

Universität des Saarlandes

Schriftenreihe Produktionstechnik

Herausgeber: D. Bähre und H. Bley



Band 49

Jan Conrad

**Semantische Netze zur Erfassung und Verarbeitung von
Informationen und Wissen in der Produktentwicklung**

Saarbrücken 2010

**Semantische Netze zur Erfassung und Verarbeitung von Informationen und
Wissen in der Produktentwicklung**

**Dissertation zur Erlangung des Grades des
Doktors der Ingenieurwissenschaften
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät III
– Chemie, Pharmazie, Bio- und Werkstoffwissenschaften –
der Universität des Saarlandes**

vorgelegt von

Dipl.-Inform. Jan Conrad

Tag der Einreichung: 19.01.2010
Tag des Kolloquiums: 19.07.2010

Dekan:	Prof. Dr.-Ing. Stefan Diebels
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel
1. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Christian Weber
2. Berichterstatter:	PD Dr.-Ing. Nikolay Avgoustinov
Akademischer Mitarbeiter:	Dr.-Ing. Joachim Schmitt

Saarbrücken 2010

Jan Conrad

Semantische Netze zur Erfassung und Verarbeitung von Informationen und Wissen in der Produktentwicklung

Universität des Saarlandes

Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 49

Geleitwort der Herausgeber

Die Schriftenreihe Produktionstechnik wird gemeinsam vom aktuellen und ehemaligen Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungstechnik (Prof. Dr.-Ing. D. Bähre, Prof. Dr.-Ing. H. Bley) der Universität des Saarlandes herausgegeben. Zweck der Schriftenreihe ist es, die auf dem Gebiet der Produktionstechnik an der Universität des Saarlandes erarbeiteten Forschungsergebnisse einer breiteren Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. In der Schriftenreihe erscheinen in erster Linie die am Lehrstuhl für Fertigungstechnik und dem ehemaligen Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD (Prof. Dr.-Ing. C. Weber, seit 2007 TU Ilmenau) entstandenen Dissertationen. Daneben werden aber auch andere Forschungsberichte, die in den thematischen Rahmen passen und von allgemeinem Interesse sind, in die Schriftenreihe aufgenommen. Die Herausgeber wünschen sich ein reges Interesse an der Schriftenreihe und würden sich freuen, wenn hieraus fruchtbare Dialoge mit Praktikern und Forschern entstünden.

Prof. Dr.-Ing. D. Bähre

Prof. Dr.-Ing. H. Bley

© Universität des Saarlandes 2010
Lehrstuhl für Fertigungstechnik
Prof. Dr.-Ing. D. Bähre
Postfach 15 11 50
D – 66041 Saarbrücken

ISBN 3-930429-78-0

ISSN 0945-6244

Vorwort/Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes.

Herrn Prof. Christian Weber danke ich für die Übernahme der Aufgabe des Doktorvaters und die Stellung des Themas. Er gab mir die Möglichkeit zu forschen und meine wissenschaftlichen Arbeiten bei verschiedenen Konferenzen vorzustellen. Herr Prof. Weber hat mir weit reichende Freiheiten eingeräumt und war zugleich ein starker Rückhalt für wissenschaftliche Fragen. Vielen Dank auch an Herrn PD Dr.-Ing. Nikolay Avgoustinov für die Übernahme des Koreferates und das Interesse an meiner Arbeit.

Außerdem danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel für die Übernahme der disziplinarischen Verantwortung nach dem Weggang von Prof. Weber und die stets sehr gute Zusammenarbeit. Ebenfalls möchte ich mich bei allen Kollegen und Mitarbeitern der Lehrstühle für Konstruktionstechnik/CAD und Fertigungstechnik/CAM der Universität des Saarlandes bedanken, die in zahlreichen Diskussionen verschiedenste Konzepte und Ansätze kritisch hinterfragt haben. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle meine Kollegen Dr.-Ing. Christian Köhler und Dipl.-Ing. Sören Wanke für die äußerst gute Zusammenarbeit, das Korrekturlesen meiner Arbeit und die vielfach gewährten Hilfestellungen „in der Welt der Ingenieure“. Weiterhin danke ich Frau Renate Kröner und Herrn Dipl.-Ing. (FH) Germano Porta. Danke auch an die Studienarbeiter Jan Martin Kaiser, Matthias Konz und Thomas Speicher sowie an alle studentischen Mitarbeiter des Lehrstuhls für ihre Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit und insbesondere der Implementierung des Softwareprototypen.

Ganz besonderen Dank verdienen meine Eltern Annelie und Klaus. Sie haben mir mein Studium und damit auch die Promotion erst ermöglicht, mich stets auf meinem Weg bestärkt und unterstützt und mit äußerster Sorgfalt und Ausdauer Korrektur gelesen.

Vor allem danke ich meiner Frau Jennifer, die mich während der Promotion immer unterstützt und mir den Rücken frei gehalten hat. Sie leistete nicht nur viele kreative und kritische Anregungen u.a. beim Korrekturlesen, sondern vor allem auch immer wieder Aufbauhilfe.

Kastel, im Januar 2010

Jan Conrad

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Erfassung und Verarbeitung von Informationen und Wissen mittels Semantischer Netze zur Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses auf Basis des Characteristics-Properties Modelling (CPM) bzw. Property-Driven Development/Designs (PDD).

Ziel dieser Arbeit ist es darzustellen, ob und wie Semantische Netze in der Produktentwicklung verwendet werden können. Hierdurch sollen die Vorzüge Semantischer Technologien wie u.a. die verbesserten Erfassungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten in der Produktentwicklung zu einer besseren Wiederverwendung und Handhabung von Informationen und Wissen und somit zu Zeit- und Kostenersparnissen beitragen.

In dieser Arbeit werden zunächst alle relevanten Grundlagen aus den Ingenieurwissenschaften und der Informatik dargestellt. Hierbei werden zunächst die Rollen von Informationen und Wissen in der Produktentwicklung beleuchtet. Auch der Hintergrund und Aufbau von Semantischen Netzen wird beschrieben. Hierauf aufbauend wird ein Konzept entwickelt und vorgestellt, das es ermöglicht, Semantische Netze in der Produktentwicklung nach CPM/PDD zu verwenden. Zur Realisierung dieses Konzeptes wird ein konzeptionelles Layout dargelegt, das die informationstechnische Umsetzung ermöglicht. Die Realisierbarkeit des entwickelten Konzeptes und des konzeptionellen Layouts werden abschließend mittels einer prototypischen Implementierung und zweier durchgeführter Fallstudien gezeigt.

Abstract

This doctoral thesis analyses the use of semantic networks for information and knowledge capturing and processing in support of the product development process. These considerations are based on Characteristics-Properties Modelling (CPM) and Property-Driven Development/Design (PDD).

The aim of this thesis is to examine whether and how semantic networks can be used in product development. Hereby the advantages of semantic technologies such as advanced capturing and retrieval possibilities can lead to a better handling and reuse of information and knowledge. This can contribute to savings in cost and time.

This thesis starts with a description of the relevant backgrounds in engineering and computer science. Here, the roles of information and knowledge in product development are examined. Furthermore, the principles and structures of semantic networks are described. Based on this description, a concept is developed and presented which allows the use and application of semantic networks in CPM/PDD-based product development. To realize this concept, a layout enabling a software realisation is presented. Finally, the technical feasibility is shown by a prototypical implementation and two case studies.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XIII
Abkürzungsverzeichnis.....	XIX
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Ziele der Arbeit	3
1.3 Forschungsfragen.....	3
1.4 Vorgehen und Aufbau der Arbeit.....	4
2 Wissen und Wissensmanagement.....	7
2.1 Daten, Informationen und Wissen	7
2.2 Kognitionspsychologische Sicht	9
2.3 Implizites und explizites Wissen.....	10
2.4 Privates und kollektives Wissen	12
2.5 Wissensmanagement.....	13
2.5.1 Definition von Wissensmanagement	13
2.5.2 Modell der Wissensumwandlung und -erzeugung im Wissensmanagement.....	15
2.5.3 Modell der Wissensträger und -speicherung.....	17
2.5.4 Bausteine des Wissensmanagements	18
2.5.5 Erfolgsmessung von Wissensmanagementmaßnahmen.....	22
2.6 Fazit.....	25
3 Produktentwicklung	27
3.1 Theorien zur Produktentwicklung.....	27
3.1.1 Theorie technischer Systeme	28
3.1.2 Domain Theory	30
3.1.3 C-K Theorie	33

3.1.4	VDI 2221.....	35
3.2	CPM – Characteristics-Properties Modelling und PDD – Property-Driven Development.....	40
4	Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung.....	49
4.1	Daten- und Projektmanagement.....	51
4.2	CAD.....	54
4.3	CAE.....	55
4.4	Office-Anwendungen.....	56
4.5	Kommunikationssoftware.....	57
4.6	Online-Anwendungen und Internet.....	57
5	Wissen in der Produktentwicklung.....	59
5.1	Dokumente.....	59
5.2	Segmentierungsmöglichkeiten.....	60
5.3	Quellen und Wiederverwendung von Informationen und Wissen.....	63
5.4	Wissensmanagement in der Produktentwicklung.....	68
5.5	Wissen in CPM/PDD.....	70
5.5.1	Produktorientiertes Wissen.....	71
5.5.2	Prozessorientiertes Wissen.....	72
5.6	Problemstellen und Ansatzmöglichkeiten für Verbesserungen.....	74
5.6.1	Allgemeine Betrachtungen.....	74
5.6.2	Informationstechnische Lösungen und CPM/PDD.....	75
5.6.3	Zusammenfassung der Betrachtung von produkt- und prozessorientiertem Wissen im rechnerunterstützten Produktentwicklungsprozess.....	79
5.7	Stand der Forschung im Bereich Semantische Technologien in der Produktentwicklung.....	80
5.7.1	The Semaril.....	81
5.7.2	SEVENPRO.....	83

6	Semantische Netze.....	87
6.1	Entstehung und Geschichte der Semantischen Netze	87
6.2	Grundlagen zu Semantischen Netzen	87
6.2.1	Grundsätzlicher Aufbau Semantischer Netze	87
6.2.2	Einordnung in die Wissensrepräsentationen.....	88
6.2.3	Objektorientierung Semantischer Netze	90
6.2.4	Semantik.....	93
6.2.5	Konzepte	94
6.2.6	Semantische Netze in der Gedächtnistheorie.....	96
6.2.7	Diskussion zur Verwendung von Semantischen Netzen.....	97
6.3	Das Semantic Web	98
6.3.1	Motivation des Semantic Web	98
6.3.2	Nutzen und Entwicklung des Semantic Web.....	99
6.4	Ontologien.....	101
6.5	Formalisierungen durch RDF und OWL	102
6.6	Semantisches Wissensmanagement mit Wikis	104
6.6.1	Grundlagen zu Wikis	104
6.6.2	Semantische Wikis.....	105
7	Konzeption zur Nutzung Semantischer Netze in der Produktentwicklung	107
7.1	Abbildung der Ressourcen in Semantischen Netzen	107
7.1.1	Betrachtung der Personen	109
7.1.2	Betrachtung der externalisierten Wissensquellen	111
7.2	Produktentwicklungstheorien und Semantische Netze	114
7.2.1	Produktorientiertes Wissen und CPM.....	116
7.2.2	Prozessorientiertes Wissen.....	118
7.2.3	Grenzen und offene Problemstellen.....	124

8	Konzeptionelles Layout zur Nutzung Semantischer Netze in der Produktentwicklung.....	127
8.1	Ausdetaillierung des konzeptionellen Layouts	128
8.2	Elemente des Semantischen Netzes	131
8.2.1	Tripel.....	133
8.2.2	Mechanismen im Semantischen Netz	133
8.2.3	Aufbau des Semantischen Netzes	135
8.3	Informations-/Wissenszugriff und Darstellung.....	135
8.3.1	Visualisierung in der Netzdarstellung.....	135
8.3.2	Visualisierung als Frame.....	137
8.3.3	Hybride Darstellung des Semantischen Netzes	138
8.3.4	Suchfunktionen	139
8.3.5	Zugriff über die Applikationsschnittstelle	140
8.4	Informations-/Wissenserfassung.....	140
8.4.1	Erfassung über die Benutzerschnittstelle	140
8.4.2	Erfassung über die Applikationsschnittstelle.....	142
9	Prototypische Umsetzung.....	145
9.1	Beschreibung des entstandenen Prototyps und dessen Funktionalitäten	145
9.1.1	Hybride Darstellung.....	147
9.1.2	Lokale und globale Funktionalitäten.....	148
9.2	Grundlagen der Implementierung	149
9.2.1	Grundlegende Architektur.....	149
9.2.2	Verwendetes Framework und dessen Komponenten	151
9.3	Prototypische Umsetzung des konzeptionellen Layouts.....	154
9.3.1	Datenbasis	156
9.3.2	Netzrepräsentation	156

9.3.3	Reaktor.....	161
9.3.4	Netzpräsentation.....	162
10	Praktische Anwendung.....	167
10.1	Fallbeispiel Kugelschreiber.....	167
10.1.1	Ausgangslage	167
10.1.2	Verwendung von SNI zur Erfassung von Wissen.....	171
10.1.3	Wiederzugriff auf das in SNI erfasste Wissen	173
10.1.4	Schlussfolgerungen aus dem Fallbeispiel Kugelschreiber.....	173
10.2	Studentenprojekt Luftabscheider	174
10.2.1	Ablauf und Durchführung.....	174
10.2.2	Schlussfolgerungen aus dem Studentenprojekt Luftabscheider.....	184
11	Zusammenfassung und Ausblick.....	187
11.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	187
11.2	Beantwortung der Forschungsfragen	189
11.3	Grenzen des Ansatzes	191
11.4	Ausblick	192
	Literaturverzeichnis.....	195
	Anhang	217
	Anhang A (Deklarationen der Netzobjekte).....	217
	Anhang B (Darstellung des Kugelschreibers im PDM-System SmarTeam).....	219
	Anhang C (Darstellung des Unterputz-Lichtschalters im PDM-System SmarTeam).....	221
	Anhang D (Aufgabenstellung Fallbeispiel Luftabscheider).....	223

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit	5
Abbildung 2.1: Zusammenhang zwischen Daten, Informationen und Wissen nach [VDI5610]	8
Abbildung 2.2: Das Kontinuum von Daten, Informationen und Wissen nach [PrRR06]	8
Abbildung 2.3: HANSE-Modell der Wissenszustände nach [VDI5610]	11
Abbildung 2.4: Dimensionen des Wissens eines Unternehmens nach [Gron01]	12
Abbildung 2.5: Zielsystem des Wissensmanagements nach [Klab03]	14
Abbildung 2.6: T-O-M Modell nach [LuTr05]	15
Abbildung 2.7: Wissensumwandlung nach [NoTa97]	15
Abbildung 2.8: Iterativer Prozess der Wissenserzeugung nach [NoTa97]	16
Abbildung 2.9: Arten von Wissensträgern nach [Scho00]	17
Abbildung 2.10: Bausteine und Kreisläufe des Wissensmanagements nach [PrRR06]	19
Abbildung 2.11: Balanced Scorecard nach [KaNo97]	23
Abbildung 2.12: Indikatorenklassen nach [PrRR06]	24
Abbildung 3.1: Design Research Modelling nach [DuAn95]	28
Abbildung 3.2: Allgemeines Modell eines Transformationssystems nach [HuEd06]	29
Abbildung 3.3: Sichtweise technischer Systeme in der Domain Theory nach [HaAn02]	30
Abbildung 3.4: Zusammenhänge der Sichten nach [Andr80]	31
Abbildung 3.5: Grafische Darstellung der Domänen nach [Andr80]	32
Abbildung 3.6: Drei Modelle eines Scharniers in der Organdomäne nach [Andr80]	32
Abbildung 3.7: Design Square nach [HaWe03]	33
Abbildung 3.8: C-K Prozesse nach [HaWe03]	34
Abbildung 3.9: Produktlebenszyklus nach [VDI2243]	35
Abbildung 3.10: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach [VDI2221]	37

Abbildung 3.11: Gegenüberstellung verschiedener Konstruktionsablaufpläne nach [Roth00]	39
Abbildung 3.12: Beispielhafte Strukturierung von Merkmalen (links) und Eigenschaften (rechts) nach [WeWe00]	41
Abbildung 3.13: Analyse und Synthese in CPM nach [WeWe00]	43
Abbildung 3.14: Darstellung eines Solution Patterns nach [WaCK07]	44
Abbildung 3.15: Schematische Darstellung eines Syntheseschritts nach [Webe05]	45
Abbildung 3.16: Schematische Darstellung eines Analyseschritts nach [Webe05]	45
Abbildung 3.17: Schematische Darstellung der Einzelbeurteilung nach [Webe05]	46
Abbildung 3.18: Schematische Darstellung des Schrittes „Schlussfolgerungen ziehen“ nach [Webe05]	46
Abbildung 4.1: Ziele der IT- und Kommunikationstechnologien nach [EiSt01]	49
Abbildung 4.2: Unterstützungssysteme in der Produkterstellung nach [Webe06]	51
Abbildung 4.3: Datei- und Metadatenmanagement (links) und Systemarchitektur (rechts) von PDM-Systemen nach [VDI2219]	52
Abbildung 4.4: ERP-Konzept nach [AbMü04]	53
Abbildung 4.5: Beurteilung des technischen Verhaltens eines Produktes nach [Bähr98]	55
Abbildung 5.1: Unterscheidung in Wissensselemente und Wissensprozesse nach [HCAM02]	62
Abbildung 5.2: Modell des Ingenieurwissens nach [VDI5610]	63
Abbildung 5.3: Wissensquellen des Konstrukteurs nach [Muth94]	64
Abbildung 5.4: Informationsquellen im Konstruktionsprozess nach [AIHC00]	64
Abbildung 5.5: Produktentwicklung, Informationen und Wissen nach [HCAM02]	65
Abbildung 5.6: Vergleich des Verhaltens von Konstrukteuren nach [Ahme00]	66
Abbildung 5.7: Techniken und Methoden zum Wissensmanagement in der Produktentwicklung nach [KCKW08]	68
Abbildung 5.8: Kernaktivitäten des Wissensmanagements nach [VDI5610]	70
Abbildung 5.9: Vergleich Soll- und Ist-Reifegrad nach [Müll08]	73
Abbildung 5.10: PDM und CPM/PDD nach [WeWD03]	76
Abbildung 5.11: Mögliche Umfänge von Produktmodellkonzepten nach [VWBZ09]	79

Abbildung 5.12: Benutzerinterface von The Semaril.....	82
Abbildung 5.13: Architektur von SEVENPRO nach [www6].....	84
Abbildung 6.1: Aufbau Semantischer Netze nach [Shap87].....	88
Abbildung 6.2: Einordnung Semantischer Netze in die Wissensrepräsentationssysteme nach [Helb06]	90
Abbildung 6.3: Aufbau eines Objektes nach [DFG00]	91
Abbildung 6.4: Das Triangle of Meaning nach [Sowa00a]	94
Abbildung 6.5: Repräsentation des Konzeptes "Harry" nach [Sowa00a]	95
Abbildung 6.6: Darstellung des computationalen Modells und des kognitiven Modells nach [RiCL98].....	99
Abbildung 6.7: Ontologien als Mediatoren zwischen Informationen und Wissen nach [BIFu06]	102
Abbildung 6.8: Schichten und Personen eines Wiki-Systems nach [EbGH05].....	104
Abbildung 7.1: Repräsentation von Wissen in einem Semantischen Netz	108
Abbildung 7.2: Schematische Darstellung der Einbindung von SNI in eine bestehende IT-Landschaft	112
Abbildung 7.3: Bezug zwischen CPM und Ressourcen.....	116
Abbildung 7.4: Sichtenmodell [Deub07]	118
Abbildung 7.5: Anknüpfung eines PDD-Zyklus an ein Semantisches Netz.....	121
Abbildung 7.6: Abbildung mehrerer PDD-Zyklen/Projekte	122
Abbildung 8.1: Strukturelle Teile des konzeptionellen Layouts.....	128
Abbildung 8.2: Konzeptionelles Layout von SNI.....	129
Abbildung 8.3: Vererbung von Attributen im Semantischen Netz	134
Abbildung 8.4: Beispiel für eine Mindmap nach [www2].....	136
Abbildung 8.5: Beispiel für eine Framedarstellung nach [Mins75].....	137
Abbildung 8.6: Semantisches Netz und dessen hybride Darstellung.....	139
Abbildung 8.7: Erlaubte Operationen bei Hinzufüge-Operationen	141
Abbildung 9.1: Prototyp SNI	146
Abbildung 9.2: Modifikation von Daten in der Framedarstellung.....	147

Abbildung 9.3: Beispiele für lokale Funktionalitäten	148
Abbildung 9.4: Beispiele für globale Funktionalitäten	149
Abbildung 9.5: Architektur eines Web Services nach [EbFi04].....	150
Abbildung 9.6: 3-Verteilung der Komponenten nach [EbFi04]).....	150
Abbildung 9.7: TurboGears Framework nach [www9]	152
Abbildung 9.8: SQLObject als bijektive Abbildungsvorschrift.....	153
Abbildung 9.9: Layout der konkreten Implementierung von SNI	155
Abbildung 9.10: Netzrepräsentation und Datenbasis.....	157
Abbildung 9.11: Repräsentation eines Netzeintrages	158
Abbildung 9.12: Repräsentation von Attributwerten	159
Abbildung 9.13: Darstellung der Implementierung der Vererbungsmechanismen.....	160
Abbildung 9.14: Beispiel für eine Anfrage an den Reaktor	162
Abbildung 9.15: Struktur der Darstellung in SNI	163
Abbildung 9.16: Objekte und Widgets in SNI	164
Abbildung 9.17: Import von Excel-Tabellen in SNI.....	166
Abbildung 10.1: PDD-Syntheseschritt ausgehend von einer funktionalen Eigenschaft.....	168
Abbildung 10.2: PDD-Analyseschritt zu einer funktionalen Eigenschaft	168
Abbildung 10.3: PDD-Analyseschritt zur ergonomischen Eigenschaft.....	169
Abbildung 10.4: Auszug des CPM-Modells zum Produkt Kugelschreiber	170
Abbildung 10.5: Bildschirmfoto des Knotens Feder in SNI	171
Abbildung 10.6: Bildschirmfoto des Knotens Betätigungsenergie in SNI	172
Abbildung 10.7: Knoten "Projekt" in der Darstellung von SNI.....	175
Abbildung 10.8: Eintrag „Anforderungen“	177
Abbildung 10.9: Anforderungseintrag "Masse" in SNI	177
Abbildung 10.10: Schematische Darstellung der Abbildung von Recherchen in SNI	178
Abbildung 10.11: Darstellung eines Rechercheergebnisses in SNI.....	179
Abbildung 10.12: Schematische Darstellung der Erfassung der Funktionsstruktur	180

Abbildung 10.13: Abbilden von Lösungsfindungsmethoden in SNI.....	181
Abbildung 10.14: Paarweiser Vergleich der Bewertungsmerkmale	182
Abbildung 10.15: Schematische Darstellung der Struktur des Knotens „Lösungen“	183
Abbildung 10.16: Instanz des Knotens „Lösungen“ in SNI.....	183

Abkürzungsverzeichnis

C_i	Characteristics (engl. für Merkmal)
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAO	Computer Aided Optimisation
CPM	Characteristics Properties Modelling
CSCW	Computer Supported Cooperative Work
D_x	Dependencies (engl. für innere Abhängigkeiten)
DAML	DARPA Agent Markup Language
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DPMA	Deutsches Patent- und Markenamt
EC_j	External Conditions (engl. für externe Bedingungen)
ERP	Enterprise Resource Planning
FEA	Finite Elemente Analyse
FEM	Finite Elemente Methode
KD	Kunden
KI	Künstliche Intelligenz
MA	Mitarbeiter
MKS	Mehrkörpersimulation
OWL	Web Ontology Language (eigentlich WOL, wird jedoch als OWL verwendet)
P_j	Properties (engl. für Eigenschaften bzw. Ist-Eigenschaften)
PC	Personal Computer
PDD	Property-Driven Development
PDM	Produktdatenmanagement
PR_j	Properties Required (engl. für Soll-Eigenschaften)

QM	Quality Management (engl. für Qualitätsmanagement)
R _j	Relations (engl. für Relationen)
RDF	Ressource Description Framework
SNI	Semantic Network Interface
SQL	Structured Query Language
URI	Uniform Ressource Identifier
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WM	Wissensmanagement
WRS	Wissensrepräsentationssystem
XML	Extensible Mark-up Language

1 Einleitung

1.1 Motivation

Im Jahre 1941 entwickelte Konrad Zuse die erste funktionstüchtige programmgesteuerte, binäre Rechenmaschine, die als Vorläufer aller modernen Computer gesehen werden kann [Zuse07]. Der Umgang mit dem Computer hat sich von damals bis heute stark gewandelt. Zunächst beschränkte sich sein Einsatz auf numerische Rechenoperationen, was immer noch in der Bezeichnung Rechner (engl. Computer) deutlich wird. Programmiert und bedient wurden jene Computer durch Stapel von Lochkarten, die z.B. Fakultätsfunktionen und ähnliche Operationen durchführten. Ein Computer wurde hierbei in Form von Mainframes oder Großrechnern von vielen Personen verwendet. Im weiteren Verlauf wurde der Einsatz von Computern durch die Entwicklung des PCs über die Durchführung von rein mathematischen Funktionen hinaus auf andere Anwendungsgebiete wie z.B. Büroanwendungen, Datenverarbeitung und auch Spiele ausgeweitet. Wie die Bezeichnung PC oder Personal Computer zeigt, verwendet jedes Individuum hierbei einen eigenen Rechner. Durch die Entwicklung des Internets und die immer leistungsfähigeren (kabellosen) Netzwerke werden Computer mehr und mehr als Einstiegspunkt zu Informations- und Wissensquellen genutzt, bei dem jeder Benutzer Zugriff auf eine Vielzahl von Servern und Computern hat. Durch die große Anzahl an Datenquellen und Autoren steigt das Informationsvolumen zu einer unüberschaubaren Menge. Dies macht das Suchen nach Informationen sehr zeitintensiv und mühsam. Um dem entgegenzusteuern, entwickelte Berners-Lee das Semantic Web, das durch semantische Suchmöglichkeiten die Suchergebnisse verbessern und die immense Informationsflut beherrschbar machen soll [BeHL01].

Diesem Verlauf entsprechend wurde auch die Verwendung von Informationstechnologien in der Produktentwicklung ausgebaut. Zunächst wurden diese als Werkzeug für reine Rechenoperationen eingesetzt. Daraufhin wurden Hard- und Software entwickelt, die die graphische Repräsentation von Objekten im Computer ermöglichten. Später dienten sie zudem mehr und mehr auch zum Datenmanagement. Die sinnvolle Verwendung von Computern in der Produktentwicklung hat sich, insbesondere in Zeiten der Globalisierung, zu

einem wichtigen Faktor für Unternehmen entwickelt. Die computerbasierte Nutzbarmachung der Faktoren Daten, Informationen und Wissen stellt zunehmend den einzigen Weg für Organisationen dar, einen Wettbewerbsvorteil zu erreichen und zu erhalten [HCAM02]. Ein Kernaspekt zur Erzeugung von Produkten mit verbesserter Qualität, Zuverlässigkeit und Performanz und zugleich reduzierten Kosten und Zeitersparnis ist nach [HCAM02] unter Berufung auf [Mora99] die Verwendung, Wiederverwendung und Handhabung von Informationen und Wissen. Hierzu äußert Diekhöner den eindeutigen Wunsch nach „universell anwendbaren Informationsspeichern“ [Diek81]. Dadurch dass nach Pahl und Beitz [PaBe96] über 80% der Konstruktionen Anpassungen oder Varianten bestehender Produkte darstellen, wird deutlich, warum der Zugriff auf Informationen früherer Projekte einen so hohen Stellenwert hat. Im Verlauf eines Produktentwicklungsprozesses wird sowohl eine große Menge an Informationen und Daten benutzt als auch neu geschaffen [HCAM02]. Die immense Flut an gespeicherten Informationen führt, zusammen mit einer ungünstig strukturierten Ablage, zu einer geringen Wiederverwendung. Dies spiegelt sich insbesondere bei Dokumenten wider, denn diese werden fast ausschließlich dann als Informationsquelle verwendet, wenn der Nutzer selbst daran mitgearbeitet hat [AhWa06]. Ein Überangebot an Informationen und die damit verbundene Überbelastung kann zu einer totalen Ablehnung neuer Systeme und zur Rückkehr zu altbekannten Informationsträgern führen [Diek81]. Dem Wunsch nach umfassenden und universellen Informationsspeichern steht also auch in diesem Umfeld die problematische Wiederauffindbarkeit innerhalb einer Informationsflut entgegen.

Vergleicht man diese beiden Entwicklungen, so könnten die Ideen und Fortschritte des Computereinsatzes und Internets im Allgemeinen auf den speziellen Einsatz in der Produktentwicklung übertragen werden. Ähnlich wie das Semantic Web von Berners-Lee (vgl. Abschnitt 6.3 und [BeHL01]), welches das Internet der Daten zu einem Internet des Wissens machen soll, ist es denkbar, dass Semantische Netze als Repräsentationsform eine Entwicklung vom Verwalten von Produktentwicklungsdaten hin zum Verwalten von Produktentwicklungsinformationen und -wissen ermöglichen. Dieser Wandel könnte die Erfassung und die Suche nach Informationen und Wissen in der Produktentwicklung wesentlich vereinfachen und in vielen Fällen überhaupt erst ermöglichen. Ob und wie Semantische Netze zur Erfassung von Informationen und Wissen in der Produktentwicklung verwendet werden können, ist die zentrale Frage, die dieser Arbeit zugrunde liegt.

1.2 Ziele der Arbeit

Diese Arbeit verfolgt die folgenden Ziele:

- Zunächst sollen die Rollen von Informationen und Wissen in der Produktentwicklung beleuchtet werden.
- Um die Wissensrepräsentation mittels Semantischer Netze auf die Produktentwicklung anwenden zu können, soll deren Hintergrund und Aufbau beschrieben werden.
- Basierend auf den zuvor gewonnenen Ergebnissen soll ein Konzept entwickelt werden, mit dem die Wissensrepräsentation mittels Semantischer Netze in der Produktentwicklung nach CPM/PDD verwendet werden kann.
- Um eine Realisierung des Konzeptes zu ermöglichen, soll ein konzeptionelles Layout entwickelt werden.
- Die Realisierbarkeit des entwickelten Konzeptes und des konzeptionellen Layouts soll in einer prototypischen Implementierung gezeigt werden.

1.3 Forschungsfragen

Die Design Research Methodology nach Blessing und Chakrabati [BlCh09], an der sich der Aufbau dieser Arbeit orientiert, schlägt zu Beginn von Forschungsaktivitäten zunächst die Formulierung von Forschungsfragen vor, die in der darauf folgenden Forschungstätigkeit bearbeitet werden sollen. Die Forschungsfragen, die in dieser Arbeit beantwortet werden sollen, sind:

- Welche Wissensressourcen sind grundsätzlich bei einer informationstechnischen Umsetzung zur Nutzung Semantischer Netze in der Produktentwicklung zu berücksichtigen und wie können diese erfasst werden?
- Welche Möglichkeiten bieten Semantische Netze zur Erfassung von Wissen hinsichtlich der Produktentwicklung nach CPM/PDD?

- Wie sieht ein konzeptionelles Layout für eine solche informationstechnische Umsetzung aus?
- Wie kann die informationstechnische Umsetzung zur Verwendung Semantischer Netze unter Berücksichtigung der identifizierten Erfordernisse realisiert werden?

1.4 Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Zunächst wird im vorliegenden Kapitel 1 eine Ausgangssituation dargestellt, die als Motivation für diese Arbeit dient. Hieraus ergeben sich die Ziele und Forschungsfragen, die diese Arbeit beantworten soll.

In Kapitel 2 werden die Begriffe Daten, Informationen und Wissen sowie Wissensmanagement, welche die zentralen Punkte dieser Arbeit darstellen, untergliedert und näher beschrieben.

Eine Betrachtung von Theorien und Ansätzen zur Produktentwicklung erfolgt in Kapitel 3. Sie fokussiert auf der hier verwendeten Theorie des CPM – Characteristics-Properties Modelling und PDD – Property-Driven Development.

Kapitel 4 vertieft die Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung und beschreibt verschiedene in diesem Umfeld wichtige Applikationsklassen.

In Kapitel 5 wird die Produktentwicklung im Zusammenhang mit Wissen betrachtet. Hier werden zentrale Begriffe, Ansätze und Defizite sowie der Stand der Forschung behandelt.

Die Entstehung von Semantischen Netzen, deren Grundlagen und die damit verbundenen Begrifflichkeiten werden in Kapitel 6 näher beschrieben. Auch verwandte Technologien und technologische Trends wie das Semantic Web und die Semantic Wikis werden auf Ansatzpunkte für den Kontext dieser Arbeit untersucht.

Die Stränge „Semantische Netze“ und „Produktentwicklung“ werden in Kapitel 7 zusammengeführt. Hier wird eine Konzeption zur Verwendung Semantischer Netze entwickelt.

Ein detailliertes konzeptionelles Layout wird in Kapitel 8 entwickelt, das die Grundlage einer adäquaten prototypischen Umsetzung bildet und diese ermöglicht.

Um die softwaretechnische Umsetzbarkeit des zuvor entwickelten konzeptionellen Layouts zu zeigen und zu testen, wird die durchgeführte Implementierung in Kapitel 9 beschrieben und erläutert.

Kapitel 10 zeigt die praktische Anwendbarkeit durch zwei anhand des Prototyps durchgeführte Fallstudien.

In Kapitel 11 werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst. Zudem werden die gestellten Forschungsfragen beantwortet und ein Ausblick auf mögliche zukünftige Forschungs- und Entwicklungspotentiale gegeben.

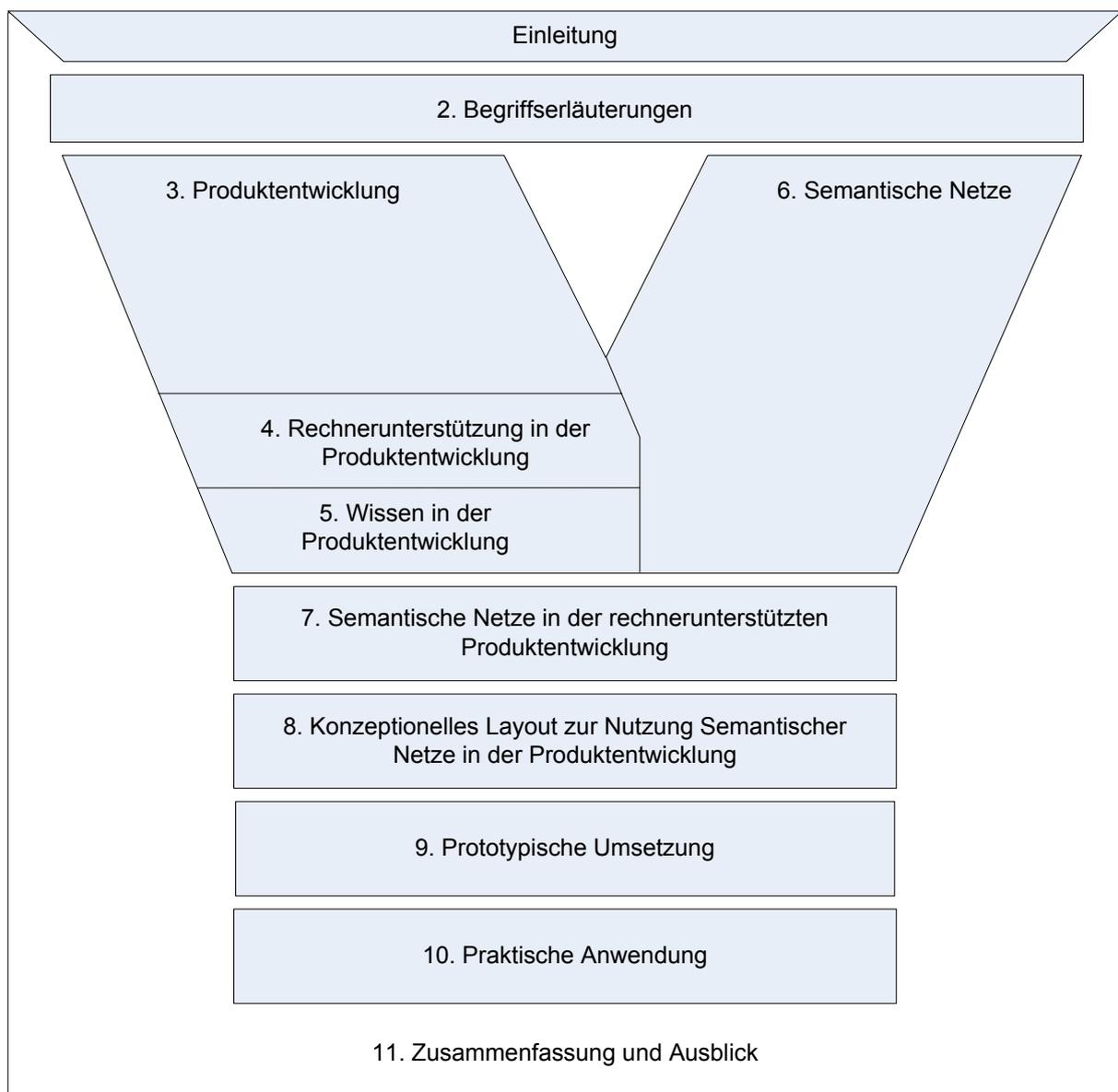


Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit

Wie bereits erwähnt, orientiert sich diese Arbeit an den Prinzipien der „Design Research Methodology“. Die Kapitel 2 bis 6 stellen dabei eine „Descriptive Study I“ zur Analyse der vorhandenen Situation dar. In einer „Prescriptive Study“ wird dann in Kapitel 7 bis 9 ein eigenes Rahmenwerk entwickelt, dessen Anwendbarkeit abschließend eine „Descriptive Study II“ in Kapitel 10 zeigt.

Abbildung 1.1 stellt den hier beschriebenen Aufbau der Arbeit schematisch dar.

2 Wissen und Wissensmanagement

*„Eine Investition in Wissen bringt noch immer die besten Zinsen.“
(Benjamin Franklin)*

Dieses Zitat von Benjamin Franklin zeigt die enorme Bedeutung von Wissen. Während Franklin Wissen betriebswirtschaftlich erfasst, ist der Wissensbegriff als solcher zunächst eher philosophisch. Dieses Verständnis von Wissen im geisteswissenschaftlichen Kontext erschwert eine eindeutige Charakterisierung des Begriffs.

Es existiert eine Vielzahl von Modellen und Definitionen. Eine Definition ist, wie auch das ihr zugrunde liegende Modell, abhängig von den Adressaten und der Thematik. Eine universell gültige Definition gibt es nach Auffassung einiger analytischer Philosophen wie z.B. Wittgenstein [Witt53] nicht. Trotzdem ist eine Auseinandersetzung mit diesen Begriffen und deren Einteilungen im Kontext dieser Arbeit erforderlich, um verschiedene Blickwinkel für diese Thematik zu verstehen. Um eine Übersicht über die existierenden Interpretationen der Begriffe zu geben, werden im Folgenden einige bestehende Modelle, Unterteilungen und Definitionsalternativen erläutert.

2.1 Daten, Informationen und Wissen

Um den Begriff Wissen eingrenzen zu können, wird in vielen Quellen unterschiedlicher wissenschaftlicher Richtungen, insbesondere in den Naturwissenschaften und der Betriebswirtschaftslehre, zwischen Daten, Informationen und Wissen unterschieden (z.B. [ScZu03], [MeBK05], [VDI5610]). Hierbei stellen die einzelnen Begriffe einen Anreicherungsprozess von Daten hin zu Wissen dar. Die VDI-Richtlinie 5610 sieht Daten als objektive Fakten, die ohne Zusammenhang und weitere Hintergründe nicht deutbar sind [VDI5610]. Sie sind als „Rohmaterial“ zu verstehen [ScZu03]. Informationen, so die VDI-Richtlinie weiter, sind strukturierte Daten mit Relevanz und Zweck, die „in einen Kontext gebracht, kategorisiert, kalkuliert und korrigiert werden können“. Wissen ist letztendlich vernetzte Information, die es ermöglicht, Vergleiche anzustellen, Verknüpfungen herzustellen und Entscheidungen zu treffen [VDI5610]. Die Schaffung von Wissen erfolgt durch die Vernetzung von Informationen [ScZu03] und ermöglicht deren Nutzung in einem bestimmten

Handlungsfeld [PrRR06]. Die VDI-Richtlinie 5610 verdeutlicht diesen Zusammenhang beispielhaft anhand des Wirkungsgrades einer Maschine in Abbildung 2.1.

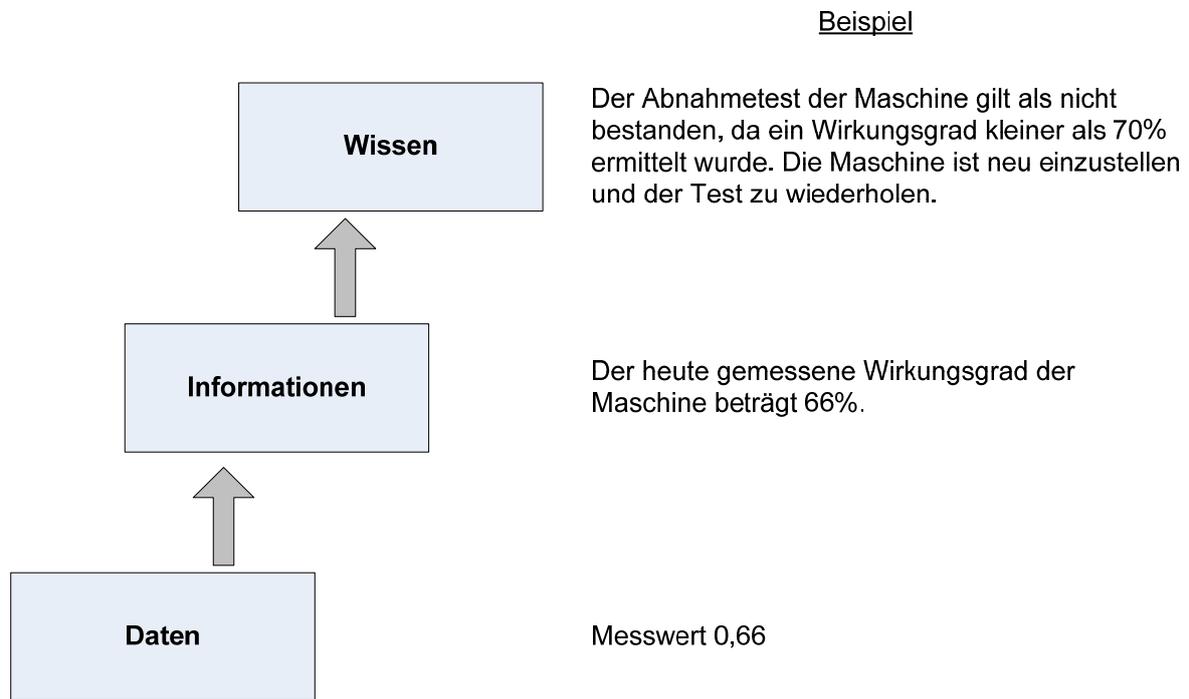


Abbildung 2.1: Zusammenhang zwischen Daten, Informationen und Wissen nach [VDI5610]

Probst et al. [PrRR06] sowie Gronau [Gron01] weichen diese scharfe Trennung auf. Wissen ist nach Gronau [Gron01] eine zweckorientierte Verbindung von Informationen, welche Kenntnisse über deren Zusammenhang und deren sinnvolle Vernetzung erfordert.

Daten	Informationen	Wissen
unstrukturiert		strukturiert
isoliert		verankert
Kontext-unabhängig		Kontext-abhängig
geringe Verhaltenssteuerung		hohe Verhaltenssteuerung
Zeichen		kognitive Handlungsmuster

Abbildung 2.2: Das Kontinuum von Daten, Informationen und Wissen nach [PrRR06]

Um diese Vernetzung zu realisieren, müssen nach Probst et al. [PrRR06] Informationen ausgewählt, verglichen, bewertet, verknüpft und ausgetauscht werden. Hieraus folgt nach Probst et al. [PrRR06], dass nicht eindeutig festgelegt werden kann, ab wann eine solche Vernetzung noch als Information oder bereits als Wissen bezeichnet werden kann. Deshalb schlagen Probst et al. [PrRR06] sowie Gronau [Gron01] ein Kontinuum zwischen Daten, Informationen bis hin zum Wissen vor. Die Position innerhalb des Kontinuums wird durch mehrere Indikatoren beschrieben, die in Abbildung 2.2 skizziert sind.

Aufgrund des offenen Charakters der gezeigten Sichtweise wird o.g. Modell im Folgenden dieser Arbeit zugrunde liegen. Insbesondere sind die Begriffe Information und Wissen kaum zu trennen und werden im allgemeinen Sprachgebrauch oft synonym verwendet [VDI5610]. Daher erscheint auch dem Autor eine scharfe Trennung im Kontext dieser Arbeit nicht als sinnvoll.

2.2 Kognitionspsychologische Sicht

In der Kognitionspsychologie, deren zentraler Forschungsbereich nach Schiefele und Schaffner [ScSc06] der Wissenserwerb ist, wird Wissen in deklaratives und prozedurales Wissen unterschieden.

Deklaratives Wissen bezeichnet hierbei die Kognition oder das Bewusstsein eines Objektes, eines Ereignisses oder einer Idee [JoBY93]. Es kann als „knowing that“ charakterisiert werden [Ryle49]. Ein Beispiel für deklaratives Wissen ist: Die Volkswagen AG ist ein Automobilhersteller. Neben dem Wissen über Fakten und Konzepte (der Begriff Konzept wird in Abschnitt 6.2.5 noch näher definiert) bezeichnet deklaratives Wissen auch das Wissen über semantische Beziehungen zwischen zwei oder mehr Konzepten, im oben genannten Beispiel durch die Worte „ist ein“.

Prozedurales Wissen beschreibt hingegen wie deklaratives Wissen gebraucht und angewendet wird, also das „knowing how“ [JoBY93]. Bei prozeduralem Wissen ist dem Wissensträger oft nicht bewusst, wie das Wissen aufgebaut ist. Ein Autofahrer kann z.B. Auto fahren, ohne sich bewusst zu sein, wie dies im Einzelnen funktioniert.

Jonassen stellt in [JoBY93] weiterhin fest, dass nicht nur das „knowing that“ und das „knowing how“ wichtig sind, vielmehr kommt noch das „knowing why“ hinzu. Letzteres bezeichnet er als strukturelles Wissen¹ [JoBY93]. Dickhoff beschreibt strukturelles Wissen weiter als das Wissen, das Aufschluss darüber gibt, wie Konzepte innerhalb einer Domäne verlinkt sind [Diek83]. Andere Quellen interpretieren das strukturelle Wissen als Teil des deklarativen Wissens, welches hier in die Dimensionen Inhalt und Struktur aufgeteilt wird und über semantische Relationen definiert wird [MiCh84]. Diese Interpretation ist die Grundlage für die folgenden Betrachtungen.

2.3 Implizites und explizites Wissen

Wissen selbst kann in implizites und explizites Wissen unterteilt werden [LuTr05].

Explizites Wissen bezeichnet nach Lucko und Trauner ein öffentliches, allgemein zugängliches Wissen [LuTr05]. Es ist kodifiziert, d.h. es kann in formalisierte, systematische Sprache übertragen werden [Büge04]. Es ist beschreibbar und standardisierbar und ist methodisch und geordnet in Systemen, Strukturen, Prozessen, in Dokumentationen, Bibliotheken, Datenbanken usw. abgelegt. Es wird auch dokumentiertes Wissen genannt [VDI5610]. Weil es in eine kodifizierte Form überführt worden ist, kann es mit informationstechnischen Mitteln verarbeitet, übertragen und gespeichert werden und ist in formaler Sprache artikulierbar und beschreibbar [Büge04]. Somit stellt explizites Wissen die Voraussetzungen für die Anwendung von Kommunikations- und Informationstechnik zur Unterstützung von Wissensmanagement dar. Ein gutes Beispiel für explizites Wissen sind wissenschaftliche Erkenntnisse, die in einer systematischen und oft auch formalen Sprache verfasst und über Veröffentlichungen kommuniziert werden [Büge04].

Implizites Wissen hingegen beschreibt das Wissen, das der Organisation nicht zugänglich ist [LuTr05]. Dieses Wissen entzieht sich dem formalen, persönlichen, sprachlichen Ausdruck. Es basiert auf Erfahrungen, Wertvorstellungen, Intuitionen, Überzeugungen, Fähigkeiten und Erinnerungen. Ein Beispiel dafür ist das Erlernen des Fahrrad fahrens. Es kann nicht anhand einer Beschreibung erlernt werden [ScCo96]. Dies zeigt, dass implizites Wissen schwer

¹ In der Literatur wird strukturelles Wissen auch als strukturales Wissen bezeichnet.

formalisierbar und kommunizierbar und somit personengebunden und kontextspezifisch ist. „Ein wesentlicher Teil dieses impliziten Wissens sind Modelle, durch die Individuen ihre Welt subjektiv wahrnehmen und definieren (...). Neben diesen kognitiven Elementen gehören auch technische Elemente zum impliziten Wissen. Damit sind Know-how sowie Fertigkeiten und Fähigkeiten eines Individuums gemeint, die sich durch Erfahrungen im praktischen Handeln herausgebildet haben“ [Büge04]. Es wird auch als stilles oder verborgenes Wissen bezeichnet [VDI5610].

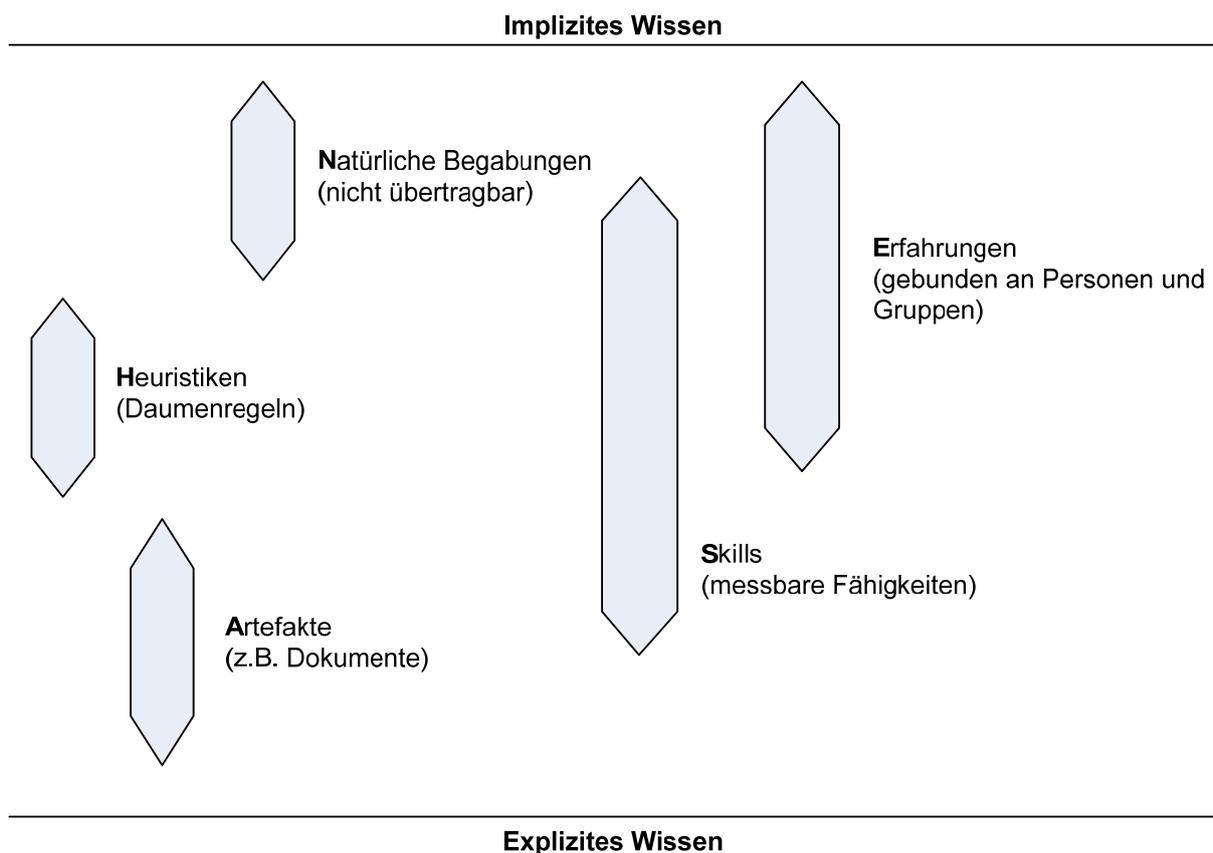


Abbildung 2.3: HANSE-Modell der Wissenszustände nach [VDI5610]

Das HANSE-Modell nach Snowden [Snow00] bietet eine Unterscheidungsmöglichkeit in explizites und implizites Wissen. Hierzu werden fünf Komponenten herangezogen (vgl. Abbildung 2.3), die eine Bandbreite zwischen implizitem und explizitem Wissen darstellen:

- Heuristiken
- Artefakte
- Natürliche Begabung

- Skills
- Erfahrungen

An diesem Modell wird deutlich, dass sich explizites und implizites Wissen nicht scharf voneinander trennen lassen, sondern ineinander übergehen. Eine ausführliche Diskussion mit Beispielen hierzu findet sich in [Snow00].

2.4 Privates und kollektives Wissen

Im Umfeld eines Unternehmens kann eine weitere Segmentierung von Wissen nach dem Kriterium der Zugänglichkeit erfolgen. Hier kann privates von kollektivem Wissen unterschieden werden [Gron01]. Auf privates Wissen kann nur von einem Individuum zugegriffen werden, während kollektives Wissen für mehrere gleichzeitig zugänglich ist. Die beiden Unterscheidungen in implizites und explizites sowie privates und kollektives Wissen bilden folglich die grundlegenden Dimensionen des Wissens innerhalb eines Unternehmens.

kollektiv	<ul style="list-style-type: none"> • gleichzeitig in den Köpfen Mehrerer verankert • z.T. in der Unternehmensstruktur erkennbar (Kenntnis der Unternehmensphilosophie) 	<ul style="list-style-type: none"> • dokumentiertes, in Medien gespeichertes Wissen • für Mehrere zur gleichen Zeit im Zugriff
	privat	<ul style="list-style-type: none"> • subjektive Erfahrungen des Einzelnen • in den Köpfen Einzelner verankert
		implizit

Abbildung 2.4: Dimensionen des Wissens eines Unternehmens nach [Gron01]

Dabei ergänzen sich die Dimensionen implizit – explizit und privat – kollektiv nach Gronau [Gron01] zu einer Matrix, die das Wissen in einem Unternehmen segmentiert (vgl. Abbildung 2.4). Somit zeigt Gronau, dass die Zugänglichkeit eine weitere Dimension des Wissens-

begriffes darstellen kann, der bei dieser Betrachtungsweise unabgänglich von der Implizitheit bzw. Explizitheit des Wissens ist.

2.5 Wissensmanagement

Das Gebiet des Wissensmanagements stellt ein sehr weites Themenfeld dar, das von verschiedenen Autoren unterschiedlich ausgelegt und beschrieben wird. Dieser Abschnitt soll einen Überblick über die vielschichtigen Aspekte des Wissensmanagements geben.

2.5.1 Definition von Wissensmanagement

Von Wilke wird managen allgemein als „(...) eine systematische und disziplinierte Steuerung von Ressourcen zur Erreichung bestimmter Ziele“ verstanden [Wilk04]. Während auch einzelne Personen sich oder andere managen können, bezieht sich „Managen“ im Kontext von Unternehmen auf das systematische Planen, Steuern und Kontrollieren von Personen und Ressourcen zur Erreichung der Unternehmensziele.

Unter dem Begriff des Wissensmanagements verstehen Probst et al. [PrRR06] die Verbesserung der organisatorischen Fähigkeiten auf allen Ebenen des Unternehmens durch einen besseren Umgang mit der Ressource Wissen. Es kann also als das Management derjenigen Aktivitäten und Prozesse verstanden werden, welche die Effizienz von Wissen steigern und die Wettbewerbsfähigkeit durch eine höhere Effektivität bei der Nutzung und Erzeugung von Wissensressourcen stärken. Effizienz impliziert hierbei nach Klabunde [Klab03], dass das vorhandene Wissen in den Geschäftsprozessen optimal genutzt wird. Effektivität besagt, dass Wissen zielgerichtet in der Entwicklung von Produkten und Prozessen umgesetzt und selbst ein Ergebnis einer Leistungserstellung wird [Klab03]. Dies soll einem Unternehmen ermöglichen, Innovationen umzusetzen und somit die Wettbewerbsfähigkeit auszubauen [Klab03] (siehe Abbildung 2.5).



Abbildung 2.5: Zielsystem des Wissensmanagements nach [Klab03]

Ein zentraler Bestandteil des Wissensmanagements ist die Wissensbasis des Unternehmens, die sich aus der Integration unterschiedlicher Wissensbestände und -träger zusammensetzt. Die Kernaufgabe von Wissensmanagement ist die Bereitstellung von Instrumenten zur Planung, Organisation, Steuerung, Nutzung und Kontrolle der Wissensbasis, um diese weiterzuentwickeln bzw. zu verändern [Klab03].

Bei der Einführung von Wissensmanagement in einem Unternehmen darf es weiterhin nicht einseitig um die Implementierung von Software gehen, sondern auch um Maßnahmen, die die Mitarbeiter und die organisatorischen Aspekte des Unternehmens einbeziehen [LuTr05]. Deshalb ist es für ein erfolgreiches Wissensmanagement erforderlich, die Dimensionen Technik, Organisation und Mensch zu berücksichtigen, was durch das T-O-M Modell grafisch ausgedrückt werden soll (vgl. Abbildung 2.6). Erfolgreiches Wissensmanagement muss eine sinnvolle Balance zwischen den Investitionen in diese drei Gestaltungsfelder finden [Büge04].

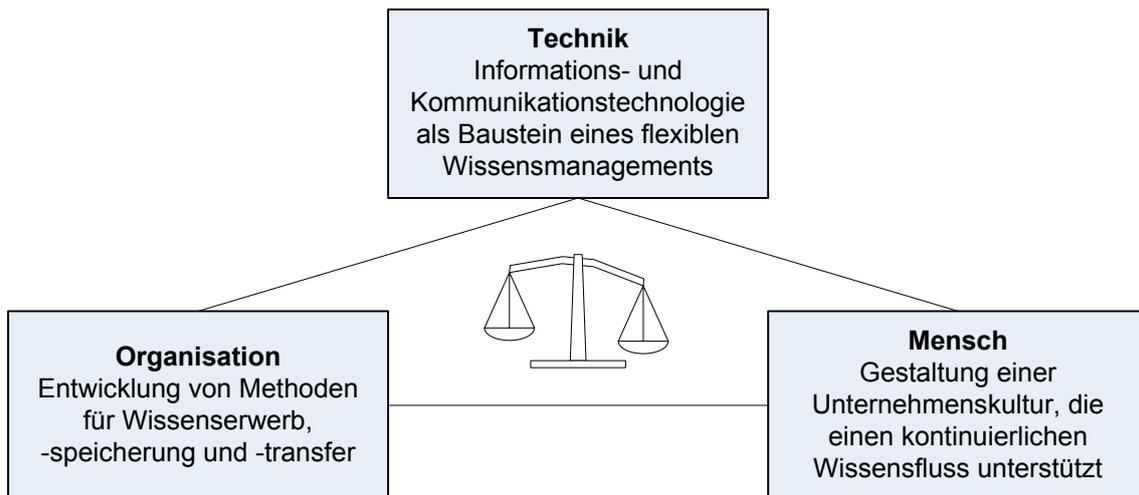


Abbildung 2.6: T-O-M Modell nach [LuTr05]

2.5.2 Modell der Wissensumwandlung und -erzeugung im Wissensmanagement

Um die Erzeugung und Umwandlung von Wissen im Kontext des Wissensmanagements zu beschreiben, haben Nonaka und Takeuchi in [NoTa97] ein spiralförmiges Modell entwickelt. Hierbei gehen sie zunächst von vier verschiedenen Formen der Wissensumwandlung, wie in Abbildung 2.7 dargestellt, aus:

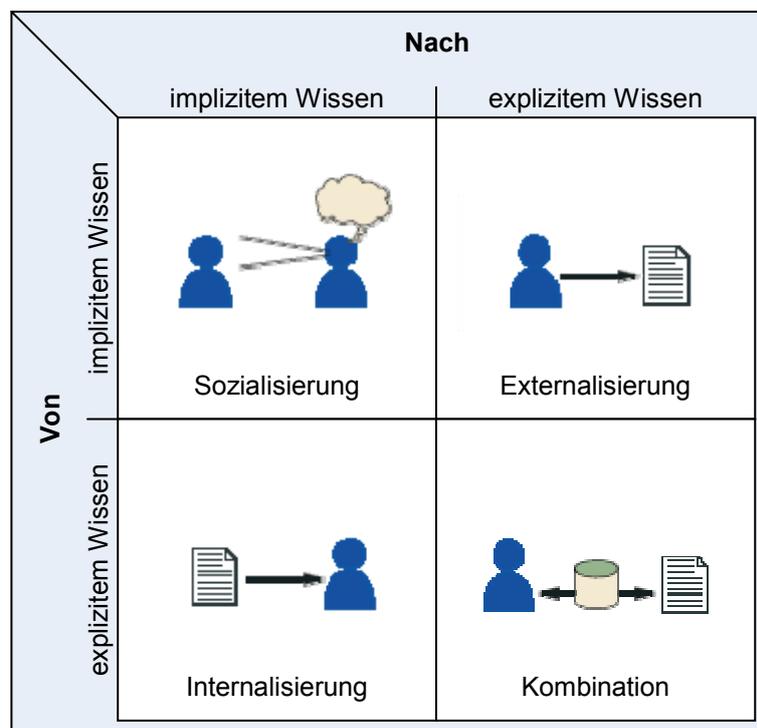


Abbildung 2.7: Wissensumwandlung nach [NoTa97]

- Die Sozialisierung bezeichnet den Erfahrungsaustausch über Beobachtung, Imitation und Übung.
- Die Externalisierung wandelt Wissen mit Hilfe von Metaphern, Analogien, Modellen oder Hypothesen von implizit nach explizit um.
- Unter Internalisierung wird die Übernahme dokumentierten Wissens in tägliche Handlungen verstanden.
- Kombination meint die Übertragung von Wissen auf neue Anwendungsgebiete, zum Beispiel die Verwendung bereits existierender Entwicklungskonzepte auf Produktneuentwicklungen.

Hierauf basierend ist die Wissenserzeugung als iterativer Prozess dargestellt, in dem explizites und implizites Wissen miteinander kombiniert und zwischen Individuen und Gruppen transformiert werden (siehe Abbildung 2.8).

