Unter der Verwendung weiterer Ebenen (z. B. Material und Equipment; nicht in Bild 2.7 dargestellt) ist eine Annäherung an die von Katzenbach [KATZENBACH12, S. 119 f.] geforderte integrierte Betrachtung von Produkt, Prozess und Ressource gegeben. Ein interdisziplinärer Kontext wird explizit mitbetrachtet.

Nach der Klärung der Frage, wie Produkte taxonomisch unter Berücksichtigung der Gesichtspunkte Geometrie und Semantik charakterisiert werden, erfolgt im Weiteren eine Beschreibung der Komplexität von Produkten. Hierbei wird speziell die Definition sowie die Ermittlung der Komplexität von Produkten fokussiert. Generell lässt sich die subjektive Komplexität von der objektiven Komplexität unterscheiden [EHRENSPIEL09, S. 35]. Im Folgenden wird lediglich die objektive Komplexität weiterverfolgt. Lindemann et al. [LINDEMANN09C, S. 29] beschreiben diese unter Berücksichtigung der Elementanzahl eines Produkts, der Vielfalt und Anzahl der Verbindungen zwischen den Komponenten und der Anzahl der involvierten Fachdisziplinen. Diese Beschreibung deckt sich in Teilen mit einigen weiteren Definitionen von z. B. Ameri et al. [AMERI08, S. 161], Eckert et al. [ECKERT04, S. 1] und Pahl et al. [PAHL07, S. 20].

Bezüglich der Ermittlung der Produktkomplexität haben Ameri et al. [AMERI08] eine Recherche durchgeführt und hierfür insgesamt zehn Möglichkeiten identifiziert. Unter anderem haben Bashir und Thompson [BASHIR99, S. 145] die Ermittlung der Produktkomplexität durch die Analyse von Funktionsbäumen möglich gemacht. Nach deren Ansatz ist die Produktkomplexität von der Anzahl von Funktionen auf einer bestimmten Ebene relativ zur Hauptfunktionsebene und von der Entfernung der Ebene an sich (relativ zur Hauptfunktionsebene) abhängig. Demnach ist die Produktkomplexität höher, je mehr Funktionen sich auf Ebenen befinden, die fern zur Hauptfunktion liegen.

#### **2.1.4 Konstruktionsumfeld**

Das Konstruktionsumfeld spielt bei der Einführung eines ProKon-Systems in ein Unternehmen eine wichtige Rolle. Es ist zu untersuchen, wer über die Einführung des Systems in das Unternehmen zu entscheiden hat. Hierbei sind besonders Aspekte der Entscheidungstheorie zu berücksichtigen. Zudem wird untersucht, in welche Umgebung das ProKon-System eingebettet werden soll.

Der Entscheider stellt eine Rolle dar, die sich direkt mit der Entscheidung beschäftigt, ob und wenn ja, in welcher Form ein ProKon-System in das Unternehmen eingeführt

werden soll. Diese Rolle kann in einem Unternehmen durch mehrere Personen ausgefüllt werden (z. B. Gruppenleiter in einer Konstruktionsabteilung, Konstruktionsleiter, Entwicklungsleiter, Vorstand für IT). Unabhängig von der Person, die diese Rolle ausfüllt, benötigen Entscheider für das Treffen einer fundierten Entscheidung eine ausreichende Informationsbasis [KAHNEMAN12, S. 12]. Das Management dieser Informationen bezeichnet Krcmar [KRCMAR05] als das Informationsmanagement und definiert es als eine Möglichkeit, „die erforderlichen Informationen zur richtigen Zeit und im richtigen Format zum Entscheider zu bringen.“ [KRCMAR05, S. 28]. Unter anderem ist hierbei das Zielsystem des Entscheiders wichtig, welches aus einer Vielzahl an Unterzielen besteht, die inhaltlich und/oder zeitlich untergeordnet sind [GILLENKIRCH07, S. 2029] und für die Beachtung des Gesamtziels wichtig sind [LAUX12, S. 18 f.]. Diese Unterziele können entweder komplementär, konkurrierend oder konfliktär zueinander angeordnet sein [LAUX12, S. 45].

Neben der Untergliederung des Zielsystems, welches zunächst individueller Art ist, kann das Zielsystem in ein kollektives Zielsystem eingeordnet werden [GILLENKIRCH07, S. 2031]. Der Entscheider handelt entsprechend seines individuellen Zielsystems, welches sich in oberster Ordnung aus den Unternehmenszielen ableitet [GILLENKIRCH07, S. 2033]. Laux [LAUX12, S. 18] beschreibt dabei u. a. das Problem des implizit bewussten Zielsystems, da Entscheider z. T. nicht wissen, welche Ziele sie verfolgen. Das Problem wird in der präskriptiven Entscheidungstheorie untersucht.

Ein Lösungsansatz stellt die Befragung von Entscheidern in Unternehmen hinsichtlich deren Zielsystems dar. Vorrangig treten die Probleme des impliziten Zielsystems in komplexen Entscheidungssituationen auf, in denen Entscheider nicht mehr wissen, welche Ziele im Einzelnen für die Erreichung des Gesamtziels eine Rolle spielen. Neben dem Beachten des Zielsystems sind nach Riechmann [RIECHMANN10, S. 5 f.] u. a. die Handlungsalternativen innerhalb des Entscheidungsproblems relevant. Handlungsalternativen spannen sich auf, wenn mindestens zwei Alternativen für den Entscheider zur Auswahl stehen (Alternative 1: System einführen; Alternative 2: System nicht einführen).

Neben der Entscheidungstheorie spielt die Betrachtung der Unternehmens- und Wissenskultur innerhalb des Konstruktionsumfelds eine wichtige Rolle. Nach Schreiber et al. [SCHREIBER02, S. 25] findet die Erledigung von Aufgaben nicht in einem „organisationalen Vakuum“ statt. Stets sind Menschen involviert, welche sich häufig für das Erreichen von Zielen in einem Kollektiv bewegen. Dies gilt zudem für die Integration von

IT-Systemen in Unternehmen. Derartige Humanaspekte können in diesem Zusammenhang als Teilbereiche der Unternehmens- und Wissenskultur verstanden werden.

Die Unternehmenskultur als „System informeller Regeln“ [BOHINC03, S. 372], welche implizit vorschreibt, wie sich Personen innerhalb eines Unternehmens zu verhalten haben, ist u. a. der Wissenskultur übergeordnet [SOLLBERGER06B, S. 429]. Sowohl für die Unternehmens- als auch für die Wissenskultur gilt allgemein, dass ein „Muster gemeinsamer Grundprämissen vorliegt“ [BOHINC03, S. 372], die sich im Unternehmensalltag bewährt haben und an die sich neue sowie bereits in das Unternehmen integrierte Personen zu halten haben. Die Wissenskultur als Teil der Unternehmenskultur wird somit nach Bohinc [BOHINC03, S. 373] als Summe der „kollektiven Einstellungen, Befähigungen und Verhaltensweisen“ bezeichnet, „mit denen Wissen identifiziert, erworben, entwickelt, verteilt, genutzt und bewahrt wird“.

Sollberger [SOLLBERGER06A, S. 119] sowie Sollberger und Thom [SOLLBERGER06B, S. 429 f.] gliedern die Wissenskultur noch weiter auf, indem sie Werte wie Vertrauen, Zusammenarbeit, Offenheit, wahrgenommene Autonomie, Lernbereitschaft und Fürsorge aufführen. Weiterhin beschreiben Sollberger und Thom [SOLLBERGER06B, S. 428] mit den drei Gestaltungsfeldern Menschen, Organisation sowie Informations- und Kommunikationstechnologie die Wissenskultur detaillierter und bringen diese mit den charakteristischen Bausteinen des Wissensmanagements nach Probst et al. [PROBST10, S. 28] in Verbindung. Demgegenüber fasst Schein [SCHEIN95, S. 30] die Wissenskultur auf drei Ebenen zusammen:

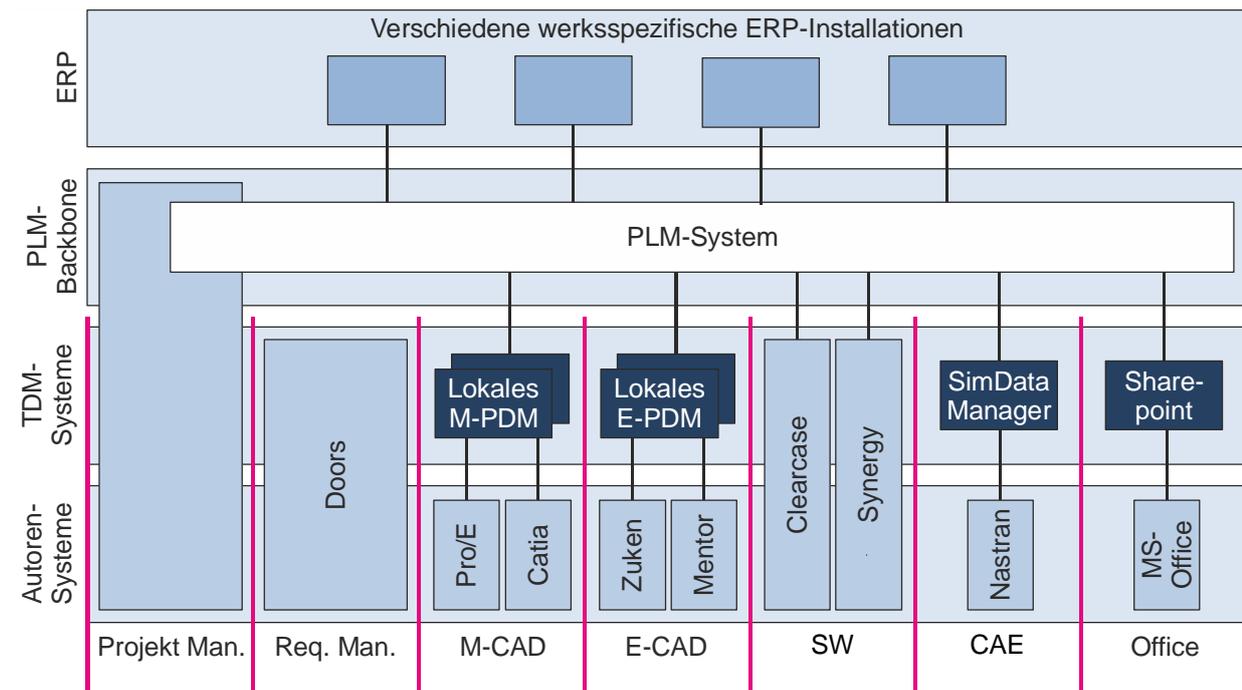
- Werte, Glaubenssätze und unbewusste Wahrnehmungen
- Strategien, Ziele und Philosophien
- Formalisierte Strukturen und Prozesse

Insgesamt kann die Wissenskultur unter Berücksichtigung weiterer Faktoren als der „Nährboden“ für ein erfolgreiches Wissensmanagement betrachtet werden [KYRIAKIDOU04, S. 22; SOLLBERGER06A, S. 33]. Dieser Aussage stimmt Bohinc [BOHINC03, S. 371] zu und stützt sich dabei auf eine Befragung von deutschen und ausländischen Unternehmen, die angaben, dass die „Wissenskultur maßgeblich über das Denken und Handeln der Mitarbeiter im Umgang mit Wissen entscheidet“.

Letztlich wird die IT-Systemlandschaft des Unternehmens im Umfeld der Konstruktion betrachtet. Diese kann auch als IT-Bebauung bezeichnet werden [KATZENBACH11, S. 7]. Nach Zimmermann [ZIMMERMANN08, S. 460] sind für deren effizienten Gestaltung Synergieeffekte auszunutzen. Diese stellen letztendlich eine wichtige Voraussetzung für

den Unternehmenserfolg dar. Im Umfeld von Softwareagenten lassen sich bspw. Synergieeffekte erzielen, indem industrielle Agentensysteme bisherige IT-Systeme funktional ergänzen [PARUNAK98, S. 2].

Eigner und Stelzer [EIGNER08, S. 253] sowie Katzenbach und Steiert [KATZENBACH11, S. 7] sehen in der systematischen Ablage von Daten und Informationen, die entlang des Produktlebenszyklus benötigt und erzeugt werden, eine Kernkompetenz jeder Engineering IT. Generell existiert im Unternehmen ein PDM-/PLM-System, welches u. a. Stamm- und Strukturdaten sowie Dokumente verwaltet, Projekt- und Workflowmanagement beinhaltet und ein Freigabe- und Änderungswesen realisiert [EIGNER08, S. 36]. Das PDM-/PLM-System interagiert mit Autorensystemen (z. B. mit einem CAD-System) und mit ERP-Systemen, die u. a. für die Verwaltung von Fertigungsunterlagen eingesetzt werden. Nach Eigner und Stelzer [EIGNER08] resultiert daraus das vierstufige Architekturkonzept. Dieses zeigt Bild 2.8.



Projekt Man. = Projekt Management  
Req. Man. = Requirement Management  
M-CAD = Mechanisches CAD-System  
E-CAD = CAD-System für die Elektrotechnik/Elektronik  
SW = Software  
CAE = Computer-aided engineering  
TDM = Team Data Management  
PLM = Product Lifecycle Management

**Bild 2.8:** Vierstufiges Architekturkonzept nach Eigner und Stelzer [EIGNER08, S. 43]

In Bild 2.8 ist das PLM-Backbone als zentrales „Rückgrat“ der Engineering IT abgebildet, welches mit unterschiedlichen ERP-Installationen verknüpft ist. Es existieren unterschiedliche Ansätze hinsichtlich der Art, wie Daten und Informationen abgelegt und

aufgerufen werden sowie, wie die in Unternehmen verwendeten IT-Systeme effizient und effektiv zusammenwirken.

Eigner und Stelzer [EIGNER08, S. 257] unterscheiden generell zwischen einer föderierten und einer integrierten PLM-Architektur. „Die integrierte Lösung basiert auf einem zentralen PDM-System“, welches mit den Autorensystemen direkt kommuniziert (siehe Verbindung SW mit Clearcase und Synergy zum PLM-System in Bild 2.8).

Weiterhin existiert die föderierte Lösung, bei der Team Data Management-Systeme (TDM-Systeme) zwischengeschaltet werden, die optimal auf die jeweiligen Autorensysteme abgestimmt sind. Somit lassen sich transparente Informationsflüsse besonders bei komplexen Systemen aufbauen [EIGNER08, S. 257; JUNGKURZ05, S. 32].

### 2.1.5 Konstrukteure

Zuletzt erfolgt die Analyse des Konstrukteurs im Umfeld des Konstruktionssystems nach Hubka und Eder [HUBKA92]. Dem Konstrukteur kommt bei der Einführung eines ProKon-Systems die wichtigste Rolle zu, da er mit diesem umgehen muss. Es liegt die Vermutung nahe, dass die persönlichen Aspekte von Konstrukteuren stets eine Ableitung der Unternehmens- und Wissenskultur sind, sofern die betrachteten Konstrukteure diese Kulturen verinnerlicht haben.

Hinsichtlich dieser persönlichen Aspekte von Konstrukteuren ist zunächst der Einfluss der Berufserfahrung auf den Einsatz von Lösungen im Bereich des Wissensmanagements darzustellen. Es kann zwar nicht der Zusammenhang aufgestellt werden, dass Experten generell weniger durch Maßnahmen im Wissensmanagement unterstützt werden können als Anfänger, jedoch ist die Berufserfahrung bei der Einführung von Wissensmanagement in Unternehmen zu berücksichtigen. Dies unterstreichen Ives et al. [IVES97, S. 273], indem sie beschreiben, dass Mitarbeiter mit steigender Berufserfahrung ein zunehmendes Verständnis für Wissensmanagement aufbauen. Dieses Verständnis unterstützt eine Einführung signifikant [SOLIMAN00, S. 340]. Auch Raub und von Wittich [RAUB04, S. 715] untersuchten, wie Wissensmanagement in Unternehmen eingeführt werden sollte und fanden heraus, dass die Betrachtung der Mitarbeiter maßgeblich ist, die letztendlich mit der Wissensmanagementlösung tagtäglich umzugehen haben.

Zudem ist es für Mitarbeiter in Unternehmen wichtig, dass sie umfassend über die Maßnahmen informiert werden [RAUB04, S. 722 f.]. So stellt sich Vertrauen in die Maßnahme ein, und es wird ein Verständnis dafür entwickelt. Bei zielgerichteter und

wirkungsvoller Kommunikation ist u. U. sogar die Beschneidung von Aufgabengebieten der Mitarbeiter zu erreichen und im äußersten Notfall auch die Versetzung eines Mitarbeiters, der durch die Maßnahme nicht mehr in der alten Funktion gebraucht wird.

## **2.2 Wissensbasierte Systeme und wissensbasierte Konstruktion**

Nach der Darstellung des Einsatzkontextes für das ProKon-System ist die nächste Forschungsfrage aus Abschnitt 1.4 zu beantworten, sodass im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit das ProKon-System in den Kontext der wissensbasierten Systeme eingeordnet werden kann. Aus diesem Grund werden zunächst deren Grundlagen in Abschnitt 2.2.1 beschrieben. Da Agentensysteme eine Unterart von wissensbasierten Systemen sind, erfolgt deren Erläuterung in Abschnitt 2.2.2.

Aufbauend auf diesen Grundlagen ist die Wissensverarbeitung von Agentensystemen zu untersuchen (siehe Abschnitt 2.2.3), sodass in der vorliegenden Arbeit ein Ansatz für eine Wissensbasis für das ProKon-System vorgestellt werden kann.

Neben der Tatsache, dass das ProKon-System ein Agentensystem im Bereich der Konstruktion ist, ordnet es sich in die wissensbasierte Konstruktion und in die wissensbasierten Konstruktionssysteme ein. Die Vorstellung dieser Thematiken erfolgt dementsprechend in den Abschnitten 2.2.4 und 2.2.5. Da der Praxiseinsatz das Ziel des ProKon-Systems ist, fasst Abschnitt 2.2.6 letztlich die Beschreibung des generellen Einsatzes von wissensbasierten Konstruktionssystemen in der Praxis zusammen.

### **2.2.1 Grundlagen von wissensbasierten Systemen**

Ein wissensbasiertes System ist ein informationstechnisches System (IT-System), das in einem Bereich (z. B. in der Medizin oder in der Konstruktion) Menschen in deren Arbeitsweise, d. h. in deren Vorgehen und Schlussfolgerungsfähigkeit, unterstützt [BEIERLE06, S. 11]. Wissensbasierte Systeme zeichnen sich über eine getrennte Wissensbasis und Wissensverarbeitung aus, wodurch eine Abtrennung von Problembeschreibung und Problemlösung erfolgt [ARNDT08, S. 46 f.; BEIERLE06, S. 11]. Somit kann eine Problemlösungsstrategie auf unterschiedliche Wissensbasen angewendet werden [BÜCKNER02, S. 79].

Der Anwendungsbereich wissensbasierter Systeme ist vielfältig. Allgemein werden sie eingesetzt, um Aufgaben zu bearbeiten, zu denen der Mensch seine Intelligenz benötigt. Sie verwenden hierzu Methoden der künstlichen Intelligenz, die zu dem Bereich der

Informatik gehören und sich mit der Abbildung menschlicher Kognitionsprozesse durch Software beschäftigen. [BODENDORF06, S. 147]

Allgemein stellt die künstliche Intelligenz (KI) den Oberbegriff für den Kontext der wissensbasierten Systeme dar. Diese „Programme“ simulieren das menschliche Verhalten. Wissensbasierte Systeme sind eine Teilmenge davon. Nach Bodendorf [BODENDORF06, S. 147] unterscheiden sich zwei Teilbereiche von wissensbasierten Systemen:

1. Nachahmung der menschlichen Intelligenz
2. Repräsentation von Wissen

Expertensysteme werden wiederum als Teilmenge der wissensbasierten Systeme dargestellt, die Expertenwissen auf Probleme anwenden [LIAO05, S. 93]. Trotz dieser Unterschiede werden üblicherweise Expertensysteme mit wissensbasierten Systemen gleichgesetzt [BEIERLE06, S. 11; FUNKAT03, S. 33; MEYER-FUJARA93, S. 717]. Da in wissensbasierten Systemen Expertenwissen zum Einsatz kommt, werden in der vorliegenden Arbeit beide Begriffe synonym verwendet.

Nach dieser Einführung in die Grundlagen der wissensbasierten Systeme und der Begriffsklärung, erfolgt die Analyse von Agentensystemen. Sie stellen eine Unterart eines wissensbasierten Systems dar, wobei in der vorliegenden Arbeit ausschließlich Softwareagenten betrachtet werden.

### **2.2.2 Agenten und Agentensysteme**

Der Begriff Agent stammt aus dem lateinischen „agere“ und bedeutet „tun, treiben, ausführen“. Ein Agent bezeichnet einen politischen Geschäftsträger. [KREMPELS09, S. 5]

In der Informatik hat sich, seit Beginn der Achtzigerjahre des zwanzigsten Jahrhunderts, die Agententechnologie als eigenständiger Forschungsbereich etabliert [JENNINGS00, S. 277; KREMPELS09, S. 6; WAGNER03, S. 3]. Die Agententechnologie wurde bspw. in der Automobilindustrie zur Steuerung und Überwachung von Produktionsanlagen eingesetzt [SCHLEIPEN08]. Minsky [MINSKY94, S. 21 ff.] hat den Begriff der Agenten geprägt. In Forschungsvorhaben wurde untersucht, wie die menschliche Intelligenz mit Agentensystemen und darin enthaltene Agenten nachzuahmen ist. Die Suche nach einer allgemeingültigen Agentendefinition gestaltet sich als schwierig. Parunak [PARUNAK98, S. 1] beschreibt, dass im Bereich der Agentenforschung fast so viele Definitionen wie Forscher auf dem Gebiet existieren. Jennings [JENNINGS00, S. 278] stimmt dieser Aussage zu und fügt hinzu, dass sogar die Kernpunkte in diesem Bereich umstritten sind. Wagner et al. [WAGNER03, S. 6] definieren das Konzept eines Agenten

als „eine abgrenzbare Softwareeinheit mit einem definierten Ziel. Ein Agent versucht dieses Ziel durch autonomes Verhalten zu erreichen und interagiert dabei mit seiner Umgebung und anderen Agenten“. Diese Definition wird von der VDI/VDE 2653 Blatt 1 [VDI/VDE 2653 2010, S. 3] für den Gebrauch in Deutschland vereinheitlicht. Bei der Definition und Abgrenzung von Agenten gegenüber normaler Software ist zu beachten, dass teilweise selbst ein einfaches Makro als Agent bezeichnet wird [WAGNER03, S. 3]. Weiterhin werden von Wagner et al. [WAGNER03, S. 6] mehrere grundlegende Konzepte aufgegriffen, die ursprünglich von Jennings [JENNINGS00, S. 279 ff.] und Wooldridge [WOOLDRIDGE97, S. 29 ff.] erarbeitet wurden. Diese sind für eine agentenorientierte Entwicklung maßgebend und grundlegend. Tabelle 2.4 führt diese auf.

Konzept	Beschreibung
<b>Kapselung*</b>	Zustand und Verhalten sind in einer Einheit, dem Agenten, vereint.
<b>Ziel-orientierung*</b>	Ziele bestimmen das Verhalten des Agenten zu jeder Zeit. Diese Ziele können vom Entwickler vor der Initialisierung bestimmt und zur Laufzeit in Form von Aufträgen durch den Benutzer verändert werden.
<b>Reaktivität*</b>	Der Agent nimmt seine Umwelt aktiv wahr (Sensorik) und kann darauf angemessen reagieren (Aktorik) [LÓPEZ08].
<b>Autonomie*</b>	Der Agent besitzt stets die Kontrolle über seinen Zustand bzw. sein Verhalten. Diese Autonomie kann durch externe Faktoren nicht beeinflusst werden.
<b>Proaktivität</b>	Proaktivität ist die Fähigkeit zielgerichtet und vorausschauend zu arbeiten, d. h. ohne Beeinflussung von außen. Hier kann auch von Eigeninitiative gesprochen werden. Voraussetzung für eine Proaktivität sind definierte Ziele.
<b>Interaktion*</b>	Agenten treten, zur Erreichung ihrer festgelegten Ziele, in Wechselwirkung mit anderen Agenten, z. B. in Form von Verhandlungen oder Anfragen.
<b>Persistenz*</b>	Jeder Agent verfügt über einen fortlaufenden Kontrollfluss, der unabhängig von einer externen Aktivierung ist. Der Agent ist also in der Lage, zu jeder Zeit seinen internen Zustand beizubehalten.
<b>Handlungsspielraum*</b>	Der Handlungsspielraum engt den Agenten gezielt in der Anwendung seiner Fähigkeiten ein. Hierdurch wird der Grad der Flexibilität festgelegt.
<b>Mobilität</b>	Agenten haben die Fähigkeit, physisch (zwischen Plattformen) und logisch (zwischen Systemen) den Ort zu wechseln. Dies geschieht, wenn bspw. an diesem neuen Ort Ziele erreicht werden können, die am anfänglichen Ort nicht erreicht werden können. Die Erreichung einer Lastverteilung in einem Netzwerk ist ein weiteres Ziel.
<b>Problem-lösendes Verhalten</b>	Ein Agent kann sein Verhalten aufgrund von Erfahrungen (Sensoren und Aktoren) an veränderte Randbedingungen anpassen. Diese Fähigkeit kann auch als Lernfähigkeit bzw. Intelligenz gewertet werden.

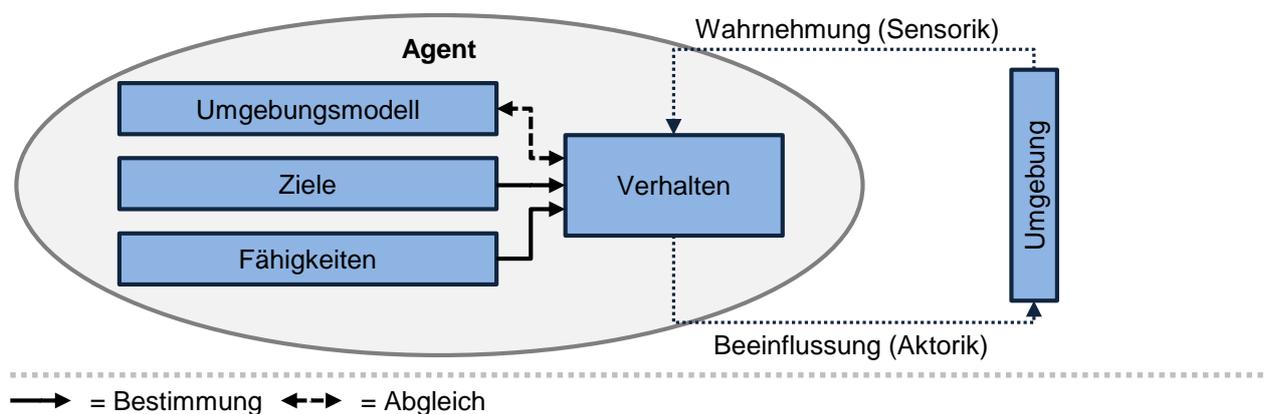
\* = Einheitlich durch die VDI/VDE 2653 Blatt 1 [VDI/VDE 2653 2010, S. 4] definiert

**Tabelle 2.4:** Grundkonzepte von Agenten nach Wagner et al. [WAGNER03, S. 6]

Prinzipiell können die Definition und die vorgestellten Grundkonzepte in einem einfachen Schema zusammengefasst werden (siehe Bild 2.9). Das Verhalten des Agenten

wird vornehmlich durch seine Ziele und Fähigkeiten bestimmt. Durch Sensorik und Aktorik wird die Umgebung wahrgenommen und beeinflusst. Hierfür ist eine Abbildung der Umgebung innerhalb des Agenten notwendig (d. h. ein Umgebungsmodell).

Auf Basis der Definition von Wagner et al. [WAGNER03] müssen Agenten mit ihrer Umwelt (Umgebung bzw. weitere Agenten) interagieren, um Ziele zu erreichen. Das lässt darauf schließen, dass Agenten im Sinne der vorgestellten Definition nicht alleine agieren, sondern stets in einem Verbund handeln, um ein Problem gemeinsam zu lösen [WAGNER08, S. 40 f.].



**Bild 2.9:** Struktur eines Agenten nach Wagner et al. [WAGNER03, S. 24]

Diese gemeinsame Problemlösung greift Ferber [FERBER01, S. 7 f.] auf und spricht verallgemeinert hierbei von kollektiver Intelligenz, die zur Lösung physisch und/oder funktional verteilter Probleme bzw. komplexer Probleme nötig ist. Agenten können zur Lösung von Problemen bzw. zur Erreichung der Ziele innerhalb eines Agentensystems Dienste anbieten, die von weiteren Agenten in Anspruch genommen werden können. Hierfür ist eine zielgerichtete Interaktion erforderlich, die u. a. aus dem Austausch von Daten, aus der Koordination und Verteilung von Aufgaben, der Beantwortung von Anfragen und aus dem Ressourcenmanagement besteht. Diese Interaktion findet durch den Austausch von Nachrichten statt. Eine Nachricht definiert sich hierbei als Zusammenspiel von Inhalten und Attributen. [WAGNER08, S. 41]

Für eine zielgerichtete Interaktion haben Wagner et al. [WAGNER03, S. 24] drei Voraussetzungen aufgestellt:

- Agenten müssen wissen, dass weitere Agenten existieren und welche Agenten im Agentensystem existieren.
- Agenten müssen die Fähigkeiten anderer Agenten kennen.

- Den Agenten stehen eine einheitliche Kommunikationssprache und eine dazugehörige Plattform zur Verfügung.

Gemäß den von Wagner et al. [WAGNER03] aufgestellten Voraussetzungen handeln Agenten stets im Verbund, d. h. innerhalb eines Agentensystems. Nach der VDI/VDE 2653 Blatt 1 [VDI/VDE 2653 2010, S. 3] besteht ein Agentensystem „aus einer Menge von Agenten, die interagieren, um gemeinsam eine oder mehrere Aufgaben zu erfüllen“. Der Begriff Multiagentensystem ist zumindest im deutschsprachigen Raum „eine unzutreffende Übersetzung“ [VDI/VDE 2653 2010, S. 3].

Unter Berücksichtigung der zuvor angesprochenen Aktorik und Sensorik bzw. der bei Agentensystemen charakteristischen Interaktion, müssen Agenten Informationen aus der Umwelt aufnehmen (siehe Wahrnehmung in Bild 2.9) und verarbeiten (Umgebungsmodell), um so auf Basis der Informationen handeln und interagieren zu können (Beeinflussung). Für die Durchführung dieser Aktionen benötigen Agenten Wissen, wobei Agenten dieses Wissen speziell verarbeiten. Aus diesem Grund wird im nächsten Abschnitt die Wissensverarbeitung von Agentensystemen untersucht.

### **2.2.3 Wissensverarbeitung in Agentensystemen**

Nach Wagner und Göhner [WAGNER05, S. 6 f.] greifen Agenten zur Erfüllung ihrer Aufgaben in der Ingenieursdomäne auf „Engineering-Know-how“ zurück. Daher ist vor der Laufzeit des Agentensystems eine strukturierte Integration von Wissen in die Wissensbasis notwendig.

Diese unterscheidet sich zu klassischen wissensbasierten Systemen, da Agentensysteme eine verteilte Wissensbasis besitzen. Jeder Agent greift zumindest logisch auf Wissen in seiner eigenen Wissensbasis zu. Zudem existieren zentrale Wissensbasen, die Wissen enthalten, das für jeden Agenten relevant ist (z. B. Werkstoffdaten). [LUGER01, S. 37; STOLLBERG02, S. 53]

Diese Ansicht teilt Krempels [KREMPELS09 S. 48 f.]. Er sieht eine lokale Wissensverarbeitung in Agenten und eine zentrale Wissensverarbeitung innerhalb des Agentensystems zur Problemlösung als unerlässlich an.

Nach der Frage, wo das Wissen in Agentensystemen abgelegt werden kann, spielt die Frage, wie das Wissen abgelegt ist, eine wichtige Rolle. Nach Wagner und Göhner [WAGNER05, S. 6] befähigen das Faktenwissen und generelle Zusammenhänge die Agenten zur Problemlösung. Zusammenhänge lassen sich hierbei auf der einen Seite

klassifikationsdefinitiv (,,ist-Ein“, „ist-Teil-Von“ etc.) und auf der anderen Seite aussagenlogisch (Regeln, z. B. aus „A folgt B“) einordnen [WAGNER08, S. 30].

Hierbei nehmen die Regeln Fach- und Vorgehenswissen gleichermaßen auf. Dieses regelhafte Wissen ist in den Agenten selbst gespeichert. Demgegenüber dient das CAD-Modell mit der Produktbeschreibung als Faktenbasis. Klassifikationsdefinitiv Zusammenhänge können in einer Ontologie-ähnlichen Beschreibung abgelegt werden und steuern u. a. die einheitliche Kommunikation unter den Agenten. [WAGNER05, S. 9]

Arlt [ARLT00], Jago [JAGO09], Krempels [KREMPELS09] und Wagner [WAGNER08] vertiefen die regelhafte Verarbeitung von Wissen in Agentensystemen. Für alle sind Regeln der zentrale Bestandteil von Agentensystemen. Nach Wagner [WAGNER08, S. 91 ff.] ist die explizite Beschreibung von Wissen über technische Abhängigkeiten und Sachverhalte nur mit regelbasierten Konzepten möglich. Regeln sind hierbei als logische Aussagen formuliert, deren Gültigkeit erfüllt sein muss. Wagner [WAGNER08, S. 82 ff.] verwendet anstatt die in der Regelbeschreibung üblichen Begriffe Antezedens und Konsequenz die Begriffe Vorbedingung und Konsistenzbedingung. Somit ergibt sich die folgende Regelform: Vorbedingung  $\rightarrow$  Konsistenzbedingung. Beide Begriffe sind logische Aussagen, die sich z. B. innerhalb der Automatisierungstechnik auf Komponenteneigenschaften und auf ihre Werte beziehen. Wagner [WAGNER08, S. 83] hat folgendes Beispiel formuliert:

$$\text{Geschwindigkeit} > 5, \text{Materialfluss} = \text{permanent} \quad (2.1)$$

Innerhalb der Vorbedingung (Geschwindigkeit > 5) wird im Beispiel eine Komponenteneigenschaft (Geschwindigkeit) mit einem Wert (5) verglichen (>). Zulässig ist die Verwendung der folgenden Vergleichsoperatoren: =,  $\neq$ ,  $\leq$ ,  $\geq$ , <, >. Der Wert muss nicht numerischer Art sein. Für Vorbedingungen, die aus mehr als einer Bedingung bestehen, werden logische Operatoren zu deren Verknüpfung verwendet: NICHT, UND, ODER. Durch die regelhafte Darstellung werden eine hohe Modularität und eine einfache Änderbarkeit gewährleistet. [WAGNER08, S. 82 ff.]

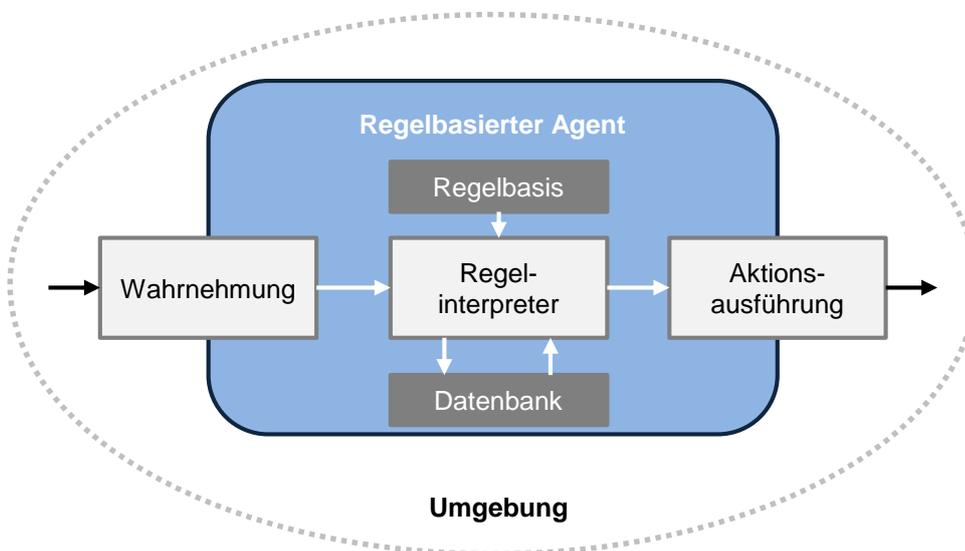
Innerhalb der Vorbedingung ist es zudem möglich, zwei unterschiedliche Komponenteneigenschaften zu vergleichen. Wagner [WAGNER08, S. 84] hat hierfür folgendes Beispiel formuliert:

$$\text{WENN Eigenschaft}_1 = \text{Eigenschaft}_2 \quad (2.2)$$

Arlt [ARLT00, S. 89] und Jago [JAGO09, S. 133 f.] führen für die regelbasierte Wissensverarbeitung den Begriff des regelbasierten Agenten ein. Der regelbasierte Agent

wendet Geschäftsregeln an und grenzt sich durch die vornehmliche Behandlung dieser von weiteren Agenten ab [ARLT00, S. 88]. Geschäftsregeln definieren, wie der Agent in bestimmten Situationen zu agieren oder zu reagieren hat (siehe Bild 2.10 und vgl. Bild 2.9).

Jago [JAGO09, S. 134] führt weiterhin an, dass regelbasierte Agenten, wie bereits von Wagner [WAGNER08] beschrieben wurde, nach dem gewöhnlichen regelbasierten Prinzip arbeiten. Er fügt hinzu, dass diese Agenten jedoch nur mit einer abgeschlossenen Wissensbasis arbeiten können, da ansonsten die Schlussfolgerung zu komplex wird. Demnach kann ein regelbasierter Agent nur mit den ihm zugewiesenen Satz an Regeln Probleme lösen. Eine Art der Lernfähigkeit wird nicht explizit definiert. [JAGO09, S. 134]



**Bild 2.10:** Struktur eines regelbasierten Agenten nach Arlt [ARLT00, S. 90]

Krempels [KREMPELS09] definiert wie bereits Arlt [ARLT00], Jago [JAGO09] und Wagner [WAGNER08] die gesamte Wissensbasis eines Agenten als ein regelbasiertes System. Dieses System besteht aus einem Arbeitsspeicher, einem Regelspeicher, einer Schlussfolgerungs- und einer Ausführungseinheit. Hierbei enthält der Arbeitsspeicher die von Wagner [WAGNER08] aufgeführten Fakten aus dem CAD-Modell, auf diese die Regeln aus dem Regelspeicher angewendet werden. Die Schlussfolgerungseinheit steuert in diesem Prozess die Anwendung der Prämissen auf die im Arbeitsspeicher gelisteten Fakten. Wird eine Prämisse auf ein Faktum angewendet (d. h. die Regel „feuert“), so steuert die Ausführungseinheit die Anwendung (Konklusion) der Regel. Dies hat eine Änderung des Arbeitsspeichers zur Folge. Es können entweder Fakten modifiziert oder gelöscht werden. Schlussfolgerungs- und Ausführungseinheit handeln

in dieser regelhaften Wissensverarbeitung nach unterschiedlichen Inferenzstrategien (Vorwärts- und Rückwärtsverkettung). [KREMPELS09, S. 41 f.]

Neben diesen Ausführungen hat Lang [LANG08, S. 85 ff.] die Wissensverarbeitung von Agentensystemen im Kontext von börsenwirtschaftlichen Verhandlungen untersucht. Hierbei wurden drei Wissenstypen identifiziert. Der erste Wissenstyp ist das Zielwissen, welches, übertragen auf die Konstruktion und Produktentwicklung, ein optimales Modell eines Produkts unter einem bestimmten Gesichtspunkt definiert. Dieser Wissenstyp beinhaltet deklaratives und prozedurales Wissen, d. h. Werte und Regeln. Daneben beschreibt das Umweltwissen das Wissen über den aktuellen Zustand eines Produkts, d. h. die semantische Interpretation des Produktmodells (Information aus CAD-System, ERP-System, PDM-System etc.). Umweltwissen wird analog zu Krempels Ansatz [KREMPELS09] mit deklarativem Wissen repräsentiert. Der letzte Wissenstyp ist das Strategiewissen. Es beinhaltet Wissen über den Abgleich von Ziel- und Umweltwissen und enthält weitere Handlungsanweisungen zum Angleichen des Umweltwissens. Dieses Wissen wird vornehmlich über eine prozedurale Form repräsentiert.

#### **2.2.4 Wissensbasierte Konstruktion**

Im Bereich der Konstruktion soll die Unterstützung durch wissensbasierte Systeme eine Entlastung des Konstrukteurs von Routineaufgaben bewirken, damit sich dieser auf seine kreativen Tätigkeiten konzentrieren kann [BERMELL-GARCIA12, S. 219; STOKES01, S. 11 ff.]. Im Allgemeinen wird hierbei von der wissensbasierten Konstruktion gesprochen, die eine Kreuzung der künstlichen Intelligenz, der CAD-Methodik und der Softwareentwicklung darstellt [LA ROCCA12, S. 159]. Die englische Bezeichnung lautet Knowledge-based Engineering (KBE). KBE bezieht sich auf den Einsatz im Konstruktions- und Produktentwicklungsprozess [THEL07, S. 57 f.].

Für Vajna et al. [VAJNA09] stellt KBE die Nutzung von Wissen in CAx-Systemen dar. KBE ermöglicht das Treffen von fundierten Entscheidungen zu einem frühen Zeitpunkt. KBE ist eine „Ergänzung zur vollständigen digitalen Beschreibung des Lebenszyklus eines Produktes“. [VAJNA09, S. 432]

Rother und Schneider [ROTHER01] sehen dies ähnlich. Sie definieren KBE als die Bereitstellung und Verarbeitung von Wissen mittels geeigneter IT-Systeme, die mit CAD-Systemen kooperieren. [ROTHER01, S. 18 f.]

Katzenbach [KATZENBACH12] und Thomke [THOMKE03] vertiefen diese Thematik und identifizieren KBE als eine Möglichkeit, die zur besseren Erkennung von Problemen im

digitalen Mock-Up-Prozess (DMU-Prozess) eingesetzt werden kann. Im Kontext des Frontloadings kann KBE als Methode zur Speicherung von Informationen aus früheren Projekten dienen. In nachfolgenden Projekten können diese zielgerichtet eingesetzt werden. Unter Frontloading wird die Nutzung von Informationen zu einem früheren Zeitpunkt in einem Prozess gesehen. [KATZENBACH12, S. 60; THOMKE03, S. 171]

Thomke [THOMKE03] geht hier auf die Nützlichkeit der Versuche und des Testens in den frühen Phasen der Produktentwicklung ein, um Fehler so früh wie möglich zu identifizieren. Daraus entwickelt sich ein Lernprozess für nachfolgende Entwicklungsschritte im gleichen Projekt sowie für weitere Projekte. [THOMKE03, S. 6 f.]

Vajna et al. [VAJNA09] beschreiben insgesamt vier Formen von KBE. Neben den erweiterten Features (Geometrie eines Produkts + Produktwissen + Wissen über Funktion), intelligenten Komponentenkatalogen und wissensbasierten Produktkonfigurierern, ist vor allem die wissensbasierte Parametrik von entscheidender Bedeutung. Hierbei wird die Geometrie von Modellen nicht wie in der herkömmlichen Parametrik über Dimensionsparameter bestimmt, sondern verstärkt über Wissen in Form von Konstruktions- und Konfigurationsregeln. Diese Regeln enthalten Wissen über geometrische und nicht-geometrische Zusammenhänge. Vajna et al. [VAJNA09] unterscheiden im Bereich der wissensbasierten Parametrik zwischen dem adoptiven Ansatz und dem generativen Ansatz. Der adoptive Ansatz definiert sich durch die Speicherung von Regeln direkt im Modell. Beim generativen Ansatz werden die Regeln in einem externen System gespeichert. [VAJNA09, S. 433]

Rother und Schneider [ROTHER01] fassen diese Thematik ebenso auf und unterscheiden zwischen wissensbasierten Systemen, die über eine Schnittstelle mit einem CAD-System verbunden werden und wissensbasierten Systemen, die direkt in das CAD-System integriert wurden. Vorteil der direkten Integration in das CAD-System ist die größere Nutzerakzeptanz, da diese sich sofort in ihrer gewohnten Arbeitsumgebung zurechtfinden. [ROTHER01, S. 21]

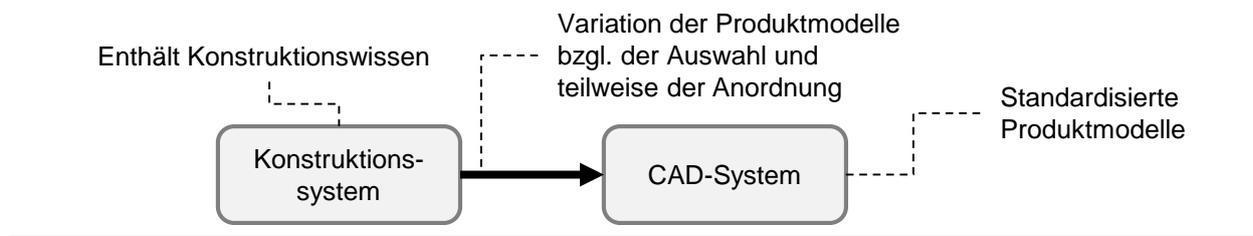
Spur und Krause [SPUR97, S. 724 f.] sprechen gerade der Integration dieser Systeme in die vorhandene Soft- und Hardwareumgebung eine wichtige Rolle zu. Dabei ist zwischen der Kopplung, der Integration und einem einheitlichen Systemkonzept zu unterscheiden, worauf die Klassifikation von Spur und Krause [SPUR97] basiert. Bild 2.11 stellt die Unterscheidung bei der Anbindung eines Konstruktionssystems an ein CAD-System nach Spur und Krause [SPUR97] dar. Lutz [LUTZ11, S. 76 ff.] greift

diesen Gedanken auf und transferiert ihn in den Kontext der Applikationen zur Unterstützung von Produktkonfiguration und Auslegung.

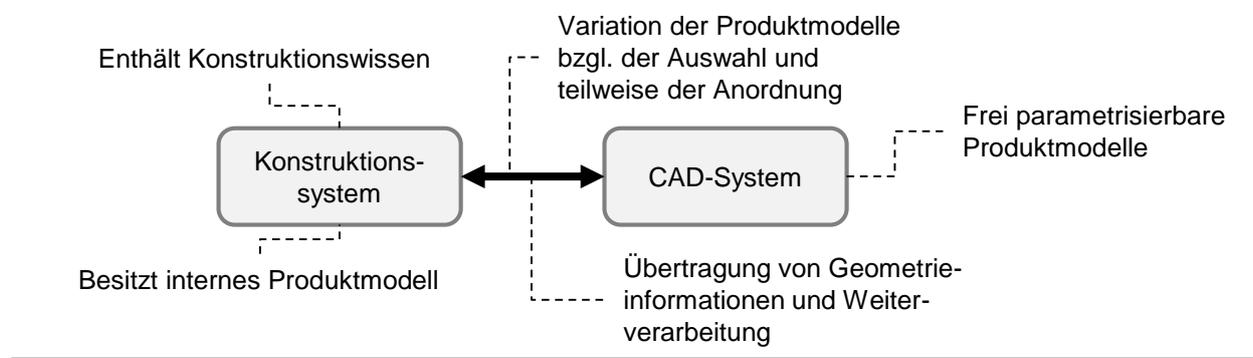
Weiterhin existieren weitgefassere Auffassungen über KBE, die darin eine Methode und/oder eine Vorgehensweise zur Identifikation und Strukturierung von Wissen über eine Konstruktion oder über einen Konstruktionsprozess sehen [CALKINS00, S. 23; SKARKA07, S. 677; STOKES01, S. 11.; THEL07, S. 58].

Nach Krause [KRAUSE07, S. 147] werden Konstruktions- und Produktentwicklungsprozesse zielgerichtet unterstützt, sofern unterschiedliche KBE-Methoden eingesetzt werden. Für Krause [KRAUSE07, S. 147] ist u. a. die Konzeption von „Diagnose- und Analysesysteme, die zum Beispiel Konstruktionen auf Fertigungs- und Montagegerechtheit automatisch überprüfen können“, ein wichtiger Ansatz im KBE.

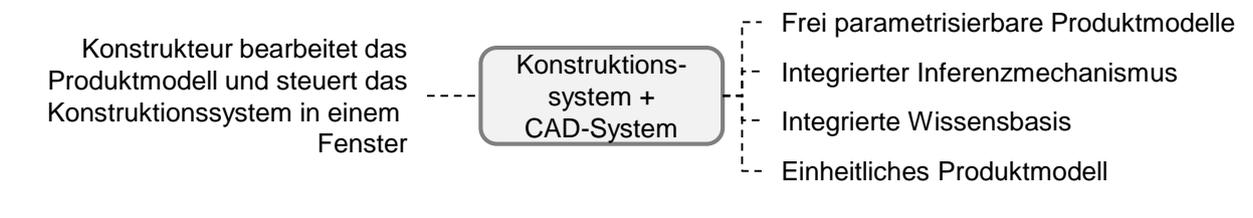
**Kopplung von CAD-System und Konstruktionssystem**



**Integration von CAD-System und Konstruktionssystem**



**Einheitliches Systemkonzept**



➔ = unidirektionale Datenübertragung    ↔ = bidirektionale Datenübertragung

**Bild 2.11:** Anbindungsvarianten von Konstruktionssystemen an CAD-Systeme nach Spur und Krause [SPUR97, S. 724 f.]

Letztlich hat Lutz [LUTZ11, S. 49 ff.] eine Abgrenzung zwischen der wissensbasierten Unterstützung des Konfigurierens sowie des Auslegens und Konstruierens erarbeitet. Seiner Meinung nach muss „eine praxistaugliche Rechnerunterstützung“ das „Konfigurieren und Konstruieren/Auslegen gleichermaßen unterstützen“ [LUTZ11, S. 51]. Unter Berufung auf Link et al. [LINK93] ist für Lutz [LUTZ11, S. 26] das Konfigurieren „eine Zusammenstellung von Produkten und Systemlösungen gemäß Kundenspezifikation unter Verwendung standardisierter Bauteile und gespeicherter Konfigurationsregeln“.

### **2.2.5 Wissensbasierte Konstruktionssysteme**

In diesem Abschnitt wird die Interpretation nach Krause [KRAUSE07, S. 147] weiter ausgeführt, der in KBE u. a. die Unterstützung von Konstrukteuren durch Analysesysteme sieht. Weiter gefasst stellen diese Konstruktionssysteme dar, die wissensbasierte Systeme sind und nach deren Generation unterschieden werden können.

Der Begriff der Generation von wissensbasierten Systemen wurde u. a. durch Katzenbach [KATZENBACH12, S. 296] sowie Funkat und Funkat [FUNKAT03, S. 33 ff.] geprägt. Prinzipiell geht es darum, wissensbasierte Systeme unter Verwendung von Unterscheidungskriterien einer Klasse (d. h. einer Generation) zuzuordnen. Im Folgenden werden für Konstruktionssysteme als wissensbasierte Systeme die Generationen hergeleitet und definiert, die in der vorliegenden Arbeit zur Anwendung kommen.

Die Definition der Generationen nach Funkat und Funkat [FUNKAT03] basiert maßgeblich auf der Art der Wissensakquise als Unterscheidungskriterium. Für die vorliegende Arbeit wird diese bestehende Definition um die Art der Wissensbasis und um die Entwicklung eines Rollenverständnisses erweitert. Tabelle 2.5 zeigt die daraus resultierende Beschreibung von Konstruktionssystemen nach deren Generation.

Es lässt sich aus dieser tabellarischen Gegenüberstellung ableiten, dass u. a. aufgrund der direkten Codierung von Wissen in die monolithische Wissensbasis z. B. regel- und fallbasierte Systeme als Konstruktionssysteme der ersten Generation gelten. Sie werden im Folgenden *klassische Konstruktionssysteme* genannt.

Konstruktionssysteme der zweiten Generation lassen sich u. a. darin beschreiben, dass mehrere Formen zur Darstellung von Wissen in verteilten und rollenspezifischen Wissensbasen verwendet werden. Wie bereits Abschnitt 2.2.3 zeigt, ist dies charakteristisch für Agentensysteme und für weitere kooperierende/interaktive Systeme aus der Softwaretechnik. Aus diesem Grund gehören Agentensysteme zur zweiten Generation. Sie werden im Folgenden *agentenbasierte Konstruktionssysteme* genannt.

	1. Generation	2. Generation
<b>Wissensakquise</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von Transfer- und Rapid-Prototyping-Ansatz</li> <li>• Direkte Kodierung von Wissen in die Wissensbasis</li> <li>• Wissensakquise = Wissenserhebung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung des modellbasierten Ansatzes</li> <li>• Unterscheidung zwischen Wissens- und Symbolebene</li> <li>• Wissensakquise = Wissenserhebung + Wissensanalyse + Wissensrepräsentation</li> </ul>
<b>Wissensbasis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wissensbasis besteht nur aus einer Wissensrepräsentationsform (z. B. Regeln oder Fälle)</li> <li>• Monolithische, nicht verteilte Wissensbasis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wissensbasis besteht aus mehreren Wissensrepräsentationsformen (z. B. Regeln, Formeln)</li> <li>• Wissensbasen sind rollenspezifisch aufgebaut</li> </ul>
<b>Rollenverständnis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein ausgeprägtes Rollenverständnis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herausarbeitung eines Rollenmodells zur Entwicklung von Systemen</li> <li>• Verwendung der Rollen Wissensingenieur und Softwareingenieur</li> <li>• Dezierte Übergabe der Ergebnisse von Wissens- zu Softwareingenieur</li> </ul>
<b>Beispielhafte Systemarten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelbasierte Systeme</li> <li>• Fallbasierte Systeme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agentensysteme</li> <li>• Kooperierende Systeme</li> <li>• Interaktive Systeme</li> </ul>

**Tabelle 2.5:** Definition der Generationen von Konstruktionssystemen

### Klassische Konstruktionssysteme

Innerhalb der vorliegenden Arbeit wurden 13 relevante Konstruktionssysteme aus der akademischen und industriellen Forschung untersucht. Sie stellen eine Auswahl der seit 1988 im deutschsprachigen Raum entwickelten Systeme dar. Aufgrund der großen Anzahl an Systemen ist eine vollständige Analyse nicht möglich. Nicht untersucht wurden Systeme oder Programme, die formale Aspekte innerhalb von Produktmodellen untersuchen. Diese Systeme stellen die korrekte Tangentenstetigkeit bei der Freiformflächenmodellierung sicher. Angeboten werden diese Systeme meist von kommerziellen Herstellern, wie z. B. der „Q-Checker“ der Firma Transcat PLM [TRANSCAT13].

Insgesamt verfolgen Konstruktionssysteme das Ziel, Konstrukteure in den Phasen des Konstruktionsprozesses zu unterstützen. Dabei besitzen sie einen Assistenz- oder Unterstützungscharakter, damit weiterhin der Konstrukteur die federführende Rolle im Konstruktionsprozess einnimmt [KRAUSE07, S. 147]. Er muss die letzte Entscheidungsinstanz repräsentieren [WARTZACK01, S. 152 f.].

Es wurden die folgenden Systeme untersucht: IDA nach Eversheim und Neitzel [EVERSHEIM88], AS.EXPERT nach Ehrlenspiel und Tropschuh [EHRLENSPIEL89], K&E-

System für Drehmaschinen nach Lehmann [LEHMANN89], KALEIT nach Feldhusen [FELDHUSEN89] und Groeger [GROEGER90], SESAM nach Schwenke [SCHWENKE91], WIKON nach Groeger [GROEGER92], WEST nach Spohr et al. [SPOHR92], CATWISEL nach Haasis [HAASIS95A; HAASIS95B], WKS nach Katzenbach et al. [KATZENBACH95], SPILEX nach Behr [BEHR96], KSmfk nach u. a. Bachschuster [BACHSCHUSTER97], Krause [KRAUSE92], Räse [RÄSE91], Rösch [RÖSCH96], Schön [SCHÖN00], Storath [STORATH96] und Weber [WEBER97], Predictive Engineering nach Wartzack [WARTZACK01], WISENT und ModCoDe nach Lippold [LIPPOLD00], Welp et al. [WELP00] und Welp und Bludau [BLUDAU02].

Neben diesen Systemen existieren weitere Systeme, die ähnliche oder gleiche Zielsetzung besitzen. Deren Beschreibung geht jedoch über die Möglichkeiten innerhalb der vorliegenden Arbeit hinaus. Aus Gründen der Vollständigkeit sind sie dennoch aufzuführen: CADWISS u. a. nach Held et al. [HELD90], DICAD u. a. nach Kandziora [KANDZIORA88], GEKO u. a. nach Bauert [BAUERT88], ICAD u. a. nach Breitling [BREITLING88] und ReKK nach Schiebeler und Ehrlenspiel [SCHIEBELER93].

### **Agentenbasierte Konstruktionssysteme**

Neben den klassischen Konstruktionssystemen werden agentenbasierte Konstruktionssysteme betrachtet, die als Vertreter von wissensbasierten Systemen der zweiten Generation gelten. Agentenbasierte Konstruktionssysteme sind nach Lander [LANDER97, S. 18] mithilfe ihrer unterschiedlichen Fähigkeiten und dem dafür notwendigen Wissen für den Einsatz im Bereich des KBE geeignet. Laut Gero und Brazier [GERO04, S. 113] wurden bereits seit den frühen neunziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts vor allem im Rahmen von Dissertationsprojekten agentenbasierte Konstruktionssysteme entwickelt. Nach Lander [LANDER97, S. 19 ff.] überzeugen agentenbasierte Konstruktionssysteme (engl. multiagent design systems, MADS) durch folgende Vorteile gegenüber klassischen wissensbasierten Konstruktionssystemen:

- **Wartung und Wiederverwendung:** Neben der Kapselung von Wissen und Fähigkeiten gegenüber deren Umwelt, überzeugen Agenten durch ihre definierten Schnittstellen. Mithilfe dieser ist es möglich, modulare Anwendungsumgebungen zu entwickeln, in denen Agenten je nach Zielvorstellung ausgetauscht oder verändert werden können.
- **Repräsentation des Informationsflusses:** Aufgrund der Fähigkeiten von Agenten, Informationen über eine standardisierte Kommunikation auszutauschen, bilden sie innerhalb einer Anwendungsumgebung den Informationsfluss ab. Mit-

hilfe von Verzeichnisdiensten („yellow pages“) kennt ein Agent das Dienstleistungsangebot anderer Agenten. Die Kommunikationsmuster sind so vor der Laufzeit des Systems impliziert definiert worden. Auf Basis der Anwendungsumgebung und Leitlinien beim Kommunizieren sind Agenten selbstständig zum Informationsaustausch in der Lage.

- **Implizite Steuerung des Konstruktionsprozesses:** Zwar ist in den meisten Unternehmen ein generisches Vorgehensmodell zur Produktentwicklung und Konstruktion vorgegeben, jedoch kann nicht jeder Schritt aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsweisen von Produktentwicklern und Konstrukteuren bis auf den höchsten Detaillierungslevel operationalisiert dargestellt werden. Der Vorteil eines agentenbasierten Konstruktionssystems liegt darin, dass Agenten keine detaillierte Prozessbeschreibung benötigen. Vielmehr sind ihnen ein Startpunkt und ein Zielvektor vorzugeben. Der durch die Agenten umgesetzte Prozess resultiert daraus.
- **Konfliktmanagement:** Agentenbasierte Konstruktionssysteme überzeugen durch ihr dynamisches Konfliktmanagement. Dieses kommt zum Tragen, sobald sich die Anwendungsumgebung durch das Hinzufügen oder Entfernen von Agenten verändert.

Die Vorteile sind nach Lander [LANDER97] durch Agentensysteme zu erreichen, die in unterschiedliche Systemformen eingeordnet werden können. Um eine Abgrenzung zu erreichen, stellt Lander [LANDER97] ein Klassifikationssystem bestehend aus den Systemformen „personal assistants“, „collaborative agent systems“ und „mobile agents“ auf [LANDER97, S. 18 f.]:

- **Personal assistants:** Personal assistants unterstützen den Konstrukteur direkt bspw. durch eine Konsistenzprüfung mit Agenten. Mit Konsistenz ist die Widerspruchsfreiheit zwischen mindestens zwei unterschiedlichen Domänen bzgl. der Einhaltung von Vorschriften, Richtlinien, Normen etc. gemeint. Diese werden grundsätzlich zur Verbesserung von Konstruktionen unter Anwendung von Informationen und Wissen verwendet. [LANDER97, S. 19]

Die folgenden Autoren haben personal assistants entwickelt: Cutkosky et al. [CUTKOSKY93], Frost und Cutkosky [FROST96], Mori und Cutkosky [MORI98], Bermell-Garcia et al. [BERMELL-GARCIA02], Campell et al. [CAMPELL99, CAMPELL03], Saunders und Gero [SAUNDERS04], Toledo Muñoz [TOLEDO MUÑOZ06], Wagner [WAGNER08] und Mahdjoub et al. [MAHDJOUR08].

- **Collaborative agent systems:** Bei dieser Systemform wird den Folgen der immer weiter schreitenden Globalisierung Rechnung getragen, wobei an unterschiedlichen Orten Produkte gemeinsam entwickelt werden. Mithilfe der collaborative agent systems wird die Koordination zwischen unterschiedlichen Systemen innerhalb des digitalen Konstruktionsprozesses und die Zusammenarbeit zwischen global verteilten Konstruktionsteams verbessert. [LANDER97, S. 18 f.]

Die folgenden Autoren haben collaborative agent systems entwickelt: Coates [COATES06], Diederich [DIEDERICH06] und Dalakakis et al. [DALAKAKIS05], Klement [KLEMENT05], Liao et al. [LIAO06], Liew und Gero [LIEW04], Liu et al. [LIU08], Olson und Cagan [OLSON04], Rosenman und Wang [ROSENMAN01], Shakeri und Brown [SHAKERI04], Wang et al. [WANG09] und Fang et al. [FANG08].

- **Mobile agents:** Nach Lander [LANDER97, S. 19] ist die Hauptaufgabe dieser Systemform nicht das Verarbeiten von Informationen, sondern die eigene Transportation zu einer anderen Recheneinheit. Dieses Verschieben eines Agenten ist notwendig, sofern es effizienter ist, den Agenten an den Ort der Berechnung zu transportieren als die notwendigen Informationen zur Berechnung zum Agenten zu leiten. Darüber hinaus sind mobile agents notwendig, wenn die Rechenkapazität am aktuellen Ort des Agenten für eine Berechnung nicht mehr ausreichend ist. [LANDER97, S. 19]

Aufgrund der fehlenden Relevanz für die vorliegende Arbeit wurden keine Beispielsysteme identifiziert.

### 2.2.6 Einsatz von wissensbasierten Konstruktionssystemen in der Praxis

Wissensbasierte Konstruktionssysteme, wie sie in Abschnitt 2.2.5 vorgestellt wurden, erfüllen die ihnen zugeordneten Funktionen meist im akademischen Umfeld [KRAUSE07, S. 147]. Krause [KRAUSE07, S. 147] stellte fest, dass die in den frühen neunziger Jahren entwickelten Konstruktionssysteme in der Praxis wenig Erfolg hatten. Dies bestätigen Günther und Saße [GÜNTHER91, S. 207 ff.] sowie Haasis [HAASIS95A, S. 81]. Krause [KRAUSE07, S. 147] zufolge lag es u. a. an den Anwendungssystemen (z. B. CAD-Systeme), die damals noch nicht weit genug entwickelt waren.

Katzenbach et al. [KATZENBACH95, S. 30 ff.] konnten bspw. nachweisen, dass das System WKS zwischen 1992 und 1994 bei der Konstruktion von Ziehwerkzeugen in der praktischen Anwendung war. Hierbei konnten 80 % der Werkzeugkonstruktionen unter-

stützt werden, wobei bei Neukonstruktionen die Produktivität um den Faktor 1,5 bis 2 gesteigert wurde. Von den in Abschnitt 2.2.5 betrachteten Systemen konnte ansonsten keine industrielle Verwertung anhand der analysierten Literatur festgestellt werden.

Grundstein et al. [GRUNDSTEIN03, S. 11 ff.] und Schreiber [SCHREIBER02, S. 26] merken in diesem Zusammenhang an, dass neben dem IT-System an sich, die Organisation in den Fokus der Betrachtungen gestellt werden muss, damit diese Systeme in der Praxis zur Anwendung kommen. Dementsprechend existiert zwischen der tatsächlich entwickelten Funktionalität und der von der Praxis gewünschten Funktionalität eine Lücke, die geschlossen werden muss [NISSEN00, S. 25]. Aus diesem Grund fordern Schreiber et al. [SCHREIBER02, S. 25], Stokes [STOKES01, S. 57] und Verhagen et al. [VERHAGEN12, S. 11] eine Analyse der Organisation und des Systems. Diese Analyse sollte in den frühen Phasen der Entwicklung von IT-Systemen durchgeführt werden. Letztlich fordern Verhagen et al. [VERHAGEN12, S. 11] Kriterien, mit denen eine Aussage getroffen werden kann, ob ein IT-System zur Unterstützung von Konstrukteuren bei der Konstruktion von bestimmten technischen Produkten, in bestimmten Konstruktionsprozessen und bei der Bearbeitung von bestimmten Konstruktionsaufgaben in der Lage ist. Bezüglich der organisationalen Betrachtung beim praktischen Einsatz von IT-Systemen haben sich Markus und Robey [MARKUS88, S. 585 ff.] grundlegende Gedanken gemacht. Sie haben drei wechselseitige Abhängigkeiten zwischen der Organisation und der IT identifiziert: „technological imperative“, „organizational imperative“ und „emergent perspective“. Der technological imperative drückt sich in einer „exogenen Kraft“ aus, die stark das Verhalten der Organisation und darin enthaltenen Personen beeinflusst [MARKUS88, S. 585 ff.]. Demnach bestimmt die Informationstechnologie die Organisation in ihrem Aufbau und Ablauf. Der organizational imperative betrachtet die IT dementsgegen als abhängige Variable, die für die Erfüllung der organisationalen Bedürfnisse gestaltet werden muss [MARKUS88, S. 587 f.]. Letztlich beschreibt die emergent perspective den Zustand, bei dem der Nutzen der Informationstechnologie und die daraus resultierenden Konsequenzen von nicht vorhersagbaren sozialen Interaktionen innerhalb der Organisation hervorgehen [MARKUS88, S. 588 f.]. Demnach ergibt sich keine bestimmende Kraft zwischen Organisation und IT.

Neben der organisationalen Betrachtung stellt Bachschuster [BACHSCHUSTER97, S. 4] die Terminologie und das produkt- und betriebsspezifische Wissen in den Mittelpunkt der Betrachtung. Seinen Ausführungen zufolge muss ein Basissystem entwickelt werden, das der Anwender durch die Anpassung an seine eigene Begriffswelt und durch

die Integration von anwendungsspezifischem Wissen individualisiert [BACHSCHUSTER97, S. 4 f.]. Der Fokus der Arbeit lag auf der Erweiterung des relationalen Produktmodells nach Weber [WEBER92] und nicht auf organisationalen Aspekten.

## **2.3 Vorgehensweisen für wissensbasierte Systeme**

In der vorliegenden Arbeit ist es das Ziel, eine Vorgehensweise zur anwendungsspezifischen Entwicklung des ProKon-Systems zu erarbeiten. Das ProKon-System als agentenbasiertes System ist wissensbasiert und dient zur Unterstützung von Konstrukteuren (vgl. Abschnitt 2.2.5).

An eine derartige Vorgehensweise stellen sich besondere Herausforderungen, da die Bereiche Wissen, Konstruktion und Agenten gleichermaßen zu berücksichtigen sind. Für jeden einzelnen der drei Bereiche existieren bereits Vorgehensweisen, die in diesem Abschnitt vorgestellt werden:

- Vorgehensweisen zur Entwicklung von allgemeinen wissensbasierten Systemen (siehe Abschnitt 2.3.2)
- Vorgehensweisen zur Entwicklung von wissensbasierten Systemen zur Unterstützung von Konstrukteuren (siehe Abschnitt 2.3.3)
- Vorgehensweisen zur Entwicklung von Agentensystemen (siehe Abschnitt 2.3.4)

Zunächst wird das Knowledge Engineering beschrieben, das für alle im Weiteren vorgestellten Vorgehensweisen grundlegend ist.

### **2.3.1 Grundlagen des Knowledge Engineerings**

Der Begriff des Knowledge Engineerings kennzeichnet die Entwicklung von wissensbasierten Systemen [STUDER98, S. 162]. Es hat nach Studer et al. [STUDER98, S. 162] die Aufgabe, die Entwicklung von wissensbasierten Systemen „von einer Kunst in eine Wissenschaft“ zu überführen. Spreckelsen und Spitzer [SPRECKELSEN08, S. 199] definieren das Knowledge Engineering als ein systematisches Vorgehen bei der Implementierung, Pflege und Wartung von Wissensbasen. Thel [THEL07, S. 59] erweitert diese Definition. Er bezeichnet das Knowledge Engineering als die Tätigkeit des Konstruierens von wissensbasierten Systemen und die Abbildung von Wissen in diesen Systemen. Weitmas minimalistischer wird das Knowledge Engineering von Görz [GÖRZ03, S. 599] definiert. Er zählt dazu die Erfassung, Verwaltung, Verwendung und Transformation von Wissen.

Das Knowledge Engineering kann auf oberster Ebene nach Spreckelsen und Spitzer [SPRECKELSEN08, S. 199] in die Wissensakquisition und die Wissensoperationalisierung aufgeteilt werden. Die Einteilung der Wissensakquisition wird wiederum in der Literatur höchst unterschiedlich gehandhabt. [SPRECKELSEN08, S. 199]

In der vorliegenden Arbeit wird unter der Wissensakquisition, die Wissenserhebung, die Wissensanalyse und die Wissensrepräsentation verstanden. Die drei Phasen stellen den Flaschenhals (engl. Bottleneck) bei der Entwicklung von wissensbasierten Systemen dar [GEBUS09, S. 94; SCHREIBER93, S. 2; SPRECKELSEN08, S. 201]. Das erfolgreiche Durchlaufen dieser hat einen entscheidenden Einfluss auf die spätere Qualität des Systems [SPRECKELSEN08, S. 201]. Besonders die Externalisierung, also die Umwandlung von impliziten in explizites Wissen im Bereich der Wissenserhebung, ist von entscheidender Bedeutung [SCHREIBER93, S. 2]. Die einzelnen Phasen der Wissensakquise werden in der folgenden Aufzählung kurz erläutert:

- **Wissenserhebung:** Das Ziel des ersten Schritts ist es, Wissensquellen zu identifizieren, um Wissen nutzbar zu machen [SPRECKELSEN08, S. 209]. Wissen kann hierbei in drei unterschiedlichen Wissensarten vorliegen (vgl. Abschnitt 2.1.2). Wissen aus Büchern, Normen, Datenbanken und aus Wissensbasen kann als explizites Wissen definiert werden. Hingegen wurde implizites Wissen noch nicht niedergeschrieben und befindet sich in den Köpfen der Experten [SPRECKELSEN08, S. 209]. Das stille Wissen ist aus der Betrachtung ausgenommen, da dieses nicht expliziert werden kann und somit in der Praxis keine Relevanz besitzt [EMBEREY07, S. 2].
- **Wissensanalyse:** Die Wissensanalyse dient dazu, das bisher identifizierte und erhobene Wissen in einer dem Wissen angepassten Art und Weise zu analysieren [MILTON07, S. 12]. Dementsprechend sind die richtigen Methoden zu wählen. Vielfach wird von einer Interpretation gesprochen, wie Weichert [WEICHERT03, S. 22 f.] feststellt. Weiterhin müssen Konzepte zur Anwendung von Inferenzmechanismen erarbeitet werden. Diese Inferenzmechanismen erlauben es im Betrieb des wissensbasierten Systems, das analysierte Wissen zu interpretieren. [SCHREIBER08, S. 930]
- **Wissensrepräsentation:** Die Phase der Wissensrepräsentation beschäftigt sich nicht mit der rechnerischen, d. h. mit der formalen, Abbildung von Wissen innerhalb der Wissensbasis. Es handelt sich um die informale oder semi-formale

Abbildung des Wissens, damit es anschließend rechnerisch in die Wissensbasis integriert werden kann (vgl. Bild 2.12). [LUNZE10, S. 452]

Im Allgemeinen wird zwischen der direkten, der indirekten und der automatischen Wissensakquise unterschieden [PUPPE92, S. 546]. Bei der direkten Wissensakquise wird dem Fachexperten die Möglichkeit gegeben, Wissen selbst über ein Werkzeug in die Wissensbasis zu integrieren [LUTZ11, S. 42; SPRECKELSEN08, S. 200]. Maguitman [MAGUITMAN04, S. 16] bezeichnet dies als die Überbrückung des Kommunikationsproblems zwischen Fachexperte und Wissensingenieur. Nach Kurbel [KURBEL92, S. 70] eignet sich die direkte Wissensakquise nicht für den erstmaligen Aufbau einer Wissensbasis. Dementgegen wird mit der automatischen Wissensakquise versucht, rechnerinterne Daten (Simulationsdaten, Daten aus Experimenten etc.) und Informationen (Texte etc.) in eine strukturierte, ebenfalls rechnerinterne Darstellung zu überführen [LUTZ11, S. 42; SPRECKELSEN08, S. 200]. Das Data Mining ist ein wichtiger Vertreter dieses Ansatzes, wie bspw. Röhner et al. [RÖHNER10, S. 365 f.] darlegen. In der indirekten Wissensakquise spielt der Wissensingenieur die Hauptrolle. Er befragt Fachexperten und exzerpiert Texte, um die Erkenntnisse händisch zu analysieren und zu repräsentieren [LUTZ11, S. 42; SPRECKELSEN08, S. 200]. Die indirekte Wissensakquise ist nach Spreckelsen und Spitzer [SPRECKELSEN08, S. 200] am zeitaufwendigsten, stellt jedoch die einzige Möglichkeit dar, um Wissen aus Fachgebieten zu verarbeiten.

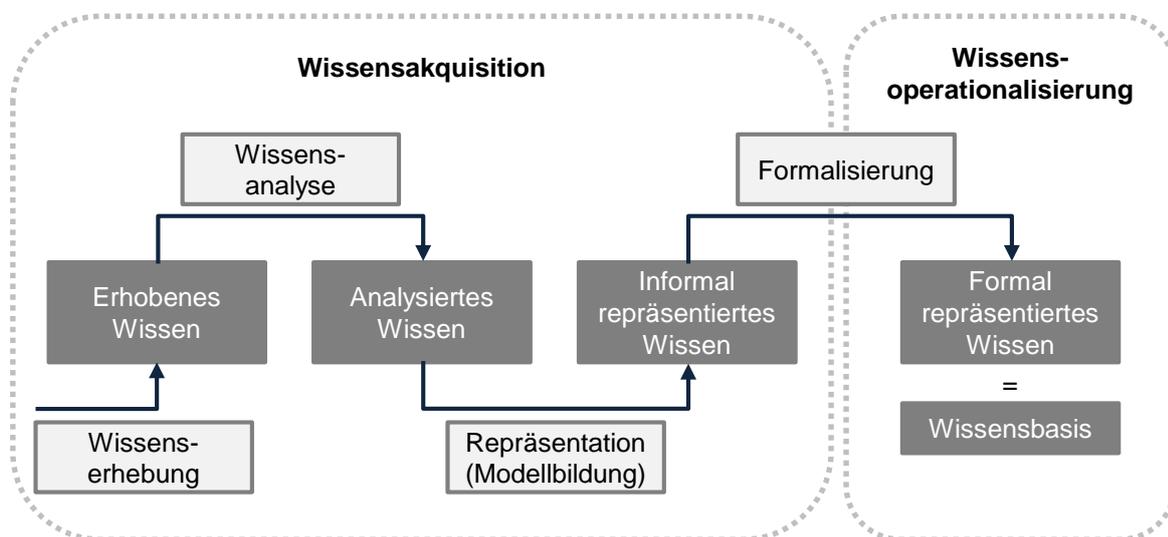
Ein derartig komplexes Fachgebiet ist der Konstruktionsbereich [EPPLER99, S. 377]. Wenn darin Konstrukteure unterstützt werden sollen, muss für die anwendungsspezifische Entwicklung des ProKon-Systems erstmalig eine Wissensbasis aufgebaut werden. Aus diesem Grund wird im Folgenden die indirekte Wissensakquise fokussiert.

Darin existieren mehrere Ansätze zur Entwicklung von wissensbasierten Systemen. Diese sind der Transferansatz, der Rapid-Prototyping-Ansatz und der modellbasierte Ansatz [ANGELE98A, S. 3; ANGELE98B, S. 1 f.; BIMAZUBUTE05, S. 42; STUDER98, S. 162 f.]. Nach Angele et al. [ANGELE98A, S. 3] deckt sich der Transferansatz mit dem Rapid-Prototyping-Ansatz weitgehend, sodass nur der Transferansatz erläutert wird.

Der Transferansatz wurde Anfang der Achtzigerjahre des zwanzigsten Jahrhunderts als Möglichkeit beschrieben, das Wissen direkt aus dem „Kopf des Experten“ in ein System zu transferieren. Ein Nachteil des Transferansatzes ist, dass nur wissensbasierte Systeme bis zu einer gewissen Komplexität und Größe der Wissensbasis entwickelt werden können. Aus diesem Grund wurde der modellbasierte Ansatz fokussiert, der wesentlich flexibler und für den Wissensingenieur besser zu verstehen ist. [STUDER98, S. 162 f.]

Der modellbasierte Ansatz des Knowledge Engineerings ist ein Modellbildungsprozess. Darin wird informales Wissen in formalisiertes Wissen überführt. Diese Vorstellung entspricht der Unterscheidung zwischen Wissens- und Symbolebene, die Newell [NEWELL82] geprägt hat. Newell [NEWELL82] führt an, dass Wissen auf einer eigenen Abstraktionsebene zunächst modelliert werden muss, um es abschließend auf die Symbolebene zu überführen. Dies gleicht einer softwaretechnischen Integration [NEWELL82, S. 7 f.]. Das Ergebnis der Modellierung wird als Modell bezeichnet und beschreibt einen Ausschnitt der Wirklichkeit. Die Modellierung arbeitet mit der Closed-World-Assumption. Diese definiert eine Abgeschlossenheit des Modells gegenüber der Umgebung. [LUNZE10, S. 446 f.]

Die Modellbildung deckt vorrangig die Phase der Wissensrepräsentation ab (siehe Bild 2.12). Hier wird ausgehend von bereits analysiertem Wissen ein anfängliches informales Modell entwickelt. Allgemein sind dabei die Merkmale zur Modellbildung nach Stachowiak [STACHOWIAK73, S. 131 ff.] zu berücksichtigen: Abbildung, Verkürzung, Pragmatismus. Demnach stellt ein Modell eine Abbildung der Realität dar, das die relevanten Aspekte aus Sicht des Modellerstellers beinhaltet. Mit dem Modell muss durch den Modellierer ein bestimmter Zweck verfolgt werden.



**Bild 2.12:** Modellbildung im Knowledge Engineering nach Lunze [LUNZE10, S. 452]

Wie Bild 2.12 zeigt, wird auf Basis des informalen Modells ein Formalismus angewendet, um das (informale) Wissensrepräsentationsmodell in eine formale Wissensbasis zu überführen. Dies entspricht dem Übergang der Wissens-ebene auf die Symbolebene nach Newell [NEWELL82]. Diese Sprache ist mit dem Rechner verarbeitbar und wird in wissensbasierten Systemen direkt verarbeitet.

Im Folgenden werden die Vorgehensweisen aus den eingangs genannten Bereichen beschrieben. Die Arbeit von Trick [TRICK10], die unter Anleitung des Verfassers der vorliegenden Arbeit entstanden ist, bildet die Grundlage der Beschreibung. Trick [TRICK10] hat sich mit einer Vorgehensweise zur Integration von Konstruktionswissen in agentenbasierte Konstruktionssysteme beschäftigt.

### **2.3.2 Vorgehensweisen für allgemeine wissensbasierte Systeme**

Innerhalb der methodischen Entwicklung von wissensbasierten Systemen stellt „CommonKADS“ die grundlegendste Vorgehensweise dar. Sie wurde von Schreiber et al. [SCHREIBER02] entwickelt. Es werden die Gebiete Wissensmanagement, Wissensanalyse und Knowledge Engineering gemeinsam betrachtet [ABECKER02, S. 9; GÖRZ03, S. 626; SPRECKELSEN08, S. 221]. CommonKADS ist weder auf ein einzelnes Fachgebiet, noch auf eine bestimmte Art von wissensbasierten Systemen spezialisiert. Folgende Anwendungsgebiete stehen u. a. im Fokus von CommonKADS:

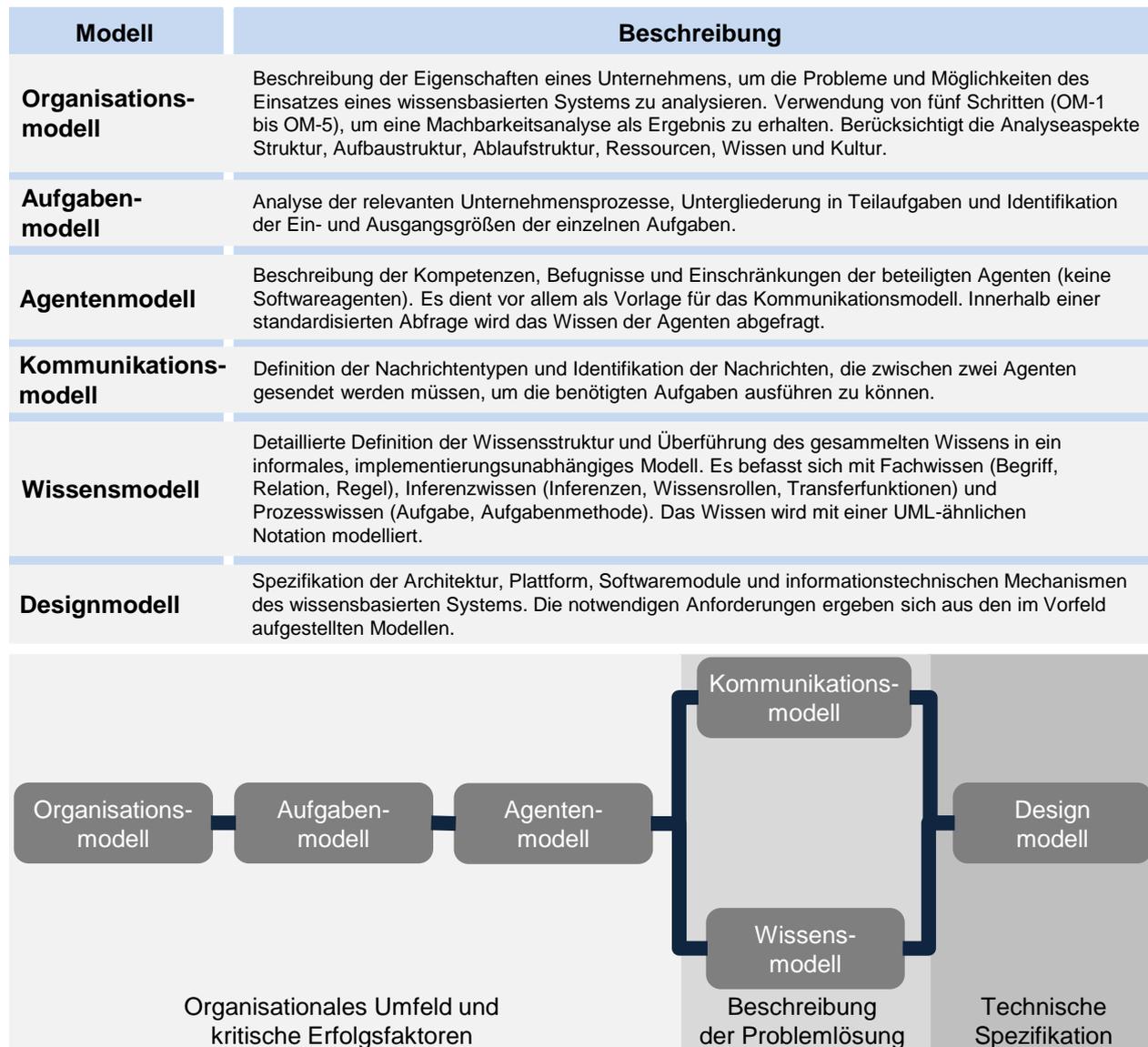
- Diagnose von Brustkrebs, vgl. Sutton und Patkar [SUTTON09]
- Überprüfung von Hochspannungsschaltungen, vgl. Zhou et al. [ZHOU07]
- Systemische Risikoanalyse in Finanzinstituten, vgl. Ye et al. [YE11]

CommonKADS basiert auf dem modellbasierten Ansatz des Knowledge Engineerings (siehe Bild 2.13 und vgl. Bild 2.12). Es werden zunächst relevante Domänen modelliert und abschließend operationalisiert. Schreiber et al. [SCHREIBER02, S. 15 ff.] merken an, dass zunächst die informale Modellierung im Fokus steht, bevor programmiertechnische Aspekte berücksichtigt werden sollen. Der modellbasierte Ansatz gewährleistet in diesem Fall die Komplexitätsbewältigung, die mit der Entwicklung von wissensbasierten Systemen i. A. einhergeht, und die Wiederverwendung einzelner Modelle für unterschiedliche Aufgabenstellungen [SPRECKELSEN08, S. 221].

Das Hauptziel ist die Modellierung von Wissen, das von Agenten zur Durchführung von Prozessen benötigt wird. Die Agenten befinden sich hierbei in einem gegebenen Umfeld (d. h. innerhalb einer Organisation) und müssen bestimmte Aufgaben erfüllen. In diesem Kontext kann ein Agent ein Mensch und/oder ein Computerprogramm darstellen [SCHREIBER02, S. 22]. Softwareagenten sind explizit nicht gemeint.

Damit die Agenten ihre Funktionalität erbringen können, ist Wissen zu akquirieren. Entsprechend des modellbasierten Ansatzes sind für die domänenspezifische Modellierung von Schreiber et al. [SCHREIBER02] unterschiedliche Modelle definiert worden, die zu erarbeiten sind. Es sind weder bei jeder Aufgabenstellung alle Modelle zu berück-

sichtigen noch ist eine bestimmte Reihenfolge bei der Bearbeitung einzuhalten [SCHREIBER02, S. 19]. Das Vorgehen von CommonKADS ist in Bild 2.13 dargestellt, wobei die einzelnen Modelle kurz beschrieben werden. Das Vorgehen richtet sich dabei nach den drei Ebenen, in die die einzelnen Modelle unterteilt sind (siehe unteren Abschnitt in Bild 2.13).



**Bild 2.13:** Vorgehensweise und Modelle in CommonKADS nach Schreiber et al. [SCHREIBER02, S. 18 ff.]

Abecker et al. [ABECKER02, S. 9] merken an, dass CommonKADS für die Geschäftsprozessanalyse eingesetzt werden kann. Es stellt einen „Rahmen zur Entwicklung von WM-Systemen“ (Wissensmanagement-Systemen) bereit. Jedoch werden keine Instrumente zur Analyse der Unternehmenskultur bereitgestellt [ABECKER02, S. 9].

Weitere Vorgehensweisen im Bereich des Knowledge Engineerings werden in Tabelle 2.6 aufgeführt und kurz erläutert. Aufgrund der Vielzahl an Ansätzen, die in der Literatur beschrieben werden, sind nur Vorgehensweisen berücksichtigt worden, die CommonKADS nicht als Grundlage verwenden. Die Ansätze werden nach dem Paradigma (modellbasiert, transferbasiert, Rapid-prototyping) und nach der Art der Wissensakquise (indirekt, direkt, automatisch) charakterisiert.

Autor(en)	Beschreibung	Paradigma	Art
<b>Angele et al.</b> [ANGELE98B]	Angele et al. [ANGELE98B] greifen mit MIKE (Model-based and Incremental Knowledge Engineering) den Ansatz von Newell [NEWELL82] auf und versuchen den Flaschenhals der Wissensakquise mit möglichst vielen kleinen, aufeinander abgestimmten Schritten zu umgehen. Zentral ist das Wissensmodell (CommonKADS), das Model of Expertise genannt wird. Es besteht aus den Schritten Erhebung, Interpretation und Formalisierung. Mit KARL wurde ein formales Modell erarbeitet, das das Ergebnis des Formalisierungsschritts darstellt. Das organisationale Umfeld wurde nicht berücksichtigt.	modellbasiert	Indirekte Wissensakquise
<b>Milton</b> [MILTON07]	Der Ansatz von Milton [MILTON07] stellt eine kleinteilige Vorgehensweise mit insgesamt 47 Schritten dar. Sie ist in die Wissenserfassung, in die Wissensanalyse und in die Wissensmodellierung unterteilt worden. Neben der reinen Wissensakquise werden organisationale Aspekte aufgeführt, wie z. B. die Freigabe der Entwicklung eines wissensbasierten Systems bei den Entscheidern. Milton [MILTON07, S. 8] hat den Anspruch mit seinem Ansatz Vorgehensweisen wie MOKA nach Stokes [STOKES01] und CommonKADS nach Schreiber et al. [SCHREIBER02] in einzelnen Aspekten gezielt zu operationalisieren.	transferbasiert	Indirekte Wissensakquise
<b>Kendal et al.</b> [KENDAL03], <b>Kendal und Creen</b> KENDAL07]	Der Ansatz HyM (Hybrid Methodology) fokussiert die Entwicklung von wissensbasierten Systemen aus Softwareentwicklungssicht. Dabei wird inkrementell vorgegangen und nach der Machbarkeitsanalyse das System und dann die Benutzungsschnittstelle mit einem iterativen Prozess entwickelt. Bei der Systementwicklung wird vorrangig das Wissen berücksichtigt. Nach der formalen Implementierung folgt die Evaluation und schließlich die Integration. Nach der Aussage der Autoren soll HyM durch seine hohe Iterativität besonders in komplexen Projekten leistungsstark sein.	transferbasiert	Indirekte Wissensakquise
<b>Auer</b> [AUER07]	Mit RapidOWL soll es nach Auer [AUER07] möglich sein, Wissensbasen von wissensbasierten Systemen zielgerichtet aufzubauen. Die agile Methodik wird zusammen mit dem klassischen Knowledge Engineering dazu verwendet, die sogenannten RDF-Ausdrücke in eine datenbankbasierte Wissensbasis zu integrieren. RDF-Ausdrücke stellen dabei die kleinsten Wissens-elemente dar und können nach Auer [AUER07] in die unterschiedlichsten Wissensrepräsentationsformen überführt werden. Es soll zudem möglich sein, die Wissensbasis bei der Veränderung zu versionieren und Suchaufträge zu formulieren.	Rapid-prototyping	Indirekte Wissensakquise
<b>Knublauch</b> [KNUBLAUCH02], <b>Knublauch und Rose</b> [KNUBLAUCH00]	Knublauch [KNUBLAUCH02] hat sich wie Auer [AUER07] mit dem Zusammenschluss von Softwareentwicklung (speziell: Extreme Programming, XP) und Knowledge Engineering beschäftigt. Mit der Methodik XP.K soll es möglich sein, Ontologien als Wissensbasis zu erarbeiten. Das Meta-Modell der Ontologie wird dabei von Wissensingenieur und Softwareingenieur gemeinsam entwickelt, was eine Neuerung darstellt. Die Integration der einzelnen Instanzen erfolgt durch jeweils zwei Domänenexperten, die ein Werkzeug für die direkte Wissensakquise verwenden.	-	Direkte Wissensakquise

**Tabelle 2.6:** Weitere Vorgehensweisen im Bereich des Knowledge Engineerings

### 2.3.3 Vorgehensweisen für wissensbasierte Systeme in der Konstruktion

Nach Stokes [STOKES01, S. 15] stellt die Berücksichtigung der Geometrie den Hauptunterschied zwischen allgemeinen wissensbasierten Systemen und wissensbasierten Systemen zur Unterstützung von Konstrukteuren dar. Die Vorgehensweisen zur Entwicklung von allgemeinen wissensbasierten Systemen sind zu beachten, jedoch auf den Kontext der Konstruktion zu übertragen.

Die Vorgehensweise MOKA (Methodology and software tools Oriented to Knowledge based engineering Applications) nach Stokes [STOKES01] nimmt sich der Herausforderung des KBE an. Mithilfe von sechs Phasen wird der Wissensingenieur befähigt, eine KBE-Anwendung zu entwickeln. Inhaltlich baut MOKA an einzelnen Stellen auf CommonKADS auf [STOKES01, S. 24 ff.]. Die Phasen von MOKA werden in Tabelle 2.7 dargestellt.

Phase	Beschreibung
<b>Identify</b>	Diese Phase hat das Ziel, die Probleme im Unternehmen zu analysieren, zu prüfen, ob eine KBE-Anwendung zur Lösung eingesetzt werden kann und zu entscheiden, welche Art KBE-Anwendung entwickelt werden soll. Letztlich soll der Wissensingenieur zur Erarbeitung eines Business Cases und eines Projektplans befähigt werden.
<b>Justify</b>	Aufbauend auf der vorherigen Phase soll ein übergreifender Projektplan erarbeitet werden. Dieser beinhaltet monetäre, kulturelle und technische Aspekte. Das Ergebnis stellt ein Dokument dar, auf dessen Basis ein Gremium über die weitere Entwicklung der KBE-Anwendung entscheiden soll. Die Phasen Identify und Justify werden nur auf oberer Ebene definiert. Eine Operationalisierung dieser Phasen findet nach Stokes [STOKES01, S. 47] nicht statt.
<b>Capture</b>	Innerhalb dieser Phase findet die Erhebung des Wissens und die anschließende Strukturierung sowie Übertragung in die ICARE forms (I = Illustration, C = Constraint, A = Actitiy, R = Rule, E = Entity) statt. Die ICARE forms bilden mit der Prozessbeschreibung und einer taxonomischen Analyse des Produkts das Informal Model. Das Informal Modell soll eine Grundlage sein, auf dessen Basis Fachexperten und Wissensingenieure über das Wissen gemeinsamen diskutieren können.
<b>Formalize</b>	Diese Phase baut auf dem Informal Model auf und hat das Ziel ein Formal Model zu erarbeiten. Dies beinhaltet das Produkt- und das Prozessmodell. Das Produktmodell basiert wiederum auf fünf Sichtweisen: Struktur, Funktion, Verhalten, Technologie und Repräsentation. Mit Hilfe einer Darstellungsform, die von UML abgeleitet wurde, wird das Formal Model aufgebaut. Nach der Überprüfung der Wissensbasis mit definierten Mechanismen erfolgt die Überführung des Formal Models in XML.
<b>Package</b>	Diese Phase stellt den Übergang vom Wissensingenieur zum Softwareingenieur dar. Das System wird anhand der definierten Architektur entwickelt. Es werden die Anforderungen aus dem Projektplan aufgegriffen. Bisher muss das Formal Model händisch in Softwarecode übertragen werden, wobei Stokes [STOKES01, S. 51] eine automatische Überführung in Aussicht stellt.
<b>Activate</b>	Die Verteilung, Installation und die Verwendung des Systems stellen die Bestandteile der Phase Activate dar.

**Tabelle 2.7:** Vorgehensweise und Phasen in MOKA nach Stokes [STOKES01]

Wie Tabelle 2.7 zeigt, stellt das Informal Model innerhalb der Phase „Capture“ das Zentrum von MOKA dar, indem dort mithilfe der ICARE forms das Wissen informal abgebildet wird. Diese Abbildung trägt wesentlich zur späteren Funktionsweise des

Systems bei, da komplexe Sachverhalte einfach dargestellt werden. Neben MOKA existieren weitere Vorgehensweisen, die im späteren Vergleich berücksichtigt werden. Die in der vorliegenden Arbeit berücksichtigten Vorgehensweisen sind in Tabelle 2.8 dargestellt.

Autor(en)	Beschreibung
<b>Terpenny et al.</b> [TERPENNY00]	Die Knowledge Capture Methodology (KCM) nach Terpenny et al. [TERPENNY00] soll Wissensingenieure befähigen, Konstruktionswissen zu akquirieren. KCM ist aus 10 Schritten aufgebaut, wobei in einem elften Schritt die ersten 10 Schritte wiederholt werden. Terpenny et al. [TERPENNY00] fokussieren sich dabei hauptsächlich auf das Produkt. Dieses wird mit einer Semantik basierend auf Komponenten und Beziehungen modelliert. Diese Semantik wird in einer Datenbank abgebildet.
<b>Bancroft et al.</b> [BANCROFT00], <b>Lovett et al.</b> [LOVETT00]	KOMPRESSA ist auf die Entwicklung kleinerer KBE-Anwendungen [SAINTER00B, S. 4] und auf KMUs ausgerichtet [LOVETT00, S. 384]. Insgesamt definieren neun Aktivitäten den Prozess. Ausgehend von organisationalen Aspekten wird die Hard- und Software beachtet. KOMPRESSA geht über den Wirkungsbereich vieler Vorgehensweisen hinaus, da die Implementierung, das Testen und die Realisierung der Anwendung sowie die Wartung fokussiert werden. Die Vorgehensweise versteht sich als flexibel in der Anwendung und soll modular je nach Problemstellung verwendet werden.
<b>van Tooren et al.</b> [VAN TOOREN09]	Die Vorgehensweise nach van Tooren et al. [TOOREN09] versteht sich wie die VDI 5610 [VDI 5610 2009] als übergreifendes Rahmenwerk zur Einführung von Wissensmanagement und KBE in das Konstruktionsumfeld. Es werden sechs Phasen definiert. Interessant ist die Tatsache, dass die frühen Phasen mit dem Wissensmanagement und die späten Phasen mit dem KBE in Verbindung gebracht werden. Die Wissensakquise (in diesem Kontext: Wissenserhebung) stellt die weiche Grenze dar. Wie KOMPRESSA wird die Softwareentwicklung und die Integration in das Unternehmen mitfokussiert.

**Tabelle 2.8:** Weitere Vorgehensweisen im Bereich des KBE

### 2.3.4 Vorgehensweisen für Agentensysteme

Die agentenorientierte Softwareentwicklung hat sich in den letzten Jahren zu einem eigenständigen Bereich innerhalb der Softwaretechnik entwickelt. Es ist notwendig, spezifische Methoden und Vorgehensweisen bereitzustellen. [WAGNER03, S. 5 f.]

Für den Einsatz von Agenten in industriellen Anwendungen „benötigt man industrietaugliche Softwaremethoden und Tools, die die Spezifika von Agenten abdecken“ [BAUER13, S. 64]. Diese sollten sich auf die Grundkonzepte aus Tabelle 2.4 stützen. Nach der VDI/VDE 2653 Blatt 2 [VDI/VDE 2653 2012, S. 4] ist „die Unterstützung sämtlicher Phasen des Softwareentwicklungsprozesses für agentenbasierte Systeme“ die Hauptaufgabe einer agentenorientierten Entwicklungsmethode. „Hierzu zählen die agentenorientierte Analyse, Grob- und Feinentwurf sowie Implementierung und Test“ [VDI/VDE 2653 2012, S. 4]. Agentensysteme können mit einer der folgenden Methoden entwickelt werden [BAUER13, S. 65; VDI/VDE 2653 2012, S. 9; WEIß01, S. 8]:

- Rein agentenspezifische Methoden
- Erweiterung von objektorientierten Methoden
- Erweiterung von Methoden aus dem Bereich des Knowledge Engineerings

Alle Ansätze decken für sich einen Bereich in der Entwicklung von Agentensystemen ab. Sie können nicht von sich behaupten, den Entwickler umfassend zu unterstützen, da sich die Methoden in deren grundsätzlichen Aufbau und in deren Zuordnung zu den Phasen des Softwareentwicklungsprozesses unterscheiden. So decken einige Methoden den gesamten Entwicklungsprozess (Analyse, Grobentwurf, Feinentwurf, Implementierung) ab (z. B. MaSE und PASSI). Dementgegen unterstützen andere Methoden nur einzelne Phasen (z. B. Gaia und Agent-UML). [WAGNER03, S. 8, Bild 3]

Um für Entwickler die Auswahl und Bewertung einer Methode bzw. Vorgehensweise zur Entwicklung von Agentensystemen zu ermöglichen, hat die VDI/VDE 2653 Blatt 2 [VDI/VDE 2653 2012, S. 4] Kriterien aus sechs Kategorien aufgeführt. Es findet eine Unterscheidung in domänen-, in entwurfs-, in flexibilitäts-, in system- und in agentenbezogene sowie in allgemeine Kriterien statt. Im Folgenden wird auf die oben aufgeführten Methoden und Vorgehensweisen eingegangen. Eine zusammenfassende Darstellung ist in der VDI/VDE 2653 Blatt 2 [VDI/VDE 2653 2012, S. 14, Tabelle 1] enthalten.

### **Rein agentenspezifische Methoden**

Methoden und Vorgehensweisen, die unmittelbar eine agentenorientierte Entwicklung berücksichtigen, legen den Schwerpunkt auf die vorgestellten Agentenkonzepte bzw. auf Kommunikations- und Kooperationsaspekte. Da sich Agenten stets in einem Problemlösungsprozess befinden, bietet sich die Verwendung von Rollen an, die unterschiedliche Verantwortlichkeiten und Aufgaben definieren. Für die Identifikation dieser Rollen kommen Methoden wie die Ziel- und Rollenanalyse, Case-Studies und Interaktionsmodelle zum Einsatz. Dabei werden Rollen in einem/mehreren Agenten zusammengefasst. Bei der Planung von Interaktionen müssen Aktivitäts-, Sequenz- und Zustandsdiagramme aufgestellt werden, um so die Kooperation und Kommunikation von Agenten zu modellieren. [BAUER13, S. 68; WAGNER03, S. 8; WAGNER03, S. 7 f.]

Gegenüber rein wissensbasierten Methoden besitzen rein agentenspezifische Methoden den Vorteil, dass sie geschichtlich gesehen von Anfang an die Modellierung und Realisierung von Agentensystemen unterstützen [BAUER13, S. 68]. Nachteile sind die noch zu geringe Werkzeugunterstützung, ein hoher Einführungsaufwand und eine fehlende Standardisierung [WAGNER03, S. 7 f.]. Die in diesem Bereich bekannteste Methode stellt Gaia dar [BAUER13, S. 68 ff.; WAGNER03, S. 8; WEIß01, S. 99].

### **Erweiterung von objektorientierten Methoden**

Innerhalb dieser Ausrichtung werden bisherige Ansätze im Bereich der objektorientierten Softwareentwicklung um Agentenkonzepte erweitert. Bauer [BAUER13, S. 65] und die VDI/VDE 2653 Blatt 1 [VDI/VDE 2653 2010, S. 11] führen hierbei vor allem die Modellierungssprache UML (Unified Modeling Language) an. UML stammt ursprünglich aus der objektorientierten Softwareentwicklung und wurde im Laufe der Zeit an die Entwicklung von Agenten angepasst (z. B. MESSAGE nach Caire et al. [CAIRE01]).

Die grundlegende Möglichkeit zur Erweiterbarkeit von objektorientierten Methoden begründet sich vor allem in den konzeptionellen Gemeinsamkeiten zwischen der Objekt- und Agentenorientierung [WAGNER03, S. 7]. Diese Gemeinsamkeiten machen sich z. B. bei der Kapselung bemerkbar. Dem Objekt muss generell eine gewisse soziale Dimension hinzugefügt werden [IGLESIAS99, S. 319]. Diese spiegelt sich in dem Freiheitsgrad zur Aktionswahl und Interaktion wider [WEIß01, S. 98]. Shoham [SHOHAM93, S. 56; SHOHAM94, S. 124 f.] unterscheidet Objekte und Agenten unter dem Gesichtspunkt der Kommunikation. Wohingegen Objekte nur Methoden aufrufen, verwenden Agenten komplexe Protokolle zur Verhandlung. Nach Shoham [SHOHAM93] gleicht die Kommunikation von Agenten eher menschlichen Sprechakten.

Vorteile der Erweiterung von objektorientierten Methoden begründen sich u. a. in der einfachen Erlernbarkeit [WAGNER03, S. 7]. Nach Aussage von Iglesias et al. [IGLESIAS99, S. 318] müssen sich Softwareingenieure aus der Praxis nicht mehr grundsätzlich eine andere Vorgehensweise aneignen, sofern sie bereits objektorientierte Methoden anwenden. Die Basismethoden, auf die sich die erweiterten objektorientierten Methoden stützen, sind bereits fundamental erprobt worden [IGLESIAS99, S. 318]. In Bauer [BAUER13, S. 66], in Iglesias et al. [IGLESIAS99, S. 319] und in Weiß [WEIß01, S. 99] sind Methoden aus diesem Bereich zu finden.

### **Erweiterung von Methoden aus dem Bereich des Knowledge Engineerings**

Das Knowledge Engineering wurde bereits in Abschnitt 2.3.2 diskutiert und beschreibt Möglichkeiten zur methodischen Integration von Wissen in wissensbasierte Systeme. Nach Wagner et al. [WAGNER03, S. 7] ist die Übertragung dieser Methoden eine Möglichkeit zur Modellierung der kognitiven Fähigkeiten der Agenten. Der VDI/VDE 2653 Blatt 2 [VDI/VDE 2653 2012, S. 9] zufolge, wurden die ersten Agentensysteme mithilfe von Methoden zur Modellierung von wissensbasierten Systemen spezifiziert. Wagner et al. [WAGNER03] beschreiben den Nachteil, dass diese erweiterten Ansätze das Agentensystem als zentralisiertes wissensbasiertes System auffassen. Konzepte wie

Verteilung, Organisation, Interaktion und Zielorientierung werden vernachlässigt. Im Folgenden werden zwei für die vorliegende Arbeit wichtige Ansätze erläutert.

Die Vorgehensweise CommonKADS (siehe Abschnitt 2.3.2) wurde durch Iglesias et al. [IGLESIAS96, IGLESIAS98] um einen agentenorientierten Ansatz erweitert. Daraus entstand die Vorgehensweise MAS-CommonKADS (Multiagentsystem CommonKADS). Ziel ist die Verwendung der Vorgehensweise für die Entwicklung von wissensbasierten Agentensystemen. Bei CommonKADS wird im Kommunikationsmodell die Kommunikation zwischen dem Benutzer und dem Softwaresystem geregelt. Diese Kommunikation muss für eine agentenorientierte Softwareentwicklung erweitert werden, was mit der Integration des Coordination-Model erreicht wurde [IGLESIAS96, S. 3].

Die Vorgehensweise CoMoMAS (Conceptual Modeling of Multi-Agent Systems) basiert ebenso auf CommonKADS. Glaser [GLASER96] unterstützt den Entwickler mithilfe von konzeptuellen Modellen bei der Entwicklung von wissensintensiven Agentensystemen. Das Agentenmodell hat im Gegensatz zu MAS-CommonKADS eine zentrale Position. In diesem Agentenmodell wird das Wissen, das die Agenten für die Ausübung ihrer Tätigkeiten benötigen, mithilfe von vier Wissenstypen repräsentiert: Wissen zur Problemlösung, Handlungswissen, Wissen über die Kooperation und Wissen über den sozialen Umgang in der Agentengesellschaft.

Nach Glaser [GLASER96, S. 2 f.] überzeugt CommonKADS durch den Einsatz von Modellbibliotheken mit einem hohen Maß an Wiederverwendbarkeit. Dieser Ansatz wird bei CoMoMAS berücksichtigt, indem diesen Bibliotheken ein Abstraktionsgrad hinzugefügt wird [GLASER96, S. 6 f.]. Dieser Abstraktionsgrad ermöglicht es, Modellvorlagen innerhalb dieser Bibliothek besser zu organisieren bzw. Methoden der Wissensakquisition einzuführen. Glaser [GLASER96, S. 14 f.] zufolge bildet der Ansatz eine Schnittmenge zwischen den Methoden des Knowledge Engineerings und der Entwicklung von Agentensystemen.

Bauer [BAUER13, S. 68] ist der Meinung, dass die klassische Vorgehensweise zur Entwicklung von wissensbasierten Systemen CommonKADS fähig ist, Agentensysteme zu entwickeln, obwohl sie explizit darauf nicht ausgelegt ist.

## **2.4 Schlussfolgerungen aus dem Stand der Forschung**

Im Folgenden werden Schlussfolgerungen aus dem Stand der Forschung gezogen. Die Erkenntnisse beantworten die Forschungsfragen aus Abschnitt 1.4.

### **Definition des Einsatzkontextes - Beantwortung der Forschungsfrage 1**

Der Einsatzkontext des ProKon-Systems wurde mithilfe des Konstruktionssystems nach Hubka und Eder [HUBKA92] beschrieben. Die in diesem Konstruktionssystem beinhaltenden Bestandteile (Operand und Operatoren) stellen die Aspekte dar, die innerhalb der Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems beachtet werden sollen.

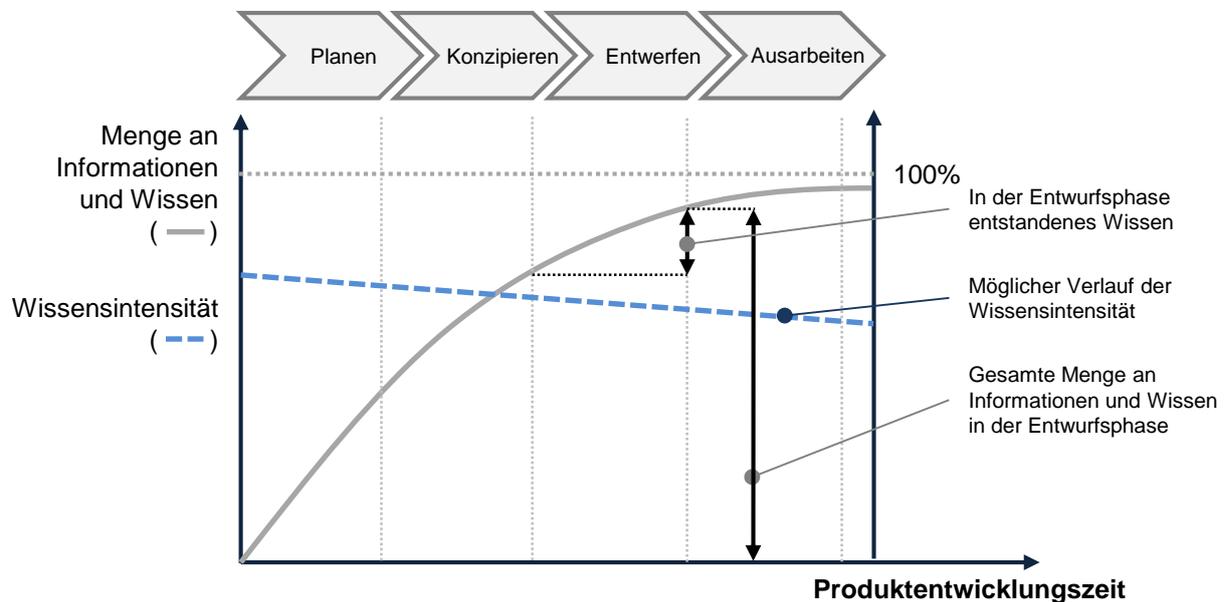
Der Konstruktionsprozess als Operand bildet in der vorliegenden Arbeit den zentralen Ansatzpunkt für die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems. Eppler et al. [EPPLER99] stuften den Konstruktionsprozess als wissensintensiv und komplex ein, der durch Maßnahmen des technologischen Wissensmanagements verbessert werden kann (siehe Bild 2.3). Bei kritischer Betrachtung von Bild 2.3 fällt weiterhin auf, dass die Systementwicklung ähnlich komplex und wissensintensiv wie bspw. der Konstruktionsprozess sein müsste.

Generell ist die Unterstützung von wenig komplexen und wissensintensiven Geschäftsprozessen durch wissensbasierte Systeme einfacher zu realisieren. Dies liegt u. a. daran, dass bei der Ausführung dieser Prozesse weniger Kreativität vom Benutzer verlangt wird, die sich nicht oder nur annäherungsweise rechnerisch abbilden lässt. Zudem ist bei diesen Prozessen der Freiheitsgrad der möglichen Benutzeraktionen eingeschränkt. Es stellt sich bei diesen wenig komplexen und wissensintensiven Geschäftsprozessen generell die Frage, ob eine Wissensverarbeitung zweckmäßig ist. Das Optimierungspotenzial hinsichtlich Kosten, Qualität und Zeit steigt mit zunehmender Komplexität und Wissensintensität des Prozesses.

Wie Bild 2.14 zeigt, lässt sich die Unterscheidung zwischen wissensintensiven und hochkomplexen sowie weniger wissensintensiven und weniger komplexen Prozessen auf die Phasen des Konstruktionsprozesses übertragen. Darin sind die Anforderungen an das Produkt gegen Ende des Prozesses eindeutiger definiert sowie die Geometrie und die Werkstoffe festgelegt. Der Lösungsraum wird kleiner. Als eine Konstante kann die Kreativität angesehen werden, die vom Konstrukteur verlangt wird. Der Freiheitsgrad hängt letztlich u. a. von der Wahl der Konstruktionsarten ab. Unter Beachtung dieser Faktoren wurde über den Konstruktionsprozess eine sinkende Wissensintensität und Komplexität angenommen.

Es lässt sich daraus ableiten, dass die Unterstützung der frühen Phasen des Konstruktionsprozesses durch wissensbasierte Systeme bspw. gegenüber der Ausarbeitungsphase aufgrund des großen Lösungsraums schwerer zu realisieren ist.

Die in der vorliegenden Arbeit fokussierte Entwurfsphase besitzt zwar einen geringeren Lösungsraum als die davor liegende Konzeptphase, weist jedoch einen großen geometrischen und werkstofflichen Freiheitsgrad auf. Die Unterstützung des Entwerfens ist somit nicht trivial.



**Bild 2.14:** Verlauf der Informations- und Wissensmenge sowie der Wissensintensität über dem Verlauf des Konstruktionsprozesses

Bei der Analyse des Konstruktionswissens zeigt sich, dass dieses, wie der Einsatzkontext selbst, komplex und vielschichtig ist. Der Ansatz von Roth et al. [ROTH10] zur Strukturierung des Konstruktionswissens erwies sich als zweckmäßig, da dieser eine Charakterisierung von Wissenselementen in der Konstruktion erlaubt. Die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Beschreibung des Wissenstyps, der Wissensform und des Wissensorts erweisen sich als vielfältig. Für die vorliegende Arbeit werden die folgenden beiden Definitionen benötigt.

**Definition von Konstruktionswissen:** *Das Konstruktionswissen wird prozessorientiert und systemtheoretisch gesehen. Es ist das Wissen, das für die Durchführung eines Konstruktionsprozesses als Voraussetzung notwendig ist (Wissen in den Prozess als Eingangsgröße). Zudem ist es das Wissen, das aus dem Konstruktionsprozess als Ergebnis entsteht (Wissen aus dem Prozess als Ausgangsgröße). Letztlich ist Konstruktionswissen das Wissen, welches für die Transformation der Eingangsgrößen in die Ausgangsgrößen benötigt wird (Wissen über den Prozess).*

**Definition eines Wissenselements:** *Ein Wissenselement stellt eine konkrete, abgegrenzte und abgeschlossene Einheit von Wissen dar, die sich den zugrunde liegenden*

*Wissensformen zuordnen lässt. Das Wissenselement ist das Ergebnis der Phase der Wissenserhebung.*

Die von Haasis [HAASIS95B] aufgestellten Wissenstypen stimmen mit dem allgemeinen Schema der Agenten in Bild 2.9 am besten überein. Die Wissenstypen repräsentieren die Ziele, die Fähigkeiten und das Umgebungsmodell der Agenten. Bezüglich der Wissensform zeigt sich, dass die Regel und die Formel für die Beschreibung von Konstruktionswissen vorherrschend sind.

Materielle und personelle Wissensträger bilden die wichtigsten Unterkategorien der Wissensorte. Gerade im Bereich der Konstruktion wurden u. a. durch Haasis [HAASIS95B] charakteristische Wissensorte identifiziert. Es ist zielführend, zwischen materiellen Wissensorten und personellen Wissensorten zu unterscheiden. Diese Unterscheidung geht einher mit der Abgrenzung der Wissensarten (explizites, implizites und stilles Wissen). Da Wissen stets personengebunden ist, ist der Begriff „explizites Wissen“ irreführend. Dieser Begriff wird jedoch in der vorliegenden Arbeit weiterhin verwendet, um sich nicht grundlegend von der untersuchten Literatur abzuheben.

Neben den Prozessen und dem Wissen sind das Konstruktionsumfeld, die Konstrukteure und das Konstruktionsobjekt für den Einsatzkontext des ProKon-Systems zu berücksichtigen. Die Unternehmensorientierung innerhalb des Konstruktionsumfelds stellt einen wichtigen zu beachtenden Faktor bei der Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems dar. Das vierstufige Architekturkonzept nach Eigner und Stelzer [EIGNER08] zeigt die komplexe Systemlandschaft innerhalb von Unternehmen. Die Entwicklung einer Standardsoftware ist somit nicht zielführend. Konstruktionssysteme leisten eine signifikante Unterstützung, sofern sie für eine spezielle Anwendung eingesetzt werden. Das ProKon-System wird demnach Erfolg in der industriellen Praxis haben, sofern das System an die Gegebenheiten des jeweiligen Unternehmens angepasst wird. Dabei ist die Unterscheidung zwischen Neu-, Anpassungs- und Variantenkonstruktion zu verwenden, um innerhalb des Konstruktionsbereichs den spezifischen Einsatzkontext zu beschreiben.

Unter Berücksichtigung der erlangten Erkenntnisse ist es nicht zweckmäßig, alle untersuchten Bestandteile des Konstruktionssystems nach Hubka und Eder [HUBKA92] für den Einsatzkontext des ProKon-Systems zu verwenden. Kratzer et al. [KRATZER13D, S. 5] beschreiben zwei Anpassungen, die für die vorliegende Arbeit gelten:

- Das Konstruktionswissen ist aus dieser Betrachtung *explizit* auszuschließen, da dieses *implizit* im Konstruktionsprozess und im Konstruktionsobjekt vorkommt.

Wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert wurde, wird das Konstruktionswissen durch den Konstruktionsprozess und durch das Konstruktionsobjekt definiert.

- Das Konstruktionssystem nach Hubka und Eder [HUBKA92] beinhaltet nicht explizit die IT-Systemlandschaft. Wie jedoch im Stand der Forschung beschrieben wurde, kann diese dem Konstruktionsumfeld zugerechnet werden (siehe Abschnitt 2.1.4). Es ist zu prüfen, welche eingesetzten und welche sich in Planung befindenden IT-Systeme den Konstrukteur bei der Anwendung unterstützen. Sofern eine vollständige Überdeckung der Funktionalitäten identifiziert wurde, ist die Integration des ProKon-Systems in das untersuchte Unternehmen hinfällig.

### **Charakterisierung des ProKon-Systems - Beantwortung von Forschungsfrage 2**

Agentensysteme lassen sich generell den wissensbasierten Systemen der zweiten Generation unterordnen und wurden seit Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts entwickelt. Unter anderem legte Minsky [MINSKY94] die Grundlage für die weitere Entwicklung der Agententechnologie. Agentensysteme bestehen aus einzelnen Agenten. Die Verwendung des Begriffs „Softwareagentensystem“ wird im weiteren Verlauf der Arbeit vermieden. Es wird stattdessen der Begriff „Agentensystem“ angewandt.

**Definition eines Agenten:** *„Ein Agent ist eine abgrenzbare Softwareeinheit mit einem definierten Ziel. Ein Agent versucht dieses Ziel durch autonomes Verhalten zu erreichen und interagiert dabei mit seiner Umgebung und anderen Agenten.“* [WAGNER03, S. 6]

Die Charakterisierung des Konstruktionswissens deckt sich größtenteils mit der Wissensverarbeitung von Agenten, bei der die Arbeiten von Arlt [ARLT00], Jago [JAGO09], Krempels [KREMPELS09] und Wagner [WAGNER08] zusammengefasst wurde. Agenten sind häufig als regelbasierte Agenten ausgeführt, wobei sie zudem Formeln nutzen können, um Regeln auszuwerten. Die Verarbeitung von Konstruktionswissen in Agentensystemen ist möglich.

Agentenbasierte Konstruktionssysteme stellen eine Teilmenge der wissensbasierten Konstruktionssysteme dar. Lander [LANDER97] hat mit den Systemformen „personal assistants“, „collaborative agent systems“ und „mobile agents“ eine geeignete Klassifikation von agentenbasierten Konstruktionssystemen eingeführt. Neben ihnen existieren klassische Konstruktionssysteme, die nicht auf Agentenbasis entwickelt wurden.

Des Weiteren zeigte sich, dass klassische und agentenbasierte Konstruktionssysteme häufig nicht über ein Prototypenstadium in der akademischen oder industriellen Forschung hinauskamen. Auf Basis der Literatur ist dafür die geringfügige Betrachtung und

Beachtung der Organisation, in der das System eingebettet werden soll, verantwortlich. Markus und Robey [MARKUS88] haben zur Charakterisierung der Wechselwirkungen zwischen Organisation und IT drei Begriffe eingeführt: „organizational imperative“, „technological imperative“ und „emergent perspective“.

### **Vorgehensweisen zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems - Beantwortung von Forschungsfrage 3**

Im Stand der Forschung wurden Vorgehensweisen aus drei Bereichen beschrieben: wissensbasierte Systeme, wissensbasierte Konstruktionssysteme und Agentensysteme. Generell ist zu erkennen, dass das Paradigma des Knowledge Engineerings für die Entwicklung aller betrachteten Systeme relevant ist.

Innerhalb dieses Paradigmas erweist sich der modellbasierte Ansatz für die Entwicklung von Agentensystemen als geeigneter, da sie wissensbasierte Systeme der zweiten Generation darstellen (siehe Tabelle 2.5). Zudem bietet der modellbasierte Ansatz bei der Erarbeitung von großen Wissensbasen die Möglichkeit, Redundanzen und Widersprüche zu identifizieren sowie eine Abgeschlossenheit zu erreichen.

Mit dem modellbasierten Ansatz geht der Unterschied zwischen Wissens- und Symbolebene einher. Dabei wird aufgezeigt, dass bei der Modellierung softwaretechnische Aspekte nicht zu berücksichtigen sind, da diese den Wissensingenieur beschränken. Softwaretechnische Details sind auf der Symbolebene durch den Softwareingenieur auszuarbeiten.

Bei der eigenen Vorgehensweise sind zudem die Grundlagen der Wissensakquise zu beachten, wobei die indirekte Wissensakquise verwendet werden soll. Die direkte Wissensakquise eignet sich nicht für den erstmaligen Aufbau einer Wissensbasis und unterstützt im Betrieb die Modifikation der Wissensbasis (vgl. Abschnitt 2.3.1, S. 50).

Auf Basis der vorgestellten Vorgehensweisen kann an dieser Stelle noch keine Entscheidung getroffen werden, ob bereits eine Vorgehensweise für die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems existiert. Zunächst sind für einen Vergleich der Vorgehensweisen Anforderungen aufzustellen, die zuvor methodisch abgeleitet werden müssen. Für eine methodische Ableitung der Anforderungen ist jedoch zunächst das ProKon-Kernsystem als Ausgangspunkt für die Vorgehensweise zu beschreiben und zu analysieren.

### 3 Agentenbasiertes Konstruktionssystem ProKon

Aufbauend auf dem Stand der Forschung erfolgt in diesem Kapitel die Beschreibung des ProKon-Kernsystems. Zunächst beinhaltet Abschnitt 3.1 die Beschreibung der Systemarchitektur. Da lediglich das Basissystem Gegenstand der Ausrichtung auf ein anwendungsspezifisches ProKon-System ist, wird dieses in Abschnitt 3.2 mit der Kernfunktionalität beschrieben. Abschnitt 3.3 führt die Struktur und den Aufbau der Wissensbasis des ProKon-Systems auf.

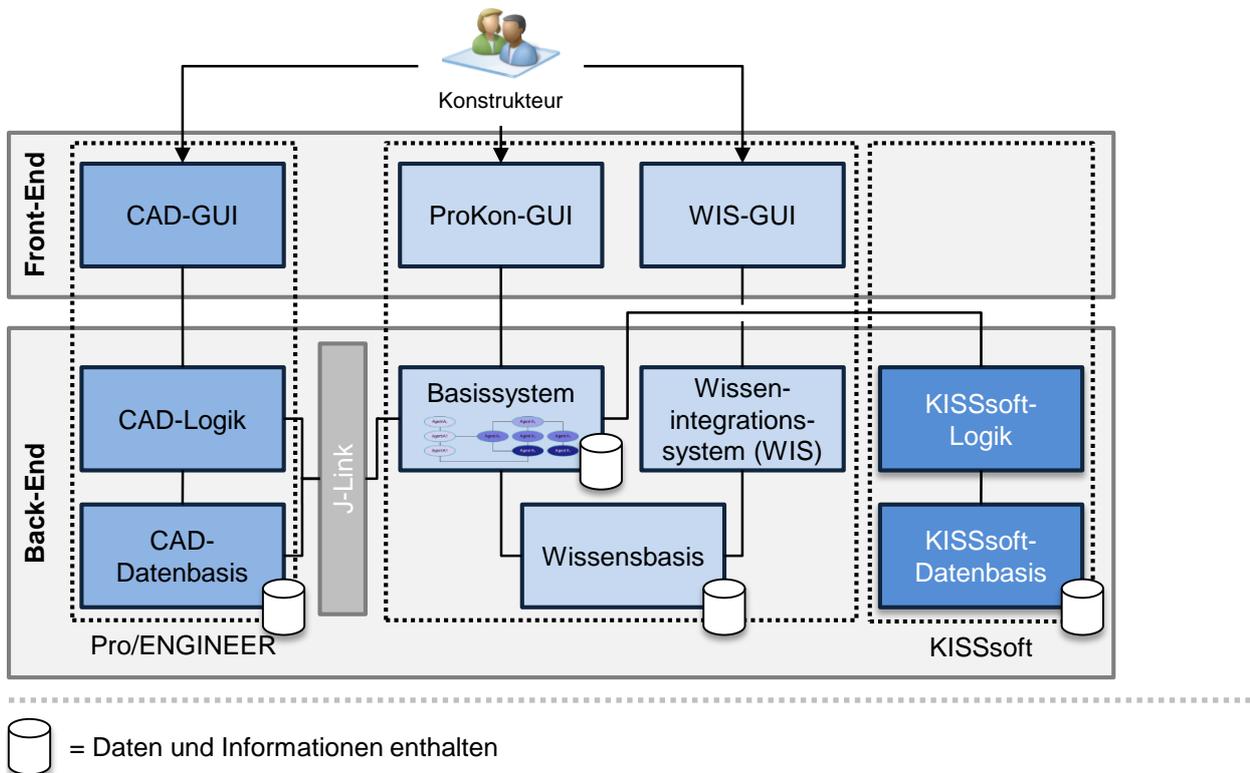
Die Inhalte dieses Kapitels wurden innerhalb des ProKon-Projekts von Kratzer [KRATZER11A, B], Kratzer et al. [KRATZER09A, B; KRATZER10A; KRATZER11C, D; KRATZER12A, B, C; KRATZER13A, B, C, D], Kadadihi [KADADIHI12A, B] und Rauscher [RAUSCHER09A, B, C; RAUSCHER10A, B, C; RAUSCHER11A, B] erarbeitet.

#### 3.1 Aufbau des ProKon-Systems

Die Architektur des ProKon-Systems beinhaltet die Teilsysteme Basissystem und Wissensintegrationssystem mit den umliegenden Komponenten (siehe Bild 3.1). Die Architektur ist im ProKon-Kernsystem definiert, sodass sie sich auf jedes davon abgeleitete, anwendungsspezifische ProKon-System überträgt. Es findet eine horizontale und vertikale Unterteilung statt. Horizontal gliedert sich die Architektur in den Front-End-Bereich und den Back-End-Bereich auf. Im ersten Bereich sind die Benutzungsoberflächen für die Bedienung der Teilsysteme und Komponenten untergebracht. Die eigentliche Funktionalität wird im Back-End-Bereich erbracht.

Vertikal ergeben sich drei Säulen. In der Mitte von Bild 3.1 ist das Basis- und das Wissensintegrationssystem sowie die zugehörige Wissensbasis dargestellt. Das Basissystem realisiert die drei grundlegenden Funktionalitäten Konsistenzprüfung, Lösungsfindung und Lösungsumsetzung mit den dafür zuständigen Agenten. Es ist mit der Benutzungsoberfläche (ProKon-GUI) und der Wissensbasis verbunden. Das Wissensintegrationssystem beinhaltet die Funktionalität zur selbstständigen und benutzerfreundlichen Integration von benutzerdefiniertem Konstruktionswissen in die Wissensbasis. Es ist hierbei mit einer Benutzungsoberfläche zur Bedienung des Wissensintegrationssystems verbunden. Links ist in Bild 3.1 das CAD-System Pro/ENGINEER dargestellt. Über die Schnittstelle J-Link können die Agenten auf das Produktmodell zugreifen. Das Berechnungsprogramm für Maschinenelemente KISSsoft [KISSSOFT13] befindet sich rechts in Bild 3.1. Das Basissystem hat Zugriff auf die

Berechnungslogik von KISSsoft, sodass standardisierte und normgerechte Berechnungen ausgeführt werden können.



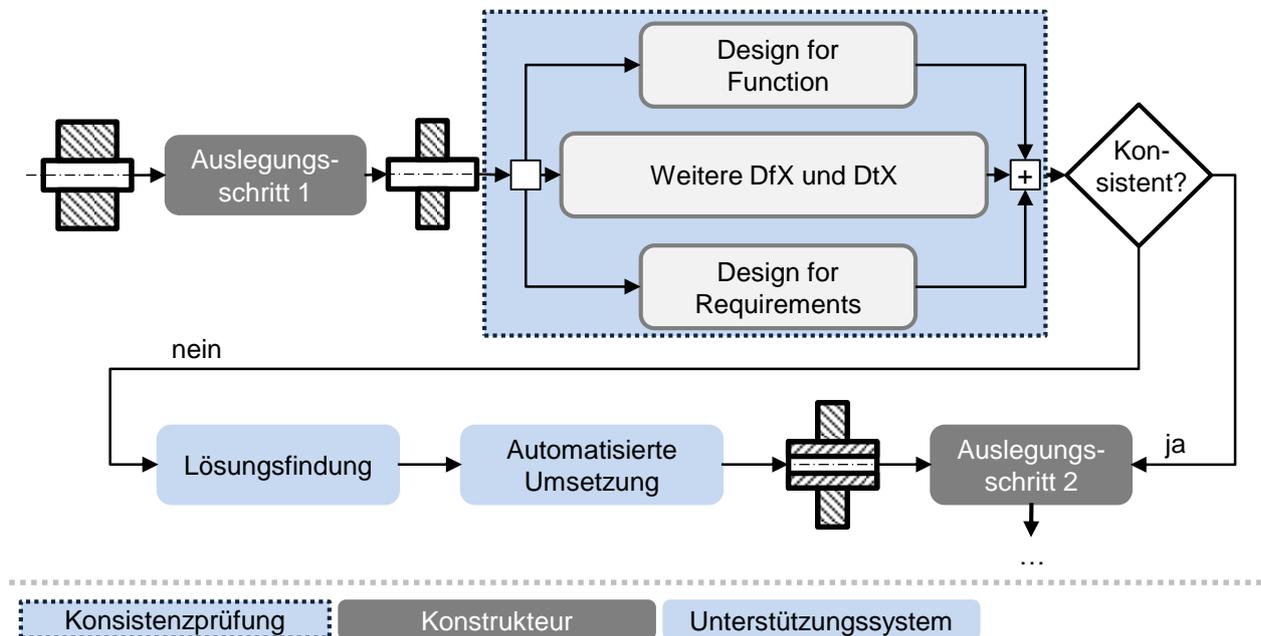
**Bild 3.1:** Architektur und Aufbau des ProKon-Systems

### 3.2 Funktionalität des Basissystems

Ausgangspunkt für das ProKon-Basissystem stellt ein bereits konstruiertes, digitales Produktmodell im CAD-System dar. Ausgehend von diesem Entwurf wird ein erster Auslegungsschritt durch den Konstrukteur durchgeführt (siehe Bild 3.2). Diese Veränderung durch den Konstrukteur wird durch das System detektiert und führt zu einer autonomen Prüfung, bei der die Konsistenz des Entwurfs unter Berücksichtigung von Design for X-Kriterien (DfX) und Design to X-Kriterien (DtX) überprüft wird. Diese Überprüfung findet im Hintergrund statt, sodass der Konstrukteur während seiner Tätigkeit nicht gestört wird. Neben der Funktionsüberprüfung (siehe „Design for Function“ in Bild 3.2) und der Anforderungsüberprüfung („Design for Requirements“), wird zudem auf die Einhaltung der Kosten und des Gewichts geachtet.

Im Fall einer entdeckten Inkonsistenz findet eine Lösungsfindung durch das Basissystem statt. Die Lösung wird dem Konstrukteur vorgestellt. Die Umsetzung dieser Lösung erfolgt ohne Eingriff des Konstrukteurs durch das Basissystem, sodass anschließend eine weitere Anpassung der Konstruktion („Auslegungsschritt 2“) vom Konstrukteur

durchgeführt werden kann. Für den Fall, dass das Basissystem eine konsistente Konstruktion festgestellt hat, kann der Konstrukteur direkt mit dem zweiten Auslegungsschritt fortfahren.



**Bild 3.2:** Hauptfunktionen des ProKon-Basissystems (lösungsneutral)

Die lösungsneutrale Funktionalität wird im ProKon-Projekt durch Agenten erbracht. Innerhalb der Entwicklung des Kernsystems wurden konkrete Agententypen erarbeitet, um die in Bild 3.2 dargestellten Funktionalitäten adäquat zu erfüllen [KRATZER11C, S. 181]. Hierbei sind die Agentendefinition nach Wagner [WAGNER03, S. 6] und die Grundkonzepte (Kapselung, Zielorientierung, Reaktivität etc.) aus Abschnitt 2.2.2 beachtet worden. Für weiterführende Informationen, bspw. bzgl. der Lösungsfindung, wird auf die Ausführungen von Kratzer et al. [KRATZER11C] verwiesen. Die multikriterielle Lösungsfindung mittels eines Blackboard-Ansatzes nach Agarwal und Prasad [AGARWAL94] beschreibt Rauscher [RAUSCHER10A, S. 26 ff.; RAUSCHER10B, S. 22 f.].

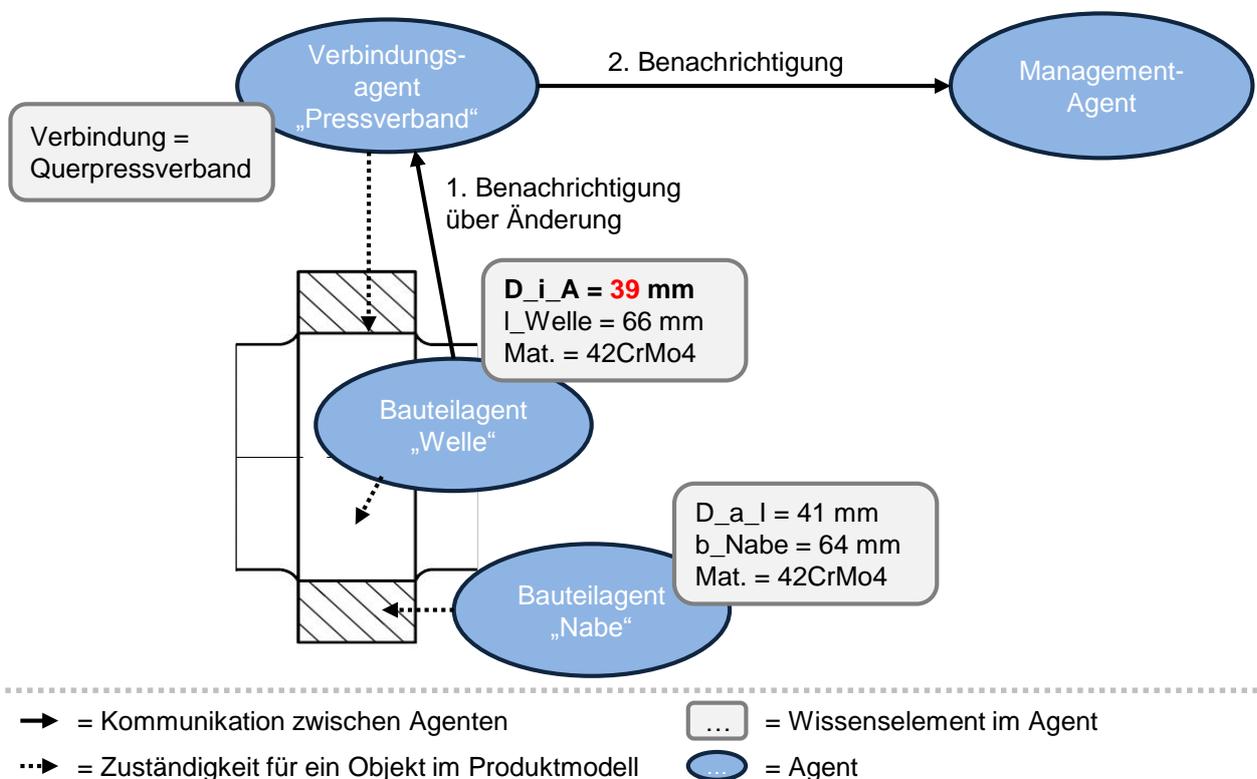
Die Funktionalität des ProKon-Basissystems realisieren neun Agententypen, die sich in drei Kategorien einteilen lassen (siehe Bild 3.3). Daneben besitzen die neun Agententypen mit der Anwendungsspezifität eine zentrale Eigenschaft für die vorliegende Arbeit. Anwendungsspezifische Agenten unterscheiden sich in deren Vorkommen und Ausprägung von Anwendung zu Anwendung. Anwendungunspezifische Agenten existieren in der gleichen Art und Weise in jeder Anwendung.

Als Kategorie existieren zunächst Objektagenten, die für ein konkretes Objekt eine „Patenschaft“ übernehmen. Jeder Objektagent ist verantwortlich für sein Objekt. Er



und bewertet gefundene Probleme. Ein Aspektagent ist für die Konsistenzprüfung eines DfX- oder DtX-Kriteriums zuständig. Er führt mit der Auswertung von übergeordneten Regeln Konsistenzprüfungen durch und ermittelt Lösungen bei Inkonsistenzen. Durch ihn werden Informationen über den Aspekt bereitgestellt. Die Aspektagenten verschicken Berechnungsaufträge an die Fachagenten, um die übergeordneten Regeln auszuwerten. Die Fachagenten stellen Experten auf einem Fachgebiet dar, führen diese grundlegenden Berechnungen durch und prüfen Regeln. Für die Durchführung der Berechnungen und für die Auswertung der Regeln fragen sie bei den Objektagenten nach Daten an (bspw. geometrische Abmessungen). [RAUSCHER09A, S. 11; RAUSCHER09B, S. 8; RAUSCHER09C, S. 8]

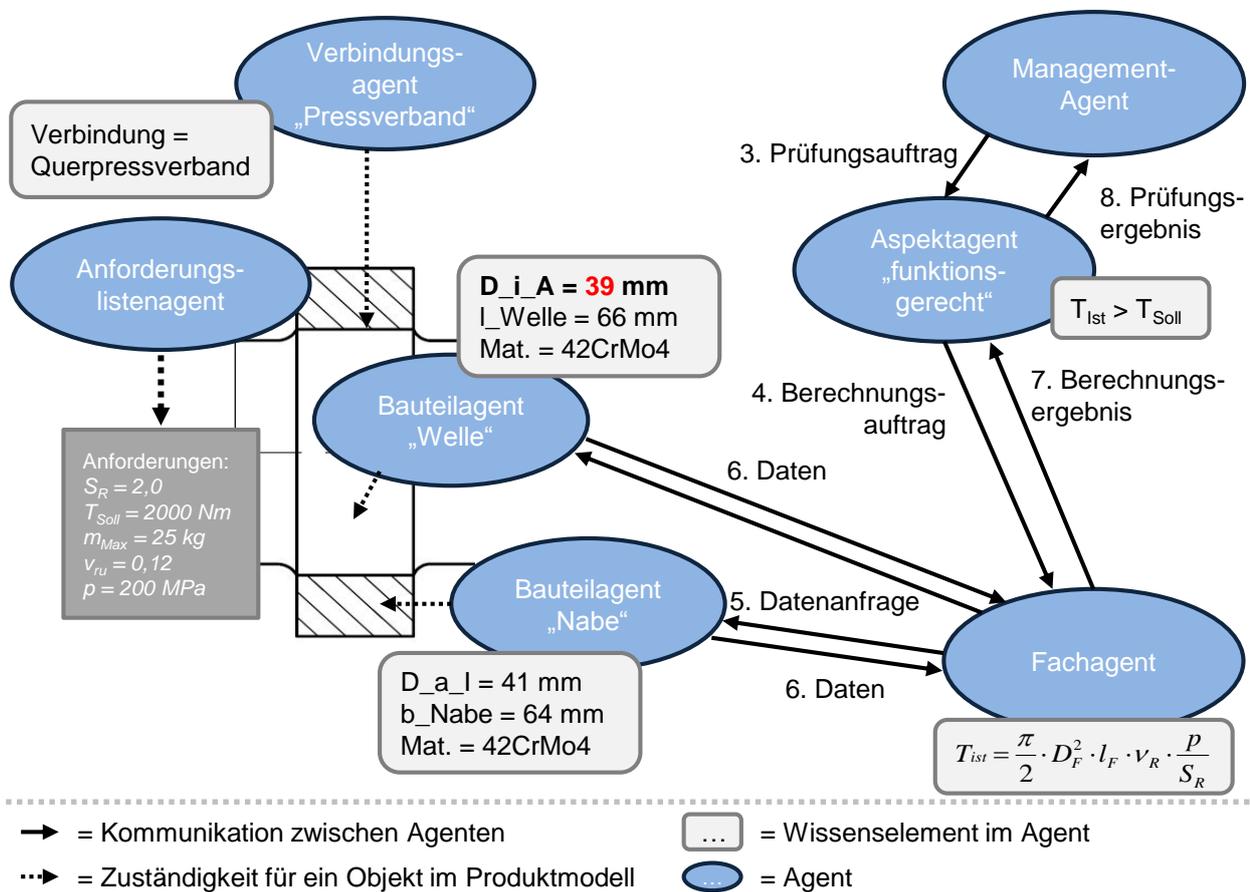
Der GUI-Agent dient der Anbindung an die Benutzungsschnittstelle. Er wird wie der Berechnungsagent nicht weiter beschrieben, da er auf die Realisierung der Hauptfunktionen keinen Einfluss hat. In Bild 3.4, Bild 3.5 und Bild 3.6 ist die Funktionalität des ProKon-Systems anhand eines Beispiels aus dem Bereich der Querpressverbände dargestellt. Der Startpunkt ist die Änderung des Fugendurchmessers der Welle (siehe „D\_i\_A“ in Bild 3.4) von 41 mm auf 39 mm durch den Konstrukteur.



**Bild 3.4:** Hauptfunktion Konsistenzprüfung am Beispiel eines Querpressverbands nach Rauscher [RAUSCHER09A, S. 12]

Unter Berücksichtigung des zu übertragenden Drehmoments ist nicht gewährleistet, dass der Querpressverband mit dem geänderten Fugendurchmesser dieses noch übertragen kann. Zudem weicht der Durchmesser von dem der Nabe ab ( $D_{a_I} \neq D_{i_A}$ ). Die Änderung des Fugendurchmessers  $D_{i_A}$  wird hierarchisch weitergeleitet, bis der Managementagent durch den Verbindungsagent informiert wird (siehe Schritte 1 und 2 in Bild 3.4). Bei komplexeren Produktmodellen wird zudem der Baugruppenagent mit in die Informationskette eingebunden (Bauteilagent → Verbindungsagent → Baugruppenagent). [KRATZER11C, S. 183]

Der Managementagent startet einen Prüfungsauftrag und beauftragt z. B. den Aspektagent für das funktionsgerechte Gestalten (Design for Function), das Produktmodell auf Konsistenz zu prüfen (siehe Schritt 3 in Bild 3.5).

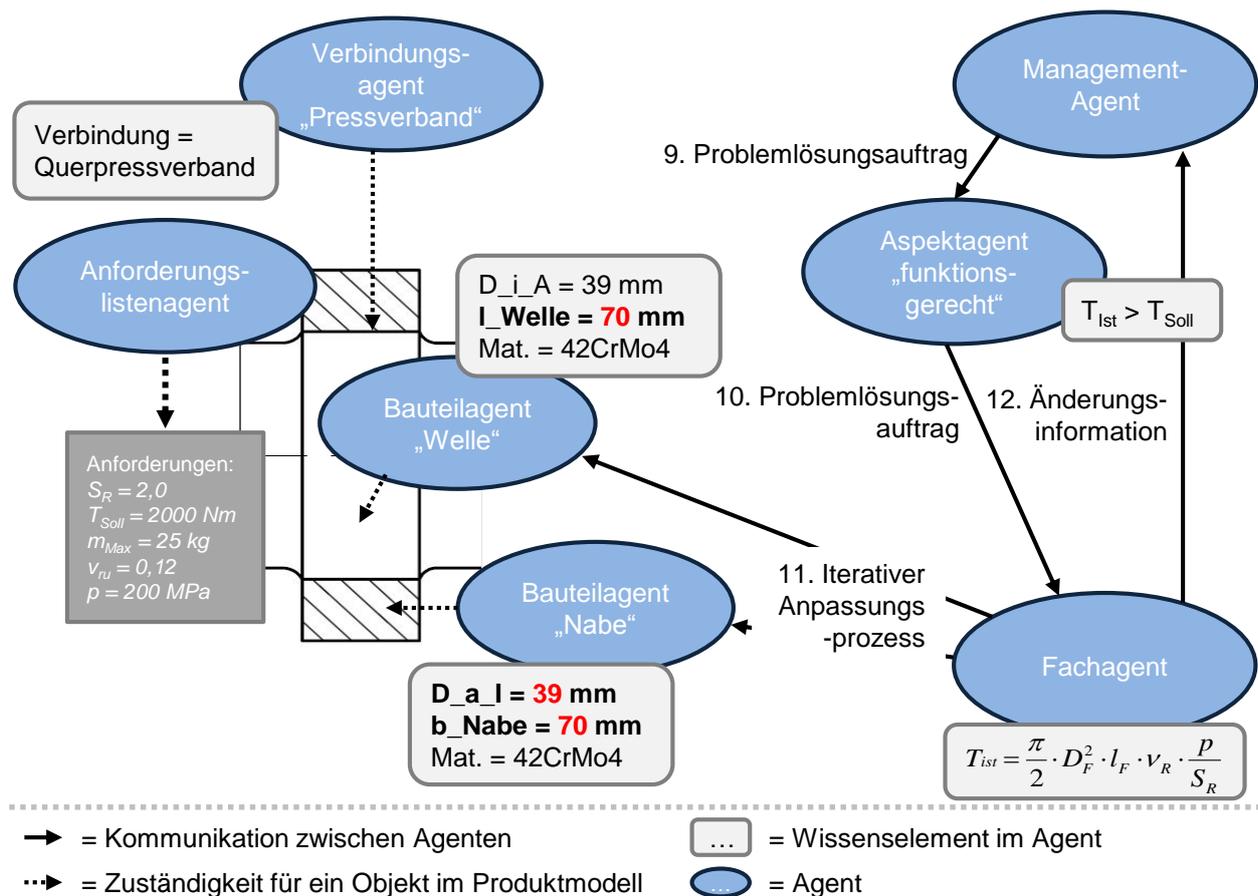


**Bild 3.5:** Hauptfunktion Lösungsfindung am Beispiel eines Querpressverbands nach Rauscher [RAUSCHER09A, S. 13]

Dieser beauftragt im weiteren Verlauf u. a. den Fachagenten für den Querpressverband mit einem Berechnungsauftrag, da der Aspektagent das aktuell übertragbare Drehmoment nicht berechnen kann (Schritt 4). Für diese Berechnung startet der Fachagent eine

Anfrage an die Objektagenten, die Daten für diese Berechnung liefern können (Schritte 5 und 6). Nach der Berechnung werden die Ergebnisse interpretiert und zum Managementagent weitergeleitet (Schritte 7 und 8).

Der Managementagent muss auf dieser Grundlage beurteilen, ob eine Inkonsistenz vorliegt. Sofern dies der Fall ist, beauftragt dieser den entsprechenden Aspektagenten mit der Problemlösung (siehe Schritt 9 in Bild 3.6), welcher den Problemlösungsauftrag an den Fachagenten verschickt (Schritt 10). Der Fachagent identifiziert die Variablen innerhalb der Berechnungsformeln, die für eine Problemlösung in Frage kommen (z. B.  $l_F$  und  $D_F$ ). Die Werte der Variablen werden schrittweise um einen zufällig definierten Betrag zwischen 0 % und 10 % vergrößert oder verkleinert. Die Richtung hängt davon ab, ob die Zielgröße im Vergleich zum Variablenwert größer oder kleiner ist. Dieses Verfahren ist ähnlich dem Gradientenverfahren und besitzt den Nachteil, dass eine Lösungsfindung beim Erreichen eines lokalen Minimums/Maximums nicht möglich ist.



**Bild 3.6:** Hauptfunktion Lösungsumsetzung am Beispiel eines Querpressverbands nach Rauscher [RAUSCHER09A, S. 14]

Nach jedem Schritt verschickt der Fachagent Anpassungsaufträge an die Objektagenten (Schritt 11). Dies geschieht innerhalb eines iterativen Verfahrens. Darin passen die Fachagenten die Variablenwerte erneut an, sofern im letzten Anpassungsschritt die Lösung noch inkonsistent ist. Diese neuen Werte werden an die Objektagenten weitergeleitet. Dieses Verfahren wird solange durchgeführt, bis eine konsistente Lösung gefunden worden ist. Im konkreten Beispiel wird die Breite der Nabe ( $b_{\text{Nabe}}$ ) sowie die Länge des Wellenabschnitts ( $l_{\text{Welle}}$ ) auf 70 mm verlängert. Gleichzeitig passt sich der Innendurchmesser der Nabe auf 39 mm an.

Benutzereingaben stellen keine Variablen dar, da der Änderungswunsch des Konstrukteurs zu beachten ist. In diesem Fall darf der Wert für  $D_{i\_A}$  nicht verändert werden. Abschließend wird der Managementagent über diese Änderungen informiert (Schritt 12). Für weitere Informationen zur generellen Funktionsweise des ProKon-Systems wird auf Kratzer et al. [KRATZER10A; KRATZER11C] und Rauscher [RAUSCHER09A; RAUSCHER09C; RAUSCHER10B] verwiesen.

Bei der erläuterten Funktionalität des Basissystems im vorherigen Abschnitt ist der Zugriff einzelner Agenten auf das Produktmodell im CAD-System notwendig. Beispielsweise muss das Produktmodell der Welle ständig auf Änderungen durch den betreffenden Objektagenten überwacht werden. Für die Realisierung eines Zugriffs auf das Produktmodell im CAD-System ist das Basissystem über eine Schnittstelle an das CAD-System anzubinden. Nach Spur und Krause [SPUR97] existieren drei unterschiedliche Anbindungsvarianten eines Konstruktionssystems an ein CAD-System (siehe Bild 2.11 in Abschnitt 2.2.4).

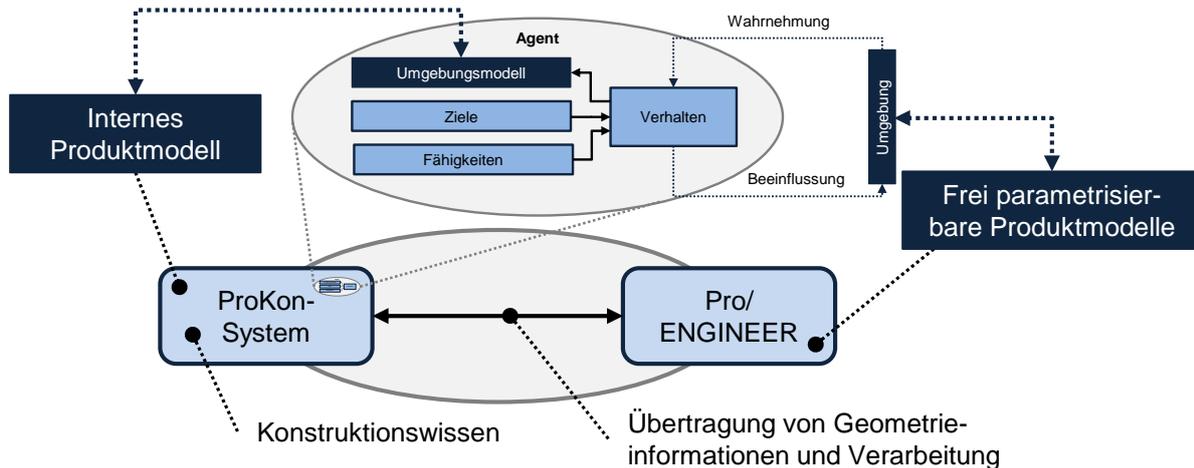
Die „Kopplung von CAD-System und Konstruktionssystem“, wie sie Bild 2.11 zeigt, kann für die Anbindung von Pro/ENGINEER an das ProKon-System nicht verwendet werden, da nach dem Agentenschema zufolge (siehe Bild 2.9), Agenten ein internes Umgebungsmodell besitzen. Dieses stellt eine Abbildung der „realen“ Umgebung dar (in diesem Fall das Produktmodell im CAD-System). Zudem werden in dieser Anbindungsvariante die Daten nur unidirektional vom Konstruktionssystem zum CAD-System transferiert.

Weiterhin ist die Anbindungsvariante „Einheitliches Systemkonzept“ aus Bild 2.11 aufgrund der fehlenden Übereinstimmung mit dem Agentenschema nicht für das ProKon-System anwendbar. In diesem Systemkonzept wird ein gemeinsames Produktmodell gefordert. Das Agentenschema sieht jedoch die Miteinbeziehung zweier unterschiedlicher Produktmodelle vor (siehe Bild 3.7):

- Umgebungsmodell → Internes Produktmodell im Agenten bzw. Agentensystem
- Umgebung → Frei parametrisierbares Produktmodell im CAD-System

Die Berücksichtigung des internen Umgebungsmodells der Agenten ist nur mit der Anbindungsvariante „Integration von CAD-System und Konstruktionssystem“ möglich (siehe Bild 3.7). Diese Anbindungsvariante von Spur und Krause [SPUR97] sieht zudem eine Übertragung von Geometrie vom CAD-System zum Konstruktionssystem, eine Verarbeitung im Konstruktionssystem und eine abschließende Rückübertragung zum CAD-System vor.

Für die Verarbeitung der Geometrie muss Wissen innerhalb einer Wissensbasis im Konstruktionssystem zur Verfügung stehen. Da es sich in der vorliegenden Arbeit bei dem Konstruktionssystem um ein Agentensystem handelt, wird aus diesem Grund im nächsten Abschnitt die Wissensbasis des ProKon-Systems beschrieben.



**Bild 3.7:** Verknüpfung des Agentenschemas mit der Anbindung von Konstruktionssystemen an CAD-Systeme

### 3.3 Struktur und Aufbau der Wissensbasis des ProKon-Systems

Die Wissensbasis hat die Aufgabe, das richtige Wissen in der richtigen Form für die Agenten zu speichern. Das richtige Wissen ist das Wissen, das die Agenten zur Erfüllung der Funktionalität benötigen. Das Wissen muss die Agenten befähigen, Produktmodelle auf Konsistenz zu prüfen, Lösungen zu finden und diese umzusetzen.

Unter Berücksichtigung des allgemeinen Agentenschemas (siehe Bild 3.8, oben) müssen die Agenten für die Erfüllung der Hauptfunktionen Konsistenzprüfung, Lösungsfindung und Lösungsumsetzung die Umgebung wahrnehmen. Zudem müssen

sie ihr internes Umgebungsmodell mithilfe von Zielen und Fähigkeiten (d. h. mit ihrem Verhalten) verändern.

Wie der Stand der Forschung zeigt, hat Lang [LANG08] Wissenstypen für die Wissensverarbeitung von Agentensystemen erarbeitet (Zielwissen, Umweltwissen und Strategiewissen), die im Folgenden mit dem Agentenschema in Einklang gebracht werden müssen. Für die Erfüllung der drei Hauptfunktionen sind zunächst alle Wissenstypen nach Lang [LANG08] notwendig (siehe Bild 3.8, Mitte). Zur Unterstützung des Zielwissens wird in der dieser Arbeit das Grundlagenwissen benötigt, das fundamentale Berechnungen und Regeln enthält, welche nicht im Zielwissen enthalten sind.

Der Fokus der Arbeit im ProKon-Projekt und somit der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf dem Wissen für die Konsistenzprüfung, da dort die Grundlagen für die Erfüllung der weiteren Hauptfunktionen gelegt werden. Unter Beachtung der Wissenstypen nach Lang [LANG08] ist für die Durchführung der Konsistenzprüfung das Wissen

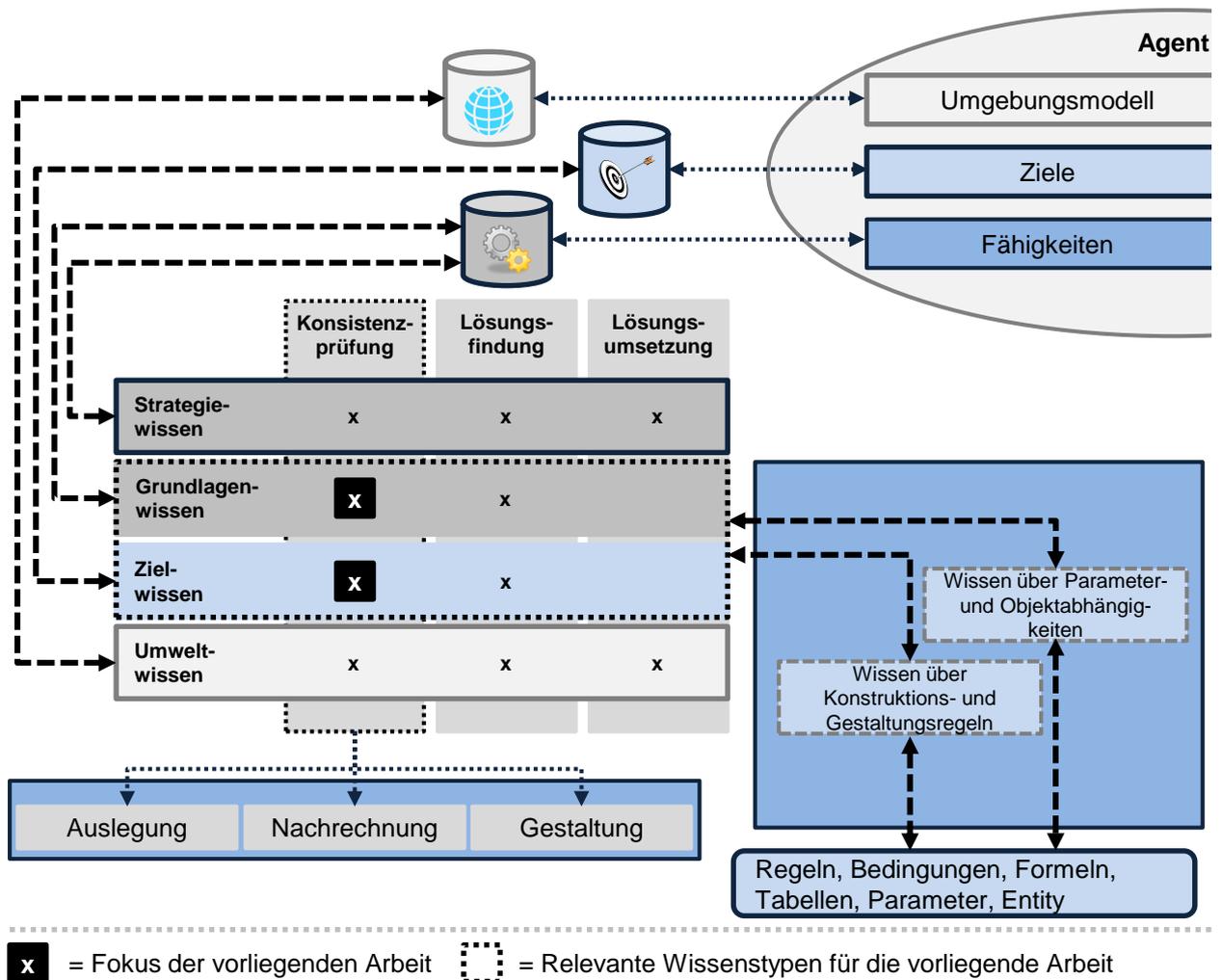
- über den optimalen Zustand der Konstruktion (Zielwissen),
- über Zusammenhänge in der Konstruktionstechnik (Grundlagenwissen),
- über den aktuellen Zustand der Konstruktion (Umweltwissen) und
- über Vorgehensweisen, anhand derer der Abstand zwischen dem aktuellen und dem optimalen Zustand minimiert wird, (Strategiewissen)

notwendig.

Wie aus der lösungsneutralen Formulierung der Funktionalität des ProKon-Systems aus Bild 3.2 zu entnehmen ist, ist für die Überprüfung der Funktion eines Produkts und der Anforderungen an das Produkt Wissen über die Auslegung und Nachrechnung von Maschinenelementen notwendig. Zudem wird für die Überprüfung der Gestaltung Wissen über DfX- und DtX-Richtlinien benötigt.

Die Überprüfung eines Produkts auf die Einhaltung der Funktion, der Anforderung und der Gestaltung wird vornehmlich durch die Repräsentation von Regeln ermöglicht. Sie beinhalten den oben genannten Zielzustand und lassen einen Vergleich mit dem aktuellen Zustand der Konstruktion zu. Es lässt sich eine Korrelation der Regeln mit dem Wissenstyp nach Haasis [HAASIS95B] „Wissen über Konstruktions- und Gestaltungsregeln“ ableiten. Konstruktionsregeln stellen die Regeln für die Überprüfung der Funktion und Anforderungen dar. Dem gegenüber repräsentieren die Gestaltungsregeln die Regeln für die Überprüfung der Gestaltung. Eine Auswertung dieser Regeln ist jedoch nur dann möglich, sofern die dafür notwendigen Parameter durch die Anwendung von

Formeln berechnet werden. In diesem Fall wird der Wissenstyp „Wissen über Parameter- und Objektabhängigkeiten“ von Haasis [HAASIS95B] benötigt (siehe Bild 3.8, rechts). Dabei wird die Abhängigkeit von Parametern innerhalb einer Formel ausgenutzt, die im mathematischen Sinne durch die allgemeine Funktionsbeschreibung ausgedrückt werden kann, wie am Beispiel der Berechnung des übertragbaren Drehmoment  $T_{ist}$  zu sehen ist:  $T_{ist} = f(S_R, p, D_F, l_F \text{ etc.})$ .



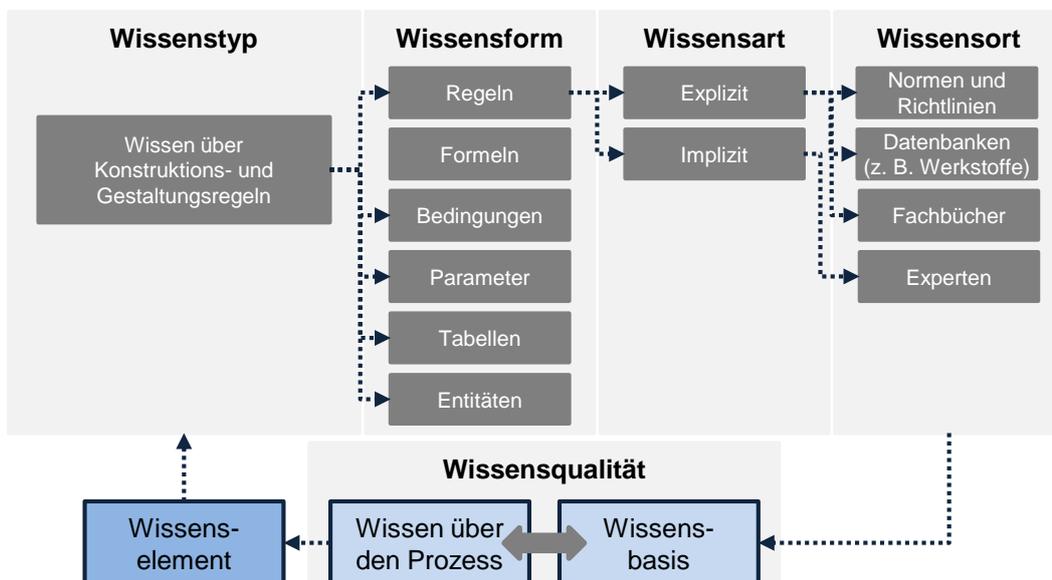
**Bild 3.8:** Notwendige Wissenstypen und Wissensformen zur Erfüllung der Hauptfunktionen des Basissystems

Das Umweltwissen wird in diesem eingeschränkten Kontext durch die produktmodellinterne Parametrisierung und durch Constraints (entspricht „Wissen über räumliche Beziehungen“ in Tabelle 2.1) sowie durch die Meta-Modelle (entspricht „Wissen konstruktive Objekte und relevante Attribute“ in Tabelle 2.1) repräsentiert. Das Strategiewissen entspricht agentenspezifischen Inferenzmechanismen. Das Umweltwissen und das Strategiewissen sind in Bild 3.8 nicht weiter untergliedert worden.

**Festlegung:** *Der Fokus der folgenden Arbeit liegt somit auf der Abbildung von Ziel- und Grundlagenwissen innerhalb der Konsistenzprüfung.*

Weiterhin können die Agenten das richtige Wissen nur dann einsetzen, sofern sie darauf zugreifen können. Hierzu wird Wissen in der richtigen Form benötigt, was die Existenz bestimmter Wissensformen in einer Struktur erfordert. Die Wissensformen innerhalb der Wissensbasis des ProKon-Systems werden ProKon-knowledge forms (PKF) genannt. Den Zusammenhang zwischen den Strukturparametern nach Roth et al. [ROTH10] haben Kratzer et al. [KRATZER12B, S. 1045] erarbeitet. Demnach lassen sich Wissenstypen durch Wissensformen abbilden, wie Bild 3.8 unten rechts zeigt. Weiterhin treten bestimmte Wissensformen in definierten Wissensarten auf. Letztlich sind diese Wissensarten mit Wissensorten gekoppelt. Die Wissensqualität wird als der Abgleich zwischen dem Wissen in der Wissensbasis und dem Wissen dargestellt, das für die Unterstützung des Konstruktionsprozesses notwendig ist. [KRATZER12B, S. 1045]

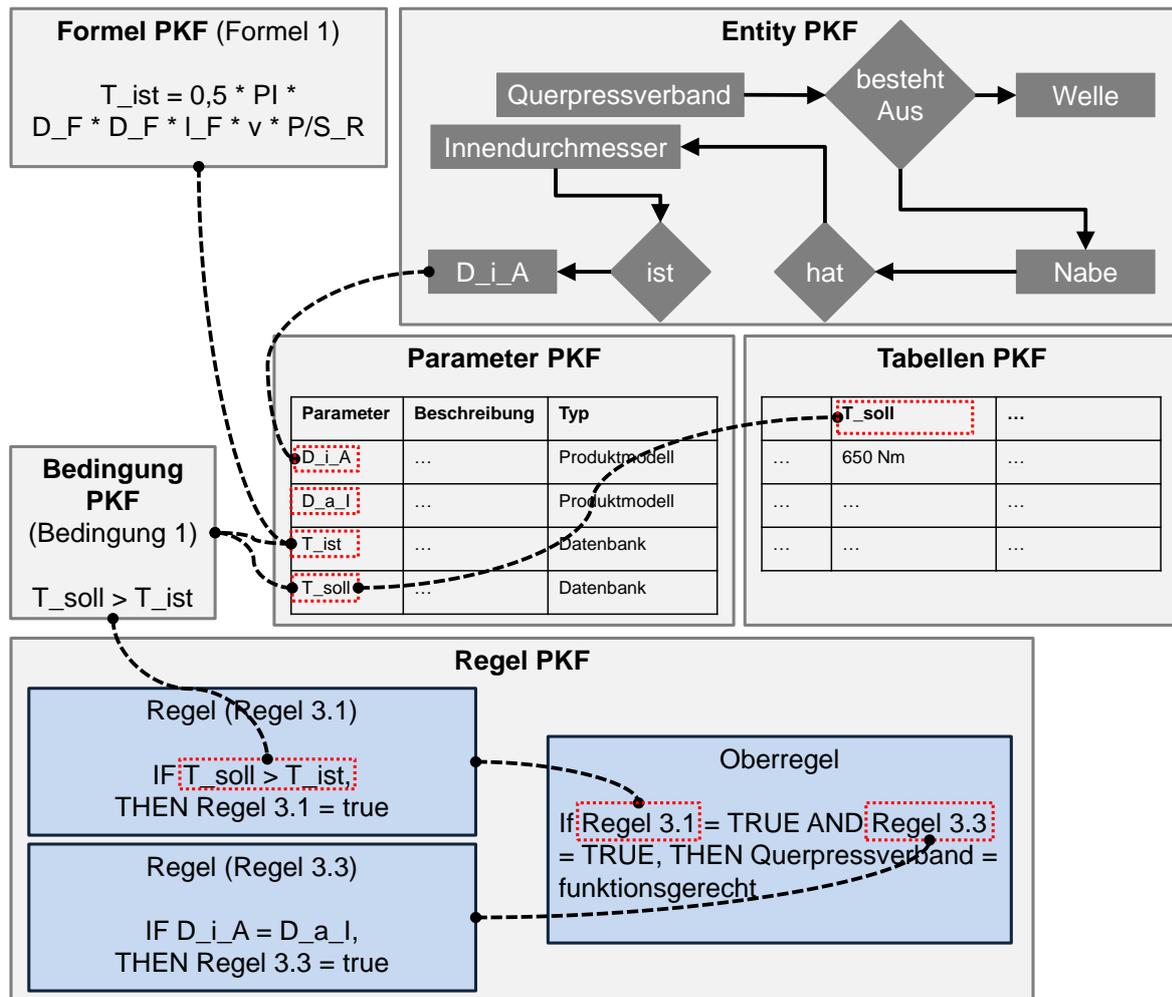
Bild 3.9 zeigt die Abhängigkeiten der Strukturparameter am Beispiel des Wissens über Konstruktions- und Gestaltungsregeln. Bis auf die Formel werden für die Abbildung des Wissenstyps alle Wissensformen benötigt. Dementgegen sind zur Abbildung von Wissen über Parameter- und Objektabhängigkeiten in erster Linie Formeln notwendig. Diese Abhängigkeiten sind aus Gründen der Übersicht in Bild 3.9 nicht dargestellt.



**Bild 3.9:** Zusammenhang der fünf Strukturparameter nach Kratzer et al. [KRATZER12B, S. 1045]

Bisher konnte identifiziert werden, dass zwei Wissenstypen zur Abbildung des Ziel- und Grundlagenwissens für die Konsistenzprüfung notwendig sind. Im ProKon-Projekt

wurde darüber hinaus empirisch ermittelt, dass die sechs Wissensformen aus Bild 3.9 zur Abbildung dieser Wissenstypen innerhalb der formalen Wissensbasis ausreichen. Ausschlaggebend für eine strukturierte Wissensbasis ist zudem die Kenntnis über die Verbindungen zwischen den Wissensformen. Dabei ist auf die Grundlagen der Wissensverarbeitung von Agentensystemen zurückzugreifen, wie diese im Stand der Forschung beschrieben wurden. Die folgenden Ausführungen können anhand Bild 3.10 nachvollzogen werden.



**Bild 3.10:** Zusammenhänge zwischen den einzelnen Wissensformen innerhalb der Wissensbasis des ProKon-Systems nach Kratzer et al. [KRATZER13C, S. 5]

Innerhalb der Konsistenzprüfung erfolgt die Analyse des Produktmodells mithilfe von Regeln. Aus diesem Grund stellen Regeln die wichtigste Wissensform dar, wobei aus Gründen der Modularität zwischen Oberregeln und Regeln unterschieden wird. Beide Regelarten setzen sich aus einer oder mehreren Bedingungen innerhalb des Bedingungsteils und einer nachfolgenden Schlussfolgerung zusammen [RAUSCHER11B,

S. 38]. Die Schlussfolgerung unterscheidet sich je nachdem, ob es sich um eine Oberregel oder um eine Regel handelt [RAUSCHER10C, S. 23].

Regeln beschreiben innerhalb ihres Bedingungsteils u. a. den Zielzustand eines Produktmodells in Bezug auf eine DfX-Richtlinie. Die Schlussfolgerung der Regel lautet: „= TRUE“. Folgendes Beispiel zeigt diesen Sachverhalt auf:

$$\text{IF } T_{\text{ist}} > T_{\text{soll}}, \text{ THEN Regel 3.1} = \text{TRUE} \quad (3.1)$$

Zur Auswertung von Regeln ist die Berechnung von einzelnen Parametern durch Formeln notwendig. Beispielsweise ist das tatsächlich zu übertragene Drehmoment des Querpressverbands  $T_{\text{ist}}$  in der Regel (3.1) zu berechnen. Nur so kann innerhalb des Bedingungsteils entschieden werden, ob dieses größer ist als das Soll-Drehmoment  $T_{\text{soll}}$  aus der Anforderungsliste.

Eine Oberregel verknüpft die Schlussfolgerungen mehrerer, thematisch zu einer DfX-Richtlinie zusammengehörender Regeln im Bedingungsteil. Die Oberregel endet mit einer Schlussfolgerung, die eine Aussage über die Erfüllung der im Bedingungsteil behandelten DfX-Richtlinie für ein Bauteil, Baugruppe oder Verbindung enthält. Folgende beispielhafte Oberregel (3.2) beinhaltet u. a. Regel (3.1) im Bedingungsteil. Da Regel (3.1) die funktionsgerechte Gestaltung des Querpressverbands bzgl. der Drehmomentübertragung definiert, ist die Schlussfolgerung derartig ausgeführt.

$$\text{IF Regel 3.1} = \text{TRUE AND Regel 3.3} = \text{TRUE}, \text{ THEN} \quad (3.2) \\ \text{Querpressverband} = \text{funktionsgerecht}$$

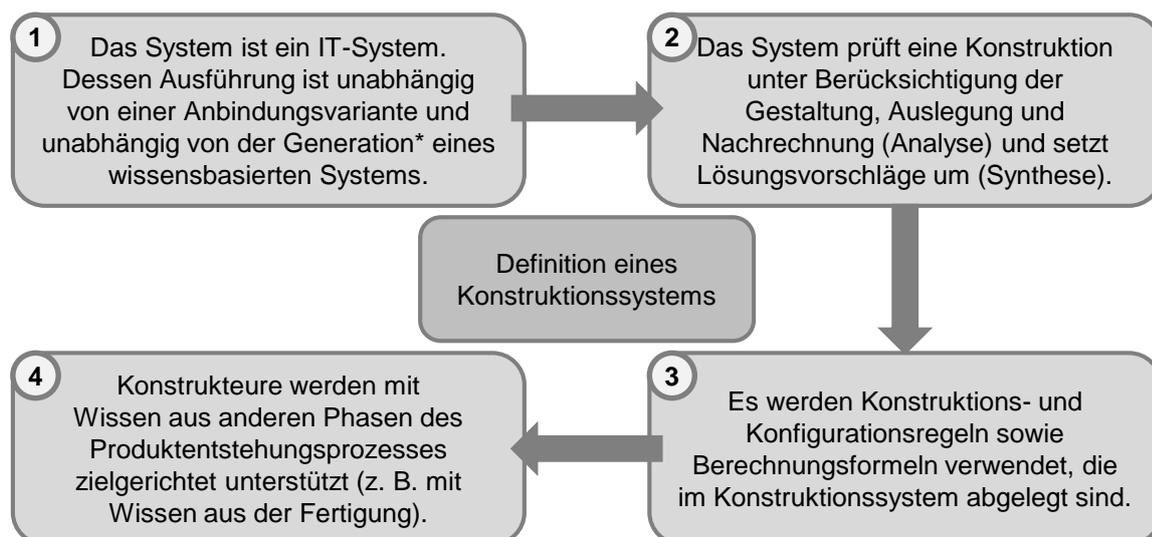
Zentrales Beschreibungsmittel stellen die Parameter, wie z. B.  $T_{\text{ist}}$ , in der Wissensbasis dar. Es werden alle in der Wissensbasis verwendeten Parameter innerhalb von Parameter-PKF gespeichert, um die Konsistenz und Abgeschlossenheit zu gewährleisten. Dort sind neben der Parameterbezeichnung die Beschreibung und die implizite Herkunft als Typ aufgeführt. Es existieren mit dem Produktmodell und der internen Datenbank hierfür zwei Typen, die als Variable und als Konstante auftreten können. Bei der Typisierung „Produktmodell“ ist der Parameter über die CAD-Schnittstelle aus dem Produktmodell herauszulesen, d. h. es ist eine Anfrage an die Objektagenten notwendig. Sofern bzgl. der internen Datenbank eine Variable vorliegt, ist eine Formel auszuwerten. Die Tabelle speichert Werte bzgl. eines Parameters, wenn dieser als Konstante typisiert wurde. Letztlich werden alle Parameter im Entity PKF beschrieben. Dieses beschreibt konkrete oder abstrakte Gegenstände (= Entität) mithilfe von Relationen und Begriffen. So erfolgt die Definition einer eindeutigen Sprache innerhalb des Agentensystems. [RAUSCHER11B, S. 38]

## 4 Analyse der Grundlagen

Innerhalb dieses Kapitels findet die Untersuchung des Stands der Forschung und des ProKon-Systems statt. Zunächst ist zu klären, wie sich klassische von agentenbasierten Konstruktionssystemen unterscheiden und ob bereits Systeme entwickelt wurden, die ähnliche oder gleiche Zielsetzungen wie das ProKon-System verfolgen. Anschließend wird das ProKon-System in die zuvor analysierten Konstruktionssysteme eingeordnet (siehe Abschnitt 4.1). Für die Ableitung von Anforderungen wird die Entwicklung des ProKon-Kernsystems analysiert (siehe Abschnitt 4.2). Die Anforderungen an die eigene Vorgehensweise werden beschrieben und für den Vergleich der Vorgehensweisen verwendet (siehe Abschnitt 4.3). Abschließend werden Schlussfolgerungen gezogen (siehe Abschnitt 4.4).

### 4.1 Analyse der Konstruktionssysteme

Konstruktionssysteme lassen sich generell in den Kontext des Knowledge-based Engineering (KBE) einordnen. Sie stellen dementsprechend eine Maßnahme des technologischen Wissensmanagements zur Unterstützung von Konstrukteuren in unterschiedlichen Phasen des Konstruktionsprozesses dar. Unter Berücksichtigung der Grundlagen des KBE wird für die vorliegende Arbeit eine Definition eines Konstruktionssystems benötigt. Die erarbeitete Definition zeigt Bild 4.1.



\* = Wissensbasierte Systeme erster Generation (z. B. regelbasierte Systeme) oder zweiter Generation (z. B. agentenbasierte Systeme)

**Bild 4.1:** Definition eines Konstruktionssystems

Bei der Beantwortung von Forschungsfrage 5 (siehe Abschnitt 1.4) ist das ProKon-System gegenüber den bereits existierenden Konstruktionssystemen abzugrenzen. Hierfür sind die Funktions- und Wirkungsweise der Systeme und die damit in Verbindung stehenden Zielsetzungen zu analysieren.

Im weiteren Verlauf des Abschnitts werden mithilfe der Bestandteile der in Bild 4.1 genannten Definition zunächst die klassischen Konstruktionssysteme analysiert (siehe Abschnitt 4.1.1). Die Analyse der agentenbasierten Konstruktionssysteme erfolgt ebenfalls mit der eigenen Definition und wird in Abschnitt 4.1.2 aufgeführt. In Abschnitt 4.1.3 erfolgt die Zusammenführung der Ergebnisse.

#### **4.1.1 Klassische Konstruktionssysteme**

In diesem Abschnitt werden die in Abschnitt 2.2.5 genannten klassischen Konstruktionssysteme mit der eigenen Definition eines Konstruktionssystems abgeglichen. Zudem wird analysiert, in welchen Phasen des Konstruktionsprozesses nach Pahl et al. [PAHL07] die Unterstützung des Konstrukteurs maßgeblich stattfindet. Es lässt sich so schlussfolgern, inwieweit bereits existierende, klassische Konstruktionssysteme die Ziele des ProKon-Systems verfolgen.

Die Analyse basiert auf der Arbeit von Wolf [WOLF09], die unter Anleitung des Verfassers der vorliegenden Arbeit erstellt wurde. Tabelle 4.1 stellt die in Abschnitt 2.2.5 eingeführten Systeme vor und beinhaltet die Korrelation der Systeme mit den Phasen des Konstruktionsprozesses und den Bestandteilen der eigenen Definition eines Konstruktionssystems. Die Zahlen orientieren sich dabei an denen aus Bild 4.1.

Tabelle 4.1 erfährt durch die Untersuchung der Inhalte und der Zielsetzungen jedes Konstruktionssystems in Tabelle A.1.1 (siehe Anhang A.1) eine Erweiterung. Unter Beachtung beider Tabellen fällt auf, dass sich sieben Systeme nur mit der Unterstützung von Konstrukteuren in der Entwurfsphase beschäftigen. Zwei Systeme sind nur in der Konzeptphase angesiedelt. Die Unterstützung von Konstrukteuren in der Planungsphase leisten zwei Systeme. Letztlich entwickelten Feldhusen und Groeger [FELDHUSEN89; GROEGER90], u. a. Bachschuster [BACHSCHUSTER97] und Wartzack [WARTZACK01] mehr als eine Phase umfassende Konstruktionssysteme. Insgesamt stimmen sechs Systeme mit der eigens aufgestellten Definition überein.

Da einige Systeme, wie bspw. IDA [EVERSHEIM88] und das Konstruktionssystem mfk, die Konzept- und Entwurfsphase durchgehend unterstützen, kann von einer „Konstruktion auf Knopfdruck“ gesprochen werden. Aufgrund der Freiheitsgrade in der

Konstruktion ist dies jedoch eine (nicht erreichbare) Vision. Wie der Stand der Forschung zeigt, sind besonders Ansätze erfolgreich, die eine spezifische Unterstützung bspw. in einem definierten Schritt des Konstruktionsprozesses bieten. Ein Beispiel hierfür ist das Konstruktionssystem WKS nach Katzenbach et al. [KATZENBACH95].

Autor(en)	Phase	1	2	3	4
<b>Eversheim und Neitzel</b> [EVERSHEIM88]	Konzipieren	●	○	⊗	●
<b>Ehrlenspiel u. Tropschuh</b> [EHRLENSPIEL89]	Planen und Klären	●	○	○	●
<b>Lehmann</b> [LEHMANN89]	Entwerfen	●	○	⊗	●
<b>Feldhusen und Groeger</b> [FELDHUSEN89;GROEGER90]	Alle Phasen	●	⊗	●	●
<b>Schwenke</b> [SCHWENKE91]	Entwerfen	●	●	●	●
<b>Groeger</b> [GROEGER92]	Entwerfen	●	○	○	○
<b>Spohr et al.</b> [SPOHR92]	Entwerfen	●	○	●	●
<b>Haasis</b> [HAASIS95A, HAASIS95B]	Entwerfen	●	●	●	●
<b>Katzenbach et al.</b> [KATZENBACH95]	Entwerfen	●	●	●	●
<b>Behr</b> [BEHR96]	Entwerfen	●	●	●	●
<b>U. a. Bachschuster</b> [BACHSCHUSTER97]	Alle Phasen bis auf Planen	●	●	●	●
<b>Wartzack</b> [WARTZACK01]	Konzipieren & Entwerfen	●	●	●	●
<b>U. a. Bludau und Welp</b> [BLUDAU02]	Konzipieren	●	○	●	●

- = Eigene Definition wird durch das Konstruktionssystem in diesem Punkt erfüllt
- = Eigene Definition wird durch das Konstruktionssystem in diesem Punkt nicht erfüllt
- ⊗ = Zum Zeitpunkt der Analyse waren zu wenig Informationen verfügbar

**Tabelle 4.1:** Vergleich der klassischen Konstruktionssysteme

Wie der Analyse aus Tabelle 4.1 zu entnehmen ist, sind Konstruktionssysteme identifiziert worden, die ähnliche Zielsetzungen wie das ProKon-System verfolgen. Speziell das Konstruktionssystem mfk nach Bachschuster [BACHSCHUSTER97] und anderen sowie das Assistenzsystem zur Umsetzung des Predictive Engineerings nach Wartzack [WARTZACK01] stellen ähnliche Systeme dar. Beide Systeme verfügen über Wissen zur Prüfung von Produktmodellen (Analyse) und können darauf basierend das Produktmodell verändern (Synthese). Wartzack [WARTZACK01] entwickelte das Konstruktionssystem mfk u. a. in dem Punkt weiter, dass Konstrukteure nicht auf geometrische Grundkörper zurückgreifen müssen. Vielmehr können sie frei definierbare Produktmodelle analysieren lassen, wobei diese anschließend in der Synthese angepasst werden.

#### **4.1.2 Agentenbasierte Konstruktionssysteme**

Wie im Stand der Forschung identifiziert wurde, können Konstrukteure durch drei Systemformen von agentenbasierten Konstruktionssystemen unterstützt werden: „personal assistants“, „collaborative agent systems“ und „mobile agents“. Die Systemform der personal assistants entspricht der eigens aufgestellten Definition eines Konstruktionssystems aus Bild 4.1 am ehesten.

Diese Systeme unterstützen Konstrukteure direkt, indem die Agenten bspw. eine Konsistenzprüfung durchführen. Unter Anwendung von Informationen und Wissen erfolgt eine Verbesserung von bestehenden Produktmodellen. Von 23 untersuchten Systemen im deutsch- und englischsprachigen Raum entsprechen neun dieser Systemform. Diese werden in Tabelle 4.2 beschrieben und nach den in Tabelle 4.1 angewandten Kriterien klassifiziert. So kann später eine Aussage getroffen werden, ob die Ziele des ProKon-Systems bereits durch ein existierendes System adäquat erfüllt worden sind.