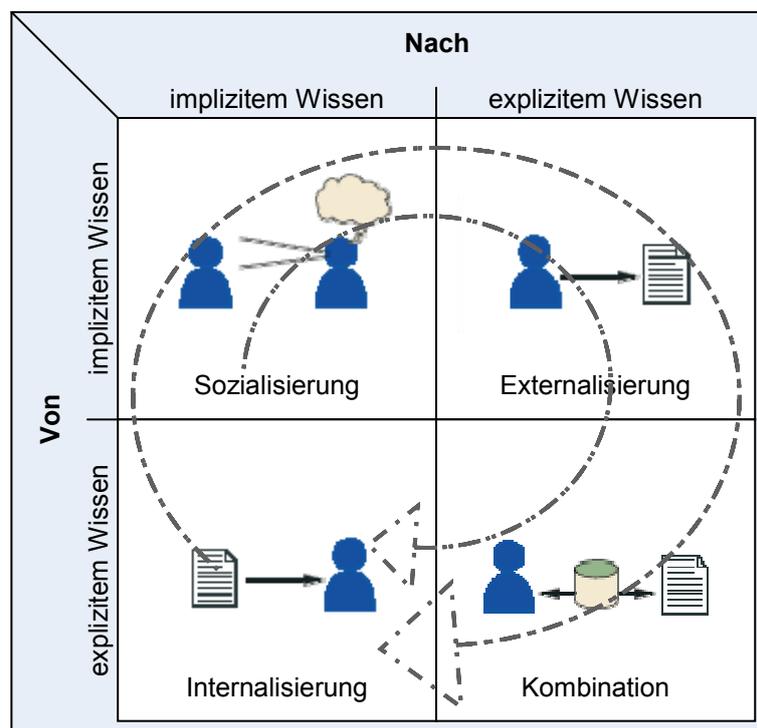


Abbildung 2.8: Iterativer Prozess der Wissenserzeugung nach [NoTa97]

Durch die wiederholten Iterationen zwischen Individuen im Unternehmen und zwischen dem Unternehmen und seinem Umfeld entsteht demnach ständig neues Wissen. Diese Spirale baut

somit nach Nonaka und Takeuchi [NoTa97] die Wissensbasis eines Unternehmens auf und muss durch Wissensmanagementaktivitäten ermöglicht und gefördert werden.

2.5.3 Modell der Wissensträger und -speicherung

Wird die Unterscheidung zwischen privatem und kollektivem Wissen miteinbezogen, lässt sich eine weitere Aufgabe für Wissensmanagement darstellen. Das Modell von Scholz [Scho00] definiert hierzu ein Unternehmen vereinfachend als zwei Personen (x, y), die in einem institutionellen Rahmen mit einer gemeinsamen Zielsetzung handeln. Hiermit lässt sich das in Abbildung 2.9 gezeigte Modell erzeugen, das fünf verschiedene Gruppen von Wissensträgern unterscheidet.

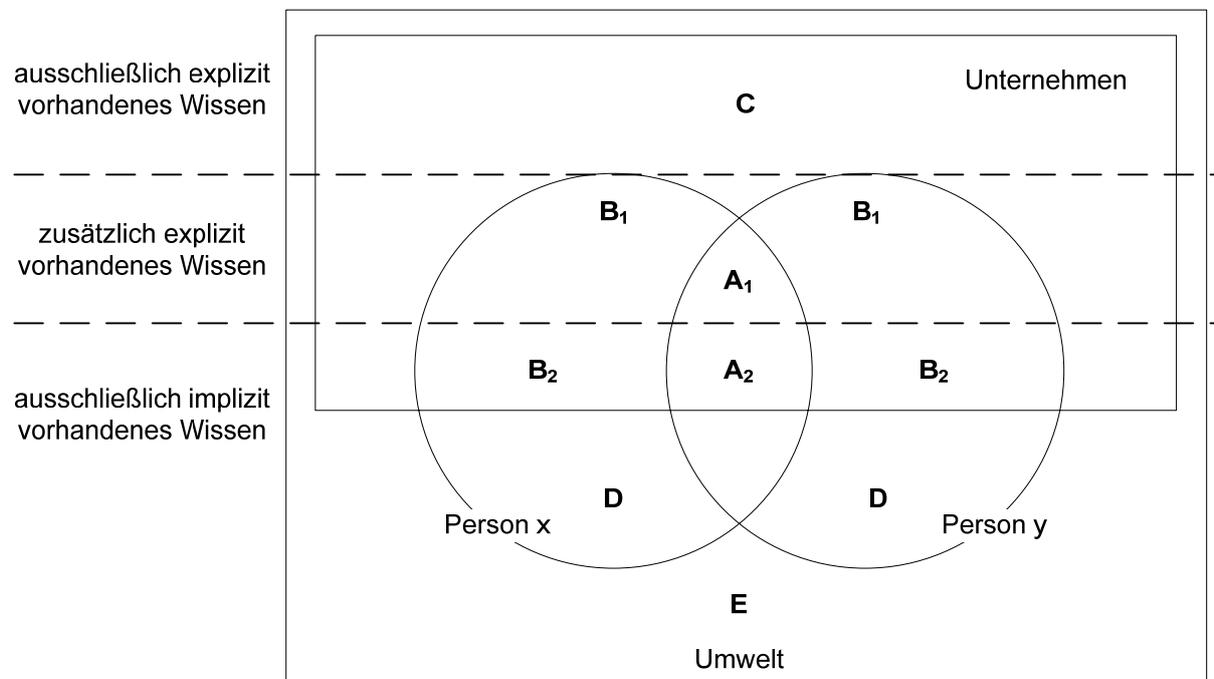


Abbildung 2.9: Arten von Wissensträgern nach [Scho00]

- Fall A₁ und A₂ betreffen Wissen, das als privates Wissen bei beiden Personen in irgendeiner Form vorhanden ist und das sie in das Unternehmen einbringen.
- In Fall B₁ und B₂ verfügt zwar nur jeweils eine der beiden Personen über Wissen, aber dennoch gehört es auch zum Wissen des Unternehmens.

- Fall C beschreibt Wissen des Unternehmens, das losgelöst von einzelnen Personen existiert. Hierzu gehören z.B. schriftliche Dokumentationen oder auch in Datenbanken gespeichertes Wissen.
- In Fall D ist dagegen individuelles Wissen vorhanden, welches dem Unternehmen aber nicht zugänglich ist.
- Fall E beschreibt Wissen, das außerhalb der individuellen Ebene existiert und auch außerhalb der Ebene des Unternehmens.
- Die Wissensbasis eines Unternehmens umfasst nach Abbildung 2.9 die Bereiche A, B und C. Eine weitere Differenzierung kann mit der Form der Wissensspeicherung erfolgen. Diese kann
 - als implizites Wissen im Gedächtnis der Unternehmensmitglieder, also in Bereich A₂ und B₂,
 - als explizites Wissen im Unternehmen (z.B. in Computern, Handbüchern), also in Bereich C, oder
 - als implizit und explizit existierendes Wissen (A₁ und B₁) vorliegen.

Diese Darstellung motiviert als weiteres Ziel von Wissensmanagement möglichst viel relevantes Wissen in einer Form zu speichern, die explizit vorliegt und zugleich für möglichst viele Mitglieder des Unternehmens zugänglich ist [Scho00]. Es ist erkennbar, dass eine zentrale Entwicklungsrichtung zu Punkt A₁ hin liegen sollte. Dies ist eine Bewegung hin zum Wissen des Unternehmens, das sowohl explizit sowie implizit vorliegt und das zusätzlich von mehreren Personen geteilt wird.

2.5.4 Bausteine des Wissensmanagements

Einer der prägendsten Einflüsse im betriebswirtschaftlichen Umfeld bilden die „Bausteine des Wissensmanagements“, wie sie in Abbildung 2.10 nach Probst et al. [PrRR06] zu sehen sind und die in diesem Abschnitt näher beschrieben werden. Diese Bausteine verdeutlichen die einzelnen Aufgabenfelder des Wissensmanagements und deren Vernetzung. Die Abfolge der Bausteine lässt sich zu zwei Kreisläufen zusammenfassen. Der äußere Kreislauf setzt sich aus

notwendig, um Wissensmanagement systematisch zu betreiben, denn nur durch die Vorgabe von Zielen und deren anschließender Bewertung (siehe Baustein Wissensbewertung) ist es möglich, den Erfolg von Wissensmanagementaktivitäten zu messen [LuTr05].

Wissensbewertung

Für die formulierten Wissensziele werden entsprechende Methoden zur Messung des Erreichens dieser Ziele benötigt. Hierbei zeigt sich, wie durchdacht die Zielfestlegung erfolgt ist, da bei der Definition der Ziele immer auch die Möglichkeit der abschließenden Erfolgsbewertung beachtet werden sollte. Da die Maßnahmen des Wissensmanagements Ressourcen beanspruchen, ist die Bewertung unbedingt erforderlich, um die Wirksamkeit des Wissensmanagements zu belegen. Hierbei tritt ein wesentliches Problem auf: Im Wissensmanagement kann nicht wie zum Beispiel im Finanzmanagement auf ein erprobtes Instrumentarium von Messverfahren und Indikatoren zurückgegriffen werden [LuTr05]; Näheres zur Möglichkeit der Erfolgsmessung von Wissensmanagementmaßnahmen folgt in Abschnitt 2.5.5.

Wissensidentifikation

In dem Baustein Wissensidentifikation soll eine „angemessene“ Transparenz über intern und extern vorhandenes Know-how, über fehlendes Wissen sowie über entsprechende Wissensträger erreicht werden. Dabei werden unter intern vorhandenem Know-how die im Unternehmen vorhandenen Fähigkeiten und Fertigkeiten verstanden, wohingegen extern vorhandenes Know-how z.B. das in ein Projekt eingebundene externe Beraterteam sein kann. Ziel der Wissensidentifikation ist die klare Darstellung des Ist-Zustandes des im Unternehmen vorhandenen Wissens, um Ineffizienzen, uninformierte Entscheidungen und Redundanzen zu verhindern. Damit aus den Ergebnissen der Wissensidentifikation konkrete Maßnahmen abgeleitet werden können, ist der zuvor identifizierte Ist-Zustand mit den Wissenszielen oder den Soll-Anforderungen im jeweiligen Wissensgebiet abzugleichen. Die Wissensidentifikation dient als Grundlage für die weiteren Bausteine des Wissenskreislaufs.

Wissenserwerb

Der Baustein Wissenserwerb bezieht sich auf den Erwerb von Wissen, das von außerhalb des Unternehmens stammt. Dabei ist dieses Wissen nicht zwangsläufig neu, es kann sich auch um den Erwerb von – lediglich aus Sicht des Unternehmens – nicht bekanntem Wissen handeln

[LuTr05]. Der Baustein soll dazu dienen, identifizierte Wissenslücken, die das Unternehmen nicht aus eigener Kraft füllen kann, zu schließen. Dies kann sowohl auf persönlicher als auch auf organisatorischer Ebene stattfinden wie z.B. durch Seminare, Fortbildungsveranstaltungen, Bildungsurlaub, Einstellung neuer Mitarbeiter oder der Einbindung externer Berater und Unternehmen.

Wissensentwicklung

Wissensentwicklung ergänzt den Wissenserwerb durch interne Entwicklung von Wissen. Es umfasst alle Managementanstrengungen, mit denen sich das Unternehmen um die Entwicklung bisher intern noch nicht bestehender Fähigkeiten bemüht [PrRR06]. Die Wissensentwicklung zielt auf eine Wissensaktualisierung und -vermehrung ab, um neue Fähigkeiten für innovative Produkte und verbesserte Prozesse zu erlangen. Neben den klassischen Wissensentwicklungsaktivitäten in Forschung und Entwicklung kann für den Unternehmenserfolg relevantes Wissen auch in allen anderen Unternehmensbereichen entstehen. Daher sollten in diesem Baustein der Umgang des Unternehmens mit neuen Ideen und die Nutzung der Kreativität der Mitarbeiter im Mittelpunkt stehen. Der Baustein Wissenserwerb und der Baustein Wissensentwicklung dienen damit beide dem zielgerichteten Aufbau der Wissensbasis eines Unternehmens.

Wissens(ver)teilung

Die Wissens(ver)teilung ist eine wichtige Komponente im Wissensmanagement nach Probst et al., da hier isoliert vorhandene Informationen oder isoliert vorhandenes Wissen für das gesamte Unternehmen nutzbar gemacht werden. Des Weiteren zielt dieser Baustein darauf ab, den Wissenstransfer und den Zugriff auf Wissensquellen zu organisieren und die vorhandenen Wissensbasen gut aufeinander abzustimmen, um so ihre Möglichkeiten optimal zu nutzen [LuTr05]. Es geht darum, „(...) Wissen zur richtigen Zeit in der richtigen Qualität und Quantität an den richtigen Ort zu bringen“ [LuTr05].

Wissensbewahrung

Vorhandene und identifizierte Wissensfelder und Wissenslücken ändern sich im Laufe der Zeit. Auch einmal erworbene Fähigkeiten stehen nicht automatisch in der Zukunft zur Verfügung. Die gezielte Bewahrung und Aktualisierung von Wissen oder Informationen und Dokumenten setzt die effiziente Nutzung verschiedenster Speichermedien für Wissen voraus.

Dies betrifft sowohl elektronische, individuelle als auch kollektive Wissensspeicher. Wissensbewahrung muss zudem die Wissensbasis transparent gestalten und von ‚unnötigem Ballast‘ bereinigen, um eine effektive und effiziente Nutzung auch in Zukunft zu gewährleisten.

Wissensnutzung

Die Wissensnutzung bezeichnet den produktiven Einsatz des vorhandenen Wissens. Diese Nutzung ist letztlich Ziel und Zweck des Wissensmanagements. Um dies zu ermöglichen, muss einerseits ein nutzerfreundlicher Zugriff geschaffen werden, zum anderen muss sich die Anwendung von Wissen auch lohnen. Hierbei können entsprechende organisatorische Rahmenbedingungen wie immaterielle und materielle Anreizsysteme unterstützend wirken [LuTr05].

2.5.5 Erfolgsmessung von Wissensmanagementmaßnahmen

Eine Managerweisheit besagt: „Was man nicht messen kann, das kann man auch nicht managen!“ Den wichtigsten Messwert stellt dabei die Wertschöpfung dar. In der Praxis ist jedoch ein direkter Zusammenhang zwischen Wissensmanagement und Wertschöpfung nicht leicht zu finden [CEN04]. Da ein Unternehmen durch Vermehrung und Austausch von Wissen zwar die Voraussetzungen für einen ökonomischen Erfolg schafft, aber dessen Verwirklichung und somit der Zeitpunkt der Wertschöpfung längere Zeit in Anspruch nehmen kann, ist nur ein indirekter Zusammenhang gegeben [CEN04]. Da somit keine direkte Messung erfolgen kann, müssen Indikatoren verwendet werden. Von Allan et al. [CEN04] werden diverse ausgereifte, aber auch neue Methoden zur Messung der Wissensmanagementaktivitäten vorgestellt. Im Folgenden sollen hieraus beispielhaft zwei Möglichkeiten der Messbarmachung des Erfolges von Wissensmanagement vorgestellt werden.

Balanced Scorecard Methode

Die Grundidee der Methode der Balanced Scorecard geht auf Kaplan und Norton zurück [KaNo97]. Sie basiert auf der Integration von Wissensmanagement in existierende Steuerungs- und Controllingssysteme. Das Modell betrachtet ein Unternehmen aus vier Perspektiven (vgl. Abbildung 2.11):

- Kunden- und Marktperspektive
- Finanzperspektive
- Perspektive der internen Geschäftsprozesse
- Lern- und Entwicklungsperspektive

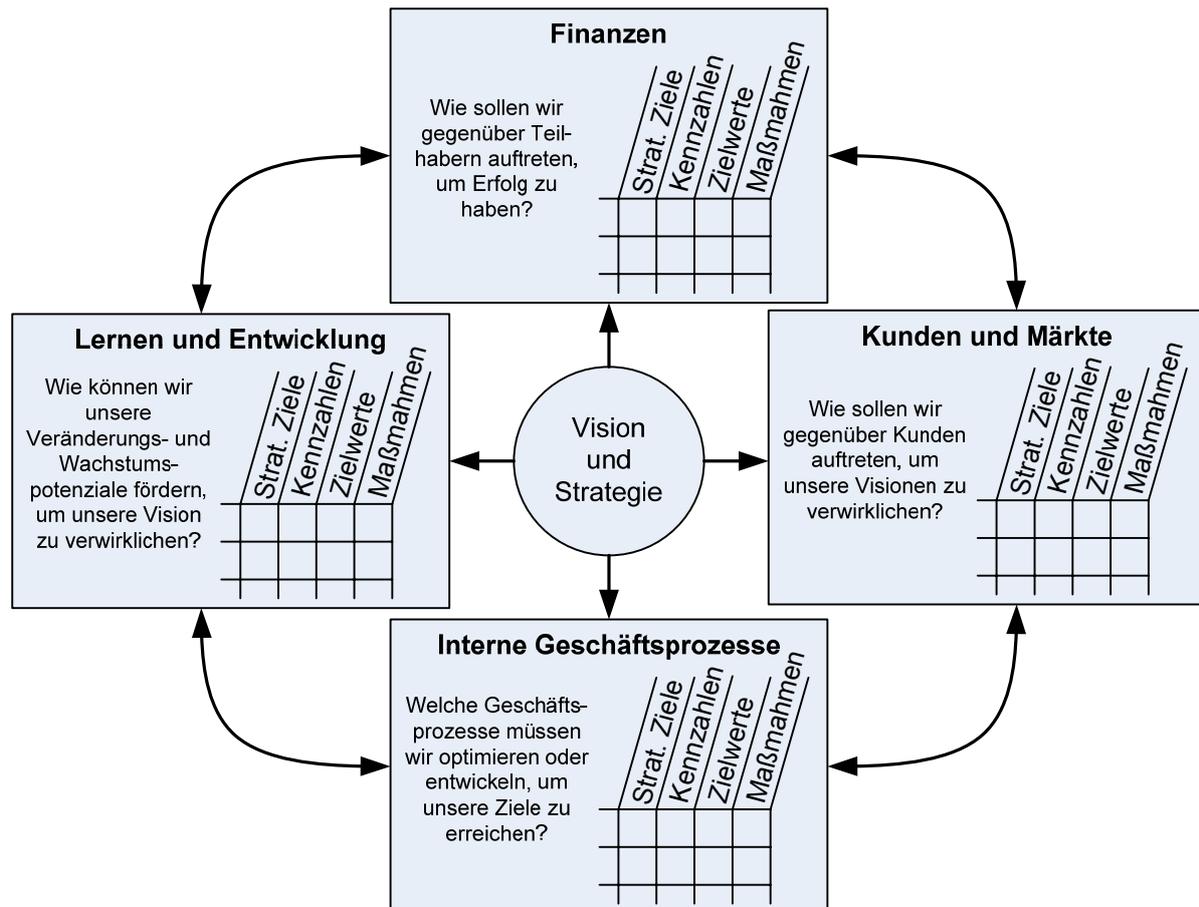


Abbildung 2.11: Balanced Scorecard nach [KaNo97]

Wie in Abbildung 2.11 ersichtlich ist, werden für jede der vier Perspektiven strategische Ziele, Kennzahlen, Zielwerte (operative Ziele) und Maßnahmen festgelegt. Die Verknüpfung der vier Dimensionen folgt der Logik einer Ursache-Wirkungs-Beziehung. Die Balanced Scorecard ist somit ein Managementinstrument, welches eine Verbindung zwischen langfristigen Unternehmenszielen und operativen Eingriffen in die Wissensbasis herzustellen versucht [PrRR06]. Insbesondere in der Lern- und Entwicklungsperspektive liegt hierbei ein direkter Anknüpfungspunkt zum Wissensmanagement vor [PrRR06]. Hier fließen Kennzahlen ein, die Veränderungen der unternehmerischen Wissensbasis messen. Diese können z.B. die Anzahl der Experten sein, die angeworben wurden oder das Verhältnis

abgeschlossener Projekte zu Lessons-Learned-Berichten. Die Schwierigkeit in der Anwendung dieser Methode liegt darin, ein unternehmensspezifisches Indikatorensystem aufzubauen, welches dann einen Rückschluss auf messbare Kennzahlen des Geschäftserfolgs ermöglicht [LuTr05].

Mehrdimensionale Wissensmessung

Die zuvor genannte Schwierigkeit der Balanced Scorecard Methode hat zur Entwicklung der mehrdimensionalen Wissensmessung geführt [PrRR06]. Aufgrund der nicht vorhandenen Trennung von Indikatorenklassen kommt es in der Lern- und Entwicklungsperspektive zwangsläufig zu einer Vermischung von Bestandsindikatoren (Woraus besteht die Wissensbasis heute?), Interventionsindikatoren (Welche Wissensinterventionen wurden in welchem Umfang durchgeführt?), Übertragungsindikatoren (Welche Effekte lösten die vorgenommenen Wissensinterventionen aus?) und klassischer, finanzieller Indikatoren [PrRR06]. Infolgedessen lassen sich mit der Balanced Scorecard Bestände, Inputs und Outputs nicht mehr trennen und sind somit in ihren Wechselwirkungen nur schwer zu erkennen.

Indikatorenklasse	Begriffsbestimmung	Beispiele
(1) Unternehmerische Wissensbasis	Beschreibt den Bestand der organisatorischen Wissensbasis zum Zeitpunkt t qualitativ und quantitativ	Fähigkeitenportfolio der MA nach Kernfähigkeiten, Anzahl und Qualität der externen Knowledge Links, Qualität und Anzahl interner Kompetenzzentren, Patente
(2) Intervention	Beschreibt Prozesse und Inputs (Aufwand) zur Veränderung der organisationalen Wissensbasis	Anzahl der Lessons Learned Workshops, Erstellen von Expertenprofilen, Durchführung von Action Training (Action Training/Gesamttraining (%))
(3) Zwischenerfolge und Übertragungseffekte	Misst die direkten Ergebnisse der Interventionen (Outputs)	Publikationen von MA, Verbesserungsvorschläge, Antwortzeiten auf KD-Anfragen, Nutzungsindex Intranet, Transparenzindex
(4) Ergebnisse der Geschäftstätigkeit	Misst Geschäftsergebnisse am Ende der Betrachtungsperiode (z.B. Quartal, Geschäftsjahr)	Cashflow, Deckungsbeiträge, Marktanteil, Image, Return of Investment

Abbildung 2.12: Indikatorenklassen nach [PrRR06]

Bei der Methode der mehrdimensionalen Wissensmessung wird deshalb, wie in [PrRR06] beschrieben, eine Differenzierung in vier Indikatorenklassen vorgenommen (vgl. Abbildung 2.12). Die erste Klasse beschreibt die Bestandteile der unternehmerischen Wissensbasis. Die zweite Klasse beschreibt Inputs und Prozesse als messbare Größen von Interventionen zur Veränderung der Wissensbasis. Zwischenerfolge und Übertragungseffekte werden mit der dritten Klasse erfasst und schließlich misst die 4. Klasse die Geschäftsergebnisse. Mit dieser Methode ist es also möglich, Ursache-Wirkungs-Beziehungen herzustellen und die Veränderung der Wissensbasis mit Bezug zu den Geschäftsergebnissen besser darstellen zu können als mit der Balanced Scorecard Methode [PrRR06].

2.6 Fazit

Durch die in diesem Kapitel aufgezeigten Aspekte wird der immense Umfang des Themenkomplexes „Wissen“ deutlich, auf den es, je nach Kontext verschiedene Blickwinkel gibt. In dieser Arbeit soll deshalb keine Neudefinition und Interpretation der hier gängigen Begriffe erfolgen. Mit der Verwendung des Kontinuums von Daten, Informationen und Wissen wurde eine pragmatische Sichtweise für diese Arbeit gewählt, die nach Meinung des Autors die hier vorliegende Thematik nicht unnötig verkompliziert. Der Begriff Wissen soll stellvertretend für Informationen und Wissen stehen und den Begriff Daten subsumieren.

Innerhalb der gezeigten Ansätze rechtfertigt insbesondere die als netzartig beschriebene Sicht auf den Wissensbegriff zudem eine nähere Betrachtung Semantischer Netze zu dessen Erfassung in der Produktentwicklung.

Eine gängige Unterscheidung des Wissensbegriffes, sowohl bei der Betrachtung des Begriffes Wissen im Allgemeinen, als auch bei der Betrachtung des Wissensmanagements ist die in explizites und implizites Wissen. Hier wird in den vorgestellten, unterschiedlichen Modellen deutlich, dass eine Verfügbarmachung von implizitem Wissen für den Wissensaustausch erforderlich, aber zugleich auch schwierig ist. Verfügbarmachung bedeutet in diesem Zusammenhang eine Erfassung und Sicherstellung der Wiederauffindbarkeit des Wissens. Erfolgt ein Zugriff auf das erfasste Wissen, so ist der Wissensaustausch vollzogen. Somit bilden Erfassung und Zugriff die Kernaktivität bei der Verwendung Semantischer Netze zum Wissensaustausch.

Zudem wurden die Hauptbetätigungsfelder des Wissensmanagements erläutert. Es wurde dargestellt, dass die informationstechnische Wissenserfassung und Bereitstellung einen Aspekt des Wissensmanagements darstellt, es aber noch weitere, ebenso wichtige Betätigungsfelder gibt, die nicht Gegenstand dieser Arbeit sind.

3 Produktentwicklung

Nachdem im vorherigen Kapitel die Grundlagen des Wissensbegriffes untersucht wurden, behandelt dieses Kapitel die Thematik der Produktentwicklung, um später Wissen in der Produktentwicklung genauer zu erörtern. Es hat sich in der bisherigen Forschung am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes, an dem auch die vorliegende Arbeit entstanden ist, gezeigt, dass sich die Theorie vom Characteristics-Properties Modelling (CPM) und Property-Driven Development (PDD) sehr gut zur Betrachtung rechnerunterstützter Produktentwicklungsprozesse eignet. Da hier vertieftes Know-how und Erfahrung existieren, soll diese den in der Arbeit getätigten Betrachtungen zu Grunde liegen und auch in diesem Kapitel vertieft betrachtet werden. Um die Betrachtung jedoch nicht losgelöst von der übrigen Forschung zu tätigen, werden zunächst verschiedene andere Theorien beschrieben. Danach erfolgt eine Einführung in CPM/PDD.

3.1 Theorien zur Produktentwicklung

Um die thematische Ansiedelung dieser Arbeit zu verdeutlichen, soll zunächst das *Design Research Modelling* nach Duffy und Andreasen [DuAn95] herangezogen werden. Es bildet ein mehrstufiges, konzeptionelles Rahmenwerk zum Abbilden der Realität in einem Computer-Modell (vgl. Abbildung 3.1). Dabei stellt das *Phenomenon model* das Resultat des ersten Schrittes zur Analyse der Realität dar. Es wird weitestgehend aus Beobachtungen und Analysen realer Abläufe generiert und kann zum Beispiel aus mathematischen Formulierungen bestehen. Aus den Kenntnissen, die durch das Phenomenon model gewonnen werden, kann ein *Information model* entwickelt werden. Das Information model soll hierbei alle relevanten Objekt-Typen und deren Relationen rechnerorientiert abbilden, z.B. in Form von Algorithmen oder Variablen. Es kann durchaus auch in Papierform erstellt werden und bildet wiederum die Grundlagen für die Konzeption und Entwicklung des *Computer models*, das die Implementierung des Information models darstellt. Das Computer model dient hauptsächlich dazu, Informationen informationstechnisch zu erfassen. Alle generierten Modelle müssen ihrerseits wieder mit den vorhergehenden Modellen überprüft und validiert werden.

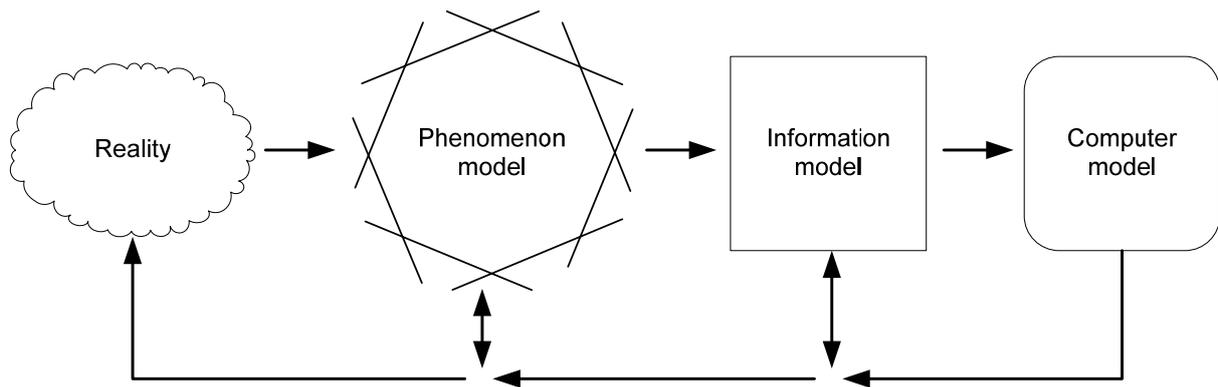


Abbildung 3.1: Design Research Modelling nach [DuAn95]

Beobachtungen und Analysen zur Produktentwicklung sind vielschichtig und umfangreich. Um die im Kontext dieser Arbeit erforderlichen Betrachtungen hierzu auf eine solide Basis zu stellen, sollen zur Erstellung des Phänomen models bestehende Theorien zur Produktentwicklung herangezogen werden. Welche Erfordernisse und Implikationen sich hieraus für die Verwendung Semantischer Netze ergeben, wird in Kapitel 7 beschrieben. Das resultierende Information model wird in Kapitel 8 erläutert und schließlich beschreibt Kapitel 9 das sich im Rahmenwerk nach Duffy und Andreasen anschließende Computer model.

3.1.1 Theorie technischer Systeme

Eine im wissenschaftlichen Bereich oft zitierte Theorie zur Produktentwicklung ist die Theorie technischer Systeme von Hubka und Eder [Hubk84, HuEd96]. Diese definieren ein technisches System als ein Transformationssystem (TrS), das Operanden (Od), die sich in einem bestimmten Ausgangszustand befinden, in einen gewünschten Zielzustand überführt (vgl. Abbildung 3.2). Unter einem Operand verstehen Hubka und Eder dabei sowohl reale als auch virtuelle Objekte, die bei einer Transformation (Tr) umgewandelt werden, also das „was“. Der Begriff Zustand beschreibt die Gesamtheit aller Eigenschaften (Ei)² eines Systems. Die Technologie (Tg) enthält das Wissen, wie transformiert wird. Die Operatoren (wer und was) sind alle Objekte, die einen Effekt auf den Transformationsprozess (TrP) ausüben. Hierbei unterscheiden Hubka und Eder in lebende Objekte (Menschen, Tiere), technische Mittel, Informationssysteme, Management- und Zielsysteme und aktive Umwelt mit Raum und Zeit. Die Operatoren *lebende Objekte* und *technische Mittel* können hierbei zu

² Der Begriff Eigenschaften wird von Hubka und Eder anders verstanden als im Kontext von CPM/PDD (vgl. Abschnitt 3.2). Eigenschaften umfassen in diesem Abschnitt sowohl Eigenschaften als auch Merkmale.

den Ausführungssystemen zusammengefasst werden. Informationssysteme stellen die für die Durchführung des Transformationsprozesses erforderlichen Informationen zur Verfügung. Management und Zielsysteme liefern und koordinieren Zielformulierungen und strategische Anweisungen. Weiterhin ist auch die Umgebung zu beachten, in der der Transformationsprozess stattfindet, da diese sich sowohl positiv als auch negativ auf den Prozess auswirken kann. Zudem müssen für den Transformationsprozess Nebeninputs (NeIn) bzw Nebenoutputs (NeOu) betrachtet werden, die ungewollt mit ein- bzw. ausfließen.

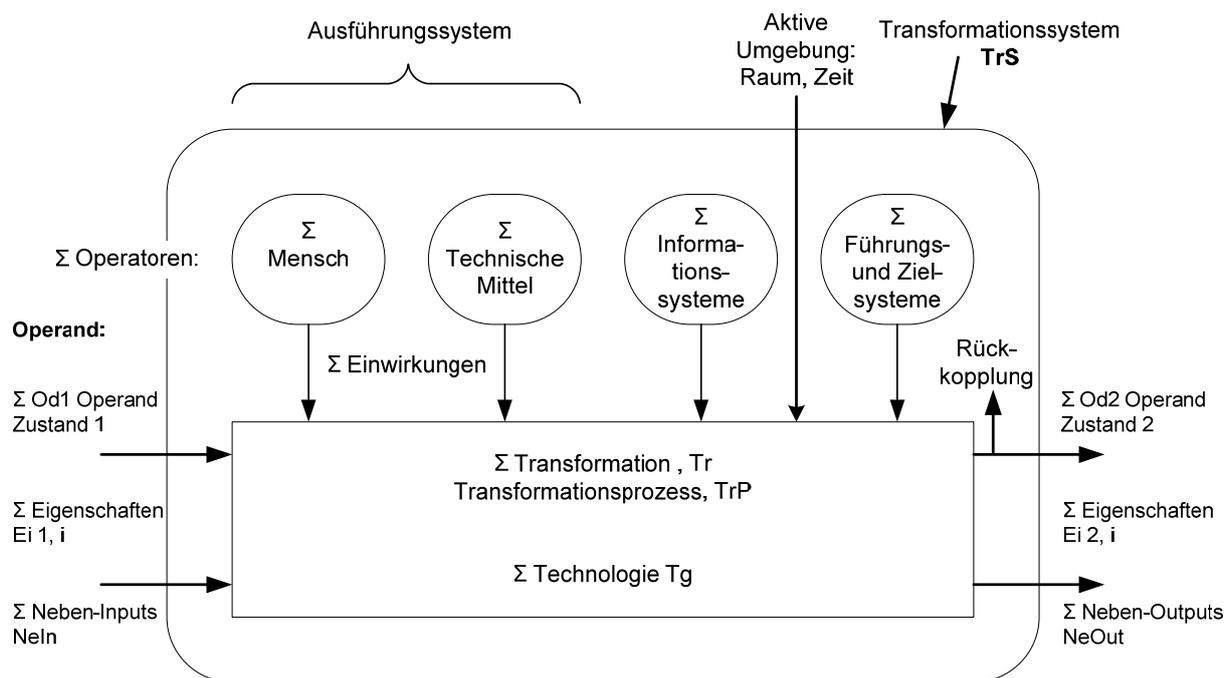


Abbildung 3.2: Allgemeines Modell eines Transformationssystems nach [HuEd06]

Die einzelnen Operatoren sind nach [HuEd96] dabei gegeneinander austauschbar und lassen sich gegenseitig substituieren. Diese Operatoren stellen die Klaviatur dar, auf der der Produktentwickler in einem Konstruktionsprozess spielen kann, um einen Operanden von einem Anfangszustand in einen Zielzustand unter Minimierung der Nebeninputs zu überführen.

Ein Beispiel für einen Transformationsprozess gibt Steinbach in [Ste06] anhand eines Rohteils (Operand im Ausgangszustand), das in einem Schmiedeprozess zu einer Kurbelwelle (Operand im Zielzustand) umgewandelt wird. Der Maschinenbediener und die Schmiedepresse sind die Ausführungssysteme dieses Transformationsprozesses. Unerwünschter Nebenoutput sind in diesem Beispiel u.a. Lärm und Vibrationen.

Ein Hauptunterschied dieser Theorie zu den Vorgehensmodellen deutscher Autoren (vgl. Abschnitt 3.1.4) ist hierbei, dass in der Theorie technischer Systeme von Hubka und Eder die Gesamtzusammenhänge, in denen ein technisches System steht, aufgezeigt werden [Ste06].

3.1.2 Domain Theory

Die Domain Theory nach Andreasen bzw. Hansen und Andreasen [Andr80, HaAn02] basiert auf der Annahme, dass Produkte aus drei verschiedenen Blickwinkeln (Domänen) betrachtet werden können (vgl. Abbildung 3.3):

- Transformationsdomäne
- Organdomäne
- Einzelteildomäne.

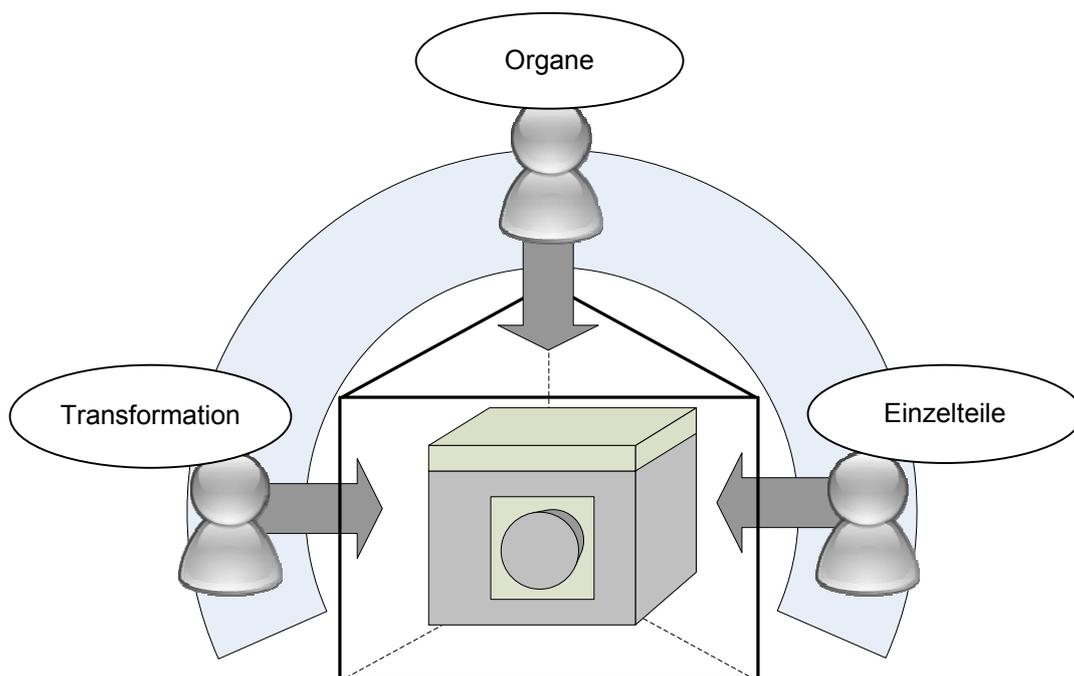


Abbildung 3.3: Sichtweise technischer Systeme in der Domain Theory nach [HaAn02]

Die Transformationsdomäne ähnelt der im vorherigen Abschnitt erläuterten Theorie technischer Systeme. Sie fokussiert auf der zweckorientierten Transformation von Operanden wie Material, Energie oder Daten, die aufgrund des Einwirkens von Operatoren erfolgt. Diese Transformation kann in verschiedene Operationen unterteilt werden, deren Ablauf von dem zuvor bereits erwähnten Autor Hubka als horizontale Kausalkette bezeichnet wird [Hubk84].

Die Organdomäne richtet den Fokus auf die die gewünschten Effekte realisierenden Elemente des technischen Systems. Organe sind alle aktiven Elemente, die diese Effekte ausüben. Effekte können dabei sowohl direkt als auch indirekt über eine Kette von Organen geschehen. Hubka spricht in diesem Zusammenhang von einer vertikalen Kausalkette [Hubka84].

In der Einzelteildomäne werden die Einzelteile und deren Einbaurelationen betrachtet, die die Organe realisieren. Um ein Organ zu realisieren, werden zumeist mehrere Einzelteile benötigt.

Abbildung 3.4 zeigt die Zusammenhänge der drei Domänen nach Andreasen [Andr80].

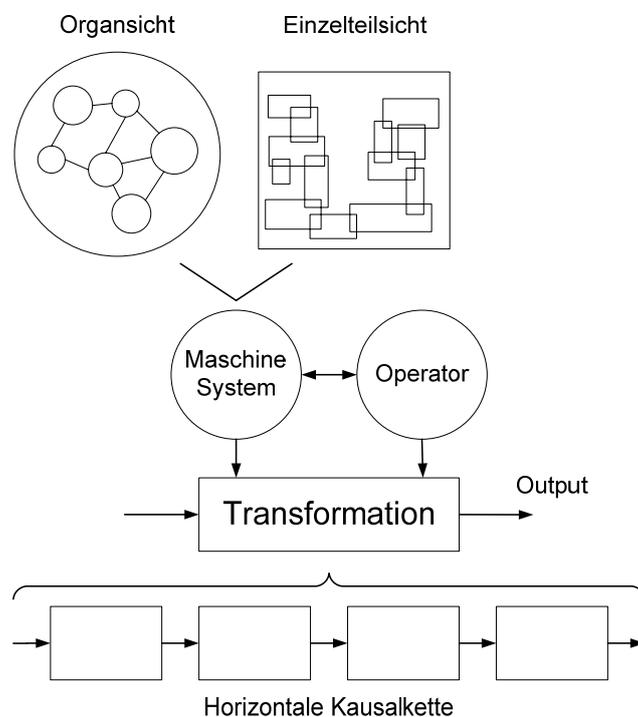


Abbildung 3.4: Zusammenhänge der Sichten nach [Andr80]

In jedem der drei Blickwinkel können in der Domain Theory unterschiedliche Ausdetaillierungslevel angenommen werden. Dies kann durch die schematische Darstellung in Abbildung 3.5 visualisiert werden. Die einzelnen Domänen sind dabei als 2-dimensionale Flächen dargestellt. Die Dimension *undetailliert-detailliert* gibt an, wie hoch die Anzahl identifizierter Merkmale ist. Die Dimension *abstrakt-konkret* gibt die Anzahl der Merkmale an, denen ein Wert zugeordnet ist.

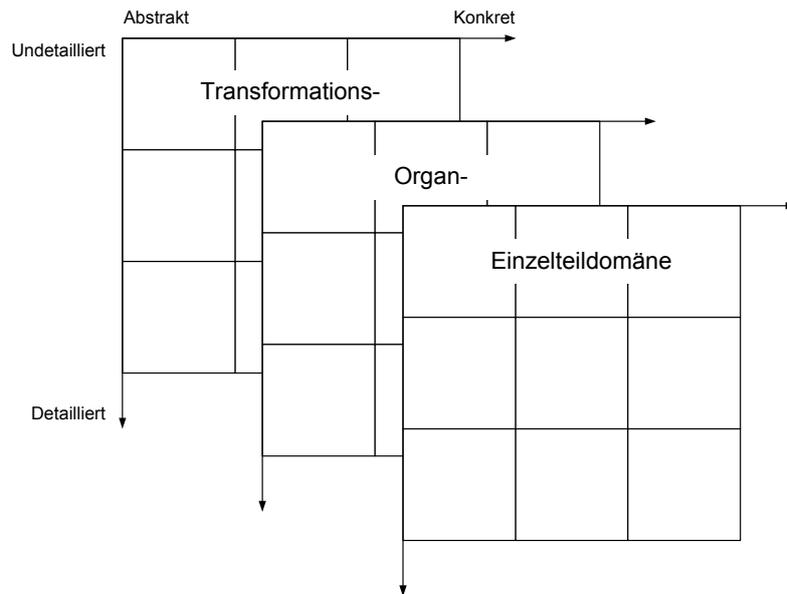


Abbildung 3.5: Grafische Darstellung der Domänen nach [Andr80]

Abbildung 3.6 gibt ein Beispiel für die Organdomäne der Domain Theory anhand eines Scharniers. Modell 1) ist hier sehr abstrakt und undetailliert. In Modell 2) wurde das Abstraktionslevel gehalten und der Detaillierungsgrad erhöht. Modell 3) ist sehr detailliert und konkret. Der Verlauf innerhalb der Organdomäne ist schließlich in der Abbildung unten rechts grafisch dargestellt.

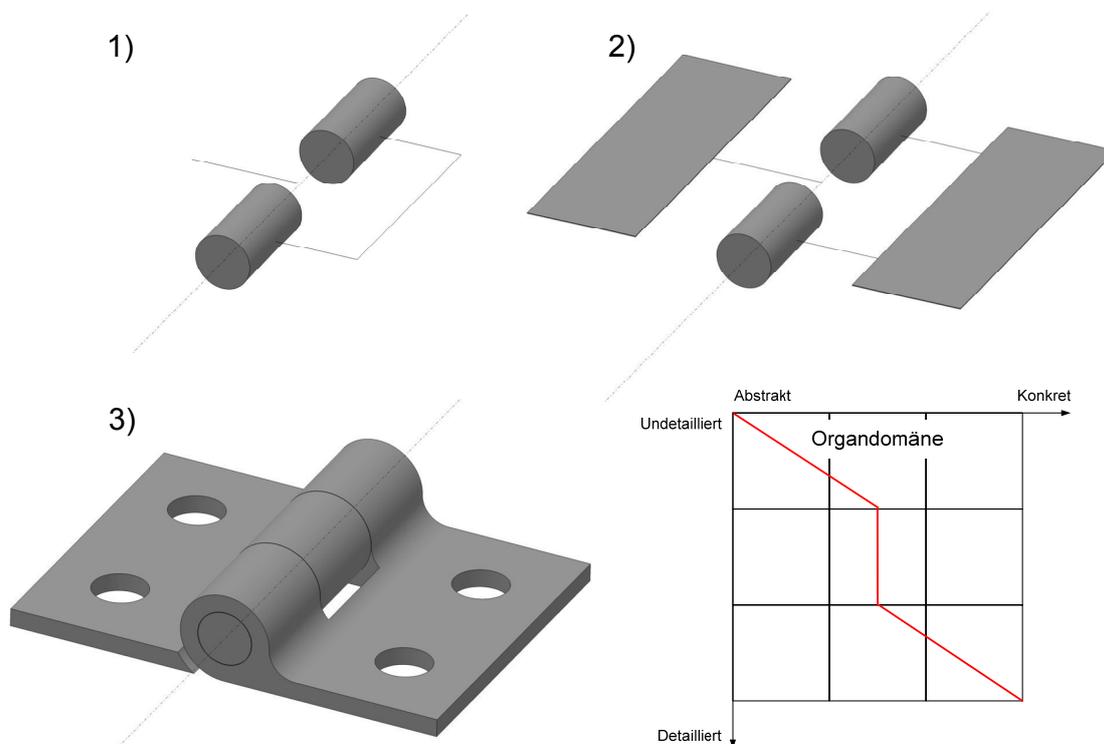


Abbildung 3.6: Drei Modelle eines Scharniers in der Organdomäne nach [Andr80]

3.1.3 C-K Theorie

Die C-K Theorie von Hatchuel und Weil [HaWe03, HaWM07, KaHW08] beschreibt den Konstruktionsprozess, sie zielt jedoch nicht darauf ab, nur eine formale Beschreibung darzustellen. Hatchuel und Weil haben mit der C-K Theorie zwei Absichten: Sie wollen sowohl eine klare Definition von „Konstruieren“ schaffen als auch kreatives Denken und Innovation als zentrale Aktivitäten darstellen. Der Konstruktionsprozess wird hierbei durch die Interaktion zweier unabhängiger Räume abgebildet. Der Knowledge Space (K) korrespondiert mit dem verfügbaren Wissen, also Aussagen, die für den Konstrukteur einen logischen Status (wahr oder falsch) besitzen. Der Concept Space (C) beinhaltet alle Aussagen, die keinen logischen Status in K haben.

Von diesen Annahmen ausgehend, definieren Hatchuel und Weil Konstruieren wie folgt:

Angenommen, es existiert ein Raum mit Konzepten C und ein Raum mit Wissen K. Dann ist Konstruieren der Prozess, bei dem Konzepte C andere Konzepte C' generieren oder zu Wissen machen, das heißt in K überführen.

Diese Aussage ist aufgrund von mengentheoretischen Folgerungen, wie Hatchuel und Weil in [HaWe03] zeigen, ein nicht entscheidbares Problem.

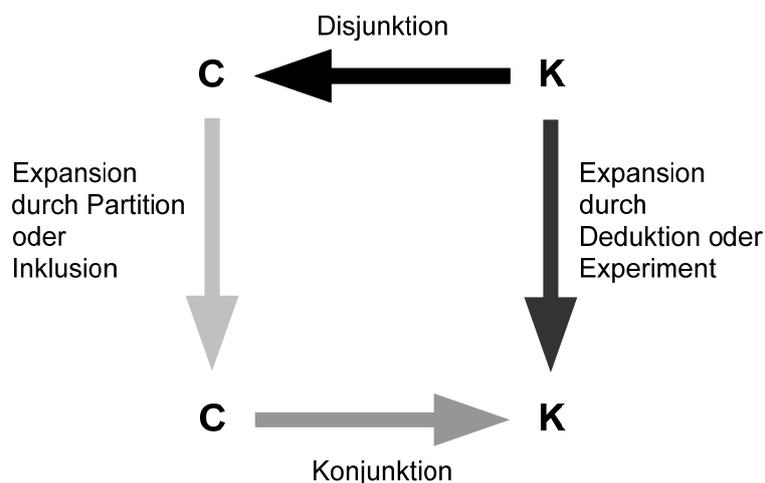


Abbildung 3.7: Design Square nach [HaWe03]

Hatchuel und Weil unterscheiden für den Konstruktionsprozess vier Operatoren:

- $K \rightarrow C$: *Disjunktion*; Annahmen aus K werden zu Konzepten C durch die Hinzunahme oder das Weglassen von Eigenschaften von K

- $C \rightarrow K$: *Konjunktion*; Konzepte C, die mit einer erforderlichen Anzahl an Annahmen K versehen einen logischen Status erlangen, werden so zu Element von K, dies sind gewöhnlich die Ergebnisse eines Konstruktionsprozesses
- $C \rightarrow C$: *Expansion von C*; diese erfolgt durch die mengentheoretischen Operationen Partitionen oder Inklusionen
- $K \rightarrow K$: *Expansion von K*; diese erfolgt durch Deduktion oder Experimente

Die Anwendung der Operatoren wird im Design Square kombiniert (vgl. Abbildung 3.7). Diese Abbildung erläutert den Konstruktionsprozess nach der C-K Theorie.

Anhand dieser Operatoren geben Hatchuel und Weil eine zweite Definition für Konstruieren:

Konstruieren ist der Prozess, bei dem $K \rightarrow C$ Disjunktionen erzeugt werden und dann über Partitionen oder Inklusionen zu $C \rightarrow K$ Operationen erweitert werden.

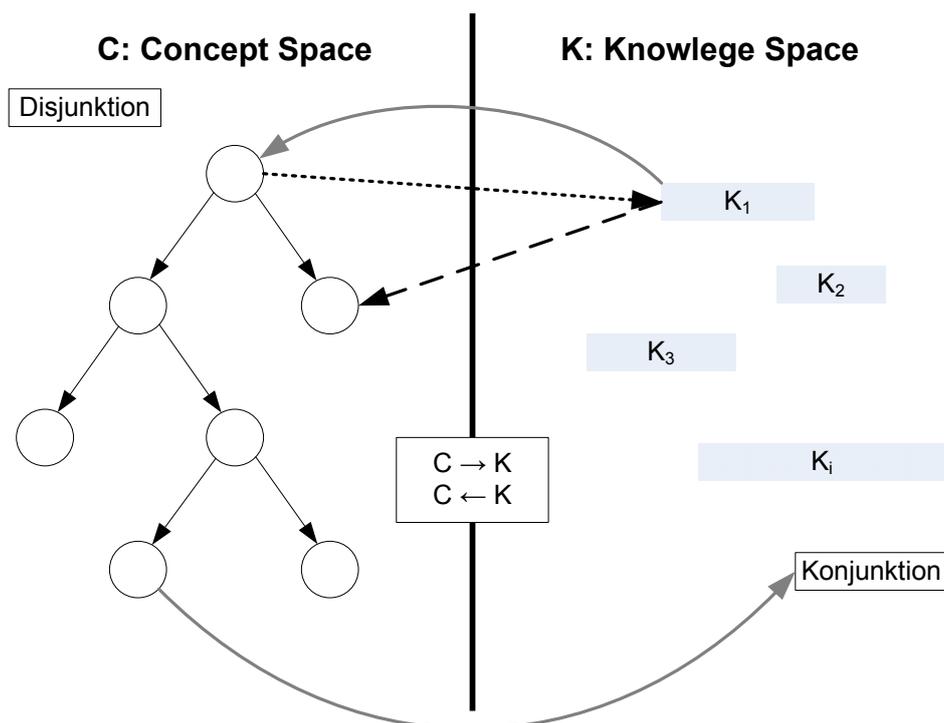


Abbildung 3.8: C-K Prozesse nach [HaWe03]

Bei dieser Betrachtungsweise haben Hatchuel und Weil mehrere Beobachtungen machen können, die in Abbildung 3.8 grafisch dargestellt sind. Zum einen ist die Struktur im Concept Space C zumeist hierarchisch, was sich baumartig visualisieren lässt. Die Strukturen im Knowledge Space K sind hingegen eher inselartig und wesentlich komplizierter. Zudem

startet der Konstruktionsprozess mit einer Disjunktion, verwendet zwischenzeitlich beliebige Operatoren und endet mit einer Konjunktion.

3.1.4 VDI 2221

Die VDI 2221 [VDI2221] bezieht sich auf den Produktlebenszyklus nach VDI 2243 [VDI2243] (vgl. Abbildung 3.9). Hierbei bietet sie ein methodisches, generelles Vorgehen speziell für die Phase Entwicklung/Konstruktion.

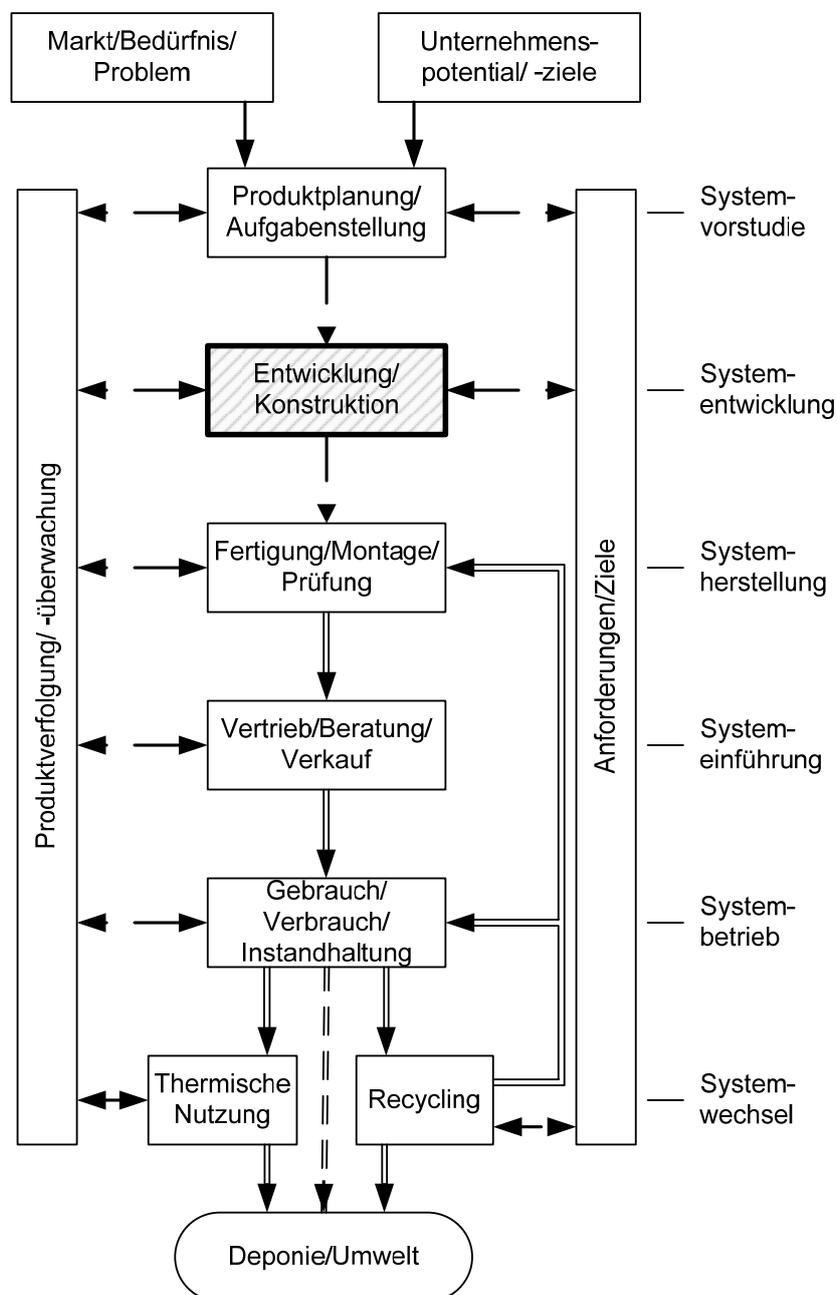


Abbildung 3.9: Produktlebenszyklus nach [VDI2243]

Sie gliedert die Produktentwicklung in sieben Arbeitsschritte (vgl. Abbildung 3.10). Jeder Abschnitt wird dabei vollständig, teilweise oder auch mehrmals iterativ durchlaufen. Jeder der sieben Schritte hat ein entsprechendes Arbeitsergebnis. Die VDI 2222 [VDI2222] und die VDI 2223 [VDI2223] vertiefen die einzelnen Teile der Richtlinie weiter. Hierbei beschäftigt sich die VDI 2222 tiefergehend mit den Schritten 1 bis 3 der VDI 2221. Die VDI 2223 vertieft die Schritte 4 bis 6.

Die Arbeitsschritte werden in der Praxis sehr oft zu Phasen zusammengefasst, deren Terminologie je nach Branche oder Unternehmen voneinander abweicht. In Abbildung 3.10 sind typische Phasen und Phasenbezeichnungen aufgeführt. Diese weiter gefassten Bezeichnungen sollen im Folgenden auch mit Hinblick auf andere Autoren näher erläutert werden.

In der ersten Phase sind die Anforderungen des Kunden an das zu entwickelnde Produkt zu klären und zu präzisieren. Der Begriff Kunden umfasst hierbei nicht nur die zukünftigen Anwender des fertigen Produktes, sondern auch alle im Produktlebenszyklus auftretenden Bereiche wie Fertigung, Montage, Vertrieb, Kundendienst etc. Deshalb stellt Klambunde [Klab03] ergänzend fest, dass es das Ziel dieser Phase sei, die Anforderungsträger und -arten systematisch zu ermitteln, zu bewerten und den erforderlichen Liefer- und Leistungsumfang des Produktes in einer Anforderungsliste zusammenzufassen.

Zur Erstellung der Anforderungsliste können die spezifischen Anforderungen nach ihrer relevanten Bedeutung für den Kunden gewichtet und mit dem Stärken/Schwächen-Profil bereits am Markt befindlicher Produkte verglichen werden. Eine Methode zur Erstellung von Stärken/Schwächen-Profilen stellt hierbei das Quality-Function-Deployment (QFD) dar [HeTB03]. In der Praxis wird die Anforderungsliste nach einer gewissen Entwicklungszeit i.d.R. eingefroren³, um die Entwicklungsdauer nicht durch laufende Änderungen unbestimmbar zu machen.

³ Einen anderen Ansatz verfolgt das agile Projektmanagement.

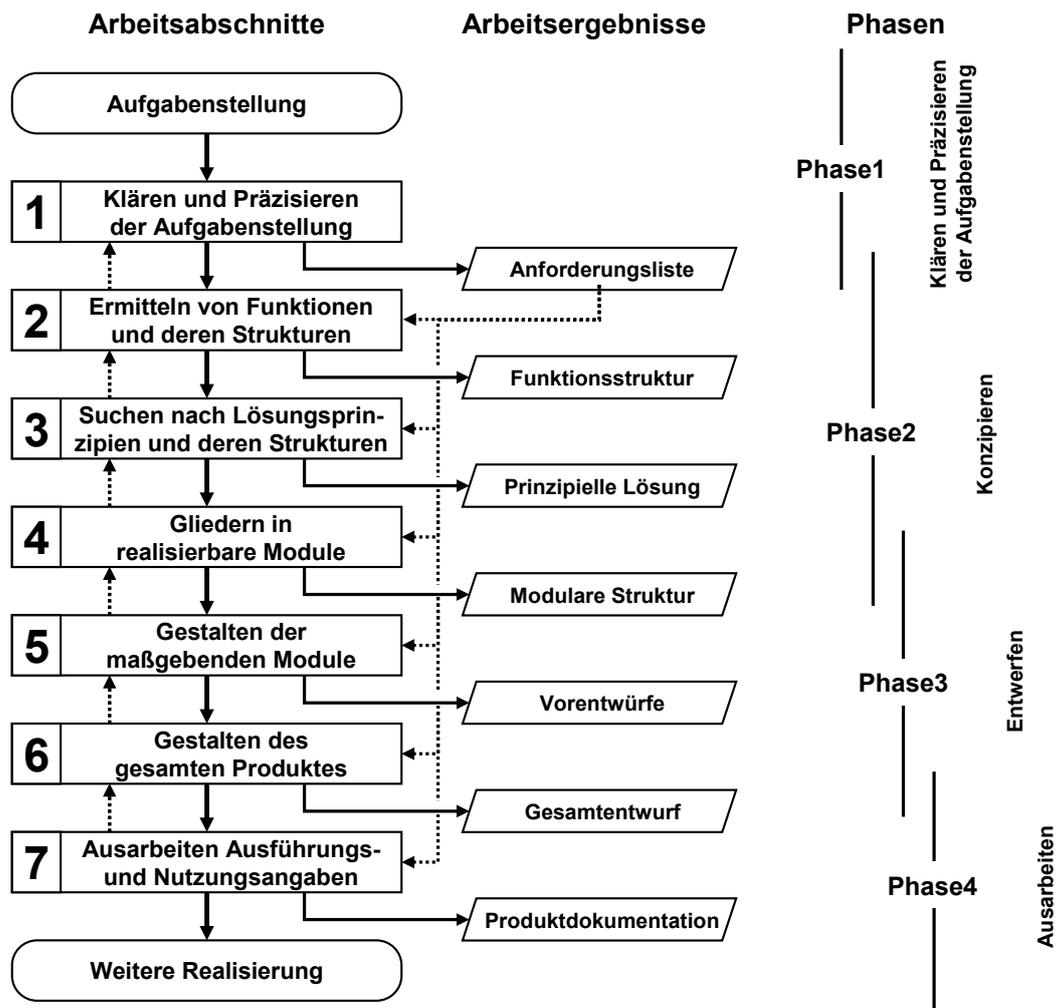


Abbildung 3.10: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach [VDI2221]

Die zweite Phase der Konzeptplanung lässt sich nach [VDI2221], [BeGr97] bzw. [UIEp03] in vier Teile untergliedern, die Funktionsfindung, die Prinzipienverarbeitung, die Konzeptauswahl und die Konzeptumsetzung. Ziel der Funktionsfindung ist es, durch Abstraktion der Anforderungen das Kernproblem des Entwicklungsvorhabens zu extrahieren, um so die Hauptanforderungen an eine funktionstüchtige Lösung zu erfassen [BeGr97]. Danach wird die Gesamtfunktion des Produktes identifiziert, in Teilfunktionen aufgegliedert und schließlich zu einer Funktionsstruktur verknüpft. Hilfreich ist hierbei die Verwendung von Klassifikationsschemata für technische Systeme und grafischen Funktionsmodellen wie z.B. Funktionsbäume oder -pfade. In der Prinzipienverarbeitung werden Lösungsprinzipien gesucht, die eine oder mehrere Teilfunktionen unterstützen [VDI2221]. Diese Suche kann nach Ulrich und Eppinger [UIEp03] in einer externen und internen Suche erfolgen. Zu einer internen Suche gehört die Anwendung von Kreativitätstechniken in Gruppen, die Befragung von internen Experten, die Analyse bereits entwickelter Produkte etc., d.h. das bereits im

Unternehmen vorhandene Potential wird eingesetzt, um neue Lösungen zu finden bzw. zu entwickeln [UIEp03]. Bei einer externen Suche hingegen fokussiert man das Auffinden bereits existierender Lösungen [UIEp03]. Dazu zählt z.B. die Patentrecherche, die Literaturrecherche oder die Befragung sog. Lead-Users. Im Rahmen einer externen Suche im klassischen Maschinenbau stehen Prinzipienkataloge bereit, in denen beispielsweise Lösungsprinzipien physikalische Effekte zugeordnet werden (vgl. [PaBe97]). In der Konzeptauswahl ist die Bewertung der zuvor ermittelten Konzeptvarianten zentraler Betrachtungsgegenstand. Hierbei wird der Erfüllungsgrad der Anforderungen durch die einzelnen Konzeptvarianten gemessen. Die Konzeptumsetzung gliedert die ausgewählte Konzeptvariante in realisierbare Module. Diese Aufteilung kann bei komplexen Produkten z.B. nach den jeweiligen Konstruktionsaufgaben, nach Montagegesichtspunkten oder ähnlichem erfolgen. Damit ist auch eine Entscheidung über die Fremdvergabe von Entwicklungs- und Fertigungsaufträgen verbunden. Schließlich wird das in der Konzeptvariante definierte Produkt ausgearbeitet und auf Schwachstellen geprüft. Treten Defizite auf, werden diese nicht nur in der Konzeptvariante beseitigt, sondern es erfolgt auch eine Rückkopplung in die Phase der Aufgabenklärung, in der dann das Produktprofil angepasst wird.

Die Phase des Entwerfens stellt den Teil der Produktentwicklung dar, „der für ein technisches Gebilde von der Wirkstruktur bzw. der prinzipiellen Lösung ausgehend die Baustruktur nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eindeutig und vollständig erarbeitet“ [PaBe97]. Das Ergebnis sind maßstäbliche Entwürfe und vollständige Stücklisten. Ziel ist es, das Produkt in eine konkrete Gestalt zu überführen, welche den spezifizierten technischen und wirtschaftlichen Anforderungen gerecht wird.

Ausarbeiten wird von Pahl und Beitz als der Teil des Konstruierens definiert, „der die Baustruktur eines technischen Gebildes durch endgültige Vorschriften für Form, Bemessung, Oberflächenbeschaffenheit aller Einzelteile, Festlegung aller Werkstoffe, Überprüfung der Herstellmöglichkeit sowie der endgültigen Kosten ergänzt und die verbindlichen zeichnerischen und sonstigen Unterlagen für seine stoffliche Verwirklichung schafft“ [PaBe97]. Arbeitsergebnis ist demnach die Produktdokumentation mit Nutzungsangaben, z.B. in Form von Einzelteil-, Gruppen- und Gesamtzeichnungen, Stücklisten, Fertigungs-, Montage-, Prüf- und Transportvorschriften, Betriebsanleitungen und Handbüchern.

Insgesamt gesehen kommt der Produktentwicklung und somit den genannten Phasen eine zentrale Bedeutung im gesamten Produktentstehungs-, -nutzungs- und -recyclingsprozess zu [VDI2221]. Hier müssen die Ergebnisse und Erfahrungen der vor- und nachgelagerten Phasen für die laufende oder für die spätere Produktentwicklung umgesetzt werden [VDI2221].

Zum Ablauf eines Konstruktionsprozesses finden sich in der Literatur insbesondere im deutschsprachigen Raum zahlreiche andere Autoren. Diese sollen hier im Zusammenhang mit der VDI 2221 nicht unerwähnt bleiben. Roth stellt in [Roth00] fünf bekannte Ablaufschemata gegenüber, die aus [Roth68], [RoFr71], [Roth00], Pahl/Beitz [PaBe97] der zuvor besprochenen VDI 2221, Koller [Koll73], [Koll98] und Rodenacker [Rode84] entnommen wurden (siehe Abbildung 3.11):

Ablaufplan nach					
Konstr.-Phasen (Roth)	Roth	Pahl/Beitz	VDI - 2221	Koller	Rodenacker
Aufgabenformulierung	Aufgabe Formulieren Klären d. Aufgabenstellung Hauptaufgabe Anweisung, Anforderungsliste	Aufgabe Klären der Aufgabe Klären der Aufgabenstellung Anforderungsliste	Aufgabe Formulieren der Aufgabe 1 Klären und präzisieren der Aufgabenstellung	Produktplanung Marktanalyse Erarbeiten der Aufgabenstellung	Aufgabe Geforderter Wirkzusammenhang
Funktionelle	Funktion entwickeln Funktion ermitteln, Allgemeine, logische Funktionsstruktur	Konzipieren Entwickeln der prinzipiellen Lösung Funktionen Wirkprinzipien Wirkstrukturen Prinzipielle Lösungen Varianten Technisch-wirtschaftliches Bewerten	Prinzip finden 2 Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen 3.1 Suche nach Lösungsprinzipien Effektebene	Funktionssynthese Zweck- o. Hauptfunktionen, Gliedern der Teil- und Grundfunktionsstrukturen, Technisch-wirtschaftliches Bewerten	Funktion Logischer Wirkzusammenhang Physikalisches Geschehen Physikalischer Wirkzusammenhang
Wirkprinzip	Prinzipielle Prinziplösung entwickeln Funktion mit Effekten, Prinziplösungen entwickeln; Spezielle Funktion				
	Wirkstruktur Effektträger zur Prinzipskizze entwickeln Techn.-wirtschaftl. Bewert.		3.2 Suche nach Lösungsprinzipien Gestaltebene	Qualitative Synthese	Wirkort Kinematischer Wirkzusammenhang Konstruktiver Wirkzusammenhang Fertigungstechnischer Wirkzusammenhang
Geometrisch- Stoffliche Gestaltende	Gestalten Struktur und Formgestalten Strukturgestalt – Skizze Konturen und Querschnitte entwerfen Werkstoffe, Festigkeit, Montierbarkeit, Benennung Funktionsintegration Gesamtentwicklung Techn.-wirtschaftl. Bewert.	Entwerfen Baustuktur entwickeln Grobgestalten: Form, Werkstoff, Berechnen Feingestalten Techn.-wirtschaftl. Bewerten Baustuktur endgültig gestalten Schwachstellen, Störgrößen Kostendeckung. Stücklisten, Fertigungsanweisungen	Gestalten 4 Gliedern in realisierbare Module 5 Gestalten der maßgebenden Module 6 Gestalten des gesamten Produkts 7 Festlegen der Ausführungs- und Nutzungsangaben	Zuordnen und variieren von Effekten, Effektträger variieren, Prinzip darstellen, Auswählen der Lösungen für Gesamtkonzept, Gestalten, Entwerfen Quantitative Synthese Berechnen, Bemessen, Experimentelle Untersuchungen, Erprobung, Verbesserung, Detaillieren, Arbeitspläne erstellen Fertigungs-, Montageunterlagen	
	Herstellungstechnische	Fertigungsgestalten Schwachstellenanalyse Fertigungs- montage - transport-, recycling-gerecht usw. gestalten Endgültiger Entwurf, Detaillieren, Tolerieren Herstellungsunterlagen, Montage-, Betriebs- Prüfvorschriften	Ausarbeiten Ausführungs- und Nutzungsunterlagen, Fertigungsunterlagen Montage-, Transport-, Betriebs-, Prüfvorschriften		
Produktdokumente					

Abbildung 3.11: Gegenüberstellung verschiedener Konstruktionsablaufpläne nach [Roth00]

Roth zeigt in [Roth00], dass sich die verglichenen Ablaufpläne grundsätzlich ineinander überführen lassen, auch wenn die Terminologien und Granularitäten der einzelnen Schritte

differieren. Deshalb wird in dieser Arbeit nur der Ablaufplan nach VDI 2221 als Vertreter der „deutschen, bzw. europäischen Schule“ detailliert beschrieben. Auf andere wichtige Methodiken dieser Schule verweist Abbildung 3.11.

3.2 CPM – Characteristics-Properties Modelling und PDD – Property-Driven Development

Dieser Abschnitt beschreibt die Characteristics-Properties Modelling (CPM) und Property-Driven Development (PDD) Ansätze zur Modellierung von Produkten und Prozessen. CPM und PDD wurden am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes maßgeblich von Prof. Dr.-Ing. C. Weber entwickelt. Die bisherigen Veröffentlichungen zu CPM/PDD [WeWe00], [WeWe01], [WeWD03], [WeDe03], [WSBD04], [Webe05], [DeSW05], [Webe07] und [Webe08] dienen als Quellen und Grundlagen für diesen Abschnitt, das als Einführung und Basis für die weiteren Betrachtungen dieser Arbeit dienen soll.

Characteristics-Properties Modelling (CPM) beschreibt das Produktmodell und Property-Driven Development (PDD) modelliert das Vorgehen und den Prozess der Produktentwicklung auf Basis des CPM. Der Grundgedanke des CPM/PDD-Ansatzes ist die klare Unterscheidung zwischen Merkmalen (engl. Characteristics) und Eigenschaften (engl. Properties) eines Produktes als Grundlage der Betrachtung zu verwenden.

Merkmale und Eigenschaften

Merkmale und Eigenschaften sind im CPM/PDD Modell wie folgt definiert:

- **Merkmale** (C_i) beschreiben die Struktur, Gestalt und Beschaffenheit eines Produktes. Sie können vom Entwickler direkt beeinflusst werden. Diese Auffassung von Merkmalen entspricht weitgehend den „internal properties“ von Hubka und Eder [Hubk84, HuEd96], sowie den „design parameters“ nach Suh [Suh90]. Beispiele für Merkmale sind die Geometrie, Materialien, Dimensionen, Oberflächen etc.
- **Eigenschaften** (P_j) beschreiben das Verhalten eines Produktes. Sie können nicht direkt vom Entwickler beeinflusst werden. Diese entsprechen bei Hubka und Eder [Hubk84, HuEd96] den „external properties“, bei Suh [Suh90] den „functional requirements“.

Beispiele für Eigenschaften sind die z.B. Gewicht, Sicherheit, Ästhetik, Fertigungs-, Montage-, Prüfgerechtheit, Umwelteigenschaften oder Kosten.

Um Merkmale und Eigenschaften handhabbar zu machen, müssen diese weiter untergliedert werden. Eine Möglichkeit ist die Strukturierung nach der Produktstruktur mit den Merkmalen der Einzelteile als „Blätter“. Auch Eigenschaften können zu Eigenschaftsklassen gruppiert werden. Abbildung 3.12 zeigt eine beispielhafte Gliederung von Merkmalen und Eigenschaften. Es gibt hierzu jedoch keine allgemein gültige Strukturierung, da diese von der Branche, Produktklasse und nicht zuletzt dem einzelnen Unternehmen abhängig sind und variieren [Webe08].

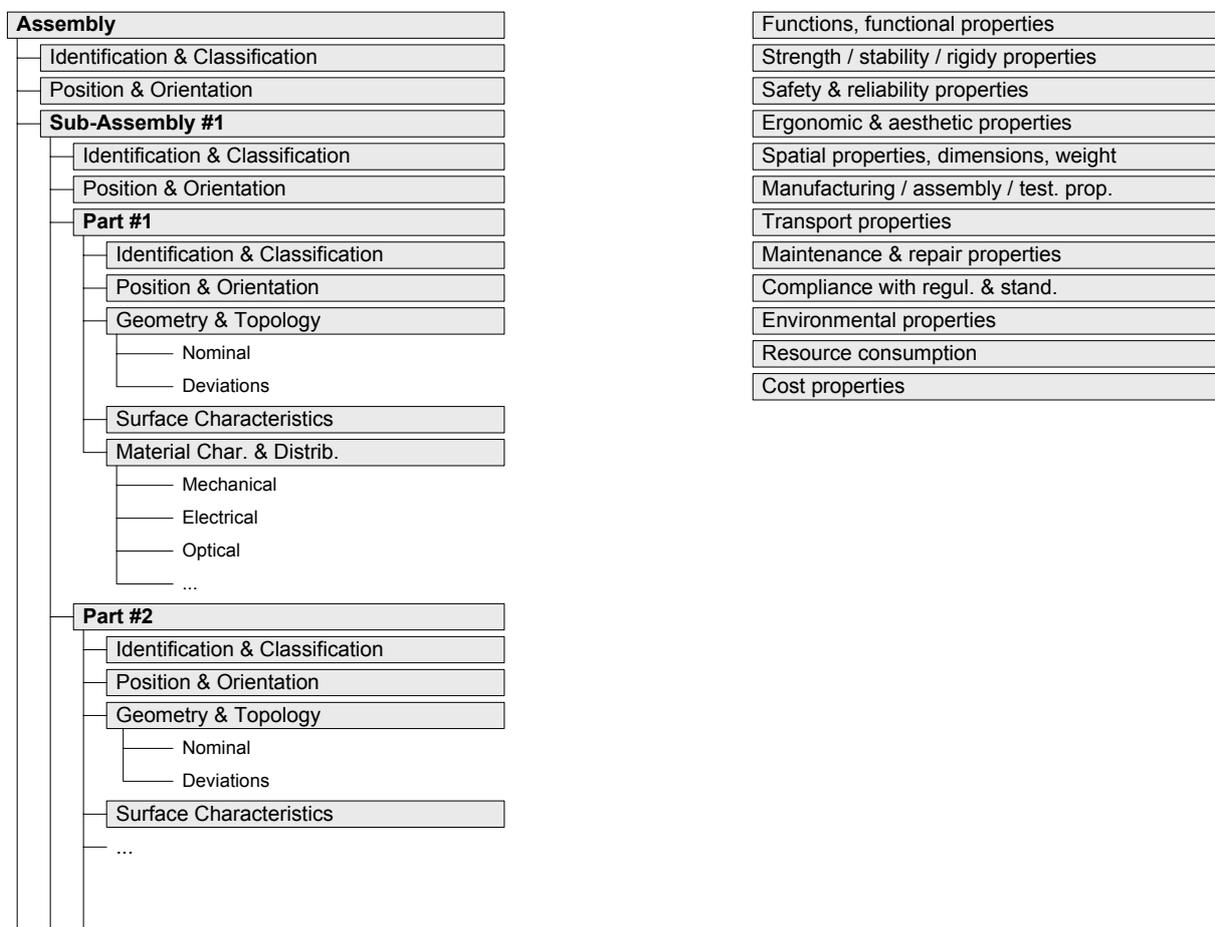


Abbildung 3.12: Beispielhafte Strukturierung von Merkmalen (links) und Eigenschaften (rechts) nach [WeWe00]

Relationen

Bei der Verknüpfung von Merkmalen und Eigenschaften können die zwei Grundoperationen Analyse und Synthese unterschieden werden. Dabei sind diese wie folgt zu verstehen:

- **Analyse:** Bei der Analyse werden auf Grundlage von bekannten/gegebenen Merkmalen eines Produktes dessen Eigenschaften bestimmt oder vorhergesagt, falls dies noch nicht real existiert. Analysen können sowohl an realen Objekten, beispielsweise an Prototypen, als auch an virtuellen Modellen durchgeführt werden.
- **Synthese:** Bei der Synthese werden ausgehend von vorgegebenen/geforderten Eigenschaften eines Produktes dessen Merkmale festgelegt. Die Synthese ist somit der „Kern“ der Produktentwicklung, da bei einem Produkt letztlich nur noch die Eigenschaften interessieren und somit die Merkmale so festgelegt sein müssen, dass sie den Anforderungen genügen.

Diese Operationen stellen den Bezug zwischen Merkmalen und Eigenschaften unmittelbar dar. Folglich können im Produktmodell CPM zwei Typen von Bezügen, den sog. Relationen zwischen Merkmalen und Eigenschaften unterschieden werden:

- Analyserelationen (R)
- Syntheserelationen (R^{-1})

Analyserelationen werden beispielsweise durch abstrahierte mathematische Ersatzmodelle dargestellt. Bei diesen kann die Beziehung von Merkmalen zu Eigenschaften mittels analytischer oder numerischer Rechenverfahren (z.B. Finite-Elemente-Methode für die Eigenschaft „Festigkeit“), Tabellen oder Diagrammen bestimmt werden. Viele Analyserelationen werden jedoch durch einfache Regeln, Erfahrungen oder auch Intuition abgeschätzt.

Syntheserelationen können, allgemein formuliert, alle Arbeitsschritte, Methoden und Werkzeuge sein, die die Bestimmung von Merkmalen aufgrund von vorgegebenen Eigenschaften unterstützen. Die Bandbreite reicht hierbei von algorithmierten Vorgehensweisen über Regelwerke und methodische Anleitungen wie die in Abschnitt 3.1.4 beschriebene VDI 2221, bis zu kaum formalisierbaren „Verfahren“ wie Assoziation und Intuition.

Dependencies

Merkmale können neben dem Bezug zu Eigenschaften über Relationen auch in interner Abhängigkeit untereinander stehen. Diese werden in CPM als Innere Abhängigkeiten oder

Dependencies (D) bezeichnet. Dependencies können z.B. geometrische Abhängigkeiten wie „Außendurchmesser einer Welle ist gleich dem Innendurchmesser eines Lagers“ sein. Es können aber auch Abhängigkeiten bezüglich geometrischer Toleranzen, Oberflächen oder Werkstoffpaarungen abgebildet werden.

External Conditions

Externe Bedingungen, sog. External Conditions (EC) stellen eine zusätzliche Eingangsgröße für Relationen dar. Diese gelten sowohl für Analyse- als auch für Syntheserelationen. Das bedeutet somit, dass sowohl bei der Bestimmung der Merkmale als auch bei der Bestimmung der Eigenschaften gewisse äußere Einflüsse beachtet und eingehalten werden müssen, damit die entsprechenden Relationen gültig sind. Beispiele für Externe Bedingungen sind gesetzliche Regulierungen, einzuhaltende DIN-Vorschriften aber auch Modetrends oder kulturelle Hintergründe.

Das Produktmodell CPM

Die folgende Abbildung 3.13 stellt die zuvor erläuterten Teile eines CPM Modells für die Synthese und für die Analyse grafisch dar:

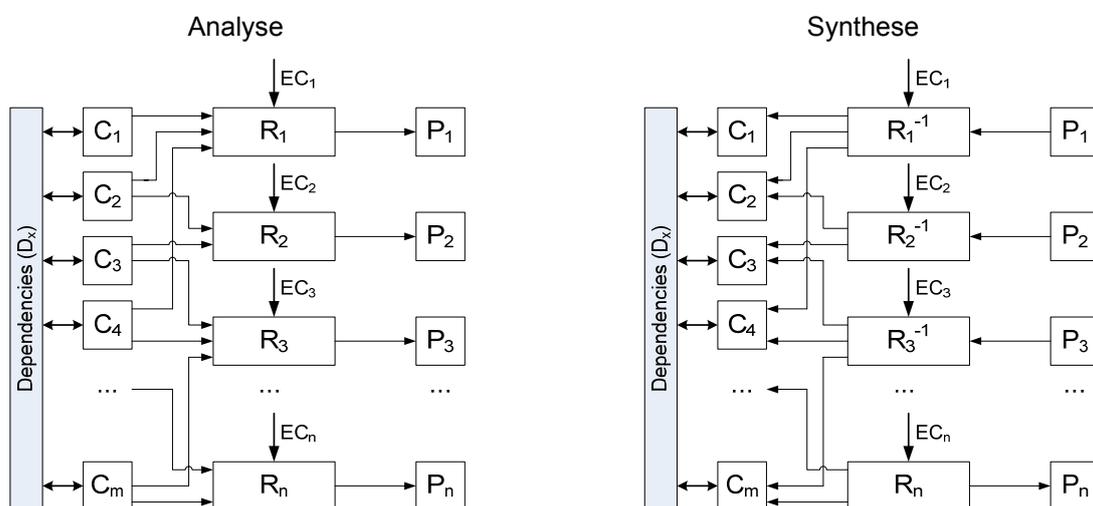


Abbildung 3.13: Analyse und Synthese in CPM nach [WeWe00]

Lösungsmuster

Bei der Erstellung von Produktmodellen hat sich gezeigt, dass (Teil-) Lösungen, z.B. Maschinenelemente, wiederkehrende Muster des Merkmal-Relation-Eigenschaft-Netzwerkes

bilden. Die Merkmale, Relationen und Eigenschaften lassen sich zu Mustern aggregieren. Diese Lösungsmuster werden in CPM als Solution Patterns bezeichnet (vgl. Abbildung 3.14).

Neben den bereits erwähnten Maschinenelementen, also physische Repräsentationen von Bauteilen und Baugruppen, können Solution Patterns auch virtuelle Muster wie Variantenmodule, Features oder Templates darstellen.

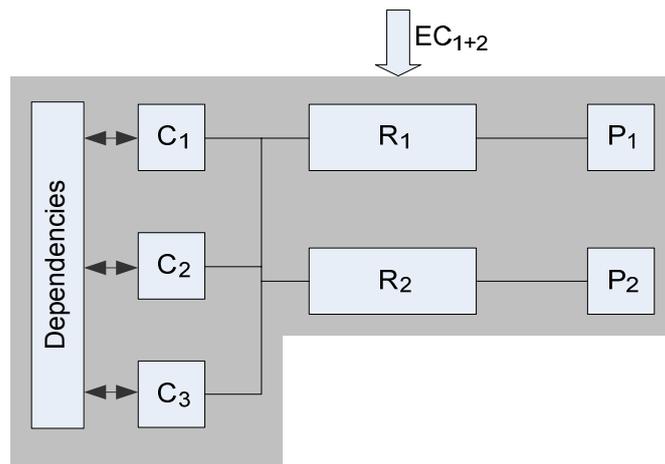


Abbildung 3.14: Darstellung eines Solution Patterns nach [WaCK07]

Der Produktentwicklungsprozess PDD

PDD stellt einen Ansatz zur Modellierung des Produktentwicklungsprozesses auf Basis des Produktmodells CPM dar. Als Ergebnis dieses Prozesses sollen geforderte Eigenschaften PR (Soll-Eigenschaften, engl. Properties required) durch das Verhalten der entwickelten Lösung (Ist-Eigenschaften) so gut wie möglich erfüllt werden. Im Falle einer Neuentwicklung ist dabei zu Beginn (nahezu) nichts über die Merkmale und deren Struktur bekannt. Bei einer Anpassungs- oder Variantenkonstruktion ist hingegen bereits eine Liste von Merkmalen zusammen mit den dazugehörigen Eigenschaften zu Beginn des Prozesses „gesetzt“.

Der Startpunkt für den Produktentwicklungsprozess ist eine Liste mit Soll-Eigenschaften und gegebenenfalls eine Liste von Merkmalen, die von Anfang an gesetzt sind. Der eigentliche Produktentwicklungsprozess nach PDD besteht aus vier Schritten:

Synthese: Auf Grundlage der Soll-Eigenschaften werden zunächst einige Merkmale C_i festgelegt (vgl. Abbildung 3.15).

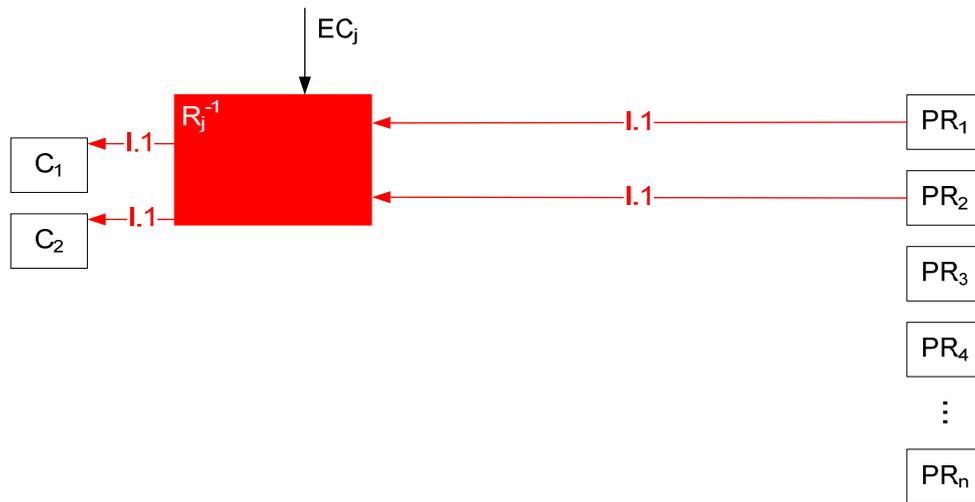


Abbildung 3.15: Schematische Darstellung eines Syntheseschritts nach [Webe05]

Analyse: Basierend auf den (bisher) bestimmten/gegebenen Merkmalen C_i werden die Ist-Eigenschaften des Produktes P_j ermittelt (vgl. Abbildung 3.16).

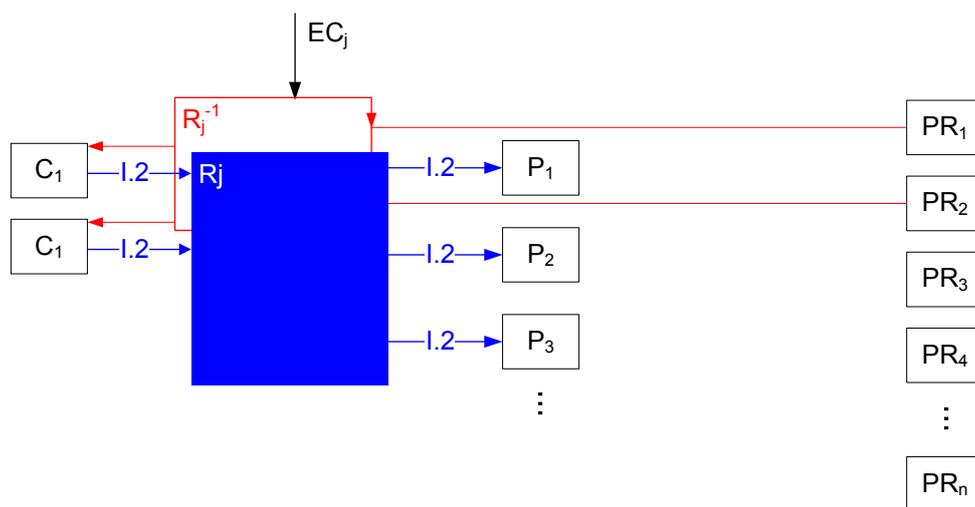


Abbildung 3.16: Schematische Darstellung eines Analyseschritts nach [Webe05]

Einzelbewertungen: Für jede Soll-Eigenschaft PR_j wird der Vergleich zwischen Ist-Eigenschaft P_j und Soll-Eigenschaft PR_j gezogen, also ΔP_j bestimmt (vgl. Abbildung 3.17).

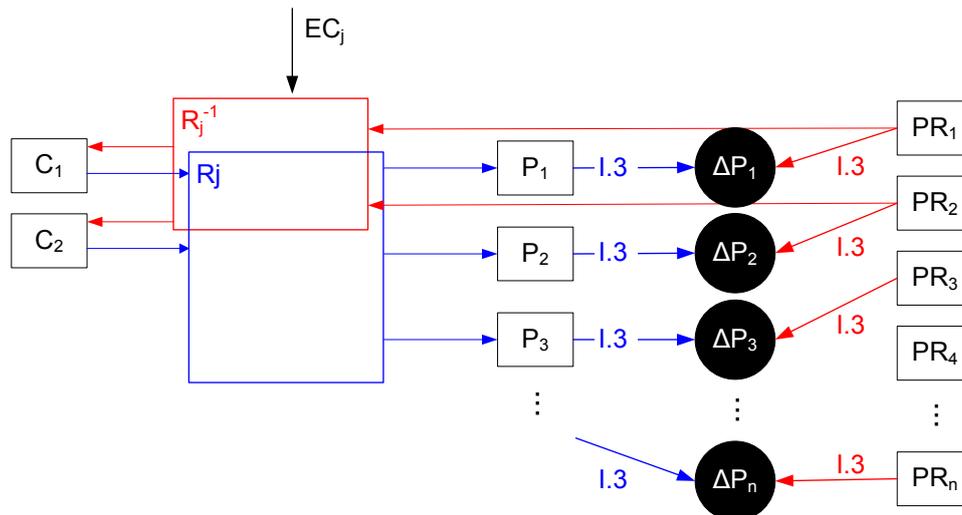


Abbildung 3.17: Schematische Darstellung der Einzelbeurteilung nach [Webe05]

Schlussfolgern: Auf Basis aller Abweichungen ΔP_j wird eine Schlussfolgerung für den nächsten Prozessschritt gezogen. Dieser Schritt ist der eigentliche „Treiber“ des Prozesses (vgl. Abbildung 3.18). Hier wird die Strategie für den nächsten Zyklus festgelegt, d.h. es wird entschieden, ob der Prozess beendet ist (auf die Terminierungsbedingungen wird im Folgenden noch näher eingegangen) oder ob und welche Merkmale ergänzt, geändert oder gelöscht werden.

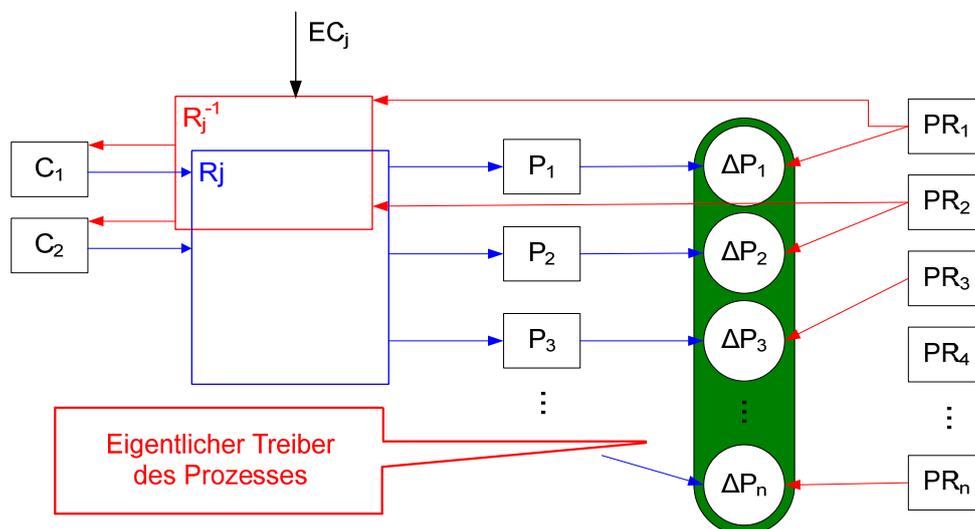


Abbildung 3.18: Schematische Darstellung des Schrittes „Schlussfolgerungen ziehen“ nach [Webe05]

Mit der Definition neuer Merkmale kommen i.d.R. neue Eigenschaften hinzu. Diese können sowohl förderlich als auch störend sein. Es liegt hierbei im Ermessensbereich des Produktentwicklers, ob er diese neuen Eigenschaften betrachtet oder sie vernachlässigt.

Diese vier Schritte werden sooft wiederholt, bis alle relevanten Ist-Eigenschaften den Soll-Eigenschaften hinreichend genügen. „Hinreichend“ bedeutet, dass es bei Konflikten nicht immer möglich ist, alle Soll-Eigenschaften vollständig zu erfüllen. In diesem Fall muss der Produktentwickler entscheiden, ob die Erfüllung hinreichend ist oder nicht.

Zudem müssen zur Terminierung des Prozesses alle Ist-Eigenschaften mit ausreichender Sicherheit und Akkuratheit bestimmbar und vorhersagbar sein. Außerdem müssen alle zur Herstellung und zum Zusammenbau erforderlichen Merkmale bestimmt sein.

4 Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung

Die Produktentwicklung ist sehr informations- und wissensintensiv [HCAM02]. Der Einsatz von Rechnern und Informationstechnologien soll den Umgang mit der hieraus entstehenden Menge an Informationen und Wissen vereinfachen. Dabei soll die Informationstechnologie nicht dazu dienen, den Produktentwicklungsprozess vollständig zu automatisieren, dies kann sie zurzeit nicht bewerkstelligen. Vielmehr soll sie das Erfassen und Verarbeiten von und den Zugriff auf Informationen und Wissen ermöglichen [HCAM02].

Das Erfassen, Verarbeiten von und der Zugriff auf Informationen mittels Informationstechnologien ist jedoch kein Selbstzweck. Die so erworbenen Kenntnisse müssen in der Produktentwicklung wieder zur Analyse, Synthese oder Prozessverbesserung genutzt werden können [Webe03]. „Die grundlegenden Anforderungen an IT-Lösungen im Engineering resultieren aus dem Grundgedanken, den Ingenieur bei seinen kreativen und administrativen/kommunikativen Tätigkeiten zu unterstützen“ [EiSt01]. Diese ergeben sich durch das Zusammenspiel der

- Optimierung der Geschäftsprozesse,
- Optimierung der Arbeitstechniken,
- und der Nutzung von Mitarbeiterpotenzialen [EiSt01] (vergleiche Abbildung 4.1).

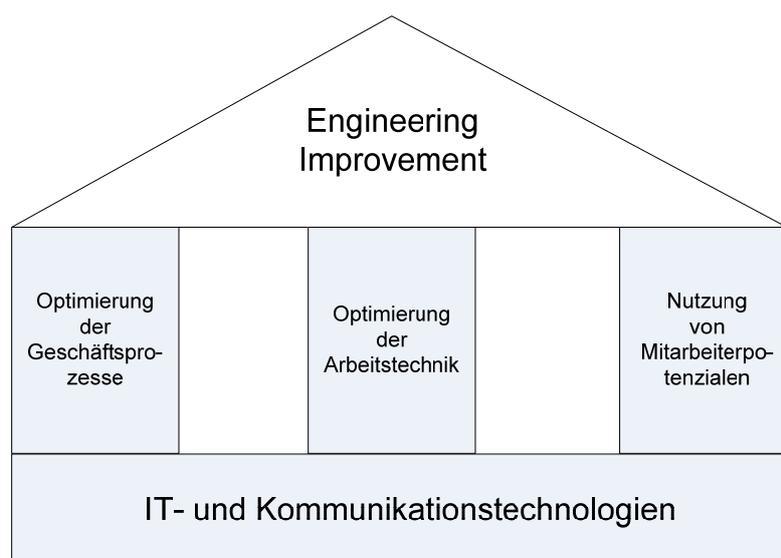


Abbildung 4.1: Ziele der IT- und Kommunikationstechnologien nach [EiSt01]

Durch den Einsatz von Rechnerunterstützung sollen nach Eigner und Stelzer [EiSt01] in der Produktentwicklung folgende Tätigkeiten unterstützt werden:

- Unterstützung des Simultaneous Engineering
- Unterstützung des Datenaustauschs für geometrische und organisatorische Daten
- Senkung der verursachten und geplanten Kosten
- Unterstützung der internationalen Standards zum Qualitätsmanagement und zur Produkthaftung
- Unterstützung der Engineering Collaboration
- Bereitstellung der richtigen Informationen zur richtigen Zeit
- Bereitstellung technischer Informationen
- Anbindung an unternehmerische IT-Systeme (Legacy Systems, z.B. ERP, QM)
- Internetzugriffe, z.B. auf Standards, Kataloge, Zulieferer-, Ersatzteile, Patente/Lizenzen.

Die Nutzung von Informationstechnologien in der Produktentwicklung begann schon sehr früh. In den 40er Jahren wurden bereits die ersten Finite Elemente Berechnungen mit Computern durchgeführt und in den 50er Jahren wurde mit ersten Computer Aided Design (CAD) Systemen experimentiert [VWBZ09]. Derzeit besteht ein breites Portfolio an Informationstechnologien, die teilweise spezialisiert, teilweise phasenübergreifend den Produktentwicklungsprozess unterstützen sollen. Abbildung 4.2 nach Weber [Webe06] zeigt eine Auswahl von verschiedenen Gruppen von Informationstechnologien und deren mögliche Verwendung in den Produktlebensphasen. Auf einige der gezeigten Softwaresysteme dieser Übersicht wird im Folgenden näher eingegangen, um die bestehende informationstechnische Infrastruktur der Produktentwicklung verstehen zu können. Eine detaillierte Diskussion der hier eingeführten Softwarelösungen erfolgt in Kapitel 5.

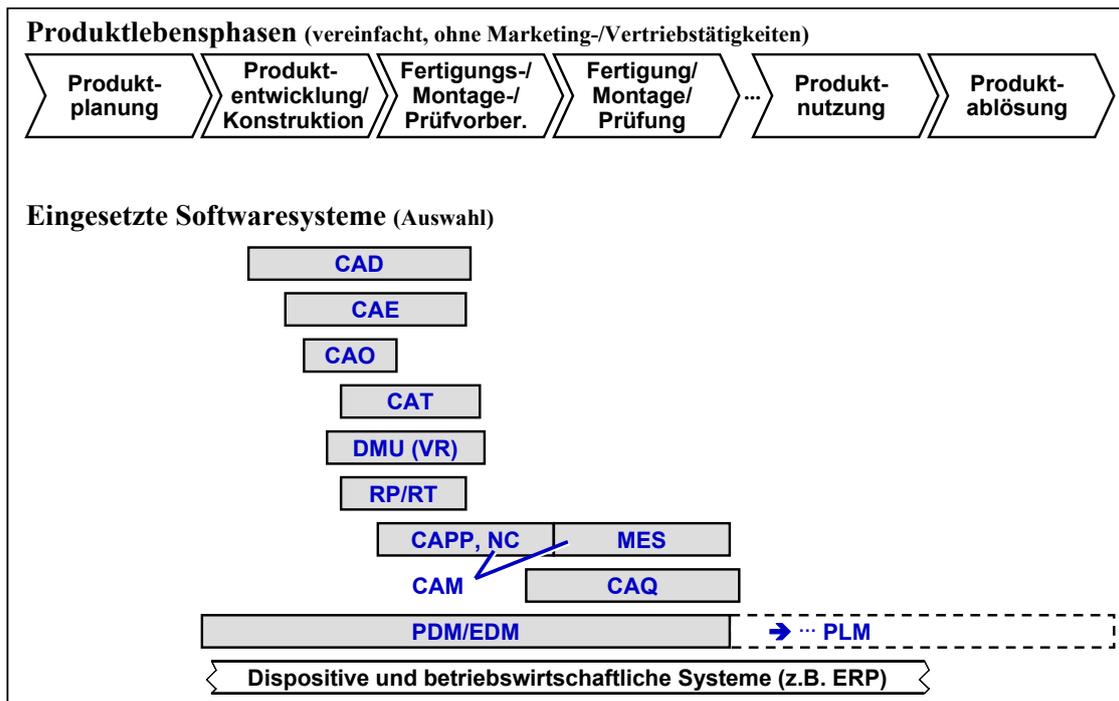


Abbildung 4.2: Unterstützungssysteme in der Produkterstellung nach [Webe06]

4.1 Daten- und Projektmanagement

Das Management von produktdefinierenden Daten in Verbindung mit dem Abbilden und dem Management von technischen und organisatorischen Geschäftsprozessen wird nach Eigner und Stelzer als Produktdatenmanagement (PDM) bezeichnet [EiSt01]. Die vom PDM-System bereitgestellten Methoden umfassen dabei nach Anderl und Grabowski [AnGr05]:

- die Produktstrukturierung
- die Produktkonfiguration
- die Produktidentifikation und –klassifikation
- die Freigabe- und Änderung
- Metamodelle zur Abbildung von Produktdaten.

Um zu verdeutlichen, wie PDM-Systeme diese Aufgaben bewerkstelligen, zeigt Abbildung 4.3 eine schematische Darstellung des Datei- und Metadatenmanagements eines PDM-Systems (links) und deren Systemarchitektur (rechts) nach VDI 2219 [VDI2219].

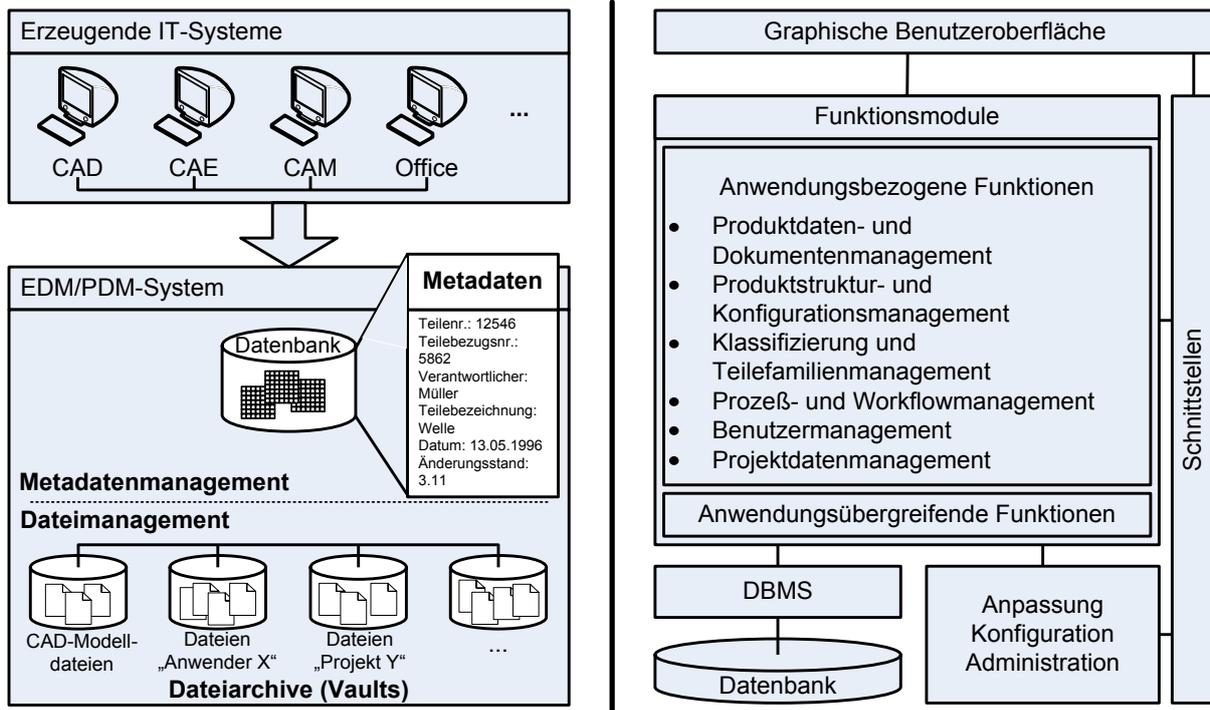


Abbildung 4.3: Datei- und Metadatenmanagement (links) und Systemarchitektur (rechts) von PDM-Systemen nach [VDI2219]

PDM-Systeme können in der Praxis weitergehend als „Master-System“ verstanden werden, die nicht nur zur Erfassung von Produktdaten, sondern auch für das Management des Arbeitsablaufes, also für Prozessdaten, geeignet sind [WeWD03]. Sie dienen auch zur Verwaltung von Projektmanagement-Informationen, die Funktionalitäten überschneiden sich hier zum Teil [VDI2219].

Wird nicht nur das Produkt, sondern das gesamte Projekt betrachtet, so wird von Projektmanagement gesprochen. Das Projektmanagement bezeichnet nach DIN 69901 die Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und -mitteln für die Abwicklung eines Projektes. Es beschreibt also das Gliedern und Delegieren von Aufgaben innerhalb eines Projektes ([DIN69901], zitiert in [EiSt01]). Das Wort Projekt ist dabei charakterisiert durch „a temporary endeavour undertaken to create a unique product or service“ [PrMI00]. Jedes Projekt ist also zeitlich begrenzt, besitzt einen Start- und einen Endzeitpunkt. Des Weiteren ist jedes Projekt verschieden und einzigartig; ein Projekt läuft also nicht zweimal gleich ab. Die Zielsetzung eines Projektmanagements ist nach Eigner und Stelzer [EiSt01] u.a. die Vermeidung von:

- Fehlbesetzungen

- falschen oder überzogenen Zielen
- Konfliktsituationen
- Kompetenzstreitigkeiten
- Konkurrenzsituationen
- und mangelndem Informationsfluss.

Diese Eckpunkte des Projektmanagements können in der Praxis durch speziell hierauf abgestimmte Softwarelösungen wie Microsoft Projekt oder auch mit einfacheren Hilfsmitteln wie Tabellenkalkulationssoftware (vgl. Abschnitt 4.4) verwaltet werden.

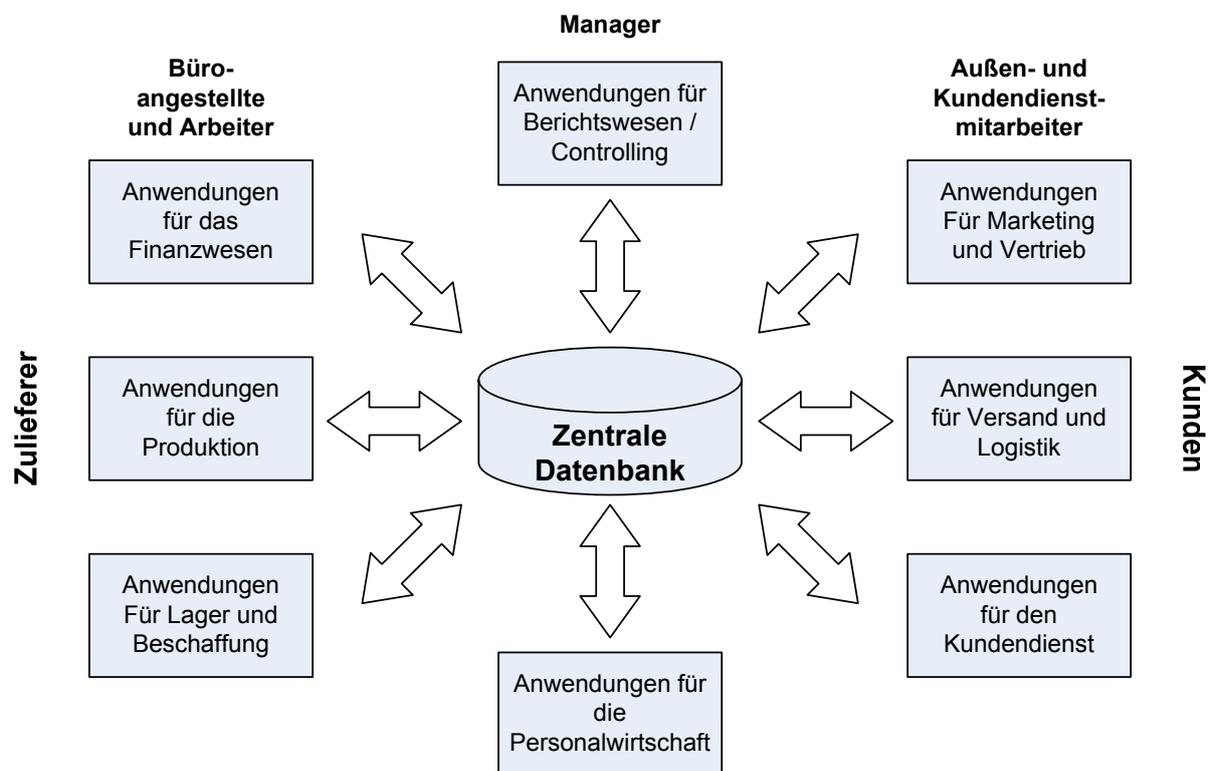


Abbildung 4.4: ERP-Konzept nach [AbMü04]

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist eine weitere Gruppe von Software-Lösungen, die Gruppe der Enterprise Resource Planning (ERP) Werkzeuge als unterstützendes Element für das Datenmanagement in allen Produktlebensphasen, also auch in Entwicklung/Konstruktion zu betrachten. ERP-Systeme bilden dabei nach Jacob [Jaco08] eine Rückgrat-Funktion im Unternehmen. „Sie übernehmen operative oder dispositive Geschäftsprozesse in Unternehmen, die von hohen Massenvolumen und weitgehend standardisierten Abläufen

geprägt sind. ERP-Systeme interagieren in modernen IT-Architekturen dazu mit vielfältigen anderen betrieblichen Anwendungssystemen (...)“ [Jaco08].

Abbildung 4.4 zeigt einen schematischen Aufbau eines ERP-Systems. Die Integration der verschiedenen Teile eines ERP-Systems erfolgt hierbei durch eine zentrale Datenbank, „in der insb. die Stammdaten wie Kunden, Lieferanten, Materialien oder Konditionen zur gemeinsamen Nutzung durch die Geschäftsprozesse“ [Jaco08] einfließen. Ziel ist hierbei eine hohe Integration der Prozesse, so löst z.B. die Buchung eines Warenausgangs eine Verbuchung in der Buchhaltung aus [Jaco08]. Somit enthalten ERP-Systeme viele Teilinformationen aus der betriebswirtschaftlichen Sicht über die betrachteten Produkte.

4.2 CAD

Computer Aided Design (CAD) bedeutet „die zur Verfügung stehenden informationstechnischen Hilfsmittel (Hardware, Software) zur Lösung aller beim Konstruieren anstehenden Teilaufgaben möglichst optimal einzusetzen“ [VWSS94]. Darunter werden zum einen Systeme zur reinen Zeichnungserstellung verstanden (auch als Computer Aided Drafting bezeichnet), zum anderen Anwendungen zur Erstellung von 3-dimensionalen Produktmodellen [AnGr05]. Die im CAD erzeugten Daten sollen jedoch so aufbereitet sein, dass sie in anderen Informationssystemen möglichst unmittelbar zugänglich sind und nicht erst manuell bearbeitet werden müssen [VWSS94]. Somit bilden CAD-Dateien die Basis vieler Produktentwicklungen, was ein Indiz für die Wichtigkeit in der informationstechnischen Infrastruktur darstellt.

Typische Einsatzgebiete für CAD sind:

- die mechanische Konstruktion,
- die elektrische und elektronische Konstruktion,
- der Anlagenbau
- und die Architektur [SpKr97].

4.3 CAE

„Das technische Verhalten eines Produktes muss vor der Auslieferung an den Kunden möglichst genau vorhergesagt werden können“ [Bär98]. Neben der Nutzung von Erfahrungen und der Durchführung von Versuchen stehen dem Entwickler hier Berechnungs- und Simulationsdurchführung zur Verfügung (vgl. Abbildung 4.5). Der Begriff Computer-Aided Engineering (CAE) bezeichnet hierzu einen zusammenfassenden Begriff für rechnerunterstützte Simulations- und Berechnungswerkzeuge [SpKr97].

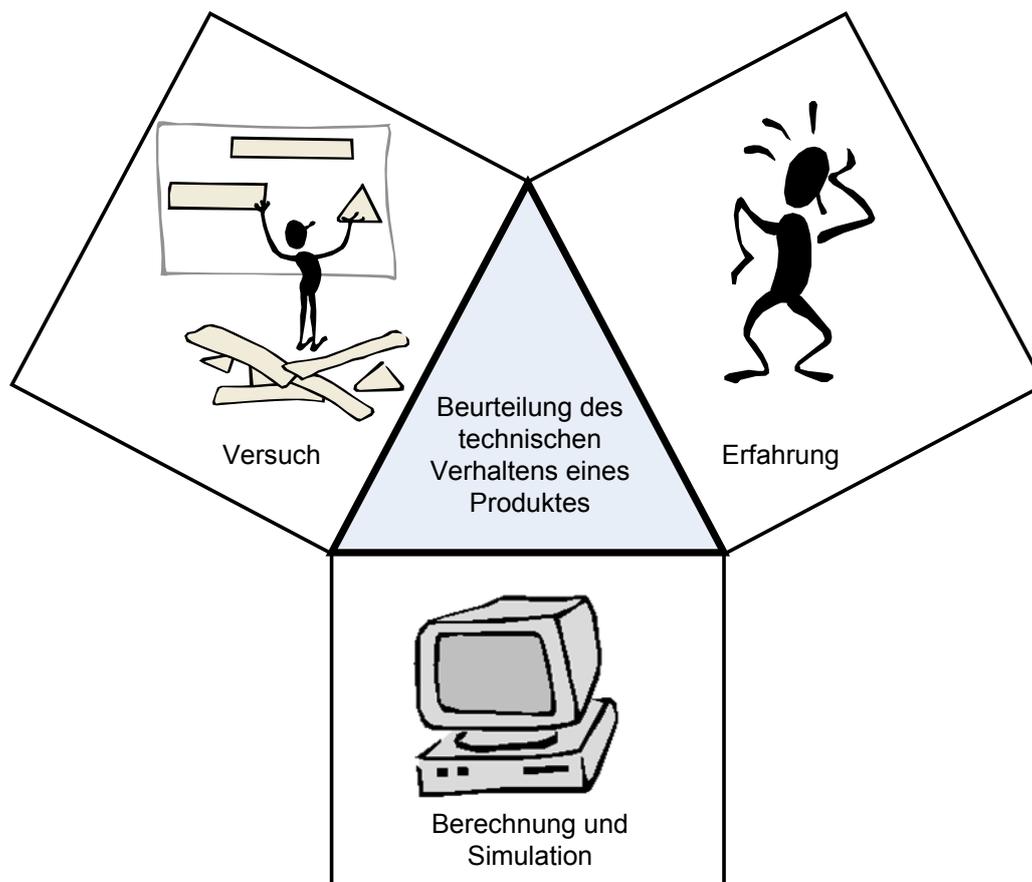


Abbildung 4.5: Beurteilung des technischen Verhaltens eines Produktes nach [Bähr98]

Die wichtigsten Vertreter der CAE-Systeme sind die Finite Elemente Analyse-Systeme und die Mehrkörpersimulation (MKS) [AnGr05]. FEA steht dabei für Finite Elemente Analyse und bezeichnet „die Rechnerunterstützung für die Nachweisrechnung auf der Basis der Methode der finiten Elemente“ [AnGr05]. Die MKS dient der „Analyse und der Simulation des kinematischen und dynamischen Verhaltens von Produkten“ [AnGr05].

Es existiert jedoch noch eine weit größere Zahl an Werkzeugen, die zur rechnerunterstützten Berechnung und Konstruktion eingesetzt werden können. Der Einsatz dieser Werkzeuge ist sehr stark vom Anwendungsgebiet abhängig, was zu einem breiten Spektrum von zum Teil hoch spezialisierten Werkzeugen und zu einer Großzahl von Zusatzmodulen für CAD-Systeme führt [Wern01]. Eine Auswahl weiterer Systeme gibt z.B. Bär [Bär98]:

- Mathematikprogramme
- Auswahl- und Dimensionierungsprogramme
- Optimierungsprogramme
- Digital Mock-Up
- Toleranzanalyseprogramme
- Randelementmethode und Finite Differenzen Methode
- Computational Fluid Dynamics
- Lichttechnische Simulation
- Regelungstechnische Simulation
- Betriebsfestigkeitsnachweis

Vajna et al. schließen auch die rechnerunterstützte Lösung von Optimierungsaufgaben in das CAE mit ein [VWSS94]. Die rechnerunterstützte Optimierung (Computer Aided Optimisation, CAO) beschreibt die selbsttätige Variation von Parametern, sodass bestimmte Größen einen Zielwert oder ein Optimum annehmen [SpKr97]. Dies kann durch äußere Restriktionen wie z.B. Anschlussmaße erschwert werden.

4.4 Office-Anwendungen

Auch Office-Anwendungen sind ein wichtiger Bestandteil der Produktentwicklung. Office stellt dabei einen Sammelbegriff für alle üblicherweise im Büro verwendeten Softwareanwendungen dar. Dies sind z.B. Textverarbeitung, Tabellenkalkulation und

Präsentationsprogramme. Dabei sind die einzelnen Anwendungen einer Office-Familie zumeist in ihrer Benutzeroberfläche und Bedienung konsistent und ermöglichen untereinander einen weit reichenden Austausch. Bekannte Vertreter sind z.B. Microsoft Office mit Microsoft Word, Excel und Powerpoint oder OpenOffice (auch OpenOffice.org genannt) mit Writer, Calc und Impress.

Diese Werkzeuge bilden einen Großteil der digital verfügbaren Dokumente und sind somit ein nicht zu vernachlässigendes Element bei der Betrachtung der informationstechnischen Infrastruktur.

4.5 Kommunikationssoftware

Auch Kommunikationssoftware wie z.B. Email-Clients wie Microsoft Outlook oder Mozilla Thunderbird stellen einen Bestandteil der Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung dar. Da Kommunikation einen Hauptteil der Aktivitäten in der Produktentwicklung umfasst, kommt dieser Softwaregruppe eine wichtige Bedeutung zu. Ein weiteres Feld beschreiten die unter dem Begriff Computer Supported Cooperative Work (CSCW) zusammengefassten Kooperationswerkzeuge, die „Ingenieuren das gemeinsame Arbeiten an verschiedenen Standorten“ [EiSt01] ermöglichen sollen. Die Anwendungen ermöglichen z.B. das gemeinsame „Arbeiten an Applikationen (shared application) bei gleichzeitiger Übertragung von Video- und Audiodaten“ [SpKr97] an verschiedene Standorten z.B. über Internet-technologien. Des Weiteren dienen so genannte Shared Whiteboards dazu, Ergebnisse einer Konferenz in Form eines Protokolls festzuhalten [SpKr97]. Die Kommunikationswerkzeuge sind zum Teil bereits in andere Komponenten, beispielsweise in Projektdatenmanagementsysteme integriert [VDI2219]. Trotzdem finden hier sehr häufig spezialisierte oder generische Drittanbieter den Weg in die Systemlandschaft der einzelnen Firmen.

4.6 Online-Anwendungen und Internet

Im Bereich der Produktentwicklung hat das Internet auch über den zuvor erläuterten Bereich der Kommunikation und Interaktion hinaus Einzug erhalten. Dabei stellt es ein Medium zur Übertragung von computerbasierten Informationsquellen dar.

Ein Beispiel hierfür sind Produktkataloge. Entsprechende Kataloge sind zwar oft auch „offline“ auf Datenträgern verfügbar, doch finden internetbasierte Lösungen hier sehr weit verbreiteten Zuspruch. Büttner und Birkhofer zufolge bieten Online-Produktkataloge dem Kunden einen gewissen Mehrwert, z.B. günstigen Zugriff auf aktuelle Informationen und eine mögliche Integration weiterer Dienste wie die Berechnung von Preisen und Bestellrabatten [BüBi96]. Diese Vorzüge von Online-Katalogen hat auch eine Studie am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes bestätigt, in der das internetbasierte System Partserver der Cadenas GmbH⁴ am besten von den 10 untersuchten, nicht durchgängig internetbasierten Systemen abgeschnitten hat [Naum07]. Zudem wurde es bei einer in diesem Zusammenhang durchgeführten Befragung mehrerer Unternehmen auch am häufigsten eingesetzt.

Ein weiteres Beispiel sind Online Patentrecherchen. Ein Beispiel hierfür ist das Portal DEPATISnet⁵ des deutschen Patent- und Markenamtes (DPMA). Es ermöglicht nach eigenen Angaben die Durchführung von Online-Recherchen zu allen Patentveröffentlichungen, die sich im Datenbestand des amtsinternen deutschen Patentinformationssystems DESPARTIS befinden. Dabei lassen sich sowohl die bibliographischen Daten eines Dokumentes als auch das Dokument selbst im PDF-Format anzeigen. Zusätzlich ermöglicht das Online-Portal auch den Zugriff auf Subdokumente wie z.B. Ansprüche, Zeichnungen und Beschreibungen. Die Nutzung dieses Dienstes ist kostenlos. Ähnliche Informationen hält auch der Dienst esp@cenet⁶ des Europäischen Patentamtes bereit.

Diese Beispiele sollen exemplarisch für die vielen verschiedenen internetbasierten Applikationen stehen, die den Produktentwicklungsprozess unterstützen können.

⁴ Verfügbar unter <http://www.partserver.de>

⁵ Verfügbar unter <http://depatiset.net.dpma.de/>

⁶ Verfügbar unter <http://ep.espacenet.com>

5 Wissen in der Produktentwicklung

Produktentwicklungen werden zumeist durch die Bildung von Projektteams organisiert [SSLP04]. Im Rahmen der Produktentwicklung zeichnen sich die zu bearbeitenden Projekte dieser Teams durch folgende Eigenschaften aus [SSLP04], [Diet05]:

- Produktentwicklungen sind komplexe, zeitkritische Prozesse, die ein hohes Maß an Spezialisierung benötigen
- In den Projekten wird sehr viel produkt-, technologie- und prozessbezogenes Wissen aufgebaut, verarbeitet und angewendet
- Vorhandenes und erworbenes Wissen ist nur bedingt direkt wieder verwendbar und muss meist für neue Anforderungen kontextspezifisch interpretiert werden
- Es besteht ein erheblicher Anteil an Wissen, das sich – genauso wie der Projektfortschritt – in ständiger Veränderung befindet, d.h. Wissen veraltet an einer Stelle und gleichzeitig wird neues Wissen an anderer Stelle aufgebaut
- Produktentwicklungsprojekte werden oft in geografisch verteilten Projektteams bearbeitet, die ein hohes Maß an Koordination und Kooperation fordern.

Anhand dieser Charakteristika der Produktentwicklung wird deutlich, dass Wissen eine wichtige Ressource in Projekten ist und es deshalb auch gemanaged werden sollte. In diesem Kapitel werden deshalb die für die Thematik wichtigen Begriffe, Theorien und Quellen näher betrachtet.

5.1 Dokumente

Der Begriff Dokument ist zentral bei der Betrachtung von expliziten Informationen und explizitem Wissen. Er bezeichnet nach DIN 6789 „(...) eine als Einheit gehandhabte Zusammenfassung oder Zusammenstellung von Informationen, die nicht flüchtig auf einem Informationsträger gespeichert sind“ [DIN6789]. Der Begriff Informationsträger kann hierbei neben digitalen Medien auch konventionelle, z.B. papierbasierte Dokumente beinhalten. Des

Weiteren unterscheidet die o.g. Norm technische und kommerzielle Dokumente [DIN6789]. Die technischen Dokumente teilen Eigner und Stelzer in folgende Kategorien ein [EiSt01]:

- Primärdokumente: Entwicklungsdokumente, die produktdefinierende Informationen enthalten, z.B. technische Zeichnungen, CAD-Modelle etc.
- Sekundärdokumente: Fertigungsdokumente, z.B. Prüf- und Arbeitspläne, NC-Modelle
- Tertiärdokumente: Produktnutzungsdokumente, z.B. Bedienungshandbücher, Ersatzteil-Kataloge

Kommerzielle Dokumente umfassen nach Eigner und Stelzer [EiSt01] z.B. Lieferscheine, Angebote und Rechnungen.

5.2 Segmentierungsmöglichkeiten

Um ein so umfangreiches und vielschichtiges Gebilde wie Wissen zu erforschen, ist es eine bewährte Strategie, das Themenfeld zu segmentieren (Divide and Conquer). Diese Segmentierung kann in der Produktenwicklung verschiedenartig erfolgen. Neben der Erfassung von Wissen in impliziter und expliziter Form, die bereits in Abschnitt 2.3 näher beschrieben wurden, kann es auch nach dem Wissensziel unterschieden werden, was eher der kognitionspsychologischen Sicht in Abschnitt 2.2 entspricht.

Vajna et al. unterteilen das Wissen in der Produktentwicklung in Produktwissen (auch deklaratives Wissen oder Faktenwissen) und Prozesswissen (auch prozedurales, algorithmisches, Methoden- oder Problemlösungswissen) [VWSS94]. Ziel des Produktwissens ist hier die „strukturierte Erfassung der über Produkte (sowohl in der Vergangenheit als auch in der Gegenwart bearbeitete) vorliegenden Informationen im Sinne eines integrierten Produktmodells (...)“ [VWSS94]. Beim Prozesswissen „geht es um die strukturierte Erfassung der Prozessschritte (Teiloperationen, Einzeltätigkeiten) und ihrer gegenseitigen Bezüge, die zur Bearbeitung einer bestimmten Klasse von Aufgabenstellungen (z.B. Entwicklung/Konstruktion neuer Produkte) zweckmäßig sind“ [VWSS94].

Auch Koller und Berns sehen eine Gliederung des Konstruktionsprozesses nach den einzelnen Konstruktionsphasen vor [KoBe90]. Sie unterteilen in aufgabenbedingtes Wissen bzw.

Produktwissen und verfahrenbedingtes Wissen bzw. Prozesswissen. Dabei beschreiben Koller und Berns, dass aufgabenbedingtes Wissen durch sechs Parameter klassifiziert wird [KoBe90]:

- Produktgeschichte (Konstruktionsphasen, Lebensphasen)
- Produkthierarchie (allgemein, produktspezifisch)
- Entwicklungsprozess (Basiswissen, Vorgaben aus der Aufgabenstellung, bisher vorliegende Ergebnisse)
- Darstellungsart (Text, Bild, Diagramm)
- Wissensquelle (dokumentiertes und nicht dokumentiertes Wissen)
- Wahrheitswerte (zweiwertig, mehrwertig)

Das verfahrenbedingte Wissen beschreibt Wissen über:

- den Konstruktionsprozess
- die Konstruktionsmethoden
- die Berechnungsmethoden
- die Bewertungsmethoden
- Sonstiges Wissen über Vorgehensweisen

Weber und Stark [WeSt91] und Muth [Muth94] interpretieren das Produktwissen als das Wissen über das zu konstruierende technische Produkt oder System selbst; unter dem Prozesswissen verstehen sie dagegen das Wissen über den Weg von der gedanklichen Vorstellung über die Leistung des zu konstruierenden technischen Produktes oder Systems bis hin zu seiner letztendlichen, stofflichen Verwirklichung. Das Prozesswissen, so Muth weiter, kann jedoch nur integriert werden, wenn zumindest im Bereich der Konstruktion möglichst alle produktdefinierenden Informationen rechnerintern repräsentiert werden können.