Die in Tabelle 4.2 analysierten Systeme werden durch Ausführungen aus Tabelle A.2.1 (siehe Anhang A.2) ergänzt. Es ist festzustellen, dass mit agentenbasierten Konstruktionssystemen Konstrukteure in vielfältigerer Weise als mit klassischen Konstruktionssystemen unterstützt werden können. Obwohl alle zur Systemform der personal assistants zählen, finden sich weniger konkrete Ansätze zur Unterstützung des Konstrukteurs. Zum Teil beschäftigen sich die Ansätze mit der Weiterentwicklung hinsichtlich der Lernfähigkeit, wie es bspw. Saunders und Gero [SAUNDERS04] tun.

Autor(en)	Phase	1	2	3	4
<b>Cutkosky et al.</b> [CUTKOSKY93]	Konzipieren & Entwerfen	●	⊗	⊗	●
<b>Frost und Cutkosky</b> [FROST96]	Entwerfen	●	●	●	●
<b>Mori und Cutkosky</b> [MORI98]	Entwerfen	●	○	●	●
<b>Bermell-Garcia et al.</b> [BERMELL-GARCIA02]	Entwerfen	●	●	●	●
<b>Campell et al.</b> [CAMPELL99, CAMPELL03]	Entwerfen	●	●	●	●
<b>Saunders und Gero</b> [SAUNDERS04]	-	●	○	○	○
<b>Toledo Muñoz</b> [TOLEDO MUÑOZ06]	Entwerfen	●	●	●	●
<b>Wagner</b> [WAGNER08]	Konzipieren & Entwerfen	●	●	●	●
<b>Mahdjoub et al.</b> [MAHDJOUR10]	-	●	○	○	○

- = Eigene Definition wird durch das Konstruktionssystem in diesem Punkt erfüllt
- = Eigene Definition wird durch das Konstruktionssystem in diesem Punkt nicht erfüllt
- ⊗ = Zum Zeitpunkt der Analyse waren zu wenig Informationen verfügbar

**Tabelle 4.2:** Vergleich der agentenbasierten Konstruktionssysteme

Dementgegen besitzen vor allem die Arbeiten von Toledo Muñoz [TOLEDO MUÑOZ06] und Wagner [WAGNER08] für das ProKon-System eine Relevanz. In beiden Arbeiten wird der Fokus auf Analyse und Synthese von Produktmodellen gelegt. Die Arbeit von Toledo Muñoz [TOLEDO MUÑOZ06] ist insofern interessant, als dort ein für die Überprüfung von Verbindungen zwischen Fahrzeugteilen adäquater Agentenansatz entwickelt wurde. Dieser Ansatz kann mit Modifikationen für das ProKon-System genutzt werden. Der Ansatz von Wagner [WAGNER08] ähnelt dem des ProKon-Systems, da die dort behandelten Komponenten Objekten im CAD-System entsprechen.

#### 4.1.3 Abgrenzung der Systemarten

Beide Systemarten sind eine Teilmenge der Konstruktionssysteme, wobei sie das Ziel verfolgen, Konstrukteure zu unterstützen. Die Mehrheit der agentenbasierten Konstruktionssysteme und der klassischen Konstruktionssysteme beschäftigen sich mit der

Analyse und mit der Synthese gleichermaßen. Der Schwerpunkt ist jeweils verschieden. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass beide Systemarten zu einem hohen Maß Regeln verwenden, um Konstruktionen auf Konsistenz zu überprüfen und daraufhin Lösungen zu erarbeiten.

Ein Unterschied ist am Veröffentlichungszeitpunkt fest zu machen, wobei damit auf den eigentlichen Entwicklungszeitpunkt rückgeschlossen werden kann. Insgesamt standen bei beiden Systemarten 22 Systeme für diese Auswertung zur Verfügung. Es ist zu erkennen, dass der Großteil der agentenbasierten Systeme später entwickelt wurde als die untersuchten klassischen Konstruktionssysteme. Diese Abgrenzung ist zudem an der Unterscheidung zwischen den wissensbasierten Systemen der ersten und zweiten Generation festzumachen (siehe Tabelle 2.5).

Die Ergebnisse bestätigen die Aussage im Stand der Forschung, dass die Agententechnologie zwischen dem Jahr 2000 und dem Jahr 2010 ein Hoch erlebt hat. In den späten Achtzigerjahren und Mitte der neunziger Jahre wurde viel Aufwand in die Entwicklung von klassischen Konstruktionssystemen gesteckt. Die anfänglich gesteckten Ziele und Erwartungen konnten nicht erfüllt werden. Klassische Konstruktionssysteme kamen an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit, und sie wurden selten in der industriellen Praxis eingesetzt. Durchgesetzt haben sich Insellösungen, die auf eine spezifische Anwendung ausgelegt sind. Ob agentenbasierte Konstruktionssysteme wiederum die Ziele und Erwartungen erfüllen, ist aus heutiger Sicht nicht abschätzbar.

## **4.2 Analyse des ProKon-Systems**

Nach der Analyse der Konstruktionssysteme kann das ProKon-System in die bestehenden klassischen und agentenbasierten Konstruktionssysteme eingeordnet werden (siehe Abschnitt 4.2.1). Anschließend findet die Analyse der Vorgehensweise zur Entwicklung des ProKon-Kernsystems statt, um so Anforderungen und mögliche Bestandteile der eigenen Vorgehensweise ableiten zu können.

### **4.2.1 Einordnung des ProKon-Systems**

Eine Einordnung des ProKon-Systems ist notwendig, um eine Abgrenzung zu den bisher existierenden Systemen vorzunehmen. Unter Beachtung der analysierten Systeme in Tabelle 4.2 und Tabelle A.2.1 (siehe Anhang A.2) ist kein agentenbasiertes Konstruktionssystem identifiziert worden, das die anfänglich aufgestellte Zielsetzung des ProKon-Systems adäquat löst. Das ProKon-System lässt sich in die von Lander

[LANDER97] eingeführte Systemform der personal assistants einordnen. Es stellt ein agentenbasiertes Konstruktionssystem dar, das Konstrukteure im Umgang mit einem CAD-System unterstützt. Es ist weder direkt an der Kollaboration von Konstrukteuren an räumlich voneinander entfernten Orten beteiligt noch besteht das ProKon-System aus logisch und/oder physisch mobilen Agenten.

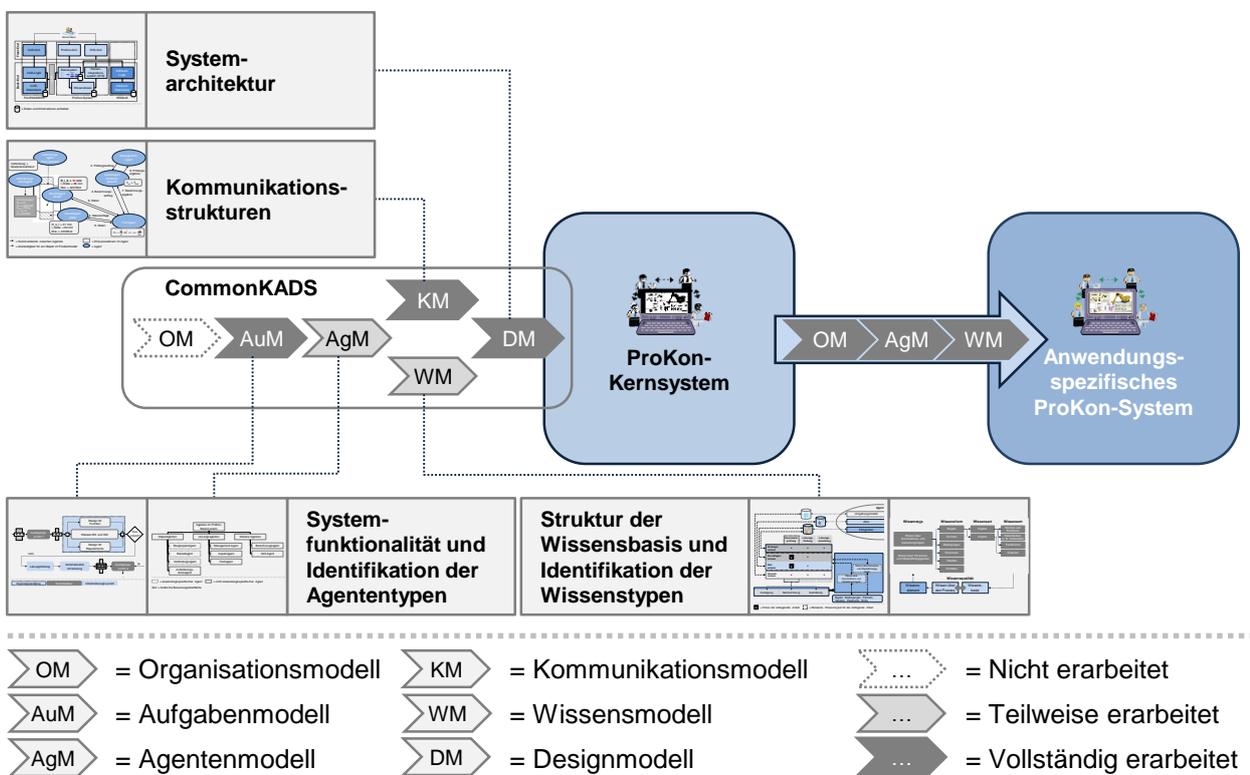
Das ProKon-System bildet für die Lösung von Problemen z. T. das menschliche Vorgehen ab. Es ist eine Realisierung eines komplexen Computersystems. Beide Bestandteile der Definition eines wissensbasierten Systems aus Abschnitt 2.2.1 sind erfüllt. Eine Verwendung des Begriffs des wissensbasierten Systems ist zulässig. Die Eingrenzung auf ein Expertensystem ist erlaubt, da der Inhalt der Wissensbasis aus Expertenwissen besteht. Letztlich ist die eigens aufgestellte Definition eines Konstruktionssystems auf das ProKon-System anwendbar. Das ProKon-System ist extern vom CAD-System und unterstützt Konstrukteure mit Wissen aus anderen Phasen des Produktentstehungsprozesses bei der Analyse und Synthese von Produktmodellen (z. B. mit Wissen aus der Fertigung). Es nutzt Konstruktions- und Konfigurationsregeln sowie Formeln, die nicht im Produktmodell selbst hinterlegt sind.

#### **4.2.2 Analyse der Entwicklung des Kernsystems**

Die Einsetzbarkeit und die Wirkung der Vorgehensweise CommonKADS wurde, wie dem Stand der Forschung zu entnehmen ist, vielfach in unterschiedlichen Domänen bei der Entwicklung von wissensbasierten Systemen nachgewiesen. Die Modelle in CommonKADS zeigen, welche Inhalte bei der Entwicklung eines wissensbasierten Systems insgesamt zu erarbeiten sind. Bauer [BAUER13, S. 68] zufolge kann die Entwicklung eines Agentensystems, wie dem ProKon-System, an den Modellen von CommonKADS nachvollzogen werden. Für eine Identifikation der Inhalte, die nicht oder nur randständig bei der Entwicklung des Kernsystems erarbeitet wurden, werden somit im Folgenden die Ergebnisse aus Kapitel 3 mit den Modellen aus CommonKADS verglichen. Es kann rückgeschlossen werden, welche Inhalte für ein anwendungsspezifisches ProKon-System im Weiteren zu entwickeln sind.

Beim ProKon-Kernsystem handelt es sich um kein vollständig entwickeltes wissensbasiertes System, da es Konstrukteure aufgrund der fehlenden Ausrichtung auf eine Anwendung nicht unterstützen kann. Die agentenneutrale Funktionsweise des ProKon-Systems lässt sich dem Aufgabenmodell zuordnen (siehe „AuM“ in Bild 4.2). Dort erfolgt die Definition der Hauptfunktionen Konsistenzprüfung, Lösungsfindung und Lösungs-

umsetzung. Zudem wurden die Agententypen und deren agentenspezifischen Mechanismen zur Erfüllung der Hauptfunktionen beschrieben. Beide Inhalte stellen das Agentenmodell dar („AgM“). Die Erarbeitung von Kommunikationsstrukturen zwischen den Agenten entspricht dem Kommunikationsmodell aus CommonKADS („KM“). Bei der Erarbeitung der Struktur der Wissensbasis erfolgte die grundlegende Entwicklung des Wissensmodells („WM“). Es ist bekannt, welches Wissen den Agenten zugewiesen werden muss, sodass sie ihre Funktionalitäten erbringen. Letztlich kann dem Designmodell u. a. die Systemarchitektur mit der Konzeption der Schnittstellen zu Pro/ENGINEER und zu KISSsoft zugerechnet werden („DM“).



**Bild 4.2:** Analyse der Entwicklung des ProKon-Kernsystems

Als Schlussfolgerung aus der Gegenüberstellung der Vorgehensweise CommonKADS mit den Inhalten, die im ProKon-Projekt erarbeitet wurden, lässt sich ableiten, dass die Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems zweigeteilt ist (siehe Forschungsfrage 6 in Abschnitt 1.4).

- Für die Entwicklung des Kernsystems werden Aufgaben-, Agenten-, Kommunikations-, Wissens- und Designmodell benötigt. Das Kernsystem muss für die weitere Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems nicht mehr in dessen Grundfunktionalitäten verändert werden.

- Für die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems auf Basis des Kernsystems muss das Organisationsmodell ganzheitlich erarbeitet werden (siehe „OM“ in Bild 4.2, rechts). Das Agentenmodell und das Wissensmodell müssen vervollständigt werden („AgM“ und „WM“ in Bild 4.2, rechts), indem die Agenten und das Wissen auf die Anwendung ausgerichtet werden.

### **4.3 Analyse der Vorgehensweisen**

Nach der Beschreibung bereits existierender Vorgehensweisen in Abschnitt 2.3 werden zunächst Anforderungen an die eigene Vorgehensweise aufgestellt (siehe Abschnitt 4.3.1). Anschließend erfolgt in Abschnitt 4.3.2 die Korrelation zwischen den Vorgehensweisen und den Anforderungen. Ziel dieses Vergleichs ist es, herauszufinden, ob die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit nicht bereits erreicht worden ist. Zudem soll die Notwendigkeit einer neuen Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems dargelegt werden.

#### **4.3.1 Anforderungen an die eigene Vorgehensweise**

Anforderungen markieren den Startpunkt eines Entwicklungsprozesses und werden aus Sicht des Entwicklers und/oder aus Sicht des Kunden definiert. Sie können als ein Synthesekonstrukt verstanden werden, das für die fortlaufende Ableitung von Funktionen und Wirkprinzipien als Grundlage dient. Hierbei werden die Anforderungen für die Entwicklung eines Produkts i. w. S. verwendet. Anforderungen stellen zudem eine Maßnahme dar, mit denen ein bereits erstelltes Produkt verifiziert werden kann (Analyse). Innerhalb der vorliegenden Arbeit werden die Anforderungen zunächst für eine Analyse von bestehenden Vorgehensweisen eingesetzt. In Kapitel 6 dienen sie bei der eigentlichen Erarbeitung der Vorgehensweise als Unterstützung der Synthese. In Kapitel 7 werden die Anforderungen letztlich wieder zur Analyse benötigt.

Die Unterteilung von Anforderungen erfolgt in allgemeingültige Anforderungen und in spezifische Anforderungen. Für die allgemeingültigen Anforderungen wurde die Arbeit von Keller und Binz [KELLER09] berücksichtigt. Sie definieren Anforderungen an Methodiken im Bereich der Konstruktion und Produktentwicklung. Acht Kategorien klassifizieren Anforderungen an Methodiken: Überprüfbarkeit, praktische Relevanz, Verständlichkeit, Problemorientiertheit, Struktur und Verträglichkeit, Flexibilität, Zweckmäßigkeit und wissenschaftliche Korrektheit [KELLER09, S. 206]. Aus diesen Kategorien werden zwei Anforderungen für den Vergleich der Vorgehensweisen berücksichtigt, da

die Erfüllung der restlichen Anforderungen innerhalb einer Literaturrecherche nicht ermittelt werden kann (z. B. wissenschaftliche Validität und Erlernbarkeit). Dies geht meist auf die unzureichende Beschreibung in der Literatur zurück.

- A1: Die Vorgehensweise muss eine Flexibilität aufweisen, damit der Wissensingenieur nur die Bausteine verwenden muss, die zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems notwendig sind.
- A2: Die Vorgehensweise muss so detailliert ausgearbeitet sein, dass der Wissensingenieur in der Lage ist, die Vorgehensweise ohne weitere Unterstützung durchzuführen.

Neben den allgemeingültigen Anforderungen sind spezifische Anforderungen zu identifizieren. Diese orientieren sich nach den Erkenntnissen aus dem untersuchten Stand der Forschung. Darüber hinaus sind die Ergebnisse aus dem Abgleich zwischen CommonKADS und den entwickelten Inhalten des ProKon-Kernsystems zu berücksichtigen. Demnach sind für die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems das Organisationsmodell, das Agentenmodell und das Wissensmodell maßgebend.

Zentral sind die Aussagen von Schreiber et al. [SCHREIBER02], Stokes [STOKES01] und Verhagen et al. [VERHAGEN12], die eine Analyse des Systems und der Organisation fordern, um ein IT-System adäquat in ein Unternehmen zu integrieren. Unter Beachtung des Konstruktionssystems nach Hubka und Eder [HUBKA92] können der Operator und die Operanden als Analysebereiche verwendet werden, da sie den Konstruktionsbereich beschreiben. Die Vorgehensweise muss Mittel bereitstellen, um das System und die Organisation gleichermaßen analysieren zu können. Es leiten sich daraus die Anforderungen A3 bis A8 ab, deren Beschreibung in Tabelle 4.3 zu finden ist.

Wie der Stand der Forschung zeigt, funktionieren Agentensysteme nur, sofern die richtigen Agenten identifiziert werden können. Klassische Vorgehensweisen lösen dieses Problem u. a. mit einer Ziel- und Rollenanalyse. Diese Methoden stellen die Verbindung zwischen der Aufgabenbeschreibung für das System und der Wissensakquise zur Verarbeitung des Wissens dar. Mithilfe der Vorgehensweise muss es möglich sein, die Agenten zu identifizieren, die für die Unterstützung von Konstrukteuren notwendig sind. Daraus leitet sich Anforderung A9 ab (siehe Tabelle 4.3).

Anforderung	Beschreibung der Anforderung
A1	Die Vorgehensweise muss zu einem gewissen Grad eine Flexibilität aufweisen, sodass der Wissensingenieur nur die Bausteine verwenden muss, die zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems notwendig sind.
A2	Die Vorgehensweise muss so detailliert ausgearbeitet sein, so dass der Wissensingenieur in der Lage ist, ohne weitreichende Unterstützung die drei vorgestellten Modelle durchzuführen.
A3	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, das Unternehmen und die Anwendung zu analysieren, um entscheiden zu können, ob die Entwicklung eines ProKon-Systems zweckmäßig ist.
A4	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, das Umfeld systematisch zu analysieren, um daraus ein Systemverständnis zu erlangen.
A5	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, das Produkt als Konstruktionsobjekt systematisch zu analysieren, um daraus ein Systemverständnis zu erlangen.
A6	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, den Konstruktionsprozess systematisch zu analysieren, um daraus ein Systemverständnis zu erlangen.
A7	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, die später mit dem ProKon-System arbeitenden Konstrukteure systematisch zu charakterisieren, um daraus ein Systemverständnis zu erlangen.
A8	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, ein Entscheidungsdokument über die weitere Entwicklung des ProKon-Systems zu erstellen.
A9	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, die Agenten zu identifizieren, die für die adäquate Unterstützung der Anwendung notwendig sind.
A10	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, Soll-Wissenselemente auf Basis des Konstruktionsprozesses ableiten zu können.
A11	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, Wissensorte im Unternehmen zu identifizieren, die in der Phase der Wissenserhebung verwendet werden können.
A12	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, bereits bestehende Methoden zur Wissenserhebung zu berücksichtigen.
A13	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, sich eine Übersicht über die Wissensdomäne zu verschaffen, um sich effektiv in ein u. U. fremdes Gebiet einzuarbeiten.
A14	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, eine informale Wissensbasis aufzubauen, die im Unternehmen für die Sicherung des Wissens verwendet werden kann.
A15	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, eine informale Wissensbasis aufzubauen, die als Grundlage für das ProKon-Wissensintegrationssystem verwendet werden kann.
A16	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, redundante Wissensinhalte in der informale Wissensbasis bereits bei der Erstellung zu identifizieren und zu beseitigen.
A17	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, widersprüchliche Wissensinhalte in der informale Wissensbasis bereits bei der Erstellung zu identifizieren und zu beseitigen.
A18	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, das Wissen in einer Form bereitzustellen, dass der Softwareingenieur zu einer formalen Integration befähigt wird.
A19	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, das richtige Wissen in Bezug auf die Anwendung zu akquirieren.
A20	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, den ursprünglichen Inhalt des Wissens nicht zu verfälschen.
A21	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, den richtigen Agenten Konstruktionswissen zuweisen zu können.
A22	Die Vorgehensweise muss den Wissensingenieur dabei unterstützen, die konzeptionellen Grundlagen zur Anbindung des ProKon-Systems an ein 3D-CAD-System zu legen.

**Tabelle 4.3:** Anforderungen an die Vorgehensweise in der vorliegenden Arbeit

Die identifizierten Agenten greifen auf Wissen zu, das in mehrere agentenspezifische Wissensbasen und in eine zentrale Wissensbasis integriert ist. Dies haben Luger [LUGER01], Stollberg [STOLLBERG02] und Krempels [KREMPELS09] beschrieben. Mithilfe der Vorgehensweise muss der Wissensingenieur in der Lage sein, das richtige Wissen im Sinne der Anwendung den richtigen Agenten zuzuweisen. Durch die Vorgehensweise darf das in den Wissensorten enthaltene Wissen nicht verfälscht werden.

Wie der Stand der Forschung zeigt, geht der Integration des Wissens eine Wissensakquise voraus, in der das Wissen erhoben, analysiert und repräsentiert wird. Unter Zuhilfenahme der Unterscheidung zwischen Wissens- und Symbolebene nach Newell [NEWELL82] ist das Wissen nach der Repräsentation zunächst auf einer informalen Ebene darzustellen. Die Vorgehensweise muss die drei Phasen der Wissensakquise beinhalten und das Wissen in einer Form aufbereiten, sodass es für den Softwareingenieur auf der Symbolebene verständlich ist. Die Verständlichkeit erfordert eine konsistente, widerspruchs- und redundanzfreie Wissensrepräsentation. Aus dem Bereich der Wissensverarbeitung leiten sich die Anforderungen A10 bis A22 ab, wie Tabelle 4.3 zeigt.

#### **4.3.2 Vergleich der Vorgehensweisen**

Für den Vergleich der Vorgehensweisen wurden alle in den Abschnitten 2.3.2 und 2.3.3 dargestellten Vorgehensweisen ausgewählt. Jede weist eine Bedeutung auf, sodass zumindest Teile der Vorgehensweise für den eigenen Ansatz berücksichtigt werden können.

Eine Selektion erfolgt bei den Vorgehensweisen im Bereich der agentenorientierten Softwareentwicklung aus Abschnitt 2.3.4. Hier sind die erweiterten Methoden aus dem Bereich des Knowledge Engineerings interessant. Diese beschäftigen sich nach den Aussagen aus der Literatur mit der Frage, wie Wissen in Agentensysteme methodisch integriert werden kann. Die Miteinbeziehung rein agentenspezifischer Methoden und die Erweiterung von objektorientierten Methoden ist an dieser Stelle nicht zielführend, da diese sich mit der Neuentwicklung von Agentensystemen beschäftigen.

Im Weiteren zeigt Tabelle 4.4, welche Vorgehensweisen welche Anforderungen wie erfüllt haben. Für den Vergleich wurden die Anforderungen aus Tabelle 4.3 verwendet. Die Grundlage hierfür legt Trick [TRICK10], dessen Arbeit unter der Anleitung des Verfassers der vorliegenden Arbeit erstellt wurde. Die darin untersuchten Vorgehensweisen wurden auf das notwendige Spektrum für die vorliegende Arbeit erweitert. Die Anforder-

rungen von Trick [TRICK10] wurden angepasst und erweitert. Zudem fließen Erkenntnisse aus der VDI/VDE 2653 Teil 2 [VDI/VDE 2653 2012, S. 16] für die Vorgehensweise MAS-CommonKADS in den Vergleich mit ein.

Für die Auswertung des Vergleichs wurde ein Klassifikationssystem verwendet (siehe Legende in Tabelle 4.4). Generell gilt, je weniger ausgefüllt ein Kreis ist, desto weniger wird die Vorgehensweise der Anforderung gerecht. Es wurde ein schraffierter Kreis verwendet, um die Schnittpunkte zu markieren, über die zu wenige Informationen zum Zeitpunkt der Bewertung vorlagen. Dies kann u. a. durch eine lückenhafte Darstellung der Vorgehensweisen in der Literatur entstehen.

Bei der Analyse von MAS-CommonKADS und CoMoMAS wurde berücksichtigt, dass sie auf Basis von CommonKADS entwickelt wurden. Inhalte wurden als gegeben angenommen, obwohl diese in der eigentlichen Beschreibung nicht aufgeführt wurden.

Eine Analyse der Vergleichsergebnisse aus Tabelle 4.4 ergibt, dass keine bereits existierende Vorgehensweise alle Anforderungen an die zu entwickelnde Vorgehensweise für agentenbasierte Konstruktionssysteme vollständig erfüllt. Besonders ist die Nichtbeachtung der frühen Phasen der Systementwicklung auffällig (siehe Anforderungen A3 bis A8 in Tabelle 4.4).

Eine umfassende Analyse des Umfelds, in dem das System später Funktionen erfüllen soll, wird nicht oder nur rudimentär durchgeführt (siehe Anforderung A4). Nur CommonKADS stellt an diesem Punkt eine Ausnahme dar, da dort mit der Erarbeitung des Organisationsmodells eine Machbarkeitsstudie beschrieben wird. Die Vorgehensweise MOKA legt teilweise Grundlagen in diesem Bereich, verzichtet jedoch auf eine Operationalisierung (siehe Tabelle 2.7).

Mit MAS-CommonKADS und CoMoMAS weisen zwei Vorgehensweisen eine grundlegende Agentenorientierung auf. Beide gehen über CommonKADS hinaus, da sie zudem die Entwicklung von Agentensystemen fokussieren. In der Literatur findet jedoch keine Operationalisierung statt. Werden die drei Vorgehensweisen gemeinsam betrachtet, sind diese als Grundlage für den eigenen Ansatz zu verwenden und punktuell mit Erkenntnissen aus anderen Vorgehensweisen zu ergänzen. Zur Entwicklung von wissensbasierten Systemen im Bereich der Konstruktion bietet sich vor allem MOKA an, da dieser Ansatz in der Literatur am ausführlichsten beschrieben ist.

Anforderung	Ansätze aus dem Bereich des Knowledge Engineerings (Abschnitt 2.3.2)						Ansätze aus dem Bereich des KBE (Abschnitt 2.3.3)				Ansätze aus dem Agentenbereich (Abschnitt 2.3.4)	
	CommonKADS [SCHREIBER02]	47 Step Procedure [MILTON07]	MIKE mit KARL [ANGELE98B]	RaidOWL [AUER07]	XP-K u. a. [KNUBLAUCH02]	Hym u. a. [KENDAL07]	KCM [TERPENNY00]	KOMPRESSA u. a. [BANCROFT00]	ADAPT [VAN TOOREN09]	MOKA [STOKES01]	MAS-Co.KADS u. a. [IGLESIAS96]	CoMoMAS [GLASER96]
A1	◐	◐	○	●	●	◐	○	◐	◐	◐	○	◐
A2	●	●	◐	●	●	◐	○	◐	◐	●	●	●
A3	●	○	○	○	◐	◐	○	◐	◐	○	●	●
A4	●	◐	◐	◐	○	◐	○	◐	◐	◐	●	●
A5	◐	◐	○	◐	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐
A6	◐	○	○	◐	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐	◐
A7	◐	○	◐	◐	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	◐
A8	◐	●	○	○	○	●	○	◐	◐	○	◐	◐
A9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◐	◐
A10	◐	○	○	○	○	○	○	◐	◐	○	◐	◐
A11	○	●	○	○	○	○	○	◐	○	○	●	●
A12	●	●	●	◐	◐	◐	○	◐	◐	●	●	●
A13	◐	●	●	○	◐	◐	●	○	○	●	◐	◐
A14	◐	◐	●	●	◐	◐	◐	◐	●	●	◐	◐
A15	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
A16	◐	●	◐	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
A17	◐	●	◐	●	●	◐	◐	◐	○	◐	◐	◐
A18	◐	◐	●	◐	●	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐
A19	◐	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	○	●	◐	◐
A20	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
A21	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◐	○
A22	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

- = Anforderung wird durch die Vorgehensweise vollständig erfüllt
- ◐ = Anforderung wird durch die Vorgehensweise teilweise erfüllt
- ◑ = Anforderung wird durch die Vorgehensweise nur zu einem geringen Teil erfüllt
- = Anforderung wird durch die Vorgehensweise nicht erfüllt
- ◕ = Zum Zeitpunkt der Analyse waren zu wenig Informationen verfügbar

**Tabelle 4.4:** Vergleich der bereits existierenden Vorgehensweisen anhand der aufgestellten Anforderungen z. T. nach Trick [TRICK10]

Der Wissensaspekt, der in wissensbasierten Systemen eine wichtige Rolle spielt, wird durch alle Vorgehensweisen besser abgebildet. Dies ist nicht verwunderlich, da der Umgang mit Wissen in der Entwicklung von wissensbasierten Systemen ein Kernpunkt ist. Bei der Identifikation von Soll-Wissenselementen (siehe A10) und bei der Anforderung über die Methode zur systematischen Zuweisung von Wissen auf Agenten (siehe A21), schneiden die betrachteten Vorgehensweisen nicht gut ab. Keine der Vorgehensweisen beschreibt zudem einen Ansatz, welche Konzepte zur Anbindung des Systems an ein CAD-System erarbeitet werden müssen (siehe A22). Durch die Tatsache, dass bei einigen Vorgehensweisen bzgl. der Anforderungen keine Informationen in der Literatur verfügbar waren, können diese Vorgehensweisen (HyM, KCM und KOMPRESSA) nicht in eine ernsthafte Diskussion mit einbezogen werden.

#### **4.4 Schlussfolgerungen aus der Analyse der Grundlagen**

Aus der Beschreibung des Stands der Forschung und aus dessen Analyse sind Schlussfolgerungen abzuleiten. Die Schlussfolgerungen werden im Folgenden getrennt nach den in Abschnitt 1.4 aufgestellten Forschungsfragen aufgeführt.

##### **Rückschlüsse aus dem Vergleich der Konstruktionssysteme - Beantwortung der Forschungsfrage 5**

Beim Vergleich des ProKon-Systems mit den klassischen Konstruktionssystemen fällt auf, dass Systeme existieren, die ähnliche Zielsetzungen wie das ProKon-System besitzen. Demgegenüber ergibt der Vergleich des ProKon-Systems mit den agentenbasierten Konstruktionssystemen, dass kein bereits existierendes agentenbasiertes Konstruktionssystem ähnliche Zielsetzungen wie das ProKon-System verfolgt. Demnach stellt das entwickelte System eine Neuheit dar. Der Einsatz der Agententechnologie im Umfeld der Konstruktion unter Beachtung dieser Zielsetzung gleicht schließlich einer Machbarkeitsanalyse.

Die Arbeiten von Toledo Muñoz [TOLEDO MUÑOZ06] und von Wagner [WAGNER08] besitzen eine Relevanz für das ProKon-System, da im Falle von Toledo Muñoz [TOLEDO MUÑOZ06] ein interessantes Agentenmodell entwickelt wurde. Die Arbeit von Wagner [WAGNER08] ist insofern interessant, als dort Komponentenagenten verwendet werden, die den Objektagenten im ProKon-Projekt ähneln.

### **Rückschlüsse aus dem ProKon-System und aus den Vorgehensweisen - Beantwortung der Forschungsfragen 6 und 7**

Die Analyse der entwickelten Inhalte des ProKon-Kernsystems ergab, dass das Organisationsmodell gänzlich sowie das Agentenmodell und das Wissensmodell teilweise innerhalb der Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems erarbeitet werden müssen. Diese Aspekte blieben im Kernsystem bisher unberücksichtigt.

Zudem wurden 12 Vorgehensweisen auf Erfüllung der Anforderungen überprüft. Bisher existiert keine Vorgehensweise, die für die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems ein definiertes Vorgehen beschreibt. Da das ProKon-System ein wissensbasiertes Agentensystem in der Konstruktion darstellt, ist die Miteinbeziehung von Vorgehensweisen zur Entwicklung von allgemeinen wissensbasierten Systemen, von wissensbasierten Systemen zur Unterstützung von Konstrukteuren und von Agentensystemen zielführend. Es bietet sich grundsätzlich an, Vorgehensweisen aus den untersuchten Domänen miteinander zu verknüpfen. Der Vergleich der Vorgehensweisen hat ergeben, dass CommonKADS die am besten in der Literatur beschriebene Vorgehensweise ist und das umfassendste Vorgehen bereitstellt. Vor allem die dabei erarbeiteten Grundlagen für die Analyse und Modellierung der Organisation sind wichtig. Der Einsatz der Vorgehensweise MOKA ist in Teilen bei der Wissensverarbeitung zweckmäßig, da dabei die ICARE forms entwickelt wurden, die für die informale Wissensrepräsentation eine wichtige Rolle spielen könnten.

Als umspannendes Grundgerüst für die Vorgehensweise ist die Verwendung des modellbasierten Ansatzes zielführend. Dieser eignet sich für größere Wissensbasen. Zudem ist gerade die Verwendung des modellbasierten Ansatzes die Abgrenzung von wissensbasierten Systemen der zweiten Generation, wie Agentensysteme, und der ersten Generation. Innerhalb des modellbasierten Ansatzes soll im weiteren Verlauf der Arbeit zwischen der Wissens- und Symbolebene nach Newell [NEWELL82] unterschieden werden. Beide Ebenen repräsentieren mögliche Rollen bei der Entwicklung eines agentenbasierten ProKon-Systems am besten.

## 5 Konkretisierung der Aufgabenstellung

Aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen wird in Abschnitt 5.1 die Zielsetzung konkretisiert. In Abschnitt 5.2 ist das weitere Vorgehen für die nachfolgenden Kapitel beschrieben.

### 5.1 Konkretisierung der Zielsetzung

Das anfänglich gesteckte Ziel hat nach der Analyse des Stands der Forschung und den daraus gezogenen Schlussfolgerungen weiterhin Bestand. Die vorliegende Arbeit soll eine Vorgehensweise vorstellen, mit der es Wissensingenieuren möglich ist, ein anwendungsspezifisches ProKon-System auf Basis des beschriebenen Kernsystems zu entwickeln. Das Kernsystem ist weiterhin als Grundlage zu verstehen, wobei dieses für die vorliegende Arbeit z. B. bezüglich seiner Funktionalität nicht verändert wird. Bei der Entwicklung des Kern-Systems innerhalb des ProKon-Projekts sind jedoch keine

- anwendungsspezifischen Konstruktionsprozesse, Konstruktionsobjekte und Konstrukteure sowie
- das anwendungsspezifische Konstruktionswissen und
- das anwendungsspezifische Konstruktionsumfeld

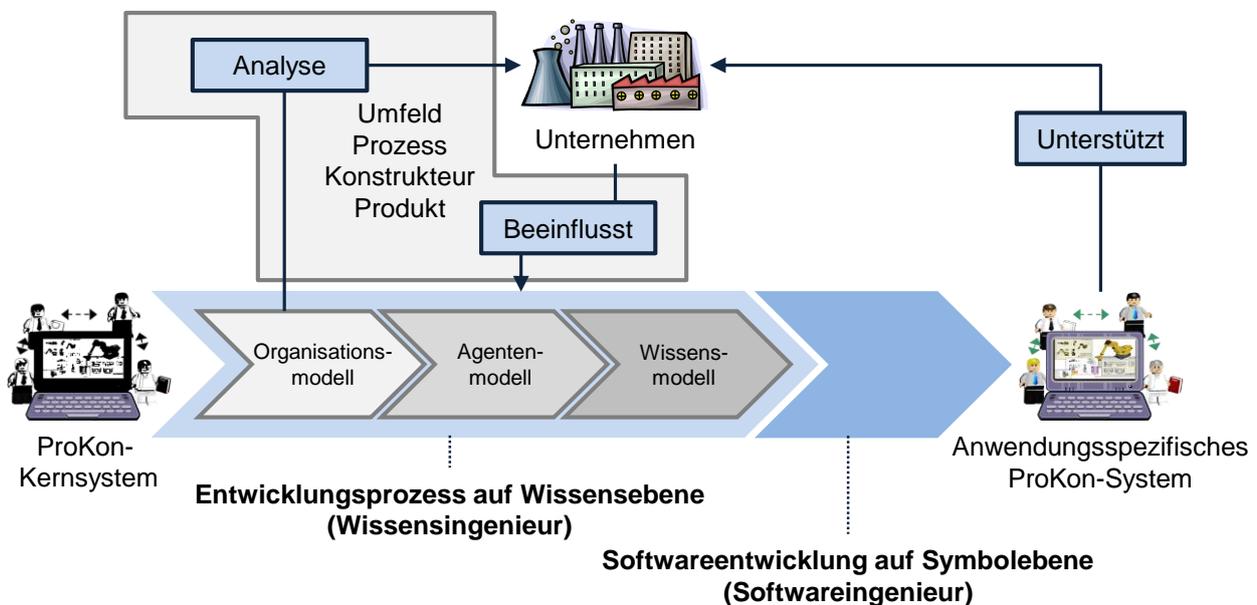
betrachtet worden.

Wie Bild 5.1 zeigt, wird die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems durch den Prozess, das Umfeld, den Konstrukteur und durch das Produkt beeinflusst. Der Konstruktionsprozess ist der zentrale Analysebereich. Das Konstruktionswissen stellt keinen expliziten Analysebereich dar, da dieses implizit durch den Prozess und durch das Produkt repräsentiert wird. Mithilfe der vier Bereiche ist eine Analyse zu Anfang des Entwicklungsprozesses durchzuführen, um den *Einsatzkontext* zu erfassen. Es wird identifiziert, ob das ProKon-System für eine Anwendung grundsätzlich geeignet ist. Der Einsatzkontext deckt sich mit dem Organisationsmodell, das bei der Entwicklung des ProKon-Kernsystems nicht betrachtet worden ist.

Die Aufbau- und Ablauforganisation ist innerhalb der Analyse des Einsatzkontextes erfasst worden. Wird das ProKon-System für eine weitere Anwendung entwickelt, unterscheidet sich die zugrunde gelegte Aufbau- und die Ablauforganisation. Da Agenten beide Strukturen gleichermaßen repräsentieren, werden je nach Anwendung unterschiedliche Agenten benötigt. Eine Identifikation der notwendigen *Agenten* ist demnach innerhalb der Vorgehensweise essenziell. Dafür ist das Agentenmodell aus

dem Kernsystem als Grundlage zu verwenden. Es ist um die anwendungsspezifischen Agenten zu ergänzen. Die teilweise Erarbeitung eines Agentenmodells, wie es die Analyse ergab, ist somit zielführend. Damit die Agenten innerhalb des Agentensystems ihre Ziele erreichen können, müssen die Agenten auf *Wissen* zugreifen können, das strukturiert innerhalb einer Wissensbasis abgelegt ist. Dies stellt die teilweise Erarbeitung des Wissensmodells auf Basis der aufgestellten Struktur der Wissensbasis dar.

Die drei Teilbereiche Einsatzkontext, Agenten und Wissen sind in eine modellbasierte Vorgehensweise einzubetten, die den Unterschied zwischen Wissens Ebene und Symbolebene aufgreift. Die Teilbereiche stellen Modelle auf der Wissens Ebene dar, die vom Wissensingenieur zu erarbeiten sind. Die Modelle werden im Folgenden, gemäß der bisherigen Terminologie, Organisationsmodell (Einsatzkontext), Agentenmodell (Agenten) und Wissensmodell (Wissen) genannt. Bild 5.1 führt diese auf. Die Ergebnisse aus den Modellen werden abschließend an den Softwareingenieur übergeben, der auf der Symbolebene operiert und das System softwaretechnisch umsetzt. Durch die auf die notwendigsten Modelle beschränkte Vorgehensweise reduziert sich der Aufwand für den Wissensingenieur. Wie bei der Variantenkonstruktion kann auf eine Grundlage zurückgegriffen werden. Das Kernsystem bildet den kleinsten gemeinsamen Nenner, um darauf basierend Konstrukteure in unterschiedlichen Anwendungen zu unterstützen.



**Bild 5.1:** Prozess zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems auf Basis des ProKon-Kernsystems

Die anfänglich aufgestellte Forschungsfrage bleibt im Kern bestehen, ist jedoch auf die aktuelle Zielsetzung zu konkretisieren. Folgende Forschungsfrage ist für die weitere

Arbeit maßgeblich: *„Wie sind Wissensingenieure zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems zu befähigen, damit Konstrukteure im analysierten Unternehmen unter Beachtung von Prozess und Produkt in einem gegebenen Konstruktionsumfeld mithilfe von Konstruktionswissen adäquat unterstützt werden?“*

Innerhalb der weiteren Arbeit soll die folgende Hypothese wissenschaftlich belegt oder widerlegt werden: *„Mithilfe einer modellbasierten Vorgehensweise, bestehend aus der Analyse des Einsatzkontextes (Organisationsmodell), der Identifikation der notwendigen Agenten (Agentenmodell) und der abschließenden Wissensakquise (Wissensmodell), werden Wissensingenieure zur zielgerichteten Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems befähigt.“*

Insgesamt sind für die vorliegende Arbeit folgende Teilziele zu erreichen:

1. Auf Basis der Beschreibung des ProKon-Systems ist ein Ansatz für die modellbasierte Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems auszuarbeiten. Es ist die Unterscheidung zwischen der Wissens Ebene und der Symbolebene zu berücksichtigen.
2. Die Rolle des Wissensingenieurs ist in diesem Kontext zu erarbeiten und mit den ebenfalls beteiligten Rollen in Einklang zu bringen.
3. Auf Basis der Konstruktionsarten Neukonstruktion, Anpassungskonstruktion und Variantenkonstruktion ist die Basis für die ideale Anwendung für das ProKon-System methodisch herzuleiten. Durch die Detaillierung des Organisationsmodells ist die ideale Anwendung final zu beschreiben.
4. Die Vorgehensweise muss in den Bereich des klassischen Wissensmanagements und in die agentenorientierte Softwareentwicklung eingeordnet werden.
5. Weiterhin sind auf Basis des Ansatzes die drei vorgestellten Modelle detailliert mit Schritten und Hilfsmitteln zu beschreiben. Die Schritte sollen Wissensingenieure unterstützen. Die Einflüsse auf den Entwicklungsprozess sind unter Zuhilfenahme der Schlussfolgerungen aus dem Stand der Forschung aufzugreifen und zu konkretisieren.
6. Die Vorgehensweise ist innerhalb einer methodischen Evaluation auf deren Anwendbarkeit und Nützlichkeit zu überprüfen. Dabei ist das im ProKon-Projekt auf Basis des Kernsystems entwickelte anwendungsspezifische ProKon-System zur Unterstützung von Konstrukteuren innerhalb einer fiktiven Anwendung zu berücksichtigen.

## 5.2 Weitere Vorgehensweise der Arbeit

Bild 5.2 zeigt die Struktur und die weitere Vorgehensweise der vorliegenden Arbeit. Die weitere Vorgehensweise gliedert sich darin in die Prescriptive Study (PS) und in die Descriptive Study II (DS II) auf.

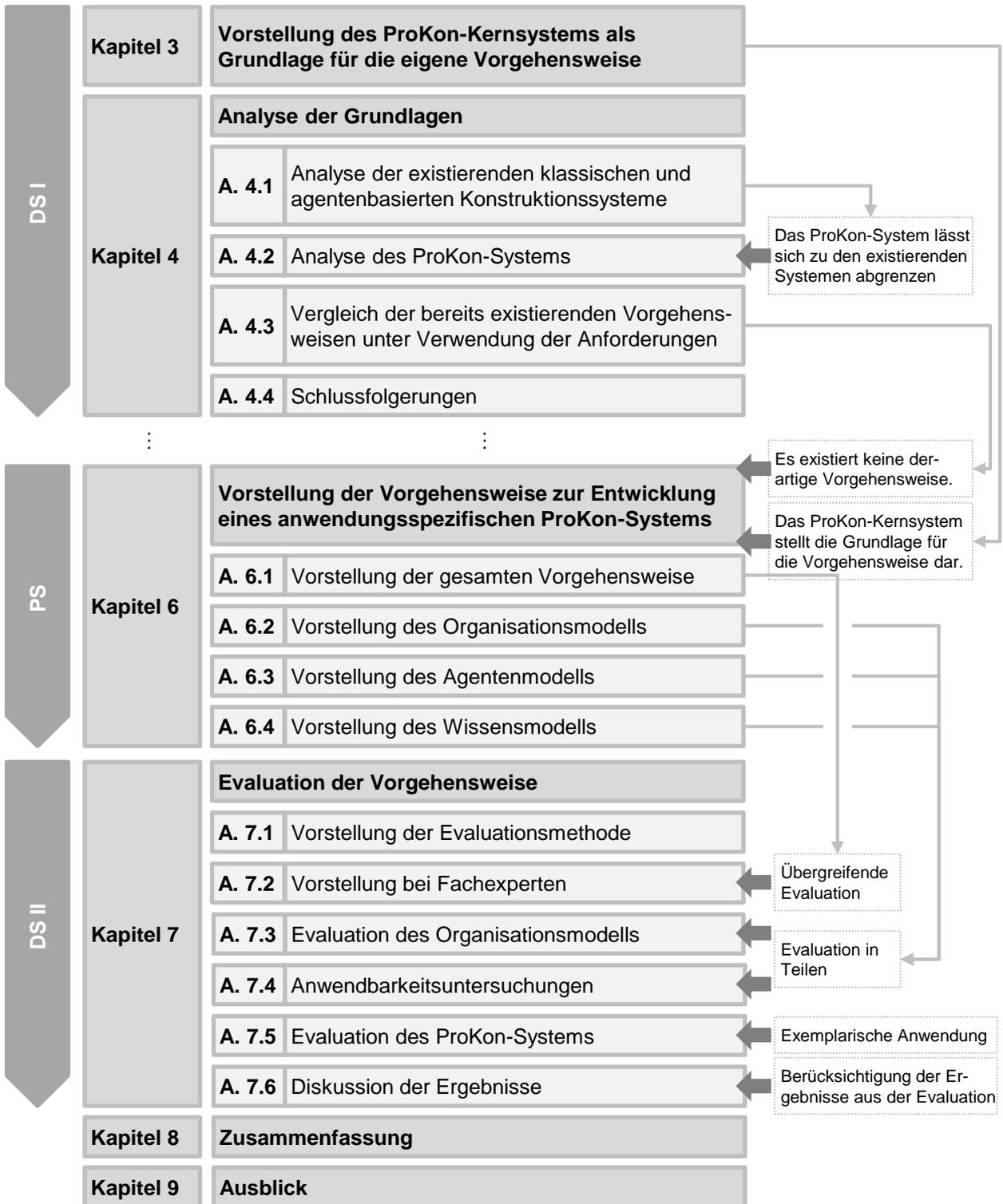


Bild 5.2: Struktur und weitere Vorgehensweise innerhalb der vorliegenden Arbeit

In Kapitel 6 werden die bereits erlangten Erkenntnisse genutzt, um eine eigene Vorgehensweise zu erarbeiten. Diese basiert auf der Beschreibung des Kernsystems aus Kapitel 3. Der Ansatz zur Unterstützung von Wissensingenieuren wird in Abschnitt 6.1 dargestellt, wobei der modellbasierte Ansatz und die Unterscheidung zwischen Wissens- und Symbolebene aufgegriffen werden (Teilziel 1).

Die Rolle des Wissensingenieurs wird beschrieben und gegenüber den ebenfalls beteiligten Rollen abgegrenzt (Teilziel 2). Die ideale Anwendung auf Basis der Konstruktionsarten wird beschrieben (Teilziel 3). Es erfolgt eine Eingliederung der Vorgehensweise in das Wissensmanagement und in den Softwareentwicklungsprozess (Teilziel 4). Die Abschnitte 6.2, 6.3 und 6.4 beschreiben auf Basis des allgemeinen Ansatzes die einzelnen Modelle zur Unterstützung von Wissensingenieuren (Teilziel 5). Zunächst wird in Abschnitt 6.2 die ideale Anwendung näher definiert und diese zur Identifikation der richtigen Anwendung für das ProKon-System in einen Bewertungskontext gesetzt. Anschließend erfolgt in Abschnitt 6.3 die Identifikation der notwendigen Agenten zur Unterstützung von Konstrukteuren innerhalb der Anwendung. Abschnitt 6.4 beinhaltet die Beschreibung eines Vorgehens zur Erarbeitung des Wissensmodells.

Die Beschreibung der Evaluationsmethode in Abschnitt 7.1 nach Blessing und Chakrabarti [BLESSING09] dient als Vorbereitung für die eigentliche Evaluation. Darin erfolgt die Beschreibung der Evaluationskriterien und der Evaluationsszenarien. Beides resultiert in einer Evaluationsmatrix. Die Evaluation an sich ist in vier Teile aufgespalten. In Abschnitt 7.6 werden die Ergebnisse aus der Evaluation diskutiert (Teilziel 6).

Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung (siehe Kapitel 8) und einem Ausblick (siehe Kapitel 9).

## **6 Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems**

Innerhalb dieses Kapitels erfolgt die Beschreibung des Schwerpunkts der vorliegenden Arbeit. Zunächst wird in Abschnitt 6.1 der Ansatz der Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems beschrieben. Die weiteren Abschnitte behandeln detailliert einzelne Aspekte der Vorgehensweise. Zunächst wird der Einsatzkontext berücksichtigt (siehe Organisationsmodell in Abschnitt 6.2). Die Fokussierung auf anwendungsspezifische Agenten erfolgt in Abschnitt 6.3 (Agentenmodell). Die Beschreibung des Vorgehens zur Erarbeitung eines Wissensmodells rundet die Vorgehensweise ab (siehe Abschnitt 6.4).

### **6.1 Ansatz zur Unterstützung von Wissensingenieuren**

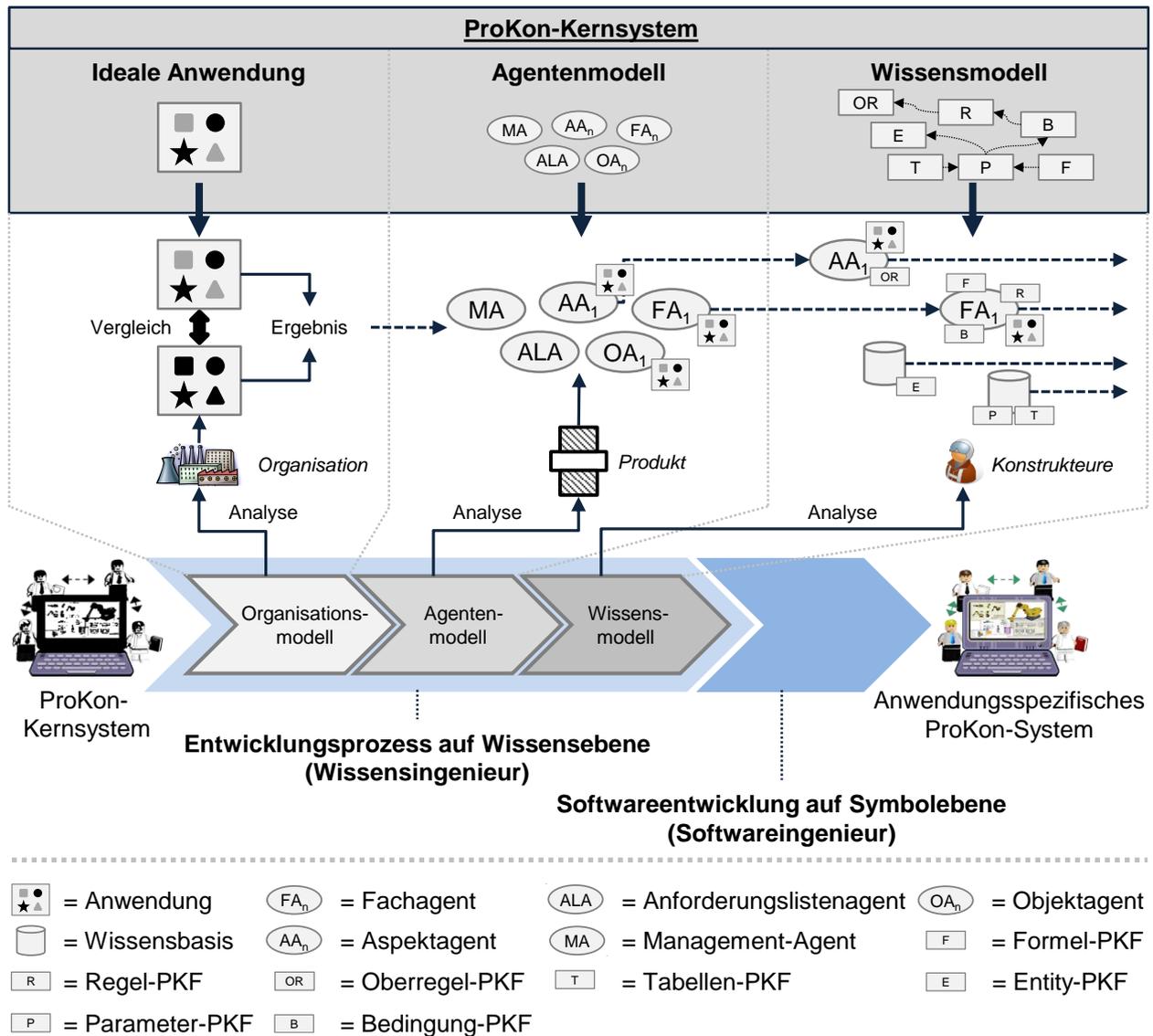
Der Ansatz für die Vorgehensweise wird in Abschnitt 6.1.1 erläutert und basiert auf den analysierten Grundlagen. Ein vom Ansatz abgeleitetes Vorgehensmodell zeigt den übergreifenden Zusammenhang auf. Es dient für Wissensingenieure als Handlungsleitfaden und beschreibt weitere am Projekt beteiligte Rollen (siehe Abschnitt 6.1.2). Die modellbasierte Vorgehensweise kann bei der Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems in unterschiedlichen Konstellationen eingesetzt werden, wie Abschnitt 6.1.3 zeigt. Die Vorgehensweise ist in das Wissensmanagement einzuordnen und vom Softwareentwicklungsprozess abzugrenzen (siehe Abschnitt 6.1.4).

#### **6.1.1 Modellhafte Darstellung der Vorgehensweise**

Aufgegriffen werden die drei identifizierten Modelle, die gänzlich (Organisationsmodell) bzw. teilweise (Agenten- und Wissensmodell) bei der Entwicklung des ProKon-Kernsystems vernachlässigt wurden. Diese gilt es im Laufe der Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems zu komplettieren, wofür eine Vorgehensweise benötigt wird. Die Modelle stellen dabei eine explizite und abstrakte Beschreibung der Domäne dar, wobei unter einem Modell eine zweckorientierte, auf relevante Aspekte reduzierte und pragmatische Beschreibung der Wirklichkeit verstanden wird. Jedes Modell wird wiederum mit einem schritthaften Vorgehen erarbeitet.

Modelle sind generell für ähnliche Fälle wiederverwendbar und reduzieren den Entwicklungsaufwand. Gleichen sich bspw. Anwendungen in einem Unternehmen, können zuvor entwickelte Modelle teilweise oder ganz wiederverwendet werden.

Alle drei Modelle sind in der in Bild 4.2 angegebenen Reihenfolge zu erarbeiten, da sie, wie Bild 6.1 zeigt, logisch aufeinander aufbauen. Bezüglich der Reihenfolge wird so an der Vorgehensweise CommonKADS festgehalten. Dies gewährleistet einen stringenten Aufbau. Bild 6.1 veranschaulicht die Inhalte der Vorgehensweise und fasst die eben genannten Aspekte Wissens-/Symbolebene, modellbasierte Vorgehensweise und erforderliche Modelle sowie die Bestandteile des Kernsystems zusammen.



**Bild 6.1:** Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems mithilfe der drei Modelle und der Unterscheidung zwischen Wissens- und Symbolebene

Im Folgenden werden die drei Modelle kurz beschrieben, wobei stets eine Referenzierung auf Bild 6.1 stattfindet.

### **Organisationsmodell**

Konkret hat die Erarbeitung des Organisationsmodells das Ziel, die Einschätzbarkeit von Anwendungen innerhalb von Unternehmen hinsichtlich deren Unterstützbarkeit durch das ProKon-System zu erhöhen. Dies stellt den zu beeinflussenden Schlüsselfaktor für das Organisationsmodell dar. Es ist zu klären, ob das ProKon-System innerhalb der Anwendung und innerhalb des Unternehmens Konstrukteure unterstützen kann. Hierbei sind die Spezifika der tatsächlich im Unternehmen vorliegenden Anwendung mit der idealen Anwendung des ProKon-Systems abzugleichen (siehe Bild 6.1).

Die Ergebnisse des Abgleichs fließen in ein Entscheidungsdokument ein, das die Subjektivität in einem Entscheidungsprozess reduziert. Entscheider (z. B. Konstruktionsleiter) können auf Basis erhobener Fakten entscheiden, ob das ProKon-System für das Unternehmen einen Mehrwert darstellt. Wie die Analyse der Anforderungen in Tabelle 4.4 zeigt, können Erkenntnisse aus CommonKADS genutzt werden. Beispielsweise ist die Analyse von Geschäftsprozessen zur Identifikation der richtigen Anwendung zielführend. Dies deckt sich mit der Schlussfolgerung aus dem Stand der Forschung, dass der Konstruktionsprozess eine zentrale Rolle einnimmt.

### **Agentenmodell**

Wie Bild 6.1 zeigt, erfolgt auf Basis des Organisationsmodells und des bereits im Kernsystem definierten Agentenmodells die anwendungsspezifische Identifikation der Agenten. Hierfür ist das finale Agentenmodell zu erarbeiten, das die zu unterstützende Anwendung mitberücksichtigt. Es ist das Ziel, die richtigen Agenten zu identifizieren und diese in einer Form aufzubereiten, sodass der Softwareingenieur damit umgehen kann. Beides stellen die Schlüsselfaktoren für das Agentenmodell dar.

Zur Funktionserfüllung des ProKon-Systems werden mehrere Agententypen benötigt, die jedoch nicht alle einer anwendungsspezifischen Ausrichtung bedürfen. Neben den nicht anwendungsspezifischen Lösungsagenten und weiteren Agenten (Berechnungs- und GUI-Agent), existieren die anwendungsspezifischen Agenten, die zwingend ausgerichtet werden müssen. Dies zeigt Bild 6.1. Der Objektagent für die Welle kann bspw. aufgrund seiner Spezialisierung auf die Welle nicht für eine Schraube verwendet werden. Die Fach- und Aspektagenten sind ebenfalls anwendungsspezifisch.

### **Wissensmodell**

Letztlich ist die Struktur der Wissensbasis als Basis zu verwenden, um den Fach- und Aspektagenten den Zugriff auf das Wissen zur Erfüllung der Konsistenzprüfung zu

ermöglichen (siehe Bild 6.1). Diese Funktionalität des Basissystems wird durch die Agenten erfüllt, sofern den richtigen Agenten das richtige und das korrekte Wissen in der richtigen Form zugewiesen wurden. Dies stellen die Schlüsselfaktoren für das Wissensmodell dar.

Die Anwendung bestimmt dabei, welches Wissen das richtige ist. Die richtige Form wird durch die im Stand der Forschung analysierten Grundlagen der Wissensverarbeitung in Agentensystemen bestimmt. Zudem ist der Aufbau der Wissensbasis des Kernsystems relevant, der sich aus der Verknüpfung von unterschiedlichen PKF-Arten ergibt (siehe Bild 6.1). Das Wissen ist korrekt, wenn es mit den Inhalten aus den zugrunde liegenden Wissensorten übereinstimmt. Bei der Erarbeitung des Wissensmodells werden Wissensorte identifiziert, das Wissen strukturiert, dieses erhoben, analysiert und abschließend informal repräsentiert. Als Ergebnis ergeben sich Dokumente, die die Integration des Konstruktionswissens in das System ermöglichen.

### **Operationalisierung der Modelle auf der Symbolebene**

Letztlich sind die drei Modelle rechnerisch zu operationalisieren. Diese Operationalisierung gleicht dabei einer formalen Implementierung und findet auf einer konkreteren Ebene statt. Sie entspricht der von Newell [NEWELL81] aufgestellten Symbolebene, die die konkrete und formale Repräsentation von Wissen beinhaltet. Die Modellierung ist demgegenüber eine abstrakte und informale Repräsentation von Wissen und stimmt mit der Wissensebene nach Newell [NEWELL81] überein. Die Modellierung und die Operationalisierung liegen so auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen.

Es ergibt sich durch diese Unterscheidung ein Vorteil, da der Wissensingenieur die volle Konzentration auf die Modellierung der Organisation, der Agenten und des Wissens verwenden kann. Er soll sich keine Gedanken über die spätere rechnerische Implementierung machen. Für die vorliegende Arbeit wird die Wissensebene nicht nur auf die Wissensakquise bezogen, sondern auf die gesamte Modellierung vor der rechnerischen Implementierung.

#### **6.1.2 Vorgehensmodell**

Das Vorgehensmodell spannt einen Rahmen um die zur Entwicklung notwendigen Modelle aus Bild 6.1 auf und setzt sie mit Rollen im Unternehmen in Beziehung. Wie Luft et al. [LUFT12, S. 65] schreiben, ist gerade das „Denken in Rollen“ für die Durchführung eines derartigen Projekts geeigneter als das „Denken in Personen“.

Als zentrale Rolle ist der Wissensingenieur zu nennen, wobei die Zugehörigkeit des Wissensingenieurs die Anwendung der Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems bestimmt. In großen mittelständischen Unternehmen und in Konzernen bekommen Mitarbeiter leichter die Rolle eines Wissensingenieurs vom Auftraggeber/Entscheider übertragen. Sie müssen aus dem Tagesgeschäft abgezogen werden. Eventuell existieren in diesen Unternehmungen Organisationseinheiten, die sich mit der Entwicklung von KBE-Anwendungen beschäftigen. Bei kleinen Unternehmen ist es schwieriger, Mitarbeiter aus dem Tagesgeschäft abziehen, sodass häufiger auf externe Beratungsleistungen zurückgegriffen werden muss. Dementsprechend wird ein externer Wissensingenieur damit beauftragt, ein anwendungsspezifisches ProKon-System zu entwickeln. Möglicherweise wird die Softwareentwicklung über die Beratung mit eingekauft.

Die Rolle des Wissensingenieurs wird in der vorliegenden Arbeit weiter gefasst als es bspw. Kendal und Creen [KENDAL07, S. 10 ff.] und Chatterjee [CHATTERJEE00, S. 3] machen. Der Wissensingenieur verantwortet nicht nur die Wissensakquise und ist Experte für die Wissenserhebung, sondern erarbeitet die einzelnen Modelle und verantwortet das gesamte Projekt zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems. Karbach und Linster [KARBACH90] sehen den Wissensingenieur in einer ähnlichen Rolle, wobei die Entwicklung aus einer Hand erfolgt und weniger Abstimmungsprobleme entstehen. Zudem sollte der Wissensingenieur über soziale Kompetenzen verfügen, da der richtige Umgang mit Menschen während der Entwicklung essenziell ist [RÖHNER11, S. 111]. Der eigene Ansatz folgt den Aussagen von Luft et al. [LUFT12, S. 70] und stellt den Wissensingenieur als das Bindeglied zwischen dem Entscheider/Auftraggeber und den Anwendern dar. Der Wissensingenieur sollte in zwei von drei der folgenden Bereiche Expertenstatus besitzen:

- IT-Management/IT-Organisation
- Konstruktion/Konstruktionsmethodik/CAD-Methodik
- Wissensmanagement/Wissensverarbeitung

Fehlende Kenntnisse in den anderen Bereichen werden teilweise durch die Anwendung der Vorgehensweise ausgeglichen. Bild 6.2 führt die im Vorgehensmodell vorkommenden Rollen auf und grenzt sie gegeneinander ab.

Im Konstruktionsbereich ist der Konstrukteur zu finden, der je nach Situation als Endanwender, Fachexperte oder Lead-User auftritt. Endanwender stellen die Benutzer des ProKon-Systems bei der täglichen Arbeit dar. Einen Teil der Endanwender stellen

erfahrene Lead-User dar, die mit Engagement die Einführung von neuen Technologien begleiten. Sie treiben das Projekt seitens der Konstrukteure voran und stehen für erste Evaluationen bereit. Fachexperten fungieren bei der Wissenserhebung als Interviewpartner.

<b>Wissensingenieur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verantwortlich für die Bearbeitung des Projekts anhand der Vorgehensweise</li> <li>• Bindeglied zwischen Entscheider/ Auftraggeber und Anwendern</li> <li>• Stammt von außerhalb oder von innerhalb der Organisation</li> </ul>	<b>Konstrukteur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endanwender, Fachexperte oder Lead-User</li> <li>• Endanwender: Tatsächliche Nutzer des ProKon-Systems</li> <li>• Fachexperte: Interviewpartner bei der Wissenserhebung</li> <li>• Lead-User: Evaluationspartner</li> </ul>
<b>Entscheider</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entscheidet evtl. innerhalb eines Gremiums über die Entwicklung des Systems</li> <li>• Ist meist auch Auftraggeber</li> <li>• Hat Budget- und Personalverantwortung</li> </ul>	<b>Softwareingenieur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitet auf der Symbolebene</li> <li>• Ist für die rechnerische Implementierung zuständig</li> <li>• Ist Mitarbeiter in einer IT-Abteilung</li> <li>• Unterstützt den Wissensingenieur punktuell</li> </ul>

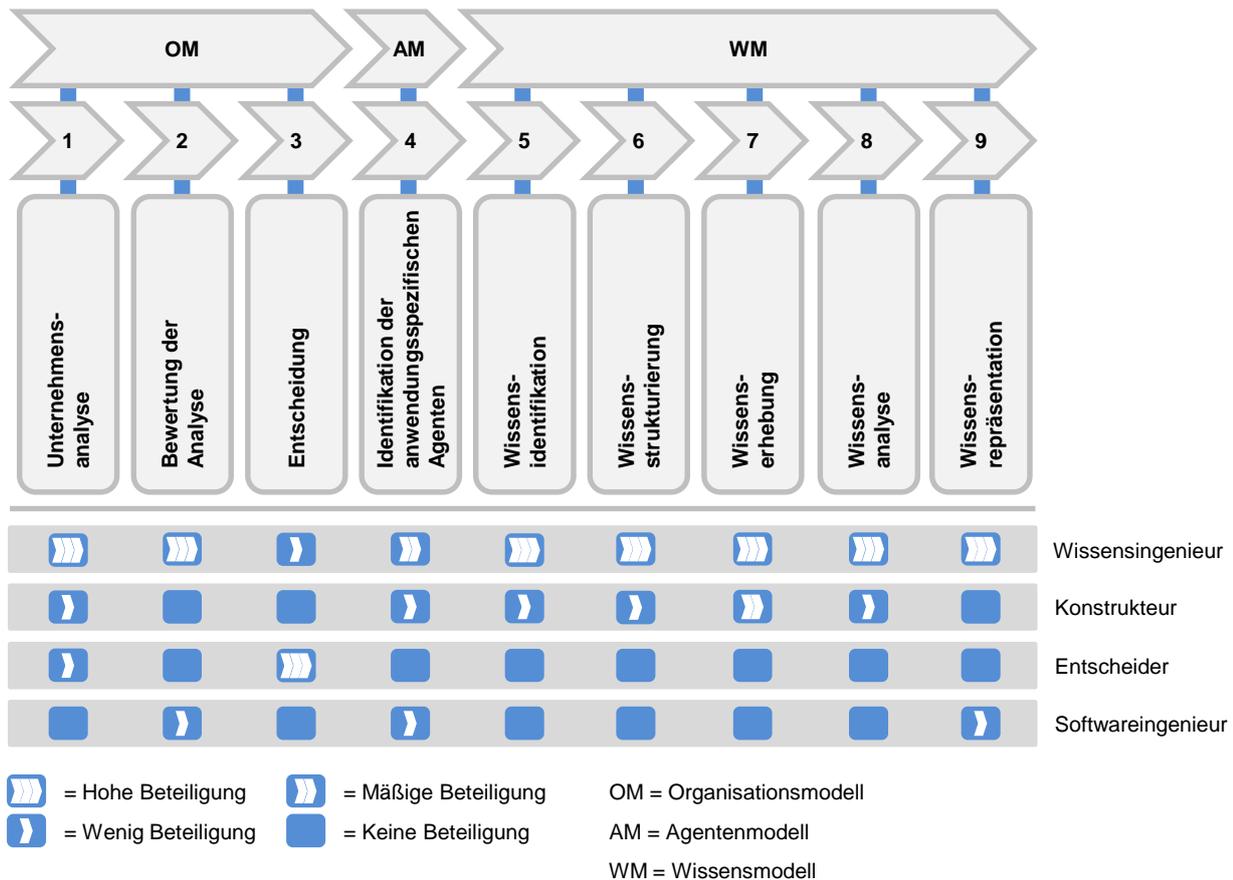
**Bild 6.2:** Charakterisierung der unterschiedlichen Rollen bei der Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems

Der Entscheider beauftragt die Einführung des ProKon-Systems in das Unternehmen oder in den spezifischen Fachbereich. Dieser kann aus dem Konstruktionsbereich kommen, wobei dieser beispielsweise als Konstruktions- oder Entwicklungsleiter fungiert. Alternativ kann der Entscheider aus dem Bereich IT-Management/IT-Organisation stammen. Die Bildung eines heterogenen Entscheidungsgremiums ist wahrscheinlich. Der Entscheider ist meist der Initiator der Entwicklung und beauftragt den Wissensingenieur mit der Projektdurchführung. Er besitzt Budget- und Personalverantwortung.

Letztlich bildet der Softwareingenieur den Abschluss der Rollenbeschreibung. Dieser setzt die erarbeiteten Modelle aus der Wissensebene auf der Symbolebene um. Ein Verständnis über die Anwendungsdomäne (z. B. Getriebeentwicklung) erhöht den Erfolg des Projekts. Der Softwareingenieur ist je nach Unternehmen entweder in einer zentralen oder in einer konstruktions-/entwicklungsnahen IT-Abteilung zu finden. Er unterstützt punktuell den Wissensingenieur in einzelnen Schritten der Vorgehensweise.

In Bild 6.3 ist das Zusammenspiel der vorgestellten Rollen dargestellt. Der Wissensingenieur erarbeitet zunächst das Organisationsmodell, bei dem die Anwendung und die Organisation analysiert werden (siehe Schritt 1 in Bild 6.3). Innerhalb des Vorgehens zur Erarbeitung des Organisationsmodells finden zudem die Bewertung der Analyseer-

gebnisse (Schritt 2) und die Entscheidungsfindung (Schritt 3) statt. In den ersten beiden Schritten besitzt der Wissensingenieur die maßgebliche Rolle. Im dritten Schritt ist das Entscheidungsgremium schwerpunktmäßig tätig. Demnach kann das Entscheidungsgremium mithilfe eines aus der Vorgehensweise resultierenden Entscheidungsdokuments besser einschätzen, ob das ProKon-System Konstrukteure unterstützen kann.



**Bild 6.3:** Vorgehensmodell zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems (allgemeines Schema nach Luft et al. [LUFT12, S. 65])

Nach dem Aufstellen des Organisationsmodells erfolgt die Modellierung der Agenten durch den Wissensingenieur (Schritt 4). Die Ergebnisse aus dem Agentenmodell befähigen Softwareingenieure zur rechnerischen Operationalisierung der anwendungsspezifischen Agenten.

Im Wissensmodell ist letztlich das Wissen informal repräsentiert, das in die Agenten zu integrieren ist. Es stützt sich auf den im Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells identifizierten Konstruktionsprozess und identifiziert notwendige Wissens-elemente (Schritt 5), die mit einer Strukturierungssystematik Agenten zugeordnet werden (Schritt 6). Daran schließen sich die drei Schritte der Wissensakquise an:

Wissenserhebung (Schritt 7), Wissensanalyse (Schritt 8) und Wissensrepräsentation (Schritt 9). Diese wurden an die agentenorientierte Softwareentwicklung angepasst.

### 6.1.3 Anwendungsmöglichkeiten

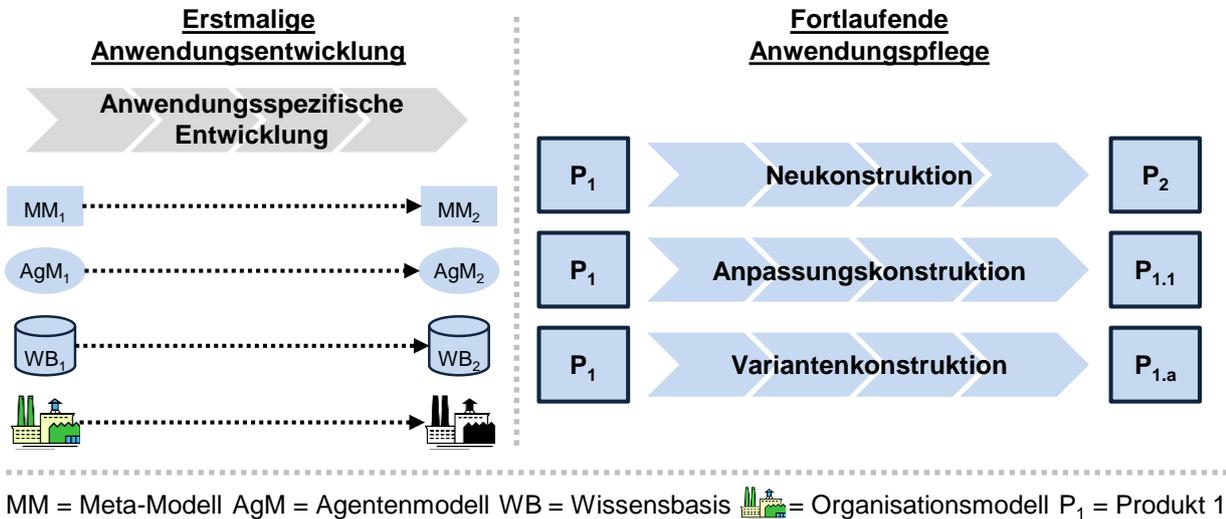
Wie vermutet werden kann, ist der Aufwand zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems auf Basis des Kernsystems hoch, da eine genaue Kenntnis über die Organisation, über die Agenten und über das Wissen notwendig ist. Der Nutzen steigt mit der Anzahl der Systemanwendungen. Die Entwicklung eines ProKon-Systems zur Unterstützung von Konstrukteuren innerhalb einer Anwendung ist zielführend, sofern der Nutzen in einem vernünftigen Verhältnis zum Entwicklungsaufwand steht.

Wie Bild 6.4 zeigt, sind zwei Arten des Aufwands zu unterscheiden. Es bedeutet einen Aufwand, ein ProKon-System für eine Anwendung erstmalig zu entwickeln (siehe linke Seite in Bild 6.4). Es zeigt sich, dass für die erste Erstellung eines ProKon-Systems verschiedene Meta-Modelle, das Agentenmodell, die Wissensbasis und das Organisationsmodell erarbeitet werden müssen. Der Aufwand wird durch den Ähnlichkeitsgrad der Anwendung zu den bisher im Unternehmen existierenden Anwendungen bestimmt. Können bspw. Meta-Modelle als Maßnahme zur Feature-Recognition für die Agenten aus existierenden Anwendungen des ProKon-Systems wiederverwendet werden, sinkt der Aufwand zur Erstellung der neuen Anwendung.

Ein zweiter Aufwand ist für die fortlaufende Anwendungspflege aufzubringen. Dieser ist auf der rechten Seite in Bild 6.4 dargestellt. Das in der erstmaligen Anwendungsentwicklung erarbeitete ProKon-System für die Unterstützung von Konstrukteuren bei der Konstruktion eines Produkts  $P_1$  stellt dabei den Startpunkt für die fortlaufende Anwendungspflege dar. Mit diesem ProKon-System für das Produkt  $P_1$  wird der Konstrukteur bei der weiteren Konstruktion nur soweit unterstützt, bis konstruktive Änderungen am Produkt vorgenommen werden, die durch das ProKon-System nicht mehr abgedeckt werden können. Beispielsweise ist es mit dem aktuellen Funktionsstand des ProKon-Systems nicht möglich, ein um eine Sicherungsringnut erweitertes Produktmodell auf Konsistenz zu prüfen.

Im Allgemeinen können diese konstruktiven Änderungen nach den Erkenntnissen aus dem Stand der Forschung in die Konstruktionsarten eingegliedert werden. Es ist zwischen Neu-, Anpassungs- und Variantenkonstruktion zu unterscheiden. Mithilfe der Variation der Konstruktionsarten sind unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten für

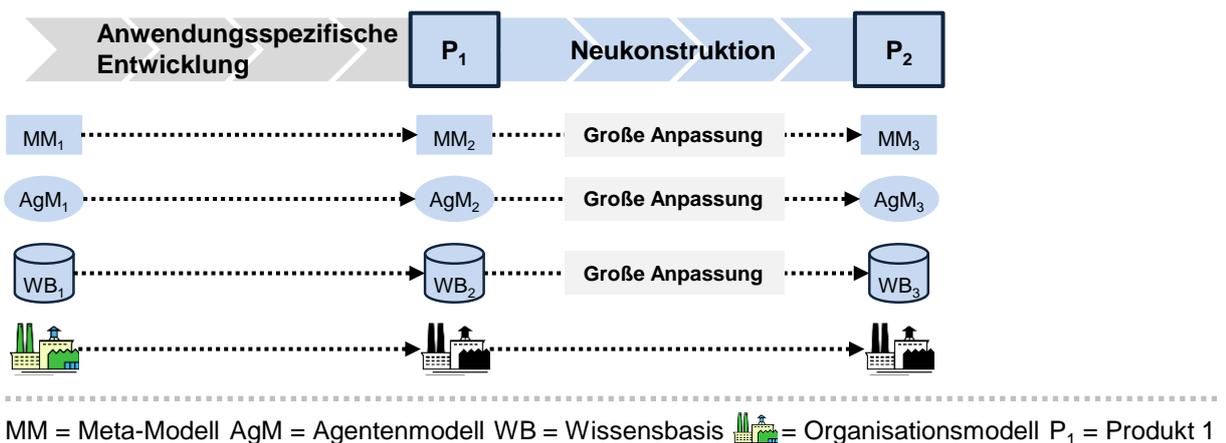
das ProKon-System im industriellen Einsatz denkbar. Je nach Konstruktionsart existiert ein Aufwand, das ProKon-System über die Nutzungsdauer der Anwendung zu pflegen (z. B. Neukonstruktion: Produkt  $P_1 \rightarrow$  Produkt  $P_2$ , rechte Seite in Bild 6.5).



**Bild 6.4:** Arten des Aufwands bei der Entwicklung eines ProKon-Systems

Im Folgenden wird die fortlaufende Anwendungspflege aus Bild 6.4 für die drei Konstruktionsarten konkretisiert, um abzuschätzen bei welchen Konstruktionsarten Konstrukteure unterstützt werden können.

Rechts in Bild 6.5 ist die Neukonstruktion dargestellt, die sich durch die Veränderung der Funktions- und Wirkstruktur definiert ( $P_1 \rightarrow P_2$ ).

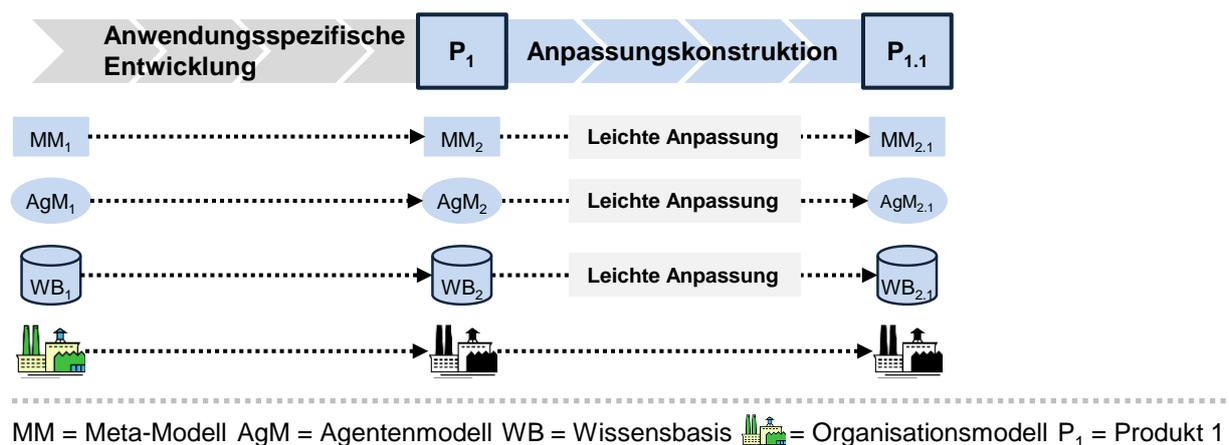


**Bild 6.5:** Anwendung des ProKon-Systems in Unternehmen unter Berücksichtigung der Neukonstruktion

Die Gestalt des Produkts verändert sich darin über dem Konstruktionsprozess, sodass für neu hinzugekommene Bauteile, die bisher nicht Teil des Produkts waren, neue

Meta-Modelle erarbeitet und die anwendungsspezifischen Agenten identifiziert werden müssten. Zudem ist die Wissensbasis durch den Einsatz des Wissensintegrationssystems zu verändern. Aufgrund dessen, dass über dem Konstruktionsprozess von  $P_1$  nach  $P_2$  bis auf das Organisationsmodell alle variablen Bestandteile des ProKon-Systems angepasst werden müssen, ist die Anwendung des ProKon-Systems bei Neukonstruktionen unwirtschaftlich.

Bei Anpassungskonstruktionen werden Werkstoffe, die Gestalt und die geometrischen Abmessungen während des Konstruktionsprozesses verändert (siehe rechte Seite in Bild 6.6). Da das Funktions- und Wirkprinzip feststeht, sind die Meta-Modelle, die Agenten und die Wissensbasis im Konstruktionsprozess ( $P_1 \rightarrow P_{1.1}$ ) nur in Teilen anzupassen. Je nachdem wie umfangreich die Anpassungen sind, ist der Aufwand niedriger als bei der Neukonstruktion. Die Unterstützung von Konstrukteuren erscheint bei der Anpassung von Produkten wirtschaftlicher als bei der Konstruktion von neuen Produkten.

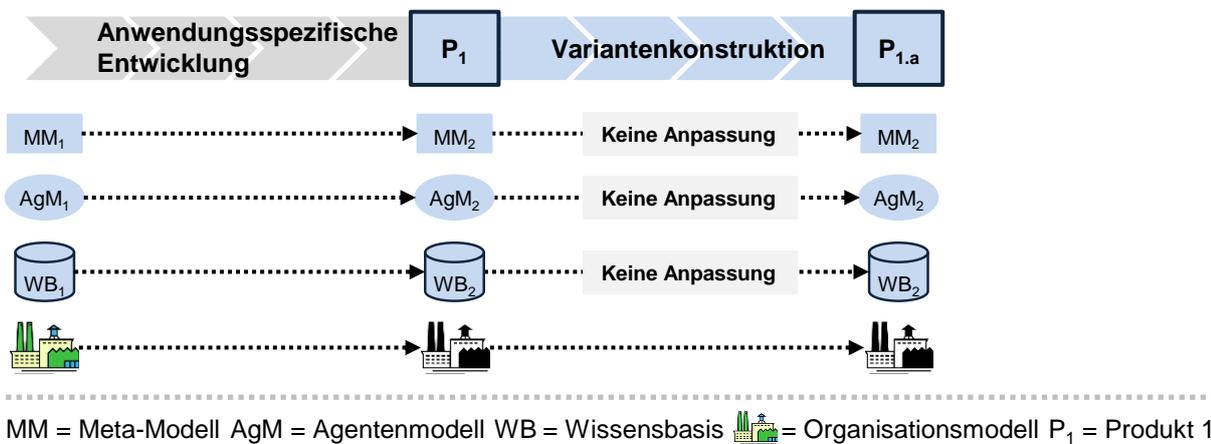


**Bild 6.6:** Anwendung des ProKon-Systems in Unternehmen unter Berücksichtigung der Anpassungskonstruktion

Gegenüber der Neu- und Anpassungskonstruktion werden bei der Variantenkonstruktion die geometrischen Abmessungen des Produkts verändert. Übertragen auf die Entwicklung des ProKon-Systems bedeutet dies, dass die Meta-Modelle, das Agentenmodell und die Wissensbasis nicht angepasst werden müssen (siehe rechts in Bild 6.7).

An dieser Stelle ist eine signifikante Unterscheidung bei der Pflege der Anwendung über dem Konstruktionsprozess auszumachen ( $P_1 \rightarrow P_{1.a}$ ). Da neben den Abmessungen von bestehenden Objekten im Produktmodell keine weiteren Veränderungen

vorgenommen werden, müssen keine neuen Meta-Modelle erarbeitet, das Agentenmodell nicht überarbeitet und die Wissensbasis diesbezüglich nicht modifiziert werden.



**Bild 6.7:** Anwendung des ProKon-Systems in Unternehmen unter Berücksichtigung der Variantenkonstruktionen

Insgesamt ist eine höhere Wirtschaftlichkeit der Anwendung des ProKon-Systems bei der Unterstützung von Konstrukteuren im Umgang mit Variantenkonstruktionen zu vermuten. Deren Anteil an der gesamten Konstruktion ist auf ca. 70 % zu beziffern, wie im Stand der Forschung erläutert wurde. Dies bescheinigt dem ProKon-System einen großen Anwendungsbereich.

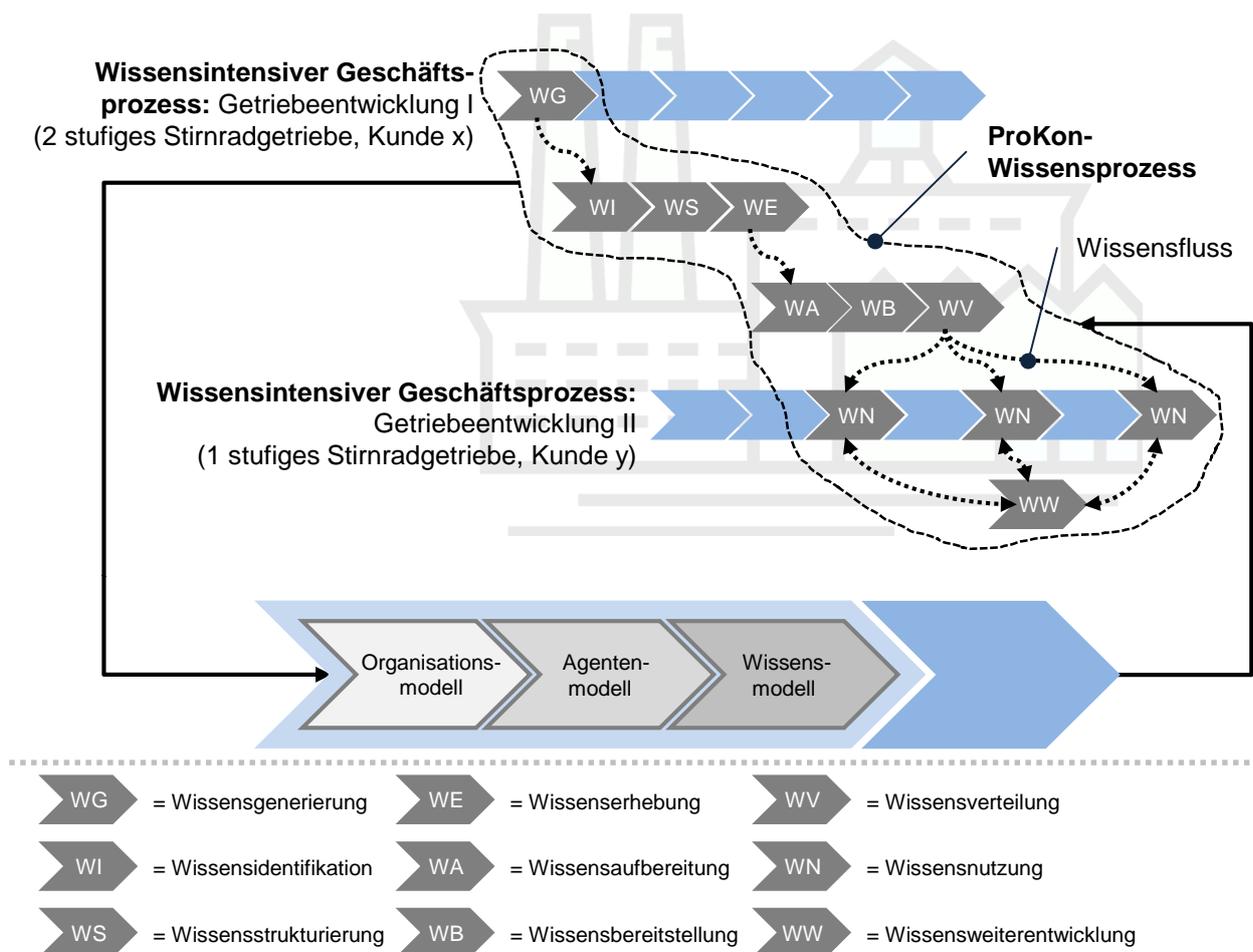
Für die generelle Unterstützung von Konstrukteuren durch das ProKon-System eignen sich Unternehmen, die maschinenbauliche Produkte entwickeln und mindestens einen Konstrukteur beschäftigen, der mit einem CAD-System konstruiert. Der Nutzen steigt mit der Anzahl der unterstützbaren Konstrukteure. Möglich ist die Übertragung der Funktionalitäten des Kernsystems auf die Entwicklung und Konstruktion von elektrotechnischen oder mechatronischen Produkten. Der Aufwand zur Erweiterung der Funktionalität des Kernsystems ist nicht abschätzbar. Diese Aspekte sind nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit.

#### 6.1.4 Eingliederung und Abgrenzung

Das ProKon-System unterstützt Konstrukteure innerhalb des Konstruktionsprozesses und gilt als technologische Maßnahme im Wissensmanagement. Es ist zielführend, die Vorgehensweise für die anwendungsspezifische Ausrichtung des ProKon-Systems mit ihren Auswirkungen auf das Unternehmen in den Gestaltungsrahmen des (geschäftsprozessorientierten) Wissensmanagements einzuordnen.

Der wissensintensive Geschäftsprozess innerhalb eines Unternehmens bildet das Fundament, wobei der in dieser Arbeit betrachtete Konstruktionsprozess den Prozess mit der höchsten Paarung an Komplexität und Wissensintensität darstellt. Aus dem Konstruktionsprozess wird das Wissen zur Sicherstellung der Funktionsweise des ProKon-Systems entnommen. Zudem erfolgt der Einsatz des ProKon-Systems in einem oder mehreren Schritten des Konstruktionsprozesses als wissensintensiver Geschäftsprozess (siehe wissensintensiver Geschäftsprozesse: Getriebeentwicklung I und II in Bild 6.8).

Die Verbindung zwischen den zwei in Bild 6.8 beispielhaft dargestellten wissensintensiven Geschäftsprozessen markiert der Wissensprozess, der in diesem Fall organisatorisch im Unternehmen nicht verankert ist. Dieser besteht aus den von Probst et al. [PROBST10] aufgestellten Wissensaktivitäten (z. B. Wissenserhebung). Wissensflüsse verbinden die Wissensaktivitäten.



**Bild 6.8:** Eingliederung des eigenen Ansatzes in das Wissensmanagement nach Kratzer et al. [KRATZER12A, S. 8]

In diesem Beispiel wird aus einem Konstruktionsprozess, in dem für einen Kunden x ein zweistufiges Stirnradgetriebe entwickelt wird, Wissen entnommen, das dort generiert wird (Wissensgenerierung, WG in Bild 6.8). Dieses Wissen wird Nutzern des ProKon-Systems über die Wissensaktivität Wissensnutzung (WN) in einem zweiten Konstruktionsprozess (Kunde y, einstufiges Stirnradgetriebe) zur Verfügung gestellt. Dazwischen wird das Wissen von sechs Wissensaktivitäten verarbeitet. Die letzte Wissensaktivität (Wissensweiterentwicklung, WW) stellt die Funktionalität des Wissensintegrationssystems dar, mit dem Konstrukteure innerhalb des Konstruktionsprozesses die Möglichkeit besitzen, Wissen selbstständig zu integrieren.

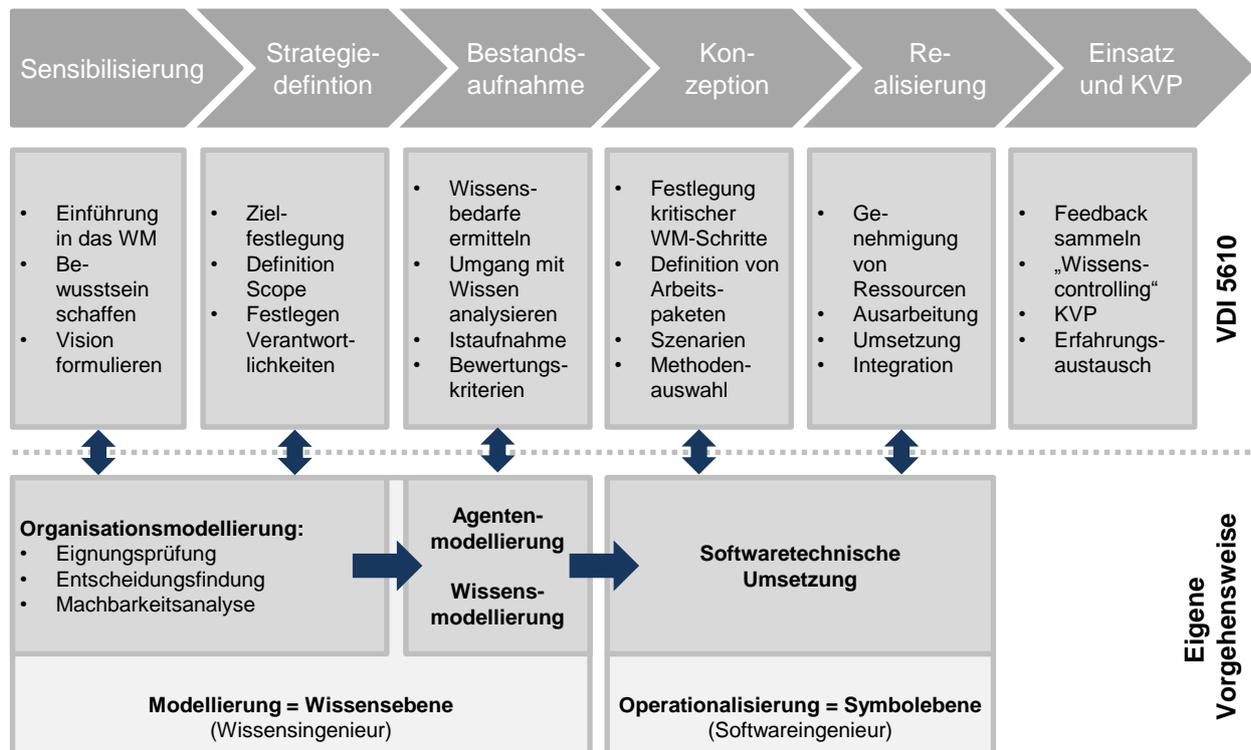
Remus [REMUS02] führt neben dem wissensintensiven Geschäftsprozess und dem Wissensprozess den Wissensmanagementprozess auf. Dieser spielt „eine wichtige Rolle bei der Umsetzung strategischer Zielvorgaben“ im Wissensmanagement [REMUS02, S. 120]. Der Wissensmanagementprozess ist dafür zuständig, den Wissensprozess zu erarbeiten. In der vorliegenden Arbeit stellt dieser die Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems dar. Diese Vorgehensweise setzt sich aus der Modellierung und der Operationalisierung zusammen.

Für eine Absicherung der eigens entwickelten Vorgehensweise, ist neben der geschäftsprozessorientierten Betrachtung des Wissensmanagements, eine Eingliederung in die VDI 5610 [VDI 5610 2009] notwendig. Diese Richtlinie beschreibt allgemein die Einführung von Wissensmanagementmaßnahmen im Ingenieurwesen. Der Einsatzbereich des ProKon-System entspricht demselben. Diese Eingliederung zeigt Bild 6.9.

Die VDI 5610 [VDI 5610 2009] schreibt ein aus sechs Phasen bestehendes Modell zur Etablierung einer Maßnahme im Bereich des Wissensmanagements vor. Dieses Phasenmodell befindet sich auf einer Abstraktionsstufe mit dem Wissensmanagementprozess aus Bild 6.8, indem es einen Wissensprozess umsetzt. Zudem repräsentiert das Phasenmodell die abstrakte Form der in dieser Arbeit erarbeiteten Vorgehensweise und kann ihr gegenübergestellt werden.

Die Phasen der Sensibilisierung und Strategiedefinition entsprechen der Modellierung der Organisation (d. h. dem Organisationsmodell). In beiden Phasen ist explizit keine Machbarkeitsanalyse vorgesehen, die sicherstellt, dass eine Maßnahme aus dem Wissensmanagement einen Mehrwert für das Unternehmen verspricht. Mehrheitlich überdeckt sich die Bestandsaufnahme mit dem Agenten- und Wissensmodell, obwohl zur Konzeptionsphase die Übergänge verschwimmen. Die Konzeption und die Realisierung lassen sich mit der softwaretechnischen Umsetzung umschreiben, die der

Modellierungsphase in der eigenen Vorgehensweise folgt. Für die letzte Phase „Einsatz und KVP“ fehlt eine entsprechende Vergleichsmöglichkeit.



**Bild 6.9:** Gegenüberstellung der VDI 5610 [VDI 5610 2009, S. 24] mit der in dieser Arbeit erarbeiteten Vorgehensweise

Letztlich ist nach der Eingliederung der eigenen Vorgehensweise in das Wissensmanagement eine Abgrenzung zu den klassischen Methoden aus der agentenorientierten Softwareentwicklung durchzuführen. Nach der VDI/VDE 2563 Blatt 2 [VDI/VDE 2653 2012, S. 4] ist „die Hauptaufgabe einer agentenorientierten Entwicklungsmethode [...] die Unterstützung sämtlicher Phasen des Softwareentwicklungsprozesses für agentenbasierte Systeme.“ Als Phasen sind die agentenorientierte Analyse, der Grob- und Feinentwurf sowie die Implementierung und der Test aufzufassen. Im Gegensatz zu einer agentenorientierten Entwicklungsmethode wird mithilfe der in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Vorgehensweise kein Agentensystem entwickelt. Die oben aufgeführten Phasen wurden während der Entwicklung des Kernsystems im ProKon-Projekt durchgeführt (siehe Kapitel 3). Beispielsweise wurden für die Erarbeitung der Fachagenten, der Aspektagenten und des Management-Agenten Methoden aus dem Bereich der rein agentenspezifischen Methoden (siehe Abschnitt 2.3.4) verwendet. Diese beinhalten u. a. die Ziel- und Rollenanalyse.

Nach der Beschreibung des eigenen Ansatzes erfolgt in den folgenden Abschnitten 6.2, 6.3 und 6.4 die Beschreibung der Vorgehensweise. Es ist zweckmäßig, die Bestandteile einer Vorgehensweise im Bereich des KBE nach Lovett et al. [LOVETT00, S. 385] aufzugreifen. Die VDI/VDE 2653 Blatt 2 [VDI/VDE 2653 2012, S. 4] und Bauer [BAUER13, S. 63 f.] bestätigen dies teilweise. Im Folgenden ist demnach zu beachten,

- dass Aktivitäten zur Erarbeitung eines Modells mit Schritten zu beschreiben sind,
- dass diese Schritte mit Hinweise und Richtlinien präzisiert werden sollten,
- dass Methoden und Werkzeuge zu erwähnen und zu beschreiben sind und
- dass Dokumentvorlagen für eine vereinfachte Anwendung bereitzustellen sind.

## **6.2 Beschreibung des Organisationsmodells**

Ziel dieses Abschnitts ist es, mithilfe einer Analyse der Organisation den Einsatzkontext für das ProKon-System zu erfassen. Der Ansatz legt die Grundlage für das hierfür notwendige Organisationsmodell (siehe Abschnitt 6.2.1). Es lässt sich damit die Einschätzbarkeit von Unternehmen und Anwendungen hinsichtlich deren Unterstützbarkeit durch das ProKon-System erhöhen. Durch die Identifikation der richtigen Anwendungen können die Vorteile des ProKon-Systems gegenüber klassischen Konstruktionssystemen, wie z. B. eine höhere Modularität, eine bessere Wartbarkeit und eine effizientere Lösungsfindung, in die Praxis transferiert werden. Diese Vorteile liegen im Interessensbereich der Konstrukteure, da sie meist keine Kenntnis von der Technologie haben und somit auf die Funktionalität des Systems achten. Der Nutzen steht im Vordergrund.

Die Analyse greift auf Kriterien zurück, die eine ideale Anwendung für das ProKon-System beschreiben. Beispielsweise stellen die in Abschnitt 6.1.3 identifizierten Konstruktionsarten ein Kriterium dar. Darauf aufbauend ist ein zentrales Kriterienset zu erarbeiten, mithilfe dessen Wissensingenieure zur Analyse von Unternehmen befähigt werden. Sie bereiten eine Entscheidung darüber vor, ob der Einsatz des ProKon-Systems in einem Unternehmen zweckmäßig ist (siehe Abschnitt 6.2.2).

Für die Anwendung des Kriteriensets ist der Konstruktionsprozess zu analysieren und zuvor modellhaft darzustellen. Unter verschiedenen Sprachen, die für diese Modellierung geeignet sein könnten, ist eine auszuwählen. Hierfür sind Anforderungen aufzustellen und mit den Sprachen zu korrelieren, damit eine Auswahl getroffen werden kann (siehe Abschnitt 6.2.3). Kriterien, Kriterienset und Modellierungssprache finden in der Unternehmensanalyse Anwendung, die innerhalb von Abschnitt 6.2.4 beschrieben wird. Das Ergebnis der Unternehmensanalyse muss bewertet werden. Daraufhin ist

durch das Entscheidungsgremium eine Entscheidung zu fällen, ob das ProKon-System für eine Anwendung im Unternehmen entwickelt werden soll. Die Schritte Unternehmensanalyse, Bewertung der Ergebnisse und Entscheidungsfindung bilden das Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells (siehe Abschnitt 6.2.5).

### 6.2.1 Ansatz zur Erarbeitung des Organisationsmodells

Innerhalb des Vorgehens zur Erarbeitung des Organisationsmodells ist zu berücksichtigen, dass das Unternehmen bestimmt, wie die IT gestaltet werden muss, um Unternehmensziele zu erreichen. Die IT im Konstruktionsbereich muss in erster Linie das Unternehmen unterstützen und somit das „Magische Dreieck“ der Produktentwicklung positiv beeinflussen. Eine Erhaltung von IT-Strukturen um seiner selbst willen ist nicht zielführend. Dies entspricht dem „Organizational Imperative“, wie er in Abschnitt 2.2.6 beschrieben worden ist.

Innerhalb dieses Paradigmas stellt sich die Frage, welche Aspekte innerhalb des Unternehmens analysiert werden müssen, um herauszufinden, ob das ProKon-System Konstrukteure unterstützen kann. Um hierfür alle konstruktionsrelevanten Aspekte zu berücksichtigen, ist ein holistischer Ansatz notwendig. Das in Abschnitt 2.1 analysierte Konstruktionssystem nach Hubka und Eder [HUBKA92] erfüllt diese Anforderungen.

Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 4.4 genannten Einschränkungen (Implizite Betrachtung des Konstruktionswissens und Betrachtung der IT-Systemlandschaft im Konstruktionsumfeld), sind vier Aspekte innerhalb des Unternehmens zu analysieren. Die Aspekte repräsentieren Erfolgsfaktoren für das ProKon-System. Schreiber et al. [SCHREIBER02, S. 26] verwenden den Begriff der kritischen Erfolgsfaktoren (engl. critical success factors). Übertragen auf die vorliegende Arbeit unterstützt das ProKon-System Konstrukteure innerhalb einer Anwendung, wenn das Unternehmen

- ein bestimmtes Umfeld aufweist,
- einen bestimmten Typ an Konstruktionsprozess mit einer bestimmten IT-Systemlandschaft beinhaltet,
- einen bestimmten Typ an Konstrukteuren beschäftigt, die
- einen bestimmten Typ eines Produkts entwickeln. [KRATZER13D, S. 5]

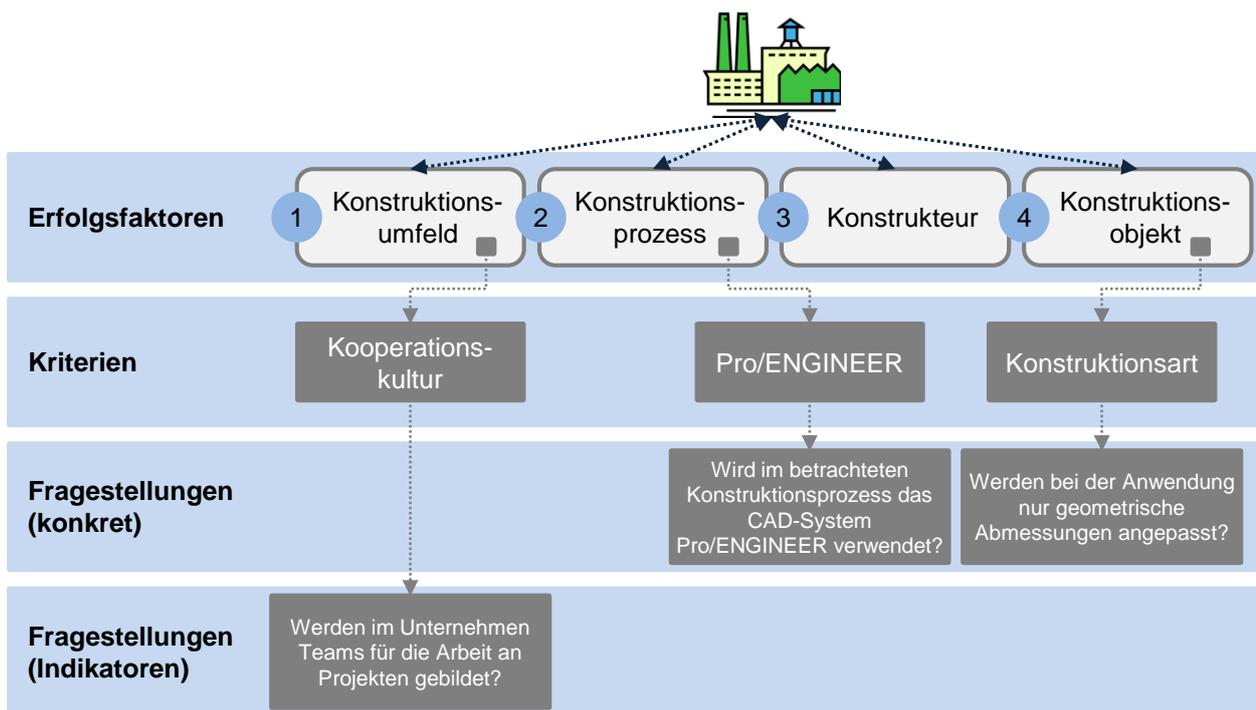
Die Erfolgsfaktoren sind zunächst abstrakt gehalten und definieren nicht, wie bspw. ein Umfeld aussehen muss, sodass das ProKon-System Konstrukteure unterstützen kann. Demnach sind die Erfolgsfaktoren mit einem qualitativen Kriterienset zu konkretisieren.

Eine quantitative Bewertung ist aufgrund der Unschärfe der Daten nicht zweckmäßig. Der Aufwand steht in keinem adäquaten Verhältnis zum Nutzen.

Wie Bild 6.10 zeigt, sind die Kriterien mit detaillierten Fragestellungen zu operationalisieren, um für den Wissensingenieur einen Handlungsleitfaden bereitzustellen. Für die Aspekte, die innerhalb eines Unternehmens nicht konkret analysiert werden können, werden Indikatoren benötigt. [KRATZER13D, S. 5]

Ein Indikator „ist ein direkt beobachtbarer Sachverhalt, der [...] mit dem nicht beobachtbaren Sachverhalt verknüpft wird“ [KROMREY09, S. 162]. Beispielsweise kann eine Wissenskultur nicht direkt beobachtet werden, sondern muss u. a. mit dem Indikator „Vorherrschende Kooperationskultur“ indirekt nachgewiesen werden.

Neben der Frage, welche Erfolgsfaktoren relevant sind, ist für Wissensingenieure im Sinne einer methodischen Vorgehensweise wichtig, in welcher Reihenfolge die Erfolgsfaktoren mit Kriterien und Fragestellungen für die Analyse verwendet werden sollen (siehe Bild 6.10).



**Bild 6.10:** Zusammenhang zwischen Erfolgsfaktoren, Kriterien und Fragestellungen  
 Zunächst ist die Konstruktionsumgebung mithilfe von Kriterien zu analysieren, da diese die generellste Sichtweise auf das Unternehmen beinhaltet (1). Um herauszufinden, welche Konstrukteure zu befragen sind (3), ist zuvor der Konstruktionsprozess einer Analyse zu unterziehen (2). Letztlich ist das Konstruktionsobjekt (Technisches System

oder Produkt) zu untersuchen, welches von der Wahl des Konstruktionsprozesses abhängt (4). [KRATZER13D, S. 5 f.]

Bild 6.10 führt die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Abschnitten zusammen. Die Erfolgsfaktoren sind in der eben definierten Reihenfolge aufgelistet und werden mittels Kriterien detailliert. Neben dem Beispiel der bereits eingeführten Kooperationskultur zeigt Bild 6.10 das Kriterium „Konstruktionsart“ unter dem Erfolgsfaktor „Konstruktionsobjekt“. Dieses Kriterium benötigt nicht die Verwendung eines Indikators, da es durch die in Bild 6.10 angegebene (konkrete) Fragestellung ausreichend beantwortet werden kann.

### **6.2.2 Kriterienset als Abbildung der idealen Anwendung**

Die Kriterien beschreiben implizit die ideale Anwendung für das ProKon-System und wurden in einem zweistufigen Verfahren ermittelt. Zu deren Identifikation wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt. Sie orientierte sich an der Vielschichtigkeit der Thematik, da es sich beim ProKon-System um ein wissensbasiertes Agentensystem zur Unterstützung von Konstrukteuren handelt. Zum einen wurde nach explizit genannten Kriterien aus Publikationen über die Analyse von Organisationen recherchiert. Zum anderen erfolgte die Ermittlung von Kriterien, die einen mittelbaren Bezug zur Thematik besitzen. Diese werden in den Publikationen nicht als Analysekriterien deklariert und sind implizite Kriterien. Die Bereiche des Wissensmanagements, der Konstruktion und der agentenorientierten Softwareentwicklung wurden untersucht. Vervollständigt wurde die Recherche mit den Ergebnissen aus einer Studie von Doan et al. [DOAN11]. Es konnten 19 Kriterien identifiziert werden, wie Tabelle 6.1 zeigt.

Ein Beispiel für ein explizites Kriterium ist die Parallelisierbarkeit von Prozessen (Kriterium L in Tabelle 6.1). Nach Lander [LANDER97] sind Prozesse für Agentensysteme besonders geeignet, wenn sie u. a. parallel durchzuführende Prozessschritte beinhalten. Lindemann [LINDEMANN05] definiert mit der Fehlerbehandlung in der Organisation ein implizites Kriterium, das als Indikator für eine ideale Wissenskultur im Sinne des ProKon-Systems dient (Kriterium C).

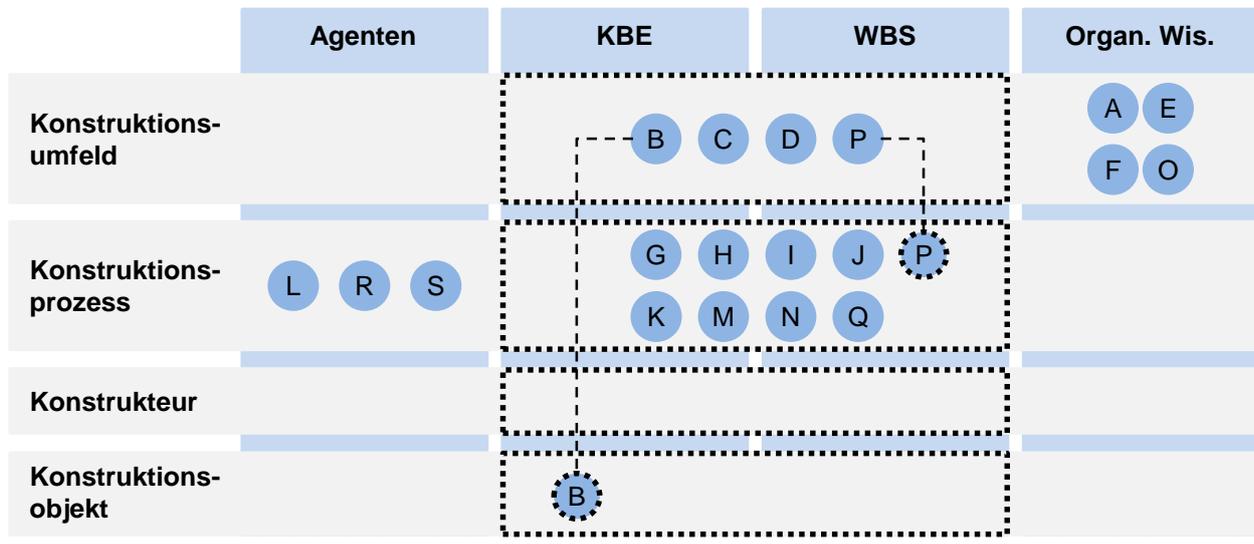
	Kriterium	Implizit/ Explizit	Referenz
A	Teamzusammensetzung in der Organisation	Implizit	[EPPLER99]
B	Return on Investment	Implizit	u. a. [EMBEREY07]
C	Fehlerbehandlung in der Organisation	Implizit	[LINDEMANN05]
D	Gedanklicher Wille zur Veränderung der Organisation	Implizit	[LINDEMANN05]
E	Auftreten einer Wissenskultur (z. B. Lernkultur)	Implizit	u. a. [DOAN11]
F	Auftreten einer Unternehmenskultur	Implizit	[HEISIG05]
G	Routineaufgaben im Konstruktionsprozess	Explizit	[EMBEREY07]
H	Komplexität des Konstruktionsprozesses	Explizit	u. a. [EMBEREY07]
I	Iterativer Charakter des Konstruktionsprozesses (KP)	Explizit	[EMBEREY07]
J	Möglichkeit zur informalen/modellhaften Darstellung des KP	Explizit	[EMBEREY07]
K	Durchlaufzeit des Konstruktionsprozesses	Explizit	[EMBEREY07]
L	Parallelisierbarkeit von Prozessschritten	Explizit	[LANDER97]
M	Noch nicht von Systemen unterstützte Prozessschritte	Explizit	u. a. [EPPLER99]
N	Wissensintensität des Konstruktionsprozesses	Implizit	u. a. [REMUS02]
O	Zustimmung der Anwender und Entscheider	Implizit	u. a. [DOAN11]
P	Verfügbare Ressourcen (Zeit, Budget, Mitarbeiter etc.)	Explizit	[SCHREIBER02]
Q	Berücksichtigung d. Funktionalität konkurrierender Systeme	Explizit	u. a. [VAN DER WELDEN12]
R	Anwendung mit verteiltem und kooperativem Charakter	Explizit	[PARUNAK98]
S	Anwendung mit undefinierten/veränderbaren Bedingungen	Explizit	[PARUNAK98]

**Tabelle 6.1:** Kriterien zur Analyse von Organisationen auf Basis der analysierten Literaturstellen nach Kratzer et al. [KRATZER13D, S. 3 f.]

Die Korrelation der Erfolgsfaktoren mit den Eigenschaften des ProKon-Systems ergibt eine Matrix, in die die Kriterien aus einer Literaturrecherche eingeordnet werden können. Ergänzt wird die Beschreibung durch die Betrachtung der Organisationswissenschaft, wie Bild 6.11 in der rechten Spalte zeigt. Die Zuordnung der Kriterien zu den Eigenschaften (z. B. „KBE“) entstand durch die Analyse des Kontextes der untersuchten Literaturstelle.

Zentrale Bedingung für eine vollständige Analyse der Anwendung ist die Tatsache, dass durch die Kriterien alle Erfolgsfaktoren ausreichend beschrieben werden müssen. Bild 6.11 zeigt die Matrix mit den im Stand der Forschung identifizierten Kriterien. Die Kriterien sind wie in Tabelle 6.1 mit Buchstaben beschriftet, sodass eine Zuordnung

stattfinden kann. Aufgrund der Gemeinsamkeiten zwischen den Bereichen Knowledge-based Engineering und wissensbasierte Systeme wurden diese in Bild 6.11 zusammen betrachtet.



KBE = Knowledge-based Engineering WBS = Wissensbasierte Systeme

Organ. Wis. = Organisationswissenschaften

**Bild 6.11:** Analyse der Kriterien aus der Literaturrecherche

Zwar existieren Kriterien für die Analyse des Konstruktionsumfelds und für den Konstruktionsprozess, jedoch nicht für die Charakterisierung der Konstrukteure und für die Analyse des Konstruktionsobjekts. Es ist eine Übertragung des Kriteriums „Return on Investment“ (B) auf das Konstruktionsobjekt und das Kriterium „Verfügbare Ressourcen“ (P) auf den Konstruktionsprozess möglich, da sie dort ebenfalls angewendet werden können. Der agentenhafte Charakter des ProKon-Systems wird mit drei Kriterien zu wenig berücksichtigt und muss mit weiteren Kriterien beschrieben werden.

Aus diesem Grund sind auf Basis der identifizierten Kriterien Experteninterviews durchgeführt worden, um die Kriterien zu validieren und um die Fehlstellen in Bild 6.11 zu füllen. Folgende Probandengruppen wurden befragt: ein Entscheider, eine Psychologin und ein Konstrukteur aus der industriellen Praxis sowie drei Wissenschaftler aus dem Bereich der Wirtschaftsinformatik in der universitären Forschung. [KRATZER13D, S. 7]

Das finale Kriterienset führt Tabelle 6.2 auf. Die Kriterien sind den Erfolgsfaktoren untergeordnet, wobei die erarbeitete Analyseihenfolge eingehalten wird. Zudem wird zwischen Muss-Kriterien (siehe Typ „K.-o.“ in Tabelle 6.2) und Kann-Kriterien unterschieden (Typ „Nicht K.-o.“). K.-o.-Kriterien sind innerhalb eines Erfolgsfaktors vom Wissensingenieur zuerst zu analysieren. So kann bei deren Nichterfüllung die weitere

Analyse abgebrochen werden. Diese Kriterien sind aufgrund deren Wichtigkeit mit einer größeren Sorgfalt zu beantworten. Eine Gewichtung der Fragestellungen wurde bis auf die Unterscheidung nach dem Typ der Kriterien nicht vorgenommen. Den Zusammenhang zwischen den ursprünglich in der Literaturrecherche identifizierten Kriterien aus Tabelle 6.1 und dem durch Interviews erweiterten Kriterienset in Tabelle 6.2 zeigt die Spalte „Herkunft“.

	<b>Erfolgsfaktor</b>	<b>Typ</b>	<b>Kriterium</b>	<b>Herkunft</b>
1	Konstruktionsumfeld	K.-o.	Existenz der richtigen Mitarbeiter	vgl. A und P
2	Konstruktionsumfeld	K.-o.	Ausreichende zeitliche Ressourcen	vgl. P
3	Konstruktionsumfeld	K.-o.	Ausreichende finanzielle Ressourcen	vgl. P
4	Konstruktionsumfeld	Nicht K.-o.	Typisierung des Entscheiders	vgl. O
5	Konstruktionsumfeld	Nicht K.-o.	Zielsystem des Entscheiders	vgl. O + aus Diskussionen
6	Konstruktionsumfeld	Nicht K.-o.	Vorherrschende Kooperationskultur	vgl. E und F
7	Konstruktionsumfeld	Nicht K.-o.	Geduldete Fehlertoleranz	vgl. C und E
8	Konstruktionsumfeld	Nicht K.-o.	Möglichkeit zum autonomen Arbeiten	vgl. E
9	Konstruktionsumfeld	Nicht K.-o.	Vorherrschende Lernbereitschaft	vgl. E
10	Konstruktionsumfeld	Nicht K.-o.	Motivation zur Wissensweitergabe	vgl. E
11	Konstruktionsumfeld	Nicht K.-o.	Zurückgreifen auf existierende Dokumente	aus Diskussionen
12	Konstruktionsprozess	K.-o.	Einsatz eines durch das ProKon-System unterstützten CAD-Systems	vgl. Q + aus Diskussionen
13	Konstruktionsprozess	K.-o.	Existenz eines Einsparpotenzials in Bezug auf Kosten und Zeit	vgl. B und K
14	Konstruktionsprozess	K.-o.	Generelle Unterstützbarkeit des Konstruktionsprozesses durch das ProKon-System	vgl. J
15	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Behandlung der grundlegenden Problematik	aus Diskussionen
16	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Einsatz einer durch das ProKon-System unterstützten Berechnungssoftware	aus Diskussionen

	Erfolgsfaktor	Typ	Kriterium	Herkunft
17	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Konstruktionsprozess mit parallelem Charakter	vgl. L
18	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Konstruktionsprozess mit verteiltem Charakter	vgl. R
19	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Anzahl der Rollen im Konstruktionsprozess	aus Diskussionen
20	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Konstruktionsprozess mit individuellen und konflikträchtigen Zielen	vgl. R + aus Diskussionen
21	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Erkennung von Prozessen mit nicht vollständig definierten Strukturinformationen	vgl. S
22	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Erkennung von Prozessen mit sich veränderlichen Strukturinformationen	vgl. I und S
23	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Wissensintensität und Komplexität	vgl. G, H und N
24	Konstruktionsprozess	Nicht K.-o.	Höhe des Einsparpotenzials in Bezug auf Kosten und Zeit	vgl. B und K
25	Konstrukteur	K.-o.	Berufserfahrung	aus Diskussionen
26	Konstrukteur	K.-o.	Dringlichkeit der Unterstützung durch das ProKon-System	vgl. D + aus Diskussionen
27	Konstruktionsobjekt	K.-o.	Erkennung eines modularen Produktmodells	vgl. S
28	Konstruktionsobjekt	Nicht K.-o.	Steigerungspotenzial der Qualität	vgl. B
29	Konstruktionsobjekt	Nicht K.-o.	Komplexitätsgrad	aus Diskussionen
30	Konstruktionsobjekt	Nicht K.-o.	Konstruktionsart	aus Diskussionen
31	Konstruktionsobjekt	Nicht K.-o.	Existenz von Meta-Modellen zur Anbindung des ProKon-Systems an das CAD-System	aus Diskussionen

**Tabelle 6.2:** Kriterien zur Analyse von Unternehmen nach Kratzer et al. [KRATZER13D, S. 7 f.]

Die in Tabelle 6.2 aufgeführten Kriterien sind nicht direkt beantwortbar. Wie Bild 6.10 zeigt, dienen Fragestellungen dazu, die abstrakte Formulierung der Kriterien zu spezifizieren. Je nach Komplexität des Kriteriums werden sie durch Unterfragen detailliert. Sofern das Kriterium mit einer Fragestellung direkt konkretisiert werden kann, ist keine indikatorische Fragestellung notwendig, wie Bild 6.10 zeigt.

Die Fragestellungen beinhalten zudem die Erfolgsmerkmale, die die ideale Anwendung für das ProKon-System definieren [KRATZER13D, S. 7]. Beispielsweise ist das Vorliegen einer Variantenkonstruktion ein Erfolgsmerkmal für das Kriterium „Konstruktionsart“ (siehe Bild 6.10). Tabelle A.3.1 im Anhang A.3 zeigt eine um die Erfolgsmerkmale erweiterte Sicht auf die Kriterien.

Fragestellungen eignen sich beim vorliegenden Ansatz für die Verwendung innerhalb von Interviews (z. B. Kriterien 2 und 3) oder für die Verwendung innerhalb einer Analyse durch den Wissensingenieur (z. B. Kriterium 4). Bei der letzteren Möglichkeit sind die Gegebenheiten im Unternehmen zu untersuchen (bspw. Prozess oder Produkt). Für die Anwendung der Fragestellungen durch den Wissensingenieur wurde das Kriterienset in einen Interviewteil und in einen Analyseteil aufgespalten.

Sind alle Fragestellungen zu den Kriterien beantwortet worden, stellt sich die Frage nach der Grenze, ab der ein Einsatz des ProKon-Systems zweckmäßig ist. Ein Mindestmaß regelt die Beantwortung der K.-o.-Kriterien, die erfüllt sein müssen. Dies stellt eine Grobbewertung dar. Ist ein K.-o.-Kriterium nicht erfüllt, ist die Entwicklung des ProKon-Systems nicht möglich oder der Einsatz nicht wirtschaftlich. Damit ein K.-o.-Kriterium als erfüllt gilt, sind alle zugehörigen Unterfragen mit ja zu beantworten.

Auf die Grobbewertung folgt innerhalb eines Erfolgsfaktors eine Feinbewertung, die die Beantwortung der nicht K.-o.-Kriterien enthält. Dabei ist ein Mindestpunktwert festzulegen, wie ihn z. B. Seibert [SEIBERT98, S. 168] fordert. Dies begründet sich darauf, dass keine relativen Daten für unterschiedliche Konstruktionsprozesse vorliegen (vgl. Benchmark). Dabei würde der „beste“ Konstruktionsprozess weiterverfolgt werden, unabhängig davon, wie viele Fragen mit ja beantwortet wurden. Als grobe Richtlinie sollte mindestens die Hälfte der Fragestellungen mit ja beantwortet werden. Dies gilt ebenso bei den Unterfragen.

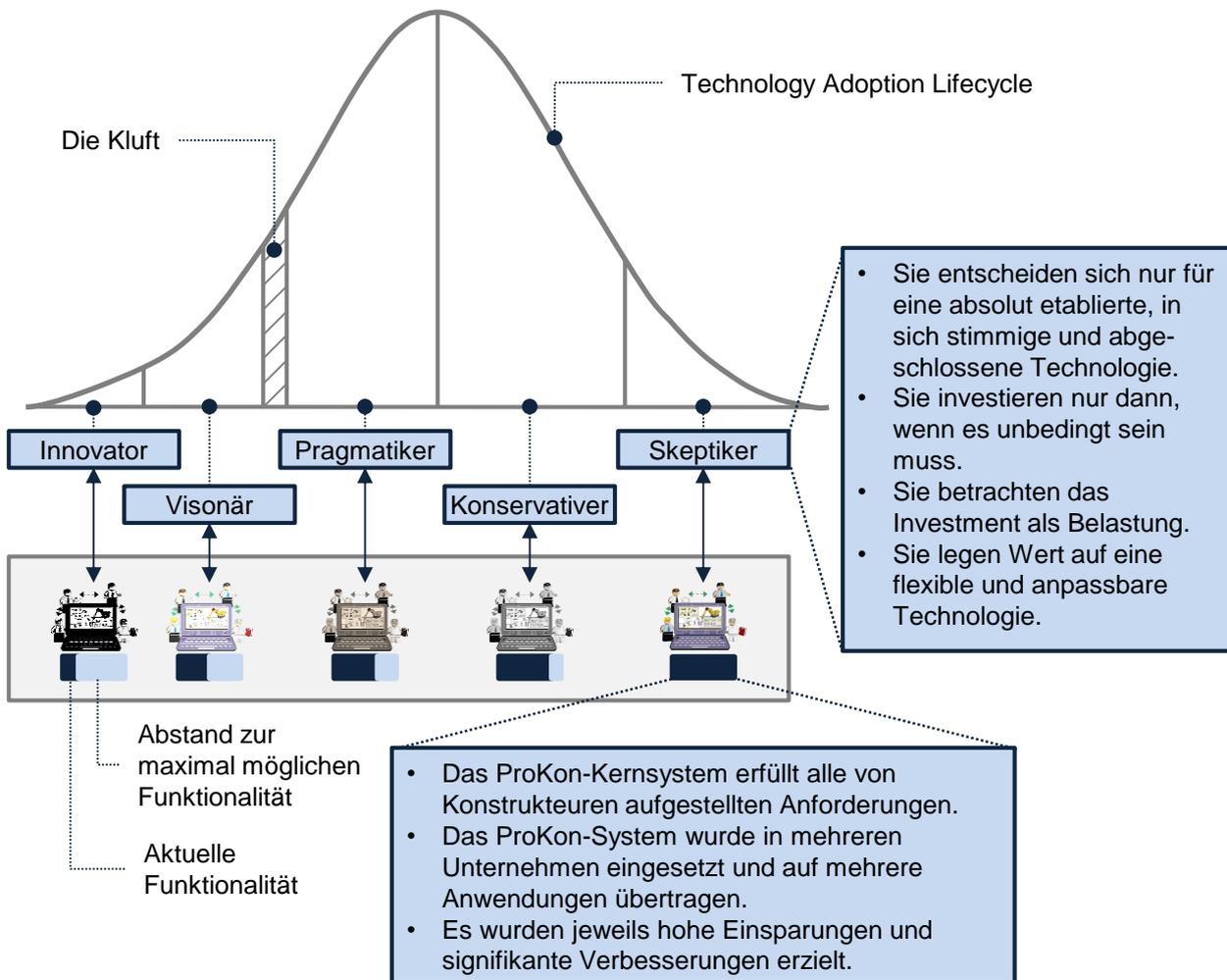
Für die Beantwortung umfangreicher Kriterien, wie z. B. Kriterium 4, reichen die in Tabelle A.3.1 aufgeführten Erfolgsmerkmale nicht aus. Es sind zusätzliche Hintergrundinformationen notwendig, die der Wissensingenieur zur Beantwortung benötigt. Daneben existieren Kriterien, wie z. B. Kriterium 14, das nur durch die Verwendung von weiterführenden Methoden beantwortet werden kann. Obwohl für diese Fälle zusätzliche Hintergrundinformationen und weiterführende Methoden vorliegen, ist eine Erläuterung innerhalb der vorliegenden Arbeit nicht möglich. In der Arbeit von Kratzer et al. [KRATZER13B] sind für Kriterium 14 weitere Hintergrundinformationen zu finden. An einem Beispiel soll im Folgenden ein Kriterium detaillierter beschrieben werden.

Als Beispiel wird Kriterium 4 „Typisierung des Entscheiders“ herangezogen. Die Grundlagen zur Beantwortung des Kriteriums beschreiben Bohlen und Beal [BOHLEN57] sowie Moore [MOORE02]. Sie zeigen, wie sich der Markt für ein neues Produkt entwickelt. Käufer und Verkäufer des Produkts müssen das gleiche Ziel und die gleichen Vorstellungen besitzen, sodass es zu einem Handel kommt [MOORE02, S. 28 ff.]. Besitzt das Produkt bspw. nur eine geringe Funktionalität, jedoch ein großes Potenzial, so kommen nach Moore [MOORE02, S. 30 ff.] auf Innovationen fixierte Käufer mit Visionen (Innovatoren und Visionäre) für einen Handel in Frage. Das Potenzial des Produkts steht im Vordergrund. Beide Typen sehen in der aktuellen Funktionalität nur ein mittelfristiges Problem. Skeptiker steigen in einen Handel ein, sofern das Produkt bereits von vielen Unternehmen oder Personen als gut befunden wurde. Der Einsatz muss mehrmals erprobt sein [MOORE02, S. 54 f.]. Letztlich identifizierte Moore [MOORE02, S. 16 f.] zwischen den Visionären und den eher pragmatischen Käufern eine Kluft („the chasm“). Diese Kluft ist nur mit Aufwand zu überwinden und gilt als die Hürde bei der Einführung von Innovationen in einen Markt.

Der Vergleich, dass Käufer und Verkäufer in einem freien Markt die gleichen Vorstellungen besitzen müssen, sodass es zu einem Handel kommt, ist auf den vorliegenden Ansatz zu übertragen. Es werden die fünf Typen an Käufern von Moore [MOORE02, S. 17] verwendet und mit dem Technology Adoption Lifecycle (TAL) verbunden. Dies zeigt Bild 6.12, wobei der TAL einer Häufigkeitsverteilung entspricht.

Der Entscheider (d. h. der Käufer) muss von seiner Typisierung zur Funktionalität des Kernsystems passen (d. h. zu dem Produkt des Verkäufers). Stimmen die Vorstellungen überein, ist der Einsatz des ProKon-Systems diesbezüglich zweckmäßig. Im Beispiel in Bild 6.12 wird ein Skeptiker als Entscheider in einem Unternehmen angenommen. Dem gegenüber muss ein „perfektes“ ProKon-System stehen, das alle Anforderungen erfüllt und mehrmals erfolgreich eingesetzt wurde.

Die Organisation als heterogener Untersuchungsgegenstand und die Vorbehalte, auf die der Wissensingenieur bei der Analyse stößt, führen zu einer Unschärfe in den erhobenen Daten. Das Ergebnis muss unter Beachtung der aktuellen Umstände interpretiert werden. Eine Parallelität mit der Bewertung von Produktideen z. B. nach Eversheim [EVERSHEIM03, S. 88] ist feststellbar. Es ist zielführend, das Ergebnis als richtunggebend aufzufassen. Der Wissensingenieur muss ein Gefühl für die Umstände im Unternehmen bekommen.



**Bild 6.12:** Hintergrundinformationen für die Beantwortung von Kriterium 4

### 6.2.3 Auswahl einer Modellierungssprache

Als ein Kernaspekt bei der Anwendung der Kriterien gilt die Untersuchung des Konstruktionsprozesses (siehe Kriterien 12 bis 24 in Tabelle 6.2). Dieser ist systematisch von den Wissensingenieuren zu analysieren, sofern der Prozess aufgenommen und modelliert worden ist. Für die Modellierung kommen aus dem Bereich der Betriebswirtschaftslehre, aus der Informatik und aus der Wirtschaftsinformatik mehrere Sprachen in Frage, die Vorteile und Anwendungsgebiete besitzen. Letztlich sind vier Modellierungssprachen auf deren Einsetzbarkeit untersucht worden, wie Tabelle 6.3 zeigt.

Es soll eine Modellierungssprache verwendet werden, die unterschiedlichen Anforderungen genügen muss. Remus [REMUS02A, S. 218 ff.] hat bereits Anforderungen an die Modellierung von Geschäftsprozessen aufgestellt, die teilweise übernommen werden können. Folgende Anforderungen wurden berücksichtigt:

- Mit der Sprache werden Informationen und Wissen neben den klassischen Modelltypen abgebildet (z. B. die Rolle). Diese Anforderungen ist zentral für die vorliegende Arbeit und wird dementsprechend höher gewichtet.
- Die Sprache bietet eine Unterstützung verschiedener Hierarchieebenen.
- Die Sprache bietet eine Vorgehensunterstützung.
- Die Sprache erzeugt eine reproduzierbare Modellierung eines Prozesses.
- Es sollen Software-Werkzeuge für eine benutzerfreundliche Modellierung sorgen.
- Die Sprache unterstützt die semi-formale Darstellung eines Geschäftsprozesses.

Sprache	Beschreibung
Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK)	Die Ereignisgesteuerte Prozesskette ist ein wesentliches Element des ARIS-Konzepts. Wissensingenieure sind unter Zuhilfenahme von EPK in der Lage, Geschäftsprozesse einer Organisation semiformal abzubilden. [STAUD99, S. 171 ff.]
Knowledge Modelling and Description Language (KMDL)	Die Knowledge Modeling and Description Language (KMDL) wurde von GRONAU UND FRÖMING [GRONAU06] entwickelt, um wissensintensive Geschäftsprozesse mit Hilfe der von NONAKA UND TAKEUCHI [NONAKA95] entwickelten Konversionen (Externalisierung, Sozialisation, Internalisierung und Kombination) semiformal darzustellen. Mit KMDL lässt sich eine Prozesssicht und eine Aktivitätssicht erzeugen.
HIPO-Diagramm (Hierarchy plus Input-Process-Output)	Das von der IBM entwickelte HIPO-Diagramm (Hierarchy plus Input-Process-Output) orientiert sich am EVA-Prinzip (Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe). Im Rahmen der Geschäftsprozessmodellierung dient das HIPO-Diagramm zur semiformalen Abbildung von Daten in der Form „benötigte Daten“, „Verarbeitungsprozesse“ und „erzeugte Daten“. Dabei ist das HIPO-Diagramm in der Lage, mit unterschiedlichen Hierarchieebenen umzugehen. [LAUBER99, S. 92 ff.]
Business Process Execution Language (BPEL)	Die Business Process Execution Language (BPEL) ist eine formale, XML-basierte Sprache zur Abbildung von Geschäftsprozessen. Eine Einschränkung existiert hinsichtlich der Implementierung von Geschäftsprozessen durch Web-Services. [KOSSMANN04, S. 126 f.]

**Tabelle 6.3:** Beschreibung von Sprachen zur Modellierung von Geschäftsprozessen

Tabelle 6.4 zeigt die Ergebnisse eines Vergleichs der Modellierungssprachen unter Berücksichtigung der Anforderungen. Insgesamt schneidet die KMDL am besten ab, da Wissensingenieure insbesondere mit dieser Sprache Geschäftsprozesse informations- und wissensorientiert darstellen können. Die weiteren Sprachen schneiden bzgl. der restlichen Anforderungen ähnlich gut wie KMDL ab. Lediglich sind über die Sprache HIPO punktuell zu wenig Informationen für einen ernsthaften Vergleich verfügbar gewesen.

Anforderung	EPK	KMDL	HIPO	BPEL
Bildet Informations- und Wissensflüsse ab	○	●	○	○
Unterstützt unterschiedliche Hierarchieebenen	●	●	⊘	●
Bietet Vorgehensunterstützung	●	◐	⊘	●
Erzeugt reproduzierbare Modellierung eines Prozesses	●	●	●	●
Bietet angepasste und kostenlose Softwarewerkzeuge	●	●	⊘	●
Unterstützt semiformale Darstellung von Prozessen	●	●	●	○

- = Anforderung wird durch die Modellierungssprache vollständig erfüllt
- ◐ = Anforderung wird durch die Modellierungssprache teilweise erfüllt
- = Anforderung wird durch die Modellierungssprache nicht erfüllt
- ⊘ = Zum Zeitpunkt der Analyse waren zu wenig Informationen verfügbar

**Tabelle 6.4:** Vergleich von Modellierungssprachen

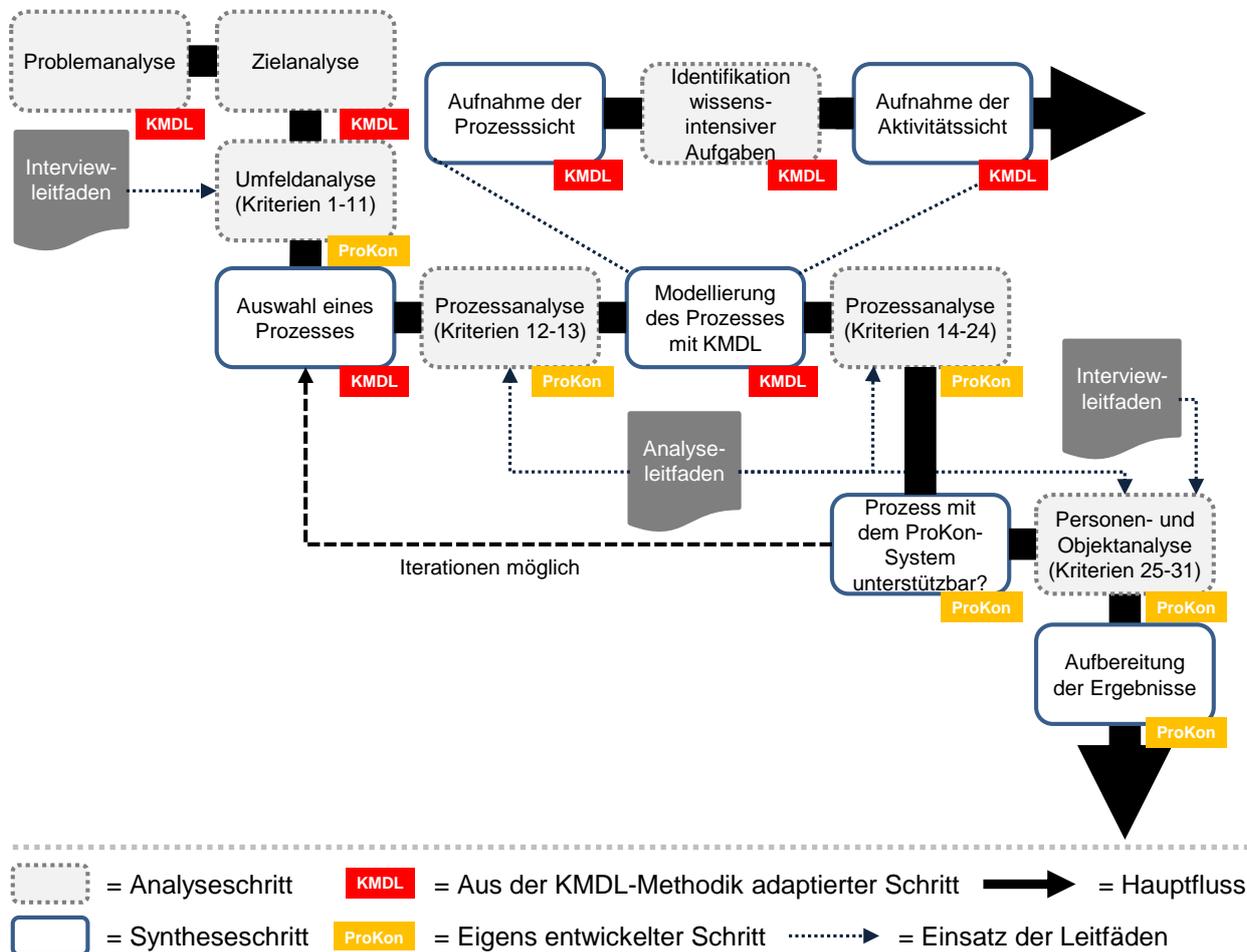
Dieses Urteil bestätigen Gronau [GRONAU03] und Gronau et al. [GRONAU05], indem sie die zu dem jeweiligen Zeitpunkt existierenden Modellierungsansätze (ARIS, INCOME, PROMOTE, Workware, ADONIS, BONAPART) analysierten. Als Nachteil der KMDL ist die teilweise fehlende Unterstützung eines Vorgehens aufzufassen. Im nächsten Abschnitt wird die Vorgehensweise innerhalb der Unternehmensanalyse erläutert.

### 6.2.4 Vorgehen innerhalb der Unternehmensanalyse

Mit den Kriterien und der ausgewählten Modellierungssprache wurden wichtige Aspekte der Unternehmensanalyse definiert. Die Kriterien sind Erfolgsfaktoren untergeordnet, die in einer Reihenfolge zu analysieren sind. Den Rahmen bildet ein Vorgehen, das die Erfolgsfaktoren mit Kriterien und die dazu gehörigen Modellierungsschritte enthält. Das Vorgehen befähigt den Wissensingenieur zu einer Untersuchung des Unternehmens und orientiert sich an der von Gronau und Fröming [GRONAU06, S. 354] erarbeiteten Vorgehensweise zur Anwendung von KMDL (siehe Bild 6.13).

Die von Gronau und Fröming [GRONAU06] übernommenen Schritte sind in Bild 6.13 mit „KMDL“ deklariert. Ergänzt werden diese Schritte durch weitere, die das Kriterienset aus Abschnitt 6.2.2 anwenden (siehe „ProKon“ in Bild 6.13). Je nach Charakteristik des Analyseschritts wird entweder der aus dem Kriterienset heraus entstandene Interviewleitfaden oder der Analyseleitfaden verwendet. Konkret sind vom Wissensingenieur zehn Schritte innerhalb der Unternehmensanalyse durchzuführen. Dabei werden Work-

shops und Interviews durchgeführt, die durch Eigenarbeitsanteile ergänzt werden. Die Schritte zur Durchführung der Unternehmensanalyse aus Bild 6.13 werden in Tabelle 6.5 erläutert, sodass Wissensingenieure zu einem Vorgehen befähigt werden.



**Bild 6.13:** Vorgehen innerhalb der Unternehmensanalyse

Für die Unternehmensanalyse besitzt die Aktivitätssicht in der KMDL-Modellierungssprache eine zentrale Funktion. Sie wird benötigt, um den Großteil der Kriterien aus der Prozessanalyse zu beantworten. Die Aktivitätssicht besteht aus Konversionen, die Informations- und Wissens Elemente ineinander überführen und die sich an die Wissensspirale von Nonaka und Takeuchi [NONAKA95] anlehnen. Konversionen setzen somit Ein- und Ausgangsgrößen im Sinne von Informations- und Wissensobjekten in Beziehung. Die Aktivitätssicht grenzt sich durch die Miteinbeziehung der Informations- und Wissensflüsse zur Prozesssicht ab, da darin lediglich der Kontrollfluss des Prozesses dargestellt ist, der die maßgeblichen Prozessschritte in eine chronologische Beziehung setzt.

Schritt	Beschreibung	Hinweise
<b>Problem- und Zielanalyse</b>	Es ist zunächst maßgeblich, im Unternehmen Probleme zu identifizieren und in Problem-beschreibungen zu übersetzen. Möglicherweise existieren Fälle, in denen Unternehmen mit keinen konkreten (und/oder nicht lokalisierten) Problemen das ProKon-System anwenden möchten. Der Grund hierfür ist, dass Wissensmanagement (WM) generell Unternehmen effizienter und effektiver macht. Ausgehend von Problemen sind Ziele zu definieren. Diese müssen in erster Linie realistisch, konkret und überprüfbar sein. Dabei sind Zielhierarchien zu bilden, d. h. dass untergeordnete, operationalisierbare Ziele von den allgemeinen Zielen abzuleiten sind.	Durchführung eines Workshops
<b>Umfeld-analyse</b>	In der Umfeldanalyse ist auf Basis der Problem- und Zielanalyse das Umfeld der Konstruktion zu analysieren. Die in Abschnitt 6.2.2 definierten Analyse Kriterien 1-11 sind bei der Umfeldanalyse mit Hilfe von Interviews zu beantworten. Dazu wird der Interviewleitfaden verwendet. Es können nicht alle Kriterien sofort beantwortet werden (z. B. Kriterium 4), da sich der Wissensingenieur zunächst einen Eindruck über die Situation verschaffen muss. Eine Beantwortung dieser Kriterien findet im Nachgang statt.	Durchführung eines Interviews mit Entscheider und Lead-Usern
<b>Auswahl eines Prozesses</b>	Nach dem/den Workshop/Interviews ist ein geeigneter Prozess vom Wissensingenieur (WI) auszuwählen. Die Lead-User können einen wichtigen Beitrag leisten. Für die Prozessauswahl sind die Kriterien nach Remus [REMUS02, S. 110 ff.] zu verwenden. Es soll damit ein Prozess analysiert, bewertet und ausgewählt werden, welcher wissensintensiv genug ist, um mit Maßnahmen des WMs unterstützt zu werden. Ab welchem Grad der Wissensintensität ein Prozess als unterstützbar gilt, ist jedoch nicht zu definieren. Die Anwendung der Kriterien nach Remus [REMUS02] vermitteln dem WI demgegenüber ein erstes Grundverständnis über die Thematik und eine Art Grundgefühl. Gepaart mit der Erfahrung des WI ist letztendlich eine Entscheidung zu treffen. Sollten sich bei der Analyse mehrere wissensintensive Konstruktionsprozesse (KP) identifizieren lassen, ist nach Gronau [GRONAU09, S. 75] eine selbst festzulegende Reihenfolge abzuarbeiten. Zu Anfang der Reihenfolge sollten die Prozesse analysiert werden, mit denen sich unter Anwendung des ProKon-System voraussichtlich zügig Erfolge („Quick-Wins“) einstellen könnten. Je nach Ergebnis des Entscheidungsschritts aus Bild 6.13 („Iterationen möglich“) ist nach einem bereits analysierten KP aus der festgelegten Aufnahmereihenfolge der nächste auszuwählen.	Durchführung eines Interviews mit Lead-Usern
<b>Prozess-analyse (1. Teil)</b>	Nach der Auswahl eines Prozesses sind innerhalb des ersten Teils der Prozessanalyse zunächst zwei Kriterien (12 und 13) im Rahmen eines Interviews abzu prüfen. Beide Kriterien benötigen keine ausmodellerte Beschreibung des betreffenden KPs. Zudem stellen sie K.-o.-Kriterien dar, die für eine erfolgreiche Integration des ProKon-Systems in das betrachtete Unternehmen zwingend erfüllt sein müssen. Sofern eines der beiden Kriterien nicht erfüllt ist, ist gemäß der bereits definierten Aufnahmereihenfolge der nächste KP zu analysieren.	Durchführung eines Interviews mit Entscheider und Lead-Usern
<b>Modellierung des Prozesses mit KMDL</b>	Die Aufnahme des Prozesses findet unter Verwendung der in Abschnitt 6.2.3 ausgewählten Modellierungssprache KMDL statt. Ziel ist es, den gegenwärtigen Istzustand des ausgewählten KPs zu ermitteln. Gemäß Bild 6.13 hat der WI hierfür drei Schritte zu durchlaufen. Nach der Aufnahme der Prozesssicht, die den generellen Ablauf des Prozesses mit Aufgaben innerhalb eines Kontrollflusses beschreibt, erfolgt die Identifikation der wissensintensiven Aufgaben. Dabei sind die Aufgaben aus der Prozesssicht zu identifizieren, die für die anschließende Modellierung mit der Aktivitätssicht eine ausreichende Wissensintensität aufweisen. Es ist darauf zu achten, dass bereits bei diesem Schritt nur Aufgaben ausgewählt werden, die vom ProKon-System unterstützt werden können. Beispielsweise ist die Simulation von Bauteilen als Aufgabe zwar wissensintensiv, wobei jedoch eine Unterstützung durch das ProKon-System nicht möglich ist. Für die Identifikation wissensintensiver Aufgaben sind die Merkmale nach Remus [REMUS02, S. 116] zu verwenden. Die dritte Aufgabe stellt die Aufnahme der Aktivitätssicht dar, die im Gegensatz zur Prozesssicht den Wissensfluss beschreibt. Unterschiedliche Formen von Wissenskonversionen, wie z. B. die Sozialisation, bilden den Wissensfluss. Dieser wird mit Hilfe von Rollenbeschreibungen und mit Hilfe der Verwendung von Informationssystemen detailliert. Für die Aufnahme der Prozess- und der Aktivitätssicht werden die Konstrukteure innerhalb eines Workshops befragt. Ergänzt werden kann das Ergebnis durch eine Analyse der Dokumente im Vorfeld des Workshops. Im Nachgang des Workshops erhalten die Teilnehmer des Workshops eine semi-formal ausmodellerte Prozess- und Aktivitätssicht, um diese zu validieren.	Durchführung eines Workshops mit Lead-Usern und anschließende Modellierung
<b>Prozess-analyse (2. Teil)</b>	Nach der Modellierung des ausgewählten KPs können die Kriterien beantwortet werden, die eine Modellierung voraussetzen. Dazu gehören u. a. die Agentencharakteristika, die einen parallelen und einen verteilten sowie einen mit vielen Rollen besetzten KP für einen sinnvollen Einsatz eines Agentensystems benötigen. Zur Beantwortung der Kriterien 14 (teilweise), 15, 17, 18, 19, 20 und 23 (teilweise) analysiert der WI selbstständig den KP. Mit Hilfe von Interviews wird der Rest der Kriterien beantwortet.	Durchführung eines Interviews mit Lead-Usern und eigene Analyse

Schritt	Beschreibung	Hinweise
<b>Entscheidung</b>	Dieser Prozessschritt dient als Meilenstein innerhalb der Vorgehensweise. Sind von den K.-o.-Kriterien alle erfüllt und von den Nicht-K.-o.-Kriterien mehr als die Hälfte erfüllt, ist der KP zur Unterstützung mit dem ProKon-System tauglich. Ein weiteres Vorgehen im Sinne der Personen- und Objektanalyse ist sinnvoll. Sofern an dieser Stelle eine negative Bewertung vorliegt, ist gemäß dem Iterationspfad aus Bild 6.13 der nächste KP aus der gebildeten Reihenfolge auszuwählen.	Durchführung einer Bewertung
<b>Personen- und Objektanalyse</b>	Die Personen- und Objektanalyse beschäftigt sich mit der Beantwortung der Kriterien 25 bis 31. Es ist dabei mit Hilfe der Kriterien 25 und 26 herauszufinden, ob die im Konstruktionsprozess eingesetzten Konstrukteure als Endanwender mit dem ProKon-System als Verbesserung ihrer Konstruktionsabläufe gedanklich zurecht kommen. Beide Kriterien sind durch Interviews zu beantworten. Bei der Objektanalyse wird das Produkt untersucht, das in dem entsprechenden KP entwickelt wird. Dies geschieht anhand einer Analyse durch den WI in Zusammenarbeit mit Lead-Usern.	Durchführung eines Interviews mit Lead-Usern und eigene Analyse mit Hilfe der Lead-User
<b>Aufbereitung der Ergebnisse</b>	Die Ergebnisse aus der Unternehmensanalyse werden aufbereitet. Es ist zu kennzeichnen, welches Kriterium nach den Maßgaben der Bewertungsgrundsätze als erfüllt gilt. Die Interpretation wird jedoch auf den nächsten Schritt „Bewertung der Ergebnisse“ verschoben. Es ist darauf zu achten, dass keine subjektiven Einflüsse durch den WI oder durch die Konstrukteure die bisher durchgeführte Analyse in eine bestimmte Richtung treiben.	Wissensingenieur fasst die Ergebnisse zusammen

**Tabelle 6.5:** Schritte innerhalb der Unternehmensanalyse

Bild A.4.1 (siehe Anhang A.4) zeigt die Aktivitätssicht über die Auslegung eines Querpressverbands nach der DIN 7190 [DIN 7190 2001]. Dort wird der Prozess veranschaulicht, wie auf Basis von Anforderungen, vorgegebenen Werkstoffen und geometrischen Randbedingungen der Querpressverband ausgelegt und im CAD-System modelliert wird. Beispielhaft sind darin die Konversionen „Berechnung des wirksamen Übermaßes“ und „Gestaltung des Querpressverbands nach dessen Beanspruchung“ hervorgehoben.

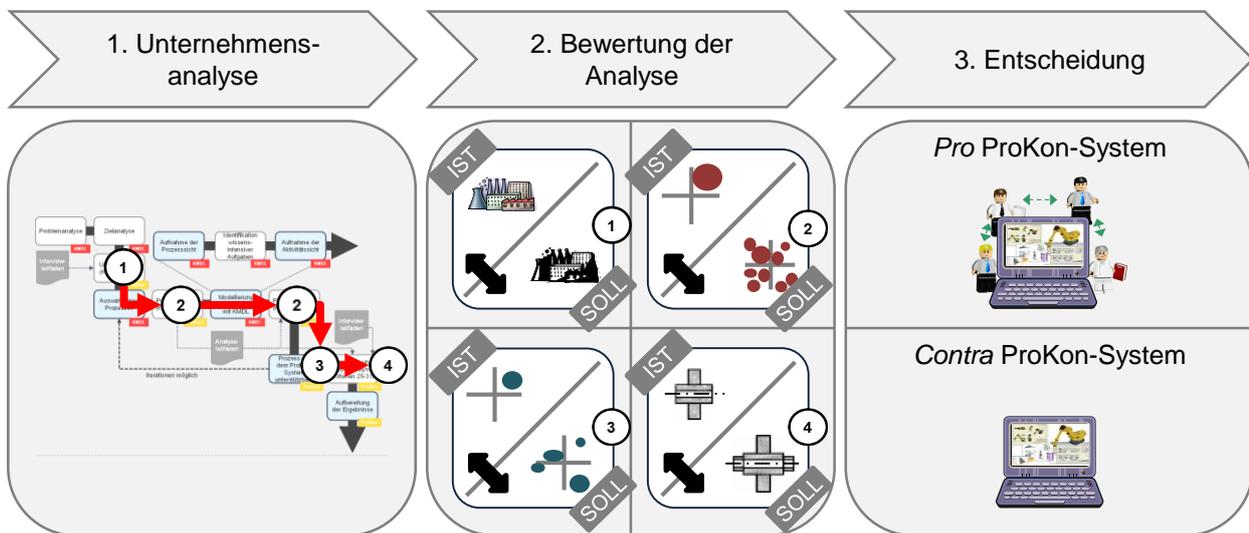
Auf Basis von Informationsobjekten wird bspw. über die Konversion das Wissensobjekt „Wissen über das wirksame Übermaß“ erarbeitet. „Konstrukteur B“ besitzt dieses Wissen, wobei damit nicht nur das reine Ergebnis gemeint ist (d. h. der Inhalt). Vielmehr kennt „Konstrukteur B“ den Zusammenhang, in dem das Ergebnis entstanden ist und die Bezüge zu weiteren Informations- und Wissens-elementen. So ist die Wissensdefinition nach Katzenbach [KATZENBACH12, S. 26 ff.] erfüllt, und es kann in diesem Fall von einem Wissensobjekt gesprochen werden.

Am Beispiel dieses Prozesses ist zu sehen, dass mehrere Kriterien aus Tabelle 6.2 positiv im Sinne einer idealen Anwendung beantwortet werden können. Neben der Tatsache, dass die Modellierung des Querpressverbands mit dem geforderten CAD-System Pro/ENGINEER durchgeführt wird (Kriterium 12, siehe Tabelle A.3.1 in Anhang A.3), weist der Prozess punktuell eine Parallelität auf (Kriterium 17). Beispielsweise ist unter der Parallelität das gleichzeitige Lösen von unterschiedlichen Problemen zu verstehen. Unter anderem müssen Konstrukteure in diesem Prozess auf

Informations-/Wissensobjekte zurückgreifen, die an unterschiedlichen Orten liegen (Kriterium 18).

### 6.2.5 Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells

Das eigentliche Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells erfolgt in drei Schritten, wie Bild 6.14 zeigt. Zunächst wird die Unternehmensanalyse durch den Wissensingenieur durchgeführt. Anschließend erfolgt die Bewertung der Analyseergebnisse durch ein interdisziplinäres Team. Dieses Team besteht z. B. aus dem Wissensingenieur, dem Methodenentwickler, Verantwortlichen aus dem Konstruktionsbereich und Konstrukteuren. Darin präsentiert der Wissensingenieur die Ergebnisse aus der Unternehmensanalyse. [KRATZER13B, S. 6]



① = Umfeldanalyse    ② = Prozessanalyse    ③ = Personenanalyse    ④ = Objektanalyse

**Bild 6.14:** Übergeordnetes Vorgehen innerhalb zur Erarbeitung des Organisationsmodells nach Kratzer et al. [KRATZER13D, S. 5, Bild 4]

Die Ergebnisse werden bewertet, indem die in Abschnitt 6.2.2 beschriebenen Bewertungsgrundsätze angewendet werden. Implizit ist der Istzustand bzgl. der Erfolgsfaktoren mit einem Sollzustand gegenüberzustellen. Der Sollzustand ist durch die Erfolgsmerkmale aus Tabelle A.3.1 in Anhang A.3 repräsentiert. Bei der Bewertung ist speziell auf die Erfüllung der K.-o.-Kriterien zu achten. Diese müssen zwingend für einen erfolgreichen Einsatz des ProKon-Systems in einem Unternehmen erfüllt sein. Bei der Bewertung ist die Interdisziplinarität des Teams vorteilhaft, da das Zusammenwirken von unterschiedlichen fachlichen Hintergründen zu einem qualitativ hochwertigeren Bewertungsergebnis führt. Nach der Bewertung der Ergebnisse ist auf dieser Basis eine

Entscheidung zu treffen, ob das ProKon-System für das Unternehmen entwickelt wird oder ob es zu keiner anwendungsspezifischen Entwicklung kommt. [KRATZER13B, S. 6]

Die Bewertung der Ergebnisse und die Entscheidungsfindung werden u. a. durch psychologische Effekte beeinflusst. Diese können aus Sicht eines Ingenieurs nicht ausreichend beschrieben werden, um valide Ergebnisse zu erarbeiten. Die psychologischen Effekte sind daher nicht Teil der vorliegenden Arbeit. Für eine Miteinbeziehung dieser Effekte wird auf Veröffentlichungen aus dem Bereich des Innovationsmanagements hingewiesen, die sich näher mit der Psychologie beschäftigen. Dementsprechend wird für eine weitere Vertiefung in die Ergebnisbewertung auf Hauschildt und Salomo [HAUSCHILDT11], auf Heesen [HEESEN09] sowie auf Walter [WALTER97] verwiesen. In Riechmann [RIECHMANN10] sind weitere Informationen zur Entscheidungsfindung zu finden.

### **6.3 Beschreibung des Agentenmodells**

Nach der Entscheidung, ob das ProKon-System eingesetzt werden soll, sind im Fall der Zustimmung die für die Anwendung notwendigen Agenten zu identifizieren. Hierfür ist ein Ansatz zu entwickeln, der die Unterscheidung zwischen anwendungsspezifischen und nicht-anwendungsspezifischen Agenten berücksichtigt (siehe Abschnitt 6.3.1). Um hierfür eine geeignete Methode zu identifizieren, ist ein Vergleich bestehender Methoden durchzuführen. Der Vergleich berücksichtigt die Anforderungen (siehe Abschnitt 6.3.2). Die Methode für die Erarbeitung des Agentenmodells ist vorzustellen (siehe Abschnitt 6.3.3) und in ein Vorgehen einzubetten (siehe Abschnitt 6.3.4).

#### **6.3.1 Ansatz zur Identifikation relevanter Agenten**

Bei der Erarbeitung des Agentenmodells wird der Wissensingenieur innerhalb der Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems zu einer Identifikation der richtigen Agenten befähigt. Bei der Entwicklung des ProKon-Kernsystems wurden neun Agententypen erarbeitet, die weiterhin für jede anwendungsspezifische Ausprägung gelten. Zunächst ist die Abgrenzung der Agententypen aus Abschnitt 3.2 kurz aufzugreifen.

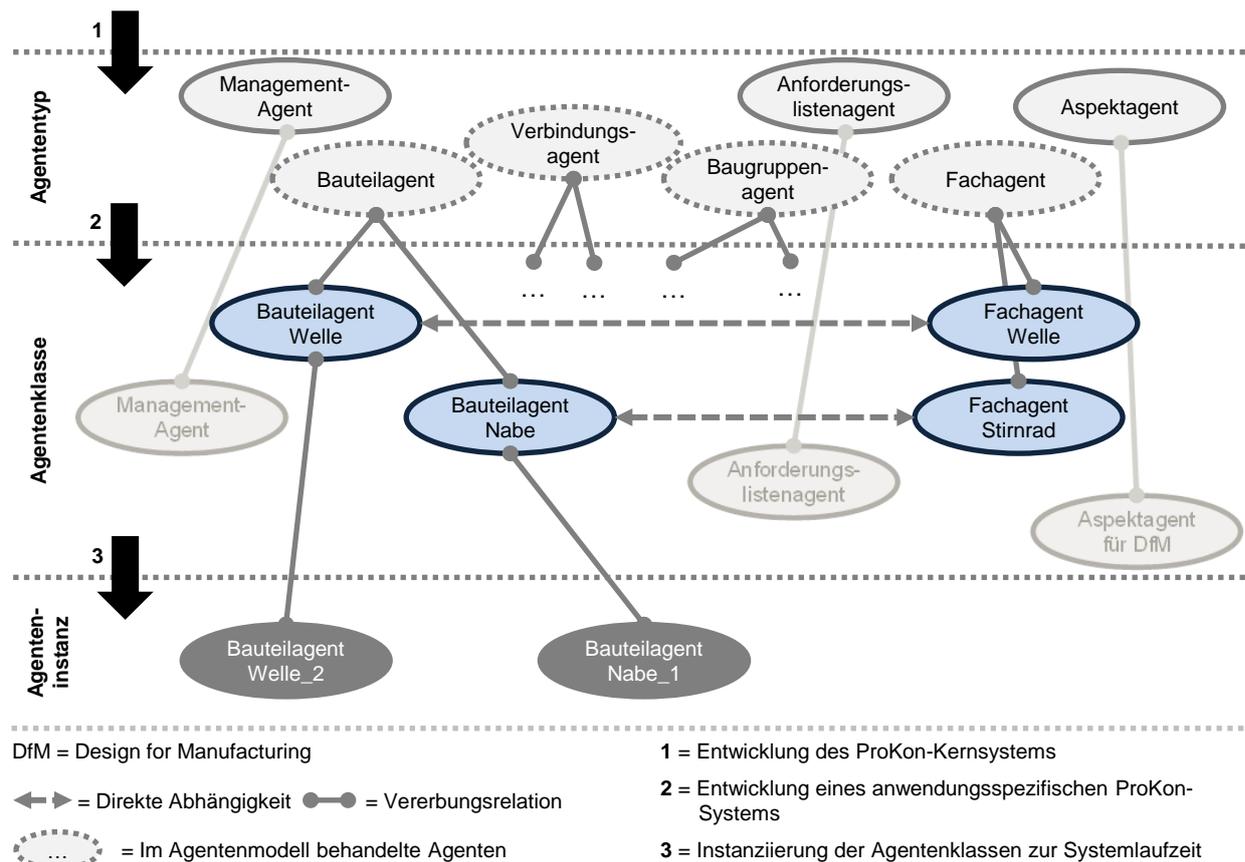
Der Management-Agent tritt lediglich einmal im System auf, sodass dieser für alle Fälle identisch bleibt und keiner Änderung bedarf. Ähnlich verhält es sich mit dem Anforderungslistenagent als einen Objektagenten, der die Anforderungsliste während des Konstruktionsprozesses betreut und über unterschiedliche Anwendungen hinweg iden-

tische Funktionalitäten besitzt. Die Struktur der Anforderungsliste verändert sich nicht. Die Aspektagenten beinhalten entweder Wissen über eine Richtlinie aus dem Design for X (DfX) oder aus dem Design to X (DtX). Die Entscheidung, nach welchen Richtlinien das Konstruktionsobjekt zu überprüfen ist, hängt letztlich von dem zur Verfügung stehenden Wissen ab. Dieses richtet sich nach dem zu unterstützenden Konstruktionsprozess. Demnach kann die Entscheidung erst bei der Erarbeitung des Wissensmodells getroffen werden, da dort das Wissen identifiziert und verarbeitet wird.

Somit enthält das Agentenmodell die für die Anwendung relevanten Objektagenten sowie die relevanten Fachagenten. Zu deren Identifikation ist im Weiteren ein Ansatz aufzustellen. Bezüglich der Objektagenten (Baugruppenagent, Verbindungsagent und Bauteilagent) ist es notwendig, die Klassen von Agenten zu identifizieren, die im Betrieb des Systems das Konstruktionsobjekt und alle darin enthaltenen Elemente repräsentieren. Die Klassen des Fachagenten folgen der Ableitung von Klassen der Objektagenten, da für jedes Konstruktionsobjekt und für jedes darin enthaltene Element eine Wissensdomäne existiert, die von einem Fachagenten übernommen werden muss. Der Fachagent beinhaltet Wissen über die Berechnung, Auslegung und Gestaltung von einzelnen Maschinenelementen (siehe Abschnitt 3.3). Dementsprechend existiert im anwendungsspezifischen ProKon-System nur ein Fachagent pro Typ Maschinenelement. Bild 6.15 greift die Hierarchisierung der Agenten auf und gibt Beispiele an.

Beispielhaft ist in Bild 6.15 die 1:1-Verbindung zwischen den Bauteilagenten der Welle und der Nabe auf der einen Seite und den Fachagenten auf der anderen Seite dargestellt. Diese 1:1-Verbindung gilt nur auf Klassenebene, da auf Instanzebene mehrere Bauteilagenten existieren, die mit einem Fachagenten in Verbindung gebracht werden können. Für die 1:1-Verbindung wird ein gestrichelter, bidirektionaler Pfeil verwendet. Weiterhin zeigt Bild 6.15, dass alle Agententypen eine Klasse besitzen (Übergang von Agententyp zu Agentenklasse, 2).

Die Instanziierung von Bauteil-, Verbindungs- und Baugruppenagent findet zur Laufzeit des Systems statt, indem der Konstrukteur im CAD-System z. B. ein Bauteil zum Produktmodell über klassische CAD-Methoden (Sweeping, Extrusion etc.) hinzufügt (siehe Schritt 3 in Bild 6.15). Bei einem Stirnradgetriebe mit mehreren Wellen existieren dementsprechend mehrere Instanzen des Bauteilagenten für die Welle (siehe z. B. „Bauteilagent Welle\_2“ in Bild 6.15).



**Bild 6.15:** Abgrenzung von Agententypen, Agentenklassen und Agenteninstanzen

### 6.3.2 Auswahl einer Methode

Für die anwendungsspezifische Identifikation von Agenten bieten sich Methoden aus der klassischen agentenorientierten Softwareentwicklung und aus dem Knowledge Engineering an. Diese Methoden wurden in Abschnitt 2.3.4 beschrieben. Mit am weitesten verbreitet sind innerhalb der klassischen agentenorientierten Softwareentwicklung die Methoden Gaia nach Wooldridge et al. [WOOLDRIDGE00] und MaSE nach DeLoach [DELOACH99]. Zudem kann das Agentenmodell aus CoMoMAS und aus MAS-CommonKADS in Betracht gezogen werden.

Für die Ableitung von Agentenklassen aus dem Objekt- und Fachagenten wird eine Methode benötigt, die den Wissensingenieur befähigt, das Konstruktionsobjekt auf die Existenz von Baugruppen, Bauteilen und Verbindungen zu analysieren. Es ist an dieser Stelle zu beachten, dass die Wissensingenieure nicht nur aus dem Bereich der Konstruktionstechnik und Produktentwicklung stammen können, sondern auch aus angrenzenden Bereichen, wie z. B. aus der Wirtschaftsinformatik. Hierbei ist eine grafische Methode zweckmäßig, die den Aufbau des Konstruktionsobjekts visualisiert. Die Methode muss ein Vorgehen bereitstellen oder zumindest zulassen, dass ein Vorgehen

für die Methode entwickelt werden kann. Wissensingenieure müssen die Methode anwenden können. Dabei ist wieder die fachliche Heterogenität der Rolle des Wissensingenieurs zu beachten. Die Methode sollte soweit in der Literatur beschrieben sein, dass damit eine Übertragung auf den aktuellen Sachverhalt möglich ist.

Unter Beachtung der Anforderungen ist es zielführend, nicht nur Methoden aus dem Bereich der klassischen agentenorientierten Softwareentwicklung zu analysieren, sondern auch Untersuchungsmethoden aus der Produktentwicklung. Eine in der Industrie und in der Forschung angewendete Methode stellt das Elementmodell (Contact and Channel Approach, C&C-M oder C&C<sup>2</sup>-A) nach Matthiesen [MATTHIESEN02] dar. Dieses ermöglicht mithilfe der Beschreibung von Funktion und Gestalt die Modellierung von Technischen Systemen. Tabelle 6.6 stellt die Korrelation der Methoden mit den genannten Anforderungen dar.

Anforderung	Gaia	MaSE	CoMoMAS	MAS-KADS	C&C <sup>2</sup> -A
Unterstützt grafische Systemanalyse	◐	◐	○	○	●
Unterstützt Ableitung von Agentenklassen	○	○	○	○	○
Bietet Vorgehensunterstützung	●	●	◐	◐	●
Gewährleistet Anwendbarkeit für Wissensingenieure	●	●	◐	◐	●
Bietet ausreichende Beschreibung in der Literatur	●	●	○	○	●

- = Anforderung wird durch die Methode vollständig erfüllt
- ◐ = Anforderung wird durch die Methode teilweise erfüllt
- = Anforderung wird durch die Methode nicht erfüllt

**Tabelle 6.6:** Korrelation von Methoden mit den aufgestellten Anforderungen zur Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten

Unter Berücksichtigung der in Tabelle 6.6 aufgeführten Methoden und Vorgehensweisen ist keine dieser direkt anwendbar. Die Vorgehensweisen CoMoMAS und MAS-CommonKADS wurden in der Literatur nicht so ausführlich dargestellt, dass sie für die Erarbeitung des Agentenmodells direkt übernommen werden können. Dem gegenüber sind die klassischen Methoden der agentenorientierten Softwareentwicklung Gaia und MaSE nur für die Ableitung von Agententypen (siehe Schritt 1 in Bild 6.15), jedoch nicht

für deren weitere Ableitung zu Agentenklassen geeignet (siehe Schritt 2). Da die Agententypen bereits innerhalb der Entwicklung des ProKon-Kernsystems erarbeitet wurden, können Gaia und MaSE nicht verwendet werden. Somit muss für das Agentenmodell ein neuer Ansatz gefunden werden, der Agentenklassen aus Agententypen für den Objekt- und Fachagenten sowie für den Aspektagenten ableitet (der Anforderungslistenagent wird aus der Betrachtung genommen). Als Basis erscheint das C&C<sup>2</sup>-A als geeignet, da es vier von fünf Anforderungen erfüllt und als einzige Methode eine solide Grundlage bei der grafischen Systemanalyse legt (siehe Tabelle 6.6).

### 6.3.3 Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten

Beim C&C<sup>2</sup>-A werden Leitstützstrukturen (LSS) und Wirkflächenpaare (WFP) als Grundelemente zur Modellierung von Technischen Systemen verwendet. Zusammen mit der Systemgrenze bilden sie die Basis des C&C<sup>2</sup>-A. Die Systemmodellierung mit dem Elementmodell hat das Ziel, ein System- und Problemverständnis zu erreichen (Analyse). Dieses Verständnis wird für die Verbesserung des Technischen Systems verwendet (Synthese). Innerhalb der Analysephase des C&C<sup>2</sup>-A kommt nach Albers et al. [ALBERS09, S. 64] ein vierstufiges Vorgehen zum Einsatz, das den Konstrukteur oder Produktentwickler zu einer systematischen Untersuchung des Systems befähigen soll:

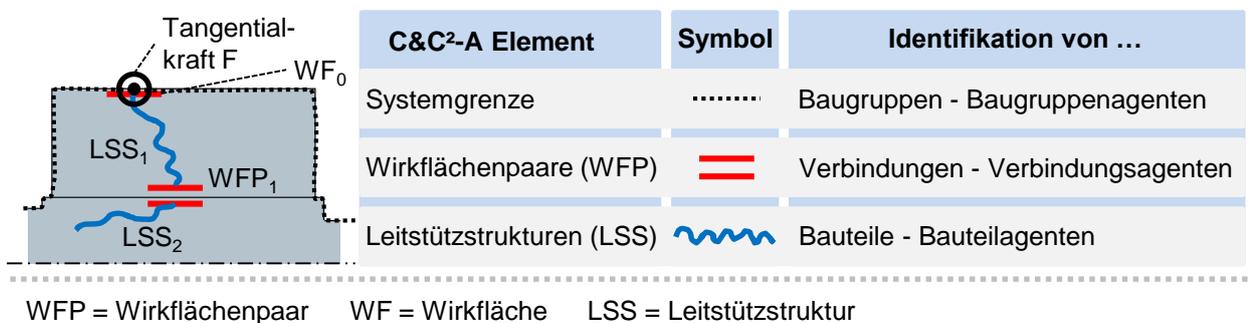
1. Systemgrenze definieren
2. Ort der Funktionserfüllung ermitteln
3. Beschreiben dynamischer Systeme mit Sequenzmodell
4. Fraktalen Charakter erkennen und Auflösung anpassen (Kammvorgehen)

Für die Ableitung von Agentenklassen aus Agententypen werden die Grundelemente Wirkflächenpaar und Leitstützstruktur zusammen mit der Systemgrenze verwendet. Die Systemgrenze grenzt die Systemumgebung vom System ab, wobei das System der Baugruppe und demnach dem Baugruppenagent entspricht. Werden die vorrangige Belastung und der vornehmliche Einsatz des Konstruktionsobjekts analysiert, repräsentieren Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen gemeinsam den Kraftfluss durch das Technische System. Innerhalb der Systemgrenze werden Wirkflächenpaare mit Verbindungen, d. h. mit Verbindungsagenten und Leitstützstrukturen mit Bauteilen, d. h. mit Bauteilagenten, gleichgesetzt. An den Systemgrenzen existieren keine Paare, sondern nur Wirkflächen. Demnach ist für den Übergang von System zur Umgebung kein Verbindungsagent notwendig. Es ergeben sich zwar Schnittstellen zu weiteren Systemen, die jedoch im ProKon-System unberücksichtigt bleiben.

Technische Systeme durchlaufen zeitlich voneinander getrennte Betriebs- oder Systemzustände, die während der Entwicklung und Konstruktion berücksichtigt werden müssen. Über die Zustände hinweg können sich die Belastungen auf das Technische System zeitlich und von der Größe her ändern. Beispielsweise wird in einem ersten Zustand eine Welle mit einem Torsionsmoment belastet. Die Belastung der Welle durch eine Axialkraft stellt einen zweiten Zustand dar. Es ergeben sich andere Kraftflüsse. Die Zuweisung von Elementen des C&C<sup>2</sup>-A zu Agenten hat zustandsbasiert zu erfolgen.

Für die Erarbeitung des Agentenmodells ist ein Aspekt bei der Anwendung zu beachten. Die Festlegung der Systemgrenze für die Baugruppe verläuft nach keiner strikten Regel, die die optimale Größe einer Baugruppe für den Agenteneinsatz vorschreibt. Es ist zu beachten, dass eine Baugruppe indirekt einer Wissensdomäne entspricht. Aus dieser wird Wissen erhoben, um es in den entsprechenden Fachagenten zu integrieren. Bei einer Systemgrenze, die zu einer im Unternehmen nicht klar definierten Wissensdomäne führt, ergeben sich bei der Wissenserhebung Probleme. Es wird vorgeschlagen, Baugruppen zu bilden, die in der Konstruktion verbreitet sind.

Bild 6.16 zeigt den vorgestellten Ansatz am Beispiel eines Querpressverbands für die Übertragung eines Drehmoments und einer Axialkraft von einem Zahnrad auf eine Welle.



**Bild 6.16:** Ableitung von anwendungsspezifischen Agenten

Es wirkt die Kraft F, die sich normal zur Zahnflanke ausprägt. In Bild 6.16 wird zur grafischen Vereinfachung eine Tangentialkraft eingezeichnet. Es entsteht ein Drehmoment, das vom Querpressverband auf die Welle übertragen werden muss. Unter Anwendung des C&C<sup>2</sup>-A wird durch die Systemgrenze die Baugruppe „Getriebewelle“ von der Systemumgebung abgegrenzt. Die Baugruppe umfasst neben der Welle die Nabe und weitere Bauteile. Die Getriebewelle stellt eine in Unternehmen bekannte Wissensdomäne dar, sodass darüber Wissen erhoben werden kann. Von der Kraft F ausgehend, bildet sich innerhalb der Nabe ein Kraftfluss aus. Die Nabe wird durch eine

Leitstützstruktur ( $LSS_1$ ) repräsentiert. Zur Übertragung des Kraftflusses von der Nabe auf die Welle ist ein Wirkflächenpaar ( $WFP_1$ ) zu modellieren, welches die Verbindung „Querpressverband“ darstellt. Die Drehmomentübertragung wird durch einen Reibschluss gewährleistet. Die letzte Leitstützstruktur stellt die Welle dar ( $LSS_2$ ), die das anfänglich eingeleitete Drehmoment an den Ort der Ausleitung transportiert. Die Wirkflächen an der Systemgrenze bleiben unberücksichtigt ( $WF_0$ ).

Mithilfe der Modellierungssprache des C&C<sup>2</sup>-A (siehe Tabelle in Bild 6.16) können Baugruppen-, Bauteil- und Verbindungsagenten identifiziert werden. Es wird im Folgenden eine Analogie verwendet. Die durch die Systemgrenze definierte Baugruppe wird im ProKon-System durch einen Baugruppenagent repräsentiert. Die mit Leitstützstrukturen dargestellten Bauteile der Welle und Nabe werden durch zwei Bauteilagenten repräsentiert. Das Wirkflächenpaar zwischen Welle und Nabe stellt den Querpressverband dar, für den ein Verbindungsagent während der Laufzeit des ProKon-Systems notwendig ist.

#### 6.3.4 Vorgehen zur Erarbeitung des Agentenmodells

Der in Bild 6.16 definierte Ansatz zur Identifikation von Baugruppen, Verbindungen und Bauteilen bzw. die für die spätere Repräsentation notwendigen Agentenklassen ist in eine Vorgehensweise zu integrieren. Diese soll Wissensingenieure zu einem strukturierten Arbeiten befähigen. Die Vorgehensweise basiert auf den vier zuvor vorgestellten Analyseschritten aus dem C&C<sup>2</sup>-A. Diese müssen an den Anwendungsfall angepasst werden, wobei die Übernahme aller Schritte nicht notwendig ist. Die Zweckmäßigkeit der Methode steht hier im Vordergrund.

1. **Modellierung der Systemgrenze für die Identifikation der Baugruppe:** Der Wissensingenieur unterteilt das Konstruktionsobjekt in zweckmäßige Abschnitte und grenzt diese mithilfe von Systemgrenzen gegeneinander ab. Innerhalb jeder Systemgrenze befindet sich eine Baugruppe.
2. **Modellierung der Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen für die anfängliche Identifikation der Bauteile und Verbindungen:** Vom Wissensingenieur ist in diesem Schritt der Kraftfluss mithilfe von Wirkflächenpaaren und Leitstützstrukturen zu modellieren. Der Kraftfluss muss von der Belastung ausgehend durch das Technische System verlaufen, an der Systemgrenze enden und in die Systemumgebung abfließen. Wie Bild 6.16 zeigt, definiert dabei das Wirkflächenpaar eine Verbindung und die Leitstützstruktur ein Bauteil.

3. **Modellierung von Sequenzen, d. h. Systemzuständen, für die abschließende Identifikation der Bauteile und Verbindungen:** Neben dem Hauptbelastungszustand, der in Schritt 2 analysiert wurde, sind weitere Systemzustände des Konstruktionsobjekts zu untersuchen. Das Konstruktionsobjekt ist daraufhin zu analysieren, welchen Belastungen und Umgebungseinflüssen das Produkt im Betrieb ausgesetzt ist. So können weitere Belastungszustände auf das Konstruktionsobjekt identifiziert werden (z. B. Axialkraft auf ein Zahnrad). Durch das Modellieren von weiteren Kraftflüssen auf Basis von Wirkflächenpaaren und Leitstützstrukturen erfolgt die Identifikation von weiteren Bauteilen und Verbindungen. Zudem ist die Gewichtskraft zu beachten, wie sie Binz [BINZ13, S. 4 ff.] beschreibt. Diese hat einen großen Einfluss auf Konstruktionsobjekte, sofern deren Verhältnis von Steifigkeit zu Masse gering ist (z. B. horizontal orientierte Welle einer Wasserturbine bei der Durchbiegung unter Eigengewicht). In diesem Fall ist der Kraftausfluss ausgehend vom Massenmittelpunkt mithilfe von Wirkflächenpaaren und Leitstützstrukturen zu modellieren.
4. **Identifikation von Redundanzen:** Nach der Modellierung des Konstruktionsobjekts kann es sein, dass Bauteile und Verbindungen mehrfach mit Wirkflächenpaaren und Leitstützstrukturen modelliert wurden. Diese Redundanzen sind zu identifizieren und zu beseitigen.

Unter Beachtung von Bild 6.15 erfolgt die Ableitung von Agentenklassen bzgl. der Objekt- und Fachagenten parallel. Diese Tatsache folgt der Annahme, dass für jedes unterstützende Objekt (mit Ausnahme der Anforderungsliste) eine Wissensdomäne existieren muss, sodass die Funktionalität des ProKon-Systems erbracht werden kann.

5. **Aufstellen von Agentenklassen:** In einem letzten Schritt sind je Systemgrenze ein Baugruppenagent, je Wirkflächenpaar ein Verbindungsagent und je Leitstützstruktur ein Bauteilagent aufzustellen. Redundantes Auftreten von Agenten sollte aufgrund von Schritt 4 nicht mehr existieren. Für jeden oben genannten Objektagenten existiert ein Fachagent (siehe gestrichelte, bidirektionale Pfeile in Bild 6.15).

Für die Durchführung des Vorgehens ist eine tabellarische Übersicht notwendig, um alle über die einzelnen Schritte gesammelten Informationen einzutragen (siehe Tabelle 6.7). Die folgende Tabelle enthält ein zusätzliches (komplexeres) Beispiel, das im Weiteren zur Verdeutlichung der Thematik verwendet wird.