Yaramanoglu [Yara91] unterteilt Wissen ebenfalls in Wissen über den Konstruktionsprozess und Wissen über das Konstruktionsobjekt bzw. Produkt. Er unterteilt es dementsprechend in

zwei Forschungsgebiete. In der prozessorientierten Forschung siedelt er die Konstruktions-
theorie und die Konstruktionsmethodik an. Die Betrachtungsgegenstände der
produktorientierten Forschung sind hingegen Geometric Reasoning, Constraint based
Modelling, Feature-Technologie und Produktmodellierung.

Hicks et al. sehen in ihren Forschungen auf dem Gebiet der Produktentwicklung den Begriff
Wissen nicht isoliert, sondern unterteilen ihn in Wissensprozesse (engl. knowledge processes)
und Wissens-elemente (engl. knowledge elements) [HCAM02]. Wissens-elemente entstehen
hiernach aus Wissensprozessen. Die Wissensprozesse bestehen wiederum aus dem Verstehen,
der Anpassung und der Anwendung von Informationen und existierenden Wissens-elementen
durch ein Individuum (vgl. Abbildung 5.1). Wissens-elemente und Wissensprozesse sind die
Grundlage für alle vom Individuum getroffenen Entscheidungen. Informationen allein sind
hierzu nach Hicks et al. zu unzuverlässig.

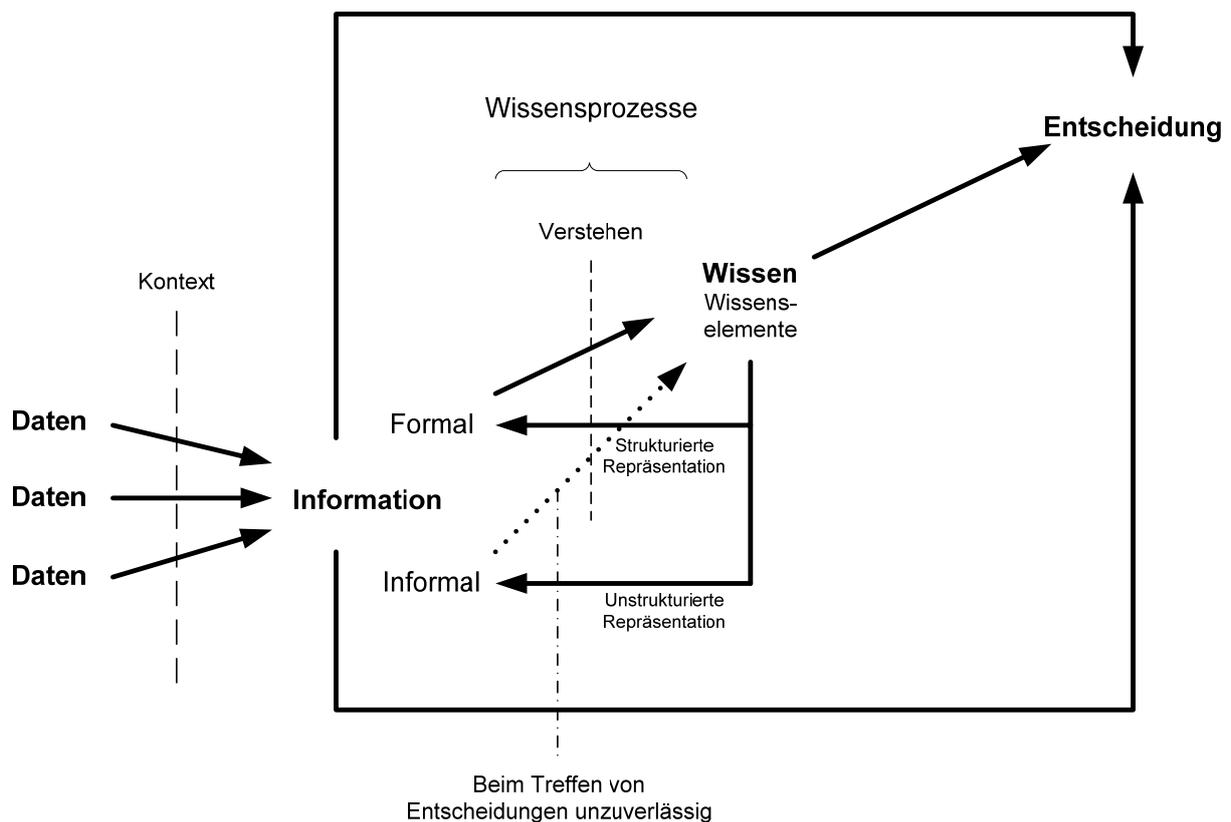


Abbildung 5.1: Unterscheidung in Wissens-elemente und Wissensprozesse nach [HCAM02]

5.3 Quellen und Wiederverwendung von Informationen und Wissen

Um Wissen wiederverwenden zu können, ist es wichtig, relevante Informationen und relevantes Wissen bereitzustellen [HCAM02]. Deshalb sollen im Folgenden bestehende Forschungsergebnisse zu den Informations- und Wissensquellen in der Produktentwicklung zusammengefasst werden.

Die VDI-Richtlinie 5610 [VDI5610] stellt hierbei das Ingenieurwissen in den Mittelpunkt und beschreibt in einer ontologieartigen Darstellung, aus welchen Teilen sich dessen Know-How zusammensetzt (vgl. Abbildung 5.2).

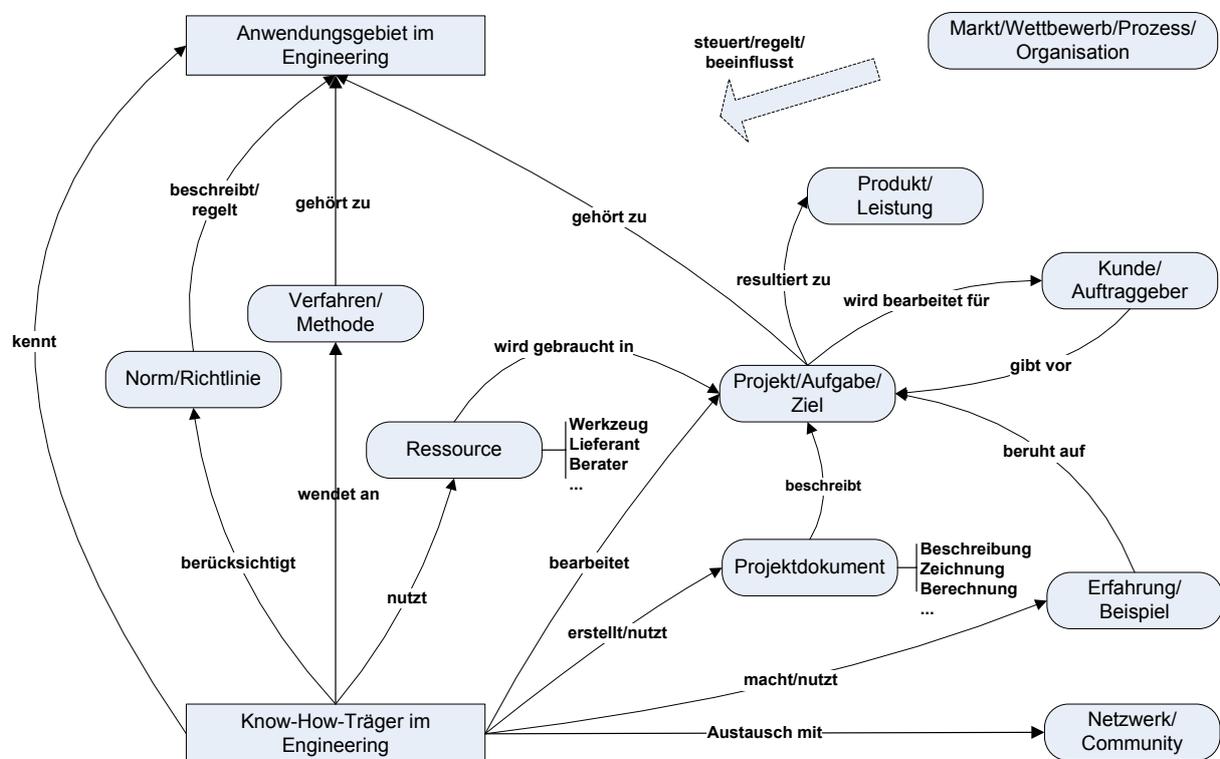


Abbildung 5.2: Modell des Ingenieurwissens nach [VDI5610]

Dabei wird deutlich, dass der Ingenieur eine projekt- aufgaben- und zielunabhängige Wissensbasis besitzt, die in Form von Normen, Richtlinien, Verfahren, aber auch Erfahrungen und Beispielen etc. in das Modell integriert sind.

Muth beschreibt in seiner Dissertation die aus seiner Sicht wichtigsten Wissensquellen des Konstrukteurs wie in Abbildung 5.3 gezeigt [Muth94].

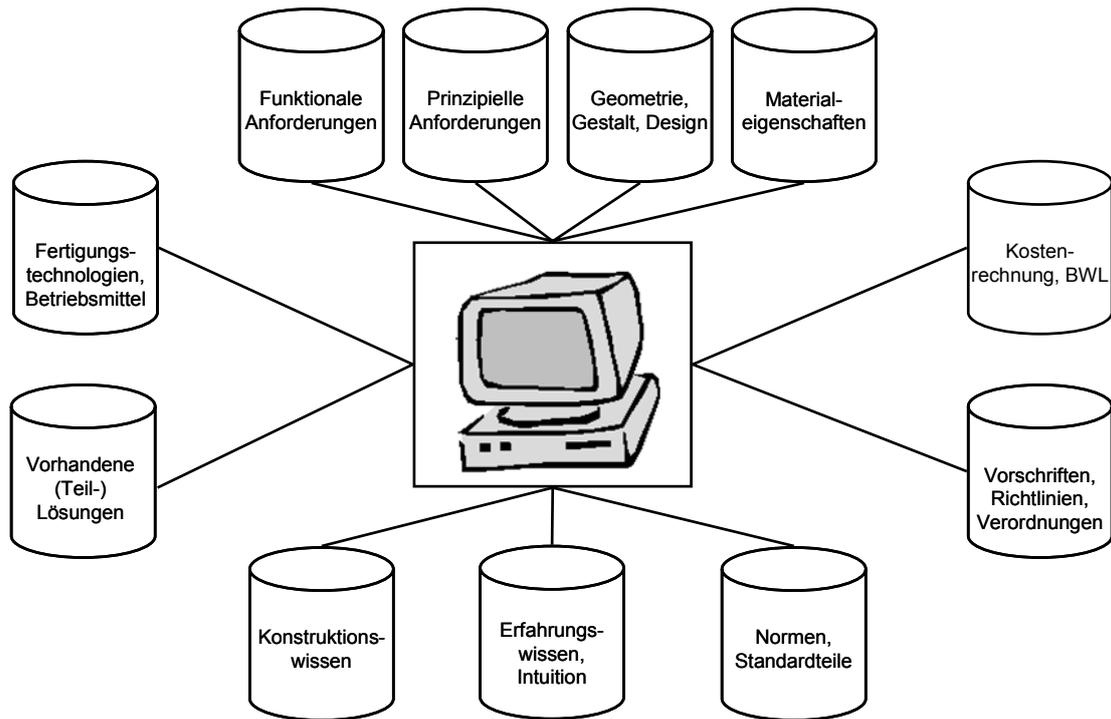


Abbildung 5.3: Wissensquellen des Konstrukteurs nach [Muth94]

Die Quellen sind dabei teilweise explizit vorhanden, wie z.B. Normen und Standardteile, viele sind jedoch nur implizit als Konstruktionswissen, Erfahrungswissen und Intuition vorhanden.

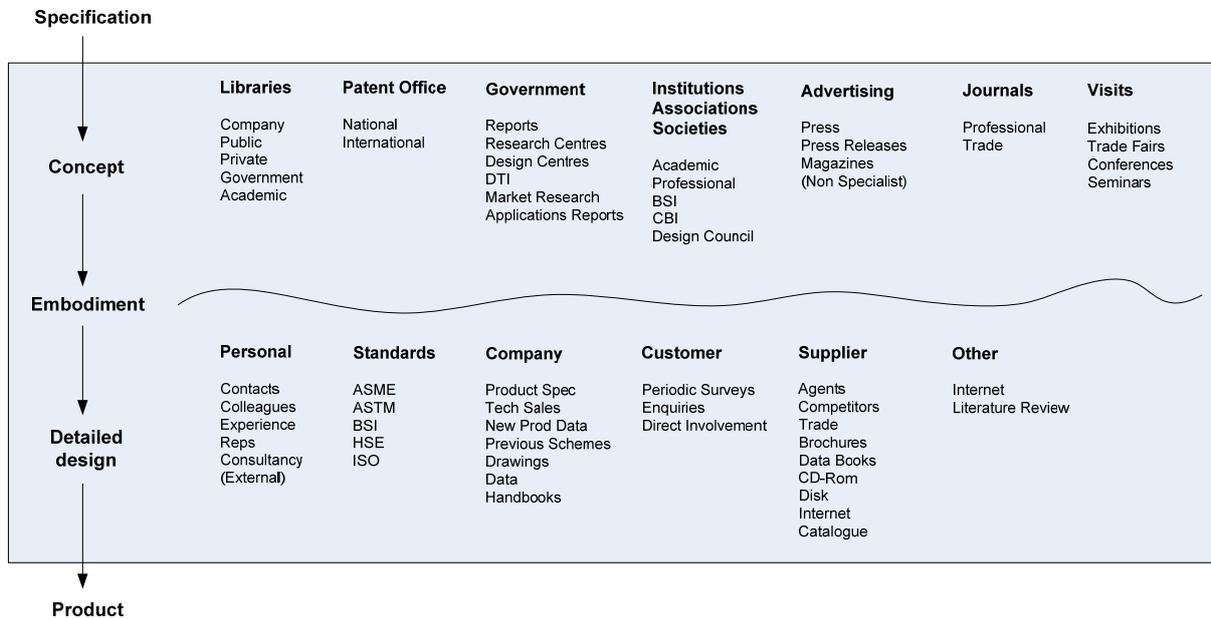


Abbildung 5.4: Informationsquellen im Konstruktionsprozess nach [AIHC00]

Hierbei sieht er auch die unterschiedlichen Repräsentationsformen der explizit erfassten Wissensquellen als großen Nachteil an. Zudem zeigt Muth eine weitere Schwachstelle in der

Notwendigkeit der Kenntnis der Spezifikation einer Repräsentation auf, die vom Konstrukteur verlangt wird.

Allen et al. [AIHC00] (zitiert in [HCAM02]) verdeutlichen die verschiedenen Informationsquellen unterteilt in die Stadien Konzept, Ausgestaltung und Detaillierung wie in Abbildung 5.4 dargestellt. Diese Quellen beinhalten Zuliefererinformationen, Kataloge, Aufzeichnungen von früheren Projekten etc. aber auch externe Berater und die Kommunikation mit Kollegen. Die Verwendung dieser Quellen tragen nach Hicks et al. zur Erstellung von effektiven, ökonomischen und eleganten Produkten bei [HCAM02].

Hicks et al. [HCAM02] stellen die Verwendung von Informationen und Wissen im Produktentwicklungsprozess wie in Abbildung 1.1 gezeigt dar.

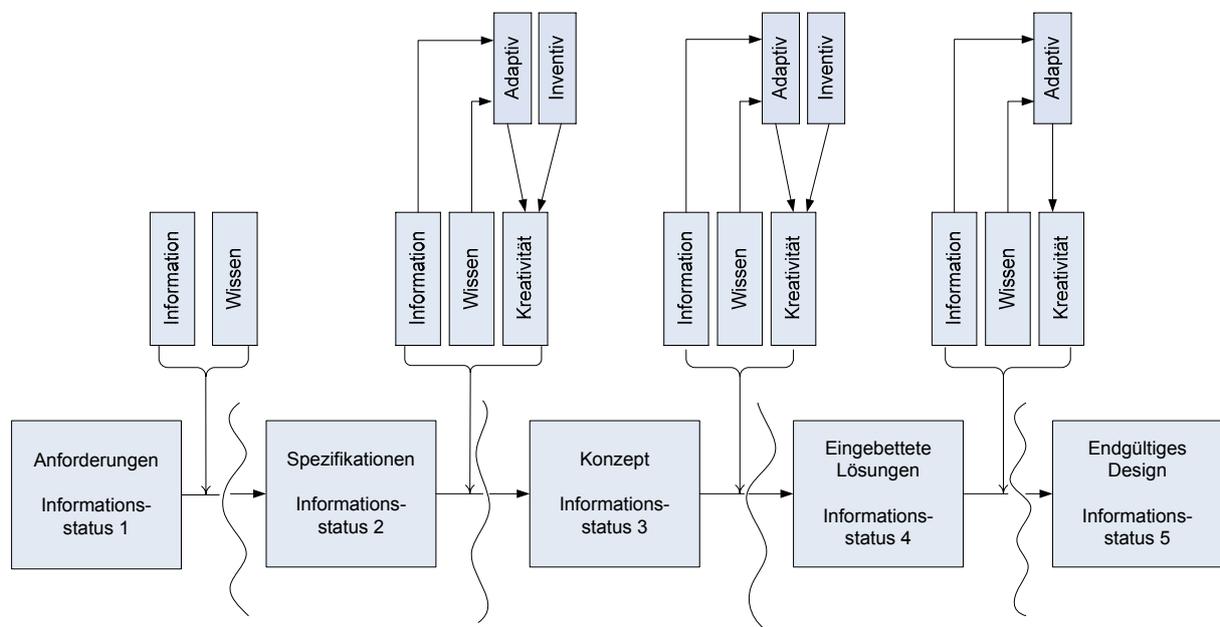


Abbildung 5.5: Produktentwicklung, Informationen und Wissen nach [HCAM02]

Das verfügbare Wissen ist hier in adaptives und neu erfundenes, inventives Wissen in Anlehnung an [Bless94] unterschieden. Bei den fünf Stadien, die er bei der Produktentwicklung zugrunde legt, müssen, so Hicks, zudem Informationen und Wissen über den jeweiligen Status verfügbar sein, um in den nächsten zu gelangen [HCAM02].

Ahmed und Wallace [AhWa06] zufolge ist das in einer Produktentwicklung erzeugte Wissen teilweise in Memos, E-Mails, Skizzen usw. verankert, teilweise auch nur in den Köpfen der Konstrukteure vorhanden. Sie zitieren Marsh [Mars97], wonach der Nutzen, den Dokumente bieten, direkt mit der Relevanz des erfassten Wissens verbunden ist. Dabei haben die

Forschungen von Marsh gezeigt, dass Konstrukteure selten Dokumente nutzen, an denen sie nicht direkt mitgearbeitet haben. Auf eine erzeugte Dokumentation wird zumeist höchstens einmal pro Jahr zugegriffen und am wahrscheinlichsten geschieht dieser Zugriff durch den Autor.

Categories	Novice Designers						Experienced Designers					
Designer	N1	N2	N3	N4	N5	N6	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Company experience (years)	0.3	0.75	1	1.5	2.5	1.5	8	9	18.5	11	19	32
Non-company experience (years)						1.5				8		
Consider issues	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aware of reason	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Refer to past design	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Question is it worth pursuing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Question data	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Keep options open	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aware of trade-offs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aware of limitations	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Symbols:

- high number of occurrences
- medium number of occurrences
- minimal number of occurrences

Abbildung 5.6: Vergleich des Verhaltens von Konstrukteuren nach [Ahme00]

Ahmed untersucht in ihrer Dissertation die Unterschiede in der Verwendung von Informationsquellen. Sie erkannte Abhängigkeiten vom Erfahrungsgrad des Konstrukteurs und den verwendeten Quellen [Ahme00]. Abbildung 5.6 fasst ausgesuchte Ergebnisse einer in o.g. Arbeit durchgeführten Studie zusammen. Hierbei ist im Zusammenhang mit dieser Arbeit insbesondere der Punkt „Refer to past designs“ (verweist auf frühere Konstruktionen) bemerkenswert, der bei Neulingen (Novice Designers) wesentlich schwächer ausgeprägt ist als bei erfahrenen Konstrukteuren (Experienced Designers). Dies deutet darauf hin, dass jeder Konstrukteur im Laufe seiner Karriere für entwickelte Produkte eine eigene Handschrift (persönliche best practices) entwickelt, die er von Produkt zu Produkt übernimmt. Detaillierte

Informationen zu dieser Studie und den gezogenen Schlussfolgerungen können [Ahme00] entnommen werden.

In der Theorie von CPM/PDD werden Informationsquellen für den Analyse- und den Syntheseschritt benötigt. Zur Realisierung der Relationen werden in den verfügbaren Quellen zu dieser Theorie insbesondere die folgenden Möglichkeiten erwähnt (vgl. [Webe05] und die in Abschnitt 3.2 genannten Quellen):

- „Human genius“
- Technische Muster
- Muster in der Natur (Bionik)
- Erfahrungswissen
- Standard- und Kataloglösungen
- Regelwerke
- Systematische und methodische Ansätze
- Assoziation und Übertragung
- (Inverse) Berechnungen
- Computer-Werkzeuge
- Befragungen von Kunden
- Tests, Experimente
- Tabellen und Listen

Diese Auswahl an Informationsquellen zeigt, dass die Quellen in der Produktentwicklung sehr heterogen und oft nicht informationstechnisch verfügbar sind.

5.4 Wissensmanagement in der Produktentwicklung

Wissensmanagementaktivitäten sollten nach Büge [Büge04] im Rahmen einer Produktentwicklung insbesondere darauf abzielen, relevante Personen, sog. Wissensträger, einfach zu identifizieren und zu vernetzen. Zusätzlich soll es, so Büge weiter, Wissensbewahrung unabhängig von Personen ermöglichen, gleichzeitig aber auch das Wissen auf dem aktuellen Stand halten und den Wissenserwerb, die Wissensentwicklung und die Wissensverteilung bestmöglich unterstützen.

Aufgrund der hohen Abhängigkeit von Informationen und Wissen ist bei vielen Unternehmen eine Verbesserung der Performanz und Effizienz ihrer Dienstleistungen und Produkte nach Einführung eines Wissensmanagementsystems erkennbar [Hick93]. Wie bereits in Abschnitt 2.5 beschrieben, sind neben der technischen Komponente weitere Elemente für erfolgreiches Wissensmanagement erforderlich. Eine mögliche informationstechnische Umsetzung ist jedoch der Kern dieser Arbeit und somit Hauptbetrachtungspunkt. Bei der Umsetzung eines Wissensmanagementsystems in der Produktentwicklung sind jedoch alle drei Elemente des T-O-M-Modells (Abbildung 2.6) zu berücksichtigen.

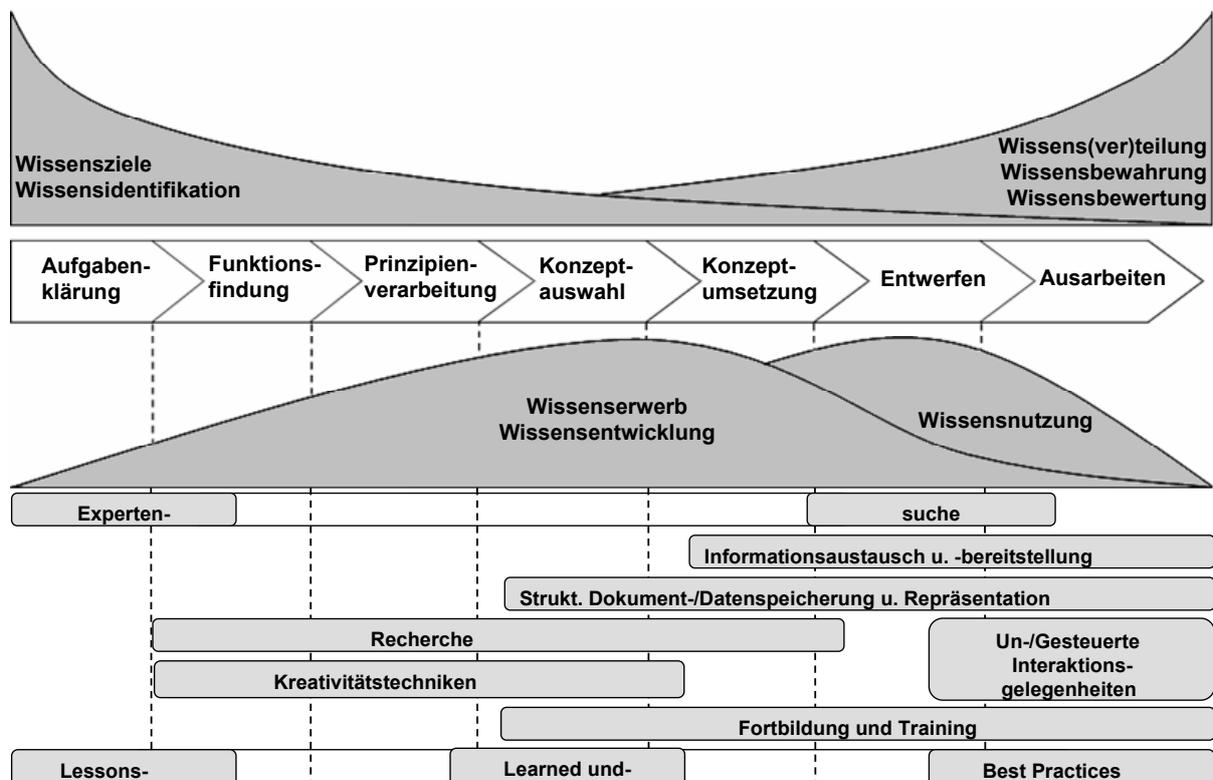


Abbildung 5.7: Techniken und Methoden zum Wissensmanagement in der Produktentwicklung nach [KCKW08]

Um die vielfältigen Informationen und das Wissen in der Produktentwicklung informationstechnisch managen zu können, bedarf es der Erfassung, Verarbeitung, Speicherung und dem Zugriff auf diese [HCAM02]. In Kaiser et al. [KCKW08] wurde bereits gezeigt, welche Techniken und Methoden zur Realisierung von Wissensmanagement in der Produktentwicklung anwendbar sind. Hierzu legen die Autoren die bereits in Abschnitt 3.1.4 beschriebene VDI 2221 zugrunde, kombinieren diese mit den Wissensmanagementbausteinen nach Probst et al. (vgl. [PrRR06] und Abschnitt 2.5.4) und verbinden diese mit adäquaten Wissensmanagementmethoden und Techniken (vgl. Abbildung 5.7).

Eine Integration der einzelnen Quellen und eine durchgängige informationstechnische Repräsentation ist in dieser Arbeit jedoch nicht Gegenstand der Betrachtungen.

In der VDI Richtlinie 5610 steht der Ingenieur und dessen Know-how im Mittelpunkt der Wissensmanagementaktivitäten [VDI5610]. Die Kernaktivitäten der Richtlinie sind dabei von Heisig [Heis03] definiert worden. Diese ähneln grundsätzlich den bereits vorgestellten Punkten von Probst et al. [PrRR06] und umfassen:

- Wissen planen, identifizieren, bewerten
- Wissen erzeugen
- Wissen speichern
- Wissen verteilen
- Wissen anwenden

Hieraus ergeben sich mit dem bereits erläuterten Modell des Ingenieurwissens (vgl. Abbildung 5.2), das dieser Richtlinie entnommen wurde, eine Zuordnung von Kernaktivitäten wie sie in Abbildung 5.8 dargestellt ist.

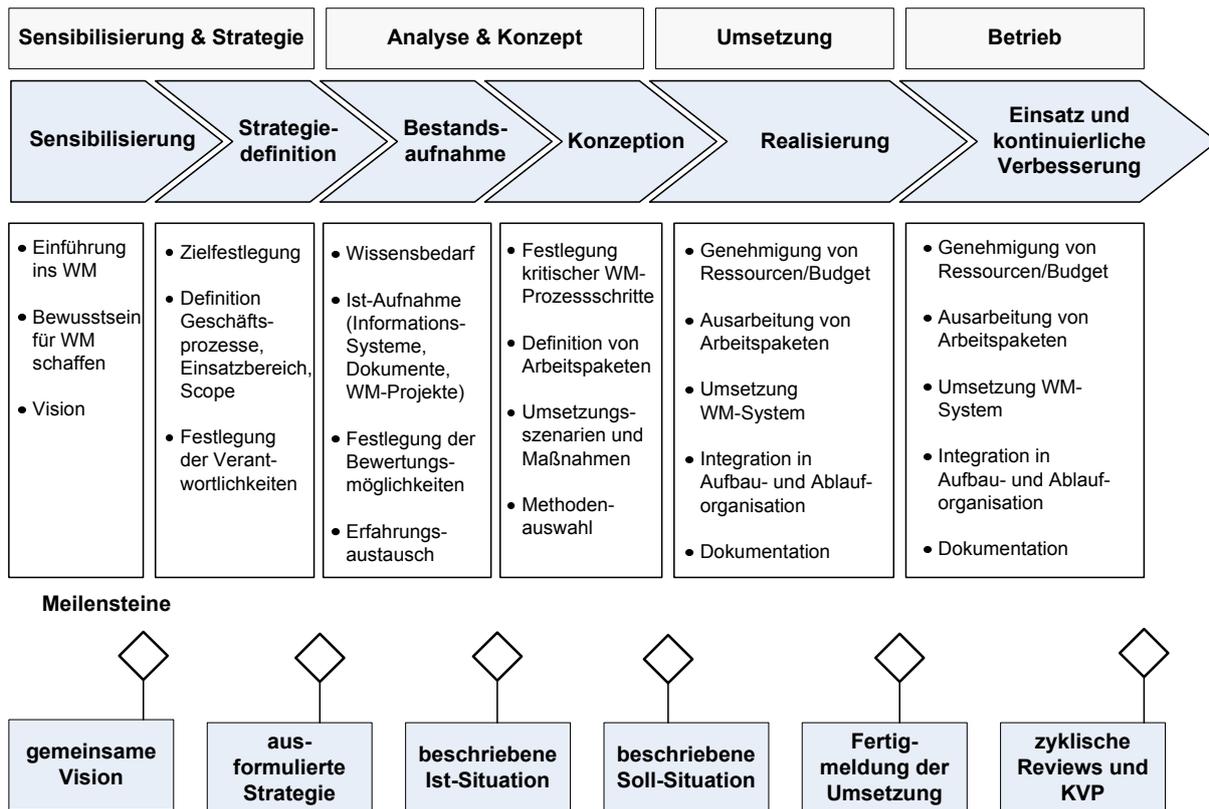


Abbildung 5.8: Kernaktivitäten des Wissensmanagements nach [VDI5610]

Zudem liefert die Richtlinie ein Phasenmodell zur Etablierung eines Wissensmanagements, das die organisatorische Einführung erleichtert. Der Fokus der Richtlinie liegt allerdings nicht auf der Komponente Technik, sondern auf der Komponente Organisation.

5.5 Wissen in CPM/PDD

In diesem Abschnitt soll der Wissensbegriff im Hinblick auf Theorie von CPM/PDD betrachtet werden, auf der diese Arbeit basiert. Hierfür wird die in Abschnitt 5.2 diskutierte Unterteilung in Produkt- und Prozesswissen zugrunde gelegt. Da der Wissensbegriff hier jedoch nicht so strikt definiert wurde wie in den genannten Arbeiten, soll auch diese Unterteilung etwas weiter betrachtet werden. Hierzu wird im Folgenden von *produktorientiertem* bzw. *prozessorientiertem Wissen* gesprochen. Die Darstellung, welche Informationen und Zusammenhänge bekannt sein müssen, um von produktorientiertem Wissen bzw. prozessorientiertem Wissen sprechen zu können, wird im Folgenden anhand des CPM/PDD Modells erläutert. Trotz dieser Segmentierung sollte der Produktentwicklungsprozess als Ganzes gesehen werden. Insbesondere kann eine isolierte

Betrachtung des produkt- bzw. prozessorientierten Ansatzes keine weit reichende Verbesserung des gesamten Konstruktionsprozesses erzielen [Yara91]. Die folgenden Betrachtungen zu produkt- und prozessorientiertem Wissen im Zusammenhang mit CPM/PDD beruhen auf der unveröffentlichten Abhandlung von Weber [Webe05a] sowie auf weiteren Quellen, die explizit erwähnt werden. Zudem wurden diese in einer weiteren Betrachtung und einer anderen Herangehensweise vom Autor dieser Arbeit et al. in [CKWW08] bestärkt.

5.5.1 Produktorientiertes Wissen

Das Produktmodell in CPM besteht, wie bereits in Abschnitt 3.2 beschrieben, aus Merkmalen, Eigenschaften und Relationen. Zusätzlich existieren noch Dependencies zwischen Merkmalen und External Conditions für Relationen.

Merkmale beschreiben dabei die Struktur und Form eines Produktes. Informationen über die Merkmale eines Produktes sind die Klassifikation, Identifikation oder auch Geometrie. Zu diesen müssen jedoch auch konkrete Zahlenwerte bekannt sein. Beispiele für die Dokumentation von Merkmalen sind technische Zeichnungen, CAD-Dateien usw.

Eigenschaften beschreiben das (relevante) Verhalten eines Produktes. Informationen über die Eigenschaften beinhalten deren Inhalte. Sie können z.B. durch Anforderungslisten, Dokumentationen, Testberichte usw. beschrieben werden.

Relationen beschreiben den Zusammenhang von Merkmalen und Eigenschaften. Sie beschreiben wie und mit Hilfe welcher Mittel Analysen und Synthesen durchgeführt werden [WeWD03]. Dabei werden zur Abbildung von Relationen folgende Informationselemente benötigt:

- Analysemethoden/-werkzeuge, die aus gegebenen Merkmalen die Produkteigenschaften bestimmen/vorhersagen
- Synthesemethoden/-werkzeuge, die aus gegebenen Eigenschaften Merkmale festlegen oder verändern

Relationen können aus unterschiedlichen Quellen stammen, zum Beispiel aus Tabellen, Formeln, Simulationswerkzeugen, Versuchen oder auch Expertenwissen.

Die Gesamtheit der Informationen über Merkmale und Eigenschaften und deren Zusammenhang über Relationen können im CPM als produktorientiertes Wissen betrachtet werden [WaCK07].

5.5.2 Prozessorientiertes Wissen

Wird der Entwicklungsprozess nach PDD zugrunde gelegt, so umfasst dieser zunächst das zuvor diskutierte produktorientierte Wissen als notwendigen Teil zur Analyse und Synthese in PDD. Da der Produktentwicklungsprozess über die Zeit zu betrachten ist, verändert sich auch das Produkt über die Zeit und somit das produktorientierte Wissen.

Zudem muss die Fähigkeit der Evaluierung der Lösung gegeben sein, d.h. es muss möglich sein, alle relevanten Abweichungen ΔP zu bestimmen. Hierzu muss zum einen die Möglichkeit bestehen, die Ist-Eigenschaften der aktuellen Lösung zu bestimmen. Diese ergeben sich aus einer Analyse, für die zu den bekannten Merkmalen entsprechende Relationen ausgewählt werden und über die daraufhin die Ist-Eigenschaften bestimmt werden können. Außerdem müssen zur Evaluierung der Lösung die Soll-Eigenschaften bekannt sein, damit sich die Abweichungen ΔP bestimmen lassen. Hier ist insbesondere die Vollständigkeit der betrachteten ΔP relevant, wie die Studie von Ahmed zeigt (vgl. Abbildung 5.6 und [Ahme00]).

Ferner sind diese ΔP und damit die Evaluierung unterschiedlich zu bewerten. Deshalb sind die für gesetzte Merkmale, Eigenschaften und Relationen verantwortlichen Personen für Rückfragen und Kontext eine weitere Information zur Evaluierung. Die Genauigkeit und Akkuratheit der bestimmten ΔP ist variabel. Relevant ist hier der Status der betrachteten Merkmale, d.h. ob diese vorläufig geschätzt, gesetzt etc. sind. Gleiches gilt für die bestimmten Eigenschaften. Die hieraus erkennbare Akkuratheit der geschätzten/bestimmten Ist-Eigenschaften kann bei der Evaluierung hilfreich sein.

Die Gesamtheit dieser Informationen wird im Folgenden als *Evaluierungswissen* bezeichnet.

Im nächsten Schritt müssen aus dem Ergebnis der Evaluierung Schlussfolgerungen für den Entwicklungsprozess getroffen werden. Hierzu muss eine Interpretation der Evaluierung unter Berücksichtigung der Genauigkeit und Akkuratheit erfolgen. Hinzu kommt, dass eine Signifikanz der einzelnen ΔP bestimmt werden muss. Sind eventuelle Abweichungen

akzeptabel und alle zur Herstellung erforderlichen Merkmale hinreichend bekannt, so ist der Entwicklungsprozess beendet. Ansonsten muss entschieden werden, welche Merkmale als nächstes bearbeitet werden und mithilfe welcher Relationen die Synthese von statten gehen soll.

Die Gesamtheit dieser Informationen wird im Folgenden als *Schlussfolgerungswissen* bezeichnet.

Prozessorientiertes Wissen besteht demzufolge aus produktorientiertem Wissen, Evaluierungswissen und Schlussfolgerungswissen. Der Einsatz dieser Elemente ist, wie der ganze Prozess, abhängig von einem zeitlichen Verlauf.

Die Hauptschwierigkeit im Erwerb und der Handhabung von prozessorientiertem Wissen liegt im nicht-deterministischen Charakter des Produktentwicklungsprozesses, wie auch zuvor schon unabhängig von CPM/PDD von Hicks et al. [HCAM02] festgestellt wurde. Es ist nicht vorhersehbar, wie die entwickelte Lösung und der Verlauf des Prozesses aussehen wird (vgl. hierzu auch die Betrachtungen von Hatchuel und Weil, Abschnitt 3.1.3) und somit ist es auch nicht vorhersehbar, wie der Produktentwicklungsprozess ablaufen wird. Dies wird z.B. in Untersuchungen des Soll und Ist-Reifegrads eines Produktentwicklungsprojektes verdeutlicht, wo unvorhergesehene Abweichungen im zeitlichen Verlauf erkennbar sind [Müll08].

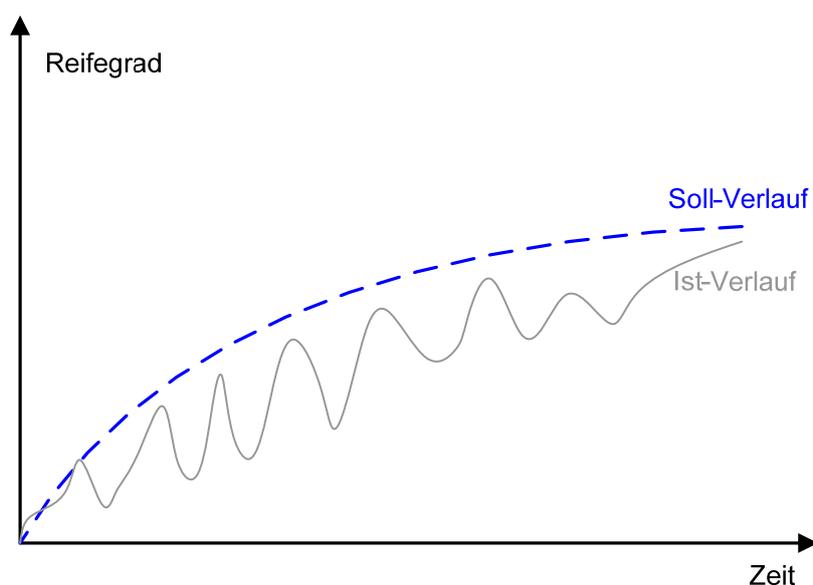


Abbildung 5.9: Vergleich Soll- und Ist-Reifegrad nach [Müll08]

Dieser nicht-deterministische Charakter äußert sich insbesondere in der Situationsabhängigkeit des Wissens von Evaluierung und Schlussfolgerungen. Die Strategie für diese muss dynamisch während des Prozesses entsprechend der bestimmten Merkmale und Eigenschaften angepasst werden.

Eine zweite Schwierigkeit liegt in der (Un-) Vollständigkeit der verfügbaren Informationen. Um richtige Ergebnisse bei der Evaluierung zu erhalten und aus diesen richtige Schlussfolgerungen ziehen zu können, müssen hinreichend viele Informationen des Produktentwicklungsprozesses verfügbar sein.

Der Einsatz von Informationstechnologien soll genau diese Schwierigkeiten abschwächen. Sie sollen genau die jeweils erforderlichen (also situationsbezogenen) Informationen möglichst vollständig zur Verfügung stellen, da durch eine effektive und effiziente Nutzung von Informations- und Wissensquellen auch ein verbesserter Prozess und ein besseres Endprodukt resultieren können. Um Informationen und Wissen auf die beste Art und Weise nutzen zu können, ist es notwendig, effektive Mittel zur Identifizierung, Erfassung, Speicherung und zum Zugriff bereitzustellen [HCAM02].

5.6 Problemstellen und Ansatzmöglichkeiten für Verbesserungen

In diesem Abschnitt werden zunächst allgemeine Problemstellen und Ansatzmöglichkeiten dargestellt, bevor der zweite Abschnitt auf speziellere Gruppen von Software eingeht. Im dritten Teil werden allgemeine Aspekte zur Wissenserfassung, bei der erläuterten Einteilung in Produktwissen und Prozesswissen dargelegt.

Hierdurch soll ein Ausgangspunkt zur Betrachtung von Semantischen Netzen in der Produktentwicklung in Kapitel 7 gebildet werden, der eine Möglichkeit darstellen kann, den folgenden Defiziten zu begegnen.

5.6.1 Allgemeine Betrachtungen

Die diskutierten Ansätze zu Wissen und den Wissensquellen bei der Produktentwicklung machen deutlich, dass ein Großteil der Aktivitäten auf Intuition und Erfahrung basieren. Ein großer Anteil des verwendeten Wissens ist nur implizit vorhanden. Doch auch bei der

Verwendung von expliziten Wissensquellen ist häufig implizites Wissen erforderlich, sei es um die entsprechenden Quellen zu finden oder um sie verwenden zu können und zu verstehen.

Eine Externalisierung ist jedoch zur Bewahrung und Weitergabe erforderlich wie in Kapitel 2 gezeigt wurde. Doch diese Explizitmachung von implizitem Wissen bringt mehrere Probleme mit sich. Zum einen werden der hierzu notwendige Zeitaufwand und die damit verbundenen Kosten gescheut. Zum anderen muss auch eine adäquate Infrastruktur vorhanden sein, um entsprechendes Wissen abzulegen. Zumeist erfordert es einer Transformation in ein hierarchisches Ablagesystem (z.B. in ein PDM-System) um den vernetzten Charakter von implizitem Wissen, wie er in Kapitel 2 beschrieben wurde, in sinnvoller Weise abzulegen. Hierbei kann es vorkommen, dass es keine geeignete oder gleich mehrere mögliche Ablagestellen gibt.

Doch wie bereits beschrieben wurde, ist auch bei explizit vorhandenen Informationsträgern die Wiederverwendung selten (vgl. [AhWa06]). Eine Ursache hierfür kann die Flut an verfügbaren Daten sein, die bei Suchanfragen zu einer kaum überschaubaren Ergebnismenge führen kann (vgl. hierzu auch Abschnitt 6.3). Auch die heterogenen Datenquellen können eine Ursache darstellen, da der Benutzer sie zumeist einzeln durchsuchen muss. Zudem kann die Sichtweise auf eine Information zum Zeitpunkt des Zugriffs eine andere sein als zum Zeitpunkt der Erfassung, insbesondere falls diese von verschiedenen Personen vollzogen werden (vgl. z.B. Domain Theory in Abschnitt 3.1.2).

5.6.2 Informationstechnische Lösungen und CPM/PDD

Im Folgenden werden bestehende informationstechnische Lösungen für den Produktentwicklungsprozess und deren Einsatz auf Grundlage von CPM/PDD betrachtet. Hierbei soll keine detaillierte Beschreibung des kompletten Leistungsumfangs dieser Programme erfolgen. Die Betrachtungen beruhen maßgeblich auf Arbeiten von Weber, Werner und Deubel (u.a. [WeDe02], [WeWD03]), bzw. Vajna et al. [VWBZ09], die diesen Sachverhalt insbesondere im Hinblick auf CPM/PDD näher untersucht haben. Für detailliertere Betrachtungen zu dieser Thematik sind diese Quellen hierzu empfohlen.

Product Data Management (PDM)

Die Verwendung von PDM-Systemen fokussiert heutzutage hauptsächlich auf der Administration und Verwaltung von computergenerierten Produktdaten [WeDe02] und deren Dateien [WeWD03]. Die verwalteten Produktdaten bieten hierbei zu wenige Hintergrundinformationen und sind zu statisch. Das Einbringen entsprechender Zusatzinformationen erfordert umfangreiche Zusatzeingaben, was sehr mühsam und bei einer Suche wenig ergiebig ist [WeDe02].

PDM-Systeme büßen, so Weber et al. [WeWD03] für den Mangel einer formalisierten Repräsentation von Produkten: Sie hantieren mit Daten, nicht mit Informationen oder Wissen. Diese sind oft in verschiedensten Dokumenten verschüttet und werden von unterschiedlichen Software Tools verwaltet, die keine gemeinsame Sprache sprechen.

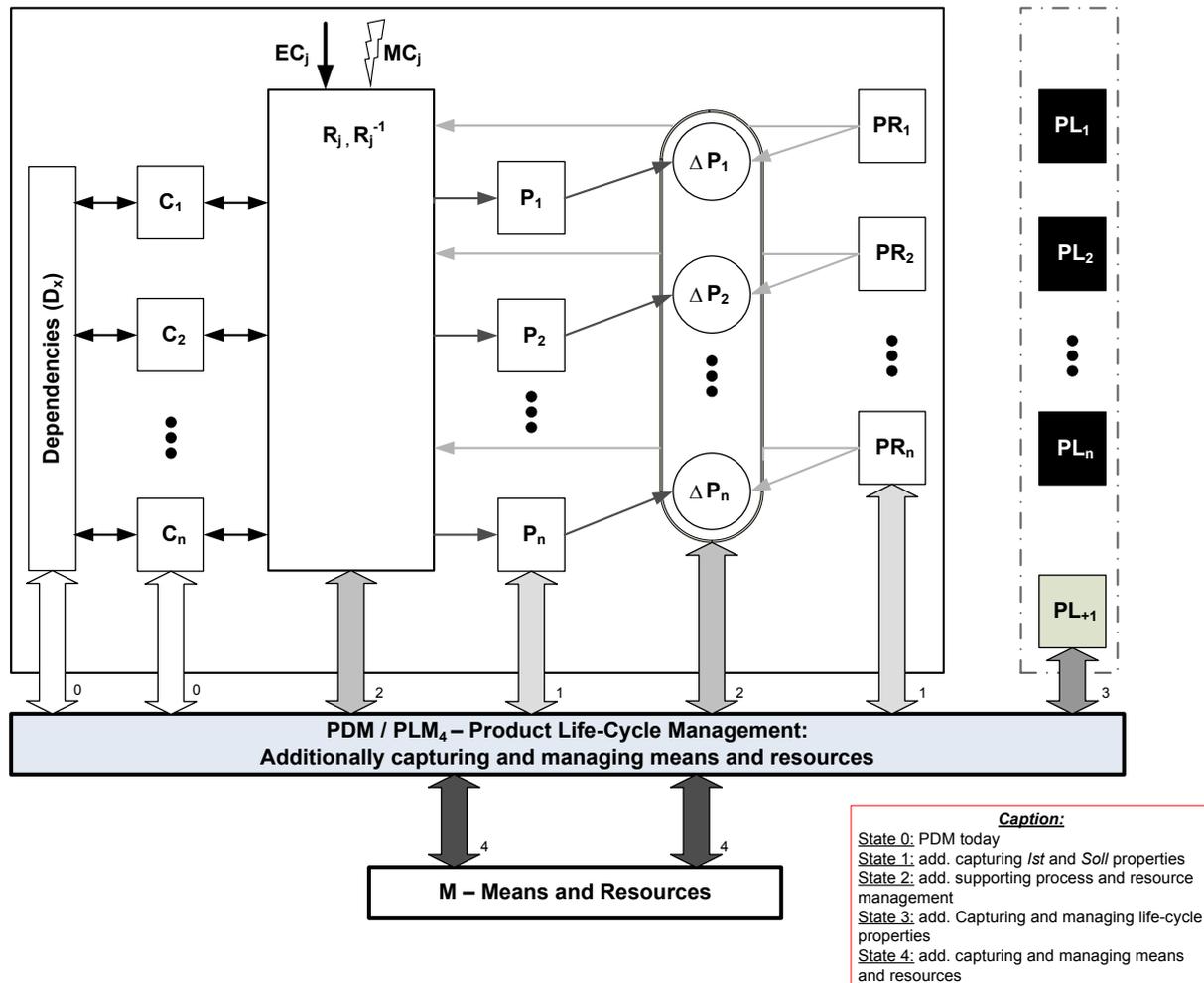


Abbildung 5.10: PDM und CPM/PDD nach [WeWD03]

Das Workflowmanagement innerhalb von PDM-Systemen ist limitiert auf statisches Verarbeiten von vordefinierten Prozessmustern [WeWD03]. Sie sind für den Produktentwicklungsprozess zu unflexibel und nicht ausreichend aufgelöst [WeDe03]. Dies ist speziell im Zusammenhang mit dem Abbilden von Prozessinformation- und Wissen kritisch, da diese nicht-deterministischen Elemente in ein vordefiniertes, deterministisches Muster gebracht werden müssen.

Zudem erläutert [WeWD03], dass durch die mangelnde Formalisierung bei der Repräsentation von Produkten eine hohe Abhängigkeit zu den jeweiligen Softwareanbietern erzeugt wird. Wie jedoch schon in Abschnitt 3.2 erläutert ist, sind Eigenschaften sehr stark domänen- und branchenabhängig. So ist es für diese Hersteller nicht möglich, Spezialisierungen ihrer Produktmodelle für alle Anwender zu schaffen.

Im Hinblick auf die Theorie von CPM/PDD stellen Weber et al. [WeWD03] die Leistungsfähigkeit von aktuellen PDM-Systemen dar (vgl. Abbildung 5.10). Hier wird deutlich, dass die erfassten Daten hauptsächlich die Merkmalsseite des CPM-Modells abdecken.

In Abbildung 5.10 werden verschiedene Stadien der Weiterentwicklung und Verbesserung von PDM Systemen hin zu Systemen, die den gesamten Lebenszyklus eines Produktes, das Produkt Lifecycle Management (PLM) vorgeschlagen. Somit wird die derzeitige Verwendung von PDM-Systemen eher der Bezeichnung „Buchhalter“ gerecht, der Dokumente, Zugriffsrechte und Freigaben verwaltet [WeWe99].

Computer Aided Design (CAD)

Computer Aided Design (CAD)-Systeme sind in der Praxis die eigentlichen Master-Programme. Sie enthalten das aktuelle Produktmodell und dienen als Quelle für alle anderen involvierten Werkzeuge und Systeme, z.B. auch für PDM-Systeme [WeWD03].

CAD ist überwiegend geometrieorientiert, obwohl es Bemühungen zur Integration anderer Funktionen wie z.B. Entwurf und Berechnung gibt [VWSS94]. Ausgehend hiervon müssen alle weiteren Merkmale und Eigenschaften an Geometrie-Elemente geheftet werden [WeWD03].

Werden CAD-Systeme im Hinblick auf CPM/PDD betrachtet, so fokussieren diese auf das Abbilden von Merkmalen in Form von Position und Orientierung, Geometrie, geometrische

Abhängigkeiten und Topologie sowie teilweise der Teilestruktur, Identifikation und Klassifizierung, Materialkennwerten und –verteilung [WeWe00]. Bei parametrischen CAD-Systemen werden zusätzliche innere Abhängigkeiten abgebildet. Nach Vajna et al. [VWBZ09] macht es jedoch Sinn, die Geometrie mit einem spezialisierten System zu bearbeiten, da fast alle Produkteigenschaften auch von geometrischen Merkmalen abhängen und der Geometrie somit eine immense Bedeutung zukommt.

Existierende CAD-Systeme werden als weitgehend passive Werkzeuge eingesetzt. „Das heißt, dass sie ohne Teilnahme an Entscheidungs- und Bewertungsprozessen genau das ausführen, was ihnen über Modellieranweisungen mitgeteilt wird“. [Yara91]. Dies ist auf die allgemein gehaltene Funktionalität der Systeme und der Modellinhalte zurückzuführen, was aus Gründen der Universalität der Systeme angestrebt wird [Yara91]. Dabei wird je nach Anwendungszweck eine unterschiedliche Ausprägung der Geometrie benötigt, z.B. für eine Analyse mit DMU die äußeren Hüllen oder für eine Finite Elemente Methode (FEM) Analyse eine vernetzte Struktur, was für die mittels CAD erfassten Merkmale nicht berücksichtigt wird [VWBZ09].

Computer Aided Engineering (CAE)

CAE-Programme sind im Hinblick auf CPM/PDD im wesentlichen Analysewerkzeuge [WeDe02]. Das bedeutet, dass sie aus bestehenden Merkmalen über Relationen einige Eigenschaften des Produktes bestimmen. Sie stellen somit den „(...) Idealtypus des Eigenschaftsmodellierers (...)“ [Webe03] dar. Dabei sind für gleiche Eigenschaften je nach Entwicklungsphase mehrere und unterschiedliche CAE-Werkzeuge erforderlich [Webe03]. Als Synthesewerkzeug können CAE-Programme nur sehr bedingt und unter der Voraussetzung dienen, dass Merkmale und Eigenschaften über eindeutig bestimmte und umkehrbare Relationen verbunden sind [Webe03].

Eine Erfassung des gewählten Analysewerkzeuges ist nach Vajna et al. [VWBZ09] durchaus wichtig, da unterschiedliche Systeme (z.B. FEM-Systeme unterschiedlicher Hersteller) bei gleichen Eingangsbedingungen unterschiedliche Ergebnisse liefern.

Computer Aided Optimisation (CAO)

Die Computer Aided Optimisation soll hier als eine Vertreterin für die computerunterstützte Durchführung von Syntheseschritten [WeDe02] erwähnt werden. Sie benötigt jedoch bereits

eine Startlösung, deren Erstellung in der Praxis bereits Teil des Produktentwicklungsprozesses ist [VWBZ09]. Zudem ist es aufgrund der Spezialisierung aktueller CAO-Systeme auf wenige Eigenschaften nicht möglich, alle relevanten Eigenschaften während der Produktentwicklung zu berücksichtigen, was jedoch für eine automatisierte Durchführung unerlässlich ist [VWBZ09].

5.6.3 Zusammenfassung der Betrachtung von produkt- und prozessorientiertem Wissen im rechnerunterstützten Produktentwicklungsprozess

Die Defizite zu Produkt- und Prozessorientiertem Wissen sollen unter Berücksichtigung der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Aspekte im Folgenden nochmals zusammengefasst werden, da diese eine mögliche Betrachtungsweise für die Evaluierung von Semantischen Netzen im Produktentwicklungsprozess bieten.

Produktorientiertes Wissen

Das Abbilden von produktorientiertem Wissen durch informationstechnische Applikationen ist hauptsächlich auf Geometrie und somit auf Merkmale beschränkt. Die Soll-Eigenschaften und Ist-Eigenschaften sind nur schwach abgedeckt. Wie zuvor erläutert, kann ein Hauptgrund der domänen- und branchenabhängige Charakter der Produkteigenschaften sein.

Fälle	A	B	C	D	E	F	G
Produktmerkmale (C_i)	•	•	•	•	•	•	•
Abhängigkeiten zwischen Merkmalen (D_x)		•	•	•	•	•	•
(Ist-) Eigenschaften (P_i)			•	•	•	•	•
Geforderte (Soll-) Eigenschaften (PR_i)				•	•	•	•
Äußere Rahmenbedingungen (EC_i)					•	•	•
Beziehungen (Methoden/Werkzeuge) für die Analyse/Synthese (R_i, R_i^{-1})						•	•
Modellierbedingungen (MC_i)							•

Abbildung 5.11: Mögliche Umfänge von Produktmodellkonzepten nach [VWBZ09]

Relationen R_j und R_j^{-1} sind sehr heterogen. Sie können durch Expertenwissen, Versuche und Vieles mehr gebildet werden. Deshalb sind sie nur schwer mit „konventioneller“ Informationstechnik beherrschbar. Diese Elemente können zwar bedingt als Metadaten an PDM-Systeme angekoppelt werden, die Interpretation und Semantik bleiben jedoch verborgen. Abbildung 5.11 zeigt zusammenfassend verschiedene Umfänge, die vom

Produktmodell nach Vajna et al. erfasst werden können, die grau hinterlegten Felder bezeichnen den gegenwärtigen Stand [VWBZ09].

Prozessorientiertes Wissen

Die Abbildung des prozessorientierten Wissens ist durch das nicht situationsbezogene Abbilden von Prozessen eingeschränkt. Eine hinreichende Evaluierung (also die Abbildung von *Evaluierungswissen*) ist durch die eingeschränkte Möglichkeit der Abbildung von Relationen nur bedingt möglich, da keine Interpretation der Analysegüte möglich ist. Selbst wenn beispielsweise über Metadaten eine Quelle für eine Relation angegeben wurde, so ist diese nicht informationstechnisch evaluierbar. Durch die Bereitstellung von Requirements-Management Softwaresystemen, die die Anforderungen verwalten, ist zwar eine Erfassung der Soll-Eigenschaften möglich, eine Anbindung an die bestenfalls in PDM-Systemen abgebildeten Ist-Eigenschaften ist jedoch, wenn überhaupt nur schwach gegeben [VWBZ09].

Außerdem ist die Motivation für die gezogene Schlussfolgerung (Schlussfolgerungswissen) kaum nachvollziehbar. Es werden Änderungen verfolgt, dokumentiert und archiviert; die zugrunde liegenden Interpretationen der Evaluierung von Analyseergebnissen werden jedoch nicht erfasst.

5.7 Stand der Forschung im Bereich Semantische Technologien in der Produktentwicklung

Das Potential semantischer Technologien in der Produktentwicklung wurde bereits in mehreren Projekten erkannt und deren Verwendung angedacht. Exemplarisch werden, teilweise auf den Betrachtungen von Speicher [Spei08] basierend, im Folgenden einige dieser Forschungsprojekte aufgezeigt.

5.7.1 The Semaril

Die Software The Semaril⁷ ist das Ergebnis eines Forschungsprojektes am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD an der Universität des Saarlandes [WePS04], [WWPS05], [PSWW05], [CDKW07]. Ziel war es, eine Software zu entwickeln, um Produktdaten sowie Arbeitsabläufe auf Grundlage einer semantischen Netzstruktur zu verwalten. The Semaril soll es ermöglichen, auch bei komplexen Projekten den Überblick zu behalten. Es fungiert als universelle Datenbank, die fähig ist, jede mögliche Datenstruktur zu repräsentieren. Innerhalb dieses Semantischen Netzes können Notizen, Verlinkungen zu Begriffen, Dateien oder Internetseiten erfolgen. Der Inhalt kann durch Baumstrukturen, Hypertext-Seiten oder Excel-Tabellen dargestellt werden. The Semaril soll vor allem die Projektdaten von einem einzelnen Nutzer verwalten und nicht von ganzen Teams gleichzeitig eingesetzt werden.

Die Kernfunktionen und beabsichtigten Anwendungsgebiete von The Semaril werden durch die folgenden Punkte beschrieben [WePS04]:

- Notizblock
- HTML-Editor
- Werkzeug zum Verwalten von Dokumenten
- Werkzeug zum Dokumentieren von Projekten und Erstellen von Berichten
- Wissensmanagement-Tool
- Werkzeug, um verschiedene Excel-Tabellen zu synchronisieren
- Werkzeug, um Semantische Netze zu bearbeiten und innerhalb dieser zu navigieren
- universelle Datenbank

Abbildung 5.12 zeigt den Aufbau des Interfaces von The Semaril und die dazugehörigen Funktionen.

⁷ Verfügbar unter <http://www.semaril.de>

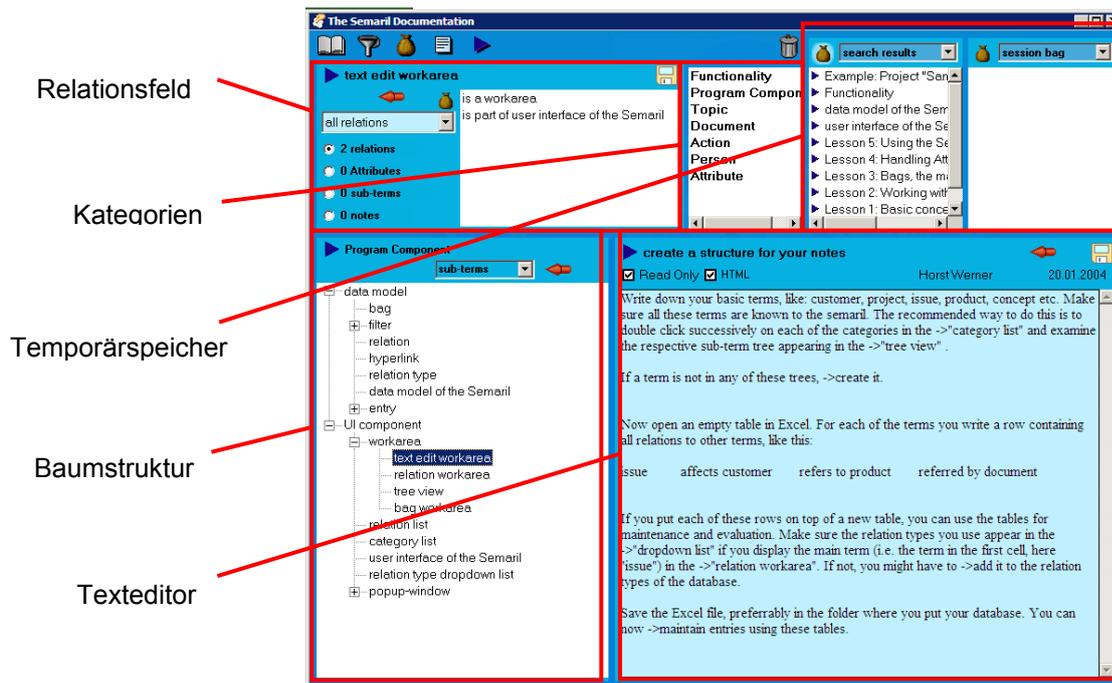


Abbildung 5.12: Benutzerinterface von The Semaril

Im Relationsfeld werden alle auftretenden semantischen Relationen des aktuellen Knotens angezeigt. Kategorien bezeichnen die angelegten Basiskategorien. Hier können alle Elemente der jeweiligen Kategorie per Doppelklick angezeigt werden. Der Temporärspeicher bzw. Bag ermöglicht es in The Semaril, auf Elemente, die häufig verwendet werden, schneller zugreifen zu können. Es ist auch möglich, auf die Elemente eines Bags individuell vom Benutzer gestaltete Filter anzuwenden. Elemente werden durch Drag and Drop zu einem Bag hinzugefügt. Die Baumstruktur zeigt diejenigen Elemente im Projekt mit einer „ist ein“- oder „ist Teil von“-Relation in hierarchischer Struktur an. Um Elemente zu bearbeiten, können diese per Drag and Drop in den Texteditor gezogen und bearbeitet werden. In The Semaril gibt es grundsätzlich 3 Typen von Elementen (Knoten):

- *Terms* sind Knoten, die durch Relationen mit anderen Knoten verknüpft sind. Terms besitzen eine “is a” Relation, die die Bedeutung näher erläutert. Nur Basiskategorien besitzen keine solche Relation.
- *Notes* werden verwendet, um zusätzliche Informationen anzuhängen. Sie besitzen nur eine fiktive “refers to” Relation, um eine konsistente Datenstruktur zu gewährleisten.

- *Orphans* sind Einträge ohne Relation. Diese können zum Beispiel durch Löschoptionen entstehen und stellen im Hinblick auf die Intention Semantischer Netze keine Information dar.

Eine Schwierigkeit von The Semaril stellt nach Betrachtungen der Studie von Speicher [Spei08] die Benutzerschnittstelle dar, die größtenteils über „Drag and Drop“ gesteuert wird. Dies verursacht insbesondere für The Semaril-Neulinge große Schwierigkeiten, da der Benutzer insbesondere durch diese Technik keine Rückmeldung darüber erhält, was er gerade getan hat.