Identifiziertes Element	Z1	Z2	Z3	Domäne	Agentenklasse (Objekt)	Agentenklasse (Fachdomäne)
Systemgrenze 1	x	x	-	Getriebewelle	Baugruppenagent „Getriebewelle“	Fachagent „Getriebewelle“
Leitstützstruktur 1	x	x	-	Schrägverzahntes Stirnrad	Bauteilagent „Stirnrad“	Fachagent „Stirnrad“
Wirkflächenpaar 1	x	x	-	Keilwellenverbindung	Verbindungsagent „Keilwellenverbindung“	Fachagent „Keilwellenverbindung“
Leitstützstruktur 2	x	x	-	Keilwelle	Bauteilagent „Keilwelle“	Fachagent „Keilwelle“
Wirkflächenpaar 2	x	-	-	Wellenabsatz	Verbindungsagent „Wellenabsatz“	Fachagent „Wellenabsatz“
Wirkflächenpaar 3	-	x	-	Sicherungsringverbindung	Verbindungsagent „Sicherungsringverbindung“	Fachagent „Sicherungsringverbindung“
Leitstützstruktur 3	-	x	-	Sicherungsring	Bauteilagent „Sicherungsring“	Fachagent „Sicherungsring“
Wirkflächenpaar 4	-	x	-	Sicherungsringverbindung	Verbindungsagent „Sicherungsringverbindung“	Fachagent „Sicherungsringverbindung“

Z = Zustand     = Redundanz

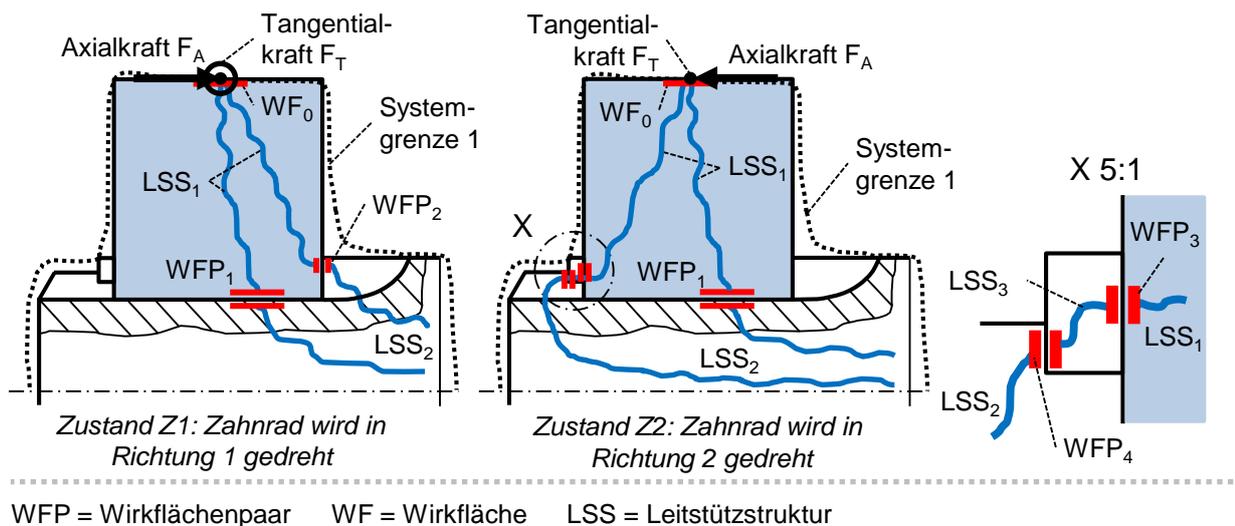
**Tabelle 6.7:** Hilfsmittel zur Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten

In Anhang A.5 (siehe Tabelle A.5.1 bis A.5.4) ist der Aufbau der Tabelle und die Reihenfolge der Benutzung am Beispiel der Keilwellenverbindung nach der DIN 5471 [DIN 5471 1974] dargestellt. Das mit der Keilwelle verbundene schrägverzahnte Stirnrad ist durch einen Sicherungsring und einen Wellenabsatz gegen axiales Verschieben gesichert (siehe Bild 6.17). Die Kraftangriffspunkte in Bild 6.17 sind aufgrund der Komplexität der Verhältnisse an der Zahnflanke (siehe WF<sub>0</sub>) vereinfacht dargestellt.

Zunächst sind in der ersten Spalte „Identifiziertes Element“ beim Durchlaufen der Schritte 1 und 2 die identifizierten Systemgrenzen, Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen einzutragen (siehe Tabelle A.5.1 in Anhang A.5). Weiterhin ist zu markieren, dass diese in einem ersten Betriebs- oder Systemzustand identifiziert worden sind. Dieser Zustand definiert sich in diesem Beispiel durch eine Drehmomentübertragung von der Nabe auf die Keilwelle und durch eine Axialkraftkomponente, die aus der Schrägverzahnung resultiert. Hierbei dreht sich das Stirnrad in Richtung 1 (siehe Zustand Z1 in Bild 6.17, links). Die Axialkraft wird durch den Wellenabsatz abgeleitet (WFP<sub>2</sub>). Die anderen

Felder in den Spalten 3 und 4 sind vorerst frei zu lassen. In Spalte 5 ist die Domäne des Elements einzutragen.

In Schritt 3 sind weitere Betriebs- oder Systemzustände zu untersuchen, sodass festgestellt werden kann, welche Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen hinzugefügt werden müssen, die noch nicht im ersten Zustand identifiziert worden sind. In diesem Beispiel wird die Drehrichtung des schrägverzahnten Stirnrades umgekehrt (d. h. Richtung 2), sodass die Axialkraft genau entgegengesetzt wirkt (siehe Zustand Z2 in Bild 6.17, rechts). Diesbezüglich muss Spalte 1 in Tabelle A.5.2 im Anhang A.5 (siehe „Identifiziertes Element“) um das Wirkflächenpaar zwischen dem Stirnrad und dem Sicherungsring ( $WFP_3$ ), um die Leitstützstruktur im Sicherungsring ( $LSS_3$ ) und um das Wirkflächenpaar zwischen Sicherungsring und Keilwelle ( $WFP_4$ ) ergänzt werden. Das Wirkflächenpaar 2 ( $WFP_2$ ) fällt in Zustand Z2 weg, da der Wellenabsatz nicht mehr für die Ableitung der resultierenden Axialkraftkomponente notwendig ist.



**Bild 6.17:** Abstrakte Modellierung der Keilwellenverbindung mithilfe des C&C<sup>2</sup>-A

Schritt 4 hat das Ziel, Redundanzen zu erkennen, wobei dies mit der Tabelle möglich ist. Es können zwei Arten von Redundanzen auftreten. Es kann vorkommen, dass ein Element in mehr als einem Zustand identifiziert wurde. In dem gewählten Beispiel ist diese Art der Redundanz bei den ersten vier Elementen in Tabelle A.5.3 festzustellen. Dementsprechend wird bspw. nur ein Bauteilagent für das Stirnrad modelliert. Innerhalb eines Systems können zudem Elemente bzgl. einer Domäne mehrmals vorkommen, wobei diese Art der Redundanz nicht in dem dargestellten Ausschnitt der Getriebewelle veranschaulicht werden kann (siehe Bild 6.17). Abschließend sind die Spalten 6 und 7 auszufüllen (siehe Schritt 5 in Tabelle A.5.4).

## 6.4 Beschreibung des Wissensmodells

Das Vorgehen zur Erarbeitung des Wissensmodells hat innerhalb der gesamten Vorgehensweise die Aufgabe, den im Agentenmodell repräsentierten Fachagenten das richtige Wissen in der richtigen Form zuzuweisen. Analog ist Wissen zu den Aspektagenten unter den gleichen Voraussetzungen zuzuweisen. Hierfür ist ein Ansatz zu entwickeln, der dies gewährleistet (siehe Abschnitt 6.4.1). Der Ansatz wird durch ein Vorgehen ergänzt (Abschnitte 6.4.2 bis 6.4.6).

### 6.4.1 Ansatz für die Erarbeitung des Wissensmodells

Agentensysteme stellen wissensbasierte Systeme der zweiten Generation dar. Gegenüber den Systemen der ersten Generation weisen sie eine höhere Systemkomplexität auf, die sich bei Agentensystemen in einer verteilten Wissensbasis ausprägt. Jede Wissensbasis stellt einen Ausschnitt einer Wissensdomäne dar, die Agenten befähigt, ihre Funktionalität zu erfüllen. Hierzu muss diese abgeschlossen, widerspruchs- und redundanzfrei sein.

Zwei Agenten können jeweils eine Regel enthalten, die in der Vorbedingung identische Parameter jedoch einen unterschiedlichen mathematischen Operator aufweisen. Die folgenden Regeln veranschaulichen den Fall:

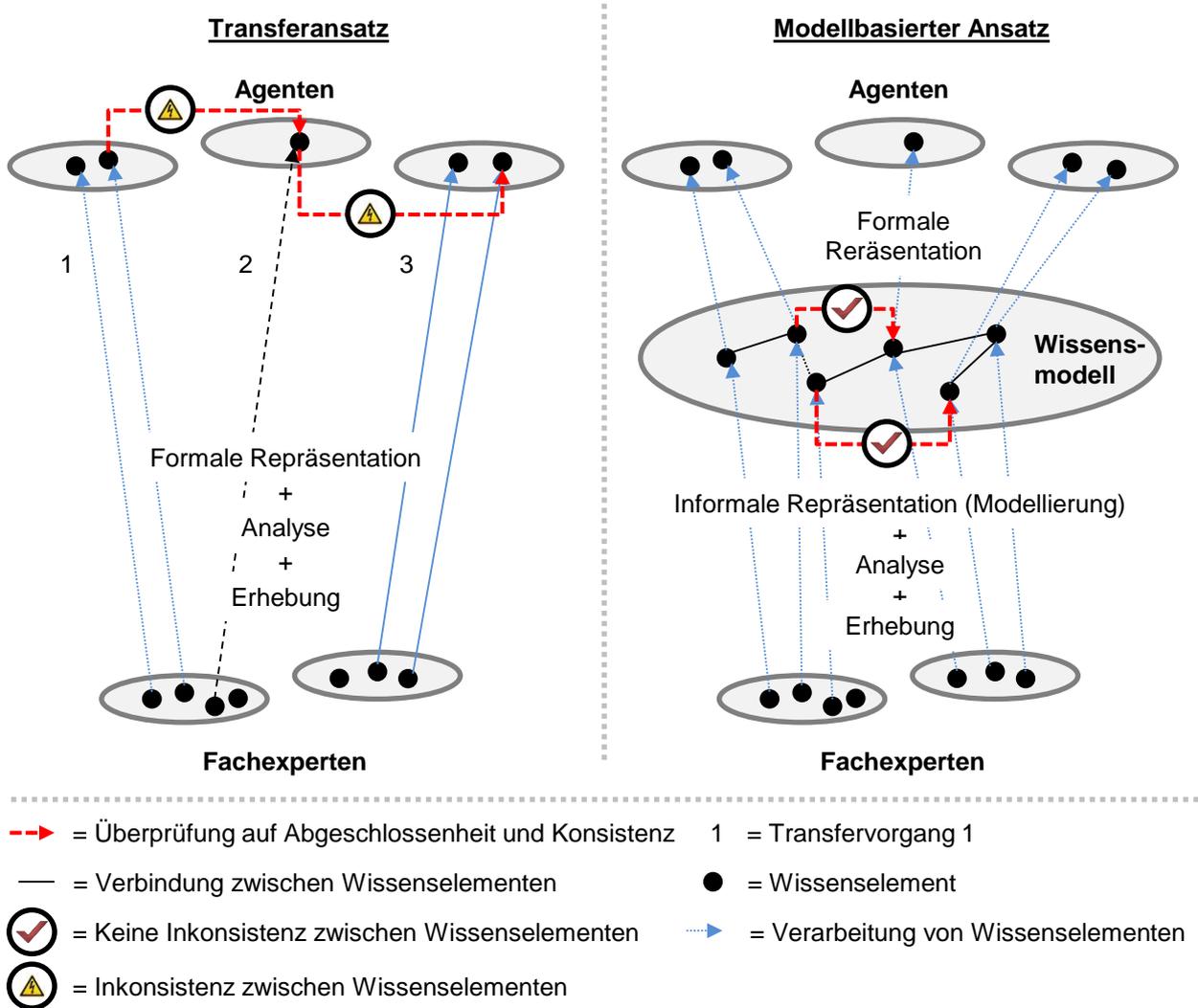
$$\text{IF } 1,5 > l_F/D_F, \text{ THEN Regel 1} = \text{TRUE} \quad (6.1)$$

$$\text{IF } 1,5 = l_F/D_F, \text{ THEN Regel 2} = \text{TRUE} \quad (6.2)$$

Es gilt die Prämisse, dass jede Regel erfüllt sein muss. Die Fugenlänge  $l_f$  als Parameter ist bspw. die zu verändernde Variable. Der Fugendurchmesser  $D_F$  ist konstant. Damit der Quotient aus Fugenlänge und Fugendurchmesser kleiner als 1,5 ist, versucht der Agent mit Regel (6.1),  $l_f$  in seinem Wert zu verändern. Ein zweiter Agent mit Regel (6.2) gleicht den Quotient dem Wert 1,5 an. Die Wissensbasis beinhaltet Widersprüche. Eine Lösung des Problems ist ausgeschlossen.

Um die Abgeschlossenheit, Widerspruchs- und Redundanzfreiheit sicherzustellen, ist eine umfassende Sichtweise auf das zu integrierende Wissen notwendig. Es muss im Vorfeld der rechnerischen Integration des Wissens gewährleistet werden, dass die Regeln (6.1) und (6.2) nicht in einer Wissensbasis zusammen auftreten. Der für die Entwicklung von Systemen der ersten Generation eingesetzte Transferansatz liefert keine zufriedenstellenden Ergebnisse, da das Wissen entsprechend der zeitlichen Entwicklungsstufe des Systems integriert wird. Dabei wird das Wissen sukzessive in

mehreren Transfervorgängen in der Wissensbasis repräsentiert (siehe Bild 6.18, links, Transfervorgänge 1 bis 3). Bei umfangreichen Wissensbasen kann der Wissensingenieur nicht mehr eindeutig die Konsistenz und Abgeschlossenheit der Wissensbasis sicherstellen. Dies wird durch die Ausführungen von Görz [GÖRZ03, S. 599 f.] und Studer et al. [STUDER98, S. 163] bestätigt.



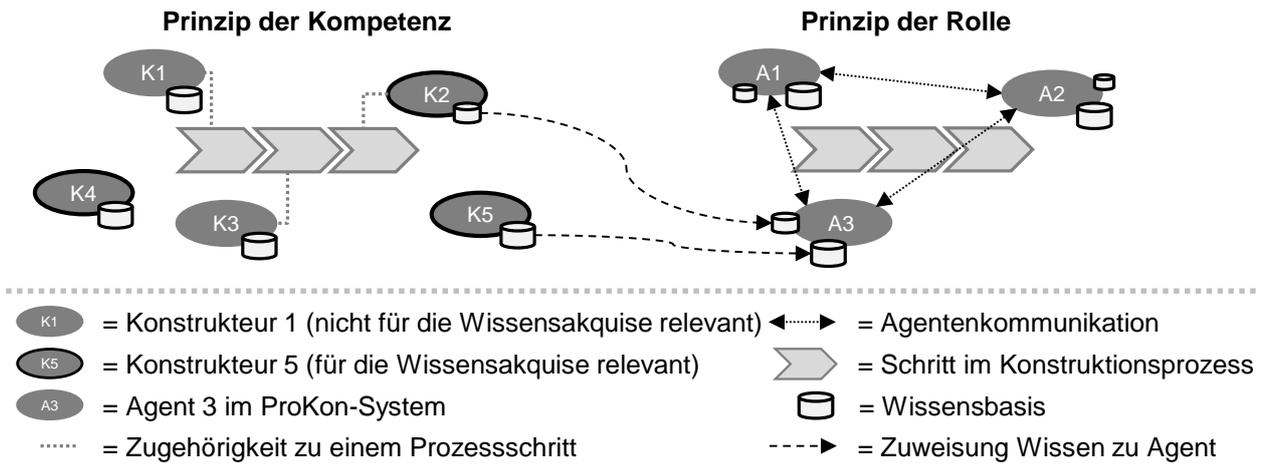
**Bild 6.18:** Vergleich des Transferansatzes mit dem modellbasierten Ansatz

Eine umfassende Sichtweise auf die zu integrierende Wissensdomäne liefert der modellbasierte Ansatz (siehe Bild 6.18, rechts). Durch diese Modellierung wird das Wissen auf der informalen (oder semi-formalen) Wissenszebene unter Verwendung natürlichsprachlicher Begriffe dargestellt. Es werden keine Details bzgl. der rechnerischen Formalisierung des Wissens berücksichtigt. Das Ergebnis des Modellierungsprozesses stellt das gesamte Wissensmodell dar.

Innerhalb der vorliegenden Arbeit wird ein Vorgehen vorgestellt, wie ein solches Wissensmodell zu erarbeiten ist. Das Wissensmodell beinhaltet dabei das Ziel- und Grundlagenwissen für die Erfüllung der Hauptfunktion Konsistenzprüfung durch das ProKon-System. Das Zielwissen für die Konsistenzprüfung ist das Wissen, welches den optimalen Zustand eines Produktmodells unter Berücksichtigung der Auslegung, Nachrechnung und Gestaltung darstellt. Ein Beispiel für Zielwissen ist in Regel (6.1) zu finden, mit der geprüft wird, inwiefern der Querpressverband das richtige Breite-zu-Durchmesser-Verhältnis aufweist. Das Grundlagenwissen wirkt unterstützend. Beispielsweise stellt die Gleichsetzung von Fugendurchmesser und Innendurchmesser der Nabe ( $D_F = D_{i\_A}$ ) Grundlagenwissen dar.

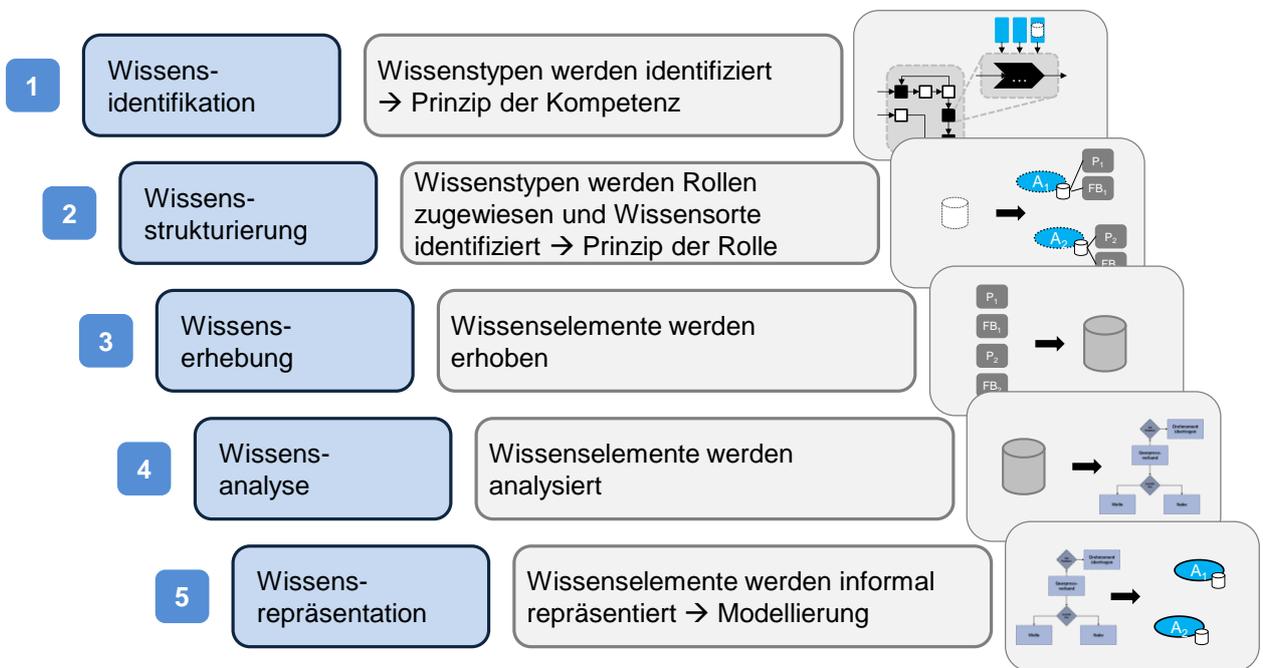
Das Wissen ist auf die richtigen Agenten zu verteilen. Dies entspricht einer Modularisierung. Es ist sicherzustellen, dass es sich um das richtige Wissen im Sinne der Anwendung handelt. Das Wissen muss in der richtigen Form vorliegen, um eine rechnerische Formalisierung zu ermöglichen. Gleichzeitig ist das Wissen innerhalb des Wissensmodells so zu formulieren, dass es von Wissensingenieuren verstanden werden kann. Nach Uschold [USCHOLD98, S. 10] hat die Wissensmodellierung den positiven Nebeneffekt des Kompetenzaufbaus. Das Wissen kann mithilfe der Nutzung von Wissensmodellen wiederverwendet werden, sofern bei einer anderen Anwendung ähnliche Wissensdomänen benötigt werden.

Die Wissensmodellierung folgt in der vorliegenden Arbeit zwei Prinzipien. Das Prinzip der Kompetenz besagt, dass nicht ausschließlich die Personen innerhalb der Wissens-erhebung befragt werden, die den relevanten Konstruktionsprozess bearbeiten. Es werden die Personen befragt, die innerhalb einer Wissensdomäne die größte Kompetenz besitzen (siehe Bild 6.19, links, z. B. K5 anstatt K1). Beispielsweise gibt es innerhalb der Organisation Personen, die fachlich auf einem ähnlichen Gebiet tätig sind und, obwohl sie nicht an dem konkreten Konstruktionsprozess mitwirken, eine höhere Kompetenz besitzen als die Person, die tatsächlich daran mitwirkt. Das Prinzip der Rolle drückt aus, dass das Wissen einer Person nicht 1:1 auf den Agenten übergeht (siehe Bild 6.19, rechts, Wissen von K2 und K5 auf A3). Vielmehr greift der Agent auf das Wissen in der Wissensbasis zu, das seiner Rollenbeschreibung entspricht.



**Bild 6.19:** Prinzip der Kompetenz und Prinzip der Rolle

Nach Decker et al. [DECKER97, S. 82] ist die Wissensmodellierung in „kleine Schritte“ zu zerlegen, damit die Stufe zwischen dem erhobenen Wissen und dem rechnerisch formalisierten Wissen überbrückt wird. Schreiber et al. [SCHREIBER93, S. 42] fordern, dass ein Vorgehen zur Erarbeitung eines Wissensmodells den Schritt der Wissensidentifikation enthalten muss. Dies stellt sicher, dass relevante Wissenstypen für die anschließende Wissenserhebung identifiziert werden (siehe Bild 6.20 und Abschnitt 6.4.2). Es werden die Wissenstypen identifiziert, die für die Durchführung des Konstruktionsprozesses notwendig sind. Das Prinzip der Kompetenz ist umgesetzt.



**Bild 6.20:** Vorgehen zur Erarbeitung des Wissensmodells unter Verwendung des Prinzips der Kompetenz und des Prinzips der Rolle

Neben der Identifikation der Wissenstypen sind diesen Agentenrollen zuzuweisen, damit die Anwendung des Prinzips der Rolle sichergestellt wird. Unter Voraussetzung eines korrekten Agentenmodells müssen die zu den Wissenstypen gehörenden Wissensselemente nicht erhoben werden, die keiner Rolle zugewiesen werden können. Dieser Schritt wird Wissensstrukturierung genannt (siehe Bild 6.20 und Abschnitt 6.4.3). Es schließt sich die Wissensakquise an, in der das identifizierte und strukturierte Wissen erhoben, analysiert und auf der informalen oder semi-formalen Wissensebene repräsentiert wird (siehe Bild 6.20 und Abschnitte 6.4.4, 6.4.5 sowie 6.4.6). Diese Repräsentation entspricht dem Wissensmodell.

#### **6.4.2 Wissensidentifikation**

Der Wissensingenieur ist in der Wissensidentifikation zu befähigen, das Wissen zu identifizieren, das der Konstrukteur für die Durchführung der vom ProKon-System unterstützten Schritte des Konstruktionsprozesses benötigt. Da in diesem frühen Stadium der Erarbeitung eines Wissensmodells das Wissen noch nicht mit der Wissensart und dem Wissensort (siehe Wissensstrukturierung und -erhebung) sowie mit der Wissensform und der Wissensqualität (siehe Wissensanalyse und -repräsentation) beschrieben werden kann, können in dem Schritt der Wissensidentifikation lediglich die Wissenstypen identifiziert werden.

Mithilfe dieser Wissenstypen sind Wissensingenieure innerhalb der Wissenserhebung in der Lage, das Wissen systematisch zu erheben. Es wird dabei sichergestellt, dass nur das Wissen aus den Wissensorten erhoben wird, welches für die Funktionalität des ProKon-Systems unter Berücksichtigung der Hauptfunktion Konsistenzprüfung notwendig ist. Die Wissenserhebung folgt dem Prinzip der Kompetenz, wobei nicht nur ...

- ... die Konstrukteure befragt werden, die im Konstruktionsprozess tätig sind.
- ... die Dokumente analysiert werden, die im Konstruktionsprozess verwendet werden.

#### **Der erweiterte Entwurfsprozess als Grundlage für die Wissensidentifikation**

Als Grundlage für die Identifikation der Wissenstypen dient die bei der Erarbeitung des Organisationsmodells modellierte Aktivitätssicht des Konstruktionsprozesses unter Verwendung der KMDL. Die Aktivitätssicht wurde mithilfe von Kriterium 14 aus Tabelle 6.2 daraufhin analysiert, welche Konversionen überhaupt durch das ProKon-System unterstützt werden können. Dies konnten Kratzer et al. [KRATZER13B, S. 4 ff.] zeigen. Die Erkenntnis über die generelle Unterstützbarkeit von Konversionen wird

erlangt, indem sie mit definierten Schritten aus einem standardisierten Entwurfsprozess abgeglichen wurden. Ist der Schritt aus dem standardisierten Entwurfsprozess mit dem ProKon-System unterstützbar, ist auch die Konversion unterstützbar.

Aufgrund seiner Verbreitung in der Konstruktionstechnik und aufgrund der Anwendung am eigenen Institut, wird in der vorliegenden Arbeit als standardisierter Entwurfsprozess das Vorgehensmodell nach Pahl et al. [PAHL07, S. 306 ff.] verwendet. Dieses beinhaltet im Entwerfen 15 Schritte. Für einen Abgleich dieser Schritte mit den Konversionen weisen die Entwurfsschritte eine zu niedrige Detaillierung auf. Aus diesem Grund verwendeten Kratzer et al. [KRATZER13B, S. 4 ff.] den Entwurfsprozess nach Pahl et al. [PAHL07, S. 306 ff.] als Grundlage und detaillierten diesen mithilfe der Ausführungen aus der VDI 2223 [VDI 2223 2004]. Der ursprüngliche Entwurfsprozess kann so in 44 Unterschritte aufgegliedert werden.

Kratzer et al. [KRATZER13B, S. 4 ff.] glichen die 44 Unterschritte des Entwerfens mit den Funktionen des ProKon-Systems aus Bild 3.2 ab (d. h. mit der Konsistenzprüfung, der Lösungsfindung und der Lösungsumsetzung), um so die Schritte zu identifizieren, die das ProKon-System unterstützen kann. Diese Schritte befinden sich in den späten Phasen des Entwerfens, da das ProKon-System für die Konsistenzprüfung ein bestehendes Produktmodell im CAD-System benötigt. Die erstmalige Erstellung eines Produktmodells ist nicht unterstützbar (siehe z. B. Schritt 4.1 in Tabelle A.6.1 im Anhang A.6). Das ProKon-System unterstützt die Feingestaltung, das Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien sowie das optimierende und abschließende Gestalten. In Tabelle A.6.1 ist der komplette erweiterte Entwurfsprozess abgebildet, wobei die durch das ProKon-System unterstützbaren Prozessschritte umrandet sind.

Wie Bild A.4.1 in Anhang A.4 zeigt, kann das ProKon-System bspw. die Konversion „Berechnung des wirksamen Übermaßes“ unterstützen, wohingegen die Unterstützung der Konversion „Dokumentation der Ergebnisse“, wenn überhaupt, nur implizit durch das ProKon-System erfolgt.

### **Ansatz für die Wissensidentifikation**

Die Aufstellung des erweiterten Entwurfsprozesses und der Abgleich dessen mit den Funktionen des ProKon-System dienen als Grundlage für die Wissensidentifikation innerhalb der Erarbeitung des Wissensmodells. Im Folgenden wird auf dieser Basis der Ansatz für die Wissensidentifikation erläutert. Ein Beispiel zur Verdeutlichung der Thematik erfolgt auf Seite 149 (oben).

Die Analyse einer beliebigen Konversion in Bild A.4.1 ergibt, dass für die Durchführung der Konversion lediglich Informations- und Wissensobjekte als Ein- und als Ausgangsgrößen vorliegen. Das Wissen für die Durchführung der Konversion ist jedoch nicht explizit erkennbar. In Anlehnung an die Wissensdefinition von Koller und Berns [KOLLER90, S. 85] definiert eine Konversion somit das Wissen, welches als Grundlage für eine Prozessdurchführung benötigt wird (Eingangsgrößen). Es wird zudem das Wissen definiert, welches aus dem Prozess gewonnen wird (Ausgangsgröße). Unter Beachtung der eigenen Wissensdefinition in Abschnitt 2.4 ist zu den Ein- und Ausgangsgrößen die Kenntnis über das Wissen zur Durchführung der Konversion notwendig. Die Ein- und Ausgangsgrößen werden dabei miteinander in Beziehung gesetzt. Die eigene Wissensdefinition wird so erfüllt.

Es wird ein Hilfsmittel benötigt, um das Wissen zur Durchführung der Konversion systematisch zu erschließen. An dieser Stelle werden die bereits im Organisationsmodell eingeführten und oben benannten Schritte des erweiterten Entwurfsprozesses nach Pahl et al. [PAHL07, S. 306 ff.] verwendet. Im Gegensatz zu den Konversionen aus der Aktivitätssicht können diese auf Basis von Beschreibungen aus der Literatur vollständig gemäß der eigenen Wissensdefinition beschrieben werden.

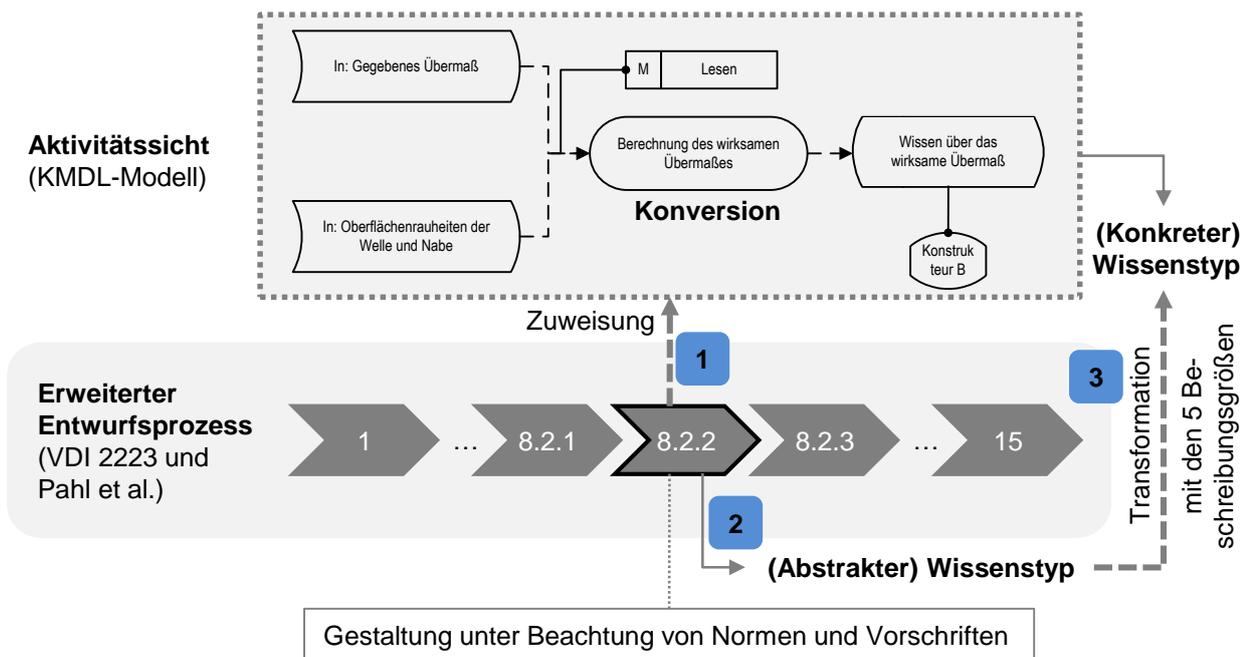
Das Wissen liegt jedoch nicht *konkret* im Sinne der zu unterstützenden Konversionen vor. Es liegt vielmehr *abstrakt* vor, da es sich bei dem erweiterten Entwurfsprozess um ein allgemeines Vorgehensmodell handelt, das, wie der Stand der Forschung zeigt, auf unternehmensinterne Konstruktionsprozesse heruntergebrochen werden muss.

Wie Bild 6.21 zeigt, ist zunächst einer Konversion aus der Aktivitätssicht ein passender Schritt aus dem erweiterten Entwurfsprozess zuzuweisen (1). Beispielsweise wird die Konversion zur „Berechnung des wirksamen Übermaßes“ dem Schritt 8.2.2 aus Tabelle A.6.1 zugewiesen, der vom ProKon-System unterstützt werden kann. Dieser Schritt beschreibt den Teil der Feingestaltung von Hauptfunktionsträgern, der sich mit der Beachtung von Normen und Vorschriften auseinandersetzt.

Anschließend ist der *abstrakte Wissenstyp* auf Basis der obigen Zuweisung zu erarbeiten (siehe (2) in Bild 6.21), der beschreibt, welches Wissen für die Durchführung des Prozessschritts notwendig ist. Abschließend ist eine Transformation, d. h. eine Übertragung, eines abstrakten auf einen *konkreten Wissenstyp* notwendig. Hierbei sind die Randbedingungen der Konversion innerhalb der Aktivitätssicht zu beachten (3).

Für die erstmalige Erarbeitung des abstrakten Wissenstyps und für dessen Transformation in einen konkreten Wissenstyp wird der Ansatz nach Sperl [SPERL13, S. 74 ff.]

verwendet (siehe (2) und (3) in Bild 6.21). Dessen Arbeit entstand unter Anleitung des Verfassers der vorliegenden Arbeit. Sperl [SPERL13, S. 79] identifizierte 10 Beschreibungsgrößen für Wissen, die aus der Analyse von Arbeiten von Koller und Berns [KOLLER90] sowie Hubka und Eder [Hubka92] resultierten. Die Beschreibungsgrößen haben den Zweck, einen Wissenstyp auf Basis einer Konversion gemäß der eigenen Wissensdefinition zu erarbeiten.



**Bild 6.21:** Ansatz in der Wissensidentifikation zur Erarbeitung der Wissenstypen

Innerhalb der vorliegenden Arbeit fand eine Anpassung der 10 Beschreibungsgrößen nach Sperl [SPERL13, S. 79] auf den vorliegenden Anwendungsfall statt, woraus die folgenden Beschreibungsgrößen für die Wissenstypen resultieren:

- **Ausführende Rolle:** Die auszuführende Rolle ist für die geordnete und richtige Durchführung des Prozessschritts verantwortlich. Die Rolle deckt sich in diesem Fall mit der spezifischen Person im betrachteten Unternehmen. Beispielsweise stellt der Konstrukteur die auszuführende Rolle dar.
- **Art der Aufgabe:** Die Art der Aufgabe gleicht den wissensintensiven Aufgabentypen nach Schreiber et al. [SCHREIBER02, S. 123 ff.]. Sie unterteilen diese in Aufgaben mit analytischem oder synthetischem Charakter. Zur Analyse gehören die folgenden Aufgaben: Klassifikation, Diagnose, Bewertung, Überwachung, Vorhersage. Folgende Syntheseaufgaben werden durch Schreiber et al. [SCHREIBER02] berücksichtigt: kreatives Entwerfen, konfiguratives Entwerfen, Modellierung, Zuweisung, Aufgaben- und Terminplanung.

- **Vorgehen innerhalb des Prozessschritts:** Hierbei wird definiert, welche Schritte die auszuführende Rolle, in welcher Reihenfolge durchzuführen hat.
- **Ein- und Ausgangsgrößen des Prozessschritts:** Gemäß der systemtheoretischen Betrachtung ist für die Durchführung eines Prozesses wichtig, welche Eingangs- und Ausgangsgrößen existieren. Diese sind in diesem Kontext Informations- und Wissensobjekte.
- **Verwendete Wissensformen:** Die verwendeten Wissensformen geben einen ersten Ausblick auf die Wissensanalyse und Wissensrepräsentation, die für die Erarbeitung des Wissensmodells maßgeblich sind. In diesem Fall sind die zuvor im ProKon-Projekt definierten Wissensformen zu verwenden: Regel, Formel, Bedingung, Tabelle, Parameter, Entity.

Am Beispiel des Schritts 8.2.2 „Gestaltung unter Beachtung von Normen und Vorschriften“ soll die Anwendung der fünf genannten Beschreibungsgrößen beispielhaft gezeigt werden (siehe 1 in Bild 6.21). Bei diesem Schritt stellt der Konstrukteur die *ausführende Rolle* dar, wobei dieser in der Variantenkonstruktion einen eingeschränkten Freiheitsgrad besitzt und unter Verwendung bekannter Elemente (Bauteile etc.) die Gestaltung vornimmt (*Art der Aufgabe*). Der Konstrukteur geht dabei so vor, dass er zunächst den Istzustand des Produktmodells analysiert, die Norm dementsprechend interpretiert und den Sollzustand ableitet (*Vorgehen innerhalb des Prozessschritts*). Die *Ein- und Ausgangsgrößen des Prozessschritts* sind die vorliegende Grobgestalt und die Norm auf der einen Seite sowie das feingestaltete Produkt mit der genauen geometrischen Ausführung auf der anderen Seite. Als *Wissensformen* sind regel- und formelhafte Zusammenhänge zu verwenden.

Für Schritt 8.2.2 gilt somit unter Beachtung der oben genannten Beschreibungsgrößen der folgende abstrakte Wissenstyp: *Der Konstrukteur benötigt Wissen über die vorliegende Grobgestalt sowie über formel- und regelhafte Zusammenhänge innerhalb der Normen und Vorschriften, um daraus in einem konfigurativen Entwerfen mit eingeschränktem Freiheitsgrad unter Verwendung der Schritte Analyse des Istzustands, Norminterpretation und Erarbeitung eines Sollzustands, die Feingestalt mit der genauen geometrischen Ausführung abzuleiten.*

Wie das Beispiel zeigt, handelt es sich aufgrund der Benennung der Wissensform(en) innerhalb des Wissenstyps, nicht um einen reinen Wissenstyp, wie er im Stand der Forschung definiert wurde. Die Angabe der Wissensformen ist jedoch für die weiteren

Schritte zur Erarbeitung des Wissensmodells notwendig, wodurch der Ansatz eher pragmatischer Art ist.

Der abstrakte Wissenstyp wird konkretisiert, indem Schritt 8.2.2 der in Bild 6.21 dargestellten Konversion zugewiesen und durch fünf Beschreibungsgrößen klassifiziert wird (3). Dabei ist die Konversion im Kontext der Gestaltung unter Beachtung von Normen/Vorschriften zu sehen. Die Anwendung der fünf Beschreibungsgrößen erfolgt wie bei der Anwendung des abstrakten Wissenstyps. Es resultiert der folgende konkrete Wissenstyp: *Der Konstrukteur benötigt Wissen über das gegebene Übermaß, über die Oberflächenrauheiten der Welle und Nabe sowie über die Existenz und Ausführung der Berechnungsformel bzgl. des wirksamen Übermaßes, um daraus in einem konfigurativen Entwerfen mit eingeschränktem Freiheitsgrad unter Verwendung der Schritte Analyse des Istzustands (Konversionsmethode „Lesen“), Norminterpretation und Erarbeitung eines Sollzustands (Berechnung), das wirksame Übermaß zu berechnen.*

### **6.4.3 Wissensstrukturierung**

Die Wissensstrukturierung hat erstens die Aufgabe, die in der Wissensidentifikation erarbeiteten Wissenstypen Fach- oder Aspektagenten zuzuweisen. Sofern ein Wissenstyp nicht einem der Agententypen zugewiesen werden kann, ist er nicht für die Konsistenzprüfung relevant und kann vernachlässigt werden. Für den Wissensingenieur ist diese Zuweisung ein erstes Indiz für die spätere Zuweisung von den erhobenen Wissens-elementen zu den Agenten. [KRATZER12B, S. 1046]

Fach- und Aspektagenten beinhalten das Ziel- und Grundlagenwissen für die Konsistenzprüfung. Die für die Unterstützung von Konstrukteuren innerhalb einer Anwendung relevanten Fachagenten wurden durch die Erarbeitung des Agentenmodells identifiziert. Auf Basis der in der Wissensidentifikation erarbeiteten Wissenstypen erfolgt innerhalb der Wissensstrukturierung implizit die Ableitung der notwendigen Aspektagenten. [KRATZER12B, S. 1046]

Zweitens werden innerhalb der Wissensstrukturierung für die in der Wissensidentifikation erarbeiteten Wissenstypen personelle und materielle Wissensorte im Unternehmen lokalisiert. Dies stellt die Grundlage für die anschließende Wissenserhebung dar. Es wird dabei der generelle Zusammenhang der Strukturparameter von Roth et al. [ROTH10] ausgenutzt. [KRATZER12B, S. 1046]

Für die Durchführung der Wissensstrukturierung erarbeiteten Kratzer et al. [KRATZER12B, S. 1048] ein Vorgehen. Dabei wird der Zusammenhang zwischen den

Strukturparametern aufgezeigt. Die Vorgehensweise zeigt Tabelle 6.8, wobei im Gegensatz zu Kratzer et al. [KRATZER12B, S. 1048] die Benennung der Schritte für die vorliegende Arbeit angepasst wurde.

Schritt	Beschreibung	Ergebnis
1	Wähle einen in der Wissensidentifikation identifizierten Wissenstyp aus	Wissenstyp
2	Wähle einen Sub-Wissenstyp aus und weise ihm dem Wissenstyp zu	Wissenstyp mit Sub-Wissenstyp beschrieben
3	Wähle einen Meta-Wissenstyp aus und weise ihm dem Ergebnis aus Schritt 2 zu	Vollständig beschriebener Wissenstyp
4	Weise dem Ergebnis aus Schritt 3 einem Agenten zu, der dem Meta-Wissenstyp entspricht	Identifizierter Agententyp
5	Weise dem vollständig beschriebenen Wissenstyp als Ergebnis aus Schritt 3 Wissensformen zu (siehe Bild 6.21)	Abzubildende Wissensformen
6	Analysiere die Wissensformen unter Beachtung des vollständig beschriebenen Wissenstyps auf Wissensarten	Explizites und/oder implizites Wissen
7	Identifiziere unter Beachtung der Ergebnisse aus Schritt 6 einen abstrakten Wissensort	Abstrakte Wissensorte (z. B. eine Norm)
8	Beachte den Unternehmenskontext und analysiere das Unternehmen auf konkrete Wissensorte	Konkrete Wissensorte (z. B. DIN 7190)

**Tabelle 6.8:** Zuweisung von Wissenstypen zu Agentenrollen und Identifikation von Wissensorten nach Kratzer et al. [KRATZER12B, S. 1048]

Nachfolgend findet sich die Beschreibung der einzelnen Schritte aus Tabelle 6.8.

### Zuweisung von Wissenstypen zu Agententypen

Die in der Wissensidentifikation erarbeiteten Wissenstypen können nicht auf Anhieb zu einem Fach- oder einem Aspektagenten zugewiesen werden, da bisher keine Verbindung zur agentenorientierten Softwareentwicklung gezogen wurde. Dementsprechend sieht der Ansatz in der Wissensstrukturierung vor, die Wissenstypen aus der Wissensidentifikation mithilfe von weiteren Wissenstypen zu beschreiben, die eine Verbindung zu den Agententypen herstellen (siehe Schritt 1 in Tabelle 6.8).

Bei der Zuweisung der in der Wissensidentifikation erarbeiteten Wissenstypen zu den Agententypen liegt der Fokus auf den Wissenstypen nach Haasis [HAASIS95B] und Lang [LANG08]. Diese wurden zur Beschreibung der Wissenstypen in der Wissensbasis verwendet (siehe Bild 3.8 auf S. 75). Das Grundlagenwissen ergänzt die Wissenstypen nach Lang [LANG08], da neben dem Zielwissen Grundlagenkenntnisse notwendig sind, um Berechnungen durchzuführen und Regeln auszuwerten (z. B.  $m = \rho \cdot V$ ). Die Wis-

senstypen nach Lang [LANG08] werden in der vorliegenden Arbeit Meta-Wissenstypen genannt, da sie direkt mit dem allgemeinen Agentenschema korrespondieren. Die Sub-Wissenstypen bilden die Wissenstypen nach Haasis [HAASIS95B] ab, da sie bereits implizit Wissensformen enthalten und dementsprechend eine Hinleitung zu den Wissensformen darstellen (vgl. Bild 3.9). [KRATZER12B, S. 1046 f.]

Mithilfe der in Tabelle 6.9 abgebildeten Wissenstypen sind Wissensingenieure in der Lage, einen konkreten Wissenstyp aus der Wissensidentifikation einem eindeutigen Agententyp zuzuweisen. Dabei gelten nach Kratzer et al. [KRATZER12B, S. 1046 f.] die folgenden Korrelationen zwischen Meta-Wissenstypen und Agententypen:

- Strategiewissen → Management-Agent
- Zielwissen → Aspektagent
- Grundlagenwissen → Fachagent
- Umweltwissen → Objektagent

Sub-Wissenstypen nach Haasis [HAASIS95B]	Meta-Wissenstypen nach Lang [LANG08]
Wissen über Konstruktions- und Gestaltungsregeln	Zielwissen
Wissen über Parameter- und Objektabhängigkeiten	Umweltwissen
	Strategiewissen
	Grundlagenwissen (nicht nach Lang [LANG08])

**Tabelle 6.9:** Sub- und Meta-Wissenstypen zur Beschreibung der Wissenstypen aus der Wissensidentifikation nach Kratzer et al. [KRATZER12B, S. 1046 f.]

Im Folgenden wird das Beispiel aus der Wissensidentifikation aufgegriffen, wobei der dort erarbeitete konkrete Wissenstyp weiter beschrieben wird. Um das wirksame Übermaß zu berechnen, ist eine Formel notwendig, die Abhängigkeiten zwischen Parametern enthält. Daher kann dem Wissenstyp der Sub-Wissenstyp nach Haasis [HAASIS95B] „Wissen über Parameter- und Objektabhängigkeiten“ zugeordnet werden (siehe Schritt 2 in Tabelle 6.8). Die Berechnung des wirksamen Übermaßes dient zudem bei der Konsistenzprüfung als Grundlage zum Nachweis, dass der Querpressverband seine ihm zugewiesene Funktion erfüllt. Ein Zielzustand wird nicht direkt angegeben. Die Zuweisung des Wissenstyps zum Meta-Wissenstyp „Grundlagenwissen“ ist die Folge (siehe Schritt 3 in Tabelle 6.8). Gemäß der obigen Zuordnung zwischen Meta-Wissenstypen und Agententypen erfolgt schließlich die Abbildung des Meta-Wissenstyps auf den Fachagenten für den Querpressverband (siehe Schritt 4 in Tabelle 6.8). Die Ermittlung der Wissens Elemente, die zu diesem Meta-Wissenstyp

gehören und die, die eigentliche Funktionalität des ProKon-Systems ermöglichen, findet im Schritt der Wissenserhebung statt.

### Lokalisierung von Wissensorten

Für die Identifikation von möglichen Wissensorten dient der in Bild 3.9 (siehe S. 76) abgebildete Zusammenhang zwischen den fünf Strukturparametern nach Kratzer et al. [KRATZER12B, S. 1045]. Demnach lässt sich jeder Wissenstyp mit einem Set an Wissensformen beschreiben, wobei die Wissensformen an Wissensarten und Wissensorte geknüpft sind (siehe Schritt 5 in Tabelle 6.8).

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Sub-Wissenstypen beschreiben Regeln (Wissen über Konstruktions- und Gestaltungsregeln) und Formeln (Wissen über Parameter- und Objektabhängigkeiten). Für die Abbildung des Wissens über Konstruktions- und Gestaltungsregeln sind bis auf die Formel alle Wissensformen notwendig. Daneben werden dem Wissenstyp „Wissen über Parameter- und Objektabhängigkeiten“ Formeln, Parametern, Tabellen und Entitäten zugeordnet. Die Zuordnung zeigt Bild 6.22.

Die Wissensformen aus Bild 6.22 können unabhängig von deren Wissenstyp in Wissensorten enthalten sein, die implizites und explizites Wissen enthalten (siehe Schritt 6 in Tabelle 6.8). Für die abschließende Identifikation dieser Wissensorte kommen materielle Wissensorte (Datenbanken, Fachbücher, Normen etc.) und personelle Wissensorte (Konstrukteure etc.) in Frage (siehe Schritt 7 in Tabelle 6.8). Aufgrund der Verschiedenartigkeit der Unternehmen, in denen das ProKon-System Konstrukteure unterstützt, ist eine Identifikation von konkreten Wissensorten methodisch schwer unterstützbar (siehe Schritt 8 in Tabelle 6.8).



**Bild 6.22:** Wissensformen für die Beschreibung der Sub-Wissenstypen

Da im ProKon-Projekt keine Unternehmen eingebunden waren, wurde Wissen auf Basis von Normen und Richtlinien erhoben. Es können zu dem oben genannten Beispiel keine konkreten Wissensorte in einem Unternehmen benannt werden. Der in der Wissensidentifikation beispielhaft identifizierte Wissenstyp stellt Wissen über Parameter- und Objektabhängigkeiten dar. Für dessen Abbildung in der Wissensbasis sind Formeln, Parameter, Tabellen und Entitäten notwendig. Unter Beachtung der oben genannten Restriktionen kommt eine Norm, eine Richtlinie oder ein Fachbuch in Frage, die/das behandelt, wie das wirksame Übermaß zu berechnen ist. Die Wissenserhebung müsste auf Basis der DIN 7190 [DIN 7190 2001] und auf Basis von Kollmann [KOLLMANN84] stattfinden. Ein umfassenderes Beispiel für Wissensstrukturierung innerhalb des ProKon-Projekts führen Kratzer et al. [KRATZER12B, S. 1048 ff.] auf.

#### **6.4.4 Wissenserhebung**

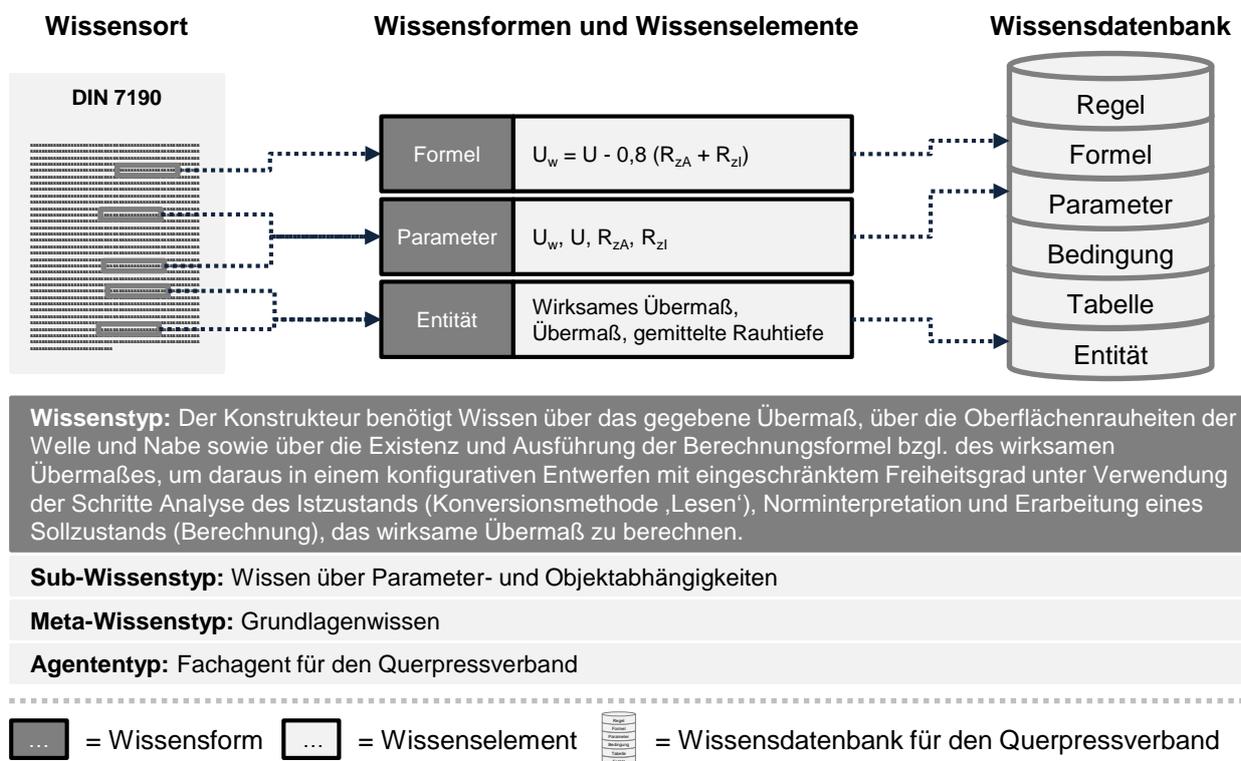
Die Wissenserhebung definiert den Anfang der Wissensakquise. Der Wissensingenieur verwendet für die Erhebung des Wissens die in der Wissensstrukturierung identifizierten Wissensorte innerhalb des Unternehmens. Es ist zwischen explizit und implizit vorliegendem Wissen zu unterscheiden. Diese Unterscheidung bestimmt u. a. die Wahl der Methode, die für eine Erhebung des Wissens notwendig ist.

Für die Erhebung von explizit vorliegendem Wissen wird vorgeschlagen, die Methode des Exzerpierens zu verwenden. Bei dieser Methode erfolgt die Anfertigung eines mit der Vorlage inhaltlich übereinstimmenden, schriftlichen Auszugs, der lediglich die wichtigsten Informationen enthält. Bei der Erhebung von implizitem Wissen aus personellen Wissensorten wird dementsprechend von Hua [HUA08, S. 181] vorgeschlagen, Experten auf Basis von halbstrukturierten Interviews zu befragen. Sofern bei komplexeren Sachverhalten für die unterschiedlichsten Wissenstypen Wissen erhoben werden muss, haben Roth und Binz [ROTH13, S. 7 f.] sich mit der genauen Bestimmung von Methoden zur Wissenserhebung auf Basis von Wissenstypen beschäftigt. Die systematische Bestimmung wird als zweckmäßig erachtet.

Im ProKon-Projekt konnte nur auf explizit vorliegendes Wissen in Form von Normen, Richtlinien und Fachbüchern zurückgegriffen werden, da Fachexperten nicht zur Verfügung standen. Beispielsweise ist eine Norm unter Beachtung der in der Wissensstrukturierung vorliegenden Wissenstypen zu lesen. Die für die Repräsentation der Wissenstypen notwendigen Wissensformen (z. B. Regel) sind in die Wissensdatenbank einzupflegen (siehe Bild 6.23). Dies gleicht einer ersten Analyse des erhobenen

Wissens, da bereits Kategorien im Sinne der Wissensformen gebildet wurden. Schreiber et al. [SCHREIBER02, S. 103] erachten dies in der Wissenserhebung für geeignet.

Bild 6.23 zeigt die Methode des Exzerprierens. Darin wird das Beispiel der vorherigen Abschnitte fortgeführt. Es wird unter Beachtung des Wissenstyps über das wirksame Übermaß die DIN 7190 [DIN 7190 2001] analysiert. Diese wurde als Wissensort identifiziert. Bei diesem Wissenstyp handelt es sich um Wissen über Parameter- und Objektabhängigkeiten. Die Wissensformen Formel, Parameter und Entitäten sind aus diesem Grund zwingend in der Norm zu identifizieren. Die Identifikation von Tabellen kann bei Bedarf stattfinden.



**Bild 6.23:** Methode des Exzerprierens am Beispiel einer Norm

Die Wissenstypen sind in die Wissensdatenbank einzutragen. Am Beispiel in Bild 6.23 ist keine Tabelle notwendig, da die Werte für  $R_{zA}$  und  $R_{zI}$  bereits im Produktmodell als PMI (Product and Manufacturing Information) gespeichert werden.

Wie Bild 6.23 zeigt, stellt die Wissensdatenbank den Speicherort für die erhobenen Wissens Elemente dar. Da eine domänenspezifische Erhebung des Wissens vorgeschlagen wird, existiert für jede Wissensdomäne eine Wissensdatenbank. Die Wissensdomäne wird durch die im Agentenmodell identifizierten Fachagenten definiert. Wurde bspw. ein Fachagent für den Querpressverband identifiziert, existiert für diese Wissensdomäne eine Wissensdatenbank. Diese wird mit den Wissens Elementen be-

füllt, die auf die Wissenstypen zurückgehen, die in der Wissensstrukturierung dem Fachagenten für den Querpressverband zugewiesen wurden. Komplettiert wird die Wissensdatenbank durch die querpressverbandsspezifischen Wissensselemente, die den Aspektagenten zugewiesen wurden.

Innerhalb des ProKon-Projekts wurde das Literaturverwaltungsprogramm Citavi für die Realisierung der Wissensdatenbank verwendet, da es über eine Datenbank und eine Benutzungsoberfläche verfügt. Die Zitate sind über „Kategorien“ Wissensformen zuzuweisen. Weiterhin kann Microsoft Excel verwendet werden. Die Verwendung von professionellen Datenbanken ist aufwendiger und wird in diesem Fall nicht empfohlen.

#### **6.4.5 Wissensanalyse**

Die Wissensanalyse bildet die Fortsetzung der Wissenserhebung, indem die Wissensselemente aus der Wissensdatenbank unter Beachtung der sechs Wissensformen weiter aufbereitet werden. Dies stellt für Wissensingenieure eine Möglichkeit dar, die Wissensdomäne zu verstehen und die Grundlagen für die abschließende Wissensrepräsentation zu legen. Die Wissensanalyse erlaubt eine erste Konsistenz- und Abgeschlossenheitsprüfung und setzt die domänenspezifische Aufteilung der Wissenserhebung fort. Letztlich werden implizit erste Grundlagen zur Erarbeitung der Meta-Modelle gelegt, die zur Anbindung des CAD-Systems an das ProKon-System notwendig sind. In Tabelle 6.10 sind bekannte Methoden zur Wissensanalyse nach Spreckelsen und Spitzer [SPRECKELSEN08, S. 131 und S. 212 ff.] aufgeführt. Sie werden darin mit den Anforderungen verglichen.

Das semantische Netz als Methode erfüllt den Zweck der Wissensanalyse in der vorliegenden Arbeit am besten. Die Wissensanalyse greift die domänenspezifische Wissensakquise auf und führt diese weiter, indem für jede Wissensdomäne ein semantisches Netz aufgestellt wird. Aufgrund des grafischen Ansatzes verstehen Wissensingenieure aus unterschiedlichen Fachbereichen die analysierte Wissensdomäne. Analog zur Wissenserhebung, die Teile der Analyse enthält, wird in der Wissensanalyse die Wissensdomäne informal modelliert, was die Hauptaufgabe in der Wissensrepräsentation ist. Es ist bisher unbekannt, ob alle in der vorliegenden Arbeit verwendeten Wissensformen durch das semantische Netz abgebildet werden können. Vor allem bei der Regel und der Tabelle erscheint dies unsicher. Dies wird im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit überprüft.

Anforderung	Concept Laddering	Semantisches Netz	Mind Mapping	Concept Sorting	KGV
Anwendbar von Wissensingenieuren aus vielen Fachdomänen	●	●	●	●	●
Stellt alle sechs Wissensformen dar	◐	◐	◐	○	◐
Lässt Prüfung auf Konsistenz und Abgeschlossenheit zu	◐	●	◐	◐	◐
Ermöglicht domänenspezifische Analyse	●	●	●	●	●
Legt Grundlagen für die Erarbeitung von Meta-Modellen	○	●	◐	◐	◐

● = Anforderung wird durch die Methode vollständig erfüllt

◐ = Anforderung wird durch die Methode teilweise erfüllt

○ = Anforderung wird durch die Methode nicht erfüllt

KGV = Konstruktionsgitterverfahren

**Tabelle 6.10:** Auswahl einer Methode für die Wissensanalyse

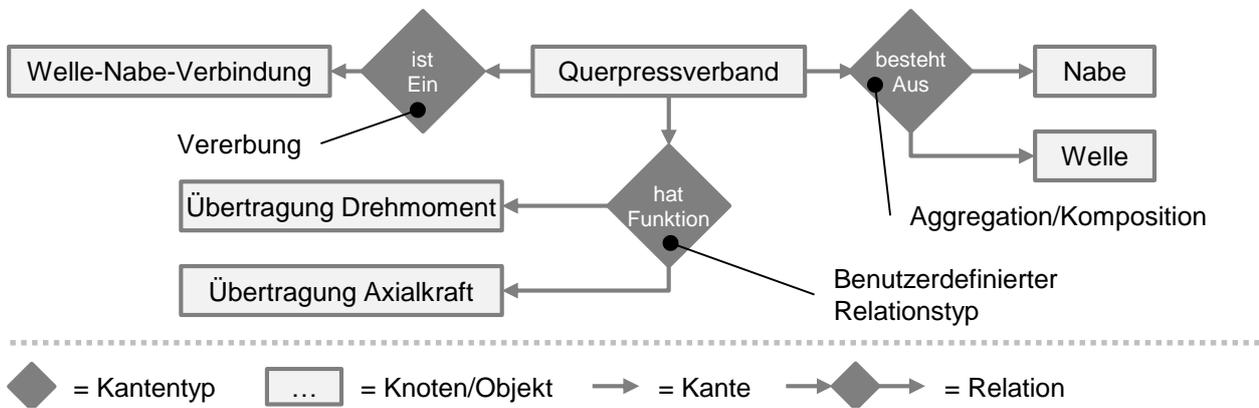
Ein semantisches Netz ist u. a. nach Liese [LIESE04, S. 30] und Rude [RUDE98, S. 78] ein gerichteter Graph mit bewerteten Knoten und getypten Kanten zur Darstellung von Wissen. Es besteht aus Objekt-Attribut-Wert-Tripeln [RUDE98, S. 78], wie die folgende Formulierung (6.3) beispielhaft zeigt:

Der Querpressverband (*Objekt*) hat die Funktion (*Attribut*), ein Drehmoment von 450 Nm zu übertragen (*Wert*) (6.3)

Innerhalb eines semantischen Netzes werden Objekte mittels Vererbungsrelationen [LIESE04, S. 30], Aggregation- und Kompositionsbeziehungen [THEL07, S. 26] sowie weiteren, benutzerdefinierten Relationstypen [RUDE98, S. 78] verbunden. Die Formulierung (6.3) entspricht bspw. dem benutzerdefinierten Relationstyp „hatFunktion“. Diese Relationen sind innerhalb eines semantischen Netzes zu standardisieren. Objekte kommen darin nur einmal vor (Konsistenz), wobei jedes mindestens mit einem anderen Objekt verbunden sein muss (Abgeschlossenheit). Bild 6.24 zeigt ein semantisches Netz am Beispiel des Querpressverbands, wobei daran die unterschiedlichen Arten an Relationen zwischen Objekten veranschaulicht werden können. Einen größeren Ausschnitt eines semantischen Netzes stellt Bild A.8.1 in Anhang A.8 dar.

Das Vorgehen zur Erstellung eines semantischen Netzes wurde von Büsch [BÜSCH13] unter Anleitung des Verfassers der vorliegenden Arbeit entwickelt. Es sieht vor, dass

auf Basis der Wissens Elemente in der Wissensdatenbank zunächst ein Grobentwurf eines semantischen Netzes erstellt wird. Dabei werden die Grundlagen aus Bild 6.24 sowie der prinzipielle Aufbau eines semantischen Netzes für die Konstruktionstechnik verwendet. Den prinzipiellen Aufbau zeigt Bild A.7.1 in Anhang A.7.

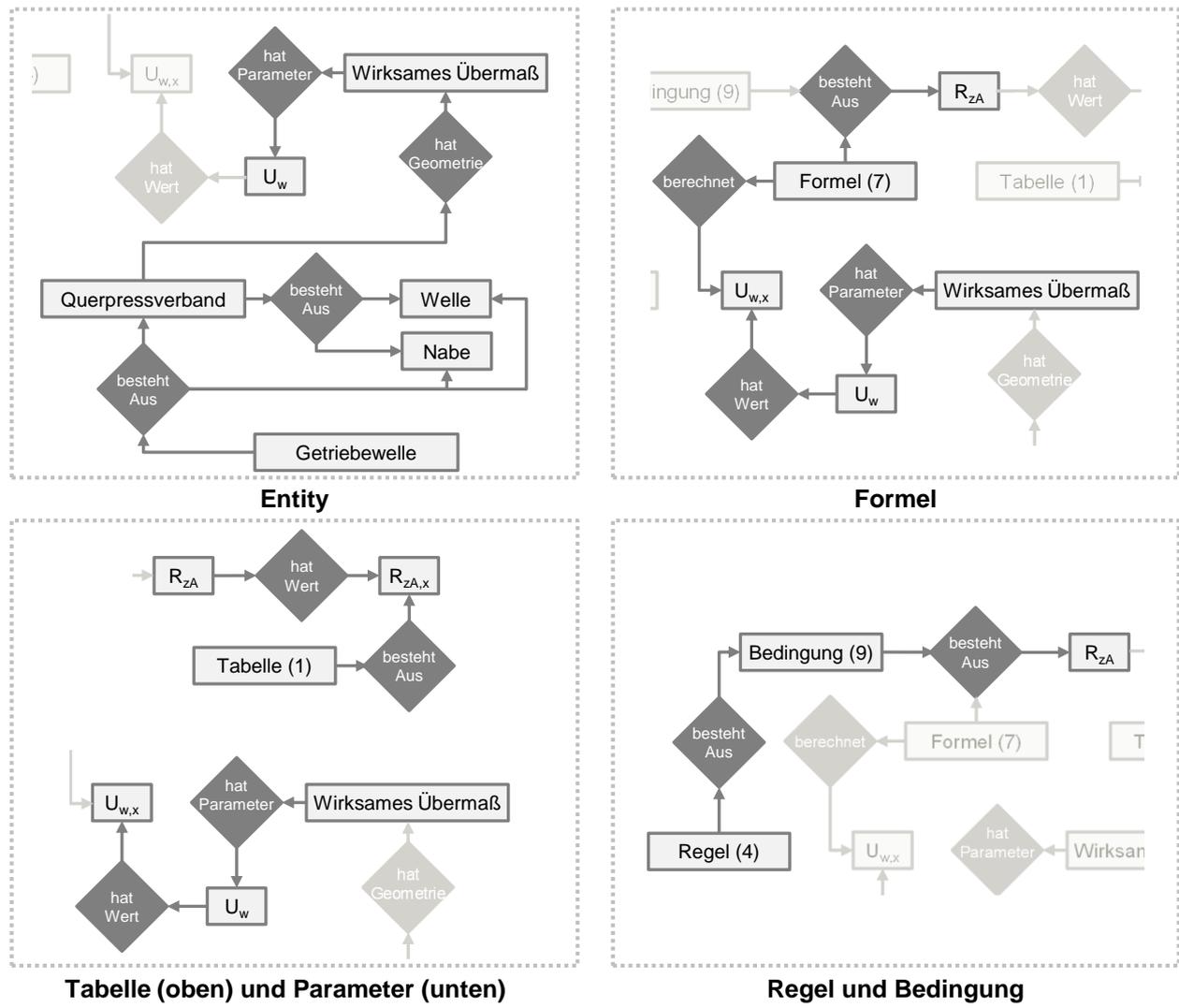


**Bild 6.24:** Semantisches Netz am Beispiel des Querpressverbands

Dieser prinzipielle Aufbau richtet sich ebenfalls nach den erläuterten Grundlagen und definiert einen Bauplan für das semantische Netz einer Wissensdomäne. Darin sind die sechs Wissensformen (Regel, Formel etc.) zu finden, die für die Wissensrepräsentation notwendig sind. Es wird zudem festgelegt, wie bspw. Bauteile und Verbindungen in den Kontext einer Baugruppe eingeordnet werden. Dies stellt die Grundlage für die Meta-Modelle dar, welche für die Anbindung eines CAD-Systems an das ProKon-System benötigt werden. Implizit erfolgt eine Festlegung der Kantentypen, damit der Wissensingenieur bei der Modellierung des semantischen Netzes aus den vorhandenen Relationen auswählen kann. Dies stellt eine Standardisierung sicher. Der Grobentwurf wird nach Büsch [BÜSCH13, S. 56] ausmodelliert und abschließend überprüft.

Bild 6.25 greift das Beispiel aus der Wissensidentifikation auf, indem die Wissens Elemente bzgl. des wirksamen Übermaßes unter Berücksichtigung der sechs Wissensformen dargestellt werden.

Die Sichten der einzelnen Wissensformen leiten sich aus dem gesamten semantischen Netz für den Querpressverband ab, wobei die Umgebung transparent dargestellt ist. Wie Bild 6.25 zeigt, ist der prinzipielle Aufbau des semantischen Netzes aus Bild A.7.1 beachtet worden. Da es sich bei dem unten stehenden Bild jedoch um eine Instanzierung des prinzipiellen Aufbaus handelt, sind die Kantentypen konkretisiert worden (z. B. „Bauteil *hat* Geometrie *hat* Parameter“ in Bild A.7.1 → „Welle *hat* Geometrie Wirksames Übermaß *hat* Parameter  $U_w$ “ in Bild 6.25). Dies ist bei den „hat“-Relationen notwendig.



**Bild 6.25:** Darstellung der sechs Wissensformen im semantischen Netz

### 6.4.6 Wissensrepräsentation

Der Schritt der Wissensrepräsentation bildet den Abschluss des Vorgehens zur Erarbeitung des Wissensmodells. Das Wissen aus der Wissensdatenbank, das mithilfe des semantischen Netzes analysiert wurde, wird semi-formal modelliert. Die anschließende Operationalisierung auf der Symbolebene greift die Ergebnisse auf und setzt das ProKon-System rechnerisch um.

Zunächst ist eine handhabbare, verständliche und übersichtliche Methode zur Aufbereitung von Konstruktionswissen zu identifizieren. Diese Methode muss es ermöglichen, Wissen auf der Abstraktionsebene der Wissensdatenbank (z. B. in Fließtext) und auf einer konkreteren Ebene abzubilden. Als Vorlage wurden die ICARE forms nach Stokes [STOKES01] ausgewählt. Diese wurden für die vorliegende Arbeit abgewandelt, um den

sechs benötigen Wissensformen zu entsprechen. Das Ergebnis stellen die ProKon-knowledge forms (PKF) dar [KRATZER11C, S. 187 f.].

Aufgrund der Komplexität der Konstruktion als Wissensdomäne und der damit einhergehenden Vielzahl an PKF, tragen die PKF nicht alleine dazu bei, dass sich Wissens- und Softwareingenieure in der Wissensdomäne zurechtfinden. Angelehnt an das semantische Netz aus der Wissensanalyse ist eine weitere Methode zu identifizieren, die die PKF in Beziehung setzt. Dieses Beziehungsnetz zwischen PKF muss sich vom Konkretisierungsgrad des semantischen Netzes unterscheiden, da der Modellierungsaufwand gering zu halten ist. Das Beziehungsnetz muss zulassen, dass die PKF unter Berücksichtigung der Struktur der Wissensbasis verbunden werden. Beispielsweise dürfen Oberregeln nur mit Regeln verbunden werden. Innerhalb dieser Arbeit wurde für diesen Zweck die Wissensverteilung als Beziehungsnetz erarbeitet. Etwas Vergleichbares konnte im Stand der Forschung nicht identifiziert werden. [KRATZER12C, S. 1500]

Letztlich sind die einzelnen Wissens Elemente, die mit PKF repräsentiert wurden, Agenten zuzuweisen. Dies ist als Vorschlag für den Softwareingenieur verstehen, der auf der Symbolebene operiert. Die Methode muss sich nach den Rollenbeschreibungen und nach der anfänglichen Zuweisung der Wissenstypen zu den Agentenrollen in der Wissensstruktur richten. Die Aufbereitung muss übersichtlich sein, damit Softwareingenieure damit umgehen können. Da hierfür keine Methode identifiziert werden konnte, ist mit der Wissen-Rollen-Struktur eine eigene entwickelt worden.

Im Folgenden werden alle drei Methoden (ProKon-Knowledge forms, Wissensverteilung und Wissen-Rollen-Struktur) vorgestellt.

### **ProKon-Knowledge forms**

Die in der Wissenserhebung erhobenen Wissens Elemente sind semi-formal abzubilden. Die semi-formale Modellierung stellt das Wissen mit einer codeartigen Beschreibung („Pseudocode“) dar, sodass der Inhalt sowohl von Softwareingenieuren als auch von Wissensingenieuren verstanden wird.

Beispielsweise ist die folgende, informal dargestellte Regel aus dem Bereich des Querpressverbands im Folgenden semi-formal zu repräsentieren:

Weist die Oberfläche einer über einen Querpressverband mit einer Welle verbundenen Nabe, deren Innendurchmesser kleiner als 500 mm ist, einen arithmetischen Mittenrauwert von 1,6 µm auf, ist der Querpressverband funktionsgerecht.

(6.4)

Bei der semi-formalen Abbildung der informalen Regel (6.4) sind die Grundlagen der Wissensbasis aus Abschnitt 3.3 zu berücksichtigen, indem zwischen einer Bedingung und Schlussfolgerung zu unterscheiden ist. Es ist dabei zudem die Aufteilung einer informalen Regel in eine Regel und in eine Oberregel auf der semi-formalen Ebene zu beachten. Aus diesem Grund wird zunächst die Regel auf der semi-formalen Ebene in den Ausdrücken (6.5) und (6.6) dargestellt. Ausdruck (6.5) stellt die Vorbedingung dar, wobei in Ausdruck (6.6) die Schlussfolgerungen zu finden ist.

$$D_{i\_A} < 500 \text{ mm AND } Ra_{i\_A} = 1.6 * 10^{-3} \text{ mm} \quad (6.5)$$

$$\text{Regel } 6.5 = \text{TRUE} \quad (6.6)$$

Zur vollständigen Abbildung der informalen Regel (6.4) ist mit den Ausdrücken (6.7) und (6.8) die Oberregel dargestellt. Ausdruck (6.7) stellt die Vorbedingung dar. Ausdruck (6.8) repräsentiert die Schlussfolgerung.

$$\text{Regel } 6.5 = \text{TRUE} \quad (6.7)$$

$$\text{Querpressverband} = \text{funktionsgerecht} \quad (6.8)$$

Unter Beachtung der Struktur der Wissensbasis ist eine losgelöste Betrachtung der oben genannten Ausdrücke für die Regel und die Oberregel nicht möglich, da die formale Integration des Wissens in die Wissensbasis durch den Softwareingenieur zu zeitaufwendig wäre. Dieser müsste händisch nach Verbindungen zu anderen Wissensenselementen suchen, die ebenfalls integriert werden müssen. Der semi-formalen Beschreibung ist somit stets eine Information mitzugeben, mit welchen anderen Wissensenselementen bspw. die oben genannte Regel verbunden ist. Dies wäre in diesem Fall eine Tabelle, die den Wert für den arithmetischen Mittenrauwert beinhaltet. Generell ist der semi-formale Inhalt in einen erweiterten Kontext zu setzen, der für den Integrationsprozess wichtige Informationen enthält.

Diesen erweiterten Kontext bieten die ICARE forms nach Stokes [STOKES01, S. 99 ff.], die weiterentwickelt wurden. Ein ICARE form ist eine handliche Wissenskarte, die den zentralen semi-formalen Inhalt aufführt. Dieser zentrale Inhalt wird durch weitere Informationen ergänzt, wie z. B. die Verbindung zu anderen Wissenskarten.

Stokes [STOKES01, S. 99 ff.] entwickelte ICARE forms für die Wissensformen Abbildung, Zwangsbedingung, Aktivität, Regel und Entity. Diese Wissensformen reichten bei dem dort vorliegenden Anwendungsfall für die Wissensrepräsentation im Bereich der Produktentwicklung aus. Für die Abbildung des Konstruktionswissens in der vorliegenden Arbeit werden jedoch die Wissensformen Regel, Bedingung, Formel, Tabelle, Parame-

ter und Entity benötigt [KRATZER12C, S. 1502]. Bild 6.26 stellt ein Beispiel für ein Regel-PKF innerhalb der Wissensdomäne Querpressverband dar, wobei das obige Beispiel aufgegriffen wird. In Anhang A.9 sind weitere PKF zu finden.

ProKon-Knowledge form: Regel	
Name	Arithmetische Mittenrauwerte bei kleinen Nabeninnendurchmessern - Regel
Referenz	R_QPV_17
Informale Beschreibung	Wenn der Innendurchmesser der Nabe kleiner als 500 mm ist und die Innenfläche der Nabe einen $R_a$ von 1,6 $\mu\text{m}$ aufweist, dann ist die Regel erfüllt.
Domäne	Querpressverband
Semi-formale Beschreibung	IF $D_{i\_A} < 500 \text{ mm}$ AND $R_{a\_i\_A} = 1.6 * 10^{-3} \text{ mm}$ , THEN Regel = TRUE
Quelle	DIN 7190, S. 15
Relationen	R_QPV_12, B_QPV_20, B_QPV_21
Ersteller	Kratzer (Version 0.3) vom 15.08.2013

**Bild 6.26:** Regel-PKF für die Analyse von Rauheitswerten

Das PKF unterteilt sich generell in eine Bezeichnungsspalte (siehe Bild 6.26, links) und in eine Wertspalte (rechts). Wie Bild 6.26 zeigt, sind acht Bezeichnungen zur eindeutigen Identifikation des PKF und für die Aufführung des Inhalts notwendig. Die Bezeichnungen der Angabe des Namens, der informalen Beschreibung, der Quelle, der Relationen und des Erstellers stammen von Stokes [STOKES01, S. 129 ff.]. Die restlichen Bezeichnungen sind innerhalb der vorliegenden Arbeit entstanden. Dies stellt eine Weiterentwicklung der ICARE forms dar. Die folgende Aufzählung beschreibt die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Bezeichnungen kurz.

- **Name:** Der Name enthält den größeren Zusammenhang des PKF innerhalb der Wissensdomäne (wird bei der Wissensverteilung „Sachverhalt“ genannt) und die PKF-Art.
- **Referenz:** Die Referenz kennzeichnet die eigene Identität des vorliegenden PKF mit der in Bild 6.26 abgebildeten Syntax. Zunächst ist die Kurzform der PKF-Art zu finden (z. B. R = Regel), die durch die Abkürzung der Wissensdomäne (z. B. QPV) und durch eine fortlaufende Nummerierung innerhalb der PKF-Art ergänzt wird (z. B. 17).

- **Informale Beschreibung:** Die informale Beschreibung fasst das Wissensselement aus der Wissensdatenbank, ergänzt durch Angaben aus dem semantischen Netz, zusammen. An dieser Stelle können auch weitergehende Informationen zu dem PKF untergebracht werden.
- **Domäne:** Hierbei ist die Wissensdomäne gemeint (z. B. Querpressverband), die mit der Bezeichnung der Wissensdatenbank übereinstimmt.
- **Semi-formale Beschreibung:** Die informale Beschreibung ist in diesem Feld in eine codeartige Beschreibung („Pseudocode“) zu überführen. Dieses Feld stellt den eigentlichen Inhalt des PKF dar.
- **Quelle:** Dieses Feld bezeichnet den Wissensort, aus dem das Wissensselement innerhalb der Wissenserhebung erhoben wurde.
- **Relationen:** Die Relationen führen die Verbindungen des PKF mit anderen auf. Diese Angabe dient später zur Erarbeitung der Wissensverteilung und ist für den Softwareingenieur eine wichtige Orientierungshilfe.
- **Ersteller:** An dieser Stelle werden organisatorische Informationen, wie Name des Erstellers, Version und letztes Bearbeitungsdatum hinterlegt.

Der Erstellungsprozess eines PKF sieht vor, dass Wissensselemente aus der Wissensdatenbank, die durch das semantische Netz analysiert worden sind, als Grundlage verwendet werden. Auf Basis einer Vorlage, die für jede PKF-Art existiert, ist das Wissensselement in das PKF zu überführen. Die durch die Wissensanalyse erlangte Kenntnis über die Wissensdomäne wird anschließend verwendet, um Verbindungen zwischen PKF zu identifizieren.

Unter Berücksichtigung des prinzipiellen Aufbaus der Wissensbasis (siehe Bild 3.10 in Abschnitt 3.3), gelten beim Verbinden der einzelnen PKF Vorgaben und Restriktionen. Parameter-PKF können mit Entity-, Tabellen-, Bedingungs- und mit Formel-PKF verbunden werden. Formel-, Tabellen- und Entity-PKF besitzen keine weiteren Verbindungen. Das Bedingungs-PKF muss weiterhin zwingend mit mindestens einem Regel-PKF verbunden sein, welches wiederum zwingend mit einem einzigen Oberregel-PKF in Verbindung stehen muss. Zwischen einem Tabellen-PKF und einem Bedingungs-PKF sowie zwischen einem Formel-PKF und einem Bedingungs-PKF ist die Angabe einer rein informativen Verbindung zweckmäßig. Zudem besteht zwischen einem Formel-PKF und einem anderen Formel-PKF eine informative Verbindung. Diese Verbindungen entsprechen zwar nicht der Struktur der Wissensbasis, helfen jedoch dem Wissensingenieur beim Modellieren und Verstehen der Wissensdomäne. Eine

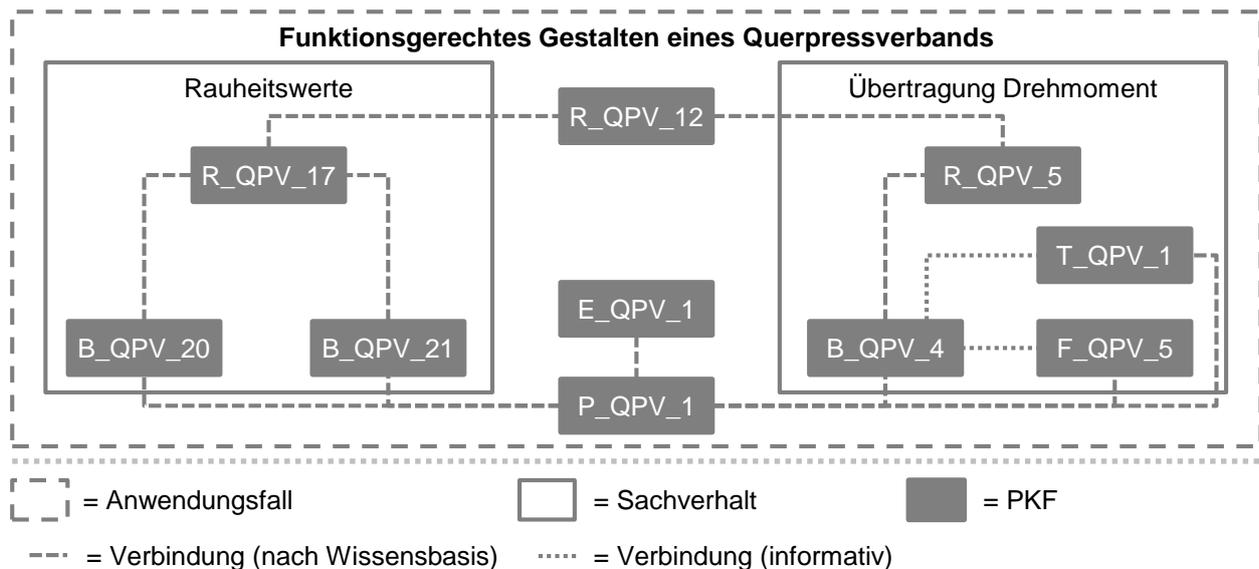
informative Verbindung wird im PKF mit einer Klammer um das verbundene PKF dargestellt. Ein Beispiel hierfür ist „(F\_QPV\_5)“ (nicht in Bild 6.26 dargestellt).

### **Wissensverteilung**

Die Wissensverteilung setzt die modellierten PKF innerhalb einer Wissensdomäne in Beziehung, damit der Wissens- und der Softwareingenieur das PKF in einen größeren Zusammenhang der Wissensdomäne einordnen kann. Die Grundlage hierfür liefern die Beschreibungen Referenz und Relationen innerhalb der einzelnen PKF, wie Bild 6.26 beispielhaft zeigt. Um die anschließende Erstellung der Wissen-Rollen-Struktur zu vereinfachen, sind Gruppierungen zu erzeugen, die ähnliche PKF zusammenfassen.

Auf oberster Ebene existieren Anwendungsfälle, die alle PKF einer Wissensdomäne bzgl. einer DfX- oder DtX-Richtlinie gruppieren. Ein Anwendungsfall beschreibt bspw. die Analyse eines Querpressverbands unter Beachtung der Funktionsgerechtigkeit. Als wichtigstes PKF fungiert eine Oberregel innerhalb eines Anwendungsfalls. Direkt einem Anwendungsfall sind Entity- und Parameter-PKF zugewiesen (siehe Bild 6.27). Das Parameter-PKF kommt darin ein einziges Mal vor. Die verbleibenden PKF-Arten sind Sachverhalten zugeordnet. Beispielsweise gliedert sich unter dem oben genannten Anwendungsfall der Sachverhalt zur Analyse eines Querpressverbands unter Beachtung der Rauheitswerte (siehe Bild 6.27). Die Regel ist innerhalb von Sachverhalten das zentrale Element, das mit der Oberregel des Anwendungsfalls verbunden ist. In einem Sachverhalt können Regeln, Bedingungen, Formeln und Tabellen vorkommen. [KRATZER12C, S. 1501]

Bild 6.27 führt die definierte Struktur der Wissensverteilung am Beispiel des Querpressverbands auf. Darin sind innerhalb des Anwendungsfalls mit der Analyse der Rauheitswerte und des zu übertragenden Drehmoments zwei Sachverhalte exemplarisch aufgeführt. Im Sachverhalt der Rauheitswerte ist die Regel R\_QPV\_17 aus Bild 6.26 dargestellt. Die bei der Beschreibung der PKF eingeführte informative Verbindung zwischen PKF ist in Bild 6.27 zweifach dargestellt. Die Bedingung B\_QPV\_4 vergleicht das übertragbare mit dem zu übertragenden Drehmoment ( $T_{ist} > T_{soll}$ ). Das übertragbare Drehmoment  $T_{ist}$  wird über die Formel in F\_QPV\_5 berechnet. Die Verbindung ist zwar logisch, folgt jedoch nicht der Struktur der Wissensbasis. Gleich verhält es sich mit der Tabelle T\_QPV\_1, die das zu übertragende Drehmoment  $T_{soll}$  beinhaltet.



**Bild 6.27:** Struktur der Wissensverteilung am Beispiel des Querpressverbands

Die Anwendungsfälle und Sachverhalte wurden mithilfe des CPM-Ansatzes (Characteristics Properties Modelling) nach Weber [WEBER07] methodisch hergeleitet. Der Ansatz führt die Verbindungsmodalitäten der PKF auf, die für die vorliegende Arbeit angepasst wurden [KRATZER12C, S. 1502]. Diesbezüglich wird für weitere Informationen auf Kratzer et al. [KRATZER12C, S. 1500 ff.] verwiesen. Sie beschreiben letztlich ein umfangreicheres Beispiel [KRATZER12C, S. 1503].

### Wissen-Rollen-Struktur

Insgesamt existieren zwei unterschiedliche Möglichkeiten, Informationen und Wissen innerhalb von Agentensystemen zu speichern, die sich nach dem untersuchten Stand der Forschung richten. Es ist zu beachten, dass Agentensysteme funktionieren, sofern die darin enthaltenen Agenten auf eine lokale Wissensbasis und auf eine oder mehrere zentrale Wissensbasen zugreifen können. Die folgende Aufzählung zeigt die für das ProKon-System relevanten Wissensbasen.

- **Lokale Wissensbasis:** Jeder Fach- und Aspektagent greift auf Wissen innerhalb einer eigenen Wissensbasis zu, das ihn zur Erfüllung seiner Funktion befähigt.
- **Zentrale Wissensbasis (Datenbank):** Für Daten, die nicht innerhalb einer lokalen Wissensbasis gespeichert werden sollen, damit auch andere Agenten ohne Anfrage auf diese zugreifen können, ist eine zentrale Wissensbasis notwendig. In diesem konkreten Fall stellt diese eine Datenbank dar. Die Datenbank beinhaltet bspw. Werkstoffdaten oder die nach einer Norm zugelassenen Bauteilspezifikationen (z. B. normgerechte Abmaße einer Passfeder).

- **Zentrale Wissensbasis (Ontologie):** Zur Sicherstellung der Kommunikation der Agenten untereinander ist eine Ontologie zu realisieren. Diese wurde im ProKon-Projekt mit dem frei verfügbaren Werkzeug Protegé erstellt.

Aufgrund der Vielzahl an möglichen Wissensbasen, die sich nach der Anzahl der Agenten richtet, ist für den Softwareingenieur eine Zuordnungsmethode zu erarbeiten. Dies stellt die Wissen-Rollen-Struktur sicher, indem PKF zu Agenten und damit zu den Wissensbasen zugeordnet werden. Softwareingenieure können damit das Wissen aus den PKF in die richtige Wissensbasis integrieren.

Zunächst ist zu klären, was eine Zuordnung ist. Dementsprechend kann eine Zuordnung als die Integration von Objekten in Gruppen aufgrund gleicher Eigenschaften verstanden werden. Übertragen auf die vorliegende Arbeit stellen die PKF die Objekte in der Definition dar. Die Agentenrollen entsprechend den Gruppen. Die Eigenschaften, die über die Zuordnung entscheiden, werden Zuordnungskriterien genannt.

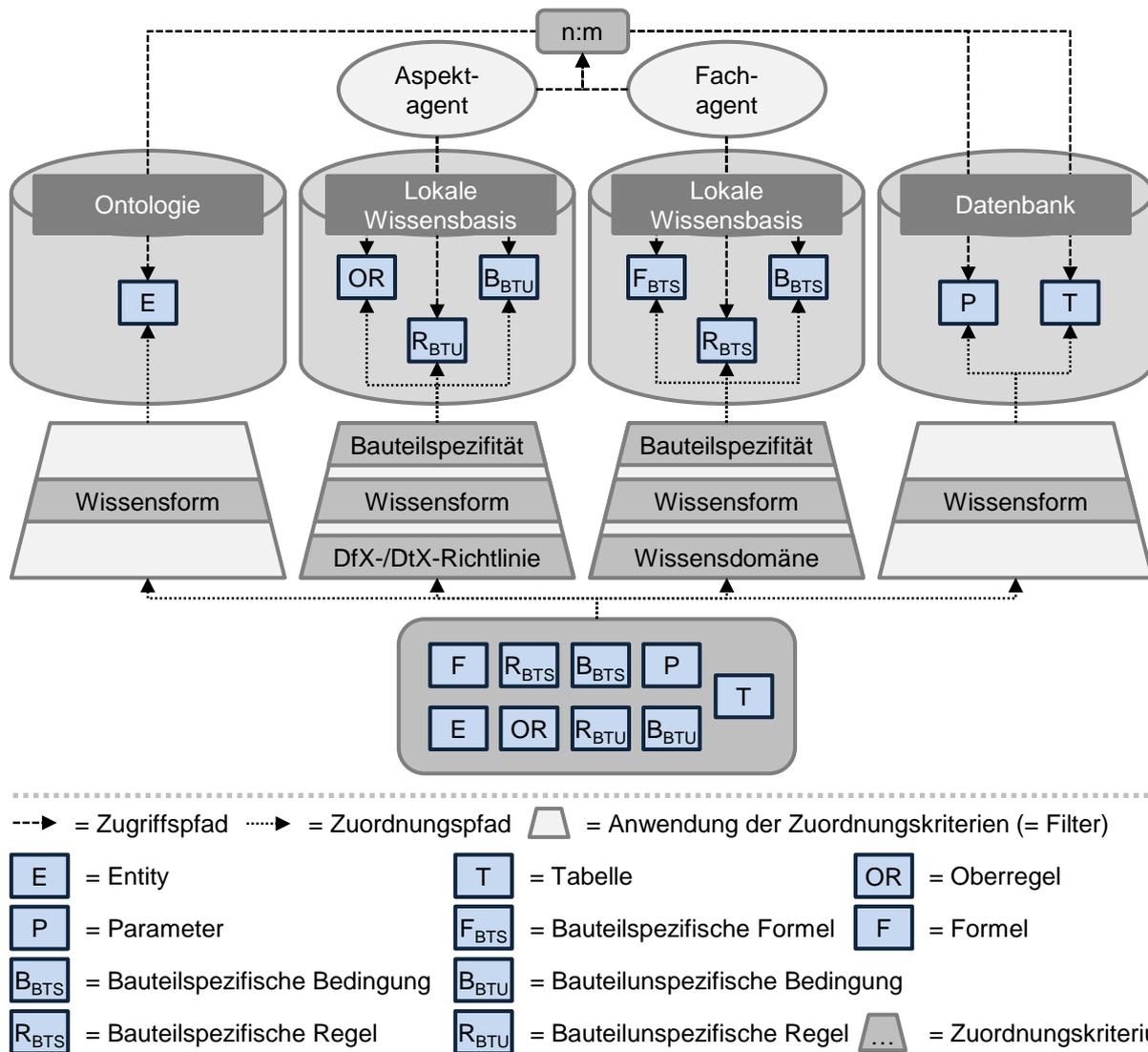
Mithilfe einer Literaturrecherche wurde das von Lang [LANG08] und Wagner [WAGNER08] implizit verwendete Zuordnungskriterium „Wissensdomäne“ identifiziert. Dies bringt die bekannten Meta-Wissenstypen (z. B. Zielwissen) mit den Agentenrollen in Verbindung, wie dies bereits rudimentär bei der Wissensstrukturierung erfolgte.

Der Ansatz bzgl. der Wissen-Rollen-Struktur geht darüber hinaus. Bei der Analyse der, zeitlich gesehen, ersten Wissensbasis im ProKon-Projekt, bei der die vorgestellte Vorgehensweise noch nicht angewendet wurde, konnten mit der PKF-Art (d. h. mit der Wissensform), mit der Bauteilspezifität, mit der DfX-/DtX-Richtlinie und mit der Wissensdomäne vier Zuordnungskriterien identifiziert werden.