Eine weitere Einschränkung stellt die bei The Semaril nicht realisierte Vererbungsstruktur innerhalb des Semantischen Netzes dar. Somit sind die Möglichkeiten, die eine objektorientierte Datenstruktur bietet, hier nicht vollständig ausgeschöpft.

Das The Semaril Projekt zeigt Einsatzmöglichkeiten Semantischer Netze auf. Die zugehörigen Veröffentlichungen verdeutlichen interessante Einsatzmöglichkeiten und Szenarien, ohne jedoch die Verwendung systematisch zu untersuchen.

5.7.2 SEVENPRO

Das Forschungsprojekt Semantic Virtual Engineering Environment for Product Design (SEVENPRO) wird von der Europäischen Kommission und mehreren Privat-Unternehmen aus 5 EU-Ländern gefördert. Das Projekt läuft seit 2006. Ziel ist es, den Prozess der Produktentwicklung durch den Einsatz ontologiebasierter, semantischer Technologien zu unterstützen. Hierbei stehen CAD-Systeme, Dokumentations- und ERP-Datenbanken primär als Wissensquellen im Fokus. Die Ergebnisse sollen anhand der Kriterien Zeit, Wiederverwendbarkeit von vorhandenem Wissen und Reduktion der Technikkosten evaluiert werden. Dabei stehen als Zielgruppe insbesondere Firmen mit eigener Forschungs- und Entwicklungsabteilung im Vordergrund. Das in diesem Projekt entwickelte System soll typische Probleme, mit denen diese Abteilungen umgehen müssen, mildern. Diese sind nach Auffassung der Projektmitglieder [TSDK07]:

- weit verstreute und heterogene Informationsquellen (Datenblätter, CAD-Daten etc.)
- fehlender Informationsaustausch unter Teammitgliedern

- steigende Komplexität und Individualisierung der Produkte
- lange Produktzyklen
- Transfer von neuem Wissen der Forschungs- und Entwicklungsabteilung zu anderen Bereichen und zum Markt selbst

Die Entwickler fokussieren auf der Handhabung von drei Dateitypen: Officedokumente, CAD- und ERP-Daten. Besondere Bedeutung kommt dabei dem CAD- und ERP-Annotationsmodul zu. Das CAD-Modul filtert aus CAD-Daten die wichtigsten Informationen über die Teilestruktur und die Verknüpfung mit anderen CAD-Daten (z.B. bei Assembly-Daten). Das ERP-Modul erlaubt es, Informationen aus alten Datenbanken oder ERP-Systemen der Unternehmen zu extrahieren, ohne diese zu ersetzen. Die Idee dabei ist, Eigenschaften der Produktontologien durch Datenbankabfragen darzustellen, um so das relevante Wissen zu rekonstruieren.

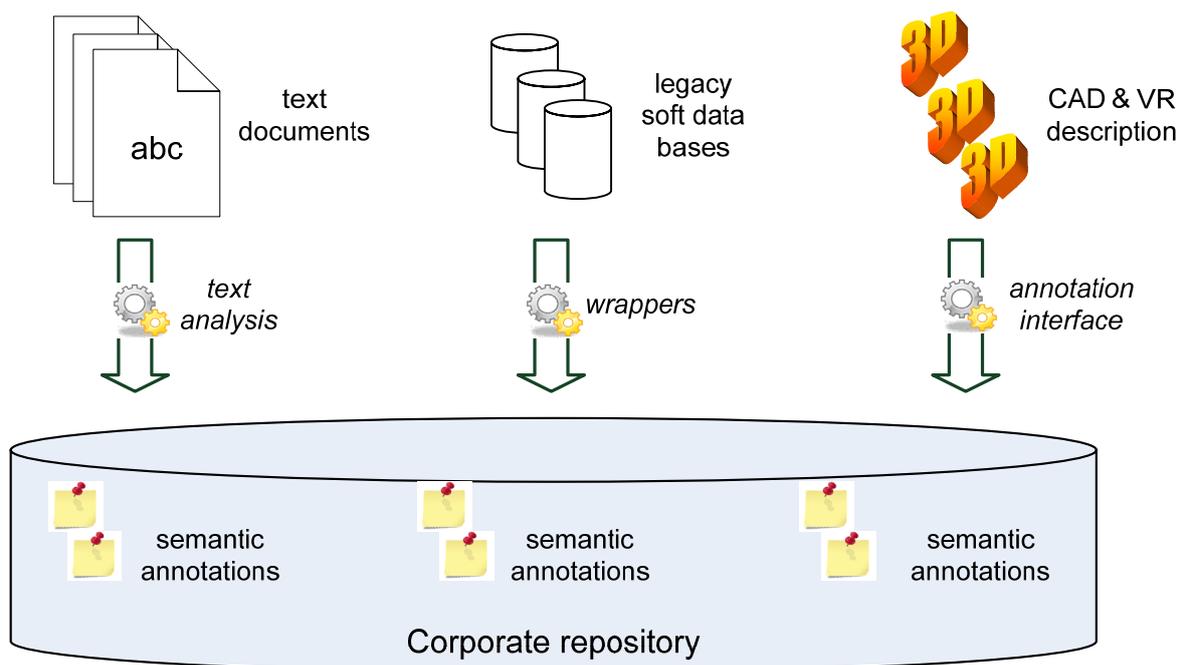


Abbildung 5.13: Architektur von SEVENPRO nach [www6]

Die Integration soll dabei über einen semantischen Server, dem *Corporate Repository* realisiert werden. Die eigentliche Repräsentation soll nahe an die Anwenderfirma angepasst sein. Dies wird durch die Vorgabe so genannter Grund-Ontologien bzw. Strukturen realisiert, die dann vom Benutzer verwendet werden können, um seine individuelle Ontologie zu

schaffen. Dadurch will SEVENPRO der notwendigen Flexibilität in der Produktentwicklung innerhalb der Unternehmen Rechnung tragen.

Derzeit sind zu SEVENPRO neben den Jahresberichten 2006 und 2007 [www6] mehrere Konferenzveröffentlichungen (z.B. [TSDK07]) sowie eine Projekt-Homepage [www6] verfügbar. Der aktuelle Stand des Softwareprototyps, erste Ergebnisse sowie dessen konkrete Ausgestaltung und Funktionalitäten sind jedoch nicht veröffentlicht.

6 Semantische Netze

6.1 Entstehung und Geschichte der Semantischen Netze

Bereits im Jahr 1909 schlug der Mathematiker, Logiker und Philosoph Charles Peirce eine grafische Schreibweise (Notation) für logische Aussagen aus Knoten und Kanten vor, die er *existential graphs* nannte [Peir31]. Peirce wollte mit diesen Graphen die Schreibweise als Prädikatenlogik, an deren Entwicklung er selbst beteiligt war, aus philosophischer Sicht verbessern [Zema64]. Die *existential graphs* bildeten die Grundlage für die von dem Sprachwissenschaftler John Quillian 1968 beschriebenen Semantischen Netze [Quil68]. Quillian gilt als Begründer der Semantischen Netze in der Künstlichen Intelligenz (KI) [Reim91], die seither eine signifikante Rolle in der Erforschung von Wissensrepräsentationen spielen [Shas88].

Große Aufmerksamkeit erlebten semantische Technologien durch das 1994 von Berners-Lee geprägte Semantic Web [Bern94]. Dieser Ansatz nutzt die Idee Semantischer Netze, um Informationen von Webseiten nicht nur für Menschen interpretierbar zu machen, sondern darüber hinaus auch für Computer. Das Semantic Web stellt mittlerweile eines der Hauptforschungsgebiete im Zusammenhang mit semantischen Technologien dar.

6.2 Grundlagen zu Semantischen Netzen

6.2.1 Grundsätzlicher Aufbau Semantischer Netze

Zum Aufbau eines Semantischen Netzes gibt es viele Aussagen verschiedener Autoren, die im Kern ein ähnliches Konstrukt beschreiben. Nach der Encyclopedia of Artificial Intelligence ist „a semantic network (...) a graphic notation for representing knowledge in patterns of interconnected nodes and arcs“ [Shap87]. Weiter beschreibt Helbig, dass ein Semantisches Netz „das mathematische Modell einer konzeptionellen Struktur ist, das aus

einer Menge von Konzepten⁸ und kognitiven Beziehungen zwischen diesen besteht. Es wird durch einen generalisierten Graphen dargestellt, bei dem die Konzeptrepräsentanten den Knoten des Graphen entsprechen und die Relationen zwischen Konzepten entsprechen den Kanten“ [Helb96]. Brachmann betont auch, dass in einem Semantischen Netz die Beschriftungen der Knoten erst durch Verbindungen zu anderen Knoten ihre Bedeutung erlangen [Brac79]. Auch Giarratano und Riley weisen darauf hin, dass Wissen ohne die zugehörigen Beziehungen nur eine Sammlung von Fakten darstellt [GiRi98].

Abbildung 6.1 zeigt die hieraus folgende grafische Darstellung eines minimalen Semantischen Netzes aus zwei Knoten und einer sinnbehafteten Kante. Die durch das Netz transportierte Bedeutung wird also durch die Tripel

$$\{(x, r, y) \mid x, y \in \text{Knoten} \wedge r \in \text{Kanten}\}$$

repräsentiert. Da diese sinnbehaftete Kante einen Zusammenhang zwischen zwei Knoten darstellt, wird sie auch als Relation bezeichnet.

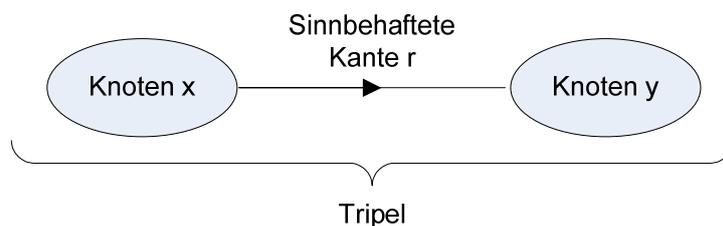


Abbildung 6.1: Aufbau Semantischer Netze nach [Shap87]

Dabei gibt es jedoch nicht „eine richtige“ Struktur Semantischer Netze, sondern viele Variationen und Interpretationen [RuNo03]. Welche Beziehungen und insbesondere welche Kantentypen erlaubt sind, wird in verschiedenen Modellen sehr unterschiedlich festgelegt.

6.2.2 Einordnung in die Wissensrepräsentationen

Um Semantische Netze innerhalb der Vielzahl der Wissensrepräsentationen einordnen zu können, soll die Thematik der Wissensrepräsentation in diesem Abschnitt diskutiert werden. Brachmann und Levesque definieren Wissensrepräsentationen als das Aufschreiben von

⁸ Der Begriff Konzept wird in Abschnitt 6.2.5 näher diskutiert.

Repräsentationsstrukturen d.h. Symbolen, die in einer erkennbaren Weise einem Ausschnitt einer zu repräsentierenden Umgebung entsprechen [BrLe85].

Aufgrund der unklaren Formulierung des Ausdrucks „in einer erkennbaren Weise“ hat Reimer diese Definition dahingehend erweitert, dass „das Aufschreiben von Strukturen erst dann eine Repräsentation ergibt, wenn es eine Interpretationsvorschrift gibt, die mindestens die Formulierung und Auswertung von Anfragen (...) auf diesen Strukturen zulässt“ [Reim91].

Newell führt dies in der Formel

$$\textit{Representation} = \textit{Knowledge} + \textit{Access}$$

zusammen [Newe82].

Zur näheren Betrachtung der Wissensrepräsentationen sind dabei verschiedene Ebenen zu unterscheiden. Ein Objekt aus der realen Umwelt kann in einem Computersystem beispielsweise durch eine Zeichenkette repräsentiert werden, die ihrerseits wieder (über mehrere Stufen) als eine Folge von Nullen und Einsen im Speicher abgebildet wird.

Die sich hieraus ergebenden Ebenen (auch Schichten genannt) werden von verschiedenen Autoren unterschiedlich interpretiert und voneinander abgegrenzt. Hier sei insbesondere auf die Ebenen von McCarthy und Hayes [CaHa69], auf die von Scheffe [Sche82], auf Newell [Newe82] und auf das ISO-OSI-Schichtenmodell [ISO7498-1] und dessen Interpretation durch Muth [Muth94] verwiesen.

Eine anschauliche Gliederung der Wissensrepräsentationssysteme in der Informatik zeigt Helbig [Helb06], der diese baumartig darstellt (vgl. Abbildung 6.2). Hierbei unterscheidet Helbig in Datenmodell, objektorientierte, regelorientierte und lexikalische Systeme, wobei Semantische Netze zu den objektorientierten Systemen gezählt werden. Weiter untergliedert Helbig in kognitive Semantische Netze, wie sie zur Darstellung menschlicher Sprache genutzt werden, und in Netze mit strukturierten Vererbungsregeln, die in dieser Arbeit verwendet werden sollen.

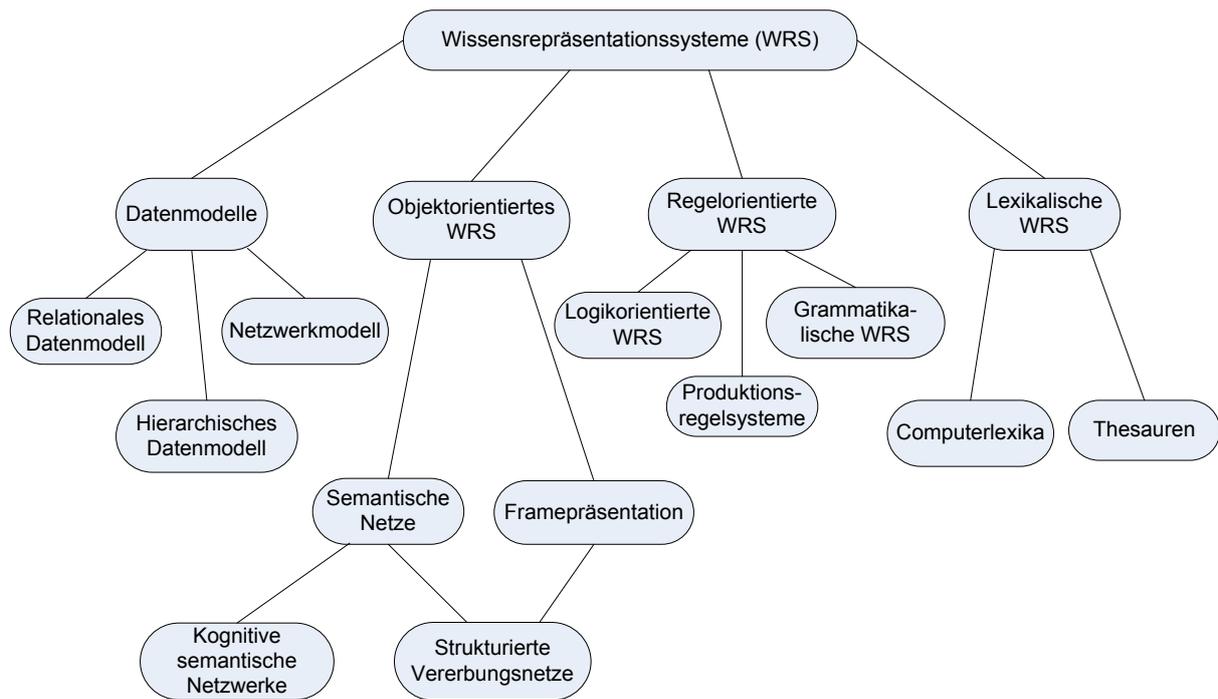


Abbildung 6.2: Einordnung Semantischer Netze in die Wissensrepräsentationssysteme nach [Helb06]

6.2.3 Objektorientierung Semantischer Netze

Da Semantische Netze zu den objektorientierten Wissensrepräsentationen gezählt werden können, soll in diesem Abschnitt die Objektorientierung erläutert werden. Dabei ist der Begriff hier nicht als Programmierparadigma zu verstehen und hat hier nichts mit der softwaretechnischen Umsetzung einer Applikation zur Verwendung Semantischer Netze zu tun.

Der Begriff Objektorientierung wurde in den 60iger Jahren maßgeblich von Kay [Kay03] geprägt. Er sieht ein Objekt als einen gedachten Baustein, der Zustände und Prozeduren beinhaltet. Auf diese Inhalte kann von außen nur mit Hilfe von Nachrichten zugegriffen werden, wobei das Objekt selbst entscheidet (im Sinne seiner Spezifikation), wie es auf eine Nachricht reagiert [Kay93], [Kay03].

Um die objektorientierte Denkweise und somit die objektorientierte Wissensrepräsentation zu charakterisieren, genügen nach Auffassung des Forschungsberichtes der DFG [DFG00] einige wenige und anschauliche Grundprinzipien, die den Kern der derzeit gültigen Objektorientierung bilden:



Abbildung 6.3: Aufbau eines Objektes nach [DFG00]

Geheimnisprinzip bzw. Prinzip der Attributkapselung: Die Basis des objektorientierten Paradigmas bildet die Behandlung der in der Problemwelt vorkommenden Dinge, Gegenstände, Sachverhalte und Personen als Objekte. Auf diese Objekte kann von außen zugegriffen werden, der innere Aufbau ist jedoch gekapselt.

Prinzip der Einheit von Daten, Methoden und Verbindungen: Die Daten eines Objektes, die sog. Attribute, bilden eine untrennbare Einheit mit dem Objekt und den mit dem Objekt verbundenen Methoden. Methoden definieren dabei, wie die Attribute eines Objektes zu verwenden und zu verarbeiten sind. Trotzdem besitzen Objekte Verbindungen zu anderen Objekten, sodass gerade bei komplexen Problemstellungen Beziehungsgeflechte zwischen den Trägern der Problemlösung modelliert werden können. Diese drei Säulen der Repräsentation der Problemwelt erlauben dabei eine realitätsnahe Abbildung.

Kommunikationsprinzip: Die Problemlösung basiert auf der Kommunikation zwischen den Objekten, die durch den Austausch sog. Nachrichten realisiert wird. Dieses Prinzip ist mit der Kommunikation und Kooperation mehrerer Fachleute in der realen Welt zu vergleichen, bei der jeder durch sein eigenes, nach außen hin nicht sichtbares Fachwissen Teillösungen zur Gesamtlösung beisteuert.

Prinzip der Mengenabstraktion bzw. Klassenprinzip: Die Objekte, die semantisch gleichartige Attribute, Methoden und Verbindungen haben, werden zu einem „generell gültigen Bauplan“ [DFG00] zusammengefasst, der als Klasse bezeichnet wird. So ist es möglich, Objekte aus ihrer Klasse heraus zu erzeugen und sie gegebenenfalls individuell zu

ergänzen und anzupassen, ohne jede Einzelheit zu implementieren. Methoden und Attribute einer Klasse lassen sich dabei vererben. Abbildung 6.3 visualisiert die erläuterten Grundprinzipien schematisch.

Das Paradigma der Objektorientierung hat eine sehr weite Verbreitung und eine Vielzahl unterschiedlicher Ausprägungen erfahren. Die DFG sieht jedoch in allen Varianten ein generell akzeptiertes, übergeordnetes Lösungskonzept, in das sich alle Vorgehenskonzepte einbetten lassen [DFG00]. Hiernach lassen sich objektorientierte Lösungen immer in drei Teilschritte gliedern:

- **Objektorientierte Analyse:** In einem Analyseschritt wird der Problemraum einer objektorientierten Analyse unterzogen.
- **Objektorientiertes Design:** In einem Entwurfs- oder Designschritt wird eine softwaretechnische Umsetzung der im Analyseschritt geschaffenen Ergebnisse vorbereitet.
- **Objektorientierte Programmierung:** In diesem Schritt werden aus den Ergebnissen der beiden ersten Schritte lauffähige Programme entworfen und entwickelt.

Es können in der Objektorientierung nach Booch [Booc91] zwei Klassentypen unterschieden werden: Abstrakte Klassen und konkrete Klassen. Abstrakte Klassen dienen dazu, die Gemeinsamkeiten anderer Klassen explizit darzustellen. Von konkreten Klassen können hingegen direkt Objekte erzeugt werden. Die individuellen Objekte werden dabei Instanzen genannt.

Bei den Beziehungen (Relationen) zwischen Klassen fasst Nieland [Niel96] mehrere Quellen zusammen (u.a. [Booc91], [RBPE91]) und stellt drei wesentliche Arten von Relationen heraus, die bei der Objektorientierung zwischen Objekten bestehen können:

- *Inheritance relations:* Diese dienen dazu, Gemeinsamkeiten von Klassen in einer Klassenhierarchie darzustellen. Dabei können gemeinsame Eigenschaften von Unterklassen (oder Subklassen) zu einer Oberklasse zusammengefasst werden. Dies wird als Generalisierung bezeichnet. Unterklassen können jedoch umgekehrt auch eine Erweiterung oder Spezialisierung der Eigenschaften einer Oberklasse darstellen, in der, ausgehend von den Eigenschaften der Oberklasse, diese erweitert oder spezialisiert werden.

- *Whole Part-Structures*: Hierbei setzt sich ein Objekt aus mehreren Teilobjekten zusammen. Dies wird auch als Aggregation bezeichnet.
- *Using Relationships*: Die zuvor dargestellten Relationen beschreiben den strukturellen, statischen Aufbau von objektorientierten Systemen. Using Relationships hingegen bilden die erforderlichen Interaktionen zwischen Objekten ab. Dies stellt nach Muth [Muth94] die Berücksichtigung der beiden dualen Aspekte, strukturelle Repräsentation und Verhaltensbeschreibung in der Objektorientierung dar.

Objektorientierte Wissensrepräsentationssysteme übertragen diese Eigenschaften der Objektorientierung auf die Wissensrepräsentation, im Kontext dieser Arbeit also auf Semantische Netze. Eine tiefere Analyse des objektorientierten Paradigmas, insbesondere im Hinblick auf die Produktentwicklung, gibt Muth [Muth94].

6.2.4 Semantik

Der Begriff Semantik stellt einen zentralen Begriff dieser Arbeit dar. Deshalb soll er im folgenden Abschnitt fokussiert untersucht werden. Semantik (griechisch: Zeichenlehre) steht dem Brockhaus Universal Lexikon zufolge für die „Bedeutungslehre“ und stellt ein Teilgebiet der Sprachwissenschaften dar. Sie beschäftigt sich mit dem Sinn und der Bedeutung von Sprache bzw. sprachlichen Zeichen und deren Beziehung zum gemeinten Gegenstand [Broc03]. Im Zusammenhang mit Programmiersprachen beschreibt das Brockhaus Universal Lexikon Semantik weiter als die Bedeutung, die Zeichen und Zeichenfolgen auf dem Rechner, auf dem das Programm ausgeführt wird, haben [Broc03].

Eine Möglichkeit zur Darstellung der Semantik von Daten sind Metadaten, also Daten über Daten [AnHa04]. Damit Metadaten von Rechnern verarbeitet werden können, benötigen sie allerdings einen gewissen Standardisierungsgrad wie z.B. das in Abschnitt 6.5 erläuterte RDF.

Eine andere Herangehensweise hat Neumüller. Er schreibt: „... semantic is the study of meaning“ [Neum01], wobei er Semantik insbesondere als Zweig der Semiotik sieht. Die Semiotik wurde maßgeblich von Morris [Morr79] geprägt. Sie unterscheidet drei Gebiete: Syntax, Semantik und Pragmatik. Die Syntax bezeichnet die Zeichendarstellung, die Semantik die Beziehung zwischen Zeichen und Objekten und die Pragmatik die Beziehung zwischen den Zeichen gegenüber Interpreten und Kontext [Morr79].

Aus dieser Sicht heraus ist der Begriff des Semantischen Netzes (und insbesondere der des in Abschnitt 6.2.6 erläuterten Semantic Web), wie er im allgemeinen Sprachgebrauch verwendet wird, nach Meinung mehrerer Autoren zu knapp gefasst (z.B. [Sowa00], [BIPe06]). Doch dem Brockhaus zufolge [Broc03] werden die Begriffe Semantik und Semiotik oft synonym verwendet. Deshalb sollen die Repräsentationen in dieser Arbeit der Terminologie als Semantische Netze folgen.

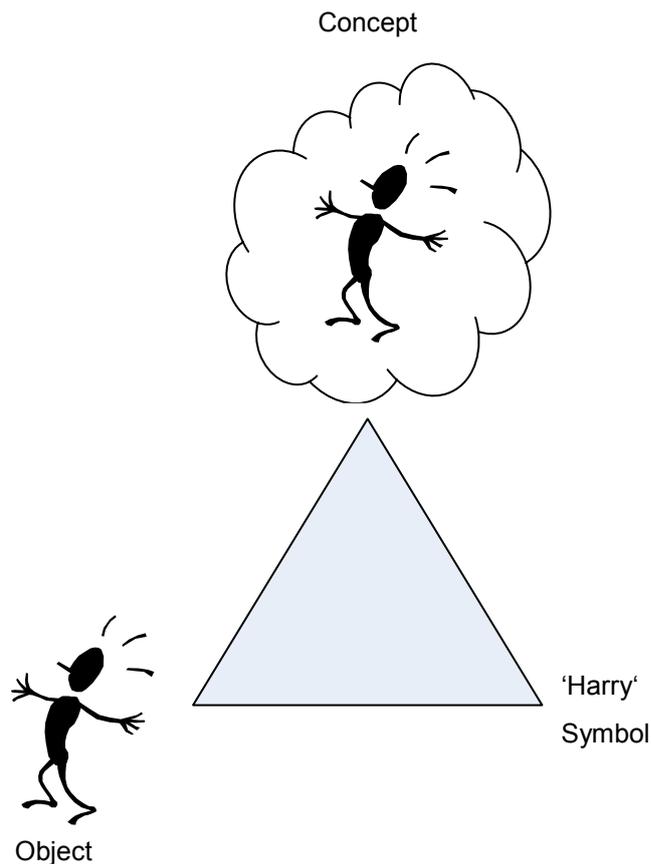


Abbildung 6.4: Das Triangle of Meaning nach [Sowa00a]

6.2.5 Konzepte

Im Gebiet der Wissensrepräsentationen wird der Begriff „Konzept“ sehr häufig gebraucht. Da er für Semantische Netze essentiell ist und in vorherigen Abschnitten bereits verwendet wurde, ohne explizit erläutert worden zu sein, soll der Begriff hier näher diskutiert werden. Sowa [Sowa00a] zitiert Odgen und Richards [OgRi23], die den Begriff Konzept durch das *Triangle of meaning* verdeutlichen. Sowa erläutert dies beispielhaft an einer Person namens Harry (vgl. Abbildung 6.4).

Neben der natürlichen Person an der linken Ecke existiert ein Symbol, das den Namen des Objektes Harry repräsentiert. Das Konzept stellt eine nicht schreibbare mentale Repräsentation oder neurales Muster dar, das durch die optische Wahrnehmung beim Adressaten erzeugt wird [Sowa00a]. Dieser, bereits von Aristoteles angedachten Unterscheidung folgt auch Frege [Freg07], der die Symbole als Zeichen, die Objekte als Bedeutung und die Konzepte als Sinn bezeichnet.

Zu dieser Interpretation zeigt Sowa weiter, dass zu dem Konzept von „Harry“ wieder ein Symbol und eine Repräsentation des Konzeptes geschaffen werden können [Sowa00a] (vgl. Abbildung 6.5). Dieses Konzept ist nun das Objekt, das in einer Wissensrepräsentation erfasst wird.

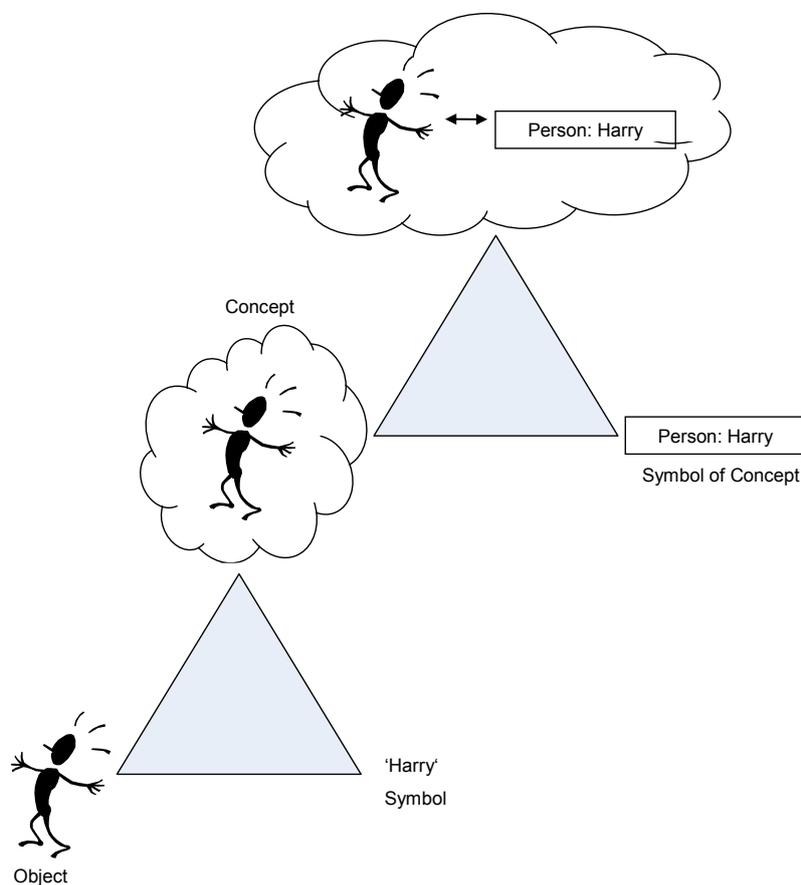


Abbildung 6.5: Repräsentation des Konzeptes "Harry" nach [Sowa00a]

Helbig charakterisiert Konzepte anhand von drei ähnlichen Komponenten, formuliert diese jedoch weniger philosophisch durch die folgenden drei Merkmale [Helb06]:

- Ein Konzept wird durch ein Wort oder eine Wortgruppe gekennzeichnet und extern repräsentiert.

- Es gibt eine Sammlung von Relationen zu anderen Konzepten.
- Es gibt ein komplexes Muster zu einem Konzept, das einen wahrnehmungsspezifischen (meist visuellen) Ursprung besitzt.

Die angeführte Diskussion zeigt, dass der Begriff Konzept, ähnlich wie der damit eng verbundene Begriff Wissen in Kapitel 2, auf einer philosophischen Ebene betrachtet werden kann. In dieser Arbeit wird unter dem Begriff Konzept eine pragmatische Sichtweise o.g. Aspekte zugrunde gelegt. Ein Konzept soll als ein wahrgenommenes Abbild der Realität verstanden werden (ähnlich dem in Abschnitt 3.1 erwähnten Phenomenon Model), das durch ein Symbol, beispielsweise einen Namen, indirekt repräsentiert werden kann. Um sich über ein Konzept auszutauschen, wird diese Repräsentation als Bezeichner verwendet. Dabei ist ein Konzept nicht isoliert zu betrachten, sondern in Relation zu anderen Konzepten.

6.2.6 Semantische Netze in der Gedächtnistheorie

Eine Motivation zur Verwendung Semantischer Netze zur Wissensrepräsentation begründet sich in der Gedächtnistheorie und in deren Annahmen zum Aufbau des menschlichen Gehirns. In der Literatur wird das menschliche Gehirn überwiegend als assoziativ strukturiert beschrieben [Quil68], [AnBo73], [Häck98], [GoGo04], [EyMa05]. Semantische Netze bilden diese assoziativen Strukturen ab und ähneln deshalb dem menschlichen Gedächtnis, [Quil68]. Die „(...) Repräsentation von Wissensstrukturen mithilfe von Knoten und Verbindungen liegt allen Verräumlichungsstrategien zugrunde, ausgehend von der Annahme, dass eine Lernstrategie dann Erfolg verspricht, wenn sie die Lernenden animiert, Strukturen aufzubauen, die den Charakteristika der Gedächtnisspeicherung entsprechen“ [KrWe06].

Es ist auch eine Basisannahme der sog. Schema-Theorie, dass das menschliche Gedächtnis semantisch organisiert ist [JoBY93]. Hierbei sind die Schemata als miteinander verbundene Konzepte realisiert, also in Semantischen Netzen [JoBY93]. Jonassen et al. definieren weiter, dass unter der Annahme, dass das Gedächtnis/der Speicher als Semantisches Netz organisiert ist, Lernen die Reorganisation dieses Netzwerkes darstellt [JoBY93]. Neue Dinge zu lernen, so Jonassen et al., bedeutet dann die Veränderung und die Erweiterung des Semantischen Netzes durch Hinzufügen, Abstimmen (Tuning) und Restrukturierung.

6.2.7 Diskussion zur Verwendung von Semantischen Netzen

Die Vorteile der Verwendung von Semantischen Netzen zur Repräsentation von Informationen und Wissen folgen aus den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Theorien der Gedächtnistheorie. Menschen denken hiernach assoziativ. Anders als viele andere Repräsentationsformen erfordern Semantische Netze keine hierarchische Denkweise, sondern ermöglichen eine gedächtnisadäquate Erfassung von Wissen in assoziativer Form, da sie die Bedeutung, also Semantik ihres Inhaltes über die Beziehungen zwischen den einzelnen Inhalten ablegen (vgl. Abschnitt 6.2.4)

Da Lernen nach Jonassen et al. eine Umstrukturierung des Semantischen Netzes bedeutet [JoBY93], folgt hieraus, dass es zudem möglich ist, auch neue Dinge in ein bestehendes Semantisches Netz durch Umstrukturierung einzubringen. Durch die über die Beziehung zu anderen Knoten getragene Bedeutung und Kontextabhängigkeit sind Semantische Netze also sehr flexibel. Zudem können durch die Verräumlichung in Netzform Zusammenhänge schnell erfasst werden (vgl. Abschnitt 6.2.6 und Abschnitt 8.3.1).

Die objektorientierte Repräsentation in Semantischen Netzen eröffnet die in Abschnitt 6.2.3 erläuterten Vorzüge des objektorientierten Paradigmas. Ein Aspekt hiervon ist die Vererbung, die auch dem Vorgehen des menschlichen Gehirns ähnelt. Denn wenn im menschlichen Gehirn ein Merkmal nicht direkt bei einem Konzept gespeichert ist, kann es auch von einem übergeordneten Konzept abgeleitet werden [Ande96].

Diese Vorteile, die die Semantischen Netze von anderen Repräsentationsformen unterscheiden, macht sich auch die derzeit aktivste Nutzung Semantischer Technologien, das Semantic Web zu Nutze, das im folgenden Abschnitt 6.3 näher beschrieben wird.

Bei der Verwendung Semantischer Netze treten jedoch auch typische Probleme auf. So sind sie bei der Beschreibung von regelhaften Zusammenhängen, einschränkenden Bedingungen und unvollständigem Wissen recht umständlich [Reim91]. Insbesondere bei ausschließlich regelhaften Zusammenhängen bildet das Netzformat keinen Vorteil gegenüber Repräsentation z.B. mittels Prädikatenlogik [Reim91]. Hier ist des Weiteren die Darstellungsmächtigkeit geringer [Reim91].

Außerdem besteht ein Defizit der Semantischen Netze im Interpretationsspielraum der Wissensrepräsentation, der sich aus einer nicht formal definierten Semantik in Semantischen

Netzen ergibt [Reim91]. Die Bedeutung der Elemente unterliegt der Interpretation des Lesers. Dies ist vergleichbar mit den Interpretationsmöglichkeiten in der Kommunikation, die Modelle wie das von Schulz von Thun (Vier-Seiten-Modell) [Thun06] verdeutlichen. Die Interpretation unterliegt dem Kontext, in dem sich der Empfänger befindet.

6.3 Das Semantic Web

Das Semantic Web stellt einen aktuellen Innovationsträger für semantische Technologien dar. Deshalb sollen die Motivation und Ansätze des Semantic Web in diesem Abschnitt diskutiert werden, um später Implikationen im Kontext dieser Arbeit ableiten zu können.

6.3.1 Motivation des Semantic Web

Das Information Retrieval (zu deutsch: Informationswiedergewinnung) bezeichnet das Fachgebiet der inhaltsorientierten Suche in der Informatik. Dabei gibt es zwei Indikatoren, die die Qualität des Suchergebnisses kennzeichnen [Krau87]:

Recall (r): Messung der Vollständigkeit mit:

$$r = \frac{\text{Anzahl der gefundenen, relevanten Elemente}}{\text{Gesamtzahl der relevanten Dokumente}}$$

Precision (p): Messung der Selektionsgenauigkeit mit:

$$p = \frac{\text{Anzahl der gefundenen, relevanten Elemente}}{\text{Anzahl der gefundenen, relevanten Dokumente} + \text{Anzahl der gefundenen, nicht relevanten Dokumente}}$$

Hierbei ist insbesondere das Erreichen einer hohen Precision ein schwieriges Unterfangen, was van Rijsbergen et al. anhand von zwei unterschiedlichen Information Retrieval Modellen verdeutlichen (vgl. Abbildung 6.6) [RiCL98]. So wird der Zusammenhang von Dokument und Suchanfrage bei einer automatisierten, computerbasierten Suche isoliert betrachtet (computationales Modell), wohingegen das kognitive Modell zusätzliche, situationsabhängige Faktoren (die Retrieval-Situation) einfließen lässt.

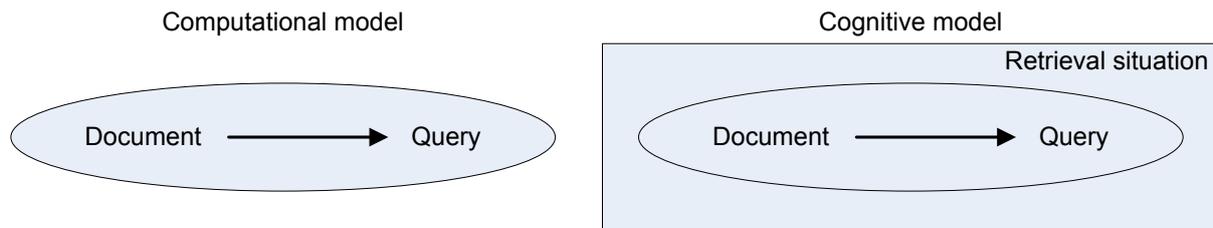


Abbildung 6.6: Darstellung des computationalen Modells und des kognitiven Modells nach [RiCL98]

Aktuelle, schlagwortbasierte Internet-Suchdienste wie z.B. über Google⁹ oder Yahoo¹⁰ sind nach Antoniou und van Harmelen [AnHa04] gekennzeichnet durch hohen Recall mit niedriger Precision oder niedrigem (bis kein) Recall bei Suchanfragen. Es werden also entweder viele Suchergebnisse auf eine Anfrage geliefert, von denen viele nicht relevant sind, oder es werden erst gar keine Dokumente gefunden. Insgesamt sehen Antoniou und van Harmelen die derzeitigen Suchstrategien eher skeptisch. Sie zweifeln die Adäquatheit des Information Retrieval für diese Internetdienste an und bezeichnen diese als Locationfinder [AnHa04].

6.3.2 Nutzen und Entwicklung des Semantic Web

Um die Qualität der Ergebnisse in der Websuche, also Recall und Precision zu verbessern, sind nach Antoniou und van Harmelen [AnHa04] zwei Ansätze möglich. Zum einen wird versucht über moderne Methoden der KI und den aktuellen Kontext des Benutzers den Sinn von Sätzen in natürlicher Sprache zu entschlüsseln. Dieser Ansatz wird von vielen Forschungsprojekten verfolgt (z.B. [Hahn04], [BIBW06], [GoJo08]), erscheint aber derzeit immer noch zu ambitioniert, um in der Praxis verwendet zu werden.

Zum anderen kann versucht werden, das in Web-Seiten enthaltene Wissen durch formal festgelegte Regeln maschinenlesbar zu machen bzw. Automatisierungen auf der Ebene der Bedeutungen zu ermöglichen [ToMa06], um so die Suche nach Informationen effizienter gestalten zu können. Die Maschinenlesbarkeit und Interpretierbarkeit erfordert semantische Annotationen, die Informationen über die Bedeutung der Webseite geben. Um dies zu ermöglichen, werden Kontext-Informationen über die auf der Webseite dargebotenen Inhalte

⁹ Siehe <http://www.google.de>

¹⁰ Siehe <http://www.yahoo.de>

durch Formalisierungsschemata computerinterpretierbar hinzugefügt. Hierdurch können Suchanfragen und Recherchen automatisiert kontextbezogen und damit genauer beantwortet werden. Durch das Semantic Web soll aus dem Netz der Dokumente das Netz der Bedeutungen werden [KaPr04]. Das Konzept beruht auf Ideen von Berners-Lee [Bern94], dem Begründer des World Wide Web¹¹.

Somit ist das Semantic Web eine konkrete Spezifikation eines Semantischen Netzwerkes, wie es im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde.

Die Verfechter des Semantic Web sehen dabei seine Entstehung nicht als Parallelentwicklung zum bestehenden Internet. Vielmehr soll das Semantic Web nach und nach aus dem derzeitigen Internet entstehen [AnHa04]. Eine wichtige Rolle spielt nach Auffassung von Tochtermann und Maurer die Dezentralität der Entwicklung [ToMa06]. Da das Semantic Web dezentral entwickelt wird, d.h. von einer Vielzahl von Projekten, Forschern, Entwicklern und Anwendern, ist es als „Bewegung“ und nicht als Forschungsprogramm zu sehen. Zudem, so Tochtermann weiter, „beschreibt die Vision des Semantic Web selbst ein dezentrales Netz, das mit einem Minimum an zentral koordinierten Elementen (...) auskommt, (...) um Interoperabilität sicher zu stellen“ [ToMa06].

Dabei finden diese Ideen und Techniken weitgehende Unterstützung vom World Wide Web Consortium (W3C), der internationalen Standardisierungseinheit für das Internet. Sie beschreiben das Semantic Web wie folgt: “The Semantic Web provides a common framework that allows data to be shared and reused across application, enterprise, and community boundaries” [www11]. Aber auch staatliche Stellen unterstützen die Entwicklung des Semantic Webs. So ist es im EU Sixth Framework Programm¹² enthalten und wird auch durch das DARPA Agent Markup Language (DAML) Projekt¹³ der U.S.-Regierung propagiert.

¹¹ Am Kernforschungsinstitut CERN erstellte Berners-Lee 1989 die weltweit erste Webpräsenz.

¹² Siehe http://ec.europa.eu/research/fp6/index_en.cfm

¹³ Siehe <http://www.daml.org/>

6.4 Ontologien

Im Zusammenhang mit semantischen Technologien wird oft über Ontologien berichtet. Dieser Abschnitt soll die Rolle und Aufgaben dieser näher untersuchen.

In der Philosophie bezeichnet Ontologie dem Brockhaus Universal Lexikon zufolge „die Lehre vom Seienden (Sein), die die formalen (...) und materialen (...) Prinzipien des Gegebenen begrifflich zu bestimmen sucht“ [Broc03].

Im Jargon der künstlichen Intelligenz und im Zusammenhang mit dem Semantic Web wird eine Ontologie als eine (endliche) Menge von Begriffen und eine formale Definition der Relationen zwischen Begriffen bezeichnet [BeHL01] [AnHa04]. Genauer beschreibt Gruber eine Ontologie als „a formal explicit specification of a shared conceptualisation“ [Grub95]. Mit Konzeptionalisierung (d.h dem Erstellen von Konzepten, vgl. Abschnitt 6.2.5) bezieht er sich hierbei auf Genesereth und Nilsson [GeNi89], die beschreiben, dass eine Konzeptionalisierung notwendig ist, um Wissen überhaupt formal repräsentieren zu können. „Diese umfasst zum einen die Objekte, die als in der Welt existierend vorausgesetzt oder angenommen werden, zum anderen enthält sie deren wechselseitigen Beziehungen zueinander“ [GeNi89]. Mit „explizit“ besagt Gruber, dass die verwendeten Konzepte definiert sein müssen. „Formal“ fordert eine Maschineninterpretierbarkeit der Ontologie. Hierbei lassen sich jedoch verschiedene Grade der Formalisierung unterscheiden [FHLW03]. Mit dem Begriff „shared“ drückt Gruber aus, dass die Ontologie von allen Teilnehmern als wahr empfunden wird, es sich also um „consensual knowledge“ handelt [FHLW03].

Somit definiert eine Ontologie die verwendbaren Begriffe und Beziehungen für ein Semantisches Netz. Nach Blumauer und Fundneider dienen Ontologien als „Mediator“ zwischen Informationen und Wissen [BlFu06], wie in Abbildung 6.7 schematisch dargestellt ist.

Zur Modellierung von Ontologien existieren einige weit entwickelte Software-Werkzeuge, wie z.B. der Protégé Ontology Editor¹⁴ oder die Karlsruhe Ontology and Semantic Web tool

¹⁴ Siehe <http://protege.stanford.edu/>

suite KAON¹⁵. Die Verwendung und Nutzung dieser Ontologien erfolgt wiederum in anderen Applikationen wie z.B. Browsern.

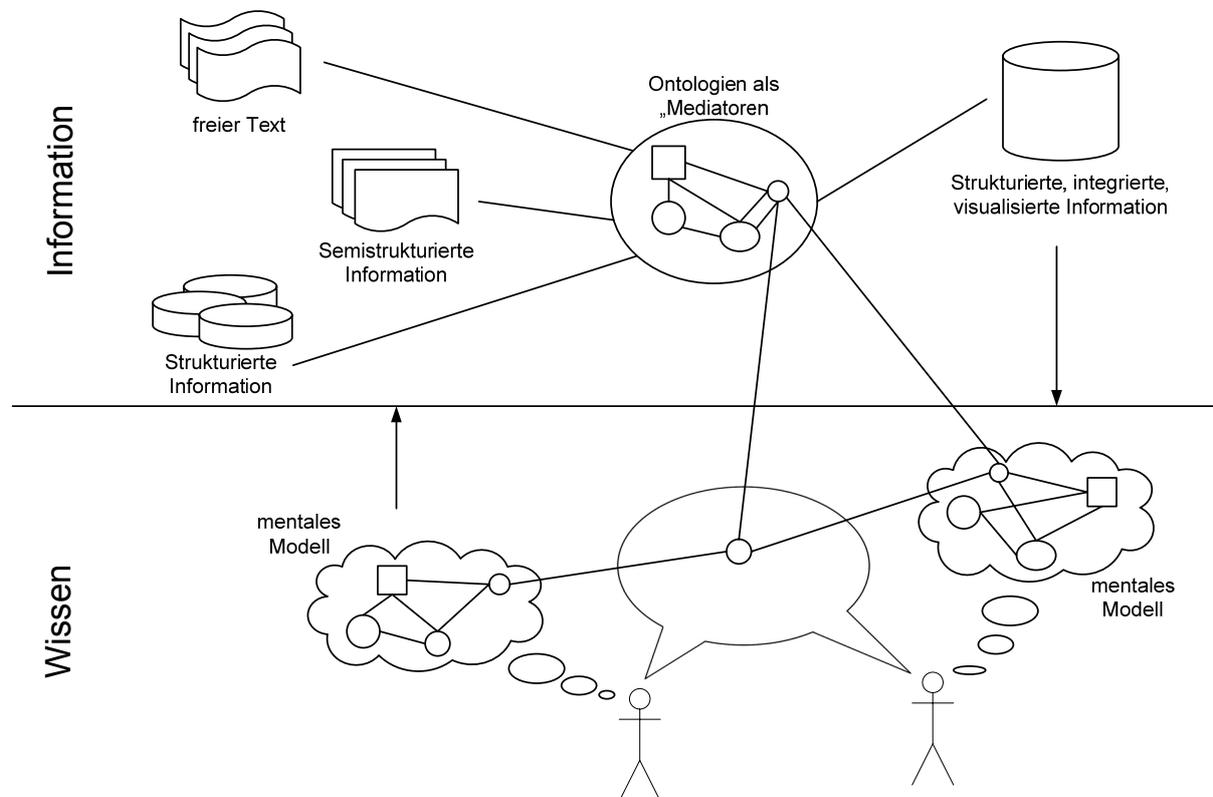


Abbildung 6.7: Ontologien als Mediatoren zwischen Informationen und Wissen nach [BIFu06]

6.5 Formalisierungen durch RDF und OWL

Um eine semantische Suche bzw. Strukturierung (insbesondere im Zusammenhang mit dem Semantic Web) zu ermöglichen, ist es erforderlich, zu bestehenden Web-Ressourcen Metadaten hinzuzufügen. Dies erfordert wiederum ein Rahmenwerk zur Strukturierung von Metadaten, dessen Struktur maschinenverarbeitbar ist. Zugleich soll eine Modifikation der ursprünglichen Daten vermieden werden. Das Resource Description Framework (RDF) wurde 1999 entwickelt, um Metadaten im XML-Format abspeichern zu können. 2004 wurde

¹⁵ Siehe <http://kaon.semanticweb.org/>

RDF dann durch die RDF Core Working Group des W3C¹⁶ speziell für das Semantic Web spezifiziert und unter [www4] veröffentlicht.

Das RDF-Modell besteht aus den Elementen Ressource, Eigenschaftselement und Wert. Ressourcen sind alle Entitäten, die beschrieben werden sollen, z.B. Web Seiten, aber auch Objekte aus der realen Welt wie Bücher oder Personen. Alle Ressourcen werden durch einen Uniform Resource Identifier (URI) eindeutig identifiziert. URIs sind Zeichenfolgen, die durch das W3C syntaktisch beschrieben werden [www5] und so aufgebaut sind, dass sie weltweit nur einmal auftreten können. URIs dienen der eindeutigen Identifizierung von sowohl abstrakten als auch physischen Ressourcen. Eigenschaftselemente beschreiben die Beziehungen zwischen Ressourcen. Auch Eigenschaftselemente werden durch einen eindeutigen URI beschrieben. Werte können entweder eine weitere Ressource sein oder ein Literal, beispielsweise einen Text-String darstellen.

Tripel, die aus einer Ressource, einer Eigenschaft und einem Wert bestehen, werden als Aussagen bezeichnet. Diese Tripel werden auch mit „Subjekt – Prädikat – Objekt“ Tripeln der natürlichen Sprache verglichen.

Die Web Ontology Language OWL stellt eine Spezifikation für Ontologien dar. Es wird durch das W3C unter [www3] beschrieben. OWL ermöglicht es, Ontologien zu erstellen und weiterzugeben. Es kann dazu verwendet werden, die Bedeutung von Begriffen explizit zu repräsentieren. Dies erfolgt über die zuvor erläuterte RDF-Syntax. OWL erweitert diese jedoch um weitere Sprachkonstrukte, sodass Ausdrücke, ähnlich der Prädikatenlogik, möglich werden.

RDF und OWL stellen die Semantic Web Spezifikation nach W3C dar [www4].

RDF stellt eine Möglichkeit dar, wie semantische Informationen strukturiert und somit auch ausgetauscht werden können, was für den Kontext dieser Arbeit ein zu erwähnender Aspekt ist.

¹⁶ Das World Wide Web Consortium W3C ist ein internationales Konsortium zur Entwicklung von Internetstandards wie z.B. HTTP.

6.6 Semantisches Wissensmanagement mit Wikis

6.6.1 Grundlagen zu Wikis

Wikis stehen nicht in direktem Zusammenhang mit Semantischen Netzen. Sie stellen aber in vielen Unternehmen eine gelebte Form des Wissensmanagements dar. Zudem ist ein grundsätzliches Verständnis für diese Technologie erforderlich, um das in Abschnitt 6.6.2 erläuterte Konzept der Semantischen Wikis verstehen zu können.

Ein Wiki ist ein webbasiertes System, das das kollaborative Verfassen und Aktualisieren von Webseiten ermöglicht [EbGI05]. Das Wort „Wiki“ stammt aus dem Hawaianischen und bedeutet „schnell“, was das Konzept gut beschreibt [BGES08]. Eine Kerneigenschaft von Wikis ist dabei die Offenheit, die es jedem Benutzer erlaubt, Daten einzustellen. Des Weiteren ermöglicht es die für unterschiedliche Arbeitsweisen erforderliche Flexibilität. Die Einstellung erfolgt üblicherweise durch webbasierte Texteditoren.

Wiki-Systeme bestehen klassisch aus einer Client- und einer Server-Komponente. Bei einer Anfrage erfolgt die Kommunikation zwischen Client und Server über Standard-Internetprotokolle. Hierdurch kann der Client über Standard-Browser realisiert werden und es wird keine zusätzliche Software-Installation benötigt [EbGH05]. Wie jedoch Ebersbach, Glaser und Heigl in Abbildung 6.8 darstellen, gibt es durch die Bearbeitungsmöglichkeiten der Benutzer hier noch eine weitere Dimension, die durch den Begriff Wiki-Schnittstelle deutlich gemacht wird [EbGH05].

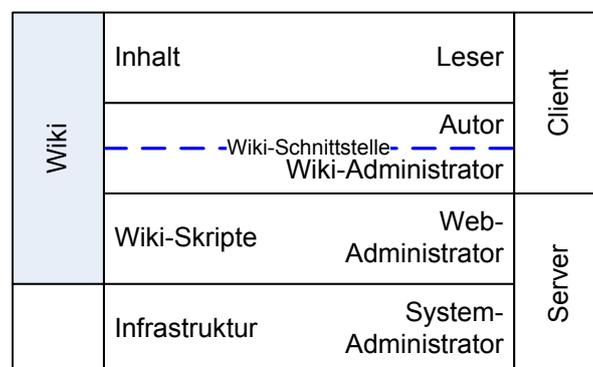


Abbildung 6.8: Schichten und Personen eines Wiki-Systems nach [EbGH05]

Die Wiki-Schnittstelle unterteilt in Personen, die den Inhalt des Wiki-Systems schaffen und nutzen und in Personen, die das System administrieren und pflegen. Dabei kann oberhalb der Schnittstelle in Leser und Autoren unterschieden werden. Leser greifen nur lesend auf das Wiki-System zu und Autoren erzeugen die Inhalte und bearbeiten diese. Unterhalb der Wiki-Schnittstelle wird die Bearbeitung des Wiki-Systems selbst angesiedelt. Dies kann zum einen auf der Client-Seite durch einen Wiki-Administrator geschehen, der die Einträge im Wiki-System pflegt und die Funktionsweise sicherstellt. Zum anderen sind jedoch serverseitig auch Web- und System-Administratoren notwendig, die den technischen Teil der Web-Applikation „Wiki“ betreuen, wie z.B. Installation, Skripte und Back-Ups des Wiki-Systems.

Wikis werden mittlerweile von vielen Firmen als Werkzeug im Wissensmanagement eingesetzt. Sie dienen hierbei als Träger zum Austausch von Informationen, Terminen, Beschlüssen, Dokumentationen, Plänen usw. Ein frei verfügbares Wiki, das bei einigen Firmen (nach eigenen Angaben SAP, Yahoo...) zum Einsatz kommt, ist TWiki [www10]. Ein Beispiel für einen kommerziellen Anbieter eines Wikisystems ist Socialtext, der nach eigenen Angaben z.B. DHL, Nokia und Kodak ausstattet [www7].

Für die Suche nach inhaltlichen Informationen besteht in solchen Wikis hauptsächlich nur die Möglichkeit der Volltextsuche, die je nach Umfang der erfassten Informationen unüberschaubare Ergebnismengen mit teilweise geringer Relevanz liefern [CeAP03], [MKTB06], [BGES08]. Bessere Ergebnisse bringen von Hand erstellte Kategorisierungen und Metadaten, die jedoch mit großem Aufwand bei der Erfassung einhergehen. Deshalb wird meist nur über Schlagworte gesucht, was den Zugriff auf das in Wikis abgelegte Wissen mit zunehmender Projektgröße und Dauer immer schwieriger macht; die Informationen sind leicht zu erfassen, aber schwer wieder zu finden.

Die große Akzeptanz von Wikis zeigt jedoch, dass bei einer einfachen und flexiblen Eingabemöglichkeit, Werkzeuge zum Wissensmanagement akzeptiert und genutzt werden.

6.6.2 Semantische Wikis

Da Wikis im industriellen Umfeld eine große Verbreitung besitzen, bemühen sich aktuelle Forschungsbestrebungen, die zuvor beschriebenen Probleme abzuschwächen. Eine mit Semantischen Netzen und dem Semantic Web verwandte Technologie mit einer ähnlichen Grundidee sind Semantische Wikis. Da es sich hierbei um ein Wissensmanagementwerkzeug,

basierend auf semantischen Technologien handelt, werden in diesem Abschnitt die Ansätze aktueller Forschungsbestrebungen auf diesem Gebiet beschrieben.

Ein Semantisches Wiki versucht, die Flexibilität eines normalen Wikis auch auf strukturierte Daten auszuweiten [SBBK07]. Hierzu werden semantische Annotationen verwendet. Die semantischen Annotationen werden dabei in der Regel entsprechend einer Ontologie erstellt. Diese Ontologie besagt, welche Eigenschaften welchen Objekttypen zugeordnet werden können. Die Ontologie wird ebenfalls durch den einzelnen Wiki-Artikel erstellt und gewartet. Für diese Technik werden zumeist die zuvor erläuterten Methoden des Semantic Webs wie RDF oder OWL verwendet [BGES08].

Die Verwendung von Semantischen Wikis ermöglicht mehrere Funktionalitäten. Es erlaubt einen einfachen Formalismus zur semantischen Annotation. Hierdurch werden semantische Suchen in Wikis ermöglicht, die nicht nur Schlagwörter, sondern auch zusammenhängende Inhalte erfassen können. Dies verbessert die Ergebnisse von Suchanfragen [MKTB06]. Semantische Wikis beinhalten eine explizite Repräsentation des enthaltenen Wissens [SBBK07].

Letztendlich ist die Technik des Semantischen Wikis eine Anwendung der Semantic Web-Technologien auf einen abgeschlossenen, begrenzten Themenbereich. Deshalb werden sie auch „Semantic Web im Kleinen“ genannt [SBBK07].

Einen Standard über den Aufbau eines semantischen Wikis gibt es nicht. Genauso wie bei den ursprünglichen Wikis gestaltet jedes Forschungsprojekt die Umsetzung nach dem gesetzten Forschungsfokus. Aktuelle Forschungsprojekte zu diesem Thema sind zahlreich. Erwähnt werden soll hier das EU-Projekt KIWI (Abkürzung für Knowledge in a WIKI), das im März 2008 startete und sich zum Ziel gesetzt hat, die Wiki-Technik mit dem Semantic Web zu vereinen und so einen neuen Ansatz für das Wissensmanagement zu liefern [www1].

7 Konzeption zur Nutzung Semantischer Netze in der Produktentwicklung

Nachdem in den vorherigen Abschnitten die Grundlagen, das thematische Umfeld und der Stand der Forschung untersucht wurden, kommen die verschiedenen thematischen Stränge in diesem Kapitel zusammen. Zum einen wurde die Produktentwicklung anhand mehrerer Theorien und der Wissensbegriff in diesem Zusammenhang beschrieben sowie verschiedene Informations- und Wissensquellen und Defizite bei der Wissensverarbeitung aufgezeigt. Zum anderen wurden die Eigenschaften Semantischer Netze erläutert und aktuelle Forschungsgebiete und deren Ergebnisse beschrieben.

Hier soll nun eine Konzeption entwickelt werden, die zeigt, ob und wie sich die erläuterten Eigenschaften der Wissensrepräsentation, basierend auf Semantischen Netzen, auf den Produktentwicklungsprozess anwenden lassen, um die beschriebenen Defizite in der Wissensverarbeitung abzuschwächen.

Zunächst sollen hierzu die relevanten Ressourcen betrachtet werden. Hierauf aufbauend wird dann der Prozess anhand von CPM/PDD untersucht. Abschließend erfolgt eine Aufzählung der identifizierten Vorteile und Problemstellen bei der Nutzung Semantischer Netze im Produktentwicklungsprozess.

7.1 Abbildung der Ressourcen in Semantischen Netzen

Semantische Netze stellen eine Form der Wissensrepräsentation dar. Dabei subsumiert der Begriff Wissensrepräsentation die Daten- und Informationsrepräsentation, weshalb im Folgenden auch der Begriff Wissensrepräsentation verwendet werden soll. Eine Wissensrepräsentation ist ein Werkzeug, um Wissen formal abbilden zu können (vgl. Abschnitt 6.2.2, [Sowa00a]), das heißt, dass Wissen so dargestellt wird, dass es sich persistent abbilden lässt und wieder zurück zur Ausgangsform gewandelt werden kann. Hierbei können die Aktivitäten Erfassung und Zugriff unterschieden werden.

Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 7.1 dargestellt, wobei Rep die Transformation zwischen den Daten, Informations- und Wissensquellen und dem Netz darstellt und Rep^{-1} den inversen Zugriff auf die gespeicherten Inhalte beschreibt.

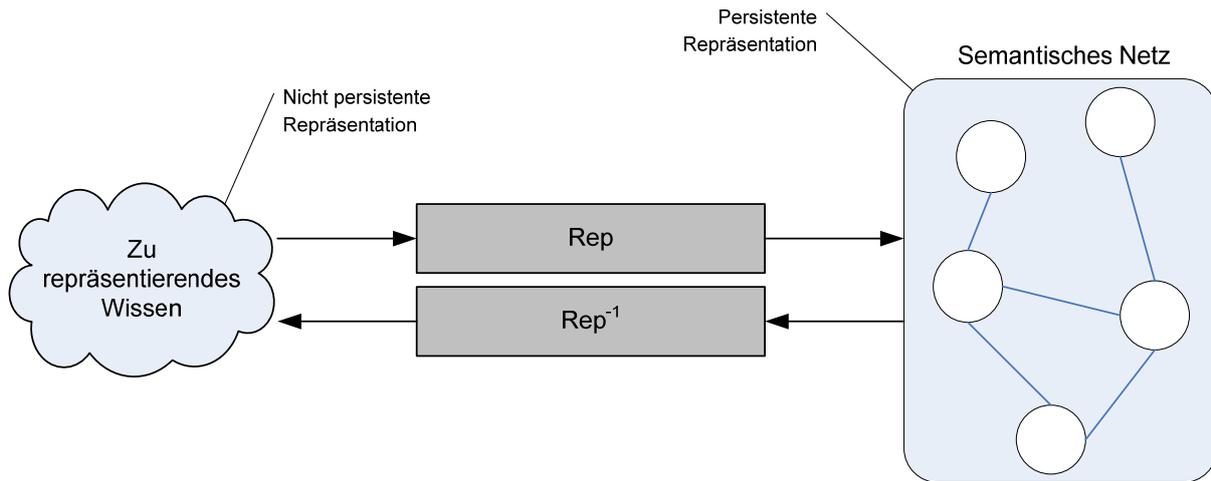


Abbildung 7.1: Repräsentation von Wissen in einem Semantischen Netz

Um die Verwendung Semantischer Netze näher betrachten zu können, muss zunächst untersucht werden, was repräsentiert werden soll. Hierzu wird im Folgenden analysiert, welche Daten-, Informations- und Wissensressourcen in der Entwicklung zu berücksichtigen sind. In Abschnitt 5.3 wurden bereits diverse Quellen in der Produktentwicklung aufgezeigt. Diese Grundlagen werden hier wieder aufgegriffen.

Wird der Produktentwicklungsprozess dabei aus dem Blickwinkel eines Produktentwicklers betrachtet, so greift dieser als Know-how-Träger zum einen auf sein eigenes Wissen zu, das sich in Erfahrung, Intuition und „Human Genius“ äußert und gegebenenfalls auf die aktuelle Situation angepasst werden muss. Hierbei verwendet er also zum Teil bestehendes implizites Wissen (Adaption) und schafft zum Teil Neues (Innovation). Das verwendete implizite Wissen besteht zum anderen auch aus Erkenntnissen über die Verwendung und den „Fund“-ort von explizitem Wissen. Dies wird u.a. durch die bereits beschriebene Studie von Ahmed [Ahme00] unterstützt und durch die Volksweisheit „Wissen heißt auch wissen, wo es steht“ auf den Punkt gebracht.

Werden die externen Informations- und Wissensquellen betrachtet, so können dies unter anderem (digitale) Dokumente, Computerwerkzeuge, Tabellen und Datenbanken sein, die bereits in externalisierter Form zur Verfügung stehen, also explizites Wissen darstellen. Diese Quellen bestehen zumeist aus Datenquellen und werden erst durch das Wissen des Produktentwicklers über den Kontext und die Zusammenhänge zu Wissen.