Diese Zuordnung entsprach im ProKon-Projekt der Arbeitsweise der Softwareingenieure, die dabei dem Rollengedanken aus der agentenorientierten Softwareentwicklung folgten. Aufgrund der Überdeckung mit den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche, werden diese vier Zuordnungskriterien in der vorliegenden Arbeit für die Wissen-Rollen-Struktur verwendet.

Letztlich muss zwischen Fachagent und Aspektagent unterschieden werden. Fachagenten sind unabhängig von einer DfX-/DtX-Richtlinie. Für diesen Agententyp gelten somit die Wissensdomäne, die Wissensform und die Bauteilspezifität als Zuordnungskriterien. Für die domänenunabhängigen Aspektagenten sind die Wissensform, die Bauteilspezifität und die DfX-/DtX-Richtlinie relevant. Für die notwendige Ontologie und für die Datenbank gilt nur das Zuordnungskriterium Wissensform. Mithilfe der Zuordnungskrite-

rien werden den Fachagenten bauteilspezifische Regeln, Bedingungen und Formeln zugewiesen (siehe Bild 6.28).

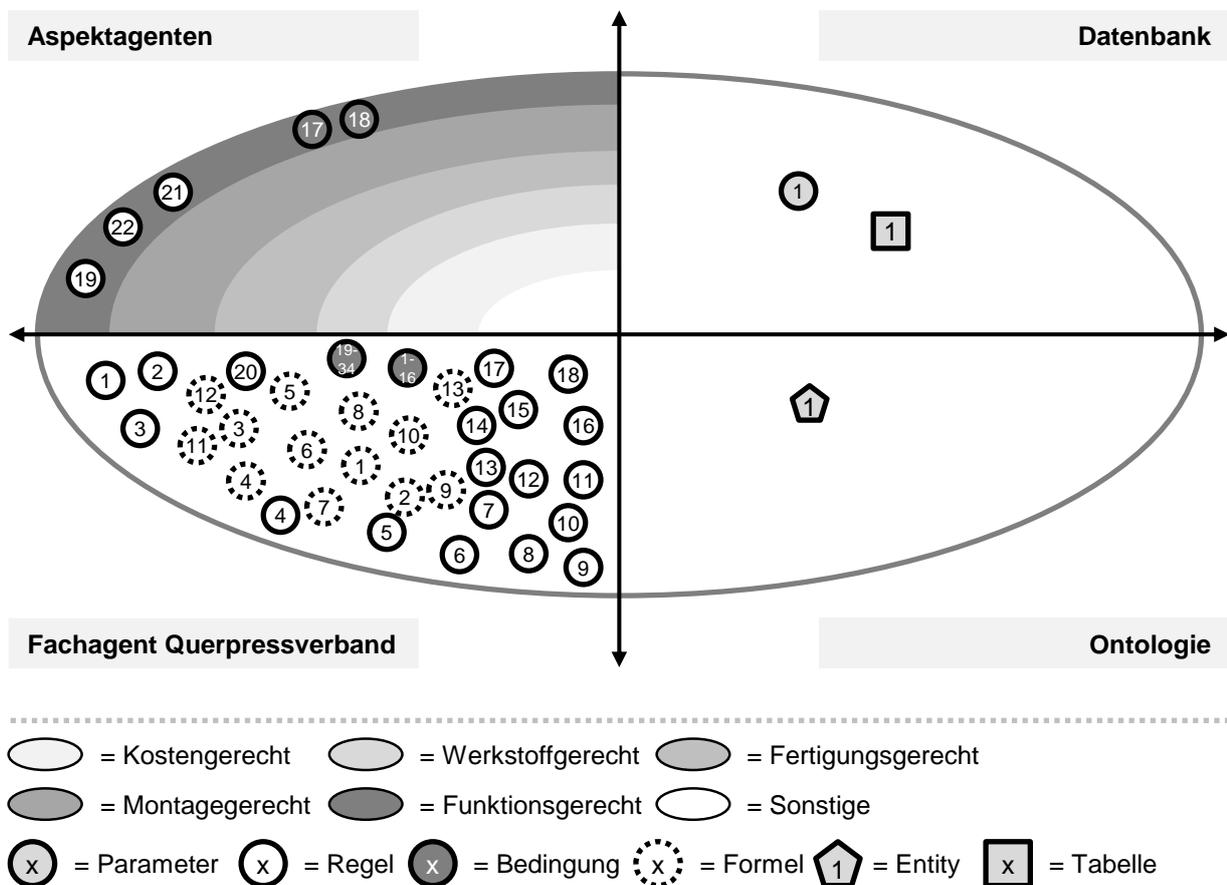


**Bild 6.28:** Anwendung der Zuordnungskriterien auf die Agententypen

Die Aspektagenten greifen zur Laufzeit auf Oberregeln zu. Zudem sind ihnen Regeln und Bedingungen zuzuweisen, die als bauteilunspezifisch beschrieben werden können. Damit sind bspw. Regeln gemeint, die nicht nur auf die Welle, sondern auch auf die Nabe angewendet werden können. Zum Beispiel kann dies eine Regel sein, die das zulässige mit dem aktuellen Gewicht eines Bauteils vergleicht. Für eine ausgeglichene Auslastung der Aspektagenten sind die bauteilunspezifischen Regeln und Bedingungen gleichmäßig den Aspektagenten zuzuweisen. Die Datenbank beinhaltet die Wissensformen Tabelle und Parameter. Die Wissensform Entity bildet die Ontologie.

Bild 6.29 zeigt die Wissen-Rollen-Struktur am Beispiel der gesamten Wissensdomäne des Querpressverbands. Insgesamt wurden bei der Wissenserhebung im Bereich des

Querpressverbands 72 Wissens-elemente erhoben, die in PKF umgewandelt wurden. Die Wissen-Rollen-Struktur stellt ein Portfolio dar, das vier Quadranten umfasst.



**Bild 6.29:** Aufbau der Wissen-Rollen-Struktur am Beispiel des Querpressverbands

Der obere linke Quadrant in Bild 6.29 beinhaltet die PKF für die Aspektagenten. Die unterschiedlichen Aspekte werden durch Schalen dargestellt, wobei die in der Legende dargestellte Grauschattierung zu beachten ist. In diesem exemplarischen Fall aus dem ProKon-Projekt wird der Querpressverband nur unter Beachtung der Funktion und der Anforderungen analysiert, da die frei verfügbaren Normen und Standardwerke weitere Gestaltungsrichtlinien nicht beinhalteten.

Die Anforderungen entsprechen hier keinem Aspektagenten, da diese implizit in allen anderen Aspektagenten mit berücksichtigt werden. Zudem werden die Anforderungen in einer Tabelle gespeichert, da sie ebenso aus einer Parameter-Wert-Paarung bestehen. Der untere linke Quadrant beinhaltet die PKF für den Fachagenten des Querpressverbands. Dieser greift auf die meisten PKF in Form von Regeln, Bedingungen und Formeln zu. Es wurde ein Entity-PKF erstellt, das mit in die Ontologie einfließt und implizit das Meta-Modell für den Querpressverband definiert (rechter unterer Quadrant).

Das Tabellen-PKF ergibt mit dem Parameter-PKF die Datenbank innerhalb der Wissensdomäne (rechter oberer Quadrant).

### **Übergabe der Dokumente**

Die Ergebnisse aus dem Vorgehen zur Erarbeitung des Wissensmodells stellen die PKF-Sammlungen, die Wissensverteilungen und die Wissen-Rollen-Strukturen für die unterschiedlichen Fachdomänen dar. Der Wissensingenieur hat damit das richtige Wissen, in der richtigen Form, den richtigen Agenten zugewiesen. Durch die durchgehende Nummerierung der Wissens Elemente aller drei Dokumentenarten ist eine Transparenz und Durchgängigkeit sichergestellt. Die Wissensdomäne ist für eine rechnerische Formalisierung des Wissens ausreichend beschrieben. Alle drei Sammlungen an Dokumenten sind an die Softwareingenieure zu übergeben.

## **7 Validierung und Verifizierung des Lösungsansatzes**

Die Evaluation der Vorgehensweise zur Unterstützung von Wissensingenieuren besteht aus der Validierung und Verifikation. Die Validierung hat die Aufgabe, den in Kapitel 6 vorgestellten Lösungsansatz auf die Eignung bezüglich des ursprünglich geplanten Einsatzzwecks zu überprüfen. Dem gegenüber soll die Verifikation des Lösungsansatzes sicherstellen, dass die Vorgehensweise die an sie in Abschnitt 4.3.1 gestellten Anforderungen erfüllt. Es wird zunächst die Evaluationssystematik vorgestellt (siehe Abschnitt 7.1). Ergebnis ist eine Evaluationsmatrix, die die Evaluationsszenarien aufführt. Anschließend werden innerhalb von fünf Szenarien die Ergebnisse der Evaluation des Lösungsansatzes beschrieben (Abschnitte 7.2 bis 7.5). Die Ergebnisse werden in Abschnitt 7.6 zusammengefasst.

### **7.1 Vorstellung der Evaluationssystematik**

Es wird die Evaluationssystematik der Design Research Methodology (DRM) nach Blessing und Chakrabarti [BLESSING09, S. 181 ff.] verwendet, die im Folgenden kurz vorgestellt wird. Dies gewährleistet die Anwendung einer in der Konstruktion und Produktentwicklung anerkannten Methodik, die nach einer definierten Vorgehensweise gesicherte Evaluationsergebnisse produziert. Unterteilt wird die Evaluation nach der DRM in die „Application Evaluation“ und die „Success Evaluation“. Die „Application Evaluation“ fokussiert die Untersuchung der Anwendbarkeit und soll zudem einen ersten Hinweis auf die Nützlichkeit geben. Die „Success Evaluation“ dient zum Nachweis der Nützlichkeit und des Erfolgs. [BLESSING09, S. 184 f.]

Die in beiden Evaluationstypen verwendeten Schlüsselfaktoren stellen die Faktoren dar, die unmittelbar durch die eigene Lösung beeinflusst werden sollen (siehe Bild 7.1, unten). Sie repräsentieren die wichtigsten Anforderungen. Die Erfolgsfaktoren sind indirekt beeinflussbar und stehen an der Spitze der Ursache-Wirkungskette (siehe Bild 7.1, oben). Diese repräsentieren meist das „Magische Dreieck“ der Produktentwicklung. Deren Beeinflussung durch die eigene Lösung ist normalerweise nicht messbar. Aus diesem Grund existieren zwischen den Schlüsselfaktoren und den Erfolgsfaktoren, die messbaren Erfolgsfaktoren (siehe Bild 7.1, mitte). Diese bilden Indikatoren für die Erfolgsfaktoren, sodass deren Bestimmung indirekt möglich ist. [BLESSING09, S. 57]

Innerhalb der Application Evaluation existieren drei Fragestellungen zur Analyse der Schlüsselfaktoren und der Anwendbarkeit [BLESSING09, S. 184]:

- Konnte die Vorgehensweise verwendet werden? (A)
- Wurden die vorhergesagten Schlüsselfaktoren durch die Vorgehensweise beeinflusst? (B)
- Wurden die Schlüsselfaktoren so wie vorhergesagt durch die Vorgehensweise beeinflusst? (C)

Es existieren drei weitere Fragestellungen für die Analyse der messbaren Erfolgsfaktoren innerhalb der Success Evaluation [BLESSING09, S. 185]:

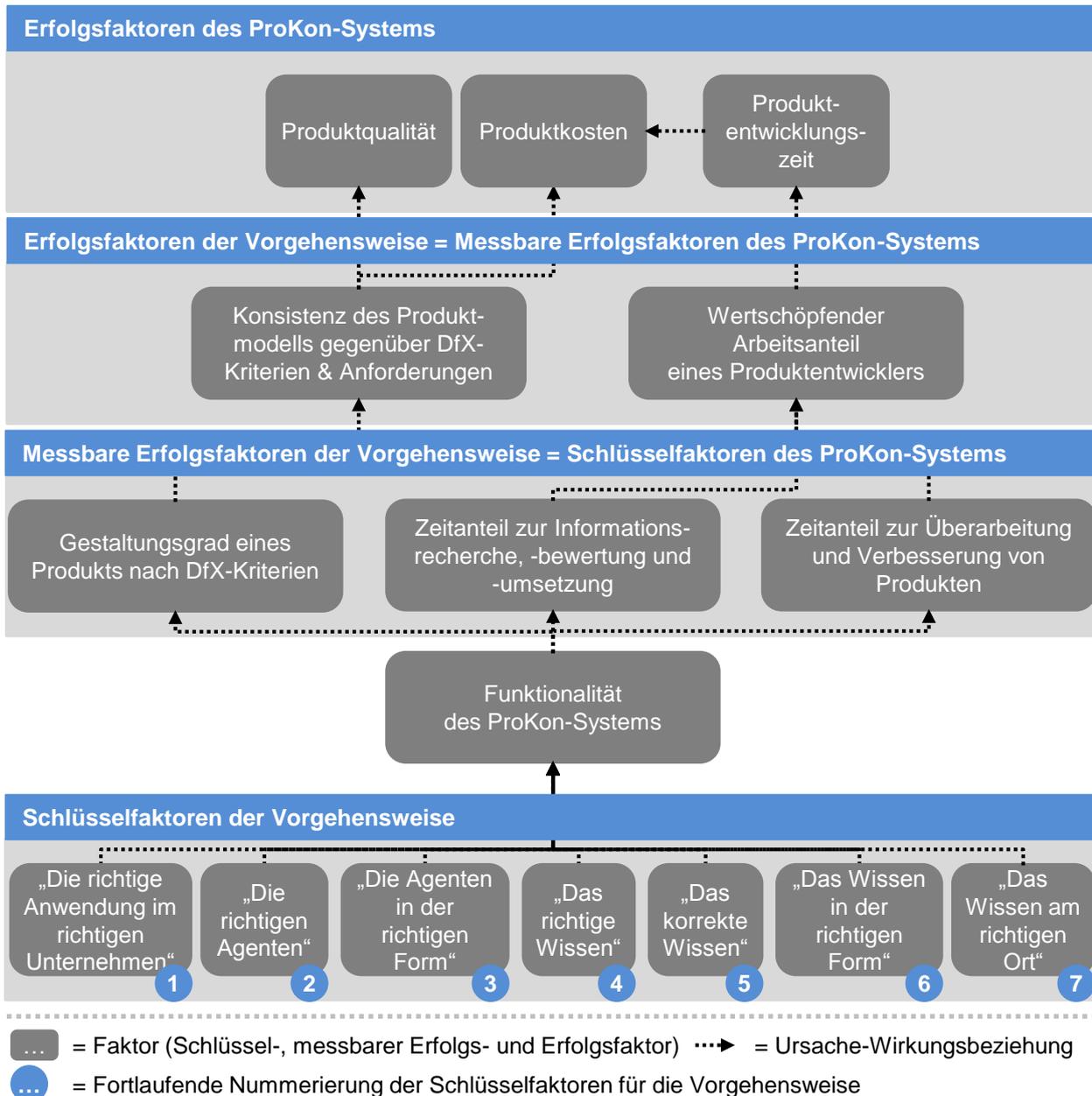
- Wurden die messbaren Erfolgsfaktoren so wie vorhergesagt durch die Vorgehensweise beeinflusst? (D)
- Wurde durch die Vorgehensweise die gewünschte Situation erzielt? (E)
- Wurden die Erfolgsfaktoren durch die Vorgehensweise dementsprechend beeinflusst wie vorhergesagt? (F)

Die Schlüsselfaktoren, messbaren Erfolgsfaktoren und Erfolgsfaktoren sind für die Vorgehensweise in der vorliegenden Arbeit zu konkretisieren. Einen grafischen Überblick darüber bietet das für diese Arbeit aufgestellte „Impact Model“ in Bild 7.1. Es stellt eine Methode innerhalb der DRM dar, die Schlüsselfaktoren, messbare Erfolgsfaktoren und Erfolgsfaktoren in einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang stellt.

Wie Bild 7.1 zeigt, stellt die eigene Vorgehensweise eine Vorbedingung für die Funktionalität des anwendungsspezifischen ProKon-Systems dar. Wurde bspw. durch einen Wissensingenieur mithilfe der Vorgehensweise ein Wissensmodell erarbeitet, das das richtige Wissen repräsentiert (siehe Schlüsselfaktor 4 in Bild 7.1), ist das anwendungsspezifische ProKon-System funktionaler, als wenn nicht das richtige Wissen repräsentiert worden wäre. Durch eine erhöhte Funktionalität des ProKon-Systems stellt sich u. a. ein höherer „Gestaltungsgrad“ eines Produkts nach DfX-Kriterien ein. Dies stellt einen messbaren Erfolgsfaktor dar.

Insgesamt beeinflusst die Vorgehensweise sieben Schlüsselfaktoren. Der linke Faktor in der untersten Reihe in Bild 7.1 stellt den Schlüsselfaktor für das Organisationsmodell dar (1). Die beiden folgenden Schlüsselfaktoren betreffen das Agentenmodell (2 und 3). Letztlich beeinflusst das Vorgehen zur Erarbeitung eines Wissensmodells die rechten vier Faktoren (4 bis 7). Alle Schlüsselfaktoren der Vorgehensweise werden u. a. durch die Qualität der formalen Wissensintegration durch den Softwareingenieur beeinflusst. Wie stark dieser Faktor das Ergebnis beeinflusst, kann nicht erfasst werden.

Bild 7.1 zeigt zudem, dass die Schlüsselfaktoren für das ProKon-System gleichzeitig den messbaren Erfolgsfaktoren der Vorgehensweise entsprechen. Hieraus ist abzuleiten, dass mit der Bestimmung der Schlüsselfaktoren des ProKon-Systems bei dessen Evaluation in der industriellen Praxis Rückschlüsse auf die messbaren Erfolgsfaktoren der vorliegenden Arbeit gezogen werden können.



**Bild 7.1:** Vereinfachte Darstellung des Impact Model für die vorliegende Arbeit

In der vorliegenden Arbeit ist es das Ziel der Evaluation, die Fragestellungen A bis F umfassend zu beantworten. Da sich die Fragestellungen B und C auf alle in Bild 7.1 dargestellten Schlüsselfaktoren anwenden lassen, ist das Aufstellen einer Evaluationsmatrix zweckmäßig. Diese zeigt Tabelle 7.1. Dabei werden die Schlüssel-

faktoren, wie bereits erläutert, den Modellen zugewiesen. Die Beantwortung von Fragestellung A bzgl. der Verwendbarkeit der Vorgehensweise ist zudem modellspezifisch zu beantworten, da eine durchgängige Untersuchung innerhalb der vorliegenden Arbeit nicht möglich war. Die Fragestellungen D und E sind aufgrund ihrer Zugehörigkeit zur Success Evaluation übergreifender Art und dementsprechend modellunabhängig (siehe Bild 7.1). Sie werden zur besseren Übersicht dennoch in Tabelle 7.1 aufgeführt. Fragestellung F bzgl. der Erfolgsfaktoren kann innerhalb der vorliegenden Evaluation nicht beantwortet werden. Dies würde voraussetzen, dass mit Hilfe des ProKon-Systems ein Konstruktionsprozess für ein Produkt unterstützt wird, welches anschließend mit einem Vorgängerprodukt hinsichtlich der Faktoren des Magischen Dreiecks (siehe Bild 7.1, oben) verglichen werden kann.

Das Evaluationsszenario (siehe bspw. Evaluationsszenario S II-1 in Tabelle 7.1) beschreibt im Rahmen einer Methode, wie eine Fragestellung beantwortet werden kann. Es werden zudem die Evaluationsbedingungen, wie z. B. Probandenanzahl und -typisierung, definiert. Die Beschreibung der Evaluationsszenarien mit der Methode und den Evaluationsbedingungen findet jeweils am Anfang der folgenden Abschnitte statt.

Modell	Application Evaluation					Success Evaluation		
	A	B		C		D	E	F
Organisationsmodell	S II-1	S I	S II-2	S I	S II-2			
Agentenmodell	S III-1	S I	S III-2	S I	S III-2	S V	S V	
Wissensmodell	S IV-1	S I	S IV-2 bis -5	S I	S IV-2 bis -5	S V	S V	

S = Szenario  = In der vorliegenden Arbeit nicht evaluierbar A, B, ... = Fragestellungen

**Tabelle 7.1:** Resultierende Evaluationsmatrix zur Übersicht über die Evaluation

Generell ist die Evaluation in vier Teile untergliedert. Der wichtigste Teil besteht aus der Evaluation des im ProKon-Projekt entwickelten anwendungsspezifischen ProKon-Systems. Für diese Entwicklung wurden das Agentenmodell und das Wissensmodell ganzheitlich erarbeitet. Wie Tabelle 7.1 mit Szenario S V zeigt, können durch die Beantwortung der Fragestellungen D und E die Schlüsselfaktoren des ProKon-Systems und damit die messbaren Erfolgsfaktoren für die vorliegende Arbeit auf deren Beeinflussung untersucht werden. Indirekt kann so nachgewiesen werden, dass die Schlüsselfaktoren der eigenen Vorgehensweise positiv beeinflusst wurden.

Die Fragestellungen B und C werden durch mehrere Evaluationsszenarien beantwortet, wie Tabelle 7.1 zeigt. Ziel ist es, die Beeinflussung der Schlüsselfaktoren direkt zu bestimmen. Unter anderem trägt Evaluationsszenario S I dazu bei, indem Fachexperten die Vorgehensweise vorgestellt wird. Daneben existiert für jedes Modell ein eigenes Evaluationsszenario zur Beantwortung der Fragestellungen B und C. Der Schlüsselfaktor des Organisationsmodells (siehe 1 in Bild 7.1) konnte innerhalb der Evaluation im ProKon-Projekt nicht auf dessen Beeinflussung durch die Vorgehensweise überprüft werden, da es sich beim ProKon-Projekt um ein Grundlagenforschungsprojekt ohne aktive Industriebeteiligung handelte (siehe schraffiertes Feld in der ersten Zeile von Tabelle 7.1). Aus diesem Grund ist das Organisationsmodell innerhalb einer separaten Evaluation zu überprüfen, wie Tabelle 7.1 mit Szenario S II-2 zeigt. Zur Bestimmung, ob die Vorgehensweise die Schlüsselfaktoren des Agenten- und Wissensmodells beeinflusst, sind die Evaluationsszenarien S III-2 und S IV-2 bis -5 notwendig.

Letztlich kann die Fragestellung A bzgl. der Anwendbarkeit der vorliegenden Vorgehensweise durch die Evaluationsszenarien S II-1, S III-1 und S IV-1 beantwortet werden. Die Vorgehensweise wird darin exemplarisch von Probanden durchgeführt.

Im Folgenden werden die Evaluationsszenarien und die daraus entstandenen Ergebnisse nach deren numerischen Auftreten in Tabelle 7.1 beschrieben.

## **7.2 Evaluation der Vorgehensweise in Fachexpertengesprächen**

Die Evaluation der Vorgehensweise in Gesprächen mit Fachexperten lässt sich in Szenario S I aus Tabelle 7.1 einordnen. Ziel war es mittels der Fragestellungen B und C herauszufinden, ob die Fachexperten der Meinung sind, dass die Vorgehensweise die Schlüsselfaktoren positiv beeinflusst. Zudem wurden die Fachexperten nach der Anwendbarkeit der eigenen Vorgehensweise befragt.

Die Vorgehensweise bestehend aus Organisations-, Agenten- und Wissensmodell wurde sechs Fachexperten aus fünf Unternehmen vorgestellt. Dies waren neben der Daimler AG, die ems Engineering & Management Services GmbH, die Blum AG, die :em AG und die Hella KGaA Hueck & Co. Die Fachexperten stammten aus den Bereichen KBE (Beratung, Systementwicklung, Variantenkonstruktion und Template-basierte Konstruktion), PLM-Prozesse und -Methoden sowie aus der Prozessberatung. Zudem wurde die Vorgehensweise einem Fachexperten aus der agentenorientierten Softwareentwicklung vorgestellt. Da die Fachexperten aus unterschiedlichen Bereichen stammen, konnte ein breites Meinungsspektrum erfasst werden.

Den Fachexperten wurde sechs Wochen vor der Befragung eine Tischvorlage zur Verfügung gestellt, die die wichtigsten Inhalte der Vorgehensweise umfasste. Dazu wurden ein Fragenkatalog und Definitionen der wichtigsten Begriffe mitgeschickt. Jeder Termin umfasste die Präsentation und ein anschließendes Interview. Innerhalb der Präsentation wurde jedes Modell vorgestellt, wobei Beispiele und Dokumente (z. B. eine PKF-Sammlung der Wissensdomäne Querpressverband) diese ergänzten. Die Präsentation basierte auf der Tischvorlage, damit ein Wiedererkennungswert entstand. Die Fachexperten durften während der Präsentation Fragen stellen. Nach der Präsentation erfolgte die Durchführung eines standardisierten Interviews anhand von 14 Fragen, die in Tabelle A.10.1 (siehe Anhang A.10) aufgeführt werden. Die Interviewfragen und der mitgeschickte Fragenkatalog deckten sich, wobei aufgrund der fachlichen Ausrichtung der Experten nicht immer alle Fragen beantwortet werden konnten. Die beantworteten Fragen wurden anschließend zu Protokollen verarbeitet, welche in den Anhängen A.11 bis A.16 zu finden sind. Im Weiteren werden die Ergebnisse zusammengefasst.

Die Fachexperten attestierten eine grundsätzliche Notwendigkeit für die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems, wobei hierfür eine Vorgehensweise benötigt wird. Die Vorgehensweise stellt eine schrittweise Beschreibung dar, die in sich schlüssig und stringent ist sowie einem logischen Aufbau folgt. Aus Sicht der Fachexperten ist die Vorgehensweise anwendbar, da sie alle wesentlichen Aspekte abdeckt. Aufgrund des Umfangs ist sie noch zu abstrakt gehalten. Einzelne Methoden, wie bspw. die Wissensidentifikation, bedürfen einer weiteren Konkretisierung. Die Anwendung der Vorgehensweise wird als sehr aufwendig eingeschätzt. Der Stand der Forschung wurde umfassend berücksichtigt. Die Vorgehensweise stellt jedoch keine „echte Revolution“ dar. Letztlich wäre ein modularer Aufbau für die Reduzierung des Aufwands geeigneter gewesen.

Der Ansatz zur Erarbeitung des Organisationsmodells wurde als (sehr) gut und systematisch eingeschätzt, in dem alle Aspekte bedacht wurden. Es unterstützt die Entscheidungsfindung. Als positiv wurde empfunden, dass dabei dem Entscheider der notwendige Handlungsspielraum zugestanden wird. Es soll ein Grundgefühl für den Einsatz des ProKon-Systems in der Anwendung erzeugt werden. Die Erarbeitung wird als aufwendig eingeschätzt. Einige Kriterien sind zu detaillieren und zu quantifizieren (z. B. Return on Invest). Bei der Unternehmensanalyse wäre es möglich, zunächst das Produkt zu analysieren, um sich dann mit dem Konstruktionsprozess zu befassen.

Der Ansatz zur Erarbeitung des Agentenmodells wird als gut beschrieben, der für die Identifikation der richtigen Agenten geeignet ist. Das Modell beinhaltet alle relevanten Aspekte. Die darin enthaltene Methode ist verständlich und handhabbar. Der Ansatz zur Erarbeitung des Agentenmodells wird als alternativlos dargestellt, da im Stand der Forschung kein ähnlicher zu finden ist. Aus Sicht eines Ingenieurs wurde bezweifelt, dass das Vorgehen zur Identifikation der anwendungsspezifischen Agenten überhaupt notwendig ist, da der Aufbau von Produkten leicht ersichtlich ist. Es wurde angezweifelt, ob mit dem Ansatz komplexe Produkte analysiert werden können.

Die Fachexperten attestierten dem Vorgehen zur Erarbeitung des Wissensmodells eine Nützlichkeit, in dem Sinne, dass das richtige Wissen, in der richtigen Form, den richtigen Agenten zugewiesen wird. Die Schritte sind in sich schlüssig. Das Vorgehen zur Erarbeitung des Wissensmodells ist durchgängig beschrieben worden. Das Prinzip der Kompetenz wurde als zweckmäßig erachtet. Die Tatsache, dass durch die Erarbeitung des Wissensmodells eine Wissenssicherung erreicht wird, wurde als sehr positiv aufgefasst. Besonders die Methoden zur Erstellung der ProKon-knowledge forms und der Wissensverteilung stieß bei den Fachexperten auf den meisten Zuspruch. Nachteilig wirkt sich der Aufwand aus, der bei der Erarbeitung des Wissensmodells als (sehr) hoch eingeschätzt wurde. Die Wissensmodellierung sollte zudem eine gewisse Nachvollziehbarkeit bieten. Darunter ist die transparente Verbindung zwischen den am Anfang identifizierten Wissenstypen und den letztlich den Agenten zugewiesenen Wissensselementen gemeint.

### **7.3 Evaluation der Organisationsmodellierung**

Das Szenario II ist in zwei Teile untergliedert. Zunächst wird die Evaluation des Vorgehens innerhalb der Unternehmensanalyse und des Kriteriensets beschrieben (siehe Abschnitt 7.3.1 und S II-1). Weiterhin erfolgt die Anwendbarkeitsuntersuchung im industriellen Umfeld, wobei das Organisationsmodell aufgrund des komplexen Kriteriensets nicht von Dritten erarbeitet wurde. Es ist eine erste Einschätzung über die Beeinflussung der Schlüsselfaktoren möglich, indem Anhaltspunkte aus der Literatur verwendet werden (siehe Abschnitt 7.3.2 und S II-2).

#### **7.3.1 Vorbereitende Evaluation**

Die Überprüfung der Unternehmensanalyse hinsichtlich Anwendbarkeit und Nützlichkeit legt den Grundstein für die Evaluation des Vorgehens zur Erarbeitung des Organisationsmodells. Es wurden fünf Produktentwickler aus der akademischen For-

schung gebeten, die Vorgehensweise und das Kriterienset innerhalb der Unternehmensanalyse zu untersuchen. Zwei der Probanden besitzen ein tieferes Verständnis für Bewertungen im Umfeld der Produktentwicklung. Alle erhielten zu Anfang eine papierbasierte Einführung in die Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems. Ergänzt wurde die Einführung durch einen Fragenkatalog sowie durch das Kriterienset mit Erfolgsmerkmalen und Fragestellungen. Es sollte von den Probanden identifiziert werden, ob die Schlüsselfaktoren durch die Erarbeitung des Organisationsmodells korrekt beeinflusst werden. Zudem wurden die Evaluationskriterien Vollständigkeit, Redundanzfreiheit, Widerspruchsfreiheit und Verständlichkeit bzgl. der Vorgehensweise und bzgl. des Kriteriensets überprüft. Der dabei verwendete Fragenkatalog besteht aus 13 Fragen, die in Tabelle A.10.2 in Anhang A.10 aufgeführt werden.

Der Vorgehensweise in der Unternehmensanalyse wurde grundsätzlich eine Nachvollziehbarkeit, Vollständigkeit, Redundanz- und Widerspruchsfreiheit attestiert (Fragen 1 bis 4). Bei der Analyse der Nachvollziehbarkeit fiel auf, dass einige Schritte (z. B. „Auswahl eines Prozesses“) nicht selbsterklärend sind und einer weiteren Beschreibung bedürfen. Obwohl die Redundanz- und Widerspruchsfreiheit generell gegeben ist, kann diese im Detail aufgrund der Thematik nicht immer gewährleistet sein.

Das Kriterienset wurde als vollständig, widerspruchs- und redundanzfrei eingeschätzt (Fragen 5 bis 7). Teilweise wurde eine geringfügige Überschneidung zwischen Kriterien identifiziert (Kriterien 13 und 24 sowie Kriterien 20 und 21). Innerhalb der Charakterisierung der Konstrukteure wurden zu wenige Aspekte des menschlichen Verhaltens berücksichtigt (z. B. Motivation, Widerstand, Beharren, Boykott), die einen Mehrwert liefern könnten.

Die Produktentwickler stufte die Kriterien als in sich vollständig, widerspruchs- und redundanzfrei ein (Fragen 8 bis 11). Für die Anwendung der Kriterien 4, 5, 19, 20, 21, 30 und 31 fehlen weiterführende Hintergrundinformationen. Speziell Kriterium 4, das die Typisierung des Entscheiders beinhaltet, fehlt es an Nachvollziehbarkeit.

Letztlich attestierten die befragten Produktentwickler dem Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells die gewünschte Wirkung (Fragen 12 und 13). Die systematische Analyse der Organisation erzeugt ein detailliertes Bild. Dadurch wird die Einschätzbarkeit von Unternehmen hinsichtlich der Einsetzbarkeit des ProKon-Systems positiv beeinflusst. Es liegt eine größere Datenbasis vor, sodass besonders unerfahrene Wissensingenieure profitieren.

### **7.3.2 Evaluation der Anwendbarkeit und Nützlichkeit**

Die Anwendbarkeit des Vorgehens zur Erarbeitung des Organisationsmodells wurde anhand eines Workshops mit einem Unternehmen aus der industriellen Praxis untersucht (siehe Szenario S II-1 in Tabelle 7.1). Zudem konnten erste Rückschlüsse auf die Beeinflussung des Schlüsselfaktors gezogen werden. Da neben dem Verfasser der vorliegenden Arbeit ein weiterer Produktentwickler die Leitung des Workshops übernahm, bestehen die Evaluationsergebnisse in diesem Szenario nicht nur aus eigenen Aussagen. Bei dem Unternehmen handelt es sich um ein mittelständisches Maschinenbauunternehmen, welches sich mit der Beschlagtechnologie für Fenster und Türen beschäftigt. Anwesend waren dabei der Leiter der Vorentwicklung, ein Teamleiter aus der Konstruktion und ein Systemkonstrukteur.

Das Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells wurde für den Workshop durch einen Leitfadens detailliert. Dieser konnte gut zur Vorbereitung des Workshops verwendet werden. Es wurden Handkarten erarbeitet, die eine strukturierte Führung der Teilnehmer ermöglichten. Diese stellten eine schnelle und zielgerichtete Informationsbasis dar. Nach der Problem- und Zielanalyse wurde ein Konstruktionsprozess ausgesucht, den die anwesenden Teilnehmer des Workshops im Detail kannten. Es kamen daher nicht die Kriterien zur Identifikation eines wissensintensiven und komplexen Geschäftsprozesses zum Einsatz.

Auf dieser Basis erfolgte die Modellierung der Prozess- und der Aktivitätssicht. Das wesentliche Problem offenbarte sich in der Auswahl des Schritts, der mittels Aktivitätssicht analysiert werden sollte. Das Unternehmen verfügte bei der Aktivitätssicht über keine fertige Prozessbeschreibung, die als Grundlage verwendet werden konnte. Die Aktivitätssicht wurde während des Workshops nicht strikt nach der KMDL modelliert, da dies sonst zu Verwirrung bei den Teilnehmern geführt hätte.

Im Nachgang wurden dem Systemkonstrukteur Prozesssicht und Aktivitätssicht mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse des Workshops zugesendet. In einer Iterationsschleife wurden die Prozessmodelle überarbeitet. Die anschließende Analyse der Aktivitätssicht wurde durch den Verfasser der vorliegenden Arbeit anhand des Analyseleitfadens durchgeführt. Das Führen von Interviews mithilfe des Interviewleitfadens war aus zeitlichen Gründen bei dem betreffenden Unternehmen nicht möglich. Es konnten die Kriterien 4, 12 bis 20, 23, 27 und 29 bis 31 beantwortet werden. Von den 15 analysierten Kriterien wurden 10 mit „Ja“ und 5 mit „Nein“ beantwortet. Alle analysierten

K.-o.-Kriterien wurden erfüllt. Eine Aussage, ob das ProKon-System einsetzbar ist, kann dennoch aufgrund der zu kleinen Datenbasis nicht getroffen werden.

Aus eigener Sicht ist die Unternehmensanalyse unter Beachtung der analysierten Kriterien anwendbar. Einige Schritte (z. B. Auswahl eines Prozesses) bedürfen einer weiteren Detaillierung und Operationalisierung. Die Handkarten sind zu verbessern. Mithilfe des eigenen Hintergrundwissens konnten die oben genannten Kriterien gut beantwortet werden. Unter Beachtung der Kritik aus der vorbereitenden Evaluation sind diese jedoch weiter zu detaillieren, um Wissensingenieure zu unterstützen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse durch Aussagen aus der Literatur eingeordnet. Durch das Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells wird innerhalb der Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems eine größere Datenbasis erarbeitet, die zwangsläufig zu einer größeren Entscheidungssicherheit führt. Dies ist als Hypothese zu verstehen, die durch die Fachexperten bestätigt werden konnte (siehe Abschnitt 7.2). Breiing [BREIING95, S. 34] sowie Rommelfänger und Eickemeier [ROMMELFÄNGER02, S. 8 f.] unterstützen die Hypothese, wobei ein weiterer Faktor betrachtet werden muss. Nicht nur die Größe der Datenbasis ist für die Entscheidungssicherheit ausschlaggebend. Die Unschärfe der vorliegenden Daten spielt eine weitere wichtige Rolle [BREIING95, S. 34; KERKA11, S. 131 f.]. Je unschärfer die Datenbasis ist, desto unsicherer wird die Entscheidung. Dieser Aspekt ist bei der Unternehmensanalyse zu berücksichtigen, da gerade dort eine Unschärfe in Form von nicht quantifizierbaren, „weichen“ Daten vorliegt. Unter Beachtung beider Faktoren ist eine zielgerichtete Aussage nicht trivial, ob die Erarbeitung des Organisationsmodells stets zu einer größeren Entscheidungssicherheit führt. Es gilt jedoch weiterhin der Grundsatz, dass allein das Beschäftigen mit einer „Materie“ über standardisierte Kriterien zu einer besseren Bewertung führt. Für das Erzeugen eines Grundgefühls ist das Organisationsmodell geeignet.

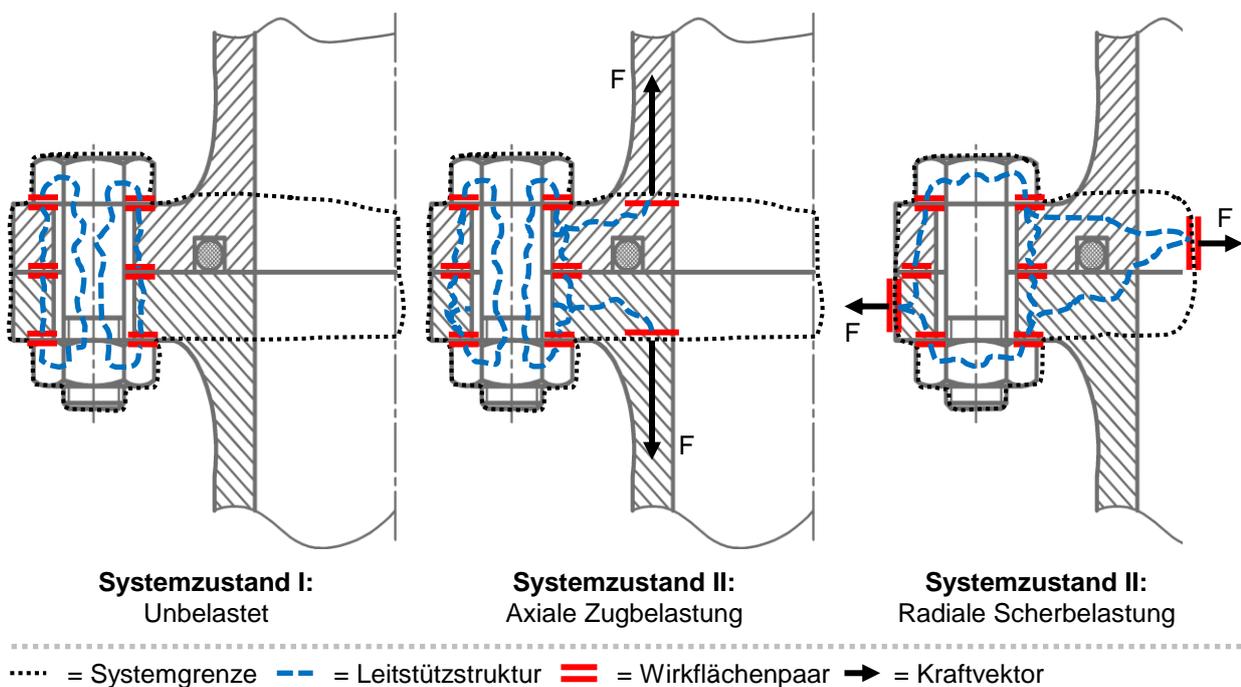
## **7.4 Evaluation der Agenten- und Wissensmodellierung**

Die Vorgehensweise zur Entwicklung eines agentenbasierten Konstruktionssystems konnte bisher nur durch den Verfasser der vorliegenden Arbeit im ProKon-Projekt prototypisch angewendet werden. Aus diesem Grund sind einzelne Bestandteile der Vorgehensweise durch Externe zu evaluieren. Dies betrifft das Agentenmodell (siehe Abschnitt 7.4.1) und das Wissensmodell (siehe Abschnitt 7.4.2).

### 7.4.1 Anwendung des Vorgehens zur Erarbeitung eines Agentenmodells

Das Vorgehen zur Erarbeitung eines Agentenmodells wurde innerhalb von Szenario S III-1 einer Anwendbarkeitsuntersuchung unterzogen. Die Erarbeitung eines Agentenmodells erfolgte durch drei studentische Hilfskräfte des IKTD, die sich aufgrund ihrer Tätigkeiten im ProKon-Projekt Kompetenzen im Wissensmanagement, in der Agentenmodellierung und in der Modellierung von Technischen Systemen aneigneten. Sie besitzen aufgrund ihres noch andauernden Studiums grundlegende Kenntnisse in der Auslegung und Berechnung von Schraubenverbindungen.

Ziel war es, eine Flanschverschraubung zu analysieren und die notwendigen Objekt- und Fachagenten zu identifizieren. Zu untersuchen waren drei Systemzustände. Diese zeigt Bild 7.2 unter Verwendung des C&C<sup>2</sup>-A. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist darin die Bezeichnung für die Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen nicht dargestellt.



**Bild 7.2:** Flanschverschraubung mit der Modellierung durch das C&C<sup>2</sup>-A

Die Probanden führten die Methode innerhalb des Agentenmodells am oben dargestellten Beispiel durch. Sie modellierten die unterschiedlichen Zustände und nutzten die bereinigte Tabelle 6.7 aus Abschnitt 6.3.4 als Hilfsmittel dazu, die richtigen Agenten zu identifizieren. Mithilfe eines standardisierten Fragebogens (siehe Tabelle A.10.3 in Anhang A.10) wurde erhoben, wie die Probanden die Vorgehensweise hinsichtlich deren Nachvollziehbarkeit, Verständlichkeit, Redundanz- und Widerspruchsfreiheit sowie deren Vollständigkeit bewerteten.

Alle Probanden beantworteten die genannten Evaluationskriterien positiv und identifizierten im Vergleich zur zuvor aufgestellten Beispiellösung die richtigen Agenten. Durch die Anwendung der Methode innerhalb des Agentenmodells ist die Erarbeitung von reproduzierbaren Ergebnissen möglich. Es konnte demgegenüber keine Aussage darüber getroffen werden, ob die Agenten die richtige Form aufweisen, um sie in der Phase der Operationalisierung formal im ProKon-System abzubilden. Dieser Aspekt konnte nicht unter Beachtung der wissenschaftlichen Ernsthaftigkeit durch die Probanden eingeschätzt werden. Jedoch erfolgte die Überprüfung dieses Aspekts indirekt durch den Einsatz der Vorgehensweise im ProKon-Projekt (siehe Abschnitt 7.5.5).

Übertragen auf die industrielle Praxis können mit der vorgestellten Vorgehensweise Wissensingenieure unterstützt werden, die zwar grundlegende Kenntnisse in einer Wissensdomäne besitzen, jedoch darin nicht als Experten gelten.

#### **7.4.2 Anwendung des Vorgehens zur Erarbeitung eines Wissensmodells**

Bei der evaluativen Anwendung des Vorgehens zur Erarbeitung eines Wissensmodells wurden vier Schritte herausgegriffen. Die Wissenserhebung wurde nicht betrachtet, da in der vorliegenden Arbeit hierfür keine Methode erarbeitet wurde. Die Bearbeitung der Schritte Wissensidentifikation, Wissensstrukturierung, Wissensanalyse und Wissensrepräsentation erfolgte durch studentische Hilfskräfte am IKTD (siehe Szenario S IV-1 in Tabelle 7.1). Bei den Schritten der Wissensidentifikation und Wissensstrukturierung konnte ein durchgängiges Beispiel vorgegeben werden. Bei den restlichen Schritten konnte dies nicht erreicht werden, da die Beispiele an den unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad angepasst werden mussten. Zur Bearbeitung stand ein Leitfaden zur Verfügung, der die Inhalte der vorliegenden Arbeit weiter detailliert. Die Probanden bekamen einen standardisierten Fragenkatalog ausgehändigt, mit dem die Evaluationskriterien Abgeschlossenheit, Widerspruchs- und Redundanzfreiheit, Verständlich- und Nachvollziehbarkeit sowie die Anwendbarkeit beurteilt werden sollten (siehe Tabelle A.10.4 in Anhang A.10). Fragen zu jedem Schritt ergänzten den Fragenkatalog.

Die Bewertung der Ergebnisse auf Nützlichkeit erfolgte nicht innerhalb dieses Evaluationszenarios, da das Wissensmodell ganzheitlich während des ProKon-Projekts erarbeitet wurde. Somit sind dort Aussagen über die Nützlichkeit möglich. Der Schwerpunkt innerhalb dieses Szenarios S IV-1 liegt auf der Anwendbarkeit der Schritte zur Erarbeitung des Wissensmodells.

### **Evaluation der Wissensidentifikation und Wissensstrukturierung**

Zunächst war es innerhalb der Wissensidentifikation die Aufgabe, konkrete Wissenstypen zu erarbeiten. Als Basis dienten zwei Konversionen aus der KMDL-Aktivitätssicht für die Auslegung und Gestaltung des Querpressverbands. Die Evaluation wurde von drei studentischen Hilfskräften am IKTD durchgeführt, die das ProKon-System kannten und in der Wissensmodellierung erweiterte Kenntnisse besaßen. Sie waren jedoch keine Experten in der Auslegung und Gestaltung von Querpressverbänden. Wie bereits bei der Evaluation des Agentenmodells wurde an dieser Stelle eine Probandengruppe ausgewählt, deren methodischen Kompetenzen höher einzuschätzen sind, als die in der entsprechenden Fachdomäne.

Die Aufgabe war es, das für die Erhebung notwendige Wissen der Konversionen „Berechnung des übertragbaren Drehmoments  $T$ “ und „Gestaltung des Querpressverbands nach dessen Beanspruchung“ zu identifizieren. Alle drei Probanden kamen zu guten Ergebnissen, die der Beispiellösung gleichen. Die Evaluationskriterien wurden positiv beurteilt. Angemerkt wurde u. a., dass Grundkenntnisse in der Modellierung mit KMDL von Vorteil sind. Das Prinzip der Kompetenz und das Prinzip der Rolle wurden nach Meinung der Probanden adäquat umgesetzt.

### **Evaluation der Wissensanalyse**

Bei der Evaluation der Wissensanalyse zur Erstellung eines semantischen Netzes wird auf die Arbeit von Büsch [BÜSCH13] zurückgegriffen. Die Arbeit entstand unter Anleitung des Verfassers der vorliegenden Arbeit. Büsch [BÜSCH13, S. 71 ff.] analysierte mithilfe von zwei studentischen Hilfskräften am IKTD, inwiefern sie in der Lage sind, Wissensselemente aus einer Wissensdatenbank in ein semantisches Netz zu überführen. Beide bekamen unterschiedliche Wissensdomänen zugewiesen. Nach einer Einführung in die gesamte Vorgehensweise und in die Evaluationsmethode, erhielten sie die Wissensdatenbank, die Vorgehensweise zur Erstellung von semantischen Netzen und einen Fragenkatalog. Die Charakterisierung der Probanden kann aus der Arbeit von Büsch [BÜSCH13, S. 71 f.] entnommen werden.

Insgesamt erarbeitete Proband A mit maschinenbaulichem Hintergrund zufriedenstellende Ergebnisse [BÜSCH13, S. 79]. Besonders bei der Abbildung der Parameter gab es keine Probleme. Die Modellierung der restlichen Wissensformen stellte dem gegenüber eine größere Herausforderung dar. Er verwendete zudem eigens erdachte Relationen zur Verbindung von Objekten, da sonst für ihn das Aufstellen des semantischen Netzes nicht möglich gewesen wäre. [BÜSCH13, S. 73]

Für Proband B, der aus der Elektrotechnik stammt, war es schwierig, Ergebnisse zu produzieren. Er konnte zwar einen validen Grobentwurf aufstellen, die Anreicherung mit weiteren Wissensselementen war nicht möglich. [BÜSCH13, S. 78]

Für beide war die Vorgehensweise abgeschlossen, redundanz- und widerspruchsfrei [BÜSCH13, S. 75 f. und S. 77 f.].

### **Evaluation der Wissensrepräsentation**

Abschließend evaluierten drei Hilfskräfte am IKTD die Wissensrepräsentation am Beispiel des Querpressverbands. Aufgabe war es, fünf Wissensselemente von der Wissensdatenbank unter Zuhilfenahme des bereits erstellten semantischen Netzes in PKF zu überführen. Die PKF sollten anschließend mithilfe der Methode „Wissensverteilung“ angeordnet werden. Bei der abschließenden Zuordnung der PKF zu den Agenten wurde die Methode „Wissen-Rollen-Struktur“ verwendet. Die Probanden besaßen nach eigener Einschätzung Kompetenzen in der Wissensanalyse und in der Wissensmodellierung. Jedoch halten sie sich nicht für Experten in der Auslegung und Gestaltung von Querpressverbänden. Wie bei den vorangegangenen Evaluationen wurde diese Kompetenzverteilung ausgewählt, da so eine Vielzahl an Wissensingenieuren in der Praxis nachempfunden werden kann.

Ihnen wurde ein Leitfaden für die Durchführung ausgehändigt, der die Inhalte der Wissensrepräsentation aus der vorliegenden Arbeit detailliert. Mithilfe eines standardisierten Fragebogens (siehe Tabelle A.10.5 in Anhang A.10) wurden die Probanden gebeten, die Nachvollziehbarkeit, die Verständlichkeit, die Redundanz- und Widerspruchsfreiheit, die Vollständigkeit sowie die Anwendbarkeit der Vorgehensweise innerhalb der Wissensrepräsentation zu bewerten. Insgesamt wurden die Evaluationskriterien positiv bewertet. Besonders positiv herausgehoben wurde die Erstellung der PKF, die in der Wissensrepräsentation eine zentrale Stellung besitzen. Schwierigkeiten bereiteten den Probanden das Erstellen einer Wissen-Rollen-Struktur, da die sichere Zuweisung von Wissensselementen zu Agenten Erfahrung voraussetzt. Die erarbeiteten Lösungen wiesen jedoch eine große Übereinstimmung mit der Beispiellösung auf.

## **7.5 Evaluation des ProKon-Systems im ProKon-Projekt**

Beim ProKon-Projekt handelte es sich um ein öffentlich gefördertes Projekt. Der Einbeziehung von Unternehmen aus der industriellen Praxis waren Grenzen gesetzt. Zwar durften diese an einer Evaluation teilnehmen, jedoch war es nicht möglich, eine reale Anwendung mit dem ProKon-System zu unterstützen. Die fiktive Anwendung wird in

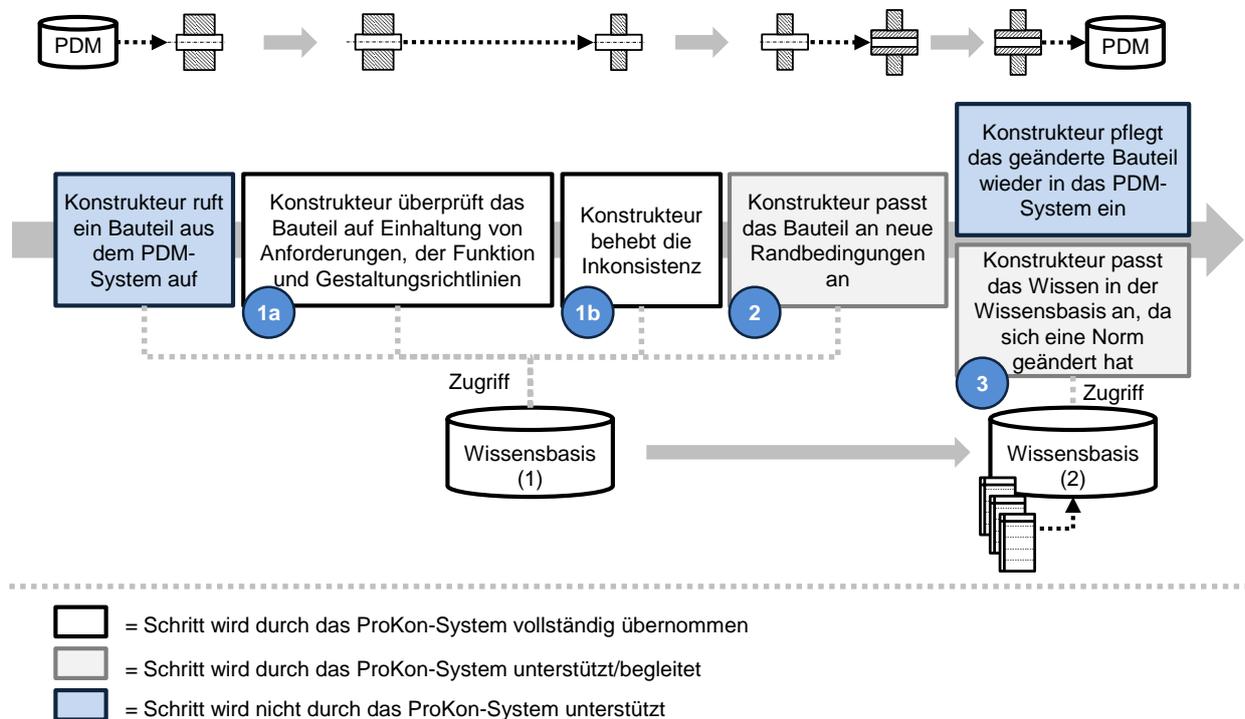
Abschnitt 7.5.1 beschrieben. Das Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells konnte bis auf einen Workshop nicht in der industriellen Praxis eingesetzt werden. Dementgegen war es möglich, das Agenten- und das Wissensmodell in vollem Umfang bei der Entwicklung eines ProKon-Systems für die Getriebewelle zu erarbeiten (siehe Abschnitt 7.5.2). Die Ergebnisse wurden von den Softwareingenieuren am IAS rechnerisch auf der Symbolebene operationalisiert. Es entstand ein Prototyp für eine fiktive Anwendung (siehe Abschnitt 7.5.3). Dieser wurde in der industriellen Praxis evaluiert. Die dabei erfassten Evaluationsergebnisse (siehe Abschnitt 7.5.4) können aufgrund der Anwendung der Vorgehensweise zur Erarbeitung des Agenten- und des Wissensmodells für die Evaluation der vorliegenden Arbeit verwendet werden (siehe Abschnitt 7.5.5).

### **7.5.1 Anwendungsszenario im ProKon-Projekt**

Innerhalb des ProKon-Projekts wurde ein Anwendungsszenario identifiziert, das einen realen Ablauf innerhalb einer Konstruktionsabteilung abbildet. Dies gewährleistet, dass das ProKon-System die notwendigen Funktionalitäten beinhaltet. Im nachfolgenden Bild 7.3 ist ein Konstruktionsprozess mit einzelnen Prozessschritten abgebildet.

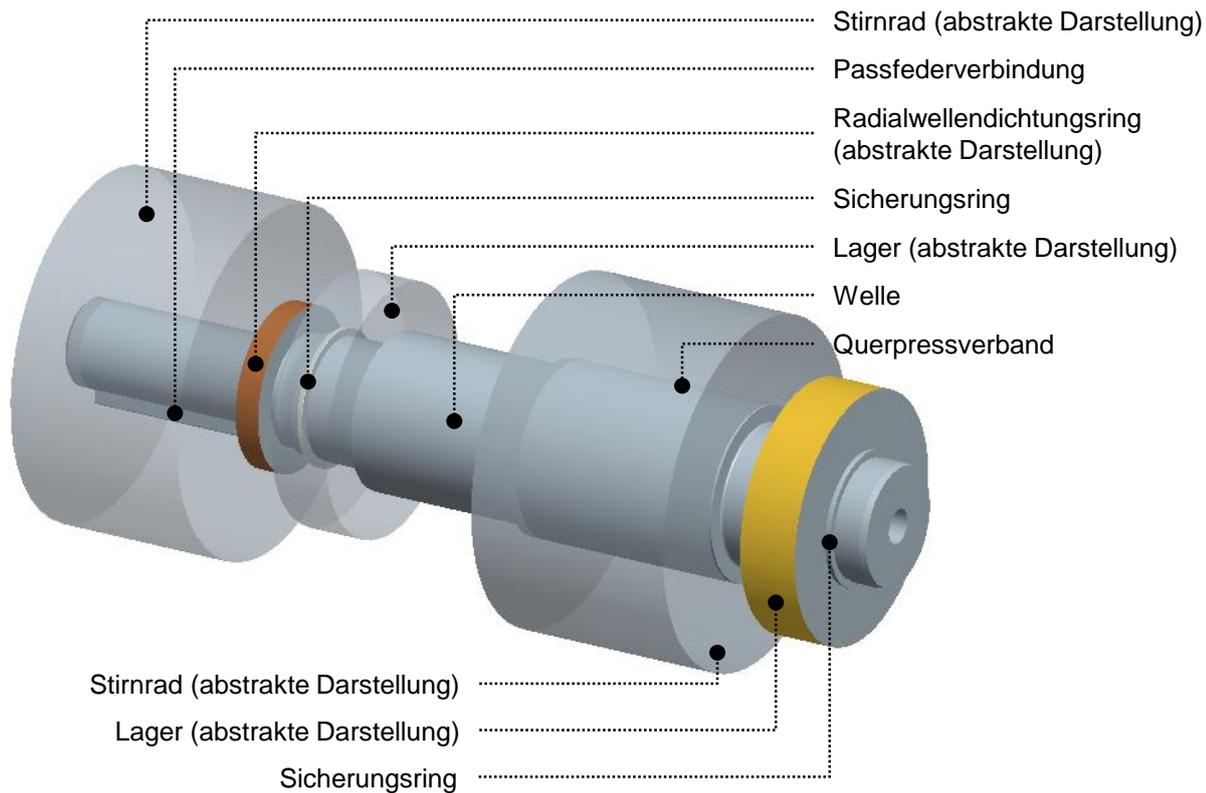
Nach dem „auschecken“ des Produktmodells aus dem PDM-System, ist es zunächst die Aufgabe des Konstrukteurs, dieses auf Einhaltung von Anforderungen, der Funktion und geltenden Gestaltungsrichtlinien zu überprüfen (siehe „1a“ in Bild 7.3). Sofern eine Inkonsistenz identifiziert wurde, ist diese in einem nächsten Schritt zu beheben (1b). Beide Schritte, die vollständig vom ProKon-System übernommen werden können, sind notwendig, damit der Konstrukteur mit einem fehlerfreien Produktmodell die eigentliche Konstrukteurstätigkeit aufnehmen kann. Auf Basis eines konsistenten Produktmodells ist es die Aufgabe des Konstrukteurs, dieses bspw. an neue Randbedingungen anzupassen (2). Dieser Schritt wird durch das ProKon-System unterstützt, indem der Konstrukteur auf die Missachtung von Anforderungen, der Funktion sowie geltenden Gestaltungsrichtlinien hingewiesen wird und diese vom ProKon-System behoben werden. Dementsprechend beinhaltet Schritt 2 wie Schritt 1 eine Konsistenzprüfung. Wie Bild 7.3 zeigt, ist das ProKon-System als assistierendes Werkzeug konzipiert worden. Die eigentliche, d. h. kreative, Konstruktionsarbeit verbleibt beim Konstrukteur. Abschließend pflegt der Konstrukteur das geänderte Produktmodell wieder in das PDM-System ein. Parallel dazu kann ein Konstruktionsprozess den Schritt enthalten, dass die

Wissensbasis des ProKon-Systems bspw. aufgrund einer Änderung einer Norm modifiziert werden muss (3). Das Wissensintegrationssystem unterstützt den Konstrukteur.



**Bild 7.3:** Anwendungsszenario im ProKon-Projekt

Aufgrund der langjährigen Erfahrungen des IKTD auf dem Gebiet der Getriebeentwicklung wurde als Anwendungsobjekt im ProKon-Projekt eine Getriebewelle innerhalb eines zweistufigen Stirnradgetriebes ausgewählt (siehe Bild 7.4). Diese Baugruppe besitzt eine ausreichende, aber nicht zu hohe Komplexität für die Untersuchung, ob Agenten für das Verfolgen der genannten Zielsetzung einsetzbar sind. Neben der Welle an sich beinhaltet die Getriebewelle zwei Lager, zwei Sicherungsringe, eine Dichtung, einen Querpressverband zur Einleitung des Drehmoments und eine Passfederverbindung zur Ausleitung des Drehmoments. Die Stirnräder, die Lager und der Radialwellendichtring werden abstrakt dargestellt, da die äußere Kontur für die Funktionalität des ProKon-Systems keine Relevanz besitzt. Die Verzahnung der Stirnräder wird ebenso nicht berücksichtigt wie die Drehmomentübertragung innerhalb der Verzahnungsstufe.



**Bild 7.4:** Anwendungsobjekt „Abtriebswelle“ im ProKon-Projekt

### 7.5.2 Beispielhafte Modellierung einer Wissensdomäne

Es wurden bei der Erarbeitung des Agentenmodells sechs Bauteilagenten (Welle, Nabe, Sicherungsring, Radialwellendichtring, Rillenkugellager und Passfeder) identifiziert. Zudem erfolgte die Erkennung von zwei Verbindungsagenten (Querpressverband und Passfederverbindung). Der Baugruppenagent repräsentiert die gesamte Getriebewelle. Aufgrund der Komplexität der Wissensdomäne wurde die Nabe nicht weiter betrachtet. Die Wissensdomäne der Passfeder wurde mit der der Passfederverbindung zusammengelegt, sodass sich letztlich sechs Wissensdomänen ergaben: Welle, Sicherungsring, Radialwellendichtring, Rillenkugellager, Querpressverband und Passfederverbindung. Insgesamt wurden in den sechs Wissensdomänen 481 Wissenselemente erhoben.

In den Abschnitten 6.3 und 6.4 wurde die Wissensdomäne des Querpressverbands zur exemplarischen Veranschaulichung der Methoden verwendet. Diese Wissensdomäne wird im Folgenden aufgegriffen und weiter beschrieben. Die Methoden für die Erarbeitung der PKF, der Wissensverteilung und der Wissen-Rollen-Struktur fanden bei den Gesprächen mit den Fachexperten den größten Anklang. Aus diesem Grund wird bei der beispielhaften Modellierung der Fokus auf die Ergebnisse dieser Methoden gelegt.

Verdeutlicht werden die Ergebnisse an den Sachverhalten Analyse des Querpressverbands unter Berücksichtigung

- des optimalen äußeren Durchmesserhältnisses (Sachverhalt 1) und
- des axialen Auswanderns bei umlaufenden oder wechselnden Biegemomenten (Sachverhalt 2).

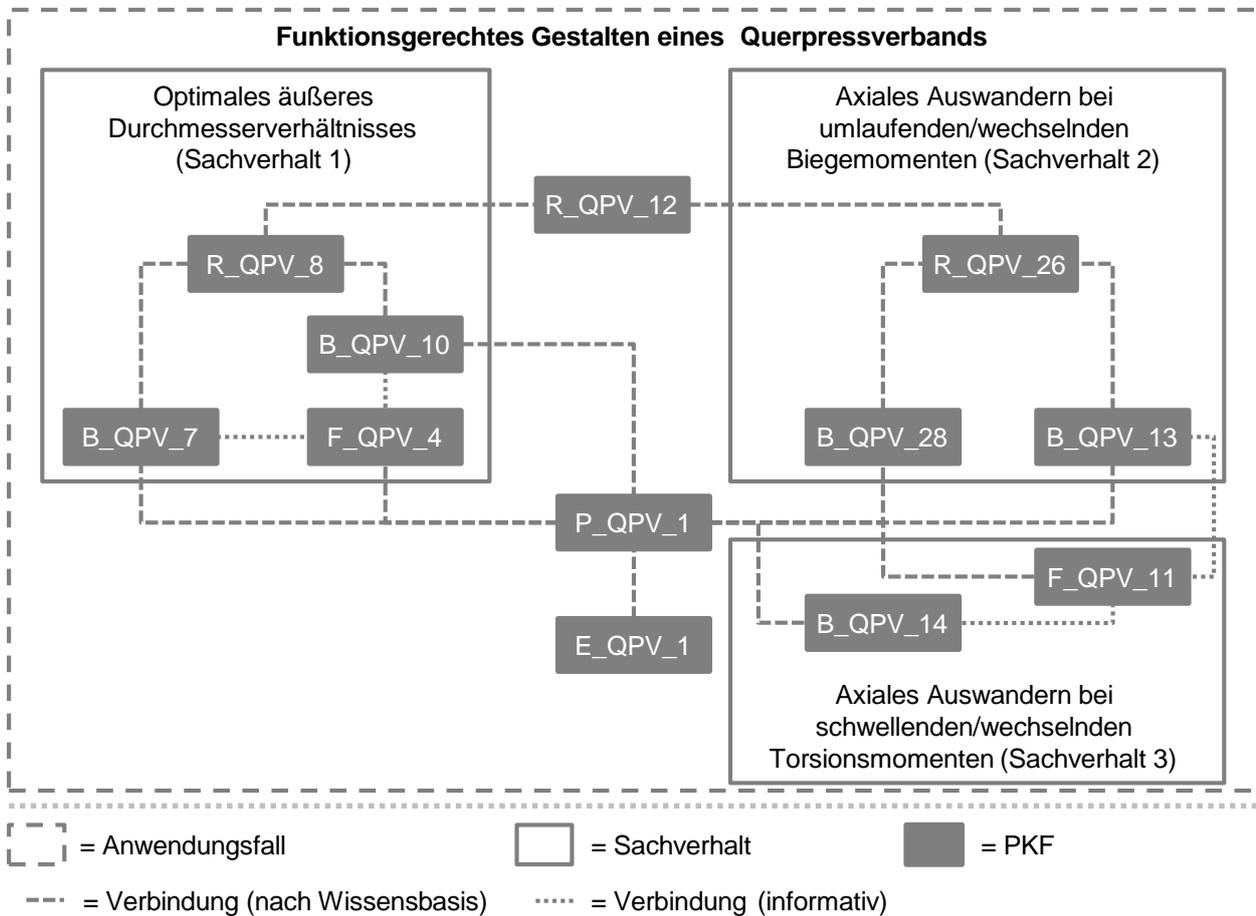
Beide Sachverhalte gehen zurück auf die Konversion „Gestaltung des Querpressverbands nach dessen Beanspruchung“ (siehe Bild A.4.1). Die Konversion entspricht dem Schritt 8.2.2 im Entwurfsprozess in Tabelle A.6.1: *Feingestaltung der Hauptfunktionsträger unter Beachtung von Normen und Vorschriften.*

Unter Verwendung des zugehörigen abstrakten Wissenstyps und der fünf Beschreibungsgrößen konnte der konkrete Wissenstyp innerhalb der Wissensidentifikation erarbeitet werden: *Der Konstrukteur benötigt Wissen über die Existenz und Ausführung der Regeln über das beanspruchungsgerechte Gestalten von Querpressverbänden und das Wissen über den ausgelegten Querpressverband, um daraus in einem konfigurativen Entwerfen mit eingeschränktem Freiheitsgrad unter Verwendung der Schritte Analyse des Istzustands (Konversionsmethode „Lesen“), Norminterpretation und Erarbeitung eines Sollzustands (Gestaltung), die optimale Gestalt unter Beachtung der wirkenden Beanspruchung zu erarbeiten.*

Der konkrete Wissenstyp entspricht dem Sub-Wissenstyp „Wissen über Konstruktions- und Gestaltungsregeln“ und dem Meta-Wissenstyp „Grundlagenwissen“, sodass der Wissenstyp zunächst dem Fachagenten für den Querpressverband zugeordnet werden kann. Mithilfe des Exzerpierens wurden in der Wissenserhebung u. a. die Wissensselemente für die oben genannten Sachverhalte in der Wissensdatenbank gespeichert. Aus allen in der Wissensdatenbank gespeicherten Wissensselementen erfolgte die Modellierung eines semantischen Netzes. Die für die genannten Sachverhalte (1 und 2) relevanten Ausschnitte des semantischen Netzes werden in Bild A.8.1 dargestellt.

Für Sachverhalt 1 bzgl. des optimalen äußeren Durchmesserhältnisses erfolgte die Modellierung einer Regel (R\_QPV\_8 in Bild 7.5), zweier Bedingungen (B\_QPV\_7 und B\_QPV\_10) und einer Formel (F\_QPV\_4). Im semantischen Netz sind diese bereits angedeutet worden, sodass die Ableitung daraus möglich ist. Bild A.9.1 in Anhang A.9 zeigt die PKF für Sachverhalt 1. Sachverhalt 2 bzgl. des axialen Auswanderns der Nabe bei umlaufenden oder wechselnden Biegemomenten, setzt sich aus drei PKF zusammen (R\_QPV\_26, B\_QPV\_13 und B\_QPV\_28). Ergänzend kommt Formel F\_QPV\_11 hinzu, die zu einem anderen Sachverhalt gehört. Dieser Sachverhalt berücksichtigt

anstatt Biegemomente Torsionsmomente. Die Formel ist jedoch für die Berechnung des Auswanderungsgrenzwerts ebenso notwendig. Bild A.9.2 in Anhang A.9 zeigt diese vier PKF. Auf Basis der im Anhang gezeigten PKF ist das Aufstellen einer Wissensverteilung möglich (siehe Bild 7.5). Der Vollständigkeit halber ist die mit der Formel  $F_{QPV\_11}$  verbundene Bedingung  $B_{QPV\_14}$  in Bild 7.5 mit aufgeführt.



**Bild 7.5:** Ausschnitt der Wissensverteilung in der Wissensdomäne Querpressverband für die Sachverhalte 1 und 2

Die gezeigten PKF innerhalb der Wissensverteilung sind abschließend den Fach- und Aspektagenten zuzuweisen. Die Zuordnung wurde bereits in Bild 6.29 gezeigt.

### 7.5.3 Vorstellung des Prototyps des ProKon-Basissystems

Der aus dem ProKon-Projekt entstandene Prototyp unterstützt Konstrukteure bei der Konstruktion der Getriebewelle. Dabei ist die erstmalige Konsistenzprüfung nach dem „Auschecken“ des Produktmodells aus dem PDM-System und das anschließende „freie“ Konstruieren gemeint. Der Konstrukteur passt das Produktmodell an neue Randbedingungen an. Diese beiden Schritte lassen sich in den Konstruktionsprozess einordnen,

wie Bild 7.3 zeigt. Im Folgenden wird das Basissystem vorgestellt, da dieses die notwendigen Hauptfunktionen für die Unterstützung beider Schritte bereitstellt.

Bei der Konstruktion mit dem ProKon-Basissystem, das als „freies“ Konstruieren bezeichnet wird, existieren Restriktionen, die dem prototypenhaften Charakter des Basissystems geschuldet sind. Diese begründen sich u. a. darin, dass zwischen den geometrischen/semantischen Parametern im Produktmodell und den Parametern in der Wissensbasis eine feste Zuordnung herrscht. Die folgenden Restriktionen sind zu beachten:

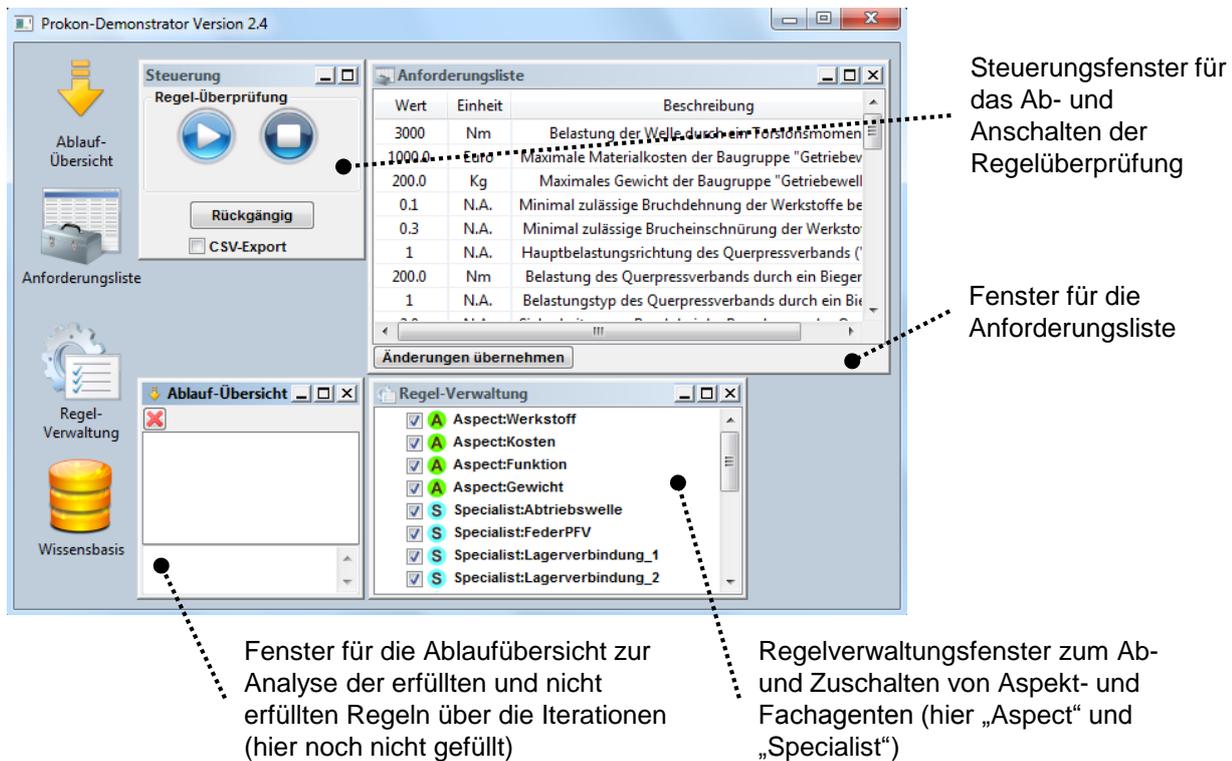
- Dem System unbekannte Bauteile dürfen nicht hinzugefügt werden.
- Bestehende Bauteile dürfen nicht gelöscht werden.
- Bestehende Bauteile dürfen nicht in deren Anzahl verändert werden.
- Bestehende Bauteile dürfen nicht in deren Struktur verändert werden.

Die Handlungsvielfalt der Konstrukteure beschränkt sich somit auf das Ändern von Maßen, Rauheiten, Oberflächen- und Maßtoleranzen sowie auf das Ändern von Werkstoffen. Zudem kann die Anforderungsliste geändert werden. Dies gleicht einer Variantenkonstruktion, wie sie in Abschnitt 6.1.3 beschrieben wurde.

Bei der Arbeit mit dem ProKon-Basissystem sieht sich der Konstrukteur einer fensterbasierten Benutzungsoberfläche gegenüber. Bild 7.6 stellt diese dar. Zentral ist das Steuerungsfenster, das Bedienelemente für die An- und Abschaltung der Regelüberprüfung beinhaltet. In der „Ablaufübersicht“ sind nach erfolgter Konsistenzprüfung und Lösungsfindung die Ergebnisse der Regelüberprüfung zu finden, die nach Iterationen sortiert sind. Die „Anforderungsliste“ enthält eine Tabelle mit allen Anforderungen, die an das Produktmodell gestellt wurden, wobei es sich in diesem Fall um fiktive Anforderungen handelt. Über die „Regelverwaltung“ ist es Konstrukteuren möglich, einzelne Aspekt- oder Fachagenten ab- und zuzuschalten, um so den Lösungsraum gezielt zu verändern. Die „Wissensbasis“ in Bild 7.6 enthält das Wissensintegrationssystem, welches nicht Gegenstand der aktuellen Betrachtung ist.

Ausgehend von der beschriebenen Situation, ist es zu Anfang möglich, das gesamte Produktmodell auf Konsistenz prüfen zu lassen. Dies repräsentiert den ersten genannten Schritt im Konstruktionsprozess in Bild 7.3. Das Basissystem prüft auf Grundlage der Produktmodellldaten und der Anforderungsliste die Regeln und wertet hierfür die notwendigen Formeln aus. Wie bereits beschrieben wurde, arbeitet das Basissystem iterationsbasiert. Ist eine Inkonsistenz identifiziert worden, arbeitet das System eine

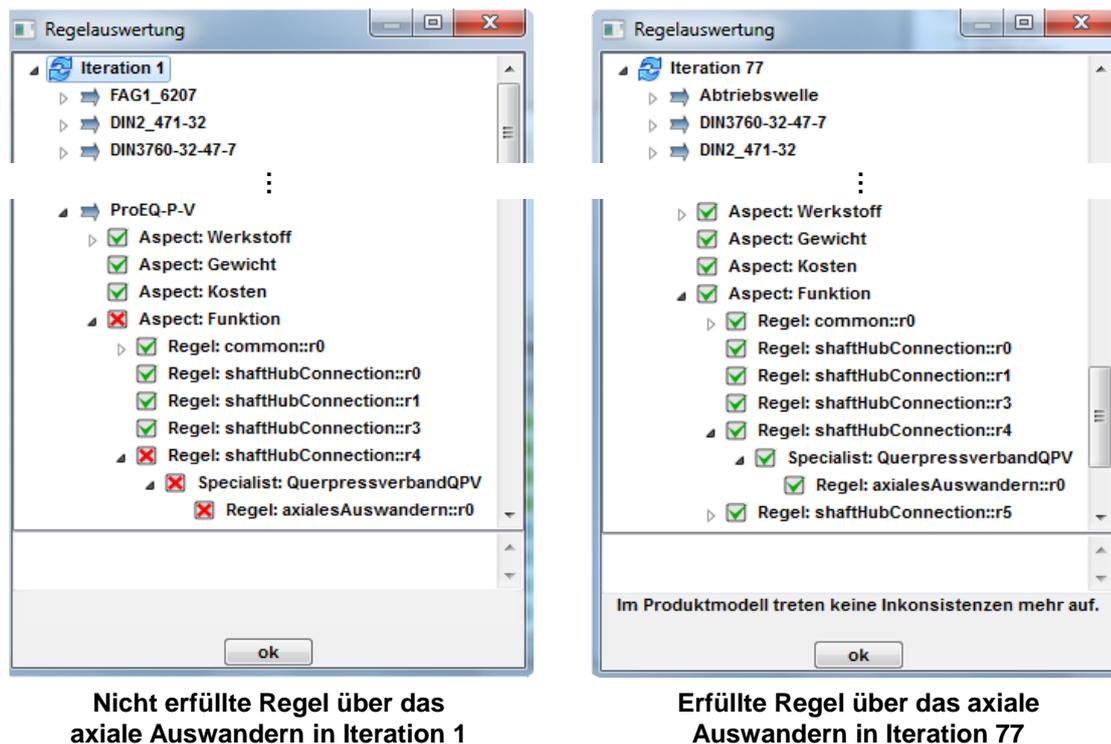
Lösung aus. Aufgrund der noch eingeschränkten Funktionalität des ProKon-Systems wird der Konstrukteur darüber zunächst nicht in Kenntnis gesetzt. Innerhalb jeder Iteration werden alle zuvor bestimmten Variablen zur Lösungsfindung verändert. Sollten am Ende einer Iteration nicht alle Regeln erfüllt sein, werden die Werte innerhalb der nächsten Iteration weiter verändert.



**Bild 7.6:** Benutzungsoberfläche des ProKon-Basissystems

Aufgrund der Tatsache, dass es sich um ein Agentensystem handelt, können bei gleicher Ausgangssituation unterschiedliche (jedoch konsistente) Lösungen produziert werden. Die Zeit zur Konsistenzprüfung und Lösungsfindung variiert dementsprechend. Bei diesem Beispiel benötigt das Basissystem 77 Iterationen zur Lösungsfindung, wie Bild 7.7 zeigt.

Nach Iteration 1 war bspw. die Regel, die das axiale Auswandern der Nabe von der Welle überprüft, nicht erfüllt (siehe Bild 7.7, links unten). Insgesamt wurden acht nicht erfüllte Regeln identifiziert. In der letzten Iteration (siehe Bild 7.7, rechts unten) konnte das ProKon-Basissystem die Werte der Variablen so anpassen, dass alle Regeln erfüllt sind. Das Basissystem vermerkt abschließend, dass keine weiteren Inkonsistenzen im Produktmodell auftreten.



**Bild 7.7:** Ergebnis der Lösungsfindung nach der ersten Iteration (links) und nach der letzten Iteration (rechts)

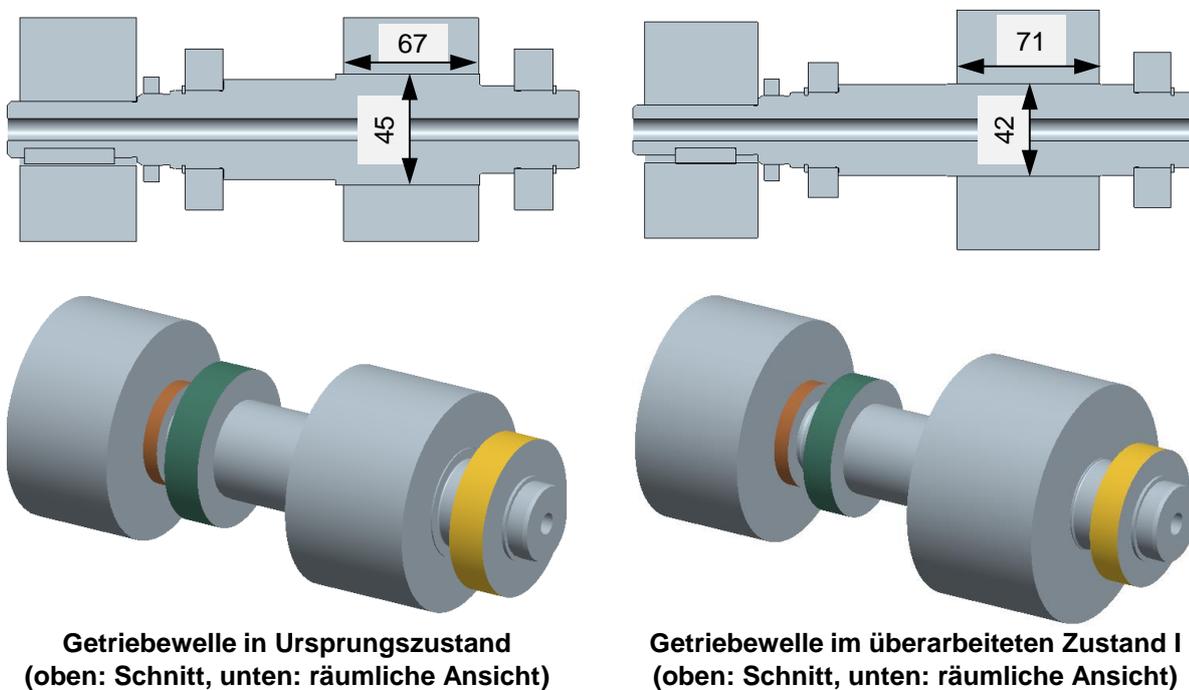
Das System gibt die für die Erfüllung der Regeln notwendigen Änderungen aus. Diese werden anschließend direkt im Produktmodell in Pro/ENGINEER vom ProKon-System umgesetzt (siehe Bild 7.8). Auf der linken Seite in Bild 7.8 ist die Getriebewelle in deren Ursprungszustand zu sehen (vor Iteration 1), wobei rechts der überarbeitete Zustand abgebildet ist (nach Iteration 77). Unter anderem wurde der Fugendurchmesser reduziert (45 mm → 42 mm) und die Fugenlänge vergrößert (67 mm → 71 mm). Die Länge der Passfeder verringerte sich ebenso (40 mm → 32 mm). Letztlich fand die Veränderung des Typs des Rillenkugellagers statt (Typ 6207 → Typ 6007).

Einige der hier vom ProKon-System durchgeführten Änderungen bilden nicht ein für einen Konstrukteur charakteristisches Vorgehen ab. Dieses Änderungsverhalten des ProKon-Systems liegt an der Wissensbasis, die in Bezug auf die Domäne „Getriebewelle“ noch nicht alle Teilbereiche beinhaltet. Beispielsweise ist der Festigkeitsnachweis der Welle nicht Teil der Wissensbasis. Im Folgenden wird das Änderungsverhalten des ProKon-Systems am Beispiel des Querpressverbands nachvollziehbar veranschaulicht.

Die untere Grenze bezüglich des Fugendurchmessers wird bspw. durch das zu übertragende Drehmoment definiert. Dieses ist in der Anforderungsliste mit 3000 Nm festgeschrieben. Die Obergrenze des Fugendurchmessers ergibt sich u. a. aus einem zuvor festgelegten Maximalwert für das Gewicht und für die Kosten, die nicht überschrit-

ten werden dürfen. Hierfür sorgen die jeweiligen Aspektagenten. Daneben muss der Quotient aus Fugenlänge und -durchmesser über dem Grenzwert von 1,5 liegen, da sonst die Gefahr des Auswanderns der Nabe von der Welle besteht.

Mit den geometrischen Abmessungen im Ursprungszustand (siehe Bild 7.8, links) konnte das geforderte Drehmoment bereits übertragen werden (Ursprungszustand: 3090 Nm und Zustand I: 3032 Nm). Jedoch ist mit einer initialen Fugenlänge von 67 mm das Auswandern der Nabe nicht zu verhindern (Ursprungszustand:  $l_F/D_F = 67 \text{ mm}/45 \text{ mm} = 1,49$  und Zustand I:  $l_F/D_F = 71 \text{ mm}/42 \text{ mm} = 1,69$ ). Dies zeigt bereits Bild 7.7. Darüber hinaus reduzieren sich gleichzeitig die Materialkosten und das Gewicht. Die Verringerung des Fugendurchmessers bei gleichzeitiger Vergrößerung der Fugenlänge ist so nachvollziehbar.



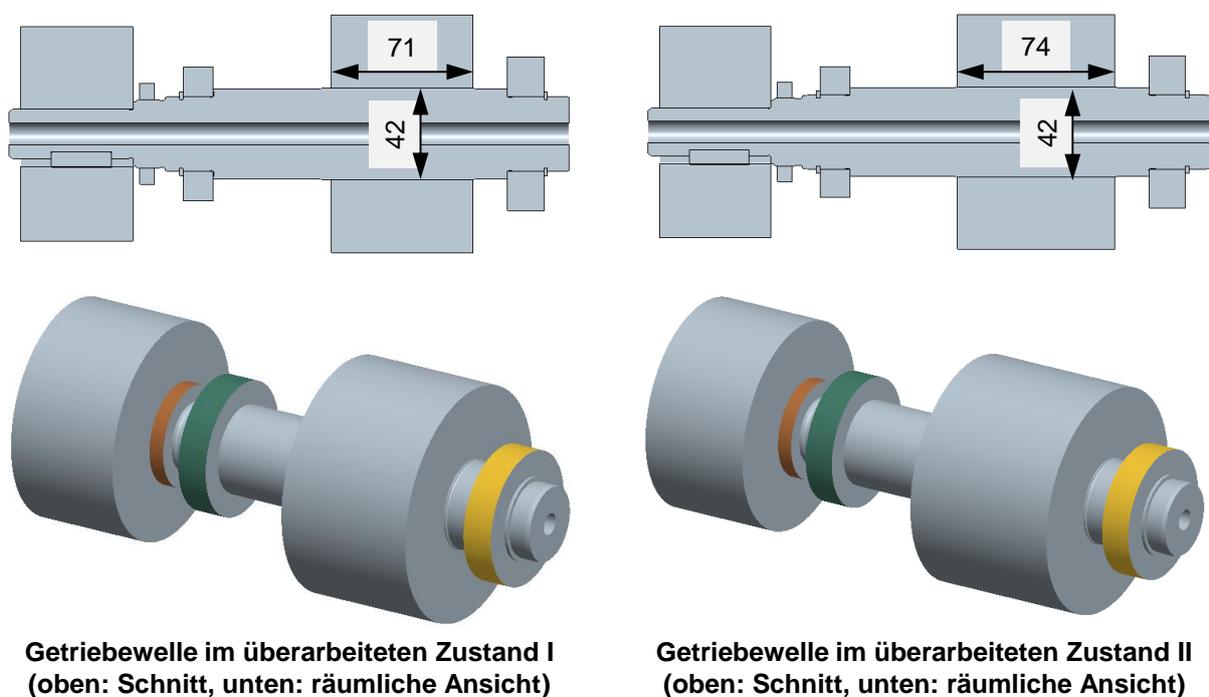
**Bild 7.8:** Vergleich des Ursprungszustands der Getriebewelle mit dem durch das ProKon-Basissystem überarbeiteten Zustand I

Nach der ersten Konsistenzprüfung kann der Konstrukteur mit einem fehlerfreien Produktmodell die eigentliche Konstrukteurstätigkeit aufnehmen. Beispielsweise ist die Getriebewelle gemäß einer Variantenkonstruktion auf ein größeres Drehmoment auszuliegen. In der Anforderungsliste wird das geforderte Drehmoment von 3000 Nm auf 4500 Nm erhöht. Das Basissystem berechnet eine Lösung.

Wie Bild 7.9 zeigt, erhöht sich die Fugenlänge auf 74 mm. Der Fugendurchmesser bleibt dabei konstant. Dies stellt sicher, dass die Nabe nicht von der Welle wandert. Die

Sicherheit diesbezüglich erhöht sich sogar (Zustand I: 1,69 und Zustand II:  $I_F/D_F = 74 \text{ mm}/42 \text{ mm} = 1,76$ ). Um mit diesen geometrischen Verhältnissen das geforderte Drehmoment zu übertragen, musste das ProKon-System den Fugendruck  $p$  um 42,6 % anheben. Der Pressverband kann so 4508 Nm übertragen. Die zur Berechnung des Fugendrucks notwendigen Parameter wurden u. a. aus dem Produktmodell im CAD-System herausgelesen (z. B. der Elastizitätsmodul). Der gewählte Fugendruck lag dabei stets in allen Zuständen unter dem in der DIN 7190 [DIN 7190 2001, S. 8] definierten zulässigen Fugendruck für das Außen- und das Innenteil bei der Berechnung von elastischen Pressverbänden. Eine plastische Dehnung ist somit ausgeschlossen. Die Kosten und das Gewicht bleiben unter den Werten im Ursprungszustand.

Unter Berücksichtigung der nicht vollständigen Wissensbasis ist die Veränderung der hier aufgeführten Größen durch das ProKon-System wie zuvor nachvollziehbar. Insgesamt kann jedoch nur dann ein für den Konstrukteur charakteristisches Vorgehen durch das ProKon-System abgebildet werden, sofern die Wissensbasis bzgl. einer Wissensdomäne zumindest annähernd vollständig ist. Beispielsweise würde für die Durchmesser der einzelnen Wellenabschnitte (d. h. dementsprechend auch für den Fugendurchmesser) eine zusätzliche untere Grenze gelten, sofern der Festigkeitsnachweis für die Welle mitbetrachtet werden würde.



**Bild 7.9:** Vergleich des überarbeiteten Zustands I mit dem überarbeiteten Zustand II der Getriebewelle auf Basis der Erhöhung des Drehmoments

#### **7.5.4 Vorstellung der Evaluation des ProKon-Basissystems**

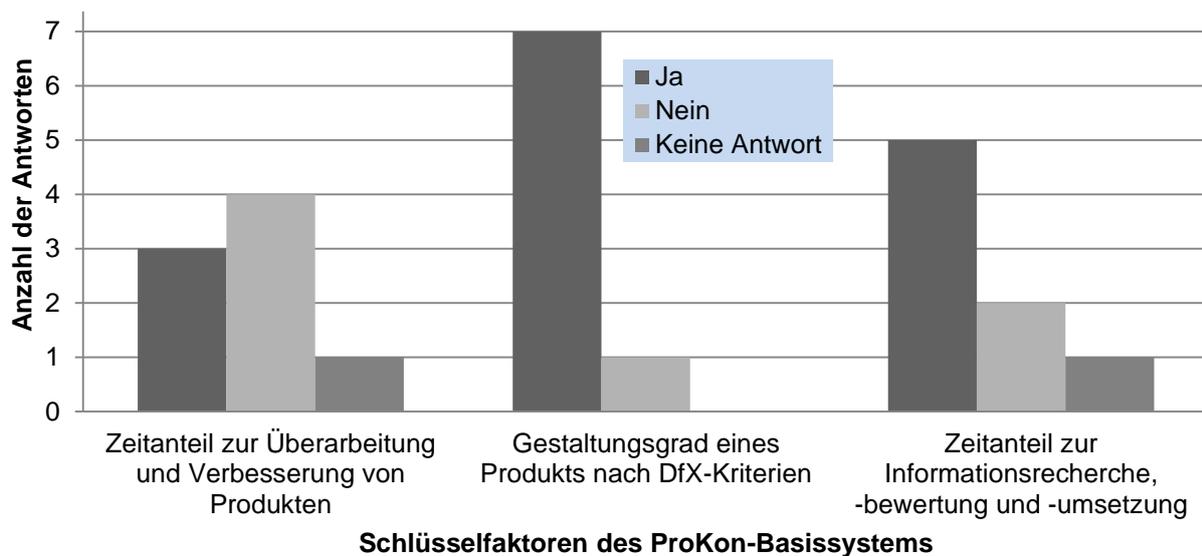
Der im vorherigen Abschnitt gezeigte Prototyp des ProKon-Basissystems wurde mit Getriebekonstrukteuren aus der industriellen Praxis evaluiert (siehe Szenario S V in Tabelle 7.1). Ihnen wurde es ermöglicht, das „freie“ Konstruieren der Getriebewelle mit der Unterstützung durch das ProKon-Basissystem zu testen. Sie unterlagen dabei den vier genannten Restriktionen. Es sollte so herausgefunden werden, ob durch die Anwendung des ProKon-Basissystems die Schlüsselfaktoren zum Positiven verändert werden (z. B. der Zeitanteil zur Informationsrecherche, -bewertung und -umsetzung). Letztlich wirkt sich das positiv auf die messbaren Erfolgsfaktoren aus (z. B. Wertschöpfender Arbeitsanteil eines Produktentwicklers).