Da der Produktentwicklungsprozess jedoch, wie beschrieben, zumeist in Projektteams abläuft, sind insbesondere auch andere Personen und deren implizites und explizites Wissen als externe Wissensträger gefragt.

Hieraus ergeben sich zwei Hauptfelder, die als Ressourcen für die Verwendung Semantischer Netze betrachtet werden sollen. Zum einen sind Personen einzubinden, deren implizites und explizites Wissen die Hauptrolle im Produktentwicklungsprozess spielt. Das andere Hauptfeld bilden die externalisierten Wissensquellen wie die informationstechnische Systemlandschaft mit den bestehenden Dokumenten und Werkzeugen.

7.1.1 Betrachtung der Personen

Die Hauptrolle in einem Produktentwicklungsprozess bilden die beteiligten Personen und Projektteams, da es kaum automatisierte Abläufe gibt. Hier arbeiten Experten aus unterschiedlichen Domänen zusammen. In den Beschreibungen des Wissensmanagements in Kapitel 2 wird deutlich, dass ein Wissensaustausch unter den beteiligten Personen einen wichtigen Beitrag zur Nutzung des erzeugten Wissens darstellt. Im Hinblick auf die Verwendung Semantischer Netze im Produktentwicklungsprozess ist es deshalb erforderlich, allen Beteiligten die Möglichkeit zu geben, mit dem Netz zu interagieren, um die Wissensrepräsentation optimal zu nutzen.

Die Voraussetzung für erfolgreichen Wiedergriff auf das abgelegte Wissen ist eine gleichartige Interpretation des Inhaltes sowohl vom Eintragenden als auch aus Sicht des Zugreifenden. Eine gängige Praxis hierzu ist die Verschlagwortung. Für diese werden hier sehr oft Synonym- und Hyponymdatenbanken verwendet, was sich jedoch sehr gering auf eine Verbesserung der Suchresultate auswirkt. Es gibt mehrere Arbeiten zur Schaffung von allgemeingültigen Ontologien für die Produktentwicklung [StMB04], [Ahme05], [AhSt07] um so eine gemeinsame Interpretation zu erzielen. Die Verwendung dieser ist für die Praxis jedoch äußerst schwierig, da die Implementierung in den Unternehmensalltag enorme Einschnitte bedeutet. In diesem Zusammenhang gibt es Forscher, die insgesamt eine Existenz von monolithischen „gefrorenen Schemata“ für Ontologien anzweifeln und einen „Lebenszyklus“ von Ontologien propagieren [BGES08].

Da diese Arbeit im Kontext der Produktentwicklung steht, die innerhalb eines Unternehmens stattfindet, muss dies auch bei der Sprachwahl im Semantischen Netz berücksichtigt werden.

Die Ontologie und Sprache eines Unternehmens ist Teil der Unternehmenskultur [PeWa04] und somit unternehmensspezifisch. Wird von einem, i.d.R. firmenspezifischen Vokabular ausgegangen, das bereits zu Beginn des Entwicklungsprozesses z.B. in der Anforderungsliste verwendet wird, so hat jedes Entwicklungsprojekt terminologisch gesehen zumindest einen ähnlichen Ausgangspunkt. Dies kann als firmeneigene oder unternehmensspezifische Ontologie verstanden werden. So wird den unternehmensspezifischen und sektoralen Besonderheiten genügend Freiraum geschaffen, was u.a. von Unternehmensberatungen immer wieder gefordert wird (vgl. Mc. Kinsey in [PeWa04]).

Aus diesen Gründen erscheint eine Unterteilung in mehrere Ontologien für die Verwendung Semantischer Netze sinnvoller als die Schaffung einer sehr komplexen, eventuell aufdoktrinierten generischen Ontologie.

Wie in anderen Arbeiten bereits gezeigt wurde, ist es durchaus möglich, einzelne Ontologien ineinander zu übersetzen [AhSt07]. Auf diese Weise ist auch eine Kopplung unternehmensspezifischer Ontologien nach außen möglich. Dies wäre zum einen über direkte Übersetzung von einer Ontologie zur nächsten realisierbar, was zwar eine sehr getreue Abbildung ermöglicht, jedoch mit einem hohen Aufwand an Übersetzern verbunden ist. Zum anderen ist auch das Übersetzen in eine generische Ontologie denkbar. Hierdurch wird eine wesentlich geringere Anzahl an Übersetzern benötigt, allerdings besteht wiederum das bislang ungelöste Problem der Schaffung einer solchen generischen Ontologie. Deshalb wird das Problem der Sprachwahl im Folgenden auf firmenspezifische Ontologien herunter gebrochen.

Semantische Netze gehören zu den objektorientierten Wissensrepräsentationen. Dies kann ausgenutzt werden, um die unternehmensspezifischen Ontologien zu realisieren. Der beschriebene Mechanismus der Vererbung kann verwendet werden, Teile des Netzes zu „kopieren“ und so bereits abgebildete Wissensteile mit allen Vernetzungen und Begrifflichkeiten erneut zu verwenden. Aus solchen Vorlagen von Netzteilen ergeben sich sog. Templates, die einmalig für verschiedene Themen erstellt werden können. Diese Implementierung dient der Verwendung eines einheitlichen Vokabulars und kann eine firmenspezifische Ontologie implementieren.

Um jedoch die Vorteile in der Flexibilität und Mächtigkeit zu bewahren, dürfen solche Templates nicht statisch sein. Sie müssen das Hinzufügen von beliebigen Knoten und Kanten

erlauben, um die situationsabhängige Erfassung und Kontextualisierung von Informationen und Wissen zu ermöglichen.

7.1.2 Betrachtung der externalisierten Wissensquellen

Die externalisierten Wissensquellen stellen eine heterogene, vielschichtige Menge dar. Schwierigkeiten bereiten insbesondere die nicht digital erfassten Dokumente. Diese können zwar mit Vermerken wie Aktenzeichen im Semantischen Netz referenziert werden, eine wirkliche Integration ist jedoch nur schwer möglich.

Betrachtet man die informationstechnische Systemlandschaft, so kann die Integration des Konzeptes Semantischer Netze zur Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses auf verschiedenen Wegen umgesetzt werden.

Zum einen kann die Integration mit einer Umstellung des kompletten Produktentwicklungsprozesses einhergehen. Ein Beispiel hierfür ist die Nutzung des elektronischen Baukastens „Ligo“, in dem die Verwendung Semantischer Netze bereits angedacht ist [WeWe98]. In einem solchen Beispiel ist die tief greifende Verankerung des Konzeptes der Semantischen Netze möglich, sodass das Potential dieser Repräsentation kompromisslos ausgeschöpft werden kann.

Eine andere Strategie ist die hinsichtlich einer bestehenden Infrastruktur gering invasive Implementierung auf einer Metaebene. Die Integration kann hierbei zum einen über sog. Add-Ons oder Plugins in den bestehenden Systemen erfolgen. Ein Beispiel für eine solche Vorgehensweise ist die Integration der Funktionalitäten „Ein-Checken“ oder „Aus-Checken“ der PDM-Software Smartteam in Microsoft Excel. Eine andere Möglichkeit ist die Einbindung bestehender Systeme in ein Metasystem, das die Funktionalitäten und Bibliotheken des Basissystems verwendet. Ein Beispiel hierfür ist die Einbindung einer Excel-Tabelle in ein Word-Dokument.

Für die Praxis ist es äußerst schwierig, eine komplette Umstellung der IT-Infrastruktur im Konstruktionsprozess zu erzielen und die Akzeptanz der Benutzer zu erlangen. Zudem erfordert eine solche Umstellung tiefgreifende fachliche Kenntnisse in sehr vielen und zum Teil sehr speziellen Bereichen. Deshalb soll im Folgenden davon ausgegangen werden, dass

eine Integration auf einer Metaebene realisiert wird sodass sowohl die bestehende IT-Landschaft, als auch die bestehenden Arbeitsabläufe nur gering beeinflusst werden.

Die Entscheidung für diese Vorgehensweise beeinflusst, was und wie Elemente aus der Systemlandschaft in das Semantische Netz integriert werden können. Zu den einzelnen Elementen müssen Strategien entworfen werden, um mit diesen umzugehen. In dieser Arbeit wurden dabei die folgenden Elemente und die zu berücksichtigenden Ressourcen identifiziert und eingeteilt:

- Applikationen
- Dateien und Dokumente
- Dateiinhalte
- Webinhalte und Datenbanken

Hierbei gibt es mehrere Möglichkeiten, mit den einzelnen Punkten umzugehen. Abbildung 7.2 zeigt diese Aktivitäten schematisch, deren Implikationen für die Realisierungen von SNI in den folgenden Abschnitten näher beschrieben werden.

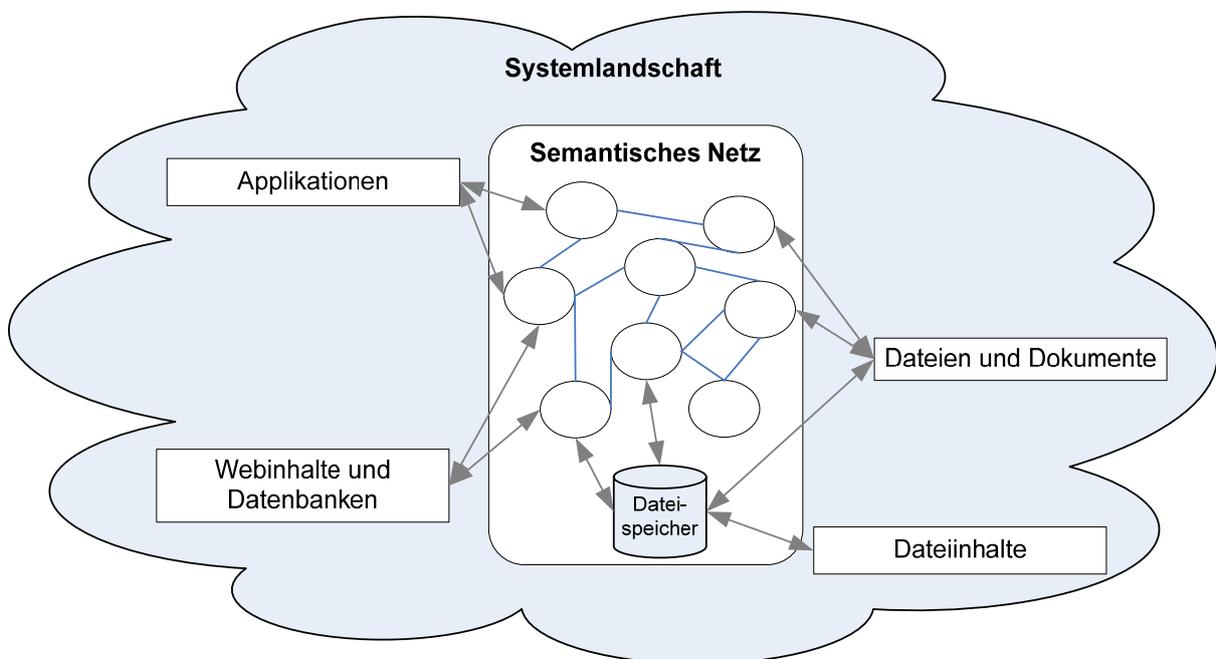


Abbildung 7.2: Schematische Darstellung der Einbindung von SNI in eine bestehende IT-Landschaft

Applikationen

Bei der Betrachtung von Applikationen können zunächst mehrere Gattungen von Applikationen in verschiedene *Anwendungsgruppen* eingeteilt werden. Hier sind unterschiedliche Einteilungen denkbar, eine Mögliche wurde bereits in Kapitel 4 gezeigt. Solche Gruppen lassen sich im Semantischen Netz abbilden und mit charakteristischen Verlinkungen entsprechend der Eigenschaften der Software versehen. Ein Beispiel hierfür ist die Anwendungsgruppe CAE-Werkzeuge mit ihren spezifischen Eigenschaften.

Werden einzelne Anwendungen auf einer tieferen Ebene betrachtet, so sind diese auch einzeln im Netz abbildbar. Hierdurch können Eigenschaften einer Applikation abgelegt werden, z.B. der notwendige Detaillierungsgrad zur Anwendung von CAE-Applikationen oder die Güte der Ergebnisse.

Dateien und Dokumente

Der Begriff Dateien umfasst ein sehr breites Gebiet, da beinahe alles in der IT über Dateien abgebildet wird. Dabei beschreibt die Dateierweiterung einer Datei, um welchen Typ es sich handelt. So kann in einem Semantischen Netz beispielsweise abgebildet werden, mit welchen Applikationen welche Dateitypen geöffnet und bearbeitet werden können. Dies allein stellt jedoch noch keinen Mehrwert gegenüber den meisten Betriebssystemen dar, die diese Unterscheidung integriert haben. Die Verwendung von Semantischen Netzen ermöglicht es jedoch, weitere Kontextinformationen wie z.B. Kompatibilitätsprobleme zu den einzelnen Dateierweiterungs- und Applikationspaarungen hinzuzufügen. Aus der informationstechnischen Sichtweise können Dokumente als Dateien aufgefasst werden, stellen also eine Untermenge der Dateien dar.

Aufgrund der Struktur Semantischer Netze erfolgt ein Verweis auf Dateien über Knoten im Netz. Das heißt, dass Dateien Knoten zugeordnet werden, die mit ihren Verlinkungen die Semantik der Datei enthalten. Einem Knoten des Semantischen Netzes müssen jedoch mehrere Dateien zugeordnet werden können. Gleichzeitig kann auch eine Datei für mehrere Knoten relevant sein. Deshalb stellt die Verknüpfung von Knoten und Dateien eine n:m Beziehung (auch engl. many-to-many relation) dar.

Dateiinhalte

Neben der Handhabung von Dateien ist zudem eine Integration der Dateiinhalte in das Netz notwendig. Dies kann zum einen über eine Schnittstelle erfolgen, die den Dateiinhalt interpretiert und somit in Form von Knoten und Kanten in das Semantische Netz integrieren kann. Soll die Datei als solche erhalten bleiben, muss es zum anderen ermöglicht werden, auf einzelne Dateiinhalte Verweise oder Links zu setzen, die diese von einem Knoten des Semantischen Netzes aus erreichbar machen.

In beiden Fällen werden jedoch spezielle, dem Dateityp entsprechende Erweiterungen bzw. Schnittstellen für Semantische Netze geschaffen.

Webinhalte und Datenbanken

Inhalte, die über das Internet oder andere Netze in Datenbanken zur Verfügung stehen, sind zumeist nicht in Dateiform zugänglich. Trotzdem stellen insbesondere Internetquellen aufgrund ihrer Aktualität einen immer wichtiger werdenden Teil der Informationsquellen in der Produktentwicklung (z.B. mit Online-Produktkatalogen oder Online-Patentrecherchen) dar. Deshalb muss auch die Integration von Web- und Datenbankinhalten in ein Semantisches Netz ermöglicht werden. Dies kann beispielsweise über Hyperlinks, die auf die Webinhalte oder Abfrageergebnisse verweisen, realisiert werden.

Zugriff auf das Semantische Netz aus anderen Applikationen

Auch aus Applikationen der IT-Landschaft heraus muss ein Zugriff auf die Inhalte des Semantischen Netzes möglich sein. Deshalb muss auch eine Möglichkeit zur Verlinkung zu Knoten, beispielsweise über Lesezeichen (sog. Bookmarks) möglich sein. Hierzu muss eine Schnittstelle oder ein Protokoll geschaffen werden, das den Zugriff von möglichst vielen Programmen unterstützt (Beispiele hierfür sind HTTP, FTP, ODBC, SQL, ...).

7.2 Produktentwicklungstheorien und Semantische Netze

In Abschnitt 3.1 wurden verschiedene Theorien zur Produktentwicklung vorgestellt. Ziel dieser Theorien ist es, den Produktentwicklungsprozess unter Berücksichtigung verschiedener Gesichtspunkte zu beschreiben und zu untersuchen. Der Ablauf einer realen Produktentwicklung weicht zwar in der Regel von dem in der Theorie angenommenen Ablauf ab,

dennoch geben diese Theorien die Kernaspekte eines Produktentwicklungsprozesses zumindest in abstrahierter Form wieder. Eine Theorie, an der am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, an dem auch diese Arbeit entstanden ist, besonders intensiv geforscht wurde, ist die Theorie von CPM/PDD. Da deshalb ein gutes Verständnis in dieser Theorie besteht, wird vertieft anhand von CPM/PDD betrachtet, ob sich Semantische Netze zum Einsatz in der Produktentwicklung eignen. Dies wird eingehend im weiteren Verlauf dieses Kapitels geschehen. Doch auch mit den anderen, bereits beschriebenen Produktentwicklungstheorien kann die Konformität sichergestellt und Anknüpfungspunkte gefunden werden. Nach der Theorie von Hubka und Eder stellen Semantische Netze ein Informationssystem dar, sie sind also als „Operator Informationssysteme“ Teil des Transformationssystems (vgl. Abbildung 3.2). Gleichzeitig ermöglichen sie es jedoch auch, alle Operatoren, also Personen, Werkzeuge, Informationssysteme und auch Managementsysteme abzubilden, wie bereits im ersten Teil dieses Kapitels erläutert wurde. Der Einsatz von Informationssystemen und somit auch ein möglicher Einsatz von Semantischen Netzen ist also nur eine Option des Produktentwicklers und nicht zwingend erforderlich. Sie können den Einsatz anderer Operatoren wie Personen und Werkzeugen erleichtern und vereinfachen und sich somit positiv auf die Kosten und die benötigte Zeit auswirken.

Anders als bei hierarchisch baumartigen Wissensrepräsentationen gibt es in eine netzartige Struktur viele Einstiegspunkte. Sie folgen nicht einem hierarchischen Top-Down oder Bottom-Up Prinzip, sondern bieten an jedem Punkt Querverweise auf andere Ebenen. Der Domain-Theorie von Andreassen und Hein zufolge können Produkte aus verschiedenen Blickwinkeln gesehen werden. Hier wurden die Einzelteildomäne, die Organdomäne und die Transformationsdomäne unterschieden. Jede dieser Sichten kann einzeln erfasst werden und es kann darauf über eine andere wieder zugegriffen werden.

Hatchuel zeigt durch mengentheoretische Beobachtungen, dass es mathematisch nicht vorhergesehen werden kann, welches Wissen geschaffen und verwendet wird. Dies impliziert für die Repräsentation von Wissen, dass hier auch nicht vorherbestimmt werden kann, was genau erfasst werden soll. Auch hier bieten Semantische Netze Ansatzpunkte, um mit diesen Aspekten umzugehen, da die Netzstruktur flexibel ist und ihre Semantik selbst transportiert.

Um die Verwendbarkeit einer Wissensrepräsentation für die Produktentwicklung nach CPM/PDD zu beurteilen, kann die Unterteilung in produktorientiertes und prozessorientiertes

Wissen hilfreich sein. Deshalb gehen die folgenden Abschnitte zunächst auf das Produktmodell CPM und des damit verbundenen produktorientierten Wissens ein. Daraufhin erfolgt eine Betrachtung des Prozessmodells PDD und des prozessorientierten Wissens.

7.2.1 Produktorientiertes Wissen und CPM

Das Produktmodell setzt die atomaren Elemente von CPM/PDD zueinander in Bezug. Wie diese verbunden werden, ergibt sich aus den zuvor untersuchten Ressourcen, worin sie auch teilweise erfasst werden. Abbildung 7.3 zeigt diese Zusammenhänge schematisch mit typischen Ressourcen.

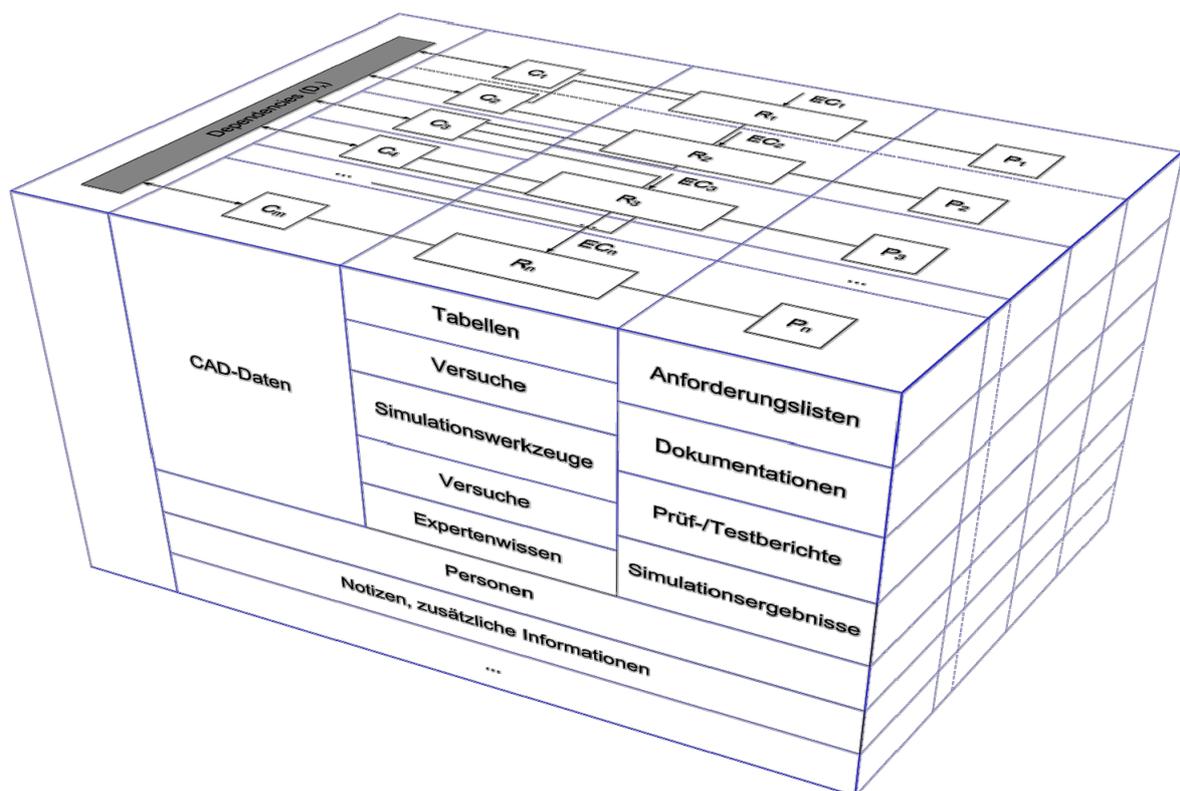


Abbildung 7.3: Bezug zwischen CPM und Ressourcen

Hier bieten sich Ansatzpunkte zur Verwendung Semantischer Netze. Semantische Netze können auf der Merkmalseite die üblicherweise durch CAD-Programme erstellten Dokumente verbinden und mit nicht abgebildeten Merkmalen, die z.B. geometrieunabhängig sind, ergänzen. Die Merkmale lassen sich bereits durch CAD-Werkzeuge sehr gut erfassen, welche durch Versionierungs- und Verwaltungsfunktionen von PDM-Systemen unterstützt und

ergänzt werden. Diese sind nicht einzeln, sondern in einem Bauteil oder auch einer Baugruppe zusammen gefasst. Die möglichen Anknüpfungspunkte für Semantische Netze sind deshalb auf der Merkmalseite auf Dateiebene zu sehen. Da die Semantik eines verbundenen Objektes durch sinnbehaftete Kanten und die Einbindung im Netz transportiert wird, ist es mit Semantischen Netzen hier möglich, den Kontext von Merkmalen zu erfassen. Dies können z.B. die zugrunde liegenden Synthesemethoden und damit verbundene Dokumente sein. Notizen und Erläuterungen zu Dependencies zwischen den Merkmalen sind hier auch flexibel integrierbar.

Die Eigenschaften sind sehr oft nur schwach in einzelnen Dokumenten abgebildet. Ein Grund hierfür ist die starke Unternehmens- und Branchenabhängigkeit und Vielfältigkeit der geforderten Eigenschaften [Webe08]. In einem Semantischen Netz können diese flexibel und situationsbezogen zusammen mit ihrer Semantik im Netz ergänzt werden. Somit ist eine Einbettung möglich, die z.B. durch das tabellarische Hinzufügen eines Keywords ohne Semantik nicht gegeben ist. Hierbei können sich die Verlinkungen auf einzelne Zeilen oder Seiten einer Anforderungsliste beziehen. Zusätzliche Eigenschaften können gemäß dem CPM-Modell ergänzt und im Semantischen Netz explizit erfasst werden. Auch erläuternde Informationen und zugehörige Dokumente können direkt durch Semantische Netze aufgenommen werden.

Die Ressourcen von Relationen sind besonders heterogen. Zumeist sind sie insbesondere bei Synthesemethoden nicht explizit erfasst, sondern basieren auf Erfahrungen und Interpretationen von Personen. Semantische Netze können im Produktmodell deren Vernetzung aufnehmen und in Bezug zu einander setzen. Außerdem wird die Möglichkeit gegeben, das „Warum“ für die Relationen mit abzulegen. Das Netz erlaubt die Erfassung von Kontextinformationen wie z.B. die Güte der gewählten Analysemethode oder die Person, die den Syntheseschritt durchgeführt hat. In diesem Zusammenhang können die External Conditions, unter denen eine Relation gültig ist (z.B. Temperaturbereich), direkt zu Analyse- bzw. Synthesemethoden hinzugefügt werden.

Nach dem Sichtenmodell von Deubel (nähere Informationen in [Deub07]) kann es je nach Zusammenhang vorkommen, dass ein Element entweder ein Merkmal oder eine Eigenschaft des Produktes darstellt. Dies ergibt sich durch den jeweiligen Kontext bzw. die jeweilige Sichtweise auf das Produkt (vgl. Abbildung 7.4).

Durch die Multidimensionalität Semantischer Netze kann dieser kontextabhängigen Interpretation Rechnung getragen werden und entsprechend der Herangehensweise ein Element als Merkmal oder Eigenschaft eingebunden und ausgelesen werden.

Bei der Betrachtung von Gruppierungen von Elementen ist auch die Anknüpfung an Lösungsmuster und deren Quellen möglich, die einen Teil des CPM-Modells darstellen. Die Anknüpfung zu Lösungsmustern und insbesondere zu Katalogsystemen für Zukaufteile ist von Wanke et al. vertieft untersucht worden und eröffnet hier mehrere Anknüpfungspunkte (siehe [WaCK07]). So sind Verbindungen zu Lösungsdatenbanken und Webressourcen realisierbar, die die Quelle von Teillösungen darstellen.

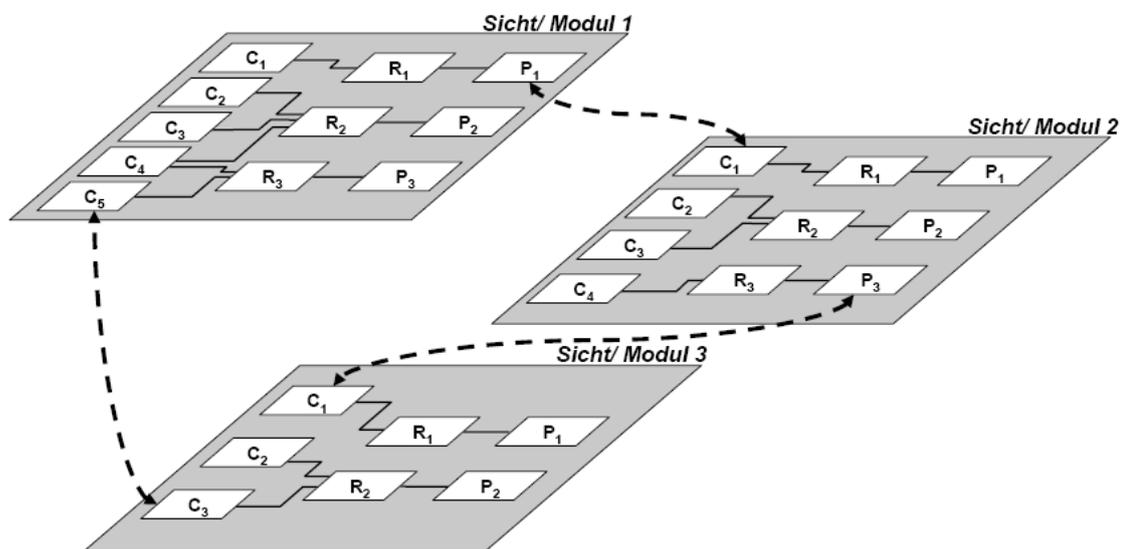


Abbildung 7.4: Sichtenmodell [Deub07]

Zusammenfassend folgt hieraus, dass es Anknüpfungspunkte zu allen Ressourcen der Merkmale, Relationen und Eigenschaften gibt. Somit lassen sich mit der Technologie der Semantischen Netze nahezu alle Facetten des produktorientierten Wissens unterstützen.

7.2.2 Prozessorientiertes Wissen

Die Hauptorganisationsform in der Produktentwicklung sind Projekte. Projekte sind einmalig, finden also nie zweimal auf die gleiche Weise statt. Im Kontext der Produktentwicklung ist ein Projekt durch einen Produktentwicklungsprozess charakterisiert. Wird für einen solchen Prozess der Wissensmanagementkreislauf von Probst et al. (vgl. Abschnitt 2.5.4 und

[PrRR06]) herangezogen, so wird deutlich, dass ein Erwerb bzw. eine Entwicklung von Wissen notwendig ist, was sich aus der Einzigartigkeit eines Projektes ableiten lässt. Dies lässt sich auch in der Theorie von Hatchuel und Weil (vgl. Abschnitt 3.1.3 und [HaWe03]) beobachten, die Konstruieren über die Schaffung neuer Elemente im Knowledge Space definiert.

Wird hierzu der Verlauf des Produktentwicklungsprozesses nach PDD betrachtet, ist das produktorientierte Wissen ein Teil des prozessorientierten Wissens. Dabei werden jedoch zusätzlich zu den Ist-Eigenschaften die Soll-Eigenschaften betrachtet, deren Vergleich zusammen mit den aktuellen Merkmalen für die Evaluierung und das Ziehen von Schlussfolgerungen für den weiteren Verlauf zu berücksichtigen ist.

Bei der Erfassung von Wissen im Produktentwicklungsprozess spielen PDM-Systeme eine Schlüsselrolle. Das Abspeichern und Verwalten von verschiedenen Prozessständen ist hierbei weitreichend und reproduzierbar möglich. Hierzu besitzen gängige PDM-Systeme ausgereifte Eincheck-, Auscheck- und Freigabefunktionen, die einen Prozessstand mittels Versionierung einfriert, abspeichert und indexiert. Ein solcher Prozessstand äußert sich dabei in einer neuen Konfiguration von Merkmalen, da fast ausschließlich Merkmale in Form von CAD-Daten erfasst werden. Die Ist- und Soll-Eigenschaften verteilen sich in einer heterogenen Ressourcenlandschaft auf verschiedene Applikationen und Dokumente. Der Produktentwickler muss diese Ressourcen kennen, sie finden und auf sie zugreifen können, um die Situation evaluieren zu können und Schlussfolgerungen zu ziehen. Auch ist es für die Unterstützung des prozessorientierten Wissens wichtig, die verwendeten Analysemethoden zu erfassen und interpretieren zu können, da nur so die Güte der Ist-Eigenschaften zu bewerten ist. Die verwendeten Synthesemethoden sind zumeist implizit und nicht in digitalen Dokumenten verfügbar. Hier ist eine Erfassung des Wissensträgers oder, im Idealfall eine Externalisierung sinnvoll, um den Prozess und die Prozessstände nachvollziehbar zu machen. Auch die schwache Abbildung und Unterscheidung von Ist- und insbesondere Soll-Eigenschaften erschwert die Evaluierung.

Die Wissensrepräsentation mit Semantischen Netzen findet auf dieser Grundlage für den Produktentwicklungsprozess und das damit verbundene prozessorientierte Wissen mehrere Ansatzpunkte. Diese Punkte basieren zum einen auf der Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Ressourcen, zum anderen darauf, dass Semantische Netze eine multidimensionale Darstellung ermöglichen. Die Darstellung kann flexibel erweitert werden,

da sie ihre Bedeutung in der Repräsentation mit transportiert. Diese Vorteile Semantischer Netze zeigen sich insbesondere bei der Handhabung dynamischer Inhalte, wie das Semantic Web als Weiterentwicklung des Internets zeigt¹⁷.

Auch der Produktentwicklungsprozess ist sehr dynamisch. Er läuft nicht-deterministisch ab und es ist daher auch vorher nicht bekannt, welche Ressourcen wann verwendet werden. Dieser dynamische Verlauf begründet sich in der Anwendung des Evaluierungs- und Schlussfolgerungswissens und deren Situationsbezogenheit. Somit ist ein starrer, vorbestimmter, deterministischer Verlauf, wie ihn konventionelle Methoden vorgeben, oft nicht ausreichend.

Wird zunächst die Eigenschaftsseite betrachtet, so können unter Einbindung der in Abschnitt 5.5 beschriebenen Ressourcen, insbesondere Soll-Eigenschaften und Ist-Eigenschaften überhaupt erst erfassbar bzw. kenntlich gemacht werden. Durch die Erweiterbarkeit des Netzes ist das Hinzufügen solcher Eigenschaften zu einem beliebigen Zeitpunkt möglich; durch die Multidimensionalität sind diese mit beliebigen und beliebig vielen Elementen verlinkbar. Diese Erfassung kann die Evaluierung erleichtern und somit das Evaluierungswissen unterstützen. Auch kann beschrieben werden, was evaluiert wurde. Aus den Ergebnissen der Evaluierung zieht der Produktentwickler Schlussfolgerungen, die den weiteren Prozessverlauf entscheidend steuern. Diese Schlussfolgerung und der hieraus folgende Syntheseschritt erzeugen die Merkmalskonfiguration, die beispielsweise in PDM-Systemen als eine Version verfügbar ist. Wie und warum der gewählte Syntheseschritt zustande kommt, ist jedoch Resultat eines fast ausschließlich nicht-deterministischen Schrittes, da das Produkt als solches erstmalig von der betreffenden Person entwickelt wird. Dieser unvorhersehbare Verlauf wird gut durch die schwache Vorstrukturierung Semantischer Netze abgebildet. Die Semantik eines hinzugefügten Knotens, sei es eine Person, ein Dokument oder eine Applikation wird durch die sinnbehaftete Kante zu dieser Ressource und deren Einbindung definiert. Wird diese Ressource erfasst, so wird eine Begründung der getroffenen Schlussfolgerung erfasst, was diese nachvollziehbar macht. Somit können beliebige Quellen, die in der jeweiligen Situation zur Evaluierung herangezogen wurden oder die die Begründung für eine Schlussfolgerung darstellen, erfasst werden.

¹⁷ Das Internet kann als extrem dynamisches Konstrukt angesehen werden, was sich auch in der durchschnittlichen Lebensdauer einer Webseite von 44 Tagen bei mehreren Milliarden Webseiten zeigt [www8].

Wird ein Entwicklungszyklus in PDD betrachtet, so kann diese Anbindung, angelehnt an die Betrachtungen von Weber et al. [WeWD03], wie in Abbildung 7.5 gezeigt, dargestellt werden.

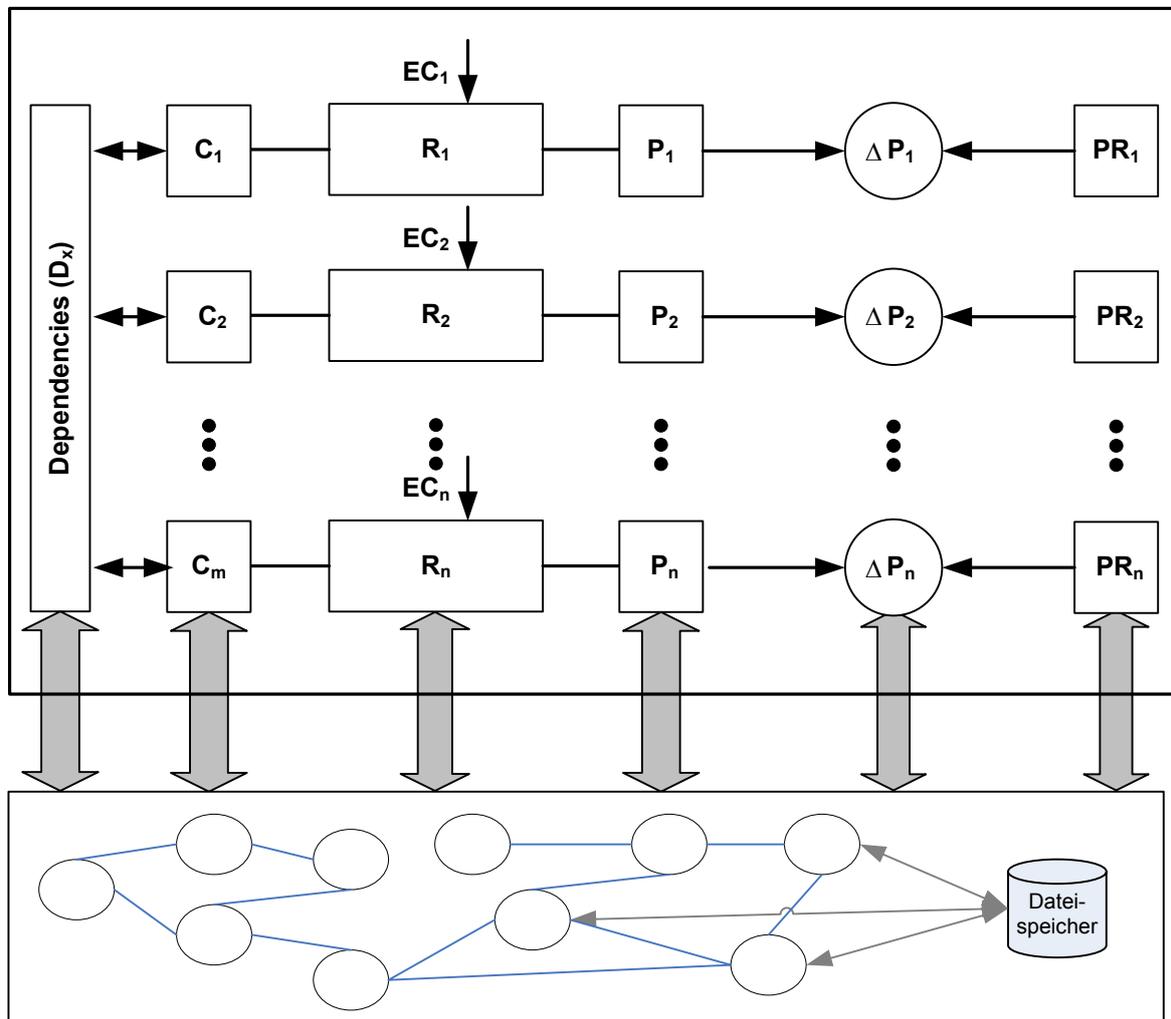


Abbildung 7.5: Anknüpfung eines PDD-Zyklus an ein Semantisches Netz

Bei einer Erweiterung auf mehrere Zyklen oder auch auf mehrere Produktentwicklungsprojekte entsteht so eine semantische Datenbasis, die einen übergreifenden Zugriff ermöglicht. Angelehnt an Abbildung 7.3 kann dies wie in Abbildung 7.6 gezeigt, dargestellt werden. Jeder Zyklus fügt hier eine Merkmals- und Eigenschaftskonfiguration hinzu.

Eine hierarchische Dokumentenverwaltung hat neben der geringeren Flexibilität immer das Problem der Einordnung der Dokumente, da jedes Individuum auch einen individuellen Zugang zu Informationen hat. Der Zugang kann beispielsweise vom Kontext des Aufgabenbereiches zum Zeitpunkt des Einstellens abhängig sein. Der Kontext zu diesem Zeitpunkt ist durch die Situationsbezogenheit bei einem späteren Zugriff für den Autor selbst

und für andere schwer nachvollziehbar. In Semantischen Netzen hingegen sind Informationen und Wissen in konzeptionellen Räumen bzgl. ihrer Bedeutung organisiert. Diese Ablageform geht hierbei über tabellarisch hierarchische Ablagen hinaus, da die Informationen durch ihren Bezugsraum, d.h. durch ihre Vernetzung automatisch mit dem entsprechenden Kontext verbunden sind. Dies ermöglicht zudem Suchanfragen auf die Inhalte der Datenbasis, die über eine schlagwortbasierte Suche hinausgehen.

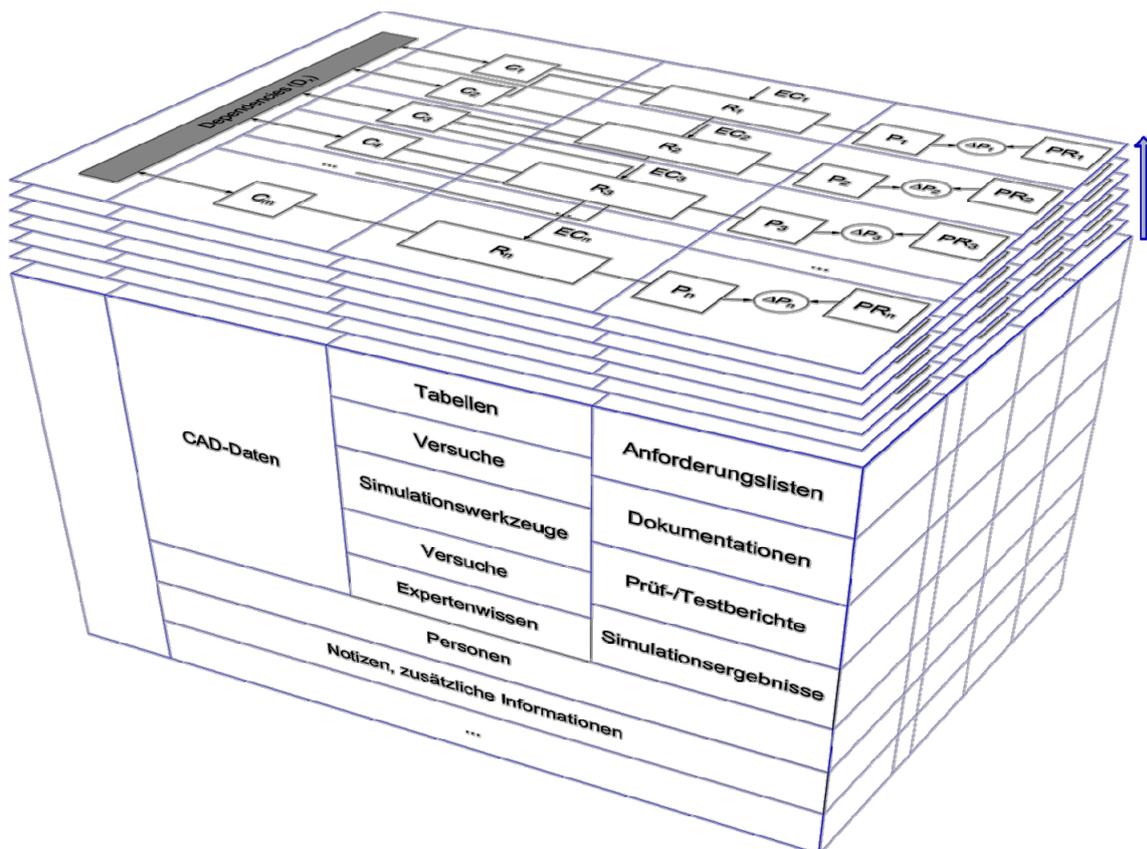


Abbildung 7.6: Abbildung mehrerer PDD-Zyklen/Projekte

Semantische Netze lassen sich auf alle Granularitäten des Produktentwicklungsprozesses anwenden und bieten so einheitlichen Zugriff. Hierbei ist insbesondere die verwendbare Elementgröße unterhalb des Dokumentes, d.h. Teile der Dokumente, günstig. Zudem bietet sich hohe Flexibilität bei der Erfassung von heterogenen Informationsquellen. Heterogene Objekte sind hier z.B. Dateien, Webseiten und Personen, die sich abbilden und mit beliebigen Objekten erweitern lassen.

Oftmals wird dem Konstrukteur insbesondere bei Syntheseschritten eine schöpferische Kreativität oder auch *human genius* zugesprochen. Zumeist erfolgt jedoch eine Anpassung bestehender Lösungen an neue Einsatzbedingungen [MKRS93]. Auch Lindemann und

Reichwald sehen die Suche nach bereits entwickelten Lösungen als ein wichtiges Element der Lösungssuche [LiRe98]. Hier zählt sich nun die Erfassung und Abbildung von Informationen und Wissen aus. Wird ein weiteres Projekt begonnen, so können nicht nur die Merkmale anhand von Prozessständen rekonstruiert werden, sondern auch die Motivation, warum dies so realisiert wurde. Diese ist durch die Benennung oder Beschreibung von verwendeten Synthesemethoden und Ressourcen möglich. Hierdurch wird auch Wissen zugänglich gemacht, das zwar explizit z.B. in Büchern oder Berichten verfügbar, doch unter einer Fülle anderer Inhalte vergraben ist. Oft reicht hier beispielsweise bereits der Hinweis auf ein Buchkapitel, eine Tabelle oder darauf, dass die Ausprägung eines Merkmals aus einer Studie folgt, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Dieser Sachverhalt wurde vom Autor et al. vertieft in [CDKW07] untersucht und untermauert.

Auch die Benennung entsprechender Ansprechpartner stellt bei einem erneuten Zugriff auf die Prozessinformationen eine wichtige Wissensquelle dar. Über die knotenweise Erfassung der Autoren in einem Semantischen Netz wird es möglich, die Träger adäquaten Wissens, die sich im Verlauf des Prozesses verändern können, zu identifizieren. Hierbei können die Benutzerrechte für Zugriff und Bearbeitung knotenweise sehr differenziert definiert werden.

Im Alltag eines Produktentwicklungsprozesses bleibt dabei wenig Zeit für die Erzeugung von komplexen Dokumenten zur Bewahrung des Wissens. Wie jedoch die Verwendung von Wikis zeigt, ist eine Wissenserfassung in der Praxis durchaus möglich, insofern diese mit geringem Aufwand erfolgen kann. Semantische Netze sind durch ihre Struktur leicht, schnell und einfach zu erweitern. Durch die Objektorientierung können über Vererbungsmechanismen zudem automatisiert Verlinkungen hergestellt werden. Insbesondere können durch die Netzstruktur in einer benutzerfreundlichen, gedächtnisadäquaten Art und Weise (vgl. Kapitel 2) Informationen und Wissen erfasst, extrahiert und präsentiert werden.

Die Knoten in einem Semantischen Netz sind bei entsprechender Verwaltung eindeutig identifizierbar, wie die Arbeiten zum Semantic Web zeigen. Zum einen können sie über eine spezifische Kennung, URI oder ID identifizierbar gemacht werden, zum anderen werden sie durch ihren Kontext identifiziert. Hierdurch lässt sich das Consistent naming problem abschwächen, das in einer heterogenen Systemlandschaft das Wiederfinden von Dokumenten erschwert, gerade wenn eine zeitliche Komponente hinzukommt.

7.2.3 Grenzen und offene Problemstellen

Die Verwendung von Semantischen Netzen ist jedoch nicht frei von Problemen. Einige dieser Probleme und offenen Problemstellen werden im Folgenden näher beschrieben.

Es stellt sich die Frage, ob eine so tiefgreifende Wiederverwendung von Informationen und Wissen früherer Projekte, wie sie die präsentierte Konzeption bietet, überhaupt wünschenswert ist. Die Gründe, die für eine Wiederverwendung sprechen, sind die Vermeidung von Doppelentwicklungen, Qualitätsverbesserung und vor allem Zeitersparnis. Auf der anderen Seite bilden sich Lösungsfixierungen und eingefahrene Vorgehensweisen. Dies kann zu sinkender Kreativität und letztendlich geringerer Innovation führen. Um diesem Risiko vorzubeugen, ist beim Einsatz einer solchen informationstechnischen Lösung auch auf Kreativitätstechniken bei der Komponente Mensch zu achten. Hier sind z.B. Brainstorming oder Synektik ein möglicher Weg, mit diesen Gefahren der Informations- und Wissenswiederverwendung umzugehen. Holzbaur schlägt sogar die Verwendung von Semantischen Netzen in der Produktentwicklung zur Kreativitätssteigerung vor, da „sie Begriffe formal korrekt und trotzdem anschaulich verbinden. Eine Kombination mit anderen Kreativitätsmethoden bietet sich an, um das Semantische Netz zu erweitern und wachsen zu lassen“ [Holz07].

Durch die Mächtigkeit der Repräsentationsform besteht bei der produktiven Nutzung eines solchen Systems die Gefahr eines Overloads an gespeicherten Elementen. Bei einer jahrelangen Nutzung durch eine Vielzahl von Usern kann die Wissensbasis sehr stark anschwellen, sodass Zugriffe trotz der guten Precision- und Recallwerte Semantischer Netze (vgl. Abschnitt 6.3.1) langsam und kompliziert werden. Um diesem Problem zu begegnen, können Bewertungsalgorithmen geschaffen werden, die „weniger wertvolles Wissen“, z.B. Wissen, das seltener verwendet wird, nach einiger Zeit archivieren und aus dem Produktivsystem löschen. Ein Ausgangspunkt für ein solches System können die in Suchmaschinen wie Google vielfach erprobten Bewertungsalgorithmen für Webseiten sein. Eine solche intelligente, automatisierte Archivierung innerhalb von Semantischen Repräsentationen stellt ein eigenes Forschungsfeld dar und wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht näher untersucht.

Semantische Netze sind sehr generisch und frei. Um dieses Problem einzugrenzen, werden, wie auch hier beschrieben, Ontologien definiert, die einen Mehrbenutzerbetrieb einer solchen

Software überhaupt erst ermöglichen. Da es sehr schwierig ist, eine allgemein gültige Ontologie zu entwickeln, wurde für die hier entwickelte Lösung das Konzept der firmenspezifischen Ontologie eingeführt. Die Definition einer solchen Ontologie mittels Basisklassen, die diese abbilden, ist jedoch intensiv und benötigt viel Verständnis der Ersteller über den im Unternehmen ablaufenden Produktentwicklungsprozess. Auch muss die Übersetzbarkeit mehrerer solcher Ontologien in der Praxis noch verifiziert werden.

Die Möglichkeit, sehr differenzierte Benutzerrechte zu vergeben, kann bei großen Datenmengen sehr komplex werden. Hier müssen Richtlinien und Vorgaben entwickelt werden, die zum einen die Flexibilität nutzen können, zum anderen diese aber auch beherrschbar machen.

Bei der konkreten Handhabung des Netzes sind das Hinzufügen von Elementen und das Modifizieren gut handhabbar. Die Durchführung von Löschoptionen ist jedoch kritisch, da sie die Konsistenz des Netzes zerstören kann. Hier müssen entsprechende Zugriffsregeln getroffen werden, um eine unsachgemäße Verwendung der Löschoptionen zu verhindern.

Ein grundsätzliches Problem, das bei der Verwendung von Systemen zur Erfassung und Wiederverwendung von Informationen und Wissen auftritt, ist die möglicherweise mangelnde Bereitschaft der Mitarbeiter, den Aufwand zur Erfassung zu betreiben. Dieser Aspekt verstärkt sich durch die Tatsache, dass bei Erbringung des notwendigen Aufwands zur Erfassung ein möglicher Vorteil bei der Wiederverwendung nicht sicher ist. Sollte ein Nutzen durch Wiederverwendung erfolgen, so ist dieser in jedem Fall zeitversetzt zur Erfassung und nicht unbedingt zugunsten der gleichen Person, die die zugehörige Erfassung getätigt hat. Das hier entwickelte Lösungskonzept versucht dieses Problem abzuschwächen, indem es die Erfassung so angenehm und zeitsparend wie möglich gestaltet. Dennoch ist ein ganzheitliches Wissensmanagement notwendig, um ein System wie dieses in der Praxis einsetzen zu können. Unter Berücksichtigung des T-O-M Modells bedeutet dies, dass insbesondere die Elemente Organisation und Mensch für die hier entwickelte technische Komponente ausgestaltet werden müssen. Hier sind Konzepte wie sie die VDI 5610 bereitstellt eine Möglichkeit, das in dieser Arbeit entwickelte Konzept operativ einzuführen.

8 Konzeptionelles Layout zur Nutzung Semantischer Netze in der Produktentwicklung

Aufgrund der Multidimensionalität Semantischer Netze kann die Verwendung in der Praxis nicht mit „Papier und Bleistift“ erfolgen. Deshalb muss eine Architektur entwickelt und detailliert werden, die die informationstechnische Umsetzung der Konzeption aus Kapitel 7 vorbereitet. Diese Architektur soll im Folgenden als konzeptionelles Layout¹⁸ bezeichnet werden. Das konzeptionelle Layout soll als Grundlage für eine informationstechnische Implementierung gesehen und entwickelt werden, das den Einsatz von Semantischen Netzen im Produktentwicklungsprozess nach CPM/PDD ermöglicht. Die Entwicklung des konzeptionellen Layouts ist ein notwendiger Schritt, um die Einsatzmöglichkeiten Semantischer Netze und der entwickelten Konzeption untersuchen zu können. In einem zweiten Schritt wird hieraus die Realisierbarkeit anhand einer prototypischen Implementierung gezeigt (vgl. Kapitel 9). Die prototypische Umsetzung auf die dieses Kapitel hinarbeitet und die in Kapitel 9 beschrieben wird, wird im Folgenden mit SNI (Akronym für Semantic Network Interface) benannt.

Zur Verwendung Semantischer Netze werden zunächst die Aktivitäten Erfassen und Zugreifen wie in Kapitel 7 beschrieben, aufgegriffen. Bei einer Erfassung erfolgt zunächst eine Interaktion des „Wissenden“ mit dem Netz. Diese Interaktion wird bei einer Person über eine sogenannte Dialog- oder Benutzerschnittstelle realisiert. Bei einer Applikation ist die Interaktion leichter, da sie bereits in Datenform vorliegt und über eine einfache Applikationschnittstelle eingebracht und über die Benutzerschnittstelle zu Wissen angereichert werden kann. Hiernach wird das zu erfassende Wissen durch eine Repräsentierung zu Daten kodifiziert. Die Daten werden wiederum über eine Datenschnittstelle in einer Datenbasis, beispielsweise einer Datenbank digital erfasst. Für den Zugriff auf die Inhalte des Systems muss die in der Repräsentation erfolgte Kodifizierung wieder rückgängig und das Wissen in einem „menschenverstehbaren“ bzw. applikationsspezifischen Format dargestellt werden.

¹⁸ Es sei hier darauf hingewiesen, dass der Begriff Konzept wie er in Abschnitt 6.2.5 beschrieben wurde, völlig unabhängig zu den Begriffen Konzeption und konzeptionelles Layout zu sehen ist. Ein Konzept bezeichnet hiernach die (informationstechnische) Repräsentation des wahrgenommenen Abbildes eines Gegenstandes. Die Konzeption stellt hingegen die aus den Zielen der Arbeit abgeleiteten Strategien und Maßnahmen zur Umsetzung des Vorhabens dar und das konzeptionelle Layout beschreibt ein entsprechendes Design.

Aus dieser Überlegung ergeben sich drei strukturelle Teile, die bei der Verwendung Semantischer Netze berücksichtigt werden müssen (vgl. Abbildung 8.1):

- Schnittstellen: Benutzerschnittstelle zum Dialog mit dem Anwender und dessen Wissen bzw. Applikationsschnittstelle zur Kommunikation mit der IT-Infrastruktur
- Datenbasis zur Abbildung des Inhaltes in maschineninterpretierbarer Form
- eindeutige Transformation (R und R^{-1}) zwischen den Schnittstellen, die die Daten für den jeweiligen Rezeptor (Datenbasis bei R bzw. Schnittstellen bei R^{-1}) aufbereitet.

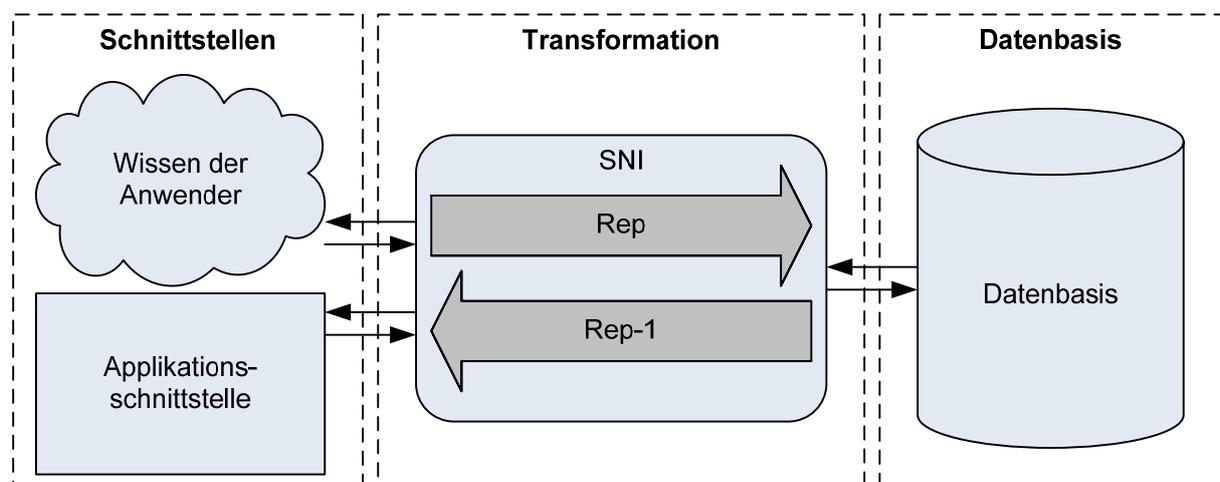


Abbildung 8.1: Strukturelle Teile des konzeptionellen Layouts

Auf diesen strukturellen Teilen basiert das in Kapitel 9 näher ausdetaillierte Layout, sodass eine informationstechnische Nutzung Semantischer Netze in der Produktentwicklung möglich wird. Daraufhin werden die Elemente des Netzes definiert, die die Grundlage für die implementierten Mechanismen und den Aufbau bilden. Eine dynamische Sichtweise auf die Aktivitäten Erfassung und Zugriff geschieht auf diesen Grundlagen in den letzten beiden Abschnitten.

8.1 Ausdetaillierung des konzeptionellen Layouts

Um die in Abbildung 8.1 dargestellten strukturellen Teile zu konkretisieren, soll für die Entwicklung eines detaillierten konzeptionellen Layouts insbesondere der Teil „Transformation“ konkretisiert werden. Das hier vorgestellte ausdetaillierte Layout basiert sowohl auf theoretischen Überlegungen, Erfahrungen in der Softwareentwicklung des Autors

und aller Mitwirkenden als auch auf praktischen Versuchen mit unterschiedlichen Prototypimplementierungen. Es soll die Verwendung Semantischer Netze in der Produktentwicklung ermöglichen, damit sie in diesem Kontext näher untersucht werden können.

Abbildung 8.2 zeigt die Teile des ausdetaillierten konzeptionellen Layouts von SNI im Überblick, auf die einzelnen Komponenten wird im Folgenden näher eingegangen.

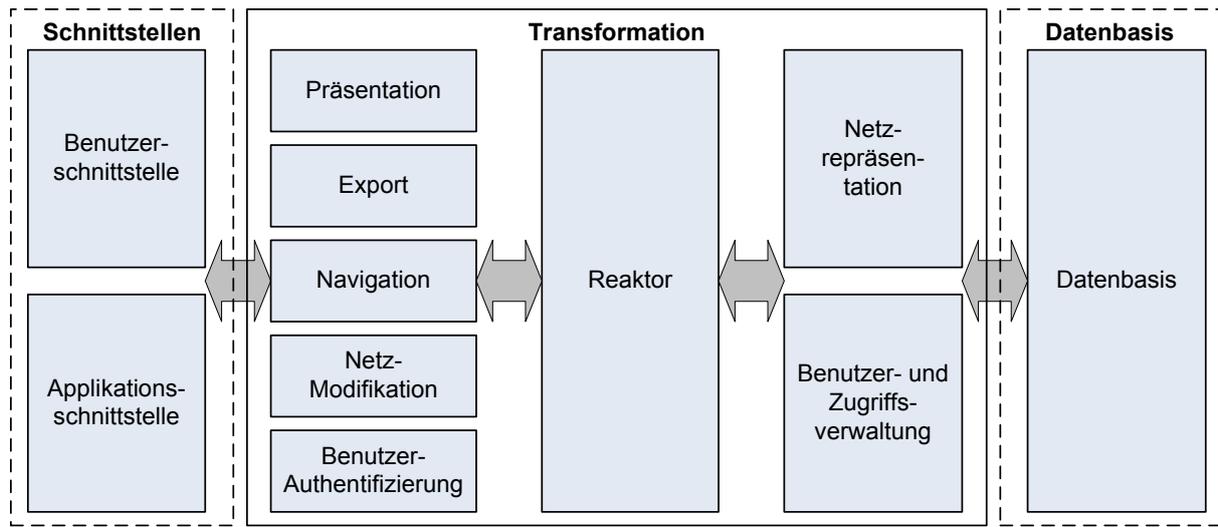


Abbildung 8.2: Konzeptionelles Layout von SNI

Die **Benutzerschnittstelle** stellt den direkten Kontakt mit dem Benutzer her. Sie dient als reines Input-/Output-Medium und stellt die Spezifikation dar, die zur Erfassung von und zum Zugriff auf Wissen erforderlich ist. Sie ermöglicht die Interaktion mit dem System und initiiert die Anzeige und Bearbeitung des Inhalts. Gleiches gilt für die **Applikationschnittstelle**. Hier wird eine „Verbindung“ zur bestehenden IT-Infrastruktur geschaffen, um Daten von ihr, bzw. zu ihr versenden zu können. Diese beiden Komponenten bilden somit die Schnittstelle des Systems zur Umwelt der Produktentwicklung.

Um dem Benutzer Informationen darzustellen, ist eine Komponente zur **Präsentation** erforderlich, die eine benutzerinterpretierbare Aufbereitung der im System hinterlegten Informationen ermöglicht. Erfolgt die Bereitstellung der Informationen nicht für den Benutzer sondern für andere Applikationen, so wird eine **Export**-Komponente benötigt, die Daten in Form von Dateien o.ä. an die Applikationschnittstelle weiterreicht.

Um sich im gesamten Semantischen Netz bewegen zu können, ist eine Komponente **Navigation** notwendig, die sowohl Suchfunktionalitäten als auch Bewegungen im Netz entlang von Kanten ermöglicht.

Die Teile Visualisierung, Export und Navigation bilden die Voraussetzung für den Informations- und Wissenszugriff. Um überhaupt Informationen zu erfassen, muss die Möglichkeit gegeben sein, das Semantische Netz zu formen. Dies erfolgt in der Komponente **Netz-Modifikation**. Hier können Elemente zum Netz hinzugefügt, verändert (z.B. verlinkt) und gelöscht werden.

Der Kern mit der eigentlichen Programmlogik wird durch die Komponente **Reaktor** dargestellt. Er reagiert auf die einkommenden Datenströme der anderen Teile, modifiziert sie gegebenenfalls (z.B. bei Operationen wie Instanziierung, vgl. Abschnitt 8.2.2) und leitet sie an die entsprechenden Empfängerkomponenten weiter.

Das eigentliche Semantische Netz wird in einer eigenen Komponente **Netzrepräsentation** gehandhabt. Auf den Aufbau des Semantischen Netzes und dessen Elemente geht Abschnitt 8.2 näher ein. Die Komponente Netzrepräsentation bildet das Semantische Netz im Speicher ab. Dies sind insbesondere die Grundelemente Knoten, Relationen, Tripel und auch Dateien. Zudem ist diese Komponente für die dauerhafte Erfassung des Netzes durch den Export in eine Datenbank zuständig. Als persistenten Speicher verwendet die Netzrepräsentation die Komponente **Datenbasis**.