Es wurde zudem beobachtet, inwiefern die Getriebekonstrukteure mit dem Prototyp im Sinne der Anwendbarkeit umgehen. Die Erfüllung der Anforderungen an das ProKon-Basissystem, die letztlich von den Probanden zu beantworten war, wird im Folgenden vernachlässigt, da sie für die Evaluation der eigenen Vorgehensweise keinen Mehrwert darstellt.

Insgesamt nahmen acht Getriebekonstrukteure der Firmen GETRAG Getriebe- und Zahnradfabrik Hermann Hagenmeyer GmbH & Cie KG, ZF Friedrichshafen AG und Flender-Graffenstaden S. A. S an der Evaluation teil. Sie besitzen eine durchschnittliche Berufserfahrung von 8,0 Jahren. Die Konstrukteure schätzten sich als Pro/ENGINEER-Experten (3,5 von 5 Punkten) und als Getriebeexperten (3,9 von 5 Punkten) ein. Den Konstrukteuren wurden zunächst die theoretischen Hintergründe des ProKon-Basissystems vermittelt. Sie bekamen eine Einführung in das ProKon-Projekt und in die Evaluationssystematik. Anschließend erhielten sie einen Katalog mit Anforderungen an das ProKon-Basissystem, einen Fragebogen für Angaben zur eigenen Person (siehe Tabelle A.10.6 in Anhang A.10) und einen Fragebogen bzgl. der Erfüllung der Schlüsselfaktoren (siehe Tabelle A.10.7 in Anhang A.10). Sie hatten anschließend 45 min Zeit, das ProKon-Basissystem zu testen.

Die Ergebnisse hinsichtlich der Schlüsselfaktoren stellt Bild 7.10 dar. Drei der befragten Getriebekonstrukteure stellten eine Reduktion des Zeitanteils zur Überarbeitung und Verbesserung von komplexen Produktmodellen fest. Mehrheitlich sind sie der Meinung, dass das ProKon-Basissystem den Konsistenzgrad des Produktmodells gegenüber den Anforderungen, der Funktion und weiteren DfX-Kriterien erhöht. Letztlich urteilten die Getriebekonstrukteure größtenteils, dass das ProKon-Basissystem den Zeitanteil zur Informationsrecherche, -bewertung und -umsetzung reduziert.

Grundsätzlich wurde bestätigt, dass ein Agentensystem zur Unterstützung von Konstruktionsprozessen eingesetzt werden kann. Weiterhin ist festzustellen, dass mit dem Basissystem die zu Anfang gestellten Probleme größtenteils gelöst werden könnten, sofern dieses in der Praxis eingesetzt werden würde. Hierzu bedarf es jedoch einer weiteren Entwicklung, die sich besonders in den 19 nicht erfüllten Anforderungen widerspiegelt. Die Anwendbarkeit wurde grundsätzlich nachgewiesen.



**Bild 7.10:** Auswertung der Schlüsselfaktoren des ProKon-Basissystems

Letztlich kann von der Beeinflussung der Schlüsselfaktoren des ProKon-Basissystems aus Bild 7.10 eine Schlussfolgerung für die vorliegende Arbeit gezogen werden. Die Schlüsselfaktoren des ProKon-Basissystems stellen die messbaren Erfolgsfaktoren für die Vorgehensweise dar. Der kausalen Kette aus Bild 7.1 folgend, erhöht sich z. B. der „Gestaltungsgrad“ eines Produkts nach DfX-Kriterien, sofern die Vorgehensweise bspw. so konzipiert ist, dass das Wissen zu den richtigen Agenten zugeordnet wird. Bis auf den Zeitanteil zur Überarbeitung und Verbesserung von Produkten schätzten die in der Evaluation des ProKon-Basissystems befragten Konstrukteure die messbaren Erfolgsfaktoren für die vorliegende Arbeit als positiv beeinflusst ein. Werden Nebeneffekte, wie z. B. die Qualität der formalen Wissensintegration durch den Softwareingenieur, vernachlässigt, kann indirekt geschlussfolgert werden, dass die Schlüsselfaktoren 2 bis 7 aus Bild 7.1 der vorliegenden Arbeit durch die eigens entwickelte Vorgehensweise positiv beeinflusst wurden.

Eine wichtige Erkenntnis war der Einsatzzweck des Systems. Nach Meinung der Getriebekonstrukteure ist der Einsatz des Systems zweckmäßig, sofern der Aufwand zum Aufbau des Systems in einem akzeptablen Verhältnis zum Nutzen steht. Der Einsatzort

des Systems liegt vor allem in der Applikation von Getrieben auf neue Kundenanwendungen und nicht bei der Neuentwicklung dieser. Gerade bei Neuentwicklungen sind häufig Konzeptentscheidungen mit Änderung des Funktions- und Wirkprinzips zu treffen, mit denen das ProKon-Basissystem nicht umgehen kann. Übertragen auf alle Branchen sind maschinenbauliche Produkte geeignet, die in die Art der Variantenkonstruktionen eingeordnet werden können. Die Ausführungen aus Abschnitt 6.1.3 werden diesbezüglich bestätigt.

### **7.5.5 Interpretation der Evaluationsergebnisse aus dem ProKon-Projekt**

Im letzten Abschnitt wurde indirekt geschlussfolgert, dass die Schlüsselfaktoren der eigenen Vorgehensweise auf Basis der Evaluationsergebnisse aus dem ProKon-Projekt positiv beeinflusst wurden. Wie zu Anfang von Kapitel 7 vorgestellt wurde, ist der Gesamteindruck der durch die indirekte Schlussfolgerung entsteht durch eine direkte Schlussfolgerung zu verstärken. Hierfür ist es notwendig, dass die Ergebnisse aus der Agenten- und der Wissensmodellierung hinsichtlich der eigens eingeführten Fragestellungen B und C untersucht werden. Dies geschieht innerhalb der Evaluationsszenarien S III-2 und S IV-2 bis S IV-5 (siehe Tabelle 7.1). Die Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt.

#### **Szenarien S IV-2 und S IV-3: Das richtige und das korrekte Wissen**

Das Wissen im Sinne der Regeln, Formeln und Bedingungen wurde im ProKon-Projekt durch die Softwareingenieure formal mithilfe der XML-Spezifikation gespeichert. Die Wissens Elemente innerhalb der drei Wissensformen wurden innerhalb von Szenario S IV-2 einzeln darauf hin untersucht, ob sie mit der zu unterstützenden Anwendung übereinstimmen (siehe Schlüsselfaktor 4 in Bild 7.1). Zudem wurde in Szenario S IV-3 geprüft, ob die Wissens Elemente eine inhaltliche Übereinstimmung mit den Angaben aus den zugrunde liegenden Wissensorten bzw. Ursprungsdokumenten aufweisen (siehe Schlüsselfaktor 5 in Bild 7.1). Beispielsweise wurde für die Überprüfung der Domäne „Querpressverband“ u. a. die DIN 7190 [DIN 7190 2001] und das Standardwerk von Kollmann [KOLLMANN84] herangezogen. Wurde keine inhaltliche Übereinstimmung festgestellt, sind die PKF zum Vergleich herangezogen worden. So konnte festgestellt werden, ob bereits die PKF inhaltlich verfälscht wurden.

Insgesamt wurden 175 Regeln, 240 Bedingungen und 530 Formeln rechnerisch in die Wissensbasis integriert. Die Abweichung zur Anzahl der PKF (481) begründet sich in der Formulierung von softwaretechnisch notwendigen „Hilfskonstruktionen“. Diese

waren vor allem im Bereich der Formel und der Bedingung zu finden. Innerhalb beider Evaluationen wurden alle Regeln, Bedingungen und Formeln überprüft.

Ergebnisse nach Evaluationsszenario S IV-2: Die analysierten Wissensselemente wurden in 100 % der Fälle passend zur vordefinierten Anwendung in die Wissensbasis integriert. Es erfolgte so die Integration des richtigen Wissens in die Wissensbasis.

Ergebnisse nach Evaluationsszenario S IV-3: Bei den in der Wissensbasis integrierten Regeln konnte nachgewiesen werden, dass 98,9 % mit den Angaben aus den zugrunde liegenden Ursprungsdokumenten übereinstimmen. Bei den restlichen 1,1 % wurden die relevanten PKF analysiert. Die PKF stimmen mit den Angaben aus den Ursprungsdokumenten überein. Das lässt darauf schließen, dass bei der formalen Integration teilweise Übertragungsfehler aufgetreten sind. Bei der Analyse der Bedingungen stimmen 98,8 % mit den Angaben aus den Ursprungsdokumenten überein. Es erfolgte wieder die Überprüfung der PKF. Die Abweichung ist ebenfalls auf Übertragungsfehler als Ursache zurückzuführen. Häufig wurden lediglich Vergleichsoperatoren (z. B. > und <) vertauscht. Die Formeln entsprachen den Ursprungsdokumenten.

Da das ProKon-Basissystem Konstrukteure in der industriellen Praxis unterstützen soll, sind deren Maßstäbe zu berücksichtigen. Daher ist das Basissystem dann funktional, sofern die erarbeiteten Ergebnisse deren Ansprüchen genügen. Innerhalb der Evaluation des ProKon-Basissystems wurden die Getriebekonstrukteure während des „freien“ Konstruierens unstrukturiert nach der Validität der Ergebnisse befragt. Ein Ergebnis ist valide, sofern bspw. der Fugendurchmesser bei einer Vergrößerung des zu übertragenden Drehmoments um den richtigen Wert erhöht wird. Die absoluten Werte konnten die Konstrukteure aufgrund des starren Evaluationsszenarios nicht nachrechnen. Sie wurden jedoch gebeten, die erarbeiteten Ergebnisse nachzuvollziehen. Den Aussagen der Konstrukteure zufolge, konnten sie die Berechnungsergebnisse zumindest in deren Richtung bestätigen. Die Ergebnisse sind in erster Näherung valide.

Um den Eindruck über die Validität der Ergebnisse weiter zu verstärken, wurde das Ergebnis einer ersten Konsistenzprüfung, unter Beachtung des Wissens aus den verwendeten Ursprungsdokumenten, händisch nachgerechnet. Bei diesem Beispiel findet das ProKon-System acht Fehler (z. B. würde im Ausgangszustand die Nabe von der Welle wandern, sofern der Querpressverband im Betrieb den Belastungen ausgesetzt ist). Die Nachrechnung und Prüfung ergab, dass das ProKon-System 4 weitere Fehler hätte identifizieren müssen. Der Durchmesser der Nut, in der der Sicherungsring sitzt,

müsste bspw. 33 mm betragen. Nach der Konsistenzprüfung weist dieser jedoch weiterhin einen Durchmesser von 32 mm auf.

Insgesamt lässt sich aus beiden Untersuchungen ein positives Resümee ziehen. Die inhaltliche Abweichung, die in Evaluationsszenario S IV-3 festgestellt wurde, erklärt den Fakt, dass bei der händischen Nachrechnung mehr Fehler identifiziert wurden (siehe z. B. abweichender Nutdurchmesser). Für ein öffentlich gefördertes Projekt sind die Abweichungen jedoch vertretbar, da es sich um eine Machbarkeitsanalyse handelte. Letztlich bestätigten die Konstrukteure die vom ProKon-System erarbeiteten Ergebnisse zumindest qualitativ. Das Treffen einer quantitativen Aussage war diesbezüglich nicht möglich. Im Gegensatz zu einem in der industriellen Praxis eingesetzten System, das zu jeder Zeit dem Anspruch auf Korrektheit gerecht werden muss, wurde das ProKon-System noch für keine Überprüfung einer sicherheitsrelevanten Konstruktion eingesetzt. Bei einer Weiterentwicklung bzw. industriellen Nutzung des Systems müssten in jedem Fall diese Fehler korrigiert werden.

#### **Szenario S IV-4: Das Wissen am richtigen Ort**

Die Wissen-Rollen-Struktur wurde mit der formalen Wissensbasis im XML-Format abgeglichen. Es sollte herausgefunden werden, inwiefern die Vorschläge für die Zuweisung der Wissens Elemente auf die Agenten bei der formalen Wissensintegration berücksichtigt wurden (siehe Schlüsselfaktor 7 in Bild 7.1). Dies zeigt die Unterstützung der Softwareingenieure durch die Wissen-Rollen-Struktur auf. Als Grundgesamtheit wurden die 945 Wissens Elemente (175 Regeln + 240 Bedingungen + 530 Formeln) wie in den Evaluationsszenarien S IV-2 und S IV-3 verwendet.

Die analysierten Wissens Elemente wurden zu 95,8 % passend zu den Wissen-Rollen-Strukturen in die Wissensbasis integriert. Die Abweichung von 4,2 % begründete sich in der Zuordnung von Formeln (absolut 14 fehlerhaft zugeordnete Formeln), Regeln (16) und Bedingungen (10) aus dem Bereich des Sicherungsrings zur Wissensbasis des Fachagenten für das Wälzlager.

Die hier ermittelte Abweichung in der Zuweisung der Wissens Elemente zur korrekten Wissensbasis beeinträchtigt die Funktionalität nicht. Die Wissens Elemente werden trotzdem verwendet. Prinzipiell würden bei einer korrekteren Zuordnung die Konsistenzprüfung, Lösungsfindung und -umsetzung zügiger durchgeführt werden, da die gleichmäßigere Verteilung der Wissens Elemente eine effizientere Arbeit der Agenten sicherstellt. Zur Gewährleistung einer rollenspezifischen Verteilung von Wissen auf die

Agenten, als Voraussetzung für die anzustrebende Modularität des Systems, ist die fehlerhafte Zuweisung zu beheben.

#### **Szenario S IV-5: Das Wissen in der richtigen Form**

Zudem fand eine standardisierte Befragung der bei der Entwicklung des ProKon-Systems beteiligten Softwareingenieure statt (siehe Schlüsselfaktor 6 in Bild 7.1). Die Softwareingenieure waren zwei wissenschaftliche Mitarbeiter und eine studentische Hilfskraft am IAS. Ziel der Befragung war es herauszufinden, inwieweit die beteiligten Softwareingenieure durch die Ergebnisse aus der vorliegenden Vorgehensweise unterstützt wurden. Für die Befragung wurde ein Fragebogen eingesetzt (siehe Tabelle A.10.8 in Anhang A.10). Da die Softwareingenieure teilweise unterschiedliche Aufgaben bei der formalen Integration des Wissens in die Wissensbasis besaßen, kamen leicht modifizierte Fragebögen zum Einsatz.

Durch die Anwendung der PKF, der Wissensverteilung und der Wissen-Rollen-Struktur kam es bei der formalen Integration von Konstruktionswissen in die Wissensbasis zu weniger Rückfragen im Gegensatz zu den Anfängen des ProKon-Projekts. Als zentrale Dokumente wurden die PKF und die Wissensverteilung identifiziert, da durch diese eine formale Integration ermöglicht wird. Nach Meinung der Softwareingenieure war es für Nicht-Maschinenbauingenieure möglich, die Wissensdomäne zu überblicken und zu verstehen. Die an das IAS übergebenen Wissensdomänen waren größtenteils abgeschlossen, redundanz- und widerspruchsfrei. Diese Aussage konnte nicht weiter durch die befragten Probanden detailliert werden.

Die generelle Struktur der PKF war verständlich und zweckmäßig. Nach Meinung der Softwareingenieure könnte die informale Darstellung des Wissenslements innerhalb eines PKF mit weiteren Informationen angereichert werden (z. B. Abbildungen, Links zu weiterführenden Informationen, Beispiele, Best Practices). Möglich ist es zudem, Regel-PKF mithilfe von Beschreibungsweisen aus der Digitaltechnik (z. B. AND-Gatter, OR-Gatter) zu veranschaulichen. Hingewiesen wurde letztlich auf das Abbilden von Strategiewissen innerhalb der Formel-PKF. Es können die Variablen dargestellt werden, die bei der Lösungsfindung von den Agenten zu verändern sind. Möglicherweise ist es zielführend, Heuristiken zu ergänzen, wie die Variablen zu verändern sind.

#### **Szenario S III-2: Die richtigen Agenten in der richtigen Form**

Bei der Analyse der Wissensbasis im XML-Format fiel auf, dass die im Agentenmodell repräsentierten Fachagenten zu 100% formal umgesetzt wurden (siehe Schlüsselfakto-

ren 2 und 3 in Bild 7.1). Aus Sicht der agentenorientierten Softwareentwicklung machte es zumindest für das ProKon-Projekt Sinn, weitere Fachagenten einzuführen. Für jedes Bauteil wurde im Produktmodell ein eigener Fachagent (z. B. Fachagent für Lager 1 und Fachagent für Lager 2) realisiert. Deren Wissensbasen decken sich vollständig. Die Zuordnung von Wissensdomäne zu Fachagent wurde demnach nicht vollständig umgesetzt. Die Abbildungsgenauigkeit des Agentenmodells liegt unter den oben genannten Umständen bei 80 % (12 vorgeschlagene Fachagenten zu 15 umgesetzten Fachagenten). Es kann geschlussfolgert werden, dass durch das Vorgehen zur Erarbeitung eines Agentenmodells die richtigen Agenten in der richtigen Form identifiziert worden sind.

## **7.6 Diskussion der Ergebnisse**

Durch die Validierung und Verifikation des Lösungsansatzes wurde gezeigt, dass alle in Bild 7.1 dargestellten Schlüsselfaktoren durch die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Vorgehensweise positiv beeinflusst wurden. Bei einigen der Schlüsselfaktoren war es möglich, deren Beeinflussung quantitativ zu bestimmen („das korrekte Wissen“, „das Wissen am richtigen Ort“, „das richtige Wissen“ und die „die richtigen Agenten“). Da alle Schlüsselfaktoren durch die in der vorliegenden Arbeit erarbeitete Vorgehensweise positiv beeinflusst wurden, wird unter Beachtung von Nebeneffekten die Funktionalität des ProKon-Basissystems erhöht. Dies führt dazu, dass die messbaren Erfolgsfaktoren für die eigene Vorgehensweise „Gestaltungsgrad eines Produkts nach DfX-Kriterien“ und „Zeitanteil zur Informationsrecherche, -bewertung und -umsetzung“ erhöht bzw. reduziert werden. Der „Zeitanteil zur Überarbeitung und Verbesserung von Produkten“ erfährt durch die vorgeschlagene Vorgehensweise keine eindeutig positive Beeinflussung. Die Schlüsselfaktoren finden sich in den aufgestellten Anforderungen in Tabelle 4.3 (siehe S. 89) wieder, die vor der Entwicklung der Vorgehensweise aufgestellt wurden. Dies zeigt Tabelle 7.2, wobei sich die dort verwendete Nummerierung auf die Schlüsselfaktoren in Bild 7.1 beziehen.

Eine Korrelation ist festzustellen, sodass sich die Erfüllung von Anforderungen größtenteils an der Erfüllung der Schlüsselfaktoren festmachen lässt (12 von 22 Anforderungen). Die restlichen Anforderungen wurden durch den Verfasser der vorliegenden Arbeit kritisch beurteilt. Demnach werden 6 von 22 Anforderungen teilweise erfüllt. Beispielsweise konnte die Flexibilität nur zum Teil erreicht werden (Anforderung 1). Dies wurde durch einige Fachexperten bestätigt. Die restlichen Anforderungen

sind erfüllt worden. Somit stellt die Vorgehensweise in der vorliegenden Arbeit eine Weiterentwicklung zu den bisher existierenden Vorgehensweisen dar.

A	SF	EG	A	SF	EG	A	SF	EG
A1	-	◐	A9	2 und 3	●	A17	-	●
A2	-	◐	A10	4	●	A18	6	●
A3	1	●	A11	-	●	A19	4	●
A4	1	●	A12	-	●	A20	5	●
A5	1	◐	A13	-	●	A21	7	◐
A6	1	●	A14	-	●	A22	-	●
A7	1	◐	A15	-	●	-	-	-
A8	1	◐	A16	-	●	-	-	-

● = Anforderung wird durch die Vorgehensweise vollständig erfüllt

◐ = Anforderung wird durch die Vorgehensweise teilweise erfüllt

A = Anforderung    SF = Schlüsselfaktor    EG = Erfüllungsgrad

**Tabelle 7.2:** Anforderungen mit Schlüsselfaktoren und Erfüllungsgraden

Die in Abschnitt 5.1 aufgestellte Hypothese konnte bestätigt werden. Es wurde eine modellbasierte Vorgehensweise entwickelt, die mithilfe von drei Modellen Wissensingenieure zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems befähigt.

## 8 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen proaktiven Konstruktionssystems auf Basis von Softwareagenten (ProKon-System) erarbeitet. Die Vorgehensweise setzt an dem im ProKon-Projekt entwickelten Kernsystem an, das aus einem Basis- und einem Wissensintegrationssystem besteht. Die Funktionalität, die Kommunikation zwischen den Agenten, die Struktur der Wissensbasis und die Architektur wurden darin bereits grundlegend definiert. Eine Ausrichtung des Kernsystems auf eine spezifische Anwendung in einem Unternehmen fehlt. Sie ist jedoch für die Unterstützung von Konstrukteuren und somit für einen praktischen Einsatz notwendig. Die Anwendung ist in diesem Kontext als eine unterstützenswerte Konstrukteurstätigkeit zu verstehen, in der der Konstrukteur ein Produkt konstruiert. Das Kernsystem wird mithilfe der vorgestellten Vorgehensweise zu einem anwendungsspezifischen ProKon-System entwickelt.

Das ProKon-Basissystem stellt ein agentenbasiertes Konstruktionssystem dar. Es unterstützt Konstrukteure mithilfe der Konsistenzprüfung von Produktmodellen im CAD-System in Bezug auf die Erfüllung von Funktion, Anforderungen und Gestaltungsrichtlinien. Daran schließen sich eine Lösungsfindung und eine Lösungsumsetzung an. Das Wissensintegrationssystem ist ein Werkzeug der direkten Wissensakquise und wird im Betrieb des ProKon-Systems zur benutzerdefinierten Anpassung der Wissensbasis eingesetzt. Die vorliegende Arbeit fokussiert das Basissystem.

Bisherige Vorgehensweisen zur Entwicklung von wissensbasierten Systemen, wissensbasierten Konstruktionssystemen und Agentensystemen erfüllen die an die vorgestellte Vorgehensweise gestellten Anforderungen in einem geringen Maße. Dies konnte aufgrund des heterogenen Untersuchungsgegenstands (wissensbasiertes Agentensystem in der Konstruktion) erwartet werden. Die existierenden Vorgehensweisen bilden allerdings eine Grundlage für diese Arbeit.

Die erarbeitete Vorgehensweise besitzt einen modellbasierten Aufbau und orientiert sich dabei an der Vorgehensweise CommonKADS. Es wird eine Unterscheidung zwischen der Wissensebene und der Symbolebene vorgenommen. Diese führt zur Trennung der konzeptuellen Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems durch den Wissensingenieur (Wissensebene) von der rechnerischen Umsetzung durch den Softwareingenieur (Symbolebene). Der Wissensingenieur steht

in der vorliegenden Arbeit im Mittelpunkt der Betrachtung. Der Entscheider im Unternehmen und die Konstrukteure stellen Nebenrollen dar.

Die Vorgehensweise besteht aus der Erarbeitung eines Organisationsmodells, eines Agentenmodells und eines Wissensmodells. Die Methoden zur Erarbeitung des Organisationsmodells unterstützen Wissensingenieure bei der Analyse der Anwendung und des Unternehmens. Es soll dabei identifiziert werden, ob das agentenbasierte Konstruktionssystem ProKon Konstrukteure innerhalb der Anwendung unterstützen kann. Es wurde ein Kriterienset mit 31 Kriterien aufgestellt, das implizit die ideale Anwendung für das ProKon-Basissystem repräsentiert. Die methodische Fundierung lieferte das Konstruktionssystem nach Hubka und Eder [HUBKA92]. Durch die vorliegende Arbeit wurde festgestellt, dass mit der Analyse des Umfelds, des Konstruktionsprozesses, des Konstruktionsobjekts (d. h. des Produkts) und der Charakterisierung der Konstrukteure eine umfassende Unternehmenssicht gewonnen wird.

Darauf aufbauend, erarbeitet der Wissensingenieur ein Agentenmodell. Mithilfe des C&C<sup>2</sup>-A, als ein Ansatz aus der Produktentwicklung, werden die anwendungsspezifischen Agenten identifiziert. Diese sind zum einen Objektagenten, die eine Patenschaft für ein Bauteil, eine Baugruppe oder eine Verbindung übernehmen. Zum anderen erfolgt die Identifikation von Fachagenten, die jeweils das Grundlagenwissen einer Wissensdomäne besitzen. Hierfür ist das Produkt durch die Anwendung der Systemgrenze, Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen zu analysieren. Die Kraftflussbetrachtung erfolgt an mehreren System- oder Betriebszuständen.

Den im Agentenmodell repräsentierten Fachagenten und den Aspektagenten ist anschließend Ziel- und Grundlagenwissen zuzuordnen. Hierzu befähigen die Schritte im Vorgehen zur Erarbeitung des Wissensmodells den Wissensingenieur. Durch das „Prinzip der Kompetenz“ werden nur die Wissensorte im Unternehmen identifiziert, die das für die Unterstützung der Anwendung richtige Wissen beinhalten. So ist es bspw. zweckmäßig, nicht nur unmittelbar am Konstruktionsprozess beteiligte Personen im Unternehmen in die Wissensakquise mit einzubinden. Es kommen generell materielle und personelle Wissensorte in Frage. Dieses Prinzip wird im Schritt der Wissensidentifikation umgesetzt. Das „Prinzip der Rolle“ stellt dagegen sicher, dass nur den Agenten, die die entsprechende Rolle besitzen, das Wissen zugeordnet wird. Es findet somit keine 1:1-Abbildung von Wissen eines Wissensortes (z. B. von einem menschlichen Experten) auf einen Agenten statt. Vielmehr erhält der Agent das Wissen, welches er für die Ausübung seiner Rolle im Agentensystem benötigt. Hierfür wird ihm Wissen von

mehreren Wissensorten zur Verfügung gestellt. Für die Umsetzung dieses Prinzips wurde der Schritt der Wissensstrukturierung entwickelt. Das identifizierte und strukturierte Wissen wird anschließend über die Schritte Wissenserhebung, Wissensanalyse und Wissensrepräsentation semi-formal repräsentiert. Die Dokumente werden an den Softwareingenieur für die formale Implementierung auf der Symbolebene übergeben.

Innerhalb des ProKon-Projekts wurde die Vorgehensweise in der industriellen Praxis und im akademischen Umfeld validiert und verifiziert. Das Agentenmodell und das Wissensmodell konnten für eine beispielhafte Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems erarbeitet werden. Es wurde nachgewiesen, dass die Vorgehensweise die aufgestellten Schlüsselfaktoren positiv beeinflusst. Die Vorgehensweise trägt dazu bei, die Funktionalität des ProKon-Basissystems zu erhöhen. Wie die Evaluation im ProKon-Projekt zeigte, reduzierte sich der Zeitanteil zur Informationsrecherche, -bewertung und -umsetzung. Gleichzeitig erhöht sich der „Gestaltungsgrad“ eines Produkts. Nur der Zeitanteil zur Verbesserung und Überarbeitung von Produkten konnte nicht eindeutig reduziert werden, wie die Konstrukteure aus der industriellen Praxis bescheinigten.

Mit der Vorgehensweise wurde eine Voraussetzung geschaffen, die es erlaubt, ein anwendungsspezifisches ProKon-System methodisch zu entwickeln. Zudem konnten für agentenbasierte Konstruktionssysteme als Systemform ideale Anwendungen identifiziert werden. In einigen Punkten besitzt die Vorgehensweise noch Potenziale für künftige Forschungsaktivitäten.

## 9 Ausblick

Aus der Nichterfüllung einiger Anforderungen und aus den Rückmeldungen der Gespräche mit den Fachexperten lassen sich Weiterentwicklungspotenziale für die Vorgehensweise ableiten. Für eine benutzerfreundliche Anwendung der Vorgehensweise ist ein übergreifender Handlungsleitfaden notwendig, der u. a. die flexible Handhabung der Modelle sicherstellt. Daraus ergibt sich eine Zeitersparnis. Im Organisationsmodell sind die Kriterien mit weiteren Hintergrundinformationen zu detaillieren sowie die Schritte der Bewertung und Entscheidungsfindung zu operationalisieren. Weiterhin kann die Unternehmensanalyse dadurch verbessert werden, indem mehrere Konstruktionsprozesse gleichzeitig analysiert werden. Das Aufstellen eines Prozess-Portfolios ist möglich. Nicht notwendig ist somit die Festlegung einer festen Bestehensgrenze (d. h. eines Mindestpunktwerts), ab der ein Konstruktionsprozess für die Unterstützung durch das ProKon-System geeignet ist. Unter Berücksichtigung gewisser Pflichtkriterien (z. B. ausreichend wissensintensiver Konstruktionsprozess) ist vielmehr der Prozess mit dem ProKon-System zu unterstützen, der im Benchmark am besten abgeschnitten hat.

Innerhalb der Methode zur Erarbeitung des Agentenmodells ist der Einsatz der Symbolsprache im C&C<sup>2</sup>-A zu prüfen, die bereits durch Albers et al. [ALBERS05], Binz [BINZ13] und Titzschkau [TITZSCHKAU05] in der Konstruktion und Produktentwicklung Einsatz findet. Durch die Symbolsprache wird das Produktmodell detaillierter analysiert.

Neben den in der vorliegenden Arbeit im Fokus stehenden Wissenstypen Ziel- und Grundlagenwissen, ist es möglich, das Strategie- und Umweltwissen zu verarbeiten. Dies ist zielführend, sofern Heuristiken von Konstrukteuren zur Verbesserung der agenteninternen Problemlösung mit repräsentiert werden sollen (Strategiewissen). Die Berücksichtigung von Umweltwissen ist insofern notwendig, wenn die Meta-Modelle zur automatisierten Erkennung der Bauteile durch die Agenten eingesetzt werden. Die Meta-Modelle können mit dem Vorgehen zur Erarbeitung des Wissensmodells erarbeitet werden.

Letztlich sind die Evaluationssystematik und der ausgearbeitete Evaluationsplan aufzugreifen, um damit eine umfassende Evaluation durchzuführen. Dies stellt nach der Design Research Methodology nach Blessing und Chakrabarti [BLESSING09, S. 195 f.] eine „Comprehensive DS-II“ dar. Eine umfassende Evaluation in der industriellen Praxis ist zweckmäßig. Dies könnte bspw. innerhalb eines Transferprojekts erfolgen.

## Literatur

- ABECKER02 ABECKER, A.; HINKELMANN, K.; MAUS, H.; MÜLLER, H.: Integrationspotenziale für Geschäftsprozesse und Wissensmanagement. In: ABECKER, A. (Hrsg.): *Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement: Effektive Wissensnutzung bei der Planung und Umsetzung von Geschäftsprozessen*. Berlin: Springer-Verlag, 2002, S. 1-24.
- AGARWAL94 AGARWAL, R.; PRASAD, K.: A blackboard framework for the design of group decision support systems. In: *Behaviour & Information Technology* 13 (1994), Nr. 4, S. 277-284.
- AHMED05 AHMED, S.; HACKER, P.; WALLACE, K.: The Role of Knowledge and Experience in Engineering Design. In: NORELL BERGENDAHL, M.; GRIMHEDEN, M.; LEIFER, L.; SKOGSTAD, P.; LINDEMANN, U. (Hrsg.): *Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design (ICED'05)*, 2005, S. 206-218.
- ALBERS05 ALBERS, A.; BURKHARDT, N.; OHMER, M.: Approaches for the synthesis of technical systems within the contact and channel model C&C-M. In: SAMUEL, A.; LEWIS, W. (Hrsg.): *Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design (ICED'05)*, 2005, S. 3491-3501.
- ALBERS09 ALBERS, A.; BRAUN, A.; CLARKSON, P. J.; ENKLER, H.-G.; WYNN, D. C.: Contact and Channel Modeling to Support Early Design of Technical Systems. In: NORELL BERGENDAHL, M.; GRIMHEDEN, M.; LEIFER, L.; SKOGSTAD, P.; LINDEMANN, U. (Hrsg.): *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design (ICED'09)*. Stanford, 2009, S. 61-72.
- ALBERS10 ALBERS, A.: The Integrated Product Engineering Model (iPeM) and its Central Hypotheses. In: *Proceedings of the TMCE 2010*, April 12-16, Ancona, Italy, 2010.
- ALMEFELT03 ALMEFELT, L.; ANDERSSON, F.; NILSSON, P.; MALMQVIST, J.: Exploring requirements management in the automotive industry. In: NORELL, M.; ANDERSSON, S.; JOHANNESSON, H. (Hrsg.): *Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED03*, 2003, S. 63-64.
- AMELINGMEYER02 AMELINGMEYER, J.: *Wissensmanagement: Analyse und Gestaltung der Wissensbasis von Unternehmen*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2002.
- AMERI08 AMERI, F.; SUMMERS, J.; MOCKO, G.; PORTER, M.: Engineering design complexity: an investigation of methods and measures. In: *Research in Engineering Design* 19 (2008), Nr. 2-3, S. 161-179.
- ANGELE98A ANGELE, J.; FENSEL, D.; STUDER, R.: Vorgehensmodelle für die Entwicklung wissensbasierter Systeme. In: *Vorgehensmodelle für die betriebliche Anwendungsentwicklung*. Stuttgart: Teubner, 1998, S. 1-22.

- ANGELE98B ANGELE J.; FENSEL D.; LANDES D.; STUDER, R.: *Developing Knowledge-Based Systems with MIKE*. In: *Automated Software Engineering* 5 (1998), Nr. 4, S. 389-418.
- ARLT00 ARLT, M.: *Agentenbasierte Systemarchitekturen für Produktdatenmanagementsysteme: Grundlagen und Konzepte*. Darmstadt, Technische Universität, Dissertation, 2000.
- ARNDT08 ARNDT, H.: *Eine Ontologie-basierte Methode zur Entscheidungsunterstützung in der Produktentwicklung*. Berlin, Technische Universität, Dissertation, 2008.
- AUER07 AUER, S.: *Towards agile knowledge engineering: Methodology, concepts and applications*. Leipzig, Universität, Fakultät für Mathematik und Informatik, Dissertation, 2007.
- AYLETT98 AYLETT, R.; BRAZIER, F.; JENNINGS, N.; LUCK, M.; NWANA, H.; PREIST, C.: *Agent Systems and Applications*. In: *The Knowledge Engineering Review* 13 (1998), Nr. 3, S. 303-308.
- BACHSCHUSTER97 BACHSCHUSTER, S.: *Architektur und Konzept zur Realisierung eines produktspezifisch erweiterbaren Konstruktionssystems*. Erlangen-Nürnberg, Universität, Dissertation, 1997.
- BANCROFT00 BANCROFT, C. N.; CRUMP, S. J.; LOVETT, P. J.; BONE, D.; KNIGHTLEY, N. J.: *Taking KBE into the Foundry*. In: *Proceedings of the 7th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Lyon, France, S. 17-24*.
- BARTH07 BARTH, T.; LÜTKE ENTRUP, C.; SCHÄFER, W.: *Unterstützung wissensintensiver Prozesse im Produktlebenszyklus durch Suche in Produkt- und Prozessdaten*. In: OBERWEIS, A.; WEINHARDT, C.; GIMPEL, H. (Hrsg.): *eOrganisation. Service-, Prozess-, Market-Engineering: 8. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2007): Karlsruhe (28.02.-02.03.2007)*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, 2007.
- BASHIR99 BASHIR, H. A.; THOMSON, V.: *Estimating Design Complexity*. In: *Journal of Engineering Design* 10 (1999), Nr. 3, S. 247-257.
- BAUER13 BAUER, R.: *Entwicklungsmethoden für agentenbasierte Systeme*. In: GÖHNER, P. (Hrsg.): *Agentensysteme in der Automatisierungstechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2013, S. 63-77.
- BAUERT88 BAUERT, F.: *Entwicklung von Werkzeugen zur Produktmodellierung - Bestandteil eines Systemkonzepts zur rechnergestützten Gestaltung von Konstruktionselementen (GEKO)*. In: *Konstruktion* 40 (1988), Nr. 3, S. 90-96.
- BEHR96 BEHR, B.: *Werkzeuge für die rechnerunterstützte Konstruktion auf der Basis autonomer Wissensdarstellungsformen*. Aachen, RWTH, Dissertation, 1996.
- BEIERLE06 BEIERLE, C.: *Methoden wissensbasierter Systeme: Grundlagen - Algorithmen - Anwendungen*. 3. Aufl. Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH, 2006.

- BERGER04 BERGER, B.: *Modularisierung von Wissen in der Produktentwicklung. Ein Beitrag zur einheitlichen Aufbereitung und individuellen Nutzung in Lehre und Praxis*. Darmstadt, Technische Universität, Dissertation, 2004.
- BERMELL-GARCIA02 BERMELL-GARCIA, P.; MULET, E.; VIDAL, R.: A multi-agent system to support engineering design. In: *7th International Conference on Artificial Intelligence in Design '02*, 2002, S. 1-6.
- BERMELL-GARCIA12 BERMELL-GARCIA, P.; VERHAGEN, W. J. C.; ASTWOOD, S.; KRISHNAMURTHY, K.; JOHNSON, J. L.; RUIZ, D.; SCOTT, G.; CURRAN, R.: A framework for management of Knowledge-Based Engineering applications as software services: Enabling personalization and codification. In: *Advanced Engineering Informatics* 26 (2012), Nr. 2, S. 219-230.
- BIMAZUBUTE05 BIMAZUBUTE, R.: *Die Nachbereitung von Experteninterviews im expertenzentrierten Wissensmanagement*. Erlangen-Nürnberg, Universität, Dissertation, 2005.
- BINZ13 BINZ, H.: *Konstruktionslehre I*. Stuttgart, Universität, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Skript zur Vorlesung, 2013.
- BLESSING09 BLESSING, L. T. M.; CHAKRABARTI, A.: *DRM, a Design Research Methodology*. London: Springer-Verlag, 2009.
- BLUDAU02 WELP, E. G.; BLUDAU, C.: Wissensbasierte Modellierung mechatronischer Produktkonzepte mit ModCoDe und WISENT. In: *47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der Technischen Universität Ilmenau*, 2002.
- BODENDORF06 BODENDORF, F.: *Daten- und Wissensmanagement*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.
- BOHINC03 BOHINC, T.: Wissenskultur - Begriff und Bedeutung. In: REIMER, U. (Hrsg.): *WM2003: Professionelles Wissensmanagement - Erfahrungen und Visionen: Beiträge der 2. Konferenz Professionelles Wissensmanagement - Erfahrungen und Visionen, 2.-4. April 2003 in Luzern, Schweiz*. Bonn: Gesellschaft für Informatik, 2003, S. 371-379.
- BOHLEN57 BOHLEN, J. M.; BEAL, G. M.: The Diffusion Process. In: *Special Report 1* (1957), S. 56-77.
- BREIING95 BREIING, A.: *Theorien und Methoden zur Unterstützung konstruktionstechnischer Entscheidungsprozesse*. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule, Habilitationsschrift, 1995.
- BREITLING88 BREITLING, F. Wissensbasiertes Konstruktionssystem. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 83 (1988), Nr. 11, S. 563-565.
- BROY07 BROY, M.; GEISBERGER, E.; KAZMEIER, J.; RUDORFER, A.; BEETZ, K.: Ein Requirements-Engineering-Referenzmodell. In: *Informatik-Spektrum* 30 (2007), Nr. 3, S. 127-142.

- BROY09 BROY, M.: Die Zukunft liegt im Software und Systems Engineering. In: *ATZelextronik* (2009), Nr. 4, S. 9.
- BROY10 BROY, M.: Die Arbeitsweise muss sich ändern. In: *ATZelextronik* (2010), Nr. 6, S. 76.
- BÜCKNER02 BÜCKNER, J.: *Ein wissensbasiertes System zur automatischen Extraktion von semantischen Informationen aus digitalen Fernerkundungsdaten*. Hannover, Universität, Dissertation, 2002.
- BÜSCH13 BÜSCH, B.: *Systematische Überführung von Konstruktionswissen aus Wissensdatenbanken in PKF-Sammlungen*. Stuttgart, Universität, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Diplomarbeit, 2013.
- CAIRE01 CAIRE, G.; COULIER, W.; GARIJO, F.; GOMEZ, J.; PAVON, J.; LEAL, F.; CHAINHO, P.; KEARNEY, P.; STARK, J.; EVANS, R.; MASSONET, P.: Agent Oriented Analysis Using Message/UML. In: WOOLDRIDGE, M. J.; WEIß, G.; CIANCARINI, P. (Hrsg.): *AOSE 2001, Lecture Notes in Computer Science 2222*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, S. 119-135.
- CALKINS00 CALKINS, D. E.: Knowledge-Based Engineering (KBE) Design Methodology at the Undergraduate and Graduate Levels. In: *International Journal of Engineering* 16 (2000), Nr. 1, S. 21-38.
- CAMPELL99 CAMPBELL, M. I.; CAGAN, J.; KOTOVSKY, K.: A-Design: An Agent-Based Approach to Conceptual Design in a Dynamic Environment. In: *Research in Engineering Design* 11 (1999), Nr. 3, S. 172-192.
- CAMPELL03 CAMPBELL, M. I.; CAGAN, J.; KOTOVSKY, K.: The A-Design approach to managing automated design synthesis. In: *Research in Engineering Design* 14 (2003), Nr. 1, S. 12-24.
- CANDI07 CANDI, M.: The role of design in the development of technology-based services. In: *Design Studies* 28 (2007), Nr. 6, S. 559-583.
- CHATTERJEE00 CHATTERJEA, K.: Knowledge Management: The most likely prime-over for the next decade. In: *Towards a knowledge-driven marine industry*. Singapore, 2000, S. 1-7.
- COATES06 COATES, G.: Agent co-ordination aided distributed computational engineering design. In: *Expert Systems with Applications* 31 (2006), Nr. 4, S. 776-786.
- CUTKOSKY93 CUTKOSKY, M. R.; ENGELMORE, R. S.; FIKES, R. E.; GENESERETH, M. R.; GRUBER, T. R.; MARK, W. S.; TENENBAUM, J. M.; WEBER, J. C.: PACT: an experiment in integrating concurrent engineering systems. In: *Computer* 26 (1993), Nr. 1, S. 28-37.
- DALAKAKIS05 DALAKAKIS, S.; DIEDERICH, M.; ROLLER, D.; WARSCHAT, J.: Multiagentensystem zur Wissenskommunikation in der Produktentstehung - Rapid Product Development. In: FERSTL, O. K.; SINZ, E. J.; ECKERT, S.; ISSELHORST, T. (Hrsg.): *Wirtschaftsinformatik 2005: 7. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik 2005 (WI2005)*, 23. - 25. Februar 2005. Heidelberg: Physica-Verlag, 2005, S. 1621-1640.

- DAVENPORT98 DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L.: *Working Knowledge. How organizations manage what they know*. 2. Aufl. Boston: Harvard Business School Press, 1998.
- DECKER97 DECKER, S.; DANIEL, M.; ERDMANN, M.; STUDER, R.: An Enterprise Reference Scheme for Integrating Model Based Knowledge Engineering and Enterprise Modelling. In: PLAZA, E.; BENJAMINS, R. (Hrsg.): *Knowledge acquisition, modeling and management: 10th European workshop, EKAW '97*. Berlin: Springer-Verlag, 1997, S. 81-96.
- DEGENER99 DEGENER, M.: Wissensmanagement im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess. In: ZÖLCH, M.; WEBER, W. G. (Hrsg.): *Praxis und Gestaltung kooperativer Arbeit*. 1. Aufl. Zürich: Hochschulverlag an der ETH Zürich, 1999.
- DELOACH99 DELOACH, S. A.: Multiagent Systems Engineering: A Methodology and Language for Designing Agent Systems. In: BURKHARD, H.-D (Hrsg.): *Agent-Oriented Information Systems*. Seattle, 1999, S. 1-9.
- DIEDERICH06 DIEDERICH, M. K.: *Eine agentenbasierte Architektur zur Anwendung semantischer Netze im Rapid Product Development*. Stuttgart, Universität, Dissertation, 2006.
- DIN 5471 1974 DIN 5471 August 1974. *Werkzeugmaschinen; Keilwellen- und Keilnaben-Profile mit 4 Keilen, Innenzentrierung, Maße*.
- DIN 7190 2001 DIN 7190 Februar 2001. *Pressverbände. Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln*.
- DOAN11 DOAN, Q. M.; ROSENTHAL-SABROUX, C.; GRUNDSTEIN, M.: A Reference Model for Knowledge Retention within Small and Medium-sized Enterprises. In: LIU, K. (Hrsg.): *International Conference on Knowledge Management and Information Sharing*, 2011, S. 306-311.
- DOIGNON88 DOIGNON, J. P.; FALMAGNE, J. C.: Parametrization of knowledge structures. In: *Discrete Applied Mathematics* 21 (1988), Nr. 2, S. 98-100.
- DÜSSELMANN07 DÜSSELMANN, S.: *Konzept zur Unterstützung der Informationssuche im Konstruktionsprozess*. Berlin, Technische Universität, Dissertation, 2007.
- ECKERT04 ECKERT, C.; CLARKSON, P. J.; ZANKER, W.: Change and customisation in complex engineering domains. In: *Research in Engineering Design* 15 (2004), Nr. 1, S. 1-21.
- EDER08 EDER, W.; HOSNEDL, S.: *Design Engineering. A Manual for Enhanced Creativity*. 1. Aufl, Boca Raton: CRC Press, 2009.
- EHRENSPIEL89 EHRENSPIEL, K.; TROPSCHUH, P. F.: Anwendung eines wissensbasierten Systems für die Synthese - Beispiel: Das Projektieren von Schiffsgetriebenen. In: *Konstruktion* 41 (1989), S. 283-292.

- EHRENSPIEL90 EHRENSPIEL, K.: Wissensbasierte Systeme im Konstruktionsbereich - Vergleich zur konventionellen Programmierung. In: Kollmann, F. G.; Müller, U. (Hrsg.): *Festschrift Gerhard Pahl zu seinem 65. Geburtstag*. Darmstadt, 1990, S. 283-292.
- EHRENSPIEL09 EHRENSPIEL, K.: *Integrierte Produktentwicklung*. 4. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2009.
- EIGNER08 EIGNER, M.; STELZER, R.: *Product lifecycle management: Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer-Verlag, 2009.
- EMBEREY07 EMBEY, C. L.; MILTON, N. R.; BERENDS, J.; VAN TOOREN, M. J. L.; VAN DER ELST, S. W. G.; VERMEULEN, B.: Application of Knowledge Engineering Methodologies to Support Engineering Design Application Development in Aerospace. In: *7th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO): 2nd Centre of Excellence for Integrated Aircraft Technologies (CEIAT), International Conference on Innovation and Integration in Aerospace Sciences and 17th Lighter-Than-Air Systems Technology Conference (LTA)*. Belfast, 2007 (sc), S. 1-13.
- EPPLER99 EPPLER, M. J.; SEIFRIED, P.; RÖPNACK, A.: Improving Knowledge Intensive Processes through an Enterprise Knowledge Medium. In: PRASAD, J. (Hrsg.): *Managing Organizational Knowledge for Strategic Advantage: The Key Role of Information Technology and Personnel. Proceedings of the 1999 ACM SIGCPR Conference*, 1999, S. 372-389.
- EVERSHEIM88 EVERSHEIM, W.; NEITZEL, R.: Ein Expertensystem für die Vorrichtungskonstruktion. In: *Konstruktion* 40 (1988), Nr. 3, S. 97-101.
- EVERSHEIM03 EVERSHEIM, W.: *Innovationsmanagement für technische Produkte: Mit Fallbeispielen*. Berlin, Heidelberg, New York, Hongkong, London, Mailand, Paris, Tokio: Springer, 2003.
- EVERSHEIM05 EVERSHEIM, W.; SCHUH, G.: *Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
- FANG08 FANG, W.; TANG, M. X.; FRAZER, J. H.: Constructing an Intelligent Collaborative Design Environment with Distributed Agents. In: *The 8th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design Proceedings*, 2008, S. 329-335.
- FELDHUSEN89 FELDHUSEN, J.: Durchgängige und flexible Rechnerunterstützung der Konstruktion. In: *Konstruktion* 41 (1989), S. 47-56.
- FERBER01 FERBER, J.: *Multi-Agent Systems. An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Harlow: Addison-Wesley, 1999.
- FRANKE07 FRANKE, H.; GAUSEMEIER, J.; KRAUSE, F.: *Innovationspotenziale in der Produktentwicklung*. München: Hanser, 2007.
- FREUND04 FREUND, G.: *Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Einführung von Digital Mock-Up-Techniken in den Produktentwicklungsprozess der Automobilindustrie*. Freiberg, Technische Universität Bergakademie, Dissertation, 2004.

- FROST96 FROST, H. R.; CUTKOSKY, M. R.: Design for manufacturability via agent interaction. In: *Proceedings of the ASME Design for Manufacturing Conference*, 1996, S. 1-8.
- FUNKAT03 FUNKAT, A.; FUNKAT, G.: *Prozessbasiertes Knowledge Engineering in medizinischen Problemfeldern*. Ilmenau, Technische Universität, Dissertation, 2003.
- GEBUS09 GEBUS, S.; LEIVISKÄ, K.: Knowledge acquisition for decision support systems on an electronic assembly line. In: *Expert Systems with Applications* 36 (2009), Nr. 1, S. 93-101.
- GEHRKE05 GEHRKE, M.: *Entwurf mechatronischer Systeme auf Basis von Funktionshierarchien und Systemstrukturen*. Paderborn, Universität, Dissertation, 2005.
- GERO04 GERO, J.; BRAZIER, F. M. T.: Special Issue: Intelligent agents in design. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 18 (2004), Nr. 2, S. 113.
- GILLENKIRCH07 GILLENKIRCH, R. M.; VELTHUIS, L. J.: Zielsysteme. In: KÖHLER, R. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*. 6. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2007, S. 2029-2038.
- GLASER96 GLASER, N.: The CoMoMAS Methodology and Environment for Multi-Agent System Development. In: ZHANG, C.; LUKOSE, D. (Hrsg.): *Multi-Agent Systems Methodologies and Applications. Second Australian Workshop on Distributed Artificial Intelligence Cairns, QLD, Australia, August 27, 1996 Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1996, S. 1-16.
- GÖRZ03 GÖRZ, G.: *Handbuch der künstlichen Intelligenz*. 4. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2003.
- GRABOWSKI97 GRABOWSKI, H.; GEIGER, K.: *Neue Wege zur Produktentwicklung*. Stuttgart: Raabe, 1997.
- GRABOWSKI02 GRABOWSKI, H. (Hrsg.): *Rechnerunterstützte Produktentwicklung und -herstellung auf der Basis eines integrierten Produkt- und Produktionsmodells. Ausgewählte Beiträge des Sonderforschungsbereichs 346 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)*. Aachen: Shaker, 2002.
- GROEGER90 GROEGER, B.: Ein System zur rechnerunterstützten und wissensbasierten Bearbeitung des Konstruktionsprozesses. In: *Konstruktion* 42 (1990), S. 91-96.
- GROEGER92 GROEGER, B.: *Die Einbeziehung der Wissensverarbeitung in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess*. Berlin, Technische Universität, Dissertation, 1992.
- GRONAU03 GRONAU, N.: Die Knowledge Modeler Description Language (KMDL): Sprache zur Modellierung wissensintensiver Geschäftsprozesse. In: *Industrie Management* 19 (2003), Nr. 3, S. 9-13.
- GRONAU05 GRONAU N.; MÜLLER C.; KORF R.: KMDL - Capturing, Analysing and Improving Knowledge-Intensive Business Processes. In: *Journal of Universal Computer Science* 11 (2005) 4, S. 452-472.

- GRONAU06 GRONAU, N.; FRÖMING, J.: KMDL: Eine semiformale Beschreibungssprache zur Modellierung von Wissenskonversionen. In: *Wirtschaftsinformatik* 48 (2006), Nr. 5, S. 349-360.
- GRONAU09 GRONAU, N.: *Wissens prozessorientiert managen: Methoden und Werkzeuge für die Nutzung des Wettbewerbsfaktors Wissen in Unternehmen*. München: Oldenburg, 2009.
- GRUNDSTEIN03 GRUNDSTEIN, M.; ROSENTHAL-SABROUX, C.; PACHULSKI, A.: Reinforcing decision aid by capitalizing on company's knowledge: Future prospects. In: *European Journal of Operational Research* 145 (2003), Nr. 2, S. 256-272.
- GÜLDENBERG97 GÜLDENBERG, S.: *Wissensmanagement und Wissenscontrolling in lernenden Organisationen: Ein systemtheoretischer Ansatz*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 1997.
- GÜNTHER91 GÜNTHER, W.; SAßE, J.: Unterstützung konstruktiver Entwicklungsprozesse durch Methoden der Wissensverarbeitung. In: *Konstruktion* 43 (1991), S. 207-213.
- HAASIS95A HAASIS, S.: *Integrierte CAD-Anwendungen: Rationalisierungspotentiale und zukünftige Einsatzgebiete*. Berlin: Springer-Verlag, 1995.
- HAASIS95B HAASIS, S.: *Wissens- und featurebasierte Unterstützung der Konstruktion von Stirnradgetrieben unter besonderer Berücksichtigung des Gußgehäuses*. Chemnitz-Zwickau, Technische Universität, Dissertation, 1995.
- HAUSCHILDT11 HAUSCHILDT, J.; SALOMO, S.: *Innovationsmanagement*. München: Vahlen, 2011.
- HEESEN09 HEESEN, M.: *Innovationsportfoliomanagement*. Wiesbaden: Gabler, 2009.
- HEISIG05 HEISIG, P.: *Integration von Wissensmanagement in Geschäftsprozesse*. Berlin, Technische Universität, Dissertation, 2005.
- HELD90 HELD, H.-J.; OREL, P.; WEINBRENNER, V.: Wissensbasierte Unterstützung des Konstruktionsprozesses, Teil 1 und 2. In: *CAD-CAM Report* 9 (1990), Nr. 3, S. 64-68 und Nr. 5, S. 126-132.
- HERTZUM00 HERTZUM, M.; PEJTERSEN, A. M.: The information-seeking practices of engineers: searching for documents as well as for people. In: *Information Processing & Management* 36 (2000), Nr. 5, 761-778
- HICKS02 HICKS, B. J.; CULLEY, S. J.; ALLEN, R. D.; MULLINEUX, G.: A framework for the requirements of capturing, storing and reusing information and knowledge in engineering design. In: *International Journal of Information Management* 22 (2002), Nr. 4, S. 263-280.
- HUA08 HUA, J.: Study on Knowledge Acquisition Techniques. In: ZHOU, Q.; LUO, J. (Hrsg.): *IITA 2008: Proceedings, 2008 International Symposium on Intelligent Information Technology Application: December 21-22, 2008, Shanghai, China*. Piscataway, New Jersey, IEEE Computer Society, 2008, S. 181-185.

- HUANG96 HUANG, G. Q.: *Design For X: Concurrent Engineering Imperatives*. 1. Aufl. Padstow: T. J. Press, 1996.
- HUBER09 HUBER, F.; HERRMANN, A.; BRAUNSTEIN, C.: Der Zusammenhang zwischen Produktqualität, Kundenzufriedenheit und Unternehmenserfolg. In: HINTERHUBER, H. H.; MATZLER, K. (Hrsg.): *Kundenorientierte Unternehmensführung: Kundenorientierung - Kundenzufriedenheit - Kundenbindung*. 6. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2009.
- HUBKA92 HUBKA, V.; EDER, E.: *Einführung in die Konstruktionswissenschaft: Übersicht, Modell, Ableitungen*. 1. Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 1992.
- IGLESIAS96 IGLESIAS, C. A.; GARIJO, M.; GONZALES, J. C.; VELASCO, J. R.: A Methodological Proposal for Multiagent Systems Development extending CommonKADS. In: GAINES, B. (Hrsg.): *Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems*, 1996, S. 1-17.
- IGLESIAS98 IGLESIAS, C. A.; GARIJO, M.; GONZALES, J. C.; VELASCO, J. R.: Analysis and Design of Multiagent Systems using MAS-CommonKADS. In: *Intelligent Agents IV Agent Theories, Architectures, and Languages*, 1998, S. 313-327.
- IGLESIAS99 IGLESIAS, C. A.; GARIJO, M.; GONZALES, J. C.: A Survey of Agent-Oriented Methodologies. In: MÜLLER, J. P.; RAO, A. S.; SINGH, M. P. (Hrsg.): *Intelligent agents V: Agent theories, architectures, and languages: 5th international workshop, ATAL '98, Paris, France, July 4-7, 1998, proceedings*. Berlin: Springer-Verlag, 1999, S. 317-330.
- ISHINO01 ISHINO, Y.; JIN, Y.: Acquiring engineering design knowledge from design processes. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 16 (2001), Nr. 2, S. 73-91.
- IVES97 IVES W.; TORREY, B.; GORDON, C.: Knowledge Management: An Emerging Discipline with a Long History. In: *Journal of Knowledge Management* 1 (1997), Nr. 4, 269-274.
- JAGO09 JAGO, M.: Epistemic Logic for Rule-Based Agents. In: *Journal of Logic, Language and Information* 18 (2009), Nr. 1, S. 131-158.
- JARRATT05 JARRATT, T.; CLARKSON, J.; ECKERT, C.: *Engineering change*. In: CLARKSON, J.; ECKERT, C. (Hrsg.): *Design process improvement. A review of current practice*. London: Springer-Verlag, 2005, S. 262-285.
- JENNINGS00 JENNINGS, N. R.: On agent-based software engineering. In: *Artificial Intelligence* 117 (2000), Nr. 2, S. 277-296.
- JUNG06 JUNG, C.: *Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung*. München, Technische Universität, Dissertation, 2006.
- JUNGKURZ05 JUNGKURZ, R. M.: *PDM-basierte Überwachung komplexer Entwicklungsprojekte*. München, Technische Universität, Dissertation, 2005.

- JUTZI11 JUTZI, P.; Engeln, W.; Blattert, P.: Wissensmanagement in der Produktentwicklung. In: *Industrie Management* 27 (2011) Nr. 4, S. 43-46.
- KADADIHI12A KADADIHI, R.: Vorstellung der Konsistenzprüfung WIS. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 02.07.2012*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2012, S. 20-28.
- KADADIHI12B KADADIHI, R.: Wissensintegrationssystem - Verteilung von Wissens auf Agenten. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 29.10.2012*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2012, S. 33-42.
- KAHNEMAN12 KAHNEMAN, D.: *Schnelles Denken, langsames Denken*. München: Siedler, 2012.
- KANDZIORA88 KANDZIORA, B.: *CAD/CAM-System zur Planung und Simulation automatischer Montagevorgänge*. Karlsruhe, Universität, Dissertation, 1988.
- KARBACH90 KARBACH, W.; LINSTER, M.: *Wissensakquisition für Expertensysteme: Techniken, Modelle und Softwarewerkzeuge*. München, Wien: Hanser, 1990.
- KATZENBACH95 KATZENBACH, A.; BROCK, H. -J.; MÜLLER, F.: WKS: Ein wissensbasiertes Konstruktionssystem für Presswerkzeuge im Automobilbau. In: VDI-EKV (Hrsg.): *Wissensverarbeitung in Entwicklung und Konstruktion: Nutzen und neue Chancen*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1995, S. 19-39.
- KATZENBACH11 KATZENBACH, A.; STEIERT, H.-P: Engineering-IT in der Automobilindustrie - Wege in die Zukunft. In: *Informatik-Spektrum* 34 (2011), Nr. 1, S. 7-19.
- KATZENBACH12 KATZENBACH, A.: *Informationstechnik und Wissensverarbeitung in der Produktentwicklung*. Stuttgart, Universität, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Skript zur Vorlesung, 2012.
- KATZENBACH13 KATZENBACH, A.: Informationstechnik und Wissensverarbeitung in der Produktentwicklung. Vortrag zum Thema Wissensmanagement, Stuttgart, Universität, 2013-05-07, 8:00-9:30 Uhr.
- KELLER09 KELLER, A.; BINZ, H.: Requirements on engineering design methodologies. In: NORELL BERGENDAHL, M.; GRIMHEDEN, M.; LEIFER, L.; SKOGSTAD, P.; LINDEMANN, U. (Hrsg.): *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design (ICED'09)*. Stanford, Vol. 2, S. 203-214.
- KENDAL03 KENDAL, S. L.; ASHTON, K.; CHEN, X. A Brief Overview of HyM: A Methodology for the Development of Hybrid Intelligent Information Systems. In: *Proceedings of the 15th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, San Francisco, 2003*, S. 322-326.

- KENDAL07 KENDAL, S.; CREEN, M.: *An Introduction to Knowledge Engineering*. London: Springer-Verlag, 2007.
- KERKA11 KERKA, F.: *Auf dem Weg zu einem unternehmerischen Ideen- und Innovationsmanagement: Weniger Innovationsaktivismus wäre mehr*. Bochum: Institut für angewandte Innovationsforschung, 2011.
- KISSSOFT13 KISSSOFT: *Calculation programs for machine design*. URL <http://www.kisssoft.ch/deutsch/products/kisssoft.php>. Aktualisierungsdatum: 25.10.2013.
- KLEINER05 KLEINER, S.; KIRSCH, M.: Gut zu wissen. Wissensbasierte CAD-Methoden führen zu besseren Produkten. In: *Digital Engineering* (2005), Nr. 4, S. 32-33.
- KLEINER07 KLEINER, S.; SCHULAKOW, A.: KBE und CAD systematisch nutzen. Kinematikentwicklung in CATIA V5. In: *Digital Engineering* (2007), Nr. 8, S. 38-39.
- KLEMENT05 KLEMENT, R.: *Agentenbasiertes Produktdatenmanagement*. Aachen, RWTH, Dissertation, 2005.
- KNUBLAUCH00 KNUBLAUCH, H.; ROSE, T.: Round-Trip Engineering of Ontologies for Knowledge-Based Systems. In: *Proceedings of the Twelfth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering*, 2000, S. 1-9.
- KNUBLAUCH02 KNUBLAUCH, H.: *An Agile Development Methodology for Knowledge-Based Systems Including a Java Framework for Knowledge Modeling and Appropriate Tool Support*. Ulm, Universität, Dissertation, 2002.
- KOLLER90 KOLLER, R.; BERNS, S.: Strukturierung von Konstruktionswissen. In: *Konstruktion. Zeitschrift für Konstruktion und Entwicklung im Maschinen-, Apparate und Gerätebau* 42 (1990), Nr. 3, S. 85-90.
- KOLLMANN84 KOLLMANN, F. G.: *Welle-Nabe-Verbindungen: Gestaltung, Auslegung, Auswahl*. 1. Aufl. PAHL, G. (Hrsg.). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag, 1984.
- KOPPENHÖFER98 Koppenhöfer, C.; Johannsen, A.; Krcmar, H.; Bumiller, J.: Bedarf und Nutzung von Telekooperationssystemen im verteilten Produktentwicklungsprozeß. In: ANDERL, R.; ENCARNACAO, J. L.; RIX, J. (Hrsg.): *Tele-CAD - Produktentwicklung in Netzwerken: Tagungsband CAD'98; Fachtagung der Gesellschaft für Informatik: Band 9 von Informatik Xpress*. Darmstadt: Gesellschaft für Informatik, 1998, S. 121-131.
- KOSSMANN04 KOSSMANN, D.; LEYMANN, F.: Web Services. In: *Informatik Spektrum* 27 (2004), Nr. 2, S. 117-128.
- KRATZER09A KRATZER, M.; BINZ, H.; WATTY, R.: Integration von DfX-Kriterien in das agentenbasierte Unterstützungssystem ProKon. In: MEERKAMM, H. (Hrsg.): *20. Symposium "Design for X"*. Erlangen, 2009, S. 81-92.

- KRATZER09B KRATZER, M.; BINZ, H.; WATTY, R.: Anforderungen an eine Wissensrepräsentationsform zur Darstellung von Konstruktionswissen in neuartigen wissensbasierten Systemen. In: BRÖKEL, K.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.; RIEG, F.; STELZER, R. (Hrsg.): *7. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik (KT 2009)*. Bayreuth, 2009, S. 95-102.
- KRATZER10A KRATZER, M.; BINZ, H.; ROTH, D.: Wissensstruktur zur Integration von Konstruktionswissen in agentenbasierte Unterstützungssysteme. In: KRAUSE, D.; PAETZOLD, K.; WARTZACK, S. (Hrsg.): *Design for X - Beiträge zum 21. DfX-Symposiums*. Buchholz, 2010, S. 235-246.
- KRATZER11A KRATZER, M.: Konzept Berechnungsprogramm. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon am 06.06.2011*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2011, S. 24-25.
- KRATZER11B KRATZER, M.: Wissensdarstellung im Wissensintegrationssystem. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon am 06.06.2011*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2011, S. 9-16.
- KRATZER11C KRATZER, M.; RAUSCHER, M.; BINZ, H.; GÖHNER, P.: An agent-based system for supporting design engineers in the embodiment design phase. In: CULLEY, S. J.; HICKS, B. J.; McALOONE, T. C.; HOWARD, T. J.; DONG, A. (Hrsg.): *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED)*. Kopenhagen, 2011, S. 178-189.
- KRATZER11D KRATZER, M.; RAUSCHER, M.; BINZ, H.; GÖHNER, P.: Konzept eines Wissensintegrationssystems zur benutzerfreundlichen, benutzerspezifischen und selbstständigen Integration von Konstruktionswissen. In: PAETZOLD, K.; KRAUSE, D.; WARTZACK, S. (Hrsg.): *Design for X - Beiträge zum 22. DfX-Symposium*. Tutzing, 2011, S. 21-32.
- KRATZER12A KRATZER, M.; BINZ, H.; ROTH, D.: Entwicklung von agentenbasierten Unterstützungssystemen in der Konstruktion unter Berücksichtigung von Ansätzen aus dem Wissensmanagement. In: MATTFELD, D. K.; ROBBA-BISSANTZ, S. (Hrsg.): *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012*. Braunschweig, 2012, S. 1307-1318.
- KRATZER12B KRATZER, M.; BINZ, H.; ROTH, D.: A method for identifying locations of knowledge as a preparation of the knowledge acquisition within the development of multi-agent design systems. In: HORVATH, I.; ALBERS, A. (Hrsg.): *Ninth international symposium on tools and methods of competitive engineering (TMCE)*. Karlsruhe, 2012, S. 1041-1052.

- KRATZER12C KRATZER, M.; CROSTACK, A.; BINZ, H.; ROTH, D.: Distribution of engineering design knowledge within the development of multi-agent design systems. In: ANDREASEN, M. M.; BIRKHOFFER, H.; LINDEMANN, U.; CULLEY, S.; MARJANOVIC, D. (Hrsg.): *12th International Design Conference 2012 (DESIGN 2012)*. Dubrovnik, 2012, S. 1495-1506.
- KRATZER13A KRATZER, M.; CROSTACK, A.; BINZ, H.; SAUTTER, T.: *Software-technischer Entwurf und Programmierung einer Schnittstelle zwischen KISSsoft und dem Agentensystem ProKon*. Stuttgart, Universität, Instituts für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Interner Institutsbericht, 2013.
- KRATZER13B KRATZER, M.; CROSTACK, A.; BINZ, H.; ROTH, D.: Methode zur Analyse von Konstruktionsprozessen in der Entwicklung von agentenbasierten Konstruktionssystemen. In: SPATH, D.; BERTSCHE, B.; BINZ, H. (Hrsg.): *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2013*. Stuttgart, 2013, S. 1-10.
- KRATZER13C KRATZER, M.; CROSTACK, A.; KADADIHI, R.; RAUSCHER, M.; BINZ, H.; GÖHNER P: A Concept of direct Knowledge Acquisition for Multi-agent Design Systems. In: LINDEMANN, U.; VENKATARAMAN, S.; KIM, Y. S.; LEE, S. W. (Hrsg.): *The 19th International Conference on Engineering Design 2013 (ICED13)*. Seoul, Korea, 2013, S. 1-10.
- KRATZER13D KRATZER, M.; BINZ, H.; ROTH, D.: Analysis of Organisations to integrate Multi-agent Design Systems into IT-Landscapes. In: LINDEMANN, U.; VENKATARAMAN, S.; KIM, Y. S.; LEE, S. W. (Hrsg.): *The 19th International Conference on Engineering Design 2013 (ICED13)*. Seoul, Korea, 2013, S. 1-10.
- KRAUSE92 KRAUSE, D.: *Rechnergestütztes Konzipieren mit Integration von Analysen, insbesondere Berechnungen*. Erlangen-Nürnberg, Universität, Dissertation, 1992.
- KRAUSE07 KRAUSE, F.-L.: *Innovationspotenziale in der Produktentwicklung*. München: Hanser, 2007.
- KRCMAR05 KRCMAR, H.: *Informationsmanagement*. 4. Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- KREMPELS09 KREMPELS, K.-H.: *Agentenbasierte Ablaufplanung. Unter besonderer Betrachtung der präferenzbasierten Diensteeinsatzplanung*. Aachen, RWTH, Dissertation, 2009.
- KROMREY09 KROMREY, H.; STRÜBING, J.: *Empirische Sozialforschung: Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung*. 12. Aufl. Stuttgart: Lucius & Lucius, 2009.
- KURBEL92 KURBEL, K.: *Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen: Eine anwendungsorientierte Einführung in wissensbasierte Systeme*. 2. Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 1992.
- KURFÜRST93 KURFÜRST, K., MAJSCHAK, J.-P.: Wissensbasiertes Beratungssystem im Konstruktionsprozess. In: *VDI Berichte 1079 (1993)*, S. 195-195.

- KYRIAKIDOU04 KYRIAKIDOU, O.: Developing a knowledge sharing culture. In: *Management Services* 48 (2004), Nr. 6, S. 22-23.
- LA ROCCA12 LA ROCCA, G.: Knowledge based engineering: Between AI and CAD. Review of a language based technology to support engineering design. In: *Advanced Engineering Informatics* 26 (2012), Nr. 2, S. 159-179.
- LANDER96 LANDER, S. E.: Designing Integrated Engineering Environments: Blackboard-Based Integration of Design and Analysis Tools. In: *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 1996, Nr. 1, S. 59-71
- LANDER97 LANDER, S. E.: Issues in Multiagent Design Systems. In: *IEEE Expert* 12 (1997), Nr. 2, S. 18-26.
- LANG08 LANG, F.: *Wissensbasierte Verhandlungsautomatisierung auf elektronischen Echtzeit-Märkten*. 1. Aufl. Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH, 2008.
- LAUBER99 LAUBER, R.; GÖHNER, P.: *Prozessautomatisierung 2. Modellierungskonzepte und Automatisierungsverfahren, Softwarewerkzeuge für den Automatisierungsingenieur, Vorgehensweise in den Projektphasen bei der Realisierung von Echtzeitsystemen*. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio: Springer-Verlag, 1999.
- LAUX12 LAUX, H.: *Entscheidungstheorie*. 8. Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 2012.
- LEEMHUIS05 LEEMHUIS, H.: *Funktionsgetriebene Konstruktion als Grundlage verbesserter Produktentwicklung*. Berlin, Technische Universität, Dissertation, 2005.
- LEHMANN89 LEHMANN, C.: *Wissensbasierte Unterstützung von Konstruktionsprozessen*. Berlin, Technische Universität, Dissertation, 1989.
- LEHNER08 LEHNER, F.; SCHOLZ, M.; WILDNER, S.: *Wissensmanagement: Grundlagen, Methoden und technische Unterstützung*. 2. Aufl. München: Hanser, 2008.
- LIAO05 LIAO, S.: Expert system methodologies and applications - a decade review from 1995 to 2004. In: *Expert Systems with Applications* 28 (2005), Nr. 1, S. 93-103.
- LIAO06 LIAO, B.; HE, F.; CHEN, J.; MA, Y.: Using a Middleware Agent to Bridge Standalone CAD Systems for Distributed and Collaborative Applications. In: SHEN, W.-M.; CHAO, K.-M.; LIN, Z.; BARTHÈS, J.-P. A.; JAMES, A. (Hrsg.): *Computer supported cooperative work in design*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, S. 304-312.
- LIESE04 LIESE, H.: *Wissensbasierte 3D-CAD Repräsentation*. Darmstadt, Technische Universität, 2004.
- LIEW04 LIEW, P.-S.; GERO, J.: Constructive memory for situated design agents. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 18 (2004), Nr. 2, S. 163-198.

- LINDEMANN05 LINDEMANN, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
- LINDEMANN09A LINDEMANN, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- LINDEMANN09B LINDEMANN, U.: Komplexität in Konstruktion und Entwicklung. In: *Konstruktion. Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe* (2009), Nr. 5, Editorial.
- LINDEMANN09C LINDEMANN, U.; MAURER, M.; BRAUN, T.: *Structural complexity management: An approach for the field of product design*. Berlin: Springer-Verlag, 2009.
- LINK93 LINK, J.; HILDEBRAND, H.: *Database Marketing und Computer aided Selling. Strategische Wettbewerbsvorteile durch neue informationstechnologische Systemkonzeptionen*. München: Vahlen, 1993.
- LIPPOLD00 LIPPOLD, C.: *Eine domänenübergreifende Konzeptionsumgebung für die Entwicklung mechatronischer Systeme*. Bochum, Ruhr-Universität, Dissertation, 2000.
- LIU08 LIU, Q.; CUI, X.; HU, X.: Conflict Resolution within Multi-Agent System in Collaborative Design. In: DAS, C. R. (Hrsg.): *International Conference on Computer Science and Software Engineering*. Wuhan, 2008, S. 520-523.
- LÓPEZ GARIBAY06 LÓPEZ GARIBAY, J. A.; BINZ, H.: Systematic MEMS Design with Design Catalogues. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Mechatronics Technology - ICMT 2006, Mexico City, 2006*.
- LOVETT00 LOVETT, P. J.; INGRAM, A.; BANCROFT, C. N.: Knowledge-based engineering for SMEs - a methodology. In: *Journal of Materials Processing Technology* 107 (2000), Nr. 1-3, S. 384-389.
- LUFT12 LUFT, T.; BREITSPRECHER, T.; ROTH, D.; LINDOW, K.; WARTZACK, S.; BINZ, H.: Die Rolle des Wissensingenieurs im Unternehmen - Ergebnisse einer Umfrage und Darstellung in der VDI-Richtlinie "Wissensbasiertes Konstruieren". In: WARTZACK, S.; KRAUSE, D.; PAETZOLD, K. (Hrsg.): *Design for X: Beiträge zum 23. DfX-Symposium Oktober 2012*. Hamburg: TuTech Verlag, 2012, S. 63-78.
- LUGER01 LUGER, G. F.: *Künstliche Intelligenz. Strategien zum Lösen komplexer Probleme*. München: Pearson Studien, 2001.
- LUNZE10 LUNZE, J.: *Künstliche Intelligenz für Ingenieure*. 2. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2010.
- LUTZ11 LUTZ, C.: *Rechnergestütztes Konfigurieren und Auslegen individualisierter Produkte. Rahmenwerk für die Konzeption und Einführung wissensbasierter Assistenzsysteme in die Konstruktion*. Wien, Universität, Dissertation, 2011.

- MAGUITMAN04      MAGUITMAN, A. G.: *Intelligent support for knowledge capture and construction*. Bloomington, Indiana University, Department of Computer Science, Phd-Thesis, 2004.
- MAHDJOUB10      MAHDJOUB, M.; MONTICOLO, D.; GOMES, S.; SAGOT, J. C.: A collaborative Design for Usability approach supported by Virtual Reality and a Multi-Agent System embedded in a PLM environment. In: *Computer-Aided Design* 42 (2010), Nr. 5, S. 402-413.
- MAIER11      MAIER, A. M.; STÖRRLE, H.: What are the characteristics of engineering design processes? In: CULLEY, S. J.; HICKS, B. J.; MCALOONE, T. C.; HOWARD, T. J.; CLARKSON, P. J. (Hrsg.): *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11): Impacting Society through Engineering Design*. Glasgow: Design Society, 2011, S. 188-198.
- MARKUS88      MARKUS, M.; ROBEY, D.: Information Technology and Organizational Change: Causal Structure in Theory and Research. In: *Management Science* 34 (1988), Nr. 5, S. 583-598.
- MARQUART10      MARQUARDT, W.; MORBACH, J.; WIESNER, A.; YANG, A.: *Onto-CAPE. A Re-Usable Ontology for Chemical Process Engineering*. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer-Verlag, 2010.
- MATTHIESEN02      MATTHIESEN, S.: *Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells "Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen" zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme*. Karlsruhe, Technische Universität, Dissertation, 2002.
- MATZLER09      MATZLER, K.; SAUERWEIN, E.; STARK, C.: Methoden zur Identifikation von Basis-, Leistungs- und Begeisterungsfaktoren. In: HINTERHUBER, H. H.; MATZLER, K. (Hrsg.): *Kundenorientierte Unternehmensführung. Kundenorientierung - Kundenzufriedenheit - Kundenbindung*. Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH, 2009.
- MEERKAMM98      MEERKAMM, H.; WARTZACK, S.: Verkürzung der Produktentwicklungszeiten durch Integration von Fertigungswissen in den Konstruktionsprozess. In: VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Hrsg.): *Prozessketten für die virtuelle Produktentwicklung in verteilter Umgebung: Informationsverarbeitung in der Konstruktion '98; Tagung München, 20. und 21. Oktober 1998*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1998, S. 199-218.
- MEERKAMM05      MEERKAMM, H.; KOCH, M.: Design for X. In: CLARKSON, J.; ECKERT, C. (Hrsg.): *Design process improvement: A review of current practice*. London: Springer-Verlag, 2005, S. 306-323.
- MEYER-FUJARA93      MEYER-FUJARA, J.; PUPPE, F.; WACHSMUTH, I.: Expertensysteme und Wissensmodellierung. In: GÖRZ, G. (Hrsg.): *Einführung in die künstliche Intelligenz*. 1. Aufl. Bonn: Addison-Wesley, 1993, S. 713-766.
- MILTON07      MILTON, N. R.: *Knowledge acquisition in practice: A step-by-step guide*. 1. Aufl. London: Springer-Verlag, 2007.

- MINSKY94 MINSKY, M.: *The Society of Mind: Mentopolis*. Stuttgart: Klett-Cotta, 1994.
- MOLL10 MOLL, F.: *Operationalisierte Wissensqualität zur Bewertung von Wissen in der Produktentwicklung*. Stuttgart, Universität, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Studienarbeit, 2010.
- MOORE02 MOORE, G.: *Crossing the chasm. Marketing and selling disruptive products to mainstream customers*. New York: Harper Collins, 2002.
- MORI98 MORI, T.; CUTKOSKY, M. R.: Agent-based collaborative design of parts in assembly. In: *Proceedings of the DETC'98 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences*, 1998, S. 1-8.
- MULET06 MULET, E.; VIDAL, R.: Functional requirements for computer-based design support systems, derived from experimental studies. In: *Knowledge-Based Systems* 19 (2006), Nr. 1, S. 32-42.
- MÜLLER06 MÜLLER, D.: *Intelligente Unterstützung für ein aufgabenorientiertes Anforderungsmanagement in der integrierten Produktentwicklung*. Clausthal, Technische Universität, Dissertation, 2006.
- MURMANN94 MURMANN, P. A.: Expected development time reductions in the German mechanical engineering industry. In: *Journal of Product Innovation Management* 11 (1994), Nr. 3, S. 236-252.
- MUTH94 MUTH, M.: *Repräsentation von Konstruktionswissen unter Verwendung des objektorientierten Paradigmas*. Saarbrücken, Universität des Saarlandes, Dissertation, 1994.
- NEWELL82 NEWELL, A.: *The Knowledge Level*. In: *Artificial Intelligence* 18 (1982), Nr. 1, S. 87-127.
- NISSEN00 NISSEN, M.; KAMEL, M.; SENGUPTA, K.: Integrated Analysis and Design of Knowledge Systems and Processes. In: *Information Resources Management Journal* 13 (2000), Nr. 1, S. 24-43.
- NONAKA95 NONAKA, I.; TAKEUCHI, H.: *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press, 1995.
- NORTH02 NORTH, K.: *Wissensorientierte Unternehmensführung: Wertschöpfung durch Wissen*. 3. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 2002.
- OERDING09 OERDING, J.: *Ein Beitrag zum Modellverständnis der Produktentstehung: Strukturierung von Zielsystemen mittels C&CM*. Karlsruhe, Technische Universität, Dissertation, 2009.
- OLSON04 OLSON, J. T.; CAGAN, J.: Interagent ties in team-based computational configuration design. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 18, 2004, Nr. 2, S. 135-152.

- PAHL07 PAHL, G.; BEITZ, W., FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.: *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung*. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- PARUNAK98 PARUNAK, H. V. D.: *Practical and Industrial Applications of Agent-Based Systems*. Industrial Technology Institute (Hrsg.). Ann Arbor, 1998.
- PFEIFFER65 PFEIFFER, W.: *Absatzpolitik bei Investitionsgütern der Einzelfertigung: Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes absatzpolitischer Instrumente im Sondermaschinenbau*. Stuttgart: Poeschel, 1965.
- POLANYI85 POLANYI, M.: *Implizites Wissen*. Frankfurt: Suhrkamp, 1985.
- PROBST10 PROBST, G.; RAUB, S.; ROMHARDT, K.: *Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen*. 6. Aufl. Wiesbaden: GWV Fachverlage, 2010.
- PUPPE92 PUPPE, F.; GAPPA, U.: Towards knowledge acquisition by experts. In: BELLI, F.; RADERMACHER, F. J. (Hrsg.): *Industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems: 5th International Conference, IEA/AIE - 92 Paderborn, Germany, June 9-12, 1992 Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1992, S. 546-555.
- RÄSE91 RÄSE, U.: *Gußgerechtes Konstruieren mit CAD - Möglichkeiten zur Beschreibung und Analyse von Gußteilen*. Erlangen-Nürnberg, Universität, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Dissertation, 1991.
- RAUB04 RAUB, S.; VON WITTIG, D.: Implementing Knowledge Management: Three Strategies of Effective CKOs. In: *European Management Journal* 22 (2004), Nr. 6, S. 714-724.
- RAUSCHER09A RAUSCHER, M.: Agentenkonzept. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 13.07.2009*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2009, S. 9-16.
- RAUSCHER09B RAUSCHER, M.: Wissensspeicherung im prototypischen Demonstrator. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungs-ausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 09.11.2009*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Software-technik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2009, S. 5-6.
- RAUSCHER09C RAUSCHER, M.: Agenten im prototypischen Demonstrator. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungs-ausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 09.11.2009*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2009, S. 7-8.

- RAUSCHER10A RAUSCHER, M.: Vorstellung der Lösungsfindung. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 15.02.2010*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2010, S. 1-8.
- RAUSCHER10B RAUSCHER, M.: Vorgehen bei Interessenskonflikten zwischen den Agenten. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 19.07.2010*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2010, S. 22-29.
- RAUSCHER10C RAUSCHER, M.: Wissensverteilung. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 18.10.2010*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2010, S. 23.
- RAUSCHER11A RAUSCHER, M.: Konzept Wissensintegrationssystem und Wissensbasis. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 06.06.2011*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2011, S. 17-23.
- RAUSCHER11B RAUSCHER, M.: Metamodelle, Wissenselemente, Anbindung an Pro/ENGINEER und Prototyp. In: BINZ, H.; GÖHNER, P. (Hrsg.): *Interne Lenkungsausschusssitzung zum DFG-Projekt ProKon: 05.12.2011*. Stuttgart, Universität, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik und Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2011, S. 35-43.
- REMUS02 REMUS, U.: *Prozessorientiertes Wissensmanagement: Konzepte und Modellierung*. Regensburg, Universität, Dissertation, 2002.
- RIECHMANN10 RIECHMANN, T.: *Spieltheorie*. 3. Aufl. München: Vahlen, 2010.
- RÖHNER10 RÖHNER, S.; DONSHAUSER, M.; WARTZACK, S.: Comparison of Predictive Data Mining Methods for their Application in a Design Process. In: DAGMANN, A.; SÖDERBERG, R. (Hrsg.): *Proceedings of Norddesign 2010: International Conference on Methods and Tools for Product and Production development*. Göteborg: Design Society, 2010, S. 365-374.
- RÖHNER11 RÖHNER, S.; BREITSPRECHER, T.; WARTZACK, S.: Acquisition of design-relevant knowledge within the development of sheet-bulk metal forming. In: CULLEY, S. J.; HICKS, B. J.; McALOONE, T. C.; HOWARD, T. J.; CLARKSON, P. J. (Hrsg.): *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11): Impacting Society through Engineering Design*. Glasgow: Design Society, 2011, S. 108-120.
- ROMANOW94 ROMANOW, P.: *Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen*. München, Technische Universität, Dissertation, 1994.

- ROMMELFÄNGER02 ROMMELFÄNGER, H.; EICKEMEIER, S.: *Entscheidungstheorie: Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen*. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Tokio: Springer-Verlag, 2002.
- RÖSCH96 RÖSCH, S.: *Konstruktionssystem für ein rechnerunterstütztes Konzipieren und Entwerfen komplexer Blechteile*. Erlangen-Nürnberg, Universität, Dissertation, 1996.
- ROSENMAN01 ROSENMAN, M.; WANG, F.: A component agent based open CAD system for collaborative design. In: *Automation in Construction* 10 (2001), Nr. 4, S. 383-397.
- ROTH10 ROTH, D.; BINZ, H.; WATTY, R.: Generic structure of knowledge within the product development process. In: MARJANOVIC, D.; STORGA, M.; PAVKOVIC, N.; BOJCETIC, N. (Hrsg.): *Proceedings of DESIGN 2010: The 11th International Design Conference*, 2010, S. 1681-1690.
- ROTH13 ROTH, D.; BINZ, H.: Procedure for selecting knowledge elicitation methods with regard to knowledge types. In: LINDEMANN, U.; VENKATARAMAN, S.; KIM, Y. S.; LEE, S. W. (Hrsg.): *The 19th International Conference on Engineering Design 2013 (ICED13)*. Seoul, Korea, 2013, S. 1-10.
- ROTHER01 ROTHER, K.; SCHNEIDER, T.: Wissensmanagement für Ingenieure. Die Pole-Position behaupten. In: *CADplus* (2001), S. 18-21.
- ROTHER06 ROTHER, K.: Outsourcing oder Prozess verbessern? In: *Konstruktion. Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieurwerkstoffe* (2006), Nr. 7/8, Editorial.
- RUDE98 RUDE, S.: *Wissensbasiertes Konstruieren*. Karlsruhe, Technische Universität, Habilitationsschrift, 1998.
- SAINTER00A SAINTEP, P.; OLDHAM, K.; LARKIN, A.; MURTON, A.; BRIMBLE, R.: Product knowledge management within knowledge-based engineering systems. In: *Proceedings of the DETC'00, ASME 2000 Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference*, S. 1-8.
- SAINTER00B SAINTEP, P.; OLDHAM, K.; LARKIN, A.: Achieving benefits from Knowledge-Based Engineering systems in the longer term as well as in the short term. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Concurrent Enterprising*, 2000, S. 1-8.
- SAUNDERS04 SAUNDERS, R. O. B.; GERO, J.: Curious agents and situated design evaluations. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 18 (2004), Nr. 2, S. 153-161.
- SCHEIN95 SCHEIN, E. H.: *Organisationskultur: The Ed Schein corporate culture survival guide*. Bergisch Gladbach: EHP, 2010.

- SCHIEBELER93 SCHIEBELER, R.; EHRENSPIEL, K.: CAD-Geometrieanalyse mit einem wissensbasierten System - ein wissensbasiertes System als Konstruktionsberater (ReKK). In: VDI-GESELLSCHAFT ENTWICKLUNG KONSTRUKTION VERTRIEB (VDI-EKV) (Hrsg.): *Rechnerunterstützte Wissensverarbeitung in Entwicklung und Konstruktion '93: Tagung Heidelberg, 28. und 29. September 1993*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993, S. 81-101.
- SCHLEIPEN08 SCHLEIPEN, M.; SCHICK, K.; SAUER, O.: Layoutmanager für automatisch erstellte Prozessführungsbilder mit Hilfe von Daten aus der Digitalen Fabrik. In: RABE, M. (Hrsg.): *Advances in simulation for production and logistics applications*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 397-406.
- SCHÖN00 SCHÖN, A.: *Konzept und Architektur eines Assistenzsystems für die mechatronische Produktentwicklung*. Erlangen-Nürnberg, Universität, Dissertation, 2000.
- SCHREIBER93 SCHREIBER, G.; WIELINGA, B.; BREUKER, J.: *KADS: A principled approach to knowledge-based system development*. London: Academic Press, 1993.
- SCHREIBER02 SCHREIBER, G.; AKKERMANS, H.; ANJEWIERDEN, A.; DE HOOG, R.; SHADBOLT, N. R.; VAN DE VELDE, W.; WIELINGA, B. J.: *Knowledge engineering and management: The CommonKADS methodology*. 3. Aufl. Cambridge: MIT Press, 2002.
- SCHREIBER08 SCHREIBER, G.: Knowledge Engineering. In: VAN HARMELEN, F.; LIFSCHITZ, V.; PORTER, B. (Hrsg.): *Handbook of Knowledge Representation*. Amsterdam: Elsevier Verlag, 2008.
- SCHWENKE91 SCHWENKE, H.: *Konstruktionswissen in CAD-Anwender-prozeduren*. Berlin, Technische Universität, Dissertation, 1991.
- SEIBERT98 SEIBERT, S.: *Technisches Management: Innovationsmanagement, Projektmanagement, Qualitätsmanagement*. Stuttgart: Teubner, 1998.
- SHAKERI04 SHAKERI, C.; BROWN, D. C.: *Constructing design methodologies using multiagent systems*. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 18 (2004), Nr. 2, S. 115-134.
- SHOHAM93 SHOHAM, Y.: Agent-oriented programming. In: *Artificial Intelligence* 60 (1993), Nr. 1, S. 51-92.
- SHOHAM94 SHOHAM, Y.: Agent oriented programming: An overview of the framework and summary of recent research. In: MASUCH, M.; PÓLOS, L. (Hrsg.): *Knowledge Representation and Reasoning Under Uncertainty. Logic at work*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1994, S. 123-129.
- SKARKA07 SKARKA, W.: *Application of MOKA methodology in generative model creation using CATIA*. In: *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 20 (2007), Nr. 5, S. 677-690.

- SOLIMAN00 SOLIMAN, F.; SPOONER, K.: Strategies for implementing knowledge management: role of human resources management. In: *Journal of Knowledge Management* 4 (2000), Nr. 4, S. 337-345.
- SOLLBERGER06A SOLLBERGER, B. A.: *Wissenskultur: Erfolgsfaktor für ein ganzheitliches Wissensmanagement*. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt, 2006.
- SOLLBERGER06B SOLLBERGER, B. A.; THOM, N.: Wissenskultur als Erfolgsfaktor für ein ganzheitliches Wissensmanagement. In: *Zeitschrift für öffentliche und gemeinwirtschaftliche Unternehmen (ZÖGU)* 29 (2006), Nr. 4, S. 425-441.
- SPERL13 SPERL, M.: *Analyse von Konstruktionsprozessen zur Identifikation von Konstruktionswissen*. Stuttgart, Universität, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Studienarbeit, 2013.
- SPOHR92 SPOHR, U.; BESTE, J.; MÜLLER, C.; ABUOSBA, M.: Anwendung der Wissensverarbeitung für die Ermittlung von Stadienplänen in der Kaltmassivumformung. In: KRAUSE, F.-L.; JANSEN, H.; RULAND, D. (Hrsg.): *CAD 92: Neue Konzepte zur Realisierung anwenderorientierter CAD-Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1992, S. 161-176.
- SPRECKELSEN08 SPRECKELSEN, C.; SPITZER, K.: *Wissensbasen und Expertensysteme in der Medizin: KI-Ansätze zwischen klinischer Entscheidungsunterstützung und medizinischem Wissensmanagement*. 1. Aufl. Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH, 2008.
- SPUR97 SPUR, G.; KRAUSE, F.-L.: *Das virtuelle Produkt: Management der CAD-Technik*. München: Hanser, 1997.
- STACHOWIAK73 STACHOWIAK, H.: *Allgemeine Modelltheorie*. Wien, New York: Springer-Verlag, 1973.
- STAUD99 STAUD, J.: *Geschäftsprozeßanalyse mit Ereignisgesteuerten Prozeßketten. Grundlagen des Business Reengineering für SAP R/3 und andere Betriebswirtschaftliche Standardsoftware*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- STEIGER00 STEIGER, C.: *Wissensmanagement in Beratungsprojekten auf Basis innovativer Informations- und Kommunikationstechnologien: das System K<sup>3</sup>*. Paderborn, Universität, Dissertation, 2000.
- STOKES01 STOKES, M.: *Managing engineering knowledge. MOKA: methodology for knowledge based engineering applications*. London: Professional Engineering Publishing, 2001.
- STOLLBERG02 STOLLBERG, M.: *Ontologiebasierte Wissensmodellierung: Verwendung als semantischer Grundbaustein des Semantic Web*. Berlin, Freie Universität, Institut für Publizistik und Kommunikationswissenschaft, Magisterarbeit, 2002.
- STORATH96 STORATH, E.: *Kontextsensitive Wissensbereitstellung in der Konstruktion*. Erlangen-Nürnberg, Universität, Dissertation, 1996.