Um eine Mehrbenutzerumgebung und so den Austausch von Informationen und Wissen zu ermöglichen, muss zunächst eine **Benutzer-Authentifizierung** des aktuellen Benutzers erfolgen. Die Identität des Benutzers ist zudem eine wichtige Information zur Kontexterfassung und ermöglicht das Erfassen der „Wissenden“.

Die **Benutzer- und Zugriffsverwaltung** spielt im Umfeld eines Unternehmens eine wichtige Rolle. Sie schützt sensible Informationen vor unbefugtem Zugriff und verhindert zugleich durch Personalisierung eine Informationsüberlastung des Benutzers. Deshalb ist diese Komponente ein wichtiger Aspekt bei der Verwendung von Informationstechnik in der Produktentwicklung. Sie ist im Kontext Semantischer Netze sowohl eng mit der Netzrepräsentation als auch mit der Authentifizierung verbunden.

Alle beschriebenen Komponenten können nun verschiedenartig implementiert und ausgestaltet werden; die hier folgenden Betrachtungen sind unabhängig von einer konkreten Implementierung.

8.2 Elemente des Semantischen Netzes

Nachdem zuvor die konzeptionelle Umgebung entwickelt wurde und somit die Grundlagen und Rahmenbedingungen für die Verwendung der Semantischen Netze gegeben sind, werden in diesem Abschnitt die Elemente des Semantischen Netzes beschrieben. Der Grundgedanke, Knoten mit sinnbehafteten Kanten zu verbinden, ist dabei relativ simpel. Hiervon ausgehend gibt es, wie bereits in Kapitel 6 beschrieben, nicht das Semantische Netz per se, sondern eine Vielzahl von Ausprägungen und Interpretationen. Die folgenden Abschnitte beschreiben eine für die Produktentwicklung nach CPM/PDD passende Interpretation der Semantischen Netze, die die identifizierten Erfordernisse erfüllt. Hierbei geht es insbesondere um die Interpretation

- der atomaren Elemente Knoten und Relation
- des zusammengesetzten Elementes Tripel
- und der Mechanismen zwischen diesen.

Elemente können im Zusammenhang mit dem objektorientierten Paradigma, dem Semantischen Netze als Repräsentationsform folgen, als abbildende Objekte bezeichnet werden. Die Objekte, die schließlich im Netz repräsentiert werden, sind hierbei die abzubildenden Objekte (vgl. hierzu auch [Konz08]). In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass die Repräsentation eines Objektes der Darstellung eines Konzeptes wie in Abschnitt 6.2.5 beschrieben, entspricht, weshalb hier der Nomenklatur der Arbeit folgend, der Begriff Konzept verwendet werden soll.

Die Knoten im Semantischen Netz stellen zusammen mit ihren Relationen zu anderen Knoten die Konzepte im Semantischen Netz dar. Ein Knoten transportiert, isoliert betrachtet, jedoch kein Wissen und kann somit kein Konzept darstellen. Er enthält prinzipiell nur einen (eindeutigen) Namen. Aus praktischen Gründen sollen die Knoten im Zusammenhang mit der Produktentwicklung zur Versionierung auch ihren Ersteller und Erstellungszeitpunkt enthalten. Zudem soll jeder Knoten Raum für Notizen und Kommentare geben, da diese sich

in Vorgängerarbeiten als sehr nutzerfreundlich erwiesen haben. Sie ermöglichen es einfach und unkompliziert, Informationen zu Elementen des Netzes hinzuzufügen, ohne eine Tripelstruktur erzeugen zu müssen.

Die Art und Menge der Relationen in einem Semantischen Netz sind grundsätzlich vielfältig und nicht begrenzt. Um grundlegende Strukturen und Mechanismen festlegen zu können, die die Erfüllung der Erfordernisse der Produktentwicklung ermöglichen, werden jedoch näher bestimmte Relationstypen benötigt. Insbesondere für Such- und Vererbungsmechanismen sind bestimmte Knotentypen essentiell. Die für den hier gegebenen Kontext entwickelten Relationen sollen den Bedürfnissen der Produktentwicklung gerecht werden:

- **Äquivalenzrelationen:** Mit der Äquivalenzrelation „*ist äquivalent zu*“ können synonyme oder quasi-synonyme Begriffe miteinander verbunden werden. Hierdurch ist es möglich, verschiedene Bezeichnungen für gleiche Konzepte abzulegen.
- **Hierarchierelationen:** Bei den Hierarchierelationen sollen zwei Strukturen ermöglicht werden, die wie Buur und Andreasen zeigen, für die Produktentwicklung beide erforderlich sind [BuAn89]:
 - **Abstraktion** (generische Relation): Eine Abstraktionsrelation „*ist ein*“ beschreibt die Relation zwischen zwei Objekten, von denen ein untergeordnetes Objekt alle Attribute des übergeordneten Objektes besitzt, in seiner Umsetzung jedoch frei verändert werden kann. Für jeden Unterbegriff trifft auch der Oberbegriff zu, aber nicht umgekehrt. Diese Relation ist vergleichbar mit einer Ordnerstruktur im Dateisystem oder einer Darstellung in Baumstruktur.
 - **Aggregation** (partitive Relation): Eine Aggregationsrelation „*ist Teil von*“ beschreibt die Relation zwischen zwei Begriffen, von denen der übergeordnete (weitere) Begriff (Verbandsbegriff) einem Ganzen entspricht und der untergeordnete (engere) Begriff (Teilbegriff) einen der Bestandteile dieses Ganzen repräsentiert.
- **Assoziationsrelationen:** Die Assoziationsrelation „*ist verwandt mit*“ stellt Relationen dar, die weder eindeutig hierarchisch noch Äquivalenzrelationen sind. Die Einführung dieser

„weicheren“ Verbindung ist insbesondere im Zusammenhang mit Vererbungs- und Instanziierungsregeln wichtig.

- **Attributrelation:** Die Attributrelation „*hat*“ bezeichnet die Attribute, die zu einem im Semantischen Netz abgebildeten Konzept gehören. Auf Attribute wird in Abschnitt 8.2.2 ausführlich eingegangen.

Die hier verwendeten Bezeichnungen für die Relationen sind dabei exemplarisch zu verstehen und dienen der Veranschaulichung. In der späteren Implementierung soll eine Trennung zwischen Funktionalität der Relation und deren Beschriftung erfolgen, sodass eine zur Einsatzumgebung im Unternehmen passende Beschriftung verwendet werden kann.

8.2.1 Tripel

Durch die Verknüpfung von Knoten über sinnbehaftete Kanten, d.h. Relationen, entsteht ein Semantisches Netz. Dieses wird durch Tripel gebildet, die aus einem Startknoten, einem Zielknoten und einer Relation bestehen. Diese Verknüpfung stellt die Begriffe in Bezug zueinander und bildet somit den Kern der Semantischen Netze. Alle Inhalte sind über solche Tripel abgelegt. Nur die Knoten, die in Tripeln enthalten sind, stellen Wissensträger dar.

8.2.2 Mechanismen im Semantischen Netz

Die Automatisierungsmöglichkeiten in einem Semantischen Netz sind vielfältig. Durch aufgesetzte Reasoner ist es z.B. möglich, die eingespeisten Daten zu interpretieren und Fragestellungen zu lösen bzw. zu bewerten. Doch insbesondere im Zusammenhang mit Expertensystemen konnten sich solche Systeme bislang nicht durchsetzen. Da der Kontext dieser Arbeit nicht das automatisierte Ziehen von Schlussfolgerungen, sondern die Verwendungsmöglichkeiten Semantischer Netze zur Erfassung von und Zugriff auf Informationen und Wissen sind, spielen diese Aspekte vordergründig keine Rolle. Dennoch werden die in Abschnitt 8.2 vorgestellten Relationen vom Softwaresystem speziell interpretiert. Dies dient der Vereinfachung von Erfassung und Zugriff und soll die Handhabung des Semantischen Netzes erleichtern und die Erfordernisse der Produktentwicklung erfüllen. Dabei sollen insbesondere die Verwendung der *ist ein* Relation

zur Vererbung und die der *hat* Relation für Attribute erläutert werden, da diese essentiell für die Verwendung des hier entwickelten Semantischen Netzes sind.

Die *ist ein* Relation bewirkt, wie bereits erwähnt, eine Vererbung im Semantischen Netz. Vererbt werden sollen hierbei alle Attribute des vererbenden Knotens an den erbenden Knoten. Die Verwendung von Attributen ist hierbei dem objektorientierten Paradigma entlehnt. Attribute ermöglichen es, Werte für ein bestimmtes Konzept zu hinterlegen. Attribut eines Knotens kann grundsätzlich jeder andere Knoten sein. Zum Erstellen eines Attributes wird dieser über eine spezielle Relation, der Attributrelation *hat* zum Ausgangsobjekt hinzugefügt. Zusätzlich zum Konzeptnamen (also dem Attributnamen) und der Relation kann ein solches Tripel einen Wert erhalten. Dieser kann je nach Einsatzzweck ein Zahlenwert oder auch ein Textstring sein.

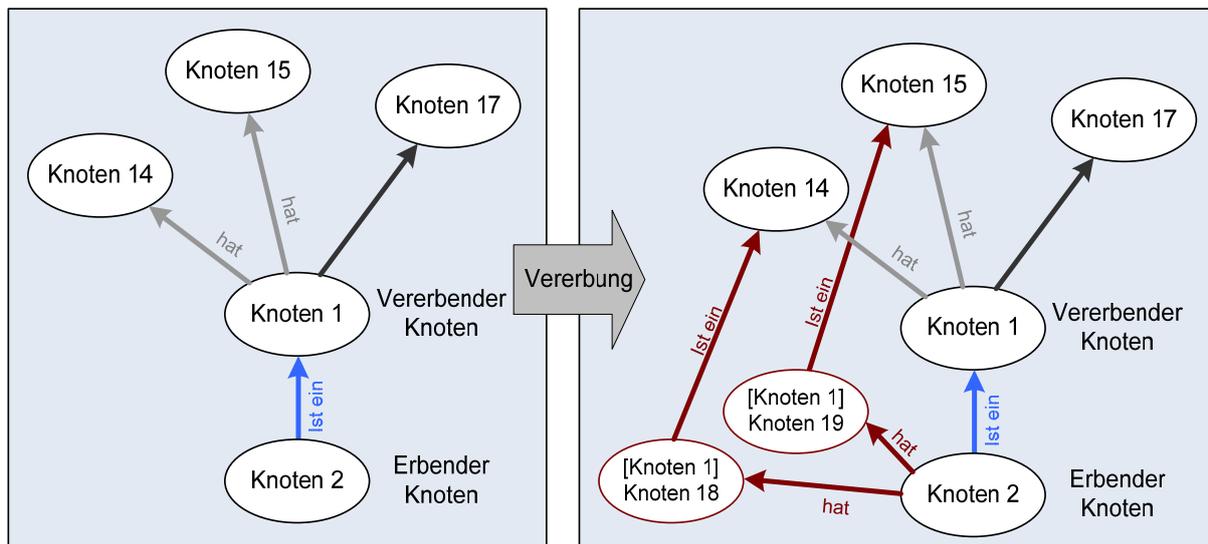


Abbildung 8.3: Vererbung von Attributen im Semantischen Netz

Bei der Vererbung werden die Attribute des vererbenden Knotens zum erbenden Knoten übertragen, sodass diese nicht erneut hinzugefügt werden müssen. Es wird jedoch keine Verknüpfung zum Attribut des Ausgangsknotens erstellt, sondern eine Kopie, deren Ausgangsknoten in der Bezeichnung (in Abbildung 8.3 durch den Ausgangsknotennamen in

eckigen Klammern) deutlich gemacht wird¹⁹. Abbildung 8.3 stellt den Vererbungsmechanismus für Attribute schematisch dar.

8.2.3 Aufbau des Semantischen Netzes

Als Ausgangspunkt des ganzen Netzes dient der Knoten „Basisknoten“. Er stellt den Master-Basisknoten im Netz dar. Da jeder Knoten im Netz einen Ersteller, ein Erstellungsdatum und einen Raum für Notizen/Kommentare bereithalten soll, besitzt der Master-Basisknoten diese Felder als Attribute. Von ihm ausgehend werden zunächst mehrere Basisknoten definiert, indem sie mit der *ist ein* Relation verknüpft werden. Hierdurch werden spezifische Konzepte, die für den hier betrachteten Produktentwicklungsprozess relevant sind, als Ausgangspunkte vorgegeben. Ein völlig freies Netz wäre in der praktischen Anwendung mit vielen Benutzern und Projekten zu generisch.

Die hier vorgegebenen Basisknoten können beliebig um weitere Knoten erweitert werden, stellen aber einen Ausgangspunkt, auch im Hinblick auf die Vererbung, dar.

8.3 Informations-/Wissenszugriff und Darstellung

Die Darstellung des erfassten Wissens ist von zentraler Bedeutung. Sie erfolgt in der Benutzerschnittstelle. Um eine komfortable Interaktion mit dem Netz zu ermöglichen, sollte die Darstellung nicht in reiner Textform erfolgen. Hier bieten Semantische Netze weiterreichende Möglichkeiten der grafischen Präsentation. Dennoch muss zunächst eine möglichst anschauliche Darstellung des im Netz gespeicherten Wissens geboten werden.

8.3.1 Visualisierung in der Netzdarstellung

Alle Konzepte im Netz sind auf irgendeine Art mit den Basisknoten verbunden. Auf diese Weise werden isolierte Knoten vermieden. Diese Voraussetzung ermöglicht eine

¹⁹ Diese Vorgehensweise ist mit dem Prinzip der „Tiefen Kopie“ (engl. deep copy) für Kopierkonstruktoren in der objektorientierten Programmierung vergleichbar. Die Alternative hierzu ist die „Flache Kopie“ (engl. shallow copy), bei der die Verknüpfungen des neuen Objektes auf Ziele der Basisklasse zeigen.

Visualisierung über die Netzdarstellung von Knoten und Kanten. Die Vorteile hiervon haben bereits Studien mit Mindmaps und Concept Maps gezeigt. Der Begriff Mindmap geht dabei im Wesentlichen auf den Psychologen Tony Buzan zurück [BuBu96]. Eine Mindmap ist dabei eine grafische Darstellung, die Beziehungen zwischen verschiedenen Begriffen aufzeigt. Abbildung 8.4 zeigt beispielhaft eine Mindmap von Buzan, die die Vorteile dieser Technik bei Verwendung seiner Software iMindMap aufzeigen soll [www2].

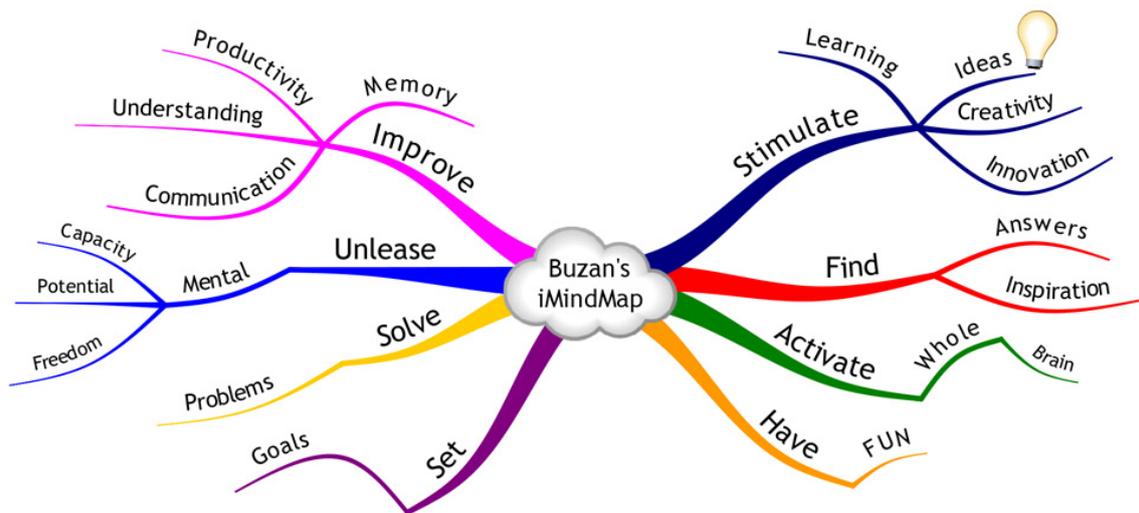


Abbildung 8.4: Beispiel für eine Mindmap nach [www2]

Buzan und Buzan zufolge ermöglicht diese grafische Darstellung die Möglichkeit des schnellen und intuitiven Zugriffs auf die Inhalte. Dabei kann auf ganze Sätze verzichtet werden, was den Inhalt schneller zugänglich macht und die Kernaspekte verdeutlicht [BuBu96]. Ähnliche Vorteile werden auch bei der Netzdarstellung in Concept Maps beschrieben, die nach Nückels et al. eher eine logische bzw. analytische Betrachtungsweise bieten, wohingegen die zuvor erläuterten Mindmaps auf ein assoziatives Herangehen abzielen [NGPR04]. Beiden gemeinsam sind jedoch die hier relevanten Vorteile der visuellen Darbietung von Informationen und Wissen in Netzform.

Zudem visualisiert die Darstellung in Netzform die Zusammenhänge in gedächtnisadäquater Art und Weise (vgl. hierzu Abschnitt 2.2) und bietet eine übersichtliche Anordnung der semantischen Struktur. Auch ermöglicht sie durch das Verfolgen von Kantenzügen andere Knoten zu erreichen und die semantischen Zusammenhänge über Kantenbeschriftungen zu erfassen.

Aus o.g. Gründen, soll der Zugriff zumindest partiell über die Visualisierung in Netzform erfolgen können. Hierbei ist die Darstellungstiefe auf eine Ebene nach dem Ausgangsknoten begrenzt, da sonst die Visualisierung zu unübersichtlich wäre. Die Navigation erfolgt durch Verfolgen („Anklicken“) eines Zielknotens.

8.3.2 Visualisierung als Frame

Neben der Visualisierung des Netzes kann bei der Informations- und Wissensdarstellung auch der objektorientierte Charakter der Semantischen Netze aufgegriffen werden, um die visuelle Darstellung zu entlasten. Hierzu soll die Grundidee der Frames verwendet werden. Der Begriff Frames wurde von Minsky in den 70er Jahren geprägt und bildet eine Datenstruktur für eine stereotype Situation [Mins75], also eine Situation mit gleich bleibendem oder häufig vorkommendem Muster. In der Sprache der Objektorientierung werden Frames als Klassen ohne Methoden, also Klassen, die nur Attribute enthalten, verstanden. Abbildung 8.5 stellt ein solches Frame dar.

Frame 1	
Attribut 1	Wert 1
Attribut 2	Wert 2
Attribut 3	Frame 2
	Attribut 1 Wert 1
	Attribut 2 Wert 2
Attribut 4	Wert 4

Abbildung 8.5: Beispiel für eine Framedarstellung nach [Mins75]

Die Attribute können, wie in der Abbildung dargestellt, in der Framedarstellung Werte oder weitere Attribute enthalten.

Diese Framedarstellung kann auch auf Teile des Semantischen Netzes in SNI angewendet werden. Ein Frame stellt dabei einen Knoten dar. Die Erstellung des Frames erfolgt durch Interpretation der Tripel. Da Attribut-Tripel einen engen Bezug zum zugehörigen Knoten haben, ist es sinnvoll, diese so direkt mit dem Knoten zu visualisieren. Wie in Abschnitt 8.2.2 beschrieben, können Attribut-Tripel sowohl Werte als auch andere Knoten enthalten. Werte sind dabei zusammen mit dem zugehörigen Attribut direkt darstellbar. Fasst man einen verbundenen Knoten als neuen Frame auf, so ist dies auch direkt übertragbar. Der verbundene

Knoten des Attributs kann in einer zweiten Ebene dargestellt werden. Da zu jedem Knoten auch Ersteller und Erstellungsdatum als Attribut erfasst werden sollen, können diese unter anderem hier angegeben werden. Auch zugeordnete Dateien sollen in der Visualisierung als Attribute aufgefasst und somit im Frame des Knotens angezeigt werden. Die hier entwickelte Darstellungsform interpretiert somit die Attributrelationen des Semantischen Netzes.

Eine Navigation innerhalb von Frames ist durch Anwählen von Attributen oder Werten, die aus Objekten bestehen, möglich. Diese bilden dann das nächste Ausgangsobjekt.

8.3.3 Hybride Darstellung des Semantischen Netzes

Betrachtet man die Teilinterpretation in der Framedarstellung zusammen mit der Netzdarstellung, so erhält man eine duale Darstellung, die hier als hybride Darstellung bezeichnet werden soll. Sie stellt die stärker strukturierten Informationen des Netzes in einer tabellenartigen Form dar, die schwächer strukturierten hingegen in einer Netzstruktur. Dies soll den Zugriff durch die Nutzung der Stärken verschiedener Darstellungsformen vereinfachen. Abbildung 8.6 zeigt schematisch das Semantische Netz und dessen hybride Darstellung. Ausgehend von einem Knoten 1 werden die Attributrelationen und Dateien mit deren Werten als Konzepte in der Framedarstellung visualisiert. Die übrigen Relationen werden als Netz dargestellt.

Die sich hieraus ergebenden Navigationsmöglichkeiten setzen sich aus denen der Netz- und der Framevisualisierung zusammen; jedes Konzept in dieser Darstellung kann als Link zu einem weiteren Konzept dienen.

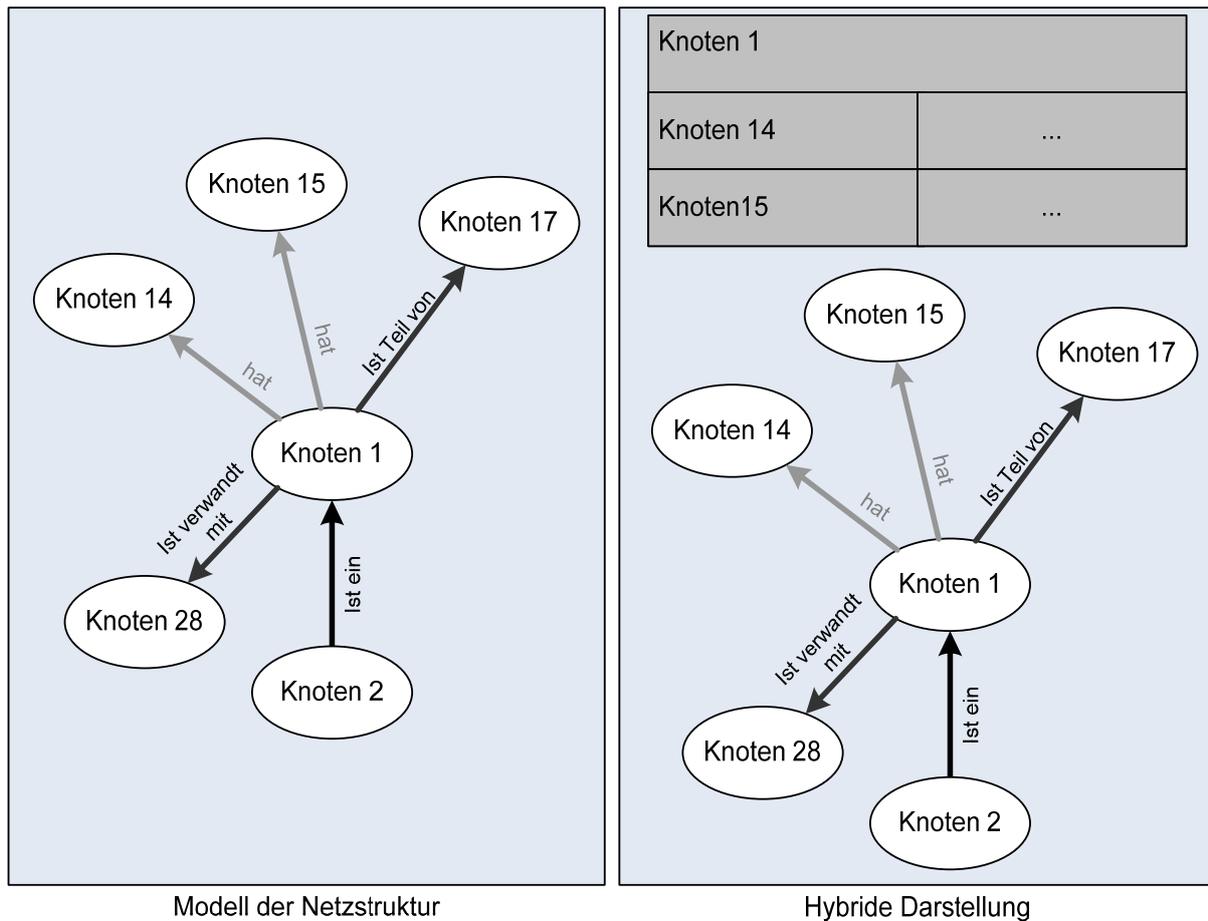


Abbildung 8.6: Semantisches Netz und dessen hybride Darstellung

8.3.4 Suchfunktionen

Da nicht alle Zugriffe auf das Netz beim Basisknoten beginnen sollen, müssen Suchmöglichkeiten im Semantischen Netz zur Verfügung gestellt werden. Hierfür bieten sich durch die schrittweise Verknüpfung mehrerer Suchanfragen mächtige Filterwerkzeuge an, wie bereits in The Semaril gezeigt wurde. Dem System werden hierbei Knoten, Relationen oder Tripel vorgegeben, nach denen gesucht werden soll. Bei mehreren Elementen sind diese durch ein logisches UND miteinander zu verknüpfen. Die Ergebnisse können durch weitere Suchfilter ergänzt werden, die entweder durch eine ODER-Verknüpfung angehängen werden oder mit einer UND-Verknüpfung das bisherige Ergebnis verfeinern.

8.3.5 Zugriff über die Applikationsschnittstelle

Der Zugriff auf das Semantische Netz soll nicht nur über die Benutzerschnittstelle möglich sein. Auf der Anwendungsseite sollte eine zielapplikationsspezifische Datenausleitung, beispielsweise tabellarisch für Microsoft Excel möglich sein. Die hiermit verbundene Schnittstellenproblematik wirkt sich jedoch eher auf den praktischen Einsatz aus und stellt ein Implementierungs- und kein konzeptuelles Problem dar. Deshalb soll es an dieser Stelle nicht näher beleuchtet werden.

8.4 Informations-/Wissenserfassung

Bei der Erfassung von Information und Wissen und somit der Gestaltung des Netzes gibt es verschiedene grundsätzliche Ansätze. Eine Reihe von Forschungen versucht, die Informationen und das Wissen aus dem Konstruktionsprozess automatisch zu extrahieren und abzulegen (z.B. [LiLL07]). Das Computer-Intelligenz-unterstützte Verstehen des Produktentwicklungsprozesses erscheint dem Autor für den Praxiseinsatz momentan jedoch als zu ambitioniert. Zudem scheuen viele Nutzer und Unternehmen den „digitalen Beobachter“, der ständig das Verhalten am PC beobachtet, um dieses interpretieren zu können. Deshalb wird bei den folgenden Betrachtungen von einer manuellen Eingabe zur Kontext- und Semantikerfassung ausgegangen. Diese soll in einer späteren Implementierung so einfach, komfortabel und schnell wie möglich erscheinen, um die Akzeptanz der Benutzer zu erlangen.

8.4.1 Erfassung über die Benutzerschnittstelle

Die Manipulation über die Benutzerschnittstelle ist die Hauptinteraktionsform mit dem Semantischen Netz. Hierbei muss definiert werden, welche Operationen im Netz notwendig sind und zugelassen werden, um Inkonsistenzen zu vermeiden. In der Praxis müssen die Manipulationsmöglichkeiten neben der Vermeidung von Inkonsistenzen auch Benutzerrechte berücksichtigen. Dieser Aspekt ist jedoch unabhängig von der hier betrachteten Konsistenzerhaltung und soll deshalb nicht weiter berücksichtigt werden.

Operationen im Semantischen Netz

Bei der Modifikation des Semantischen Netzes sind grundsätzlich die Operationen

- Hinzufügen,
- Manipulieren
- und Löschen

von Knoten, Relationen und Tripeln möglich.

Wie der Begriff Wissenserfassung bereits aussagt, spielt das Hinzufügen von Elementen dabei die Hauptrolle. Die Tabelle in Abbildung 8.7 soll alle möglichen Variationen für Hinzufüge-Operationen aufzeigen. Das Unterbinden des Hinzufügens von zwei neuen Knoten verhindert, dass sich einzelne isolierte Netzteile bilden, die über die hier entwickelten Navigationsmöglichkeiten kaum zu erreichen wären.

Neu hinzugefügt:			Erlaubt
Ausgangsknoten	Zielknoten	Relation	
•			✓
•	•		✗
•	•	•	✗
•		•	✓
	•		✓
	•	•	✓
		•	✓
			✓, falls Tripel noch nicht existiert

Abbildung 8.7: Erlaubte Operationen bei Hinzufüge-Operationen

Beim Begriff des Manipulierens können nicht-strukturelle und strukturelle Manipulationen des Netzes unterschieden werden. Nicht-strukturelle Modifikationen umfassen das Verändern von Bezeichnungen, Werten und anderen Textfeldern. Die Verwaltung dieser Modifikationen ist durch die Trennung von Relationsfunktionalitäten und deren Beschriftung für die Konsistenz unkritisch, sollte jedoch unbedingt bei der Rechteverwaltung berücksichtigt werden. Strukturelle Modifikationen können als zusammengesetzte Lösch- und Hinzufüge-Operationen angesehen und als solche mit deren Vorgaben behandelt werden.

Lösch-Operationen sind grundsätzlich aufgrund der Vernetzungen schwierig durchzuführen. Die Möglichkeit des Löschens soll hier hauptsächlich auf gerade zuvor erstellte Inhalte, die Tippfehler oder „Klick-Fehler“ enthalten, angewendet werden. Diese gerade erstellten Knoten

besitzen noch keine oder nur geringe Verzweigungen, die in Mitleidenschaft gezogen werden können. Tiefgreifendere Löschvorgänge, insbesondere von Relationen und Knoten sind im Semantischen Netz sehr riskant. So kann z.B. durch das Löschen von Relationstypen das komplette Netz unbrauchbar werden. Aber auch beim Löschen von Tripeln und Knoten kann es zu Waisen, also Knoten ohne weitere Verbindungen kommen, was nur durch hohe Flexibilitätseinbußen zu vermeiden wäre.

Da es jedoch aus oben genannten Gründen notwendig sein kann, Teile des Netzes zu entfernen, sollen Löschoperationen möglich sein. Allerdings soll hier wiederum auf eine geeignete Rechtevergabe hingewiesen werden.

Unterstützende Mechanismen

Durch die Netzstruktur ist die Erfassung von Informationen und Wissen mit hoher Flexibilität, geringem Aufwand und in kleinen Portionen möglich, was auch bei der Verwendung von The Semaril festgestellt wurde [WWPS05]. Hierbei bieten die entwickelten Konzepte von SNI zusätzliche Mechanismen, um die Erfassung zu vereinfachen. Zum Tragen kommt hier insbesondere der Vererbungsmechanismus, der aus dem Zusammenspiel der *ist ein* und der *hat* Relationen ermöglicht wird. Durch bereits angelegte Basisklassen mit entsprechenden Attributen wird eine Grundstruktur bereitgestellt. Der Aufwand bei Neueingaben beschränkt sich daraufhin auf das Eintragen von Werten. Diese, bereits in Kapitel 7 im Bereich der Ontologien geforderten Vorlagen und Templates wirken sich also auch beim Aufwand zur Erfassung von Informationen und Wissen positiv aus.

Die Vererbung ist dabei nicht nur bei Knoten möglich, die direkt von der Basisklasse abgeleitet werden, sondern auch bei allen anderen Ebenen. Um hier die notwendige Flexibilität zu gewährleisten, können in jeder dieser Ebenen beliebige Attribute ergänzt und bestehende Attribute vernachlässigt werden.

8.4.2 Erfassung über die Applikationsschnittstelle

Obwohl in dieser Arbeit von einer manuellen Informations- und Wissenserfassung ausgegangen werden soll, ist diese zudem über die Applikationsschnittstelle möglich. So können Netz-Elemente aus entsprechenden Tabellen- oder Datenbankstrukturen in das System eingespeist werden. Dies ist zum Beispiel zum Ergänzen von längeren oder

listenförmigen Einträgen sinnvoll. Wie eine solche Erfassung erfolgen kann, ist jedoch, ähnlich wie die in Abschnitt 8.3.5 beschriebene Ausleitung, abhängig von der Quellapplikation und somit ein Schnittstellenproblem, das an dieser Stelle nicht näher betrachtet werden soll.

9 Prototypische Umsetzung

Um die Machbarkeit der zuvor theoretisch ermittelten Ergebnisse zu zeigen, wurde im Rahmen des Promotionsprojektes eine mögliche prototypische Umsetzung über 2 Jahre entwickelt und implementiert. Diese Umsetzungen erfolgten auch unter Hinzunahme der Arbeit von Konz [Konz08]. Der Prototyp dient vorrangig der Forschung und soll somit eine einfache und schnelle Bearbeitbarkeit und Anpassbarkeit vorweisen. Zudem soll die Entwicklung in einem Entwicklerteam durchgeführt werden, was wiederum eine Modularisierung erforderlich macht.

Der Unterscheidung beteiligter Personen und Schichten von Wiki-Systemen folgend (vgl. Abschnitt 6.6.1 und Abbildung 6.8) richtet sich der entwickelte Prototyp an die Personen oberhalb der Wiki-Schnittstelle, also an Leser und Autoren. Dies sind im gegebenen Kontext alle an der Produktentwicklung direkt beteiligten Personen. Die unterlagerten Schichten zur Administration und Wartung sind für die Entwicklung dieses Prototyps weniger relevant.

9.1 Beschreibung des entstandenen Prototyps und dessen Funktionalitäten

Um zunächst ein Bild der entstandenen softwaretechnischen Lösung zu vermitteln, werden hier der Prototyp und dessen wichtigste Funktionalitäten zusammenfassend beschrieben. Dies erleichtert zudem das Verständnis der in Kapitel 8 beschriebenen konzeptionellen Überlegungen. Wie die Funktionalitäten eingesetzt werden können, beschreibt Kapitel 10 beispielhaft. Abbildung 9.1 zeigt das Hauptfenster des Prototyps SNI, das ein Beispielkonzept visualisiert. Wie auf diesem Bildschirmfoto ersichtlich ist, wird die Software in einem Browser ausgeführt. Auf die Beweggründe und technische Umsetzung wird im Folgenden noch näher eingegangen. Diese Beschreibung stellt nur einen Ausschnitt der Funktionalitäten des Prototyps dar. Sie soll einen Eindruck über das „Look and Feel“ der Software vermitteln und nicht eine vollständige Dokumentation darstellen.


SNI
Semantic Network Interface












Konzept: Axial-Rillenkugellager

Verwaltungswerte

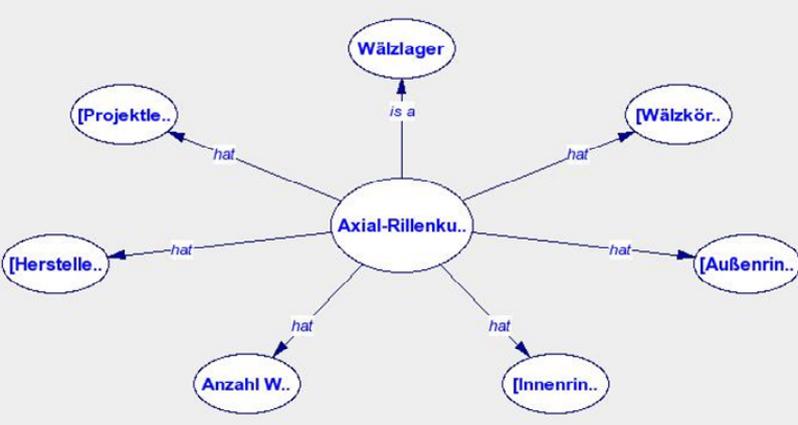
Name	 Axial-Rillenkugellager
Kommentar	<input type="text"/>
Autor	 Jan Conrad
Erstellt	2008-12-21 20:11:55

Attribute

 [Wälzkörper][Axial-Rillenkuge	 Kugel
 [Außenring][Axial-Rillenkuge	
 [Innenring][Axial-Rillenkugell	
 Anzahl Wälzkörper	 32
 [Hersteller][Axial-Rillenkugell	
 [Projektleiter][Axial-Rillenkug	 Jan Conrad

assozierte Dateien

 Datenblatt.pdf	download [lesen]
 Zeitplan.xls	download [lesen]



```

graph TD
    ARK([Axial-Rillenkugellager]) -- is a --> WL([Wälzlager])
    ARK -- hat --> WK([Wälzkörper])
    ARK -- hat --> AU([Außenring])
    ARK -- hat --> IN([Innenring])
    ARK -- hat --> AW([Anzahl W...])
    ARK -- hat --> HS([Hersteller])
  
```

Abbildung 9.1: Prototyp SNI

9.1.1 Hybride Darstellung

In Abbildung 9.1 wird die Umsetzung der hybriden Darstellung ersichtlich, die die Hauptinteraktionsform des Prototyps mit dem Benutzer darstellt. Bei der hybriden Darstellung kann in die Framedarstellung und die Netzvisualisierung unterschieden werden.

Framedarstellung

Die Framedarstellung ist in drei Bereiche unterteilt. Im oberen Teil befinden sich die von der Basisklasse abgeleiteten Attribute, die also jeder Knoten erhält. Diese sind unter dem Punkt „Verwaltungswerte“ zusammengefasst und können nach Bedarf ein- und ausgeblendet werden (grüner Pfeil). Darunter werden alle anderen Attribute des aktuellen Knotens angezeigt. Die Visualisierung verdeutlicht bei zugeordneten Werten über das verwendete Icon zudem, ob es sich um einen atomaren Wert oder einen anderen Knoten handelt. Der dritte Teil der Framedarstellung zeigt die assoziierten Dateien mit Dateityp-spezifischem Icon an.

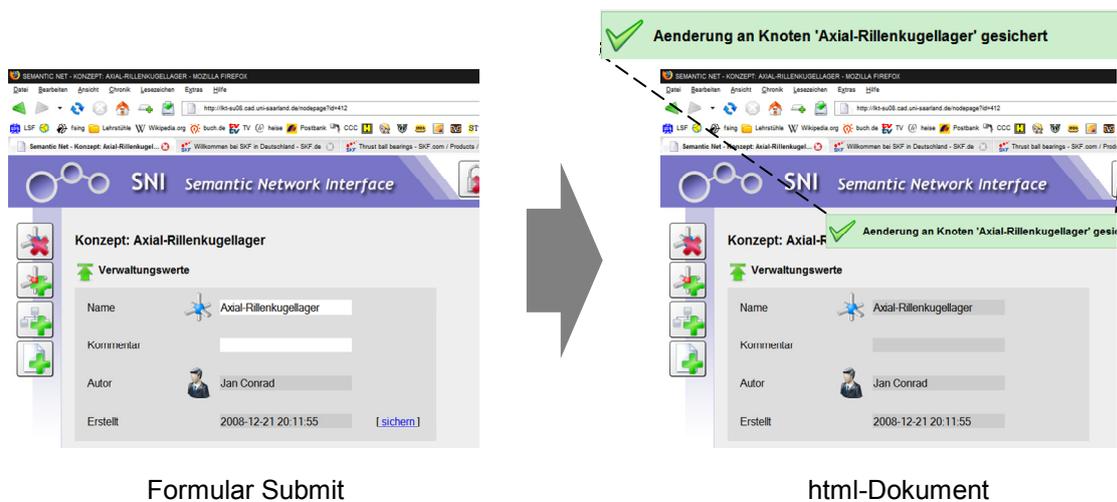


Abbildung 9.2: Modifikation von Daten in der Framedarstellung

Durch einen Doppelklick auf die Daten der drei Bereiche können diese direkt in der Framedarstellung modifiziert werden, wenn der aktuelle Benutzer die notwendige Berechtigung besitzt. Die Bearbeitbarkeit wird nach dem Doppelklick durch eine weiße Hinterlegung der Eingabefelder visuell deutlich gemacht (vgl. Abbildung 9.2). Weitere Funktionalitäten zur Bearbeitung des Inhalts erfolgen über die Schaltflächen für lokale und globale Funktionalitäten, die im Verlauf dieser Arbeit noch näher erläutert werden. Die

Framedarstellung erfolgt über die SNI-Widgets, die eine komfortable und intuitive Interaktion erlauben. Auf deren Implementierung geht Abschnitt 9.3.2 näher ein.

Netzvisualisierung

Im zweiten Teil der hybriden Darstellung wird das Semantische Netz visualisiert. Im Mittelpunkt der Netzdarstellung steht immer der in der Framedarstellung beschriebene Knoten. Um diesen herum werden alle Knoten und Kanten visualisiert, zu denen ein Tripel, das den aktuellen Knoten enthält, existiert. Durch das Anklicken eines Knotens wird dieser in der Framedarstellung dargestellt und rückt in den Mittelpunkt der Netzvisualisierung. So kann mithilfe der Netzdarstellung navigiert werden.

9.1.2 Lokale und globale Funktionalitäten

Bei den Bedienelementen für die Funktionalitäten des Prototyps wird in lokale und globale Funktionalitäten unterschieden, deren Platzierung bewusst unterschiedlich gewählt wurde (vgl. Abbildung 9.1). Lokale Funktionalitäten beziehen sich direkt auf den aktuell dargestellten Knoten. Sie ermöglichen dessen direkte Manipulationen wie z.B. das Hinzufügen eines Attributs.

In Verlauf dieses Abschnitts werden die Bedienelemente für lokale Funktionalitäten und deren Bedeutung erläutert, die in Abbildung 9.3 am Prototyp dargestellt wurden.

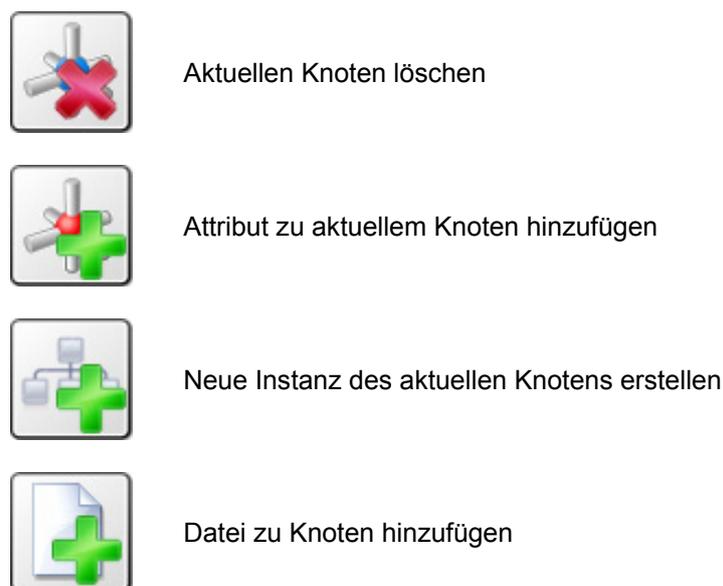


Abbildung 9.3: Beispiele für lokale Funktionalitäten

Globale Funktionalitäten stellen Aktionen bereit, die nicht direkt mit dem aktuellen Knoten in Zusammenhang stehen. Dies sind zum Beispiel das Erstellen eines neuen Knotens oder das An- und Abmelden des aktuellen Benutzers. Abbildung 9.4 zeigt einige globale Bedienelemente in SNI und erläutert deren Bedeutung.



Abbildung 9.4: Beispiele für globale Funktionalitäten

9.2 Grundlagen der Implementierung

Um eine softwaretechnische Implementierung wie SNI zu schaffen, müssen zunächst entsprechende Grundlagen und Rahmenbedingungen geklärt und geschaffen werden. Die Beschreibung der Grundlagen zu SNI folgt in diesem Kapitel.

9.2.1 Grundlegende Architektur

Für die Implementierung einer informationstechnischen Lösung wurden verschiedene Erfordernisse und, hierauf basierend, ein konzeptionelles Layout entwickelt. An dieser Stelle sei insbesondere auf Abbildung 8.2 verwiesen. Der Prototyp soll insbesondere in eine bestehende IT-Infrastruktur eingebunden werden können. Deshalb muss darauf geachtet

werden, dass die Funktionalitäten auf einer Meta-Ebene implementiert werden und eine Erweiterung für beliebige Software Applikationen möglich ist.

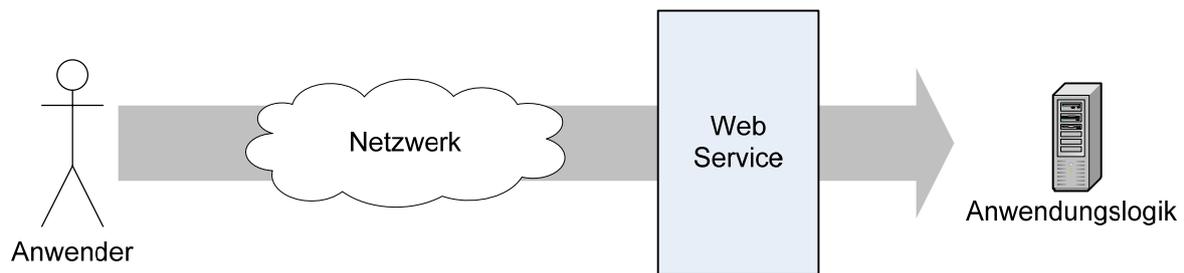


Abbildung 9.5: Architektur eines Web Services nach [EbFi04]

Die Forderung nach einer Metaebene mit modularem Aufbau führt zusammen mit der Mehrbenutzerfähigkeit und der notwendigen Zugänglichkeit zu der Entscheidung, die Software als Web Service zu implementieren. Eberhart und Fischer [EbFi04] bezeichnen einen Web Service als eine Schnittstelle für den netzbasierten Zugriff auf eine Anwendungsfunktionalität, die vollständig auf Standard-Internet-Technologien basiert. Dies verdeutlichen die oben genannten Autoren anhand der in Abbildung 9.5 gezeigten Architektur und definieren: „Ein Web Service unterstützt die direkte Interaktion mit anderen Softwareagenten durch XML-basierte Nachrichten, die über Internetprotokolle ausgetauscht werden“ [EbFi04].

Web Services werden oft in die Ebenen Präsentation, Anwendungslogik und Daten unterteilt (vgl. [EbFi04] und Abbildung 9.6), was sich sehr gut mit dem entwickelten konzeptionellen Layout für SNI deckt.

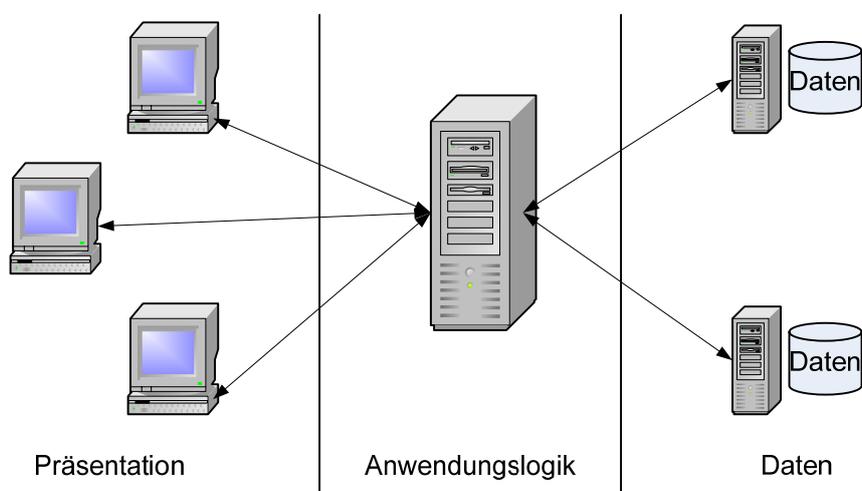


Abbildung 9.6: 3-Verteilung der Komponenten nach [EbFi04]

Die Vorteile dieser Architektur liegen in der geringeren Komplexität der einzelnen Teile, in der Verteilung von Implementierungsaufgaben, in der erhöhten Flexibilität bei der Verteilung der einzelnen Aufgaben und in der erleichterten Wartbarkeit und Skalierbarkeit [EbFi04].

Auf dieser Basis werden die weiteren Komponenten entsprechend entwickelt und ausgewählt.

9.2.2 Verwendetes Framework und dessen Komponenten

In der Softwareentwicklung wird, ähnlich wie bei Zukaufteilen in der Produktentwicklung, sehr häufig auf bestehende Komponenten zurückgegriffen, die bestimmte Funktionalitäten (z.B. Visualisierung, Unterstützung von Standard-Protokollen) bereits implementieren. Verschiedene Komponenten, die sich gegenseitig ergänzen und im Zusammenspiel gut funktionieren, können zu sog. Frameworks zusammengefasst werden. Dieses Programmiergerüst stellt einen anpassungsfähigen Rahmen zur Verfügung, innerhalb dessen der anwendungsspezifische Teil des Softwaresystems implementiert wird.

Im Prototyp SNI wurde das Framework TurboGears verwendet. TurboGears²⁰ ist ein Software Framework, das 2005 von Kevin Dangoor als Opensource Projekt veröffentlicht wurde. Hauptanliegen dieses Frameworks ist es, eine vereinfachte und schnelle Erstellung von effektiven, dynamischen Webanwendungen zu ermöglichen, was sich mit den in dieser Arbeit gestellten Anforderungen deckt..

Die grundlegende Architektur des TurboGears Framework ist in Abbildung 9.7 dargestellt. Die blau hinterlegten Punkte enthalten den für SNI spezifischen Quelltext. Dieser basiert wie auch das komplette Framework auf der objektorientierten Programmiersprache Python. Python wurde 1990 von Guido van Rossum am Centrum voor Wiskunde en Informatica in Amsterdam veröffentlicht und hat zum Ziel, möglichst einfach und übersichtlich zu sein. Dies ist einer der Hauptgründe zur Auswahl des TurboGears Framework im Kontext dieser Arbeit. Trotz des Fokuses auf Einfachheit hat Python bereits auch bei großen Projekten wie z.B. YouTube²¹ seine Praxistauglichkeit unter Beweis gestellt.

²⁰ Verfügbar unter <http://www.turbogears.org/about/>

²¹ Siehe <http://www.youtube.com/>

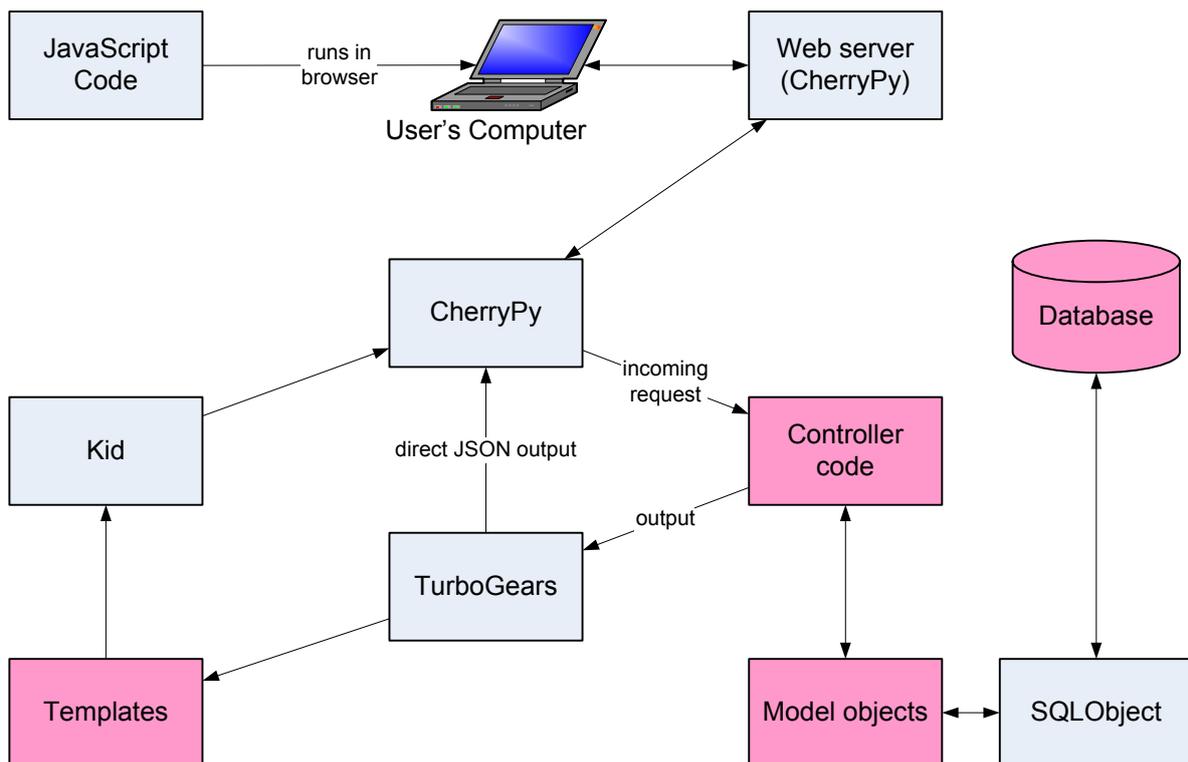


Abbildung 9.7: TurboGears Framework nach [www9]

In Abbildung 9.7 ist ersichtlich, dass die Komponenten CherryPy (und dessen integrierter Webserver), SQLAlchemy und Kid des Frameworks verwendet werden sollen. Die rosa hinterlegten Felder beinhalten den Quelltext des SNI. Da sie für das Verständnis der Implementierung des Prototyps und somit auch für die Eignung im Kontext dieser Arbeit wichtig sind, sollen die o.g. Teile des Frameworks im Folgenden kurz beschrieben werden.

CherryPy

CherryPy²² ist ein HTTP-Framework, das unter der BSD-Lizenz für freie Software entwickelt wird. Es stellt Funktionalitäten des HTTP-Protokolls für Webserver bereit. Dabei bietet CherryPy einen Webserver, kann aber auch als Schnittstelle zu anderen Servern wie z.B. dem Apache Webserver dienen.

SQLObject

Das SQLAlchemy bildet eine objektrelationale Abbildung, einen sog. Mapper zwischen den Elementen der objektorientierten Elemente in Python und einem relationalen SQL

²² Verfügbar unter <http://cherrypy.org/>

Datenbanksystem. Es stellt also eine eindeutige, bijektive Abbildungsvorschrift zwischen einem Python Objekt und einem SQL-Datenbanksystem dar. Somit kann eine mit dem System verbundene SQL-basierte Datenbank so angesprochen werden als wäre sie ein objektorientiertes Datenbanksystem. Da Semantische Netze zu den objektorientierten Wissensrepräsentationen gehören, kommt diese Schnittstelle zur Datenbasis den abzuspeichernden Daten sehr entgegen.

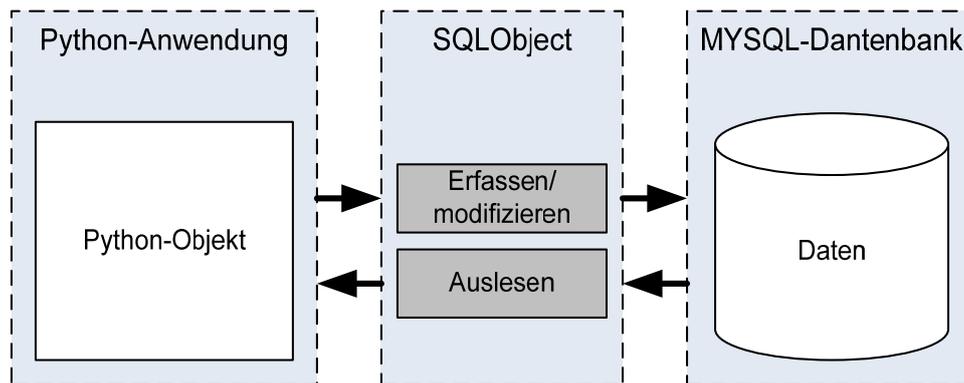


Abbildung 9.8: SQLAlchemy als bijektive Abbildungsvorschrift

Objektorientierung bedeutet im Hinblick auf das SQLAlchemy-Objekt, dass ein Datenbankeintrag als Objekt angesehen wird. Diese Einträge besitzen Attribute, deren Wert durch eine Zeichenkette wie z.B. Name, Erstellungsdatum, etc. oder auch durch einen anderen Datenbankeintrag (Aggregation) repräsentiert werden kann.

Durch die Objektorientierung der Datenbank wird für die Implementierung ein deutlich höherer Abstraktionsgrad ermöglicht und zugleich die Übersichtlichkeit verbessert.

Kid

Bei der Komponente Kid handelt es sich um eine so genannte "Template-Engine", deren Daten auf der Extensible Markup Language (XML) basieren und mit Python Code erweitert werden können. Unter Templates versteht man im Bereich der Web-Technologie die Trennung von Inhalt und Gestaltung einer Seite²³. Dateien, die für Kid erstellt sind, bieten also eine Vorlage wie bestimmte Daten in das Layout integriert werden können. Zu diesem Zweck stehen verschiedene Platzhalter in der Template-Sprache zur Verfügung, deren Inhalt

²³ Der Begriff Templates ist in diesem Zusammenhang losgelöst von den Vorlagen und Templates, die in SNI angelegt werden können, zu sehen.

nicht statisch ist, sondern je nach Serveranfrage individuell gefüllt wird und durch gestaltende Logik ausgetauscht werden kann. Diese Technologie ist insbesondere für die in SNI entwickelte, hybride Darstellungsform relevant.

9.3 Prototypische Umsetzung des konzeptionellen Layouts

Die Implementierung von SNI stellt eine prototypische Umsetzung des entwickelten konzeptionellen Layouts dar. Sie erfolgt auf Grundlage des zuvor vorgestellten TurboGears Framework. Neben dem Framework konnten auch andere Komponenten ergänzend verwendet werden. Hieraus ergibt sich die schematische Darstellung des Prototyps (vgl. Abbildung 9.9). Die Färbung der Komponenten in der Abbildung stellt den erforderlichen Implementierungsaufwand für SNI dar. Die dunklen Teile konnten ohne großen Aufwand aus dem Framework verwendet werden, die weißen Teile wurden komplett implementiert. Auf die Ausgestaltung der einzelnen Teile gehen die folgenden Abschnitte näher ein. Zunächst sollen die Datenbasis und hierauf aufbauend, die weiteren Teile bis hin zur Benutzerschnittstelle beschrieben werden.

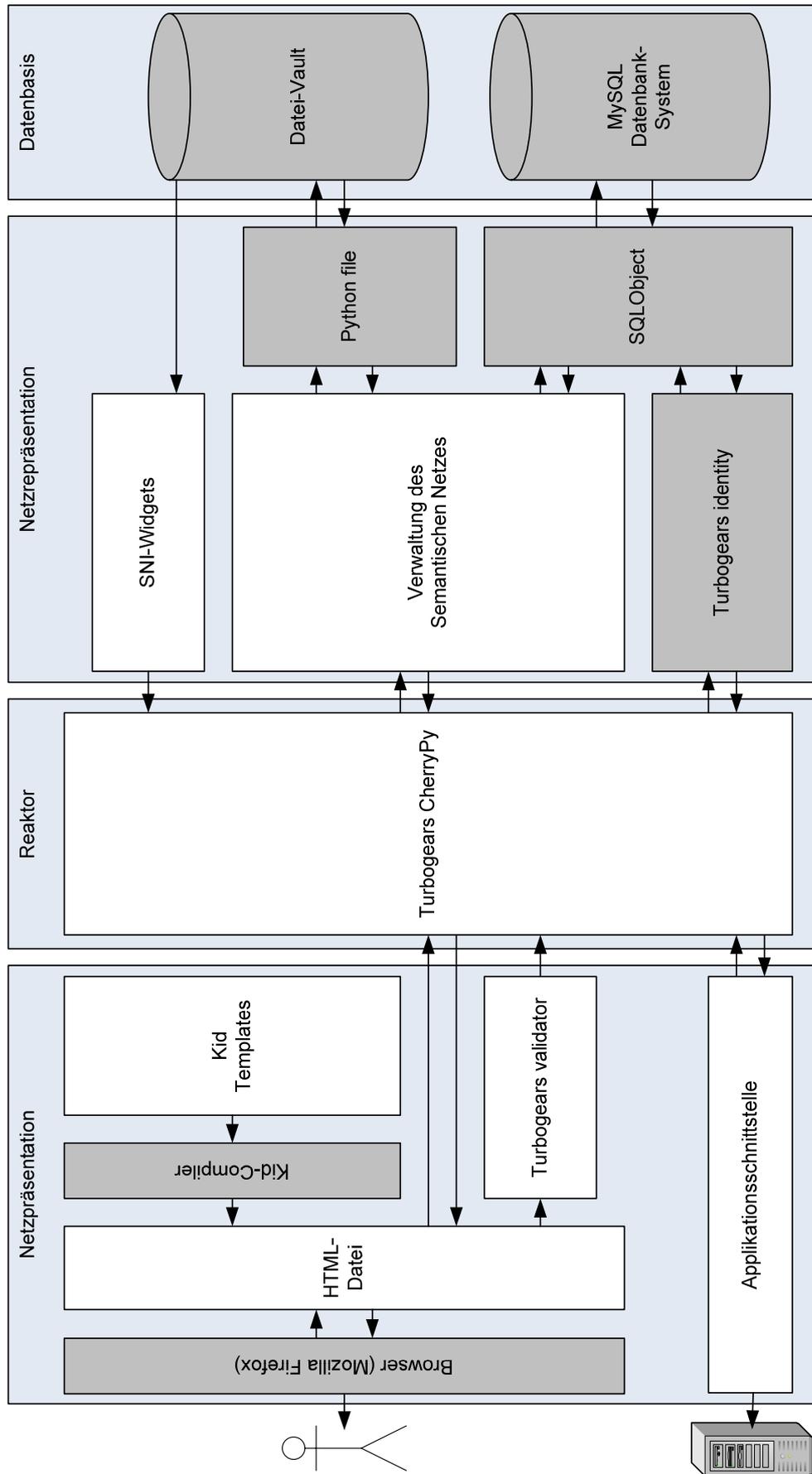


Abbildung 9.9: Layout der konkreten Implementierung von SNI

9.3.1 Datenbasis

Die Datenbasis des SNI besteht aus zwei Teilen, aus einer Datenbank und einem Speicherverzeichnis für Dateien. Die Datenbank ist durch eine MySQL-Datenbank realisiert. MySQL ist ein relationales Datenbankverwaltungssystem, das als Open-Source-Software für verschiedene Betriebssysteme verfügbar ist. Mit der Structured Query Language (SQL) lassen sich in MySQL Abfragen über den Datenbestand realisieren. Durch die Verwendung eines Datenbankverwaltungssystems ist die Datenbasis nicht physikalisch an die übrigen Komponenten gebunden und kann über eine Internetverbindung an den Prototyp angeschlossen werden. Die Datenbasis umfasst mehrere Tabellen, auf die ausschließlich über das SQLObject der Netzrepräsentation zugegriffen wird. Darauf geht der folgende Abschnitt näher ein.

Für das Ablegen von Dateien wird auf dem Server ein Verzeichnis genutzt. Dieses Verzeichnis, auf das durch geeignete Zugriffsrechte nur über SNI zugegriffen werden kann, soll, angelehnt an die Nomenklatur bei PDM-Systemen, als Datei-Vault bezeichnet werden.

9.3.2 Netzrepräsentation

Anbindung der Netzrepräsentation an die Datenbasis

Die Anbindung der Netzrepräsentation an die Datenbasis erfolgt über das SQLObject. Hierbei müssen die Objekte Knoten, Kante, Tripel und Datei als Klassen gemäß dem entwickelten, konzeptionellen Layout repräsentiert und an die Datenbasis weitergegeben werden.

Aus pragmatischen Effizienzgründen sind die Verwaltungswerte, die alle Knoten im Semantischen Netz erhalten, wie z.B. Erstellungsdatum und Autor nicht über Vererbung realisiert, wie dies bei der Konzeption gedacht war. Diese Informationen werden direkt als Attribute in den jeweiligen Klassen implementiert. Das Hinzufügen zusätzlicher Attribute ist über die Vererbung der Basisklasse weiterhin möglich, lediglich ein Löschen dieser voreingestellten Elemente ist so im Prototyp nicht mehr möglich, was vertretbar erscheint. Diese Entscheidung reduziert den Rechenaufwand des Servers und verbessert die Suchgeschwindigkeit.