- STUDER98                   STUDER, R.; BENJAMINS, V. R.; FENSEL, D.: Knowledge Engineering: Principles and methods. In: *Data & Knowledge Engineering* 25 (1998), Nr. 1-2, S. 161-197.
- SUTTON09                   SUTTON, D.; PATKAR, V.: CommonKADS analysis and description of a knowledge based system for the assessment of breast cancer. In: *Expert Systems with Applications* 36 (2009), Nr. 2, S. 2411-2423.
- SZYKMAN01                 SZYKMAN, S.; SRIRAM, R. D.: The role of knowledge in next-generation product development systems. In: *ASME Journal of Computation and Information Science in Engineering* 1 (2001), Nr. 1, S. 1-14.
- TERPENNY00                TERPENNY, J. P.; STRONG, S.; WANG, J.: A methodology for knowledge discovery and classification. In: ZHANG, G.; SULLIVAN, W. G.; AHMAD, M. M. (Hrsg.): *Flexible automation and intelligent manufacturing 2000: Proceedings of the Tenth International FAIM*. Wheaton, MD: Econo Printing and Graphics, 2000, S. 22-32.
- THEL07                     THEL, M.: *Wissensstrukturierung und -repräsentation im Produktentwicklungsprozess*. Darmstadt, Technische Universität, Dissertation, 2007.
- THOMKE03                 THOMKE, S. H.: *Experimentation matters: Unlocking the potential of new technologies for innovation*. Boston: Harvard Business School Press, 2003.
- TITZSCHKAU05             TITZSCHKAU, M.: *Entwicklung einer Symbolik zur Darstellung der Eigenschaften von Wirkflächenpaaren und Leitstützstrukturen*. Karlsruhe, Technische Universität, Institut für Produktentwicklung, Studienarbeit, 2005.
- TOLEDO MUÑOZ06         TOLEDO MUÑOZ, M. B.: *Agentenbasierte Modellierung und Analyse von Verbindungen im Produktentstehungsprozess*. Clausthal, Technische Universität, Dissertation, 2006.
- TRANSCAT13                TRANSCAT PLM: *Q-Checker. Managementsystem für Produktdaten-Qualität (PDQ)*. URL <http://www.transcat-plm.com/software/transcat-software/q-checker.html>. Aktualisierungsdatum: 19.11.2013.
- TRICK10                    TRICK, B.: *Entwicklung einer Methodik zur Integration von Konstruktionswissen in agentenbasierte Unterstützungssysteme*. Stuttgart, Universität, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Diplomarbeit, 2010.
- USCHOLD98                USCHOLD, M.: Knowledge level modelling: concepts and terminology. In: *The Knowledge Engineering Review* 13 (1998), Nr. 1, S. 5-29.
- VAJNA09                   VAJNA, S.; BLEY, H.; HEHENBERGER, P.; WEBER, C.; ZEMAN, K.: *CAX für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- VAN DER WELDEN12        VAN DER WELDEN, C.; BIL, C.; XU, X.: Adaptable methodology for automation application development. In: *Advanced Engineering Informatics* 26 (2012), Nr. 2, S. 231-250.

- VAN TOOREN09 VAN TOOREN, M. J. L.; VAN DER ELST, S. W. G.; VERMEULEN, B.: Structured Design Automation. In: ROY, R.; SHEHAB, E. (Hrsg.): *Proceedings of the 19th CIRP Design Conference - Competitive Design, Cranfield University, 30-31 March 2009*. Cranfield: Cranfield Univ. Press, 2009, S. 86-93.
- VDI 2206 2004 VDI 2206 Juni 2004. *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*.
- VDI 2218 2003 VDI 2218 März 2003. *Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung. Feature-Technologie*.
- VDI 2221 1993 VDI 2221 Mai 1993. *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*.
- VDI 2223 2004 VDI 2223 Januar 2004. *Methodisches Entwerfen technischer Produkte*.
- VDI 5610 2009 VDI 5610 März 2009. *Wissensmanagement im Ingenieurwesen. Grundlagen, Konzepte, Vorgehen*.
- VDI/VDE 2653 2010 VDI/VDE 2653 Blatt 1 Juni 2010. *Agentensysteme in der Automatisierungstechnik: Grundlagen*.
- VDI/VDE 2653 2012 VDI/VDE 2653 Blatt 2 Januar 2012. *Agentensysteme in der Automatisierungstechnik: Entwicklung*.
- VERHAGEN12 VERHAGEN, W. J. C.; BERMELL-GARCIA, P.; VAN DIJK, R. E. C.; CURRAN, R.: A critical review of Knowledge-based Engineering: An identification of research challenges. In: *Advanced Engineering Informatics* 26 (2012), Nr. 1, S. 5-15.
- WAGNER03 WAGNER, T.; GÖHNER, P.; URBANO, P. G. A. de: Softwareagenten: Einführung und Überblick über eine alternative Art der Softwareentwicklung. Teil I: Agentenorientierte Softwareentwicklung. In: *atp Automatisierungstechnische Praxis Sonderdruck* (2003), S. 1-31.
- WAGNER05 WAGNER, T.; GÖHNER, P.: Aufbau von Agentensystemen zur Unterstützung komponentenbasierter Entwicklungsprozesse. In: *it - Information Technology* 47 (2005), Nr. 1, S. 5-12.
- WAGNER08 WAGNER, T.: *Agentenunterstütztes Engineering von Automatisierungsanlagen*. Stuttgart, Universität, Dissertation, 2008.
- WALTER97 WALTER, W.: *Erfolgsversprechende Muster für betriebliche Ideenfindungsprozesse*. Karlsruhe, Technische Universität, Dissertation, 1997.
- WANG06 WANG, J.: An agent-based approach to collaborative product design. In: *Proceedings of IDETC/CIE 2006 ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference September 10-13, 2006, Philadelphia, Pennsylvania, USA*. S. 1-8.
- WANG09 WANG, J. X.; TANG, M. X.; SONG, L. N.; JIANG, S. Q.: Design and implementation of an agent-based collaborative product design system. In: *Computers in Industry* 60 (2009), Nr. 7, S. 520-535.

- WARTZACK01 WARTZACK, S.: *Predictive Engineering - Assistenzsystem zur multikriteriellen Analyse alternativer Produktkonzepte*. Erlangen-Nürnberg, Friedrich-Alexander Universität, Dissertation, 2001.
- WEBER92 WEBER, A.: *Ein relationsbasiertes Datenmodell als Grundlage für die Bauteiltolerierung*. Erlangen-Nürnberg, Universität, Dissertation, 1992.
- WEBER97 WEBER, J.: *Konzept eines rechnerunterstützten Assistenzsystems für die Entwicklung umweltgerechter Produkte*. Erlangen-Nürnberg, Universität, Dissertation, 1997.
- WEBER07 WEBER, C.: Looking at "DfX" and "Product Maturity" from the Perspective of a New Approach to Modelling Product and Product Development Process. In: KRAUSE, F. L. (Hrsg.): *The Future of Product Development: Proceedings of the 17th CIRP Design Conference in co-operation with Berliner Kreis*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, S. 85-104.
- WEICHERT03 WEICHERT, S.: *Der Knowledge Engineering Prozess bei der Entwicklung eines wissensbasierten Konfigurationssystems für die Blaupunkt GmbH*. Magisterarbeit, Hildesheim, Uni., 2003.
- WEIß01 WEIß, G.: Agentenorientiertes Software Engineering. In: *Informatik Spektrum* 24 (2001), Nr. 2, S. 98-101.
- WELP00 WELP, E. G.; BLUDAU, C.; JANSEN, S.: Eine Entwicklungsplattform für das Konzipieren mechatronischer Systeme. In: MEERKAMM, H. (Hrsg.): *Design for X: Beiträge zum 11. Symposium, Schnaittach, 12. und 13. Oktober 2000*. Erlangen: Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, 2000.
- WOLF09 WOLF, P.: *Untersuchen bisheriger wissensbasierter Systeme im Konstruktionsbereich auf deren Wiederverwendbarkeit im ProKon-Projekt*. Stuttgart, Universität, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Studienarbeit, 2009.
- WOOLDRIDGE97 WOOLDRIDGE, M.: Agent-based software engineering. In: *IEE Proceedings on Software Engineering* 144 (1997), Nr. 1, S. 26-37.
- WOOLDRIDGE00 WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R.; KINNY, D.: The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design. In: *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 3 (2000), Nr. 3, S. 285-312.
- YE11 YE, K.; YAN, J.; WANG, S.; WANG, H.: Knowledge level modeling for systemic risk management in financial institutions. In: *Expert Systems with Applications* 38 (2011), Nr. 4, S. 3528-3538.
- ZHOU07 ZHOU, M.; REN, J.; QI, J.; NIU, D.; LI, G.: CommonKADS methodology for developing power grid switching orders systems. In: WASHIO, T. (Hrsg.): *Emerging technologies in knowledge discovery and data mining: PAKDD 2007 International Workshops*. Berlin: Springer-Verlag, 2007, S. 87-98.
- ZIMMERMANN08 ZIMMERMANN, S.: IT-Portfoliomanagement. Ein Konzept zur Bewertung und Gestaltung von IT. In: *Informatik Spektrum* 31 (2008), Nr. 5, S. 460-468.

## Anhang

### A.1 Übersicht über die klassischen Konstruktionssysteme

Die folgende Tabelle A.1.1 stellt eine Erweiterung der Analyse der klassischen Konstruktionssysteme aus Tabelle 4.1 dar. Dabei werden die Systeme beschrieben und auf deren Zielsetzung untersucht.

Autor(en)	Beschreibung	Zielsetzung
<b>Eversheim und Neitzel</b> [EVERSHEIM88]	Das Konstruktionssystem IDA unterstützt den Konstrukteur bei der Konzeption von Vorrichtungskonstruktionen. Auf Basis von ausgewählten Funktionen und definierten Randbedingungen erarbeitet IDA einen Konstruktionsvorschlag. Der Konstrukteur hat zu Anfang Zugriff auf eine standardisierte Funktionsstruktur, die angepasst werden kann. Danach erfolgt die Detailkonstruktion mit einem CAD-System (ohne IDA).	Zeigen, dass Konstruktionssysteme für die Konzeption eingesetzt werden können, Reduktion des Zeitanteils für die Konzeption
<b>Ehrlenspiel u. Tropschuh</b> [EHRENSPIEL89]	Das Konstruktionssystem AS.EXPERT unterstützt den Konstrukteur bei der Projektierung von Schiffsgetrieben. Auf Basis einer Kundenanfrage erstellt das System automatisch ein Angebot mit Angebotszeichnung. Dabei wird auf die bereits eingesetzten Berechnungsprogramme zugegriffen und letztlich eine Radsatz- und eine Gehäusezeichnung erstellt.	Zeigen, dass Konstruktionssysteme für die Projektierung eingesetzt werden können, Reduktion des Zeitanteils bei der Projektierung
<b>Lehmann</b> [LEHMANN89]	Das Konstruktionssystem unterstützt den Konstrukteur bei der Angebotserstellung und beim Entwurfsprozess im Bereich der Konstruktion von Drehmaschinen. Auf Basis der Anforderungsliste wird ein Entwurfsvorschlag vom System erarbeitet. Der Konstrukteur hat anschließend die Möglichkeit, einzelne Merkmale des Entwurfs zu verändern.	Reduktion des Zeitanteils für die Angebotserstellung, Reduktion des Zeitanteils für den Entwurf von Drehmaschinen
<b>Feldhusen und Groeger</b> [FELDHUSEN89; GROEGER90]	Das Konstruktionssystem KALEIT unterstützt den Konstrukteur in allen Arbeitsphasen des Konstruierens. Es erfolgt die Unterstützung bei der Aufstellung der Anforderungsliste, bei der Analyse der Konstruktionsaufgabe, bei der Planung des Konstruktionsprozesses und bei der Lösung der zuvor ermittelten Konstruktionsschritte.	Bereitstellung einer durchgängigen und flexiblen Rechnerunterstützung, rechnerinternes Weiterarbeiten von Daten über den gesamten Prozess
<b>Schwenke</b> [SCHWENKE91]	Der Konstrukteur wird durch den Ansatz bei Routinetätigkeiten unterstützt, indem Standardteile und Formelemente rechnerintern automatisiert erzeugt und dargestellt werden. Es gleicht somit einem Modellieren mit zusammengesetzten Features. Das Zusammensetzen geschieht unter Berücksichtigung von Konstruktionsregeln.	Anwenderspezifische Weiterentwicklung von CAD-Systemen, Verbesserung der Handhabung von CAD-Systemen
<b>Groeger</b> [GROEGER92]	Das wissensverarbeitende System WIKON ist speziell für die Eingabe und Konsultation von Konstruktionswissen entwickelt worden. Es soll dem Konstrukteur ermöglichen, Wissen einzugeben, so dass dies u. a. im Konstruktionssystem KALEIT (s. o.) genutzt werden kann. Beispielsweise wird in der Entwurfsphase in KALEIT ein Grobentwurf durch WIKON automatisch generiert.	Schließen von Lücken in der rechnergestützten Bearbeitung des Konstruktionsprozesses durch Methoden der Wissensverarbeitung
<b>Spohr et al.</b> [SPOHR92]	Das wissensbasierte System WEST unterstützt beim Entwurf von Stadienplänen in der Kaltmassivumformung. Dabei werden CAD-Daten eingelesen, wobei die Geometrie und technologische Daten manuell verändert werden können. Anschließend errechnet WEST einen Entwurf der Stadienpläne. Abschließend erfolgt die Ausgabe einer Zeichnung mit allen Stadien und die Ausgabe der Kennwerte des Stadienplans.	Ermöglichung einer vollständigen Kaltmassivumformung für Werkstücke, die normalerweise spanend nachbearbeitet werden müssen
<b>Haasis</b> [HAASIS95A, HAASIS95B]	Das entwickelte wissensbasierte System hat die Aufgabe, den Konstruktionsprozess hinsichtlich einer funktions-, fertigungs-, montage- und kostengerechten Produktgestaltung zu überwachen. Daneben erweiterte Haasis das angeschlossene 3D-CAD-System um ein neuartiges Feature-Konzept.	Unterstützung bei der Getriebeauslegung insbesondere bei der 3D-Gestaltung des Gussgehäuses unter Beachtung unterschiedlicher Aspekte

Autor(en)	Beschreibung	Zielsetzung
<b>Katzenbach et al.</b> [KATZENBACH95]	Das Konstruktionssystem WKS unterstützt den Konstrukteur bei der Konstruktion von Presswerkzeugen in der Festlegung der Gussgrundkörper und beim Auswählen und Positionieren der Werkzeugfunktions-elemente. Zu jedem Konstruktionsschritt erhält der Konstrukteur Systemvorschläge, die er akzeptieren, analysieren oder ändern kann.	Reduktion der Zeit für Routinetätigkeiten, Speicherung von Expertenwissen, höherer Standardisierungsgrad
<b>Behr</b> [BEHR96]	SPILEX unterstützt den Konstrukteur bei der Konstruktion von Spindel-Lager-Systemen als Teil von Werkzeugmaschinen. Dabei schlägt es mit Hilfe von Expertenwissen dem Konstrukteur einen ersten Entwurf vor. Zudem können mit SPILEX auch bereits bestehende Konstruktionen auf das mechanische Verhalten hin überprüft werden.	Automatische Modellierung von Spindel-Lager-Systemen, rechner-unterstützte Bewertung von Entwurfsergebnissen
<b>U. a. Bachschuster</b> [BACHSCHUSTER97]	Das Konstruktionssystem mfk bietet eine durchgängige Unterstützung des Konzipierens, des Entwerfens und des Ausarbeitens. Zudem wurde die Arbeitsvorbereitung mitbetrachtet. Der Konstrukteur hat mit dem Syntheseteil die Möglichkeit, Dreh-, Blech- und Gussteile auf Basis bereits vorgedachter konstruktiver Elemente zu erstellen. Der Analyseteil kann u. a. eine nicht-fertigungsgerechte Gestaltung erkennen.	Erarbeitung einer Rechner-Unterstützung der eigentlichen Konstruktions-tätigkeiten Finden und Auslegen von optimalen Lösungen
<b>Wartzack</b> [WARTZACK01]	Mit dem Assistenzsystem werden alternative Produktkonzepte hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien untersucht. Es handelt sich dabei um multi-kriterielle Untersuchungen. Betont wird der assistierende Charakter des Systems. Das Assistenzsystem orientiert sich an der Architektur des Konstruktionssystem mfk. Im Gegensatz zu KSmfk werden jedoch Produktmodelle aus einem kommerziellen CAD-System verwendet.	Unterstützung der Konstrukteure im Umgang mit einem CAD-System und Bereitstellung eines Informationssystems
<b>U. a. Bludau und Welp</b> [BLUDAU02]	Die Kopplung der Systeme ModCoDe und WISENT unterstützt Produktentwickler bei der ersten Konzeptkreation auf Basis von Wirkstrukturen ModCoDe). Die Darstellung eines Verhaltensmodells erfolgt zudem. Für WISENT stellt die Konzeptkreation der Ausgangspunkt dar, wobei das System eine Konzeptbewertung vornimmt, die Konsistenz prüft und Modifikationsempfehlungen vorschlägt.	Erarbeitung einer Möglichkeit zur disziplinübergreifenden Konzeption von mecha-tronischen Systemen

**Tabelle A.1.1:** Übersicht über die klassischen Konstruktionssysteme

## A.2 Übersicht über die agentenbasierten Konstruktionssysteme

Die folgende Tabelle A.2.1 stellt eine Erweiterung der Analyse der agentenbasierten Konstruktionssysteme aus Tabelle 4.2 dar. Dabei werden die Systeme beschrieben und auf deren Zielsetzung untersucht.

Autor(en)	Beschreibung	Zielsetzung
<b>Cutkosky et al.</b> [CUTKOSKY93]	Mit Hilfe des Palo Alto Collaborative Testbed (PACT), welches mit Hilfe von Agenten aufgebaut ist, wurde eine wissensintensive Entwicklungsumgebung entwickelt. Sie soll es ermöglichen, Konstrukteure bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen und Bauteile/Komponenten von mechanischen und elektrotechnischen Systemen auf Basis von Features zu modellieren und zu analysieren.	Verbesserung der Entscheidungsfindung in Konstruktionsprozessen, Verbesserung der Nutzung von Wissen im Konstruktionsprozess
<b>Frost und Cutkosky</b> [FROST96]	Mit Hilfe des in diesem Ansatz vorgestellten Agentensystems werden Konstrukteure bei der Überprüfung von Produktmodellen auf Fertigbarkeit unterstützt. Ein „design agent“ besitzt allgemeines Wissen über Fertigbarkeit, wobei über einen „broker agent“ unterschiedliche Fertigungsprozesse repräsentiert werden. Unter Berücksichtigung des allgemeinen Wissens und der Fertigungsprozesse wird das STEP-Datenmodell analysiert.	Berücksichtigung von firmeninternen Fertigungsprozessen, Verkürzung des Konstruktionsprozesses
<b>Mori und Cutkosky</b> [MORI98]	Mit Hilfe dieses Agentensystems werden Konstrukteure in einer verteilten Konstruktionsumgebung unterstützt. Das Agentensystem analysiert Bauteile auf gegenseitige Durchdringung, sofern an einem Bauteil eine Änderung durchgeführt wurde. Die verantwortlichen Konstrukteure für beide Bauteile werden darüber informiert. Nach jeder weiteren Änderung an einem Bauteil erfolgt wieder eine Prüfung.	Verbesserung des Informationsflusses zwischen Konstrukteuren

Autor(en)	Beschreibung	Zielsetzung
<b>Bermell-Garcia et al.</b> [BERMELL-GARCIA02]	Der Ansatz erweitert klassische KBE-Systeme im Sinne der Unterstützung von Konstruktionsprozessen mit den dazu notwendigen Informationen. Mit Hilfe des Agentenansatzes wird die Konstruktion analysiert und Informationen bereitgestellt, die der Konstrukteur an dieser Stelle benötigen könnte, um das Produkt besser in kürzerer Zeit zu entwickeln.	Reduktion des Zeitanteils zur Informationsakquise
<b>Campell et al.</b> [CAMPELL99, CAMPELL03]	Mit Hilfe dieses Agentensystems werden Konstrukteure bei der Suche nach Alternativen im Entwurfsprozess unterstützt. Das Agentensystem modifiziert bestehende Bauteile oder modelliert neue um mit Hilfe von Konfigurationsmechanismen Alternativen zu produzieren. Diese werden auf die Erfüllung der Anforderung analysiert. Entsprechende Lösungen werden dem Konstrukteur vorgeschlagen.	Agentenbasierte Unterstützung von Syntheseaufgaben innerhalb des Prozesses, die bisher nicht rechnerbasiert unterstützt werden konnten
<b>Saunders und Gero</b> [SAUNDERS04]	Bereits existierende Agentensysteme unterstützen Konstrukteure bei der Simulation innerhalb des Konstruktionsprozesses. Dabei analysieren die Agenten bspw. aerodynamische Phänomene. Der hier entwickelte Ansatz hat nicht das Ziel, bestehende Ansätze auf neue Anwendungen zu übertragen, sondern die grundständigen Fähigkeiten von reaktiven Agenten hinsichtlich Lernfähigkeit und Neugier zu erweitern.	Weiterentwicklung von reaktiven Agenten hinsichtlich Lernfähigkeit Neugier
<b>Toledo Muñoz</b> [TOLEDO MUÑOZ06]	Mit Hilfe des Agentensystems werden Verbindungen zwischen Fahrzeugteilen auf Anforderungs- und Funktionsgerechtigkeit hin überprüft. Verbindungen bestehen aus Norm- oder Wiederholteilen (z. B. Bolzen oder Schrauben). Jede Verbindung wird durch einen Agenten dargestellt, der durch die ihm zugewiesenen Eigenschaften entscheiden kann, ob die Verbindung für zwei Bauteile geeignet ist.	Zeitliche Reduzierung des Produktentstehungsprozesses durch die Planung der in der Montage auch einsetzbaren Verbindungen
<b>Wagner</b> [WAGNER08]	Das Agentensystem unterstützt Ingenieure beim „Engineering“ von Automatisierungsanlagen. Hierbei werden automatisiert Abhängigkeiten zwischen einzelnen Komponenten innerhalb der Anlage identifiziert. Werden Änderung an einer Komponente vorgenommen, so werden dem Ingenieur Lösungsvorschläge präsentiert, um das korrekte Zusammenspiel der Komponenten zu gewährleisten.	Produktivitätssteigerung der Arbeitsprozesse im Engineering und Erhöhung der Qualität der Arbeitsergebnisse
<b>Mahdjoub et al.</b> [MAHDJOUB09]	Das Agentensystem gewährleistet, dass Konstrukteure während des Konstruktionsprozesses mit Informationen versorgt werden, die in früheren (ähnlichen/gleichen) Projekten gewonnen wurden. Das System identifiziert zunächst das Wissen aus den Dokumentationen früherer Projekte und sammelt es. Beispielhaft wurde Wissen über die benutzungsgerechte Konstruktion von Produkten bereitgestellt.	Gewährleistung einer benutzungsgerechten Konstruktion von Produkten

**Tabelle A.2.1:** Übersicht über die agentenbasierten Konstruktionssysteme

### A.3 Kriterienset

Die folgende Tabelle A.3.1 konkretisiert die Auflistung der Kriterien in Tabelle 6.2. Bezogen auf die fortlaufende Nummer des Kriteriums werden die Erfolgsmerkmale beschrieben.

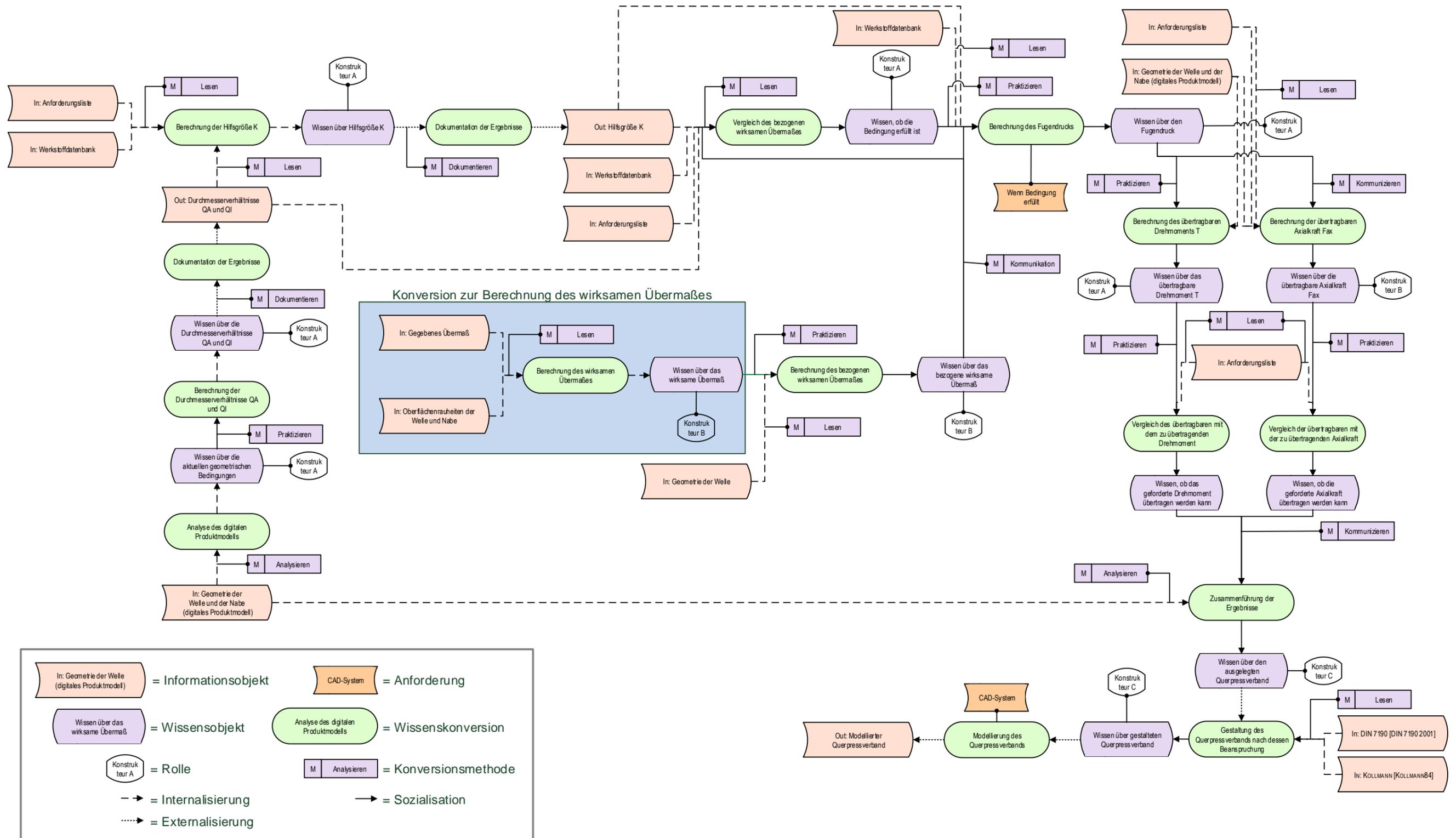
Nr.	Erfolgsmerkmal des Kriteriums
1	Für die Integration des ProKon-Systems in das Unternehmen ist ein Softwareingenieur, ein Wissensingenieur, Konstrukteure und ein Entscheider/Auftraggeber notwendig.
2	Aufgrund der Vielschichtigkeit des Kriteriums ist keine quantitative Angabe möglich. Es muss jedoch gewährleistet sein, dass die beschriebenen Personen aus Kriterium 1 teilweise ihr Tagesgeschäft vernachlässigen dürfen, um das ProKon-System zu entwickeln und in das Unternehmen zu integrieren.
3	Aufgrund der Vielschichtigkeit des Kriteriums ist keine quantitative Angabe möglich. Die Höhe der Kosten hängt u. a. von der Wissensmenge, dem Pflegeaufwand der Wissensbasis und von der Komplexität des Konstruktionsobjekts ab. Unabhängig von den Einflussfaktoren muss das Unternehmen grundsätzlich bereit sein, das Projekt zu finanzieren.
4	Der Entscheider muss von seinem Typ (z. B. Innovator oder Konservativer) zur aktuellen Funktionalität des ProKon-Kernsystems passen („Typisierung“). Befindet sich das Kernsystem noch in einem Prototypenstadium (es können bspw. keine Freiformflächen behandelt werden), können nur Innovatoren vom ProKon-System überzeugt werden.
5	Der Entscheider muss die gleichen Ziele wie das ProKon-System verfolgen. Er muss den Zeitanteil zur Informationsrecherche, -bewertung und -umsetzung und den Zeitanteil zur Verbesserung und Überarbeitung von Produktmodellen reduzieren wollen. Gleichzeitig muss er gewillt sein, den Konsistenzgrad des Produktmodells zu steigern.
6	Für die freiwillige und kooperative Wissenserhebung, die in der Wissensakquise eine zentrale Rolle spielt, sind Mitarbeiter in das Unternehmen zu integrieren. Den Mitarbeitern muss die Möglichkeit geboten werden, informell Erfahrungen auszutauschen, sich zu treffen und zu diskutieren.
7	Genauso wichtig für die Wissenserhebung ist die Fehlertoleranz, die Mitarbeitern zugestanden werden muss. Es muss Mitarbeitern erlaubt werden, in einem Trial-and-Error-Prozess zu arbeiten.
8	Mitarbeiter, die Verantwortung übernehmen, von denen Eigeninitiative gefordert wird, die Risiken eingehen dürfen und die ein intrinsisches Leistungsmotiv besitzen, geben ihr Wissen bereitwilliger innerhalb der Wissenserhebung preis.
9	Mitarbeiter, die eine Lernbereitschaft aufweisen, sind für die Arbeit mit dem ProKon-System empfänglicher. Sie besitzen eine intrinsische Motivation, Neues zu lernen und sich dadurch zu verbessern. Diese Mitarbeiter besitzen keine Angst vor Veränderungen und verstehen, welchen Einfluss das ProKon-System auf das Unternehmen hat.
10	Neben den weichen Faktoren, die für die Wissenserhebung eine Rolle spielen (siehe Kriterien 6 bis 9), müssen die Mitarbeiter motiviert sein, Wissen preiszugeben. Diese Motivation kann durch Anerkennung und durch die Mitwirkung an einem wichtigen Projekt gesteigert werden.
11	Die Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems kann effizienter und effektiver gestaltet werden, sofern auf Unterlagen zurückgegriffen werden kann, die ähnliche Projekte im Unternehmen dokumentieren. Es kann aus Fehlern und aus Erfolgen gelernt werden („Lesson learned“).
12	Das ProKon-System unterstützt Konstrukteure innerhalb des Konstruktionsprozesses, wenn Pro/ENGINEER zur Konstruktion von Produkten verwendet wird. (Stand: Dezember 2013)
13	Sofern bei der Analyse des Konstruktionsprozesses ein Einspar- und Verbesserungspotenzial identifiziert wird (bzgl. der Zielstellungen aus Kriterium 5), kann das ProKon-System für das Unternehmen innerhalb der Anwendung einen Mehrwert leisten.
14	Funktionalitäten von IT-Systemen, die im Unternehmen Konstrukteure unterstützen, können eine Schnittmenge mit den Funktionalitäten des ProKon-Systems aufweisen. Existiert zumindest ein Prozessschritt innerhalb des Konstruktionsprozesses, der vom ProKon-System unterstützt werden kann, kann der Einsatz sinnvoll sein.
15	Neben den Zielstellungen, die in Kriterium 5 abgefragt werden, sind weitere Problemstellungen im Unternehmen zu betrachten. Diese müssen durch das ProKon-System gelöst werden. Zudem kann der Fall auftreten, dass das Unternehmen keine definierten Probleme hat, sondern das ProKon-System ausprobieren möchte.
16	Das ProKon-System unterstützt Konstrukteure effektiver und effizienter, sofern innerhalb des Konstruktionsprozesses das Berechnungsprogramm für Maschinenelemente KISSsoft verwendet wird. (Stand: Dezember 2013)
17	Der Einsatz der Agententechnologie ist lohnenswert und gerechtfertigt, sofern Agentensysteme zur Abbildung von Konstruktionsprozessen eingesetzt werden, deren Prozessschritte zumindest punktuell eine Parallelität aufweisen. Diese drückt sich u. a. durch das gleichzeitige Lösen von Problemen aus.

Nr.	Erfolgsmerkmal des Kriteriums
18	Der Einsatz der Agententechnologie ist lohnenswert und gerechtfertigt, sofern Agentensysteme zur Abbildung von Konstruktionsprozessen eingesetzt werden, in denen die tätigen Rollen auf Daten- und Informationsobjekte zugreifen müssen, die an mehreren Orten gespeichert sind.
19	Der Einsatz der Agententechnologie ist lohnenswert und gerechtfertigt, sofern Agentensysteme zur Abbildung von Konstruktionsprozessen eingesetzt werden, in denen mehrere Rollen an dessen Durchführung beteiligt sind.
20	Der Einsatz der Agententechnologie ist lohnenswert und gerechtfertigt, sofern Agentensysteme zur Abbildung von Konstruktionsprozessen eingesetzt werden, in denen jede Rolle ein eigenes Ziel verfolgt und die Ziele aller Rollen untereinander konfliktträchtig bzw. gegensätzlich sind.
21	Der Einsatz der Agententechnologie ist lohnenswert und gerechtfertigt, sofern Agentensysteme zur Abbildung von Konstruktionsprozessen eingesetzt werden, in denen die Systemumgebung, die Randbedingungen und die Anforderungen noch nicht vollständig definiert sind.
22	Der Einsatz der Agententechnologie ist lohnenswert und gerechtfertigt, sofern Agentensysteme zur Abbildung von Konstruktionsprozessen eingesetzt werden, in denen sich die Systemumgebung, die Randbedingungen und die Anforderungen über dem Verlauf des Konstruktionsprozesses verändern.
23	Je höher die Wissensintensität und die Komplexität des Konstruktionsprozesses ist, in dem Konstrukteure durch das ProKon-System unterstützt werden sollen, je notwendiger ist der Einsatz eines Unterstützungs- oder Assistenzsystems.
24	Neben der Frage, ob überhaupt ein Einspar- und Verbesserungspotenzial existiert (siehe Kriterium 13), ist es wichtig, wie hoch dieses ist, um den Einsatz des ProKon-Systems bei einer bestimmten Anwendung zu rechtfertigen.
25	Die Berufserfahrung der Konstrukteure ist ein wichtiges Indiz für das Einspar- und Verbesserungspotenzial. Unerfahrenere Konstrukteure profitieren gegenüber erfahrenen Konstrukteuren besonders beim Konsistenzgrad des Produktmodells. Bezüglich der Zeitanteile (siehe Kriterium 5) profitieren beide Gruppen etwa gleichermaßen.
26	Sofern sich Konstrukteure der Dringlichkeit des Einsatzes des ProKon-Systems bewusst sind, kann davon ausgegangen werden, dass dadurch eine bessere Unterstützung erreicht wird. Konstrukteure nehmen so den Einsatz des ProKon-Systems als Unterstützung wahr und nicht nur als Maßnahme zur Kosteneinsparung.
27	Aufgrund der Konzeption des Kernsystems mit der Betreuung von Objekten im CAD-System durch Objektagenten, ist es für den Einsatz des ProKon-Systems unerlässlich, dass das Produktmodell nicht monolithisch ist. Vielmehr muss es aus mindestens zwei Elementen (Bauteile etc.) bestehen.
28	Sofern das Produkt bzgl. der Qualität verbessert werden kann, lohnt sich der Einsatz des ProKon-Systems.
29	Mit steigender Komplexität des Produktmodells steigert sich die Agentenanzahl und die Zeit zur Erbringung der Funktionalität (siehe Abschnitt 2.1.3). Ein für Konstrukteure ertragbares Maximum kann nicht definiert werden. Mit neun Objekten im CAD-System befindet sich die Zeit auf einem ertragbaren Niveau. (Stand: Dezember 2013)
30	Aufgrund des Aufwands der für die erstmalige Entwicklung des ProKon-Systems benötigt wird, können Neukonstruktionen nicht unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten unterstützt werden. Die Unterstützung von Anpassungskonstruktionen hängt von weiteren Umständen ab. Variantenkonstruktionen können unterstützt werden.
31	Sofern Meta-Modelle zur generischen Beschreibung von Maschinenelementen bereits in einem Unternehmen existieren, kann die Entwicklung des ProKon-System maßgeblich beschleunigt und vereinfacht werden. Dies wirkt sich auf die Kosten aus.

**Tabelle A.3.1:** Erweitertes Kriterienset mit Erfolgsmerkmalen



**A.4 Beispielhafter KMDL-Prozess (Aktivitätssicht)**



**Bild A.4.1:** Mithilfe von KMDL modellierter Prozess in der Aktivitätssicht zur Auslegung eines Querpressverbands nach der DIN 7190 [DIN 7190 2001]

## A.5 Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten

Identifiziertes Element	Z1	Z2	Z3	Domäne	Agentenklasse (Objekt)	Agentenklasse (Fachdomäne)
Systemgrenze 1	x			Getriebewelle		
Leitstützstruktur 1	x			Schrägverzahn-tes Stirnrad		
Wirkflächen-paar 1	x			Keilwellen-verbinding		
Leitstützstruktur 2	x			Keilwelle		
Wirkflächen-paar 2	x			Wellenabsatz		

**Tabelle A.5.1:** Schritte 1 und 2 bei der Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten

Identifiziertes Element	Z1	Z2	Z3	Domäne	Agentenklasse (Objekt)	Agentenklasse (Fachdomäne)
Systemgrenze 1	x	x	-	Getriebewelle		
Leitstützstruktur 1	x	x	-	Schrägverzahn-tes Stirnrad		
Wirkflächen-paar 1	x	x	-	Keilwellen-verbinding		
Leitstützstruktur 2	x	x	-	Keilwelle		
Wirkflächen-paar 2	x	-	-	Wellenabsatz		
Wirkflächen-paar 3	-	x	-	Sicherungsring-verbinding		
Leitstützstruktur 3	-	x	-	Sicherungsring		
Wirkflächen-paar 4	-	x	-	Sicherungsring-verbinding		

**Tabelle A.5.2:** Schritt 3 bei der Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten

Identifiziertes Element	Z1	Z2	Z3	Domäne	Agentenklasse (Objekt)	Agentenklasse (Fachdomäne)
Systemgrenze 1	x	x	-	Getriebewelle		
Leitstützstruktur 1	x	x	-	Schrägverzahntes Stirnrad		
Wirkflächenpaar 1	x	x	-	Keilwellenverbindung		
Leitstützstruktur 2	x	x	-	Keilwelle		
Wirkflächenpaar 2	x	-	-	Wellenabsatz		
Wirkflächenpaar 3	-	x	-	Sicherungsringverbindung		
Leitstützstruktur 3	-	x	-	Sicherungsring		
Wirkflächenpaar 4	-	x	-	Sicherungsringverbindung		

**Tabelle A.5.3:** Schritt 4 bei der Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten

Identifiziertes Element	Z1	Z2	Z3	Domäne	Agentenklasse (Objekt)	Agentenklasse (Fachdomäne)
Systemgrenze 1	x	x	-	Getriebewelle	Baugruppenagent „Getriebewelle“	Fachagent „Getriebewelle“
Leitstützstruktur 1	x	x	-	Schrägverzahntes Stirnrad	Bauteilagent „Stirnrad“	Fachagent „Stirnrad“
Wirkflächenpaar 1	x	x	-	Keilwellenverbindung	Verbindungsagent „Keilwellenverbindung“	Fachagent „Keilwellenverbindung“
Leitstützstruktur 2	x	x	-	Keilwelle	Bauteilagent „Keilwelle“	Fachagent „Keilwelle“
Wirkflächenpaar 2	x	-	-	Wellenabsatz	Verbindungsagent „Wellenabsatz“	Fachagent „Wellenabsatz“
Wirkflächenpaar 3	-	x	-	Sicherungsringverbindung	Verbindungsagent „Sicherungsringverbindung“	Fachagent „Sicherungsringverbindung“
Leitstützstruktur 3	-	x	-	Sicherungsring	Bauteilagent „Sicherungsring“	Fachagent „Sicherungsring“
Wirkflächenpaar 4	-	x	-	Sicherungsringverbindung	Verbindungsagent „Sicherungsringverbindung“	Fachagent „Sicherungsringverbindung“

**Tabelle A.5.4:** Schritt 5 bei der Identifikation von anwendungsspezifischen Agenten

## A.6 Detaillierter Entwurfsprozess

Schritt	Bezeichnung des Entwurfsschrittes
<b>1</b>	<b>Erkennen gestaltungsbestimmender Anforderungen</b>
1.1	Erkennen explizit genannter gestaltungsbestimmender Anforderungen
1.2	Ableiten implizit vorhandener gestaltungsbestimmender Anforderungen
1.3	Beurteilen gestaltungsbestimmender Anforderungen hinsichtlich deren Priorität (Rangfolge bilden)
<b>2</b>	<b>Klären der die Gestaltung bestimmenden räumlichen Bedingungen (z. B. geforderte Abstände)</b>
<b>3</b>	<b>Modularisieren der prinzipiellen Lösung</b>
3.1.1	Unterscheidung der Module als Funktionsträger in Haupt- und Nebenfunktionsträger anhand der prinzipiellen Lösung
3.1.2	Klassifikation der Module hinsichtlich der Anforderungen in wichtige und weniger wichtige
3.1.3	Klassifikation der Module hinsichtlich der zeitlichen Dringlichkeit
3.1.4	Unterscheidung der Module in neu zu bearbeitende und in wiederverwendete
3.2	Aufstellen der Produktstruktur bzw. Gliedern in realisierbare Module
3.3	Aufstellen der Reihenfolge beim nachfolgenden Entwerfen hinsichtlich der zuvor durchgeführten Priorisierung
<b>4</b>	<b>Grobgestalten der ersten priorisierten Module</b>
4.1	Werkstoff und Gestalt unter Berücksichtigung der Hauptmerkmaliste (nur Auslegen) vorläufig auslegen
4.2	Maßstäbliches Einfügen der Ergebnisse in die gesetzten räumlichen Bedingungen
4.3	Festgelegte Bauteile in vereinfachter Weise darstellen
<b>5</b>	<b>Auswählen geeigneter Entwürfe (nur der zuvor priorisierten Module/ Hauptfunktionsträger)</b>
5.1	Vorläufige Entwürfe nach den zutreffenden Gesichtspunkten aus der Hauptmerkmaliste (Leitlinie) beurteilen
5.2	Entwürfe zur Weiterbearbeitung auswählen
<b>6</b>	<b>Grobgestalten weiterer priorisierter Module</b>
6.1	Werkstoff und Gestalt unter Berücksichtigung der Hauptmerkmaliste (nur Auslegen) vorläufig auslegen
6.2	Maßstäbliches Einfügen der Ergebnisse in die gesetzten räumlichen Bedingungen
6.3	Festgelegte Bauteile in vereinfachter Weise darstellen

Schritt	Bezeichnung des Entwurfsschrittes
<b>7</b>	<b>Suche von Lösungen für weniger priorisierte Module (im Fall Pahl und Beitz: Nebenfunktionsträger)</b>
7.1	Feststellen, für welche weniger priorisierte Module Norm-, Standard-, Wiederholteile und Kataloglösungen verwendet werden können
7.2.1	Lösungen für Funktionen in abgekürzter Vorgehensweise suchen, sofern sie keine Norm-, Standard-, Wiederholteile und Kataloglösungen darstellen
7.2.2	Grobe Gestaltung der weniger priorisierte Module, sofern sie keine Norm-, Standard-, Wiederholteile und Kataloglösungen darstellen
<b>8</b>	<b>Feingestalten der priorisierten Module unter Beachtung der weniger priorisierten Module</b>
8.1	Ggfs. Aufteilen in Baugruppen oder Zonen
8.2.1	Gestaltung unter Beachtung von Gestaltungsregeln
8.2.2	Gestaltung unter Beachtung von Normen und Vorschriften
8.2.3	Gestaltung unter Beachtung von genauen Berechnungen und Versuchsergebnissen
8.2.4	Gestaltung unter Beachten der Nebenfunktionsträger
8.3	Darstellung der Hauptfunktionsträger unter Beachten der Nebenfunktionsträger
<b>9</b>	<b>Feingestalten der weniger priorisierten Module und Vervollständigen der vorläufigen Entwürfe</b>
9.1.1	Gestaltung unter Beachtung von Gestaltungsregeln
9.1.2	Gestaltung unter Beachtung von Normen und Vorschriften
9.1.3	Gestaltung unter Beachtung von genauen Berechnungen und Versuchsergebnissen
9.1.4	Gestaltung unter Beachten der Nebenfunktionsträger
9.2	Darstellung der Nebenfunktionsträger
9.3	Hinzufügen von Norm- und Zulieferteilen
9.4	Abschließende Gestaltung der priorisierten Module
9.5	Abschließendes Darstellen aller Module
<b>10</b>	<b>Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien</b>
10.1	Prüfung, ob Entwürfe auf gleicher Konkretisierungsstufe
10.2	Entscheiden, ob Entwürfe einer Konkretisierung bedürfen
10.3	Konkretisierung der Entwürfe, die einer Konkretisierung bedürfen
10.4	Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien
<b>11</b>	<b>Festlegen des vorläufigen Gesamtentwurfs Freigabe zum abschließenden Gestalten</b>

Schritt	Bezeichnung des Entwurfsschrittes
<b>12</b>	<b>Optimierendes und abschließendes Gestalten</b>
12.1.1	Beseitigen erkannter Schwachstellen durch Umkonstruieren
12.1.2	Übernahme geeigneter Teillösungen weniger favorisierter Varianten
12.2	Ggfs. Optimierung und endgültiges Gestalten durch iteratives Vorgehen (evtl. Schritte 4-9)
<b>13</b>	<b>Kontrollieren auf Fehler und Störgrößeneinfluss</b>
13.1	Kontrollieren auf Fehler und auf Störgrößeneinfluss in Bezug auf die Hauptmerkmalliste (Leitlinie)
13.2	Nachweis auf Kosten und Qualität
13.3	Beseitigen der gefundenen Fehler und Störgrößen durch Verbesserung des Entwurfs
<b>14</b>	<b>Vervollständigen des Gesamtentwurfs durch Aufstellen der vorläufigen Stückliste, der Fertigungs- und Montageanweisungen</b>
<b>15</b>	<b>Festlegen des Gesamtentwurfs Freigabe zum Ausarbeiten</b>

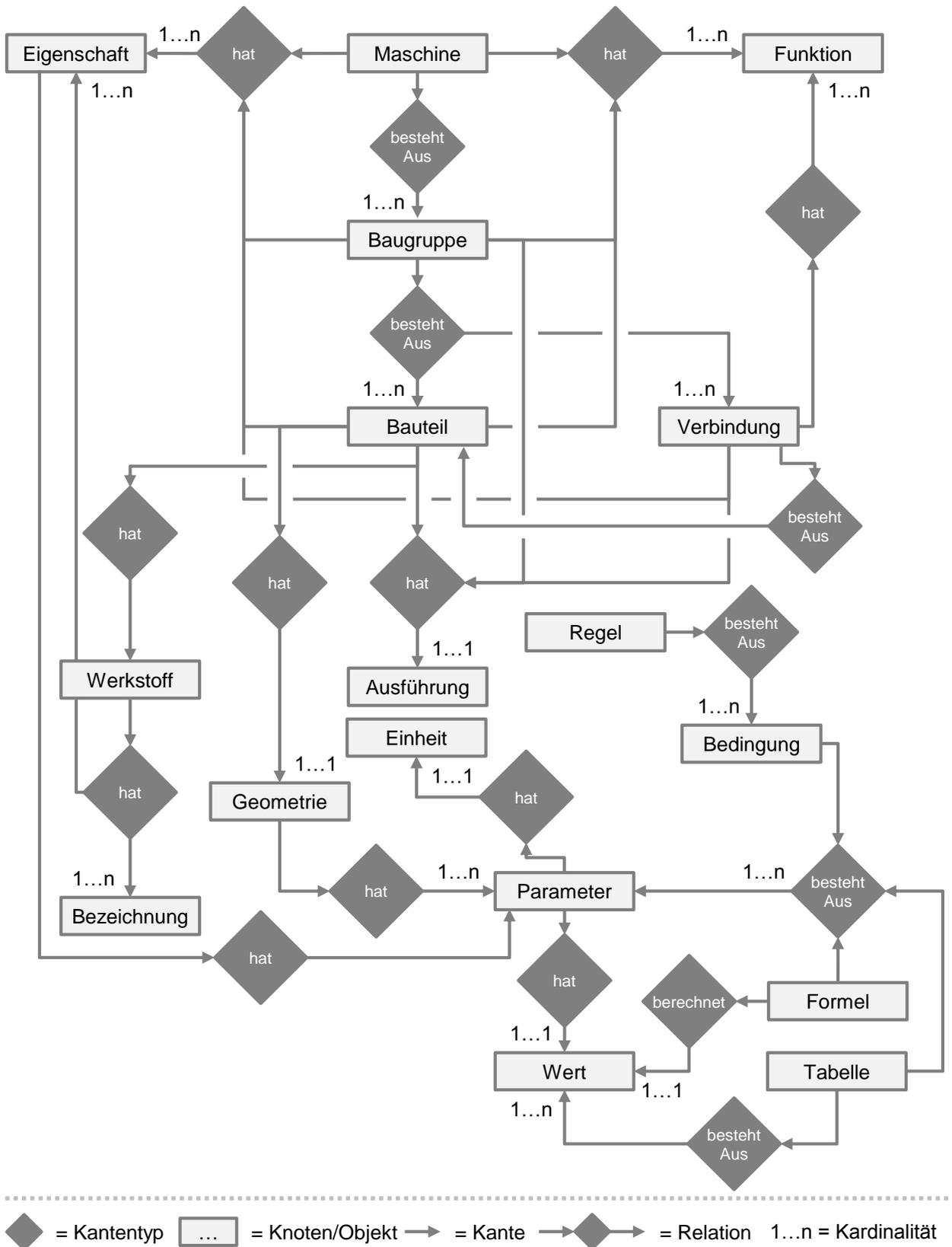
■ = Hauptschritt

■ = Unterschritt

□ = Durch das ProKon-System unterstützter Schritt

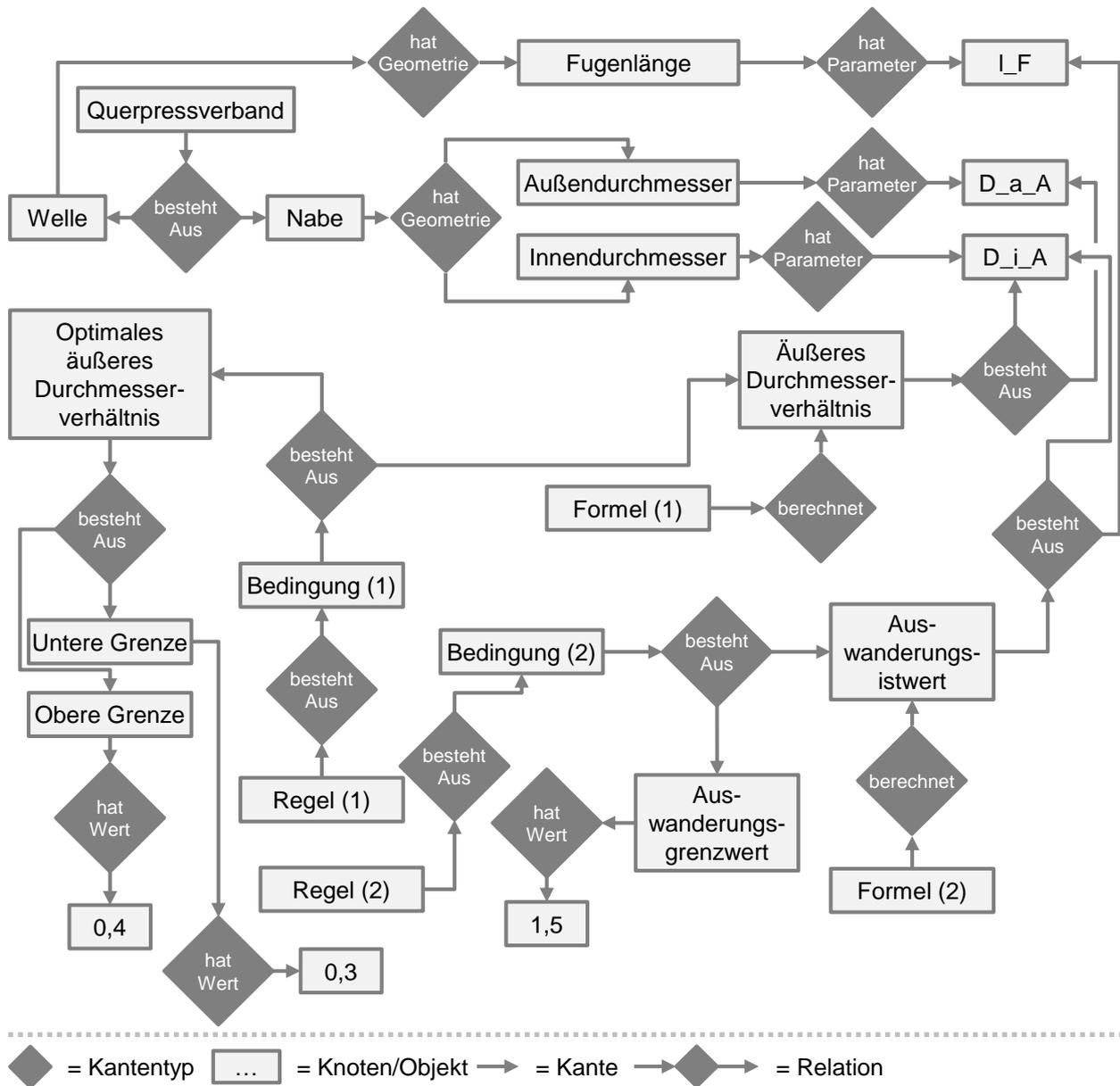
**Tabelle A.6.1:** Erweiterter Entwurfsprozess nach Pahl et al. [PAHL07] mit Schritten aus der VDI 2223 [VDI 2223 2004] detailliert

### A.7 Prinzipieller Aufbau eines semantischen Netzes



**Bild A.7.1:** Prinzipieller Aufbau eines semantischen Netzes

### A.8 Semantisches Netz für den Querpressverband



**Bild A.8.1:** Ausschnitt des semantischen Netzes für die Wissensdomäne des Querpressverbands

## A.9 ProKon-knowledge forms für den Querpressverband

ProKon-Knowledge form: Regel		ProKon-Knowledge form: Formel	
Name	Optimales äußeres Durchmesser Verhältnis - Regel	Name	Optimales äußeres Durchmesser Verhältnis - Berechnung
Referenz	R_QPV_8	Referenz	F_QPV_4
Informale Beschreibung	Der Querpressverband ist funktionsgerecht gestaltet, wenn die Nabe das optimale Durchmesser Verhältnis aufweist.	Informale Beschreibung	Das Durchmesser Verhältnis der Nabe stellt den Quotient aus Fugendurchmesser und dem Nabenaußendurchmesser dar.
Domäne	Querpressverband	Domäne	Querpressverband
Semi-formale Beschreibung	IF $0.3 \leq Q_A \leq 0.4$ , THEN Regel = TRUE	Semi-formale Beschreibung	$Q_A = D_F / D_{a_A}$
Quelle	[KOLLMANN84, S. 79 f.]	Quelle	[DIN 7190 2001, S. 7]
Relationen	R_QPV_12, B_QPV_7, B_QPV_10	Relationen	P_QPV_1, (B_QPV_7), (B_QPV_10), (F_QPV_14)
Ersteller	Kratzer (Version 0.4) vom 28.10.2013	Ersteller	Kratzer (Version 0.4) vom 28.10.2013

ProKon-Knowledge form: Bedingung		ProKon-Knowledge form: Bedingung	
Name	Optimales äußeres Durchmesser Verhältnis - obere Grenze	Name	Optimales äußeres Durchmesser Verhältnis - untere Grenze
Referenz	B_QPV_7	Referenz	B_QPV_10
Informale Beschreibung	Das Durchmesser Verhältnis der Nabe liegt unter dem oberen Grenzwert von 0,4.	Informale Beschreibung	Das Durchmesser Verhältnis der Nabe liegt über dem unteren Grenzwert von 0,3.
Domäne	Querpressverband	Domäne	Querpressverband
Semi-formale Beschreibung	$Q_A \leq 0.4$	Semi-formale Beschreibung	$Q_A \geq 0.3$
Quelle	[KOLLMANN84, S. 80]	Quelle	[KOLLMANN84, S. 80]
Relationen	P_QPV_1, R_QPV_8, (F_QPV_4)	Relationen	P_QPV_1, R_QPV_8, (F_QPV_4)
Ersteller	Kratzer (Version 0.3) vom 28.10.2013	Ersteller	Kratzer (Version 0.2) vom 28.10.2013

**Bild A.9.1:** PKF für Sachverhalt 1 bzgl. des optimalen äußeren Durchmesser Verhältnisses

ProKon-Knowledge form: Regel		ProKon-Knowledge form: Formel	
Name	Auswandern bei umlaufenden/wechselnden Biegemomenten - Regel	Name	Auswandern bei schwellenden/wechselnden Torsionsmomenten - Formel
Referenz	R_QPV_26	Referenz	F_QPV_11
Informale Beschreibung	Der Querpressverband ist funktionsgerecht gestaltet, wenn bei umlaufenden/wechselnden Biegemomenten der hierfür relevante Grenzwert nicht unterschritten wird.	Informale Beschreibung	Der Auswanderungsgrenzwert ist der Quotient bestehend aus der Fugenlänge und dem Fugendurchmesser.
Domäne	Querpressverband	Domäne	Querpressverband
Semi-formale Beschreibung	IF $M_b > 0$ AND Auswanderungswert $> 1.5$ , THEN Regel = TRUE	Semi-formale Beschreibung	Auswanderungswert = $I_F / D_F$
Quelle	[KOLLMANN84, S.80]	Quelle	[KOLLMANN84, S.80]
Relationen	R_QPV_12, B_QPV_13, B_QPV_28	Relationen	P_QPV_1, (B_QPV_13), (B_QPV_14)
Ersteller	Kratzer (Version 0.3) vom 28.10.2013	Ersteller	Kratzer (Version 0.2) vom 28.10.2013

ProKon-Knowledge form: Bedingung		ProKon-Knowledge form: Bedingung	
Name	Auswandern bei umlaufenden/wechselnden Biegemomenten - Grenzwertbedingung	Name	Auswandern bei umlaufenden/wechselnden Biegemomenten - Biegemoment
Referenz	B_QPV_13	Referenz	B_QPV_28
Informale Beschreibung	Der Auswanderungswert muss über dem Auswanderungsgrenzwert liegen.	Informale Beschreibung	Das Biegemoment muss größer 0 Nm sein.
Domäne	Querpressverband	Domäne	Querpressverband
Semi-formale Beschreibung	Auswanderungswert $>$ Auswanderungsgrenzwert	Semi-formale Beschreibung	$M_b > 0$
Quelle	[KOLLMANN84, S. 80]	Quelle	[KOLLMANN84, S. 80]
Relationen	P_QPV_1, R_QPV_26, (F_QPV_11)	Relationen	P_QPV_1, R_QPV_26
Ersteller	Kratzer (Version 0.3) vom 28.10.2013	Ersteller	Kratzer (Version 0.2) vom 28.10.2013

**Bild A.9.2:** PKF für Sachverhalt 2 bzgl. des Auswanderns der Welle

## A.10 Fragebögen für die Evaluation

Zur standardisierten Befragung ausgewählter Fachexperten in der Industrie und in der akademischen Forschung wurde ein Fragebogen erarbeitet. Dabei wurde darauf geachtet, dass sozialwissenschaftliche Aspekte berücksichtigt werden (z. B. nur eine Fragestellung pro Frage, offene/geschlossene Fragestellungen). Zudem richten sich die Fragestellungen inhaltlich an den Schlüsselfaktoren und messbaren Erfolgsfaktoren aus, die im „Impact Model“ aufgeführt sind (siehe Bild 7.1). Folgende Tabelle A.10.1 führt die Fragen auf.

Nr.	Fragestellung
1	Welchen Gesamteindruck haben Sie von der Vorgehensweise?
2	Wie gut werden Wissensingenieure mit Hilfe der Vorgehensweise bei der Entwicklung eines unternehmensspezifischen ProKon-Systems unterstützt?
3	Inwieweit werden Wissensingenieure durch die Anwendung des Organisationsmodells zu einer Einschätzung befähigt, wie gut das ProKon-System ein spezifisches Unternehmen unterstützen kann?
4	Inwieweit werden Wissensingenieure durch die Anwendung des Agentenmodells in die Lage versetzt, Konstruktionsobjekte systematisch zu analysieren, um methodisch die notwendigen Objektagenten zu identifizieren?
5	Inwieweit werden Wissensingenieure durch die Anwendung des Wissensmodells dabei unterstützt, das richtige Wissen zu akquirieren?
6	Inwieweit werden Wissensingenieure durch die Anwendung des Wissensmodells dabei unterstützt, das Wissen in der richtigen Qualität zu akquirieren?
7	Inwieweit werden Wissensingenieure durch die Anwendung des Wissensmodells dabei unterstützt, Softwareingenieuren das Wissen in der richtigen Form bereitzustellen?
8	Inwieweit werden Wissensingenieure durch die Anwendung des Wissensmodells dabei unterstützt, das Wissen den richtigen Agenten zuzuordnen?
9	Ist die Vorgehensweise auf Basis Ihres Erfahrungsschatzes anwendbar?
10	Sind Sie der Meinung, dass die Funktionalität des ProKon-Basissystems durch die Anwendung der Vorgehensweise erhöht wird?
11	Inwieweit kann durch die Vorgehensweise eine bessere „Verzahnung“ der Entwicklungstätigkeiten von Wissensingenieuren und Softwareingenieuren erreicht werden?
12	Wird durch die Vorgehensweise eine klarere Rollenbeschreibung des Wissensingenieurs erreicht?
13	Wie gut berücksichtigt die Vorgehensweise die inhärenten Charakteristiken von Agentensystemen?
14	Ist die Vorgehensweise im Gesamten oder in Teilen auch auf die Entwicklung anderer Arten wissensbasierter Systeme übertragbar?

**Tabelle A.10.1:** Fragebogen zur standardisierten Befragung der Fachexperten

Mithilfe des nachfolgenden Fragebogens (siehe Tabelle A.10.2) für die Evaluation des Organisationsmodells wurde geprüft, inwiefern das Kriterienset vollständig, redundanzfrei, widerspruchsfrei und verständlich ist. Zudem beinhaltet der Fragebogen Fragen zur Überprüfung der Vorgehensweise innerhalb der der Unternehmensanalyse. Abschließend sollten die Probanden zwei Fragen bzgl. der Beeinflussung des Schlüsselfaktors durch das Organisationsmodells beantworten.

Nr.	Fragestellung
1	Ist die Vorgehensweise innerhalb der Unternehmensanalyse in der Abfolge der einzelnen Schritte nachvollziehbar?
2	Ist die Vorgehensweise innerhalb der Unternehmensanalyse in sich redundanzfrei?
3	Ist die Vorgehensweise innerhalb der Unternehmensanalyse in sich widerspruchsfrei?
4	Ist die Vorgehensweise innerhalb der Unternehmensanalyse in sich vollständig?
5	Ist das Kriterienset in sich vollständig?
6	Ist das Kriterienset in sich widerspruchsfrei?
7	Ist das Kriterienset in sich redundanzfrei?
8	Ist das Kriterium in sich vollständig?
9	Ist das Kriterium in sich verständlich?
10	Ist das Kriterium in sich widerspruchsfrei?
11	Ist das Kriterium in sich redundanzfrei?
12	Beeinflusst die Anwendung der Vorgehensweise innerhalb der Unternehmensanalyse in Kombination mit dem Kriterienset die Einschätzbarkeit von Unternehmen hinsichtlich der Einsetzbarkeit des ProKon-Systems?
13	Erhöht die Anwendung der Vorgehensweise innerhalb der Unternehmensanalyse in Kombination mit dem Kriterienset die Einschätzbarkeit von Unternehmen hinsichtlich der Einsetzbarkeit des ProKon-Systems?

**Tabelle A.10.2:** Fragebogen für die Evaluation des Organisationsmodells

Die nachfolgende Tabelle A.10.3 zeigt den Fragebogen für die Evaluation des Agentenmodells. Mithilfe dieses standardisierten Fragebogens wurde erhoben, wie die Probanden die Vorgehensweise zur Erarbeitung des Agentenmodells hinsichtlich deren Nachvollziehbarkeit, Verständlichkeit, Redundanz- und Widerspruchsfreiheit sowie deren Vollständigkeit bewerteten. Abschließend enthält der Fragebogen zwei Fragen bzgl. der Beeinflussung der Schlüsselfaktoren durch das Agentenmodell.

Nr.	Fragestellung
1	Ist die Vorgehensweise in der Abfolge der einzelnen Schritte logisch nachvollziehbar?
2	Sind die einzelnen Schritte innerhalb der Vorgehensweise in sich verständlich?
3	Ist die Vorgehensweise in sich redundanzfrei?
4	Ist die Vorgehensweise in sich widerspruchsfrei?
5	Ist die Vorgehensweise in sich vollständig?
6	Ist die Vorgehensweise Ihrer Meinung nach innerhalb des vorliegenden Kontextes anwendbar?
7	Ist Ihrer Meinung nach das Elementmodell (C&C <sup>2</sup> -A) für die Umsetzung der mit dem Agentenmodell verbundenen Ziele geeignet?
8	Sind die Symbole für die Abbildung der Leitstützstruktur, des Wirkflächenpaares und der Systemgrenze geeignet?
9	Tragen die Hilfsmittel zur benutzerfreundlichen Anwendung der Vorgehensweise bei?
10	Sind die Hilfsmittel zur Durchführung der Vorgehensweise an sich verständlich?
11	Werden Ihrer Meinung nach mit Hilfe des Agentenmodells die richtigen Agenten im Sinne des Anwendungszwecks erarbeiten?
12	Werden Ihrer Meinung nach mit Hilfe des Agentenmodells die Agenten in der für den Softwareingenieur richtigen Form aufbereitet?

**Tabelle A.10.3:** Fragebogen für die Evaluation des Agentenmodells

Für die Evaluation der Wissensidentifikation und Wissensstrukturierung innerhalb des Wissensmodells wurden 10 Fragen erarbeitet, die in Tabelle A.10.4 dargestellt sind. Neben den standardisierten Fragen, die in die vorherigen Fragebögen ebenfalls zu finden sind (z. B. Fragen 3, 4 und 5), liegt der Fokus auf der Abfrage, inwieweit die Ansätze für die beiden Schritte ihren Zweck erfüllen.

Nr.	Fragestellung
1	Ist die Vorgehensweise in der Abfolge der einzelnen Schritte logisch nachvollziehbar?
2	Sind die einzelnen Schritte innerhalb der Vorgehensweise in sich verständlich?
3	Ist die Vorgehensweise in sich redundanzfrei?
4	Ist die Vorgehensweise in sich widerspruchsfrei?
5	Ist die Vorgehensweise in sich vollständig?
6	Ist die Vorgehensweise Ihrer Meinung nach innerhalb des vorliegenden Kontextes anwendbar?
7	Wurde Ihrer Meinung nach das Prinzip der Kompetenz durch den Schritt der Wissensidentifikation adäquat umgesetzt?
8	Wurde Ihrer Meinung nach das Prinzip der Rolle durch den Schritt der Wissensstrukturierung adäquat umgesetzt?
9	Tragen die Hilfsmittel zur benutzerfreundlichen Anwendung der Vorgehensweise bei?
10	Sind die Hilfsmittel zur Durchführung der Vorgehensweise an sich verständlich?

**Tabelle A.10.4:** Fragebogen für die Evaluation des Wissensmodells in den Schritten der Wissensidentifikation und Wissensstrukturierung

Analog zum Aufbau des Fragebogens für die Evaluation der Wissensidentifikation und Wissensstrukturierung ist der Fragebogen für die Evaluation der Wissensrepräsentation aufgebaut. Den entsprechenden Fragebogen zeigt Tabelle A.10.5.

Nr.	Fragestellung
1	Ist die Vorgehensweise in der Abfolge der einzelnen Schritte logisch nachvollziehbar?
2	Sind die einzelnen Schritte innerhalb der Vorgehensweise in sich verständlich?
3	Ist die Vorgehensweise in sich redundanzfrei?
4	Ist die Vorgehensweise in sich widerspruchsfrei?
5	Ist die Vorgehensweise in sich vollständig?
6	Ist die Vorgehensweise Ihrer Meinung nach innerhalb des vorliegenden Kontextes anwendbar?
7	Inwiefern sind die verwendeten Methoden PKF und Wissensverteilung Ihrer Meinung nach geeignet, das Wissen auf einer semi-formalen Beschreibungsebene zu modellieren?
8	Inwiefern ist die Wissen-Rollen-Struktur Ihrer Meinung nach geeignet, das Wissen auf die richtigen Agenten zuzuordnen?
9	Tragen die Hilfsmittel zur benutzerfreundlichen Anwendung der Vorgehensweise bei?
10	Sind die Hilfsmittel zur Durchführung der Vorgehensweise an sich verständlich?

**Tabelle A.10.5:** Fragebogen für die Evaluation des Wissensmodells im Schritt der Wissensrepräsentation

Im Folgenden sind zwei Fragebögen dargestellt, die während der Evaluation des ProKon-Systems verwendet wurden. Zunächst wurden die Konstrukteure in der Praxis zu deren Person befragt (siehe Tabelle A.10.6). Hier sollten die Probanden angeben, wie sie sich hinsichtlich der eigenen Kompetenzen in unterschiedlichen Richtungen einschätzten. Zudem sollten die Probanden nach der Arbeit mit dem ProKon-System angeben, inwieweit die Schlüsselfaktoren des ProKon-Systems beeinflusst wurden (siehe Tabelle A.10.7).

	1	2	3	4	5
Ich bin ein Experte in der Nutzung von Pro/ENGINEER 4.0 oder 5.0.	<input type="radio"/>				
Ich habe bereits oft Softwaresysteme zur Unterstützung von Konstrukteuren verwendet.	<input type="radio"/>				
Ich bin Experte im Bereich der klassischen Wissensakquise (Erhebung, Analyse, Integration).	<input type="radio"/>				
Ich bin Experte im Bereich der objektorientierten Programmierung.	<input type="radio"/>				
Ich kenne die Struktur der Wissensbasis des ProKon-Systems genau.	<input type="radio"/>				
Ich bin Experte im Umgang mit dem ProKon-System.	<input type="radio"/>				
Ich habe eine hohe Erwartungshaltung an die Funktionalität des ProKon-Systems.	<input type="radio"/>				
Ich bin ein Experte im Bereich der Konstruktion von Industrie- oder Fahrzeuggetrieben.	<input type="radio"/>				
Ich habe bereits oft grafische Benutzungsoberflächen zur Integration von Wissen verwendet.	<input type="radio"/>				

**Tabelle A.10.6:** Fragebogen für die Evaluation des ProKon-Systems im ProKon-Projekt (Eigene Einschätzung der Experten)

Fragestellung	Ja	Nein
<b>Verändert</b> sich durch die Verwendung des Basissystems Ihrer Meinung nach der Zeiteanteil zur Überarbeitung und Verbesserung von Produkten?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Reduziert</b> sich durch die Verwendung des Basissystems Ihrer Meinung nach der Zeiteanteil zur Überarbeitung und Verbesserung von Produkten?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Verändert</b> sich durch die Verwendung des Basissystems Ihrer Meinung nach der Gestaltungsgrad eines Produkts nach DfX-Kriterien?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Verbessert</b> sich durch die Verwendung des Basissystems Ihrer Meinung nach der Gestaltungsgrad eines Produkts nach DfX-Kriterien?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Verändert</b> sich durch die Verwendung des Basissystems Ihrer Meinung nach der Zeiteanteil zur Informationsrecherche, -bewertung und -umsetzung?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Reduziert</b> sich durch die Verwendung des Basissystems Ihrer Meinung nach der Zeiteanteil zur Informationsrecherche, -bewertung und -umsetzung?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Tabelle A.10.7:** Fragebogen für die Evaluation des ProKon-Systems im ProKon-Projekt (Beeinflussung der Schlüsselfaktoren)

Letztlich wurden die Softwareingenieure im ProKon-Projekt mithilfe des Fragebogens in Tabelle A.10.8 befragt. Dieser enthält Fragen zu den Ergebnissen aus dem Wissensmodell (z. B. PKF und Wissensverteilung), die vornehmlich für die formale Integration des Wissens in die Wissensbasis des ProKon-Systems verwendet wurden.

Nr.	Fragestellung
1	Mit welchen der vier Ergebnisse aus der Vorgehensweise (d. h. PKF-Sammlung, Wissensverteilung, Wissen-Rollen-Struktur und Meta-Modelle) haben Sie sich näher beschäftigt?
2	Inwieweit sind die vier Ergebnisse aus der Vorgehensweise als Vorlage für Sie dazu geeignet, Konstruktionswissen in das ProKon-System formal zu integrieren?
3	Inwieweit berücksichtigen die Ergebnisse aus der Vorgehensweise eine verteilte Wissensbasis, die bei Agentensystemen charakteristisch ist?
4	Welchen Gesamteindruck haben Sie von den Ergebnissen aus der Vorgehensweise?
5	Inwieweit war der allgemeine strukturelle Aufbau der PKF hinsichtlich Syntax und Semantik für Sie soweit verständlich?
6	Inwieweit war die Sammlung an PKF innerhalb einer Wissensdomäne für Sie soweit verständlich?
7	Inwieweit war der allgemeine strukturelle Aufbau der PKF hinsichtlich der einzelnen Beschreibungsfelder für Sie soweit vollständig?
8	Inwieweit waren die Sammlungen an PKF bzgl. der integrierten Wissensdomänen vollständig?
9	Inwieweit war der allgemeine strukturelle Aufbau der PKF hinsichtlich der einzelnen Beschreibungsfelder für Sie soweit redundanzfrei?
10	Inwieweit war der allgemeine strukturelle Aufbau der PKF hinsichtlich der einzelnen Beschreibungsfelder für Sie soweit widerspruchsfrei?
11	Inwieweit war für Sie der generelle strukturelle Aufbau der Wissensverteilung verständlich?
12	Inwieweit waren für Sie die Wissensverteilungen bzgl. der integrierten Wissensdomänen vollständig?
13	Inwieweit waren für Sie die einzelnen PKF innerhalb der Wissensverteilung redundanzfrei?
14	Inwieweit waren für Sie die einzelnen PKF innerhalb der Wissensverteilung widerspruchsfrei?
15	Inwieweit waren die Vorschläge von Seiten des IKTD soweit korrekt, zu welchem Agenten das Konstruktionswissen zugeordnet werden sollte?

**Tabelle A.10.8:** Fragebogen für die Evaluation des allgemeinen Wissensmodells

## **A.11 Evaluation Daimler AG**

Die Vorgehensweise wurde zwei Fachexperten bei der Daimler AG präsentiert. Einer der Fachexperten besitzt eine jahrzehntelange Berufserfahrung auf den Gebieten Assistenzsysteme für die 3D-Konstruktion, Inferenzmaschinen, Digital Mock-Up, Wissensverarbeitung mit Ontologien und Stücklistenmethodik. Der zweite Fachexperte ist seit Kurzem bei diesem Unternehmen und beschäftigt sich im Bereich des Rohbaus mit wissensbasierten Methoden zu dessen Unterstützung. Ziel ist es dabei, den gesamten Rohbauprozess durchgängig mit wissensbasierten Methoden zu unterstützen.

Nach deren Meinung besteht eine Notwendigkeit für eine Vorgehensweise zur Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems. Diese ist in sich schlüssig, durchdacht und systematisch aufgebaut. Es kann von einem guten Ansatz gesprochen werden, der einen Fortschritt darstellt, wobei recht umfassend und vollständig der Stand der Forschung berücksichtigt wurde. Das Vorgehensmodell deckt alles ab, was der Wissensingenieur bei der Entwicklung eines anwendungsspezifischen ProKon-Systems zu beachten hat. Das gesamte Vorgehen wird als sehr aufwendig empfunden.

Der Ansatz zur Erarbeitung des Organisationsmodells wird als sehr gut angesehen. Es wird bestätigt, dass die Analyse in den frühen Phasen der Entwicklung von wissensbasierten Systemen wichtig ist. Im Vordergrund soll die Akzeptanzgewinnung bzgl. der Endanwender stehen, was zum Teil berücksichtigt wurde. Das Vorgehen innerhalb des Organisationsmodells ist schlüssig und logisch nachvollziehbar. Die Kriterien sind zweckmäßig und gut aufgestellt, wobei höchstwahrscheinlich alles bedacht wurde. Die Durchführung des Vorgehens wird aufwendig sein.

Bezüglich des Agentenmodells wurde bezweifelt, dass das vorgestellte C&C<sup>2</sup>-A geeignet ist, um komplexe Konstruktionsobjekte zu analysieren. Dementsprechend wird es schwierig sein, für diese Konstruktionsobjekte relevante Objekt- und Fachagenten abzuleiten.

Beim Wissensmodell wurde vor allem die Wissen-Rollen-Struktur als schlüssig und hilfreich empfunden.

## **A.12 Evaluation ems Engineering & Management Service GmbH**

Der befragte Fachexperte verfügt über mehr als 30 Jahre Berufserfahrung in den Bereichen Einführung von CAD-Systemen, Verwaltung von Produktdatenmanagementsystemen, agentenbasiertes Änderungsmanagement und Gestaltung von Unternehmensprozessen unter Berücksichtigung der IT.

Bei der Einführung eines agentenbasierten Systems für das Änderungsmanagement standen die Projektmitarbeiter vor einem „Berg an Arbeit“, konnten diesen jedoch nicht in bearbeitbare Teilschritte untergliedern. Vor diesem Hintergrund macht die Vorgehensweise einen sehr guten Eindruck, da sie für die anwendungsspezifische Entwicklung eines ProKon-Systems eine schrittweise Beschreibung des Entwicklungsprozesses bietet. Eine vergleichbare Vorgehensweise hätte die Entwicklung eines agentenbasierten Änderungsmanagementsystems nicht scheitern lassen. Speziell im Bereich der PKF und der Wissensverteilung erscheint die Vorgehensweise für Wissensingenieure besonders wertvoll zu sein. Die Vorgehensweise ist für die meisten Konstruktionsmethodiker schnell erlernbar, wobei sie sich in einige Methoden, wie z. B. die Wissensverteilung, einarbeiten müssten. Eine Anwendbarkeit wird attestiert.

Die Aufstellung des Organisationsmodells ist nach Meinung des Fachexperten besonders wirkungsvoll, sofern der Wissensingenieur keine Erfahrung mit agentenbasierten Konstruktionssystemen besitzt und wenn sich die neue von der alten Anwendung beträchtlich unterscheidet. In diesen Fällen wird der Wissensingenieur „sicherlich 10 Mal schneller sein als ohne Organisationsmodell“. Sofern jedoch der Unterschied zwischen alter und neuer Anwendung innerhalb eines Unternehmens gering ist, wird das Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells nicht mehr verwendet. Die Kriterien innerhalb des Modells sind zweckmäßig, obwohl einige noch detailliert werden könnten. Wichtig ist es, dass dem Wissensingenieur und den Entscheidern ein gewisser Handlungsspielraum bei der Bewertung und Entscheidung bleibt. Dies sieht die Vorgehensweise vor. Das Vorgehen zur Erarbeitung des Agentenmodells ist handhabbar und beinhaltet die wesentlichen Elemente. Die Methode ist alternativlos.

Das Wissensmodell ist dazu geeignet, das richtige Wissen, in der richtigen Form den richtigen Agenten zuzuweisen. Es ist zweckmäßig, dass nicht nur die Konstrukteure unterstützt werden, die innerhalb des relevanten Konstruktionsprozesses tätig sind. Bei der Zuweisung des Wissens zu den Agenten ist das Wissensmodell geeignet, jedoch hängt die Zuordnungsqualität zudem von der Erfahrung des Wissensingenieurs ab. Durch das Wissensmodell findet eine implizite Wissenssicherung statt, die für das Management eines Unternehmens ein zentraler Aspekt ist.

### **A.13 Evaluation Blum AG**

Der Fachexperte ist ein Spezialist für das Knowledge-based Engineering im Umfeld von Produktkonfigurationen. Er besitzt aufgrund seiner Promotion auf diesem Gebiet wichti-

ges Hintergrundwissen und kennt die Probleme sowie Anforderungen in der industriellen Praxis genau. Aufgrund seiner Funktion als Vorsitzender eines VDI-Arbeitskreises zur Erarbeitung einer Richtlinie für die wissensbasierte Konstruktion sind ihm die Problematiken in Bezug auf Vorgehensweisen (CommonKADS, MOKA etc.) bekannt.

Seiner Meinung nach trifft die Vorgehensweise „absolut den Zahn der Zeit“. Konstrukteure und Wissensingenieure „suchen verzweifelt nach handhabbaren Methoden“. Insgesamt wurde attestiert, dass innerhalb der systematischen Vorgehensweise alle Punkte sehr systematisch und umfassend angegangen wurden. Der Wissensingenieur findet sich in der beschriebenen Thematik wieder und erfährt eine Unterstützung. Die Vorgehensweise ist grundsätzlich anwendbar. Die Fokussierung des Konstruktionsprozesses ist positiv zu vermerken, da im Gespräch mit Konstrukteuren diese genau wissen, in welchem Schritt des Konstruktionsprozesses sie sich befinden. Die Vorgehensweise bietet eine gute Leitlinie für Einsteiger und eine Modularität, die Wissensingenieuren ein flexibles Arbeiten ermöglicht. Für die Verwendung in der industriellen Praxis muss die akademische Abstraktheit weiter konkretisiert werden. Von den Wissensingenieuren wird weiterhin für die Durchführung der Vorgehensweise ein „gewisser Intellekt“ benötigt, da diese nicht trivial ist.

Die Vorgehensweise sollte innerhalb des Organisationsmodells besonders Anwendungen fokussieren, bei denen „Quick wins“ zu erzielen sind. So lässt sich das Management des Unternehmens von der Funktionalität des ProKon-Systems überzeugen. Grundsätzlich macht es das Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells einfacher, eine Entscheidungsgrundlage für das Management zu erarbeiten.

Der Ansatz zur Erarbeitung des Agentenmodells wurde als gut befunden.

Das Wissensmodell ist gut, sauber definiert und durchgängig beschrieben. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass eine implizite Wissenssicherung erreicht wird. Der Wissensingenieur steht im Wissensmodell vor der besonderen Herausforderung, das Wissen in die richtigen Agenten zu integrieren.

#### **A.14 Evaluation :em AG**

Der Fachexperte ist Spezialist innerhalb der Beratung von Unternehmen im Hinblick auf die Unterstützung von Prozessen mit IT-Systemen. Auf diesem Gebiet hat er mehr als 10 Jahre Berufserfahrung gesammelt. Aufgrund seiner Promotion besitzt er relevantes Hintergrundwissen und kennt auf Basis der Zusammenarbeit mit den unterschiedlichsten Kunden die Anforderungen und Probleme in der industriellen Praxis genau.

Die Vorgehensweise ist in sich stimmig, wobei die Schritte logisch ineinandergreifen. Es wird auf bekannte Ansätze aus der Forschung und aus der industriellen Praxis zurückgegriffen. Eine „echte Revolution ist nicht zu erkennen“, wobei dies in der heutigen Zeit nicht unbedingt notwendig ist. Die Vorgehensweise ist jedoch definitiv anwendbar. Selbst in der Industrie könnte sie angewendet werden, da sie alle relevanten Aspekte berücksichtigt. Für die von ihm gegründete Unternehmensberatung könnten „einige Methoden“ interessant sein. Dabei sind speziell die entwickelten ProKon-knowledge forms (PKF) gemeint, die implizit eine Wissenssicherung im Unternehmen gewährleisten. In Zusammenhang mit der Wissensverteilung wird eine ausreichende Wissensmodellierung sichergestellt. Durch die Vorgehensweise wird eine bessere Verzahnung der Tätigkeiten von Wissens- und Softwareingenieuren erreicht, die in der industriellen Praxis notwendig ist. In Teilen ist sie für die Entwicklung von Nicht-agentenbasierten Konstruktionssystemen geeignet.

Der Ansatz und das Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells ist systematisch aufgebaut. Ob es jedoch Wissensingenieure zur Analyse der Organisation tatsächlich befähigt, ist schwer einzuschätzen, da die Kriterien nicht im Detail bekannt sind. Die Handhabung der Modellierungssprache KMDL durch Wissensingenieure ist zudem nicht genau einschätzbar.

Das Agentenmodell spiegelt sich in dem deutlich komplexeren Entwicklungsprozess von Agentensystemen im Gegensatz zu den klassischen Constraint- und Templatekonstruktionen wider. Die Agententechnologie ist grundsätzlich für den Einsatz in der Konstruktion geeignet.

Das Wissensmodell stellt eine Unterstützung von Wissensingenieuren dar und ist nützlich. Gerade die Erweiterung des Betrachtungsfelds auf Personen, die mittelbar am Konstruktionsprozess beteiligt sind, ist absolut zweckmäßig.

### **A.15 Evaluation Hella KGaA Hueck & Co.**

Der Fachexperte ist Abteilungsleiter im Bereich „PLM Processes & Methods“, betreut die Standardisierung von Produktentstehungsprozessen und beschäftigt sich mit dem unternehmensweiten Einsatz von Produktentwicklungsmethoden. In sein Aufgabengebiet fallen u. a. Normungsprozesse und das Änderungsmanagement.

Die Vorgehensweise ist nach Meinung des Fachexperten nachvollziehbar und gut. Wissensingenieure in der industriellen Praxis sind in der Lage, diese anzuwenden und werden durch sie ausreichend bei der Entwicklung eines anwendungsspezifischen

ProKon-Systems unterstützt. Gerade die Berücksichtigung der Produktlogik und des C&C<sup>2</sup>-A sind gelungen. Der Aufwand zur Durchführung der Vorgehensweise wird als (sehr) hoch eingeschätzt, wobei die Wissensakquise besonders zu diesem Aufwand beiträgt.

Innerhalb des Kriteriensets wurden die wichtigsten Aspekte berücksichtigt. Die im Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells definierten Bewertungsgrundsätze spiegeln die industrielle Praxis gut wider, da oft weiche Faktoren in Unternehmen zu untersuchen sind, die sich nicht mit Zahlen messen lassen. Es ist gut, dass die Vorgehensweise versucht, dem Wissensingenieur ein Grundgefühl zu vermitteln, ob das ProKon-System für eine Anwendung geeignet ist. Als alternatives Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells wurde vorgeschlagen, dass zuerst ein Produktportfolio analysiert wird, bevor der Konstruktionsprozess dazu ausgesucht wird. Der Fachexperte würde der Produktanalyse innerhalb des Vorgehens mehr Raum geben. In diesem Zuge wurde festgestellt, dass vor allem Norm- und Standardteile für die Unterstützung mit dem ProKon-System in Frage kommen.

Die Methode und das Vorgehen zur Erarbeitung des Agentenmodells sind soweit verständlich. Aus technischer Ingenieursicht stellt sich jedoch die Frage, ob dieses notwendig ist. Technisch versierte Ingenieure werden das Produktmodell auch ohne des C&C<sup>2</sup>-A analysieren und Agenten identifizieren können.

Ein wichtiger Diskussionspunkt war die Parametrisierung von Produktmodellen. Bei einem hohen Grad an Parametrisierung müsste bei der Ausrichtung des ProKon-Systems auf diesen Anwendungsfall zwischen dem produktmodellinternen Wissen und dem Wissen, welches dann in das ProKon-System integriert werden muss, unterschieden werden. Sind bspw. die Breite der Sicherungsringnut und die Breite des Sicherungsringes parametrisiert worden, muss diese Beziehung nicht mehr in der Wissensbasis des ProKon-Systems hinterlegt werden.

## **A.16 Evaluation Institut Softwaremethodik für verteilte Systeme**

Der befragte Fachexperte leitet das Institut Softwaremethodik für verteilte Systeme an der Universität Augsburg. Er arbeitete mehrere Jahre in der industriellen Praxis auf dem Gebiet der agentenorientierten Softwareentwicklung und entwickelte Komponenten für Multi-Agenten-Systeme. Zudem brachte er sich im Gremium zur Agentenstandardisierung FIPA ein. Der Fachexperte ist Autor zahlreicher Veröffentlichungen. Unter

anderem wurde von ihm ein viel beachteter Beitrag über Entwicklungsmethoden für agentenbasierte Systeme verfasst.

Nach Meinung des Fachexperten ist die vorgestellte Vorgehensweise systematisch, stringent und stiftet einen Nutzen in dem aufgezeigten Problemfeld. Die Vorgehensweise umfasst die notwendigen Schritte und bewegt sich auf einer abstrakten Ebene. Diese ist notwendig, um dem Wissensingenieur das gesamte Spektrum der Entwicklung aufzuzeigen. An einzelnen Stellen hätten die Methoden weiter vertieft werden müssen. Die Vorgehensweise lässt sich mit dem Wasserfallmodell in der Softwareentwicklung vergleichen. Dies lässt den Schluss zu, dass Wissensingenieure wenige Möglichkeiten haben, durch Iterationen effizienter das Ziel zu erreichen. Der speziell im Wissensmodell erkennbare Bibliothekscharakter der Vorgehensweise wird als gut und zweckmäßig empfunden.

Das Vorgehen zur Erarbeitung des Organisationsmodells umfasst die notwendigen Schritte, wobei das Erzeugen eines Grundgefühls generell richtig ist. Zur Verbesserung wird vorgeschlagen, dass quantitative Kriterien berücksichtigt werden, die sich mit Key Performance Indicators (KPI) abbilden lassen. Speziell bei der Frage nach dem „Return on Invest“ muss die Vorgehensweise eine Antwort liefern, da diese Aussage für die Entscheider in Unternehmen maßgeblich ist.

Die Lösung mit dem C&C<sup>2</sup>-A, die innerhalb des Vorgehens zur anwendungsspezifischen Identifikation von Agenten verwendet wird, erfüllt ihren Zweck. Es wird bestätigt, dass Methoden aus der agentenorientierten Softwareentwicklung hierfür nicht geeignet sind. Die im Ansatz zur Erarbeitung des Agentenmodells enthaltene Methode zielt auf die richtigen Agenten ab. Der Zusammenhang zwischen der Ableitung von Objektagenten und Fachagenten ist nachvollziehbar und logisch.

Die beiden im Wissensmodell angewendeten Prinzipien sind nachvollziehbar und sollten so beachtet werden. Die Erarbeitung des Wissensmodells wird als aufwendig bezeichnet, wobei mit den PKF und der Wissensverteilung ein Mehrwert für das Unternehmen erzielt wird. Verbesserungswürdig ist in diesem Zusammenhang die „Traceability“ zwischen den anfänglich identifizierten Wissenstypen und den letztlich erarbeiteten Wissenselementen in den PKF sowie in der Wissensverteilung. Bei der indirekten Wissensakquise ist eine durchgängige Transparenz notwendig, die dem Wissensingenieur bspw. bei der Änderung einer Norm aufzeigt, welche Wissens-elemente betroffen sind.

# Lebenslauf

Martin Kratzer

\* 13.09.1982, Ludwigsburg

Staatsangehörigkeit: deutsch

## Ausbildung:

Schulbildung: 09/89 - 07/93 Grund- und Hauptschule Höfingen

09/93 - 06/99 Gerhart Hauptmann Realschule Leonberg

09/99 - 06/02 Kerschensteiner Schule Feuerbach

Zivildienst: 07/02 - 04/03 Olgahospital Stuttgart

Studium: 10/03 - 09/08 Universität Stuttgart, Maschinenwesen, Diplom  
(Hauptfächer: Umformtechnik und Fabrikbetrieb)

## Berufserfahrung:

09/99 - 06/02 Ausbildung zum staatlich geprüften Physikalisch-technischen Assistenten (PhyTA)

12/08 - 11/13 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD), Universität Stuttgart

12/13 - jetzt Technischer Berater bei der MBtech Group GmbH & Co. KGaA im Bereich Methodik, Prozesse und Anwendung der Jupiter Tesselation (JT) in der Lieferantenintegration und in Kooperationsprojekten





ISBN: 978-3-922823-88-9