Auch die Benutzer wurden aus dem Semantischen Netz herausgenommen und in einer eigenen Klasse abgelegt. Das Objekt Benutzer ist durch das Feld Autor und die Rechteverwaltung für jedes Element des Netzes relevant. Deshalb verlangsamt die Integration der Benutzer in die Netzklasse die Handhabung des Netzes. Durch die Implementierung der Benutzer als eigene Klasse reduziert sich der Rechenaufwand bei Anfragen auf das Netz deutlich.

Somit ergeben sich fünf Klassen, und nicht vier, wie im konzeptionellen Layout erarbeitet. Diese sind in Abbildung 9.10 dargestellt. Sie sind durch das bereits beschriebene SQLObject mit der Datenbank und über den Dateinamen zum Datei-Vault verbunden. Zusätzlich verdeutlicht die Abbildung die Verbindungen, die zwischen den einzelnen Klassen bestehen. Die mit dem Symbol © versehenen Attribute sind Schlüsselattribute und können in der Datenbasis nur einmalig auftreten.

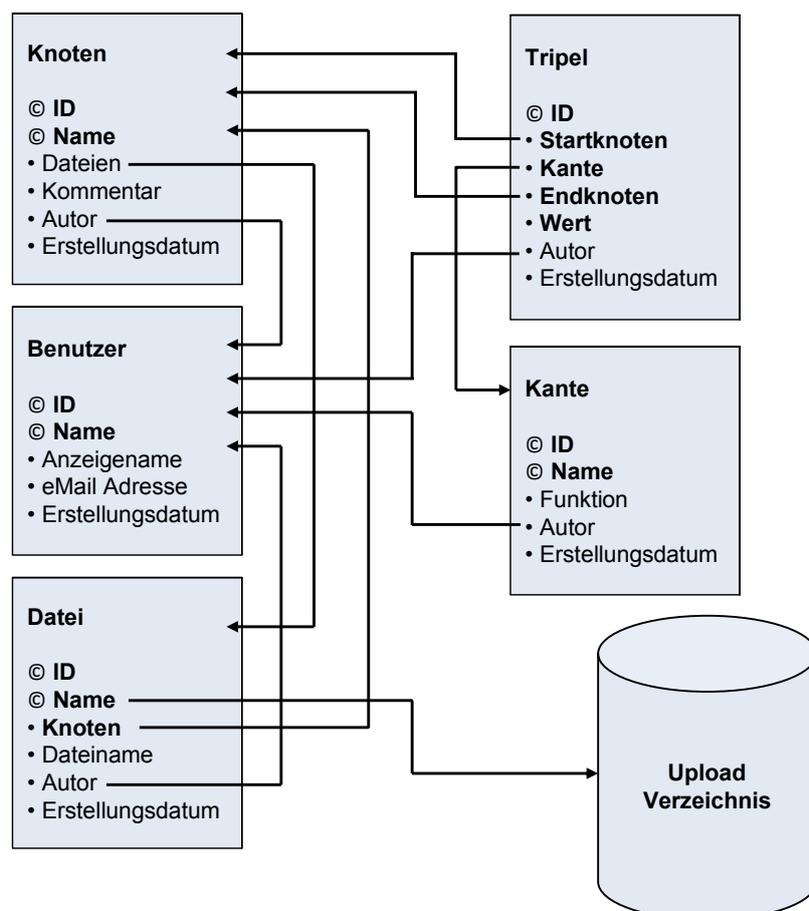


Abbildung 9.10: Netzrepräsentation und Datenbasis

Um das SQLObject verwenden zu können, werden diese fünf Klassen von der von TurboGears bereit gestellten Klasse SQLObject abgeleitet. Die Methoden zur Modifikation

der Datenbank werden für die einzelnen Klassen dann über das SQLObject bereitgestellt, sodass in der Implementierung von SNI nur noch diese Klassen und der Datei-Vault²⁴ als Datenbasis gehandhabt werden. Die Deklaration der Klassen ist in Anhang A dargestellt.

Benutzer- und Zugriffsverwaltung

Die Benutzerverwaltung und die Verwaltung der Zugriffsrechte für die Netzrepräsentation erfolgt durch das von TurboGears bereitgestellte Modul *identity*. Dieses ist in die Klasse Benutzer vererbt und erlaubt die Verwaltung von Gruppen- und Einzelzugriffsrechten.

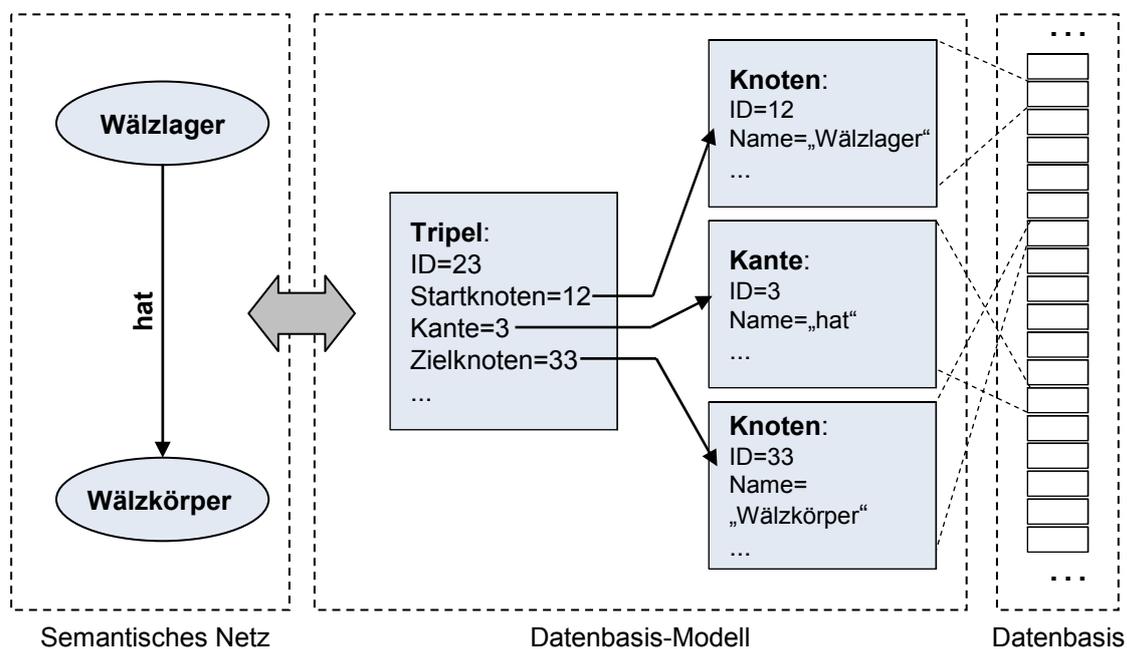


Abbildung 9.11: Repräsentation eines Netzeintrages

Repräsentation des Semantischen Netzes

Basierend auf diesen Klassen erfolgt die Gestaltung des Netzes. Zu den erläuterten Klassentypen wird für jeden Eintrag eine neue Klasse erzeugt. Für den einfachen Eintrag „Wälzlager hat Wälzkörper“ wird, wie in Abbildung 9.11 gezeigt, ein Knoten „Wälzlager“, eine Kante „hat“ und ein zweiter Knoten „Wälzkörper“ benötigt. Die Verbindung wird durch eine Klasseninstanz von Tripeln erzeugt, die die IDs der drei Elemente enthält. Diese zusammen mit dem Tripel vier Elemente werden daraufhin über das SQLObject in die

²⁴ Zur praktischen Handhabung der Dateien wird die Python-Bibliothek file I/O verwendet, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll.

Datenbasis eingetragen. Somit besteht die Netzrepräsentation aus einer Liste von Knotenobjekten und Kantenobjekten, die über eine Liste von Tripelobjekten miteinander verlinkt werden. Das Modifizieren des Netzes geschieht folglich durch das Bearbeiten dieser Listen. Hierzu sind die in Abschnitt 8.4.1 beschriebenen Operationen in Form von Methoden verfügbar.

Die Reproduktion des Netzes aus diesen Listen erfolgt durch die Verknüpfungen der Tripel. Zur Anzeige des Knotens „Wälzlager“ werden alle Tripel, die die ID des Knotens als Start- oder Endknoten enthalten, abgefragt und mit den entsprechenden Kanten visualisiert.

Realisierung der Mechanismen in der Netzrepräsentation

Kanten verfügen über die Möglichkeit Funktionen auszuführen. Diese Funktionen sind dabei nicht an den Namen der Kante gekoppelt, sondern über ein zusätzliches Schlüsselwort gekennzeichnet. Eine dieser Funktionen ist hierbei die Attributrelation, die mit dem Schlüsselwort ATTR gekennzeichnet wird. Dieses spielt neben der Visualisierung und Vererbung auch bei der Gestaltung der Klasse Tripel eine Rolle. Da die Werte von Attributen sowohl andere Objekte als auch String-Werte darstellen können, kann ein solcher String-Wert in der Tripelklasse abgelegt werden. Diesen Mechanismus zur Ablage von Werten mit der Attributrelation veranschaulicht Abbildung 9.12 am Beispiel eines Axiallagers. Hier erhält das Attribut Wälzkörper den Wert Kugel, der wiederum ein Objekt des Netzes ist. Ein Wert „Anzahl Kugeln“ kann hingegen einen konkreten Wert darstellen, der keinen Knoten im Semantischen Netz besitzt.

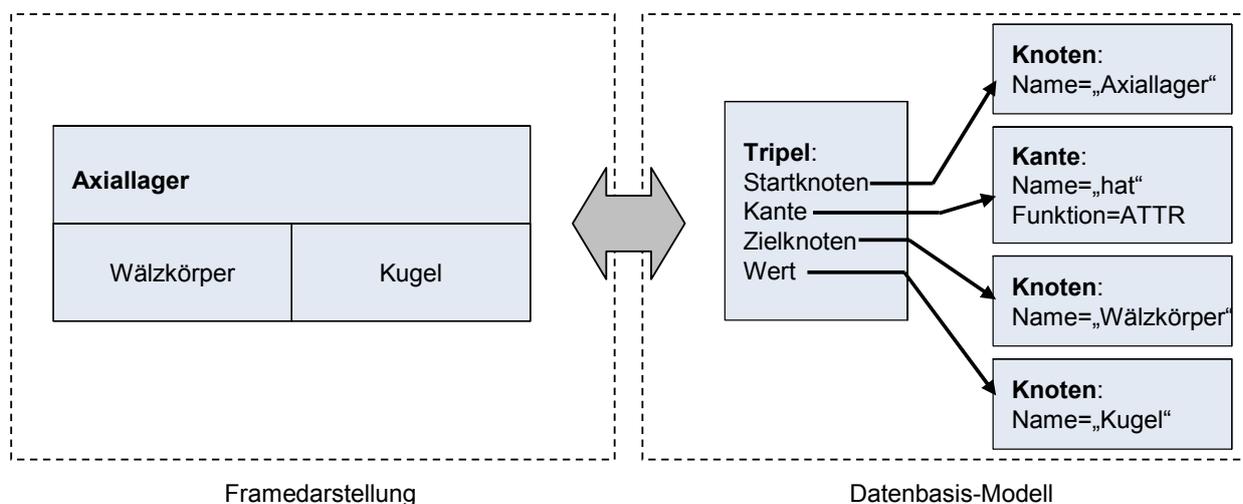


Abbildung 9.12: Repräsentation von Attributwerten

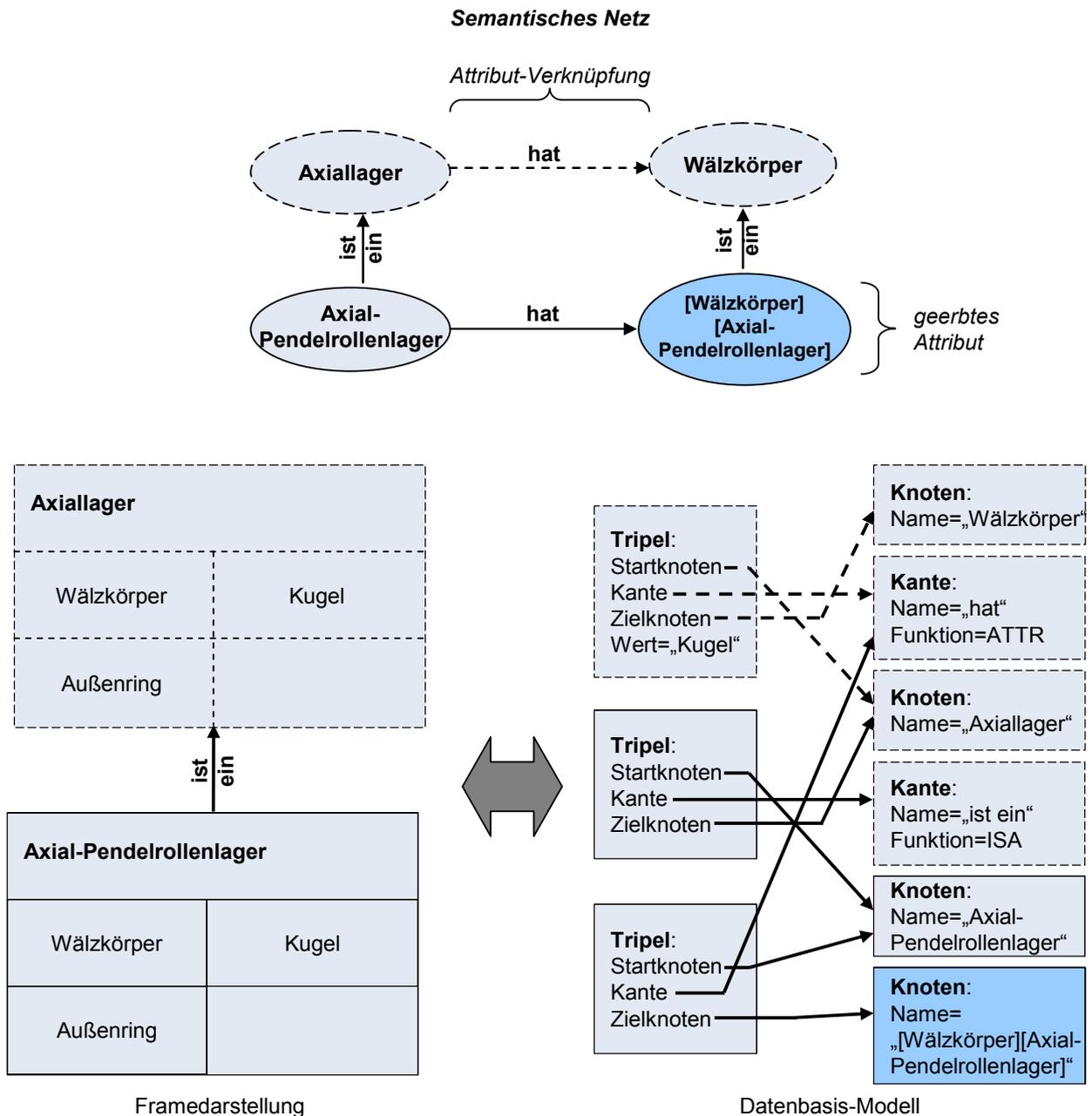


Abbildung 9.13: Darstellung der Implementierung der Vererbungsmechanismen

Eine weitere Funktion ist die Abstraktionsfunktion, die für die Instanziierung und Vererbung verwendet wird. Sie ist durch das Schlüsselwort ISA gekennzeichnet. Bei der Vererbung erhält der erbende Knoten Kopien aller Attribute des vererbenden Knotens. Die Attribute des erbenden Knoten sind somit eigene Elemente des Netzes. Hierzu wird diesen ein neuer Name gegeben, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Der Name vererbter Attribute besteht aus dem Namen des vererbenden Knotens zusammen mit dem Namen des Attributes, beides in eckigen Klammern. Der Mechanismus der Vererbung und ein Beispiel für diese Namensgebung sind in Abbildung 9.13 dargestellt. Hierbei sind die vererbenden Knoten und

Kanten gestrichelt dargestellt. Der durch die Vererbung automatisch erzeugte Knoten ist blau eingefärbt. Die Darstellung erfolgt einmal in einer Netz-Darstellung, wie sie bereits in Kapitel 6 verwendet wurde. Zum anderen werden die Framedarstellung und die Abbildung in der Datenbasis schematisch dargestellt.

SNI-Widgets

Einen Kernaspekt der Netzrepräsentation stellen die SNI-Widgets dar, die eine objektorientierte Weitergabe der Netz-Informationen an die Visualisierung ermöglichen. Unter Widget versteht das W3C eine kleine interaktive Anwendung zur Anzeige und/oder Aktualisierung von lokalen Daten oder Daten aus dem Netz [W3C08]. In SNI wird jedes Objekt der Netzrepräsentation durch eine eigene kleine Anwendung, das jeweilige Widget, für die Visualisierung vorbereitet. Hierin sind alle anzuzeigenden Informationen zusammengestellt. Auf die Visualisierung der Widgets geht Abschnitt 9.3.4 näher ein.

Aufgrund des objektorientierten Charakters Semantischer Netze erlauben es Widgets, die einzelnen Konzepte objektorientiert wiederzugeben, was die Visualisierung erleichtert. Sie stellen somit „Informations-Container“ für die Interaktion mit dem Benutzer dar.

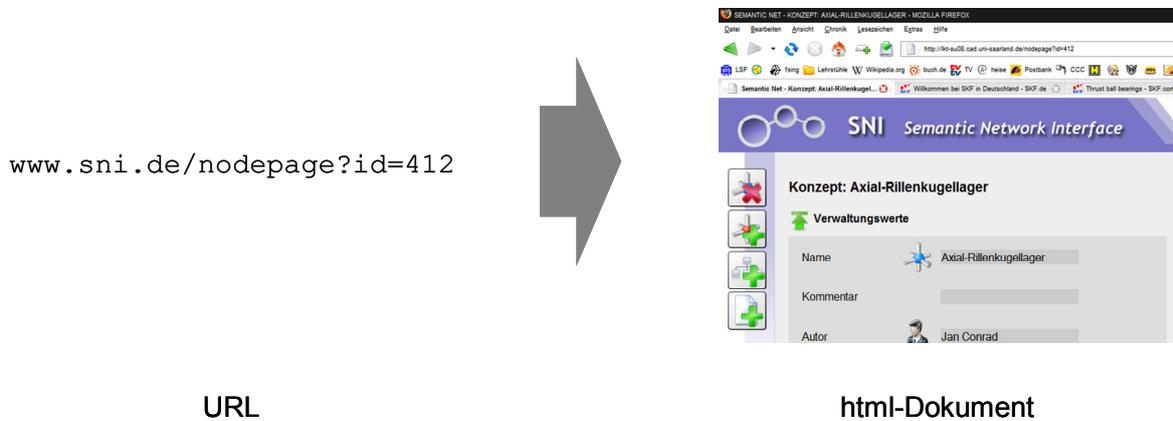
9.3.3 Reaktor

Der Reaktor in SNI basiert auf der Komponente CherryPy von TurboGears. Er verarbeitet jegliche Interaktion zwischen der Netzpräsentation, die im folgenden Abschnitt erläutert wird, und der zuvor beschriebenen Netzrepräsentation. Da der Prototyp als Webservice realisiert ist, werden Interaktionen von der Netzpräsentation als Unified Resource Locator (URL) übertragen. URLs identifizieren hierbei eine Ressource über das verwendete Netzwerkprotokoll (beispielsweise HTTP oder FTP) und den Ort (engl. location) der Ressource in Computernetzwerken. Umgangssprachlich werden URLs oft als Internetadressen bezeichnet. In SNI enthalten die URLs die Host-Adresse des Servers selbst, die darin aufzurufende Funktion und optional deren Parameter, also in folgender Form:

```
http://<Host-Adress>/<Funktion>( ?<Parameter>=<Wert> )
```

Diese aufzurufende Funktion ist mit den entsprechenden Parametern im CherryPy Reaktor implementiert. Abbildung 9.14 zeigt den Aufruf der Funktion `nodepage` und übergibt den

Parameter `id` mit dem Wert 123. Der Reaktor veranlasst hierauf eine Abfrage für die benötigten Daten und erstellt das passende HTML-Dokument. Dieses wird vom Server an den Browser des Anwenders gesendet und dort angezeigt.



URL

html-Dokument

Abbildung 9.14: Beispiel für eine Anfrage an den Reaktor

Die Kommunikation mit der Netzrepräsentation ist ohne besondere Schnittstellen möglich, da sowohl der CherryPy Reaktor als auch die Repräsentation in Python implementiert sind und so die Methoden direkt eingebunden werden können. Dies ermöglicht Anfragen beliebiger Applikationen, die das HTTP-Protokoll beherrschen.

9.3.4 Netzpräsentation

Die Netzpräsentation bietet die Möglichkeit der Interaktion der Benutzer bzw. anderer Applikationen mit dem Semantischen Netz. Hieran sind verschiedene Komponenten beteiligt. Bei der Implementierung wurde auf Benutzerfreundlichkeit der Anwendung, der sogenannten Usability zusätzliches Augenmerk gerichtet. Die Präsentation des Netzes orientiert sich hierbei an der Millerschen Zahl (benannt nach Miller [Mill56]). Sie besagt, dass gemeinhin für die menschliche Erinnerungsleistung das Modell der „magischen 7“ gilt. Somit wurde die Präsentation auf sieben Teile implementiert, die im Folgenden näher beschrieben werden:

- Titel
- Fußzeile
- Lokale Funktionalitäten

- Globale Funktionalitäten
- Visualisierung der Framedarstellung mit
 - Attributen
 - Dateien
- Visualisierung des Netzes
- Kid-Templates

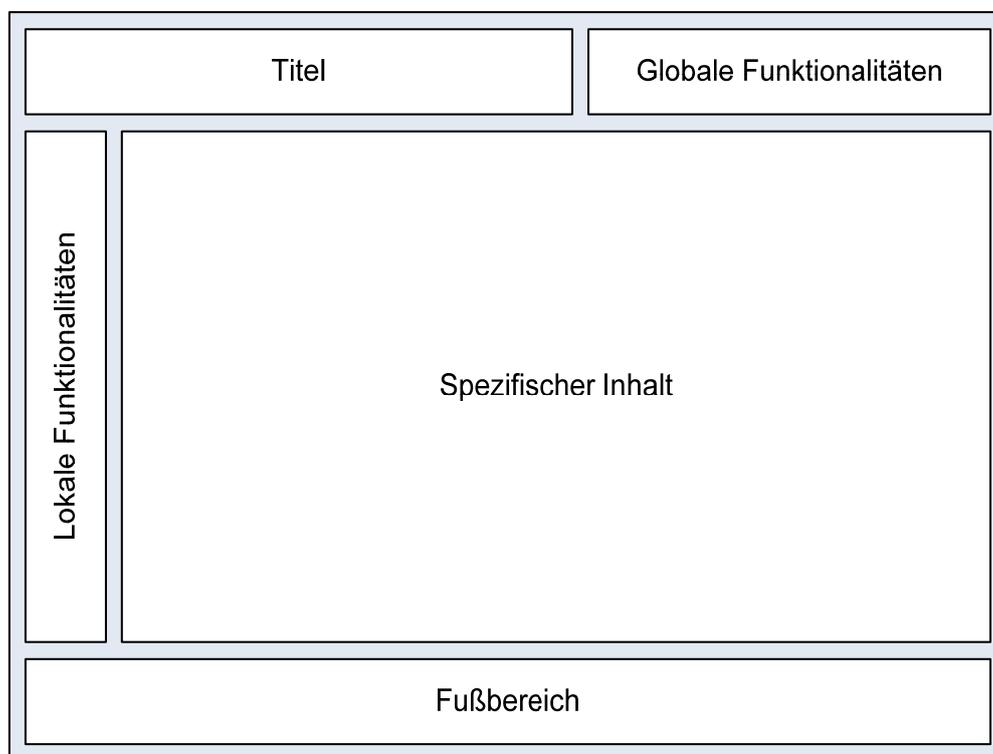


Abbildung 9.15: Struktur der Darstellung in SNI

Die Präsentation des Netzes soll im Internet-Browser, also als HTML-Datei erfolgen. Die Seiten können jedoch nicht, wie bei Webseiten üblich, fertig auf dem Server liegen, sondern müssen nach dem Aufruf dynamisch erstellt werden. Dies stellt insbesondere an die Positionierung des Inhaltes besondere Ansprüche. Das Gerüst hierfür wird in SNI durch Kid-Templates gebildet. In einer Master-Datei wird die Struktur der Webseiten festgelegt. Abbildung 9.15 stellt diese Struktur dar.

Im Feld *Titel* steht dabei die Anwendungsbezeichnung SNI und dessen Logo. Es bildet, zusammen mit dem *Fußbereich* den grafischen Rahmen für den Inhalt. Die Bedienelemente für *lokale Funktionalitäten* werden dynamisch je nach angezeigtem Inhalt ergänzt. Entsprechend dem Status des Systems werden auch die *globalen Funktionalitäten* dynamisch angepasst. Den größten Teil der Struktur stellt der Bereich mit *spezifischem Inhalt* dar. Hier können weitere Kid-Vorlagen zur Visualisierung von Widgets oder auch statische HTML-Dateien für etwaige statische Inhalte eingefügt werden.

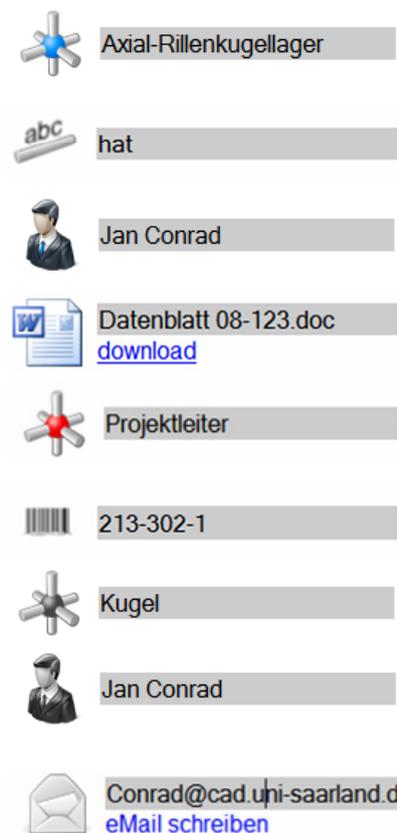


Abbildung 9.16: Objekte und Widgets in SNI

Visualisierung der SNI-Widgets

Die Visualisierung der Objekte in SNI erfolgt über die SNI-Widgets. Hierbei können drei Anwendungen unterschieden werden. Zunächst werden die Objekte, die in der Netzrepräsentation existieren, über ein Widget verarbeitet. Hierbei passt sich das Widget an das zu repräsentierende Objekt an. Abbildung 9.16 zeigt die Objekte und eine beispielhafte Visualisierung. Die einzelnen Objekte erhalten ihrem Einsatz entsprechende Funktionalitäten. Dies sind allgemeine Funktionalitäten wie die z.B. Editierbarkeit durch Doppelklick auf das

grau hinterlegte Textfeld. Es können aber auch spezielle Funktionalitäten sein. Für Dateien zeigt das Widget beispielsweise das passende Icon zur Dateierdung an.

In der Visualisierung entsteht eine Liste mit mehreren solcher Widgets. Diese werden in einer zweiten Art von Widgets zusammengefasst, gruppiert und entsprechend dargestellt, das die Framedarstellung in SNI bildet.

Für die Netzdarstellung wird ein drittes Widget verwendet, das die Darstellung eines Knotens mit allen direkt verbundenen Knoten ermöglicht und hieraus eine Grafik erzeugt, die entsprechend in die Visualisierung eingebunden wird. Über diese Grafik wird eine nicht sichtbare Maske gelegt, die für jeden Knoten an der Stelle seiner Visualisierung einen Hyperlink enthält. Durch einfaches Anklicken wird ein Wechsel zu jedem Knoten ermöglicht.

Validator

Bei der Eingabe von Daten in ein Formular prüft das von TurboGears mitgelieferte Modul Validator diese Eingabe auf Konsistenz. In der Definition eines Widgets wird festgelegt von welchem Typ der Wert in seinem Eingabefeld sein muss, z.B. Zeichenkette oder Ganzzahlwert und ob der Wert leer sein darf. Stellt das Validator-Modul fest, dass eine dieser Anforderungen nicht erfüllt ist, so wird der Vorgang bereits an dieser Stelle unterbrochen und ein entsprechender Hinweis angezeigt.

Benutzerschnittstelle

Die eigentliche Benutzerschnittstelle bildet der Browser. Hier werden die HTML-Seiten von SNI dargestellt. Der entwickelte Prototyp wurde im Mozilla Firefox 3.0 getestet. Da sich zwischen verschiedenen Browsern Unterschiede bei der Interpretation des HTML ergeben, kann es bei der Darstellung in anderen Browsern zu kleineren Darstellungsfehlern kommen.

Applikationsschnittstelle

Da das System in eine bestehende IT-Landschaft integriert werden soll, ist neben der Interaktion mit dem Benutzer auch die Interaktion mit anderen Applikationen für die Implementierung relevant. Ein im Produktentwicklungsprozess sehr universell eingesetztes und weit verbreitetes Werkzeug ist die Tabellenkalkulationssoftware Microsoft Excel. An ihr soll exemplarisch die Möglichkeiten zur Einbindung der IT-Landschaft gezeigt werden. Die Schnittstelle bietet die Möglichkeit, Informationen aus Excel-Tabellen direkt in Form von

Tripeln einzulesen. Die notwendige Struktur ist bei dieser prototypischen Umsetzung sehr stringent vorgegeben und verlangt die Auflistung aller (eventuell zu ergänzender) Knoten in einer Spalte zusammen mit dem Zielknoten in einer weiteren Spalte und mit der entsprechenden Kante als Überschrift. Abbildung 9.17 zeigt schematisch den Ablauf des Imports von Netzstrukturen aus Excel-Tabellen.

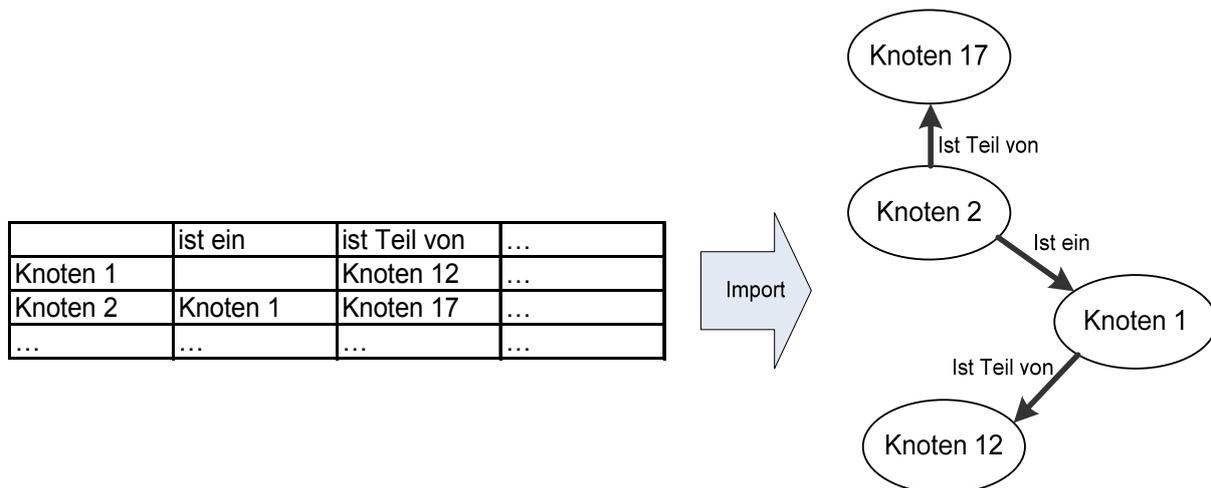


Abbildung 9.17: Import von Excel-Tabellen in SNI

Des Weiteren wurden verschiedene Erweiterungen (Plugins) für Microsoft Office und insbesondere Microsoft Excel implementiert und evaluiert. So ermöglicht es eines dieser Plugins, dass in Excel markierte Wörter per Mausklick als Knoten in SNI hinzugefügt werden. Auch das automatische Hinzufügen des aktuellen Dokumentes ist per Mausklick möglich. Weitere Plugins ermöglichen das Hinzufügen von Personen aus Microsoft Outlook und von Webressourcen aus dem Browser.

Wie bereits beschrieben, sind die vorgestellten Schnittstellen zu einer bestehenden IT-Welt exemplarisch zu verstehen und sollen die Machbarkeit zeigen. Im IT-Umfeld eines Unternehmens sind weitere, firmenspezifische Schnittstellen zu implementieren.

10 Praktische Anwendung

Den praktischen Nutzen von Software festzustellen, ist ein sehr aufwendiges Unterfangen. Einen ersten Eindruck des Nutzens von SNI soll ein vereinfachtes Fallbeispiel geben, das in diesem Abschnitt vorgestellt wird. Dieses Fallbeispiel, basierend auf [CDKW07], dient als Vortest für eine spätere Evaluierung und liefert Kenntnisse und Einblicke für die Gestaltung der Inhalte. Es soll leicht nachvollziehbar und deshalb vereinfacht dargestellt werden, wie der Prototyp SNI in einem Produktentwicklungsprozess angewendet werden kann. In einem zweiten Schritt wird SNI von methodischen Gesichtspunkten losgelöst in einem von Studenten durchgeführten Projekt auf Einsetzbarkeit und Praxistauglichkeit in einem dynamischen Umfeld getestet. Um wirklich messbare Ergebnisse für die Performanz von SNI ermitteln zu können, ist ein differenzierterer Versuchsaufbau notwendig, der im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt wurde.

10.1 Fallbeispiel Kugelschreiber

10.1.1 Ausgangslage

Im folgenden Fallbeispiel handelt es sich um ein Unternehmen, das einen Kugelschreiber entwickelt hat und seit mehreren Jahren produziert (Anhang B zeigt ein CAD-Modell im PDM-System SmarTeam als Illustration des Produktes). Hierbei werden die Kunststoff-spritzgussteile selbst produziert, Metallteile und die Miene hingegen als Zukaufteile fremdbezogen.

Bei der Entwicklung wurde u.a. eine Möglichkeit zum Mienenrückzug als Anforderung identifiziert. Hierzu wurde zunächst auf Merkmalsseite eine Mechanik entwickelt, um die Schreibmiene durch Betätigung eines Knopfes am Ende des Schreibers heraus und herein zu fahren, also um diese funktionale Eigenschaft des Produktes herzustellen (vgl. Abbildung 10.1).

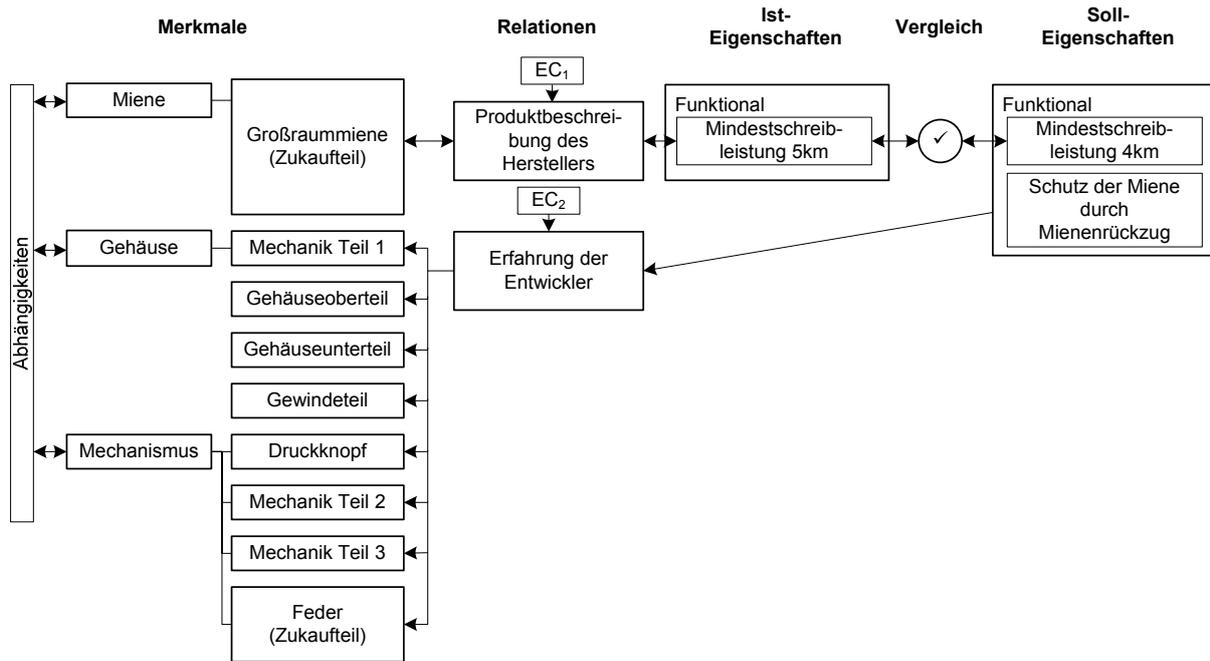


Abbildung 10.1: PDD-Syntheseschritt ausgehend von einer funktionalen Eigenschaft

Bei dem darauf folgenden Analyseschritt wurden die gewählten Merkmale mittels einer Mehrkörpersimulation hinsichtlich der Soll-Eigenschaft überprüft und für erfüllt befunden (vgl. Abbildung 10.2, grün dargestellt).

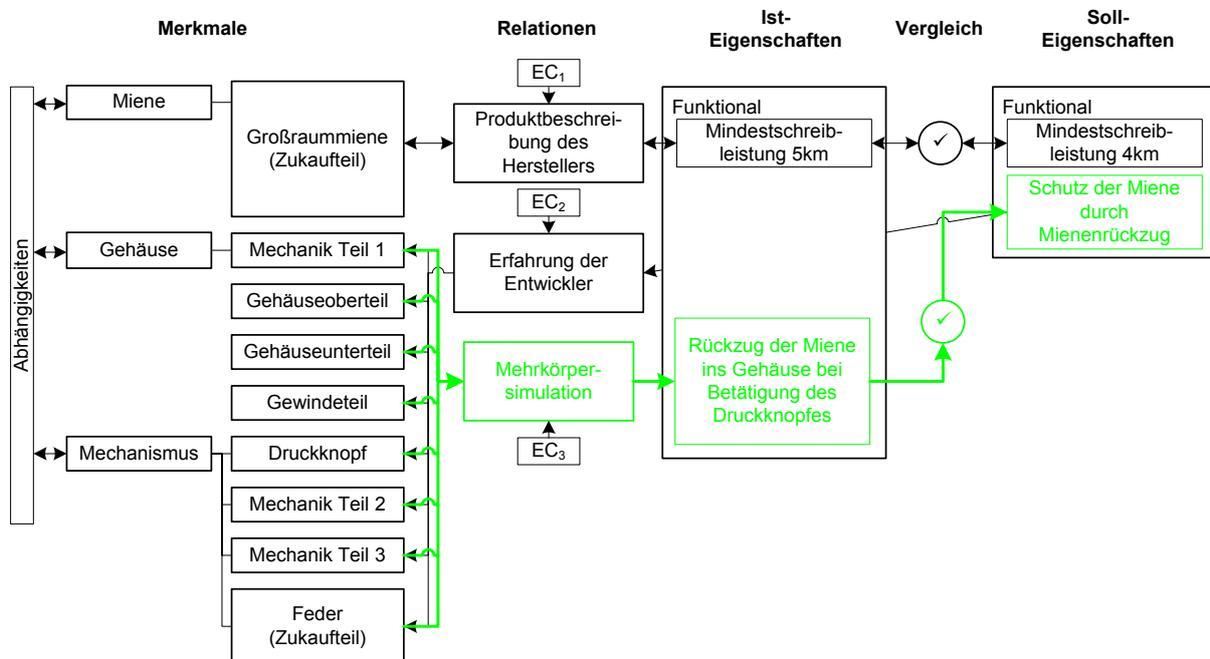


Abbildung 10.2: PDD-Analyseschritt zu einer funktionalen Eigenschaft

In einem späteren Analyseschritt wurde ein mit dem Rapid Prototyping hergestelltes Prototyp eine Betrachtung der Ergonomieeigenschaften für den Mienenrückzug durchgeführt (vgl. Abbildung 10.3, blau dargestellt).

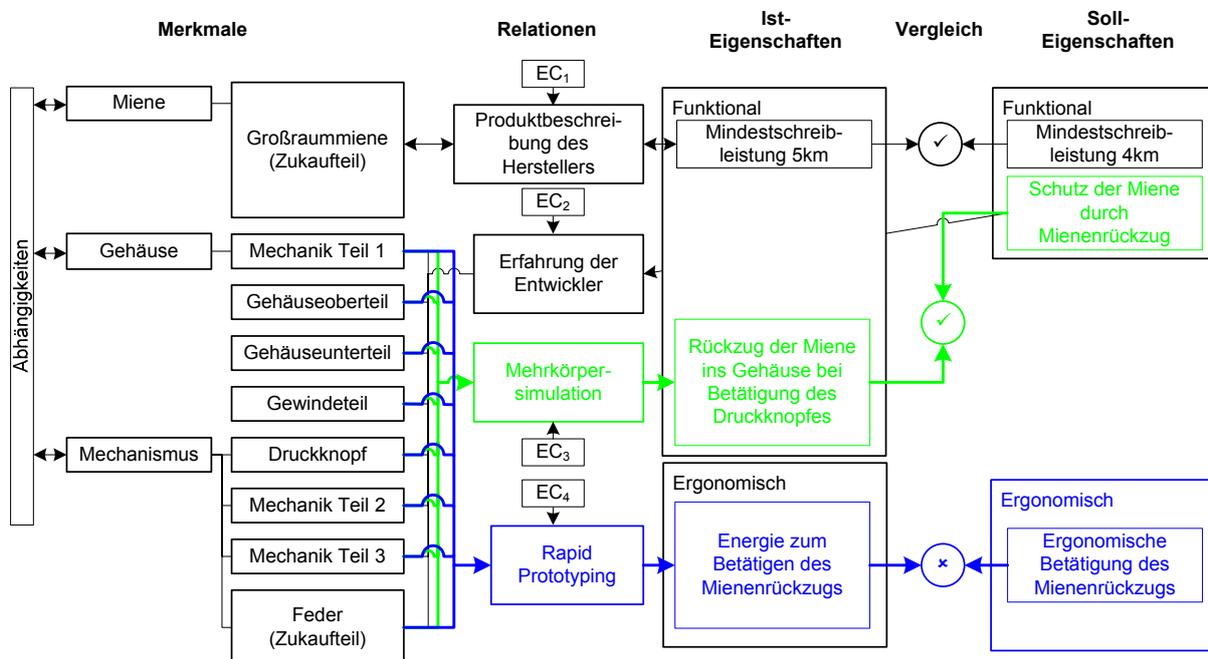


Abbildung 10.3: PDD-Analyseschritt zur ergonomischen Eigenschaft

Hierbei wurde festgestellt, dass sich dieser bei der Bedienung unkomfortabel anfühlt. Um herauszufinden, welche Energie für eine ergonomische Bedienung notwendig ist, wurde deshalb eine Ergonomie-Studie durchgeführt. Als Ergebnis musste die Mechanik des Mienenrückzugs angepasst werden. Um den konstruktiven Aufwand so gering wie möglich zu halten, wurde die Federkonstante der als Zukaufteil erworbenen Feder mit der Mechanik und Betätigungsenergie abgestimmt. Einen Auszug des CPM-Modells, das die Relation zwischen Ergonomie und der Mechanik, hier insbesondere der Feder verdeutlicht, zeigt Abbildung 10.4.

10.1.2 Verwendung von SNI zur Erfassung von Wissen

Mit den zuvor beschriebenen Werkzeugen ist nur ein Teil des Produktwissens und Prozesswissens erfassbar. Anhand des bislang nicht erfassten Zusammenhangs zwischen der Merkmalsbeschreibung der Feder und der Eigenschaft „Ergonomische Betätigung des Mienenrückzugs“ sollen die Einsatzmöglichkeiten von SNI zur Erfassung von Wissen gezeigt werden. Ein Projekt Kugelschreiber lässt sich von dem Basisknoten Projekt ableiten, sodass bereits vorbereitete Unterknoten wie Anforderungsliste oder Projektverantwortlicher zur Verfügung stehen.

The screenshot shows the SNI interface for the concept 'Feder'. The browser window title is 'Semantic Net - Konzept: Feder - Mozilla Firefox'. The address bar shows 'http://localhost:8080/nodepage?id=425'. The interface has a purple header with the SNI logo and the text 'SNI Semantic Network Interface'. Below the header, there is a navigation menu with icons for 'Verwaltungswerte' and 'Attribute'. The main content area is titled 'Konzept: Feder' and contains a table of attributes:

Attribute	Value
Teilenummer SAP	1003-3QR
Federkonstante	30000 N/m
Abmessungen	30 mm * 05 mm

Below the table, there is a semantic network diagram with a central node 'Feder' and four surrounding nodes: 'Teilenum..', 'Betätigun..', 'Federekon..', and 'Abmessu..'. The relationships are as follows:

- 'Feder' has an arrow labeled 'hat' pointing to 'Teilenum..'.
- 'Feder' has an arrow labeled 'hat' pointing to 'Federekon..'.
- 'Feder' has an arrow labeled 'hat' pointing to 'Abmessu..'.
- 'Betätigun..' has an arrow labeled 'ist abhängig von' pointing to 'Feder'.

The bottom left corner of the interface shows the text 'Fertig'.

Abbildung 10.5: Bildschirmfoto des Knotens Feder in SNI

Die Feder könnte in SNI wie in Abbildung 10.5 gezeigt, abgelegt werden. Neben verschiedenen Attributen kann auch die Abhängigkeit von der Betätigungsenergie erfasst werden (vgl. Abbildung 10.6). Der Knoten Betätigungsenergie bildet wiederum die Betätigung per Hand und die Abhängigkeit von Kraft und Weg ab. In diesem Knoten wurde die Quelle für die ermittelten Daten, also die Studie über die ergonomische Betätigungsenergie als pdf-Datei hinzugefügt. Diese Knoten beinhalten mit ihren Verbindungen folglich die Relation zwischen den Merkmalen der Feder und der Eigenschaft ergonomische Bedienung.

The screenshot shows the SNI interface for the concept 'Betätigungsenergie'. The main content area is divided into several sections:

- Konzept: Betätigungsenergie**: The central concept being viewed.
- Verwaltungswerte**: Management values.
- Attribute**: A list of attributes with their values:

Kraft	300 N
Weg	10 mm
- assoziierte Dateien**: Associated files, including a PDF document 'Studie Handkraft.pdf' with a 'download' link and a 'loesen' button.

Below the content area is a semantic network diagram with the following nodes and relationships:

- Feder** (Spring) is connected to **Betätigungse...** (Actuation energy) with the relationship *ist abhängig von* (is dependent on).
- Betätigungse...** is connected to **Kraft** (Force) with the relationship *hat* (has).
- Betätigungse...** is connected to **Weg** (Path) with the relationship *hat* (has).
- Betätigungse...** is connected to **Handbedi...** (Hand operation) with the relationship *bedient durch* (operated by).

Abbildung 10.6: Bildschirmfoto des Knotens Betätigungsenergie in SNI

10.1.3 Wiederzugriff auf das in SNI erfasste Wissen

Eine neue, zum Zeitpunkt der Entwicklung des Kugelschreibers unvorhergesehene Situation stellt das neue Betätigungsfeld des Unternehmens, die Entwicklung und spätere Produktion eines Unterputz-Lichtschaltersystems dar (Anhang C zeigt ein CAD-Modell als Illustration des Produktes). Mit diesem Schritt beabsichtigt das Unternehmen durch Lernkurveneffekte von seinem Know-how vor allem aus dem Bereich des Kunststoffspritzgusses zu profitieren. Während des Produktentwicklungsprozesses stoßen die Entwickler wieder auf die Eigenschaft „Ergonomische Bedienung“ zur Betätigung des Lichtschalters. Da die verantwortlichen Personen aus dem damaligen Kugelschreiber-Projekt nicht mehr auffindig gemacht werden können um Näheres über die damalige Untersuchung zu erfahren, wird das verwendete PDM-System zu Rate gezogen. Hier findet man das CAD-Modell der im Kugelschreiber verwendeten Feder und auch einen Ersteller. Dieser weiß jedoch nichts über den Auswahlgrund der Merkmale, da er lediglich die CAD-Dateien erstellt hat. Auch im ERP-System des Unternehmens findet man Bestellnummer und Hersteller der Feder, jedoch keine Informationen über das Auswahlverfahren und die Motivation der Verwendung genau dieser.

Aufschlüsse über die Schlussfolgerungen, die aus der Evaluierung verschiedener Eigenschaften gezogen wurden, gibt der Knoten Betätigungsenergie in SNI. Er enthält den Kontext und somit das Wissen zu dem damaligen Entwicklungsschritt (vgl. Abbildung 10.6: Bildschirmfoto des Knotens Betätigungsenergie in SNI). Zudem kann hier auch ein direkter Verantwortlicher als Ansprechpartner des damaligen Projektes gefunden werden, da es zu jedem Knoten eine entsprechende Person gibt.

10.1.4 Schlussfolgerungen aus dem Fallbeispiel Kugelschreiber

Der dargelegte fiktive Fall zeigt eine mögliche Anwendung von SNI. Es zeigt sich, dass eine Stärke insbesondere in der Ablage von unstrukturiertem Wissen liegt. Das Ermitteln einer „weichen“ Eigenschaft wie Ergonomie benötigt andere Werkzeuge als die Auslegung einer Mechanik. Semantische Netze bieten durch die in der Repräsentationsform transportierte Semantik die Möglichkeit, auf diese Bandbreite zu reagieren. Dabei stellt die Verwendung von SNI eine Ergänzung des Ablaufs dar und ist nicht als Ersatzlösung zu sehen.

10.2 Studentenprojekt Luftabscheider

Um die prototypische Implementierung von SNI testen zu können und gleichzeitig dessen Funktionalitäten an Beispielen zu verdeutlichen, wurde ein exemplarisches Produktentwicklungsprojekt als Studentenprojekt mit SNI gestaltet. Das Beispielprojekt wurde von einer Gruppe Studierender²⁵ der Mechatronik durchgeführt und im Rahmen der Arbeit von Speicher [Spei08] dokumentiert. Bei der Durchführung des Entwicklungsprojektes wurde dem studentischen Entwicklungsteam weitgehend freie Hand gewährt, auch um eine zum Prototyp „passende“ Vorgabe zu vermeiden und so zugleich die Möglichkeiten und Grenzen der Software bei unvorhergesehener Handhabung zu ermitteln.

Bei dem gestellten Szenario handelte es sich um den Auftrag einer Heizungsfirma, die nach neuen Lösungsansätzen zur Abscheidung von Luft aus einem Wasserkreislauf suchte. Hierbei war es eine Vorgabe, den SNI-Prototyp projektbegleitend zu verwenden. Die ausformulierte Aufgabenstellung findet sich in Anhang D.

Um Verwechslungen vorzubeugen sei hier darauf hingewiesen, dass mit Entwicklungsteam im Folgenden das studentische Entwicklungsteam für das Studentenprojekt gemeint ist.

10.2.1 Ablauf und Durchführung

Der zeitliche Ablauf, den das Entwicklungsteam gewählt hat, gliedert sich in folgende Schritte:

- Initialisierung des Projektes
- Klärung der Aufgabenstellung bzw. Übergabe des Lastenhefts vom Kunden
- Erstellen einer Anforderungsliste
- Patent- und Internetrecherche zum Thema Luftabscheidung

²⁵ Da der Fokus dieses Fallbeispiels auf dem Testen des Softwareprototyps lag, wurde eine Gruppe Studierender gewählt, die bereits ein ähnliches Projekt bearbeitet hatten. Dies beschleunigte den Ablauf des Projektes und reduzierte „grobe“ Anfängerfehler bei der eigentlichen Produktentwicklung.

- Erstellen der Funktionsstruktur
- Anwendung von Lösungsfindungsmethoden (Triz, 6-3-5)
- Merkmalsbewertung²⁶
- Erarbeitung von Lösungsansätzen
- Lösungsbewertung

Anhand dieser Schritte sollen nun die Arbeiten, die jeweils durchgeführt wurden, beschrieben werden.

Initialisierung

Die bereitgestellte Version von SNI enthielt bis auf den Knoten „Basisknoten“ noch keinerlei Inhalte. Diese wurden vom Entwicklungsteam entsprechend ihrer Anforderungen zum System ergänzt.

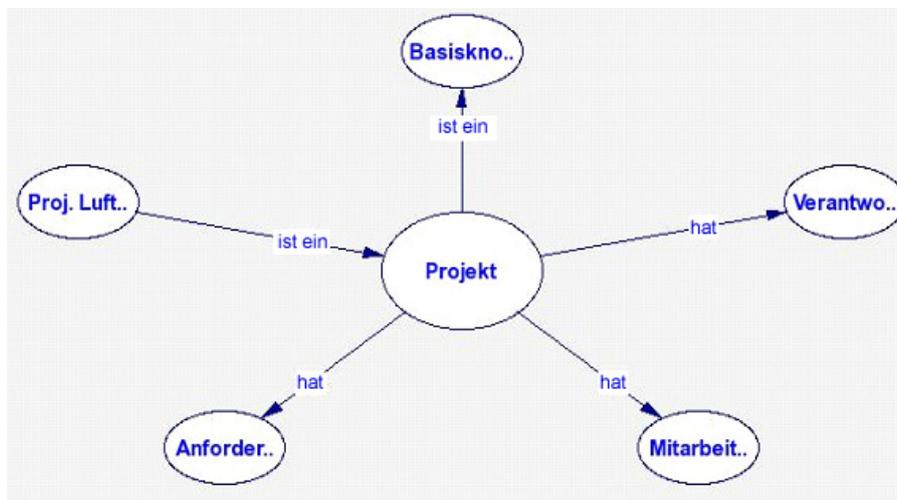


Abbildung 10.7: Knoten "Projekt" in der Darstellung von SNI

Da es sich bei der gestellten Aufgabe um ein Projekt handelte, wurde vom Entwicklungsteam zuerst ein Knoten Projekt erzeugt, der vom Knoten Basisknoten abgeleitet wurde: „Projekt“, „ist ein“, „Basisknoten“. Somit wurde der Knoten Projekt ein möglicher Ausgangspunkt für alle weiteren Projekte. Zudem wurden Attribute festgelegt, die nach Auffassung des

²⁶ Der Begriff Merkmal wird hierbei nicht im Zusammenhang mit CPM/PDD verwendet.

Entwicklungsteams alle Projekte gemeinsam hatten. Hier wurden die Attribute „Anforderungen“, „Mitarbeiter“ und „Verantwortliche“ gewählt. Attribute zu einem Knoten sind auch im Nachhinein erweiterbar. Jede Instanz des Knotens Projekt, also jedes neue Projekt erbt diese Attribute von diesem Basisknoten. Das zu bearbeitende Projekt Luftabscheider war also auch eine Instanz des Knotens Projekt: „Projekt Luftabscheider“, „ist ein“, „Projekt“. Abbildung 10.7 zeigt den Knoten Projekt, wie er in der Netzdarstellung von SNI angezeigt wird. Außerdem sind die mittels Attributrelationen verbundenen Knoten „Anforderungen“, „Mitarbeiter“ und „Verantwortlicher“ sowie die Instanz „Projekt Luftabscheider“ ersichtlich.

Klärung der Aufgabenstellung bzw. Übergabe des Lastenhefts vom Kunden

Am Anfang jedes kundenorientierten Projekts steht die Klärung der Aufgabenstellung, die in Form eines Lastenhefts an die Projektgruppe übergeben wurde. Es wurde als Dokument zum Knoten Anforderungsliste hinzugefügt. Die Einbindung der einzelnen Punkte des Lastenheftes beurteilte das Entwicklungsteam als zu aufwendig, da das Lastenheft bei verschiedenen „Kunden“ unterschiedlich aufgebaut sein kann und deshalb einen geringen Mehrwert bei der Wiederverwendung bietet.

Dieses Lastenheft wurde vom Entwicklungsteam zu der allgemeinen Anforderungsliste erweitert, die in Form einer Exceltabelle ausgearbeitet wurde. Da die resultierende Anforderungsliste umfangreich war, aber trotzdem in das Netz integriert werden sollte, verwendete das Entwicklungsteam die Einlesefunktionalität für Microsoft Excel-Dokumente. Dies erforderte, wie bereits bei der Implementierung beschrieben, eine spezielle äußere Form, die das Einlesen in den Prototyp ermöglicht. Nach der Einspeisung einer so umfangreichen Knotenmenge wurde die Netzdarstellung unübersichtlich (vgl. Abbildung 10.8). SNI ermöglicht dennoch das Anzeigen des vollständigen Titels durch einen Mouse-Over-Effekt: Sobald sich der Mauszeiger über einem Knoten befindet, wird dessen vollständige Beschriftung in einem Textkasten angezeigt.

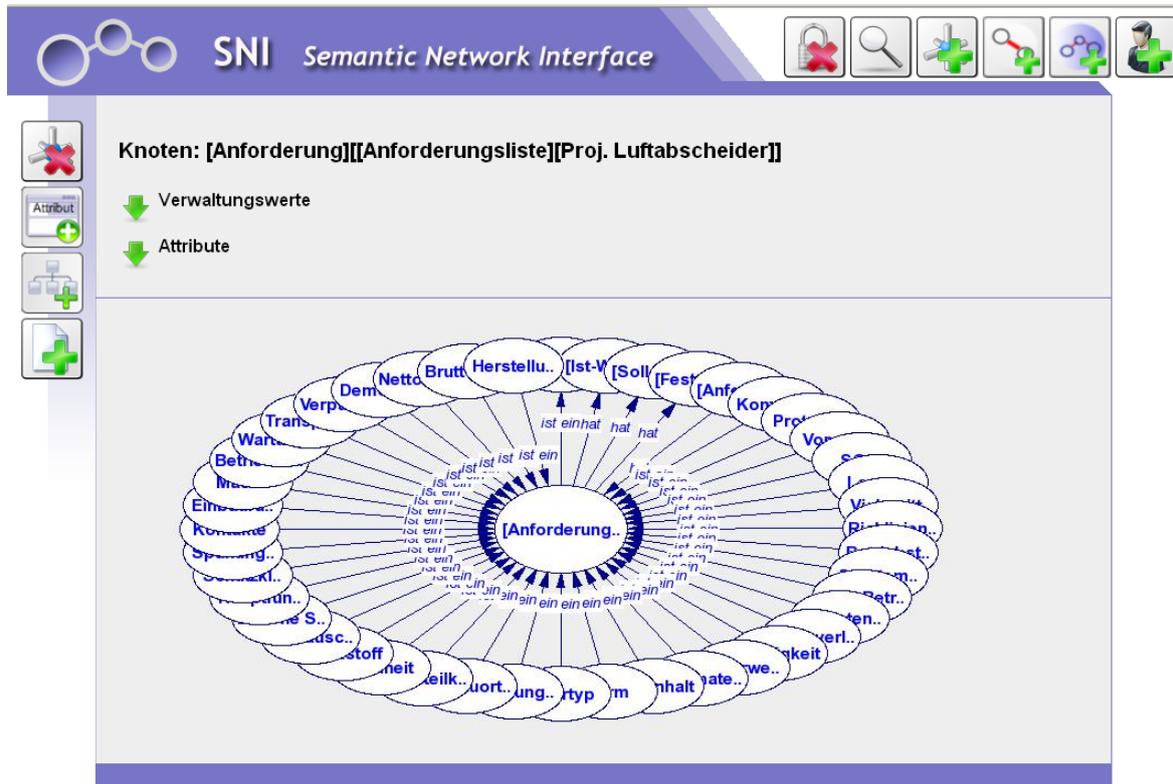


Abbildung 10.8: Eintrag „Anforderungen“

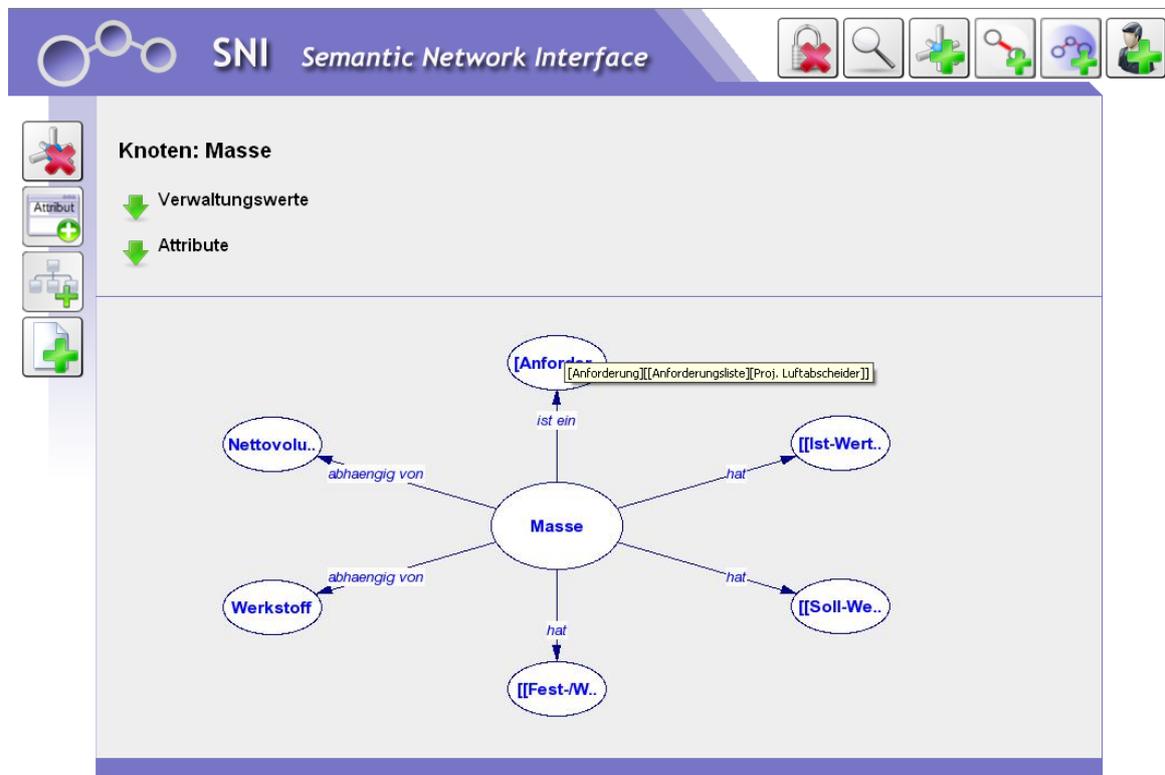


Abbildung 10.9: Anforderungseintrag "Masse" in SNI

Zudem wurde vom Entwicklungsteam eine Strukturierung der Anforderungen angedacht, die die Darstellung weiterhin entlastete. Abbildung 10.9 zeigt als Beispiel den Eintrag „Masse“ der Anforderungsliste. Hieran sind die vererbten Elemente Ist-Wert, Soll-Wert ersichtlich; die Vererbung ist durch die eckigen Klammern erkenntlich gemacht.

Patent- und Internetrecherche zum Thema Luftabscheidung

Bei der Patent- und Internetrecherche wurde insbesondere die Mehrbenutzerfähigkeit von SNI genutzt, da die Mitglieder des Entwicklungsteams weitgehend unabhängig voneinander gearbeitet haben. Hierbei hatte jedes Mitglied die Ergebnisse der eigenen Recherche direkt in SNI abgelegt. Die Ablage erfolgte durch das Hinzufügen entsprechender Knoten mit Kommentaren, Hyperlinks und Dokumenten, z.B. PDF-Dateien. Sind entsprechende Knoten bereits vorhanden, wurde dies durch die Autovervollständigen-Funktionalität und die grafische Darstellung ersichtlich. Dies ermöglichte es, die erreichten Ergebnisse ohne Redundanzen für alle zugänglich zu machen. Zugleich ermöglichte die flexible Erfassung mittels Semantischer Netze eine variable Einbindung verschiedenster Rechercheergebnisse.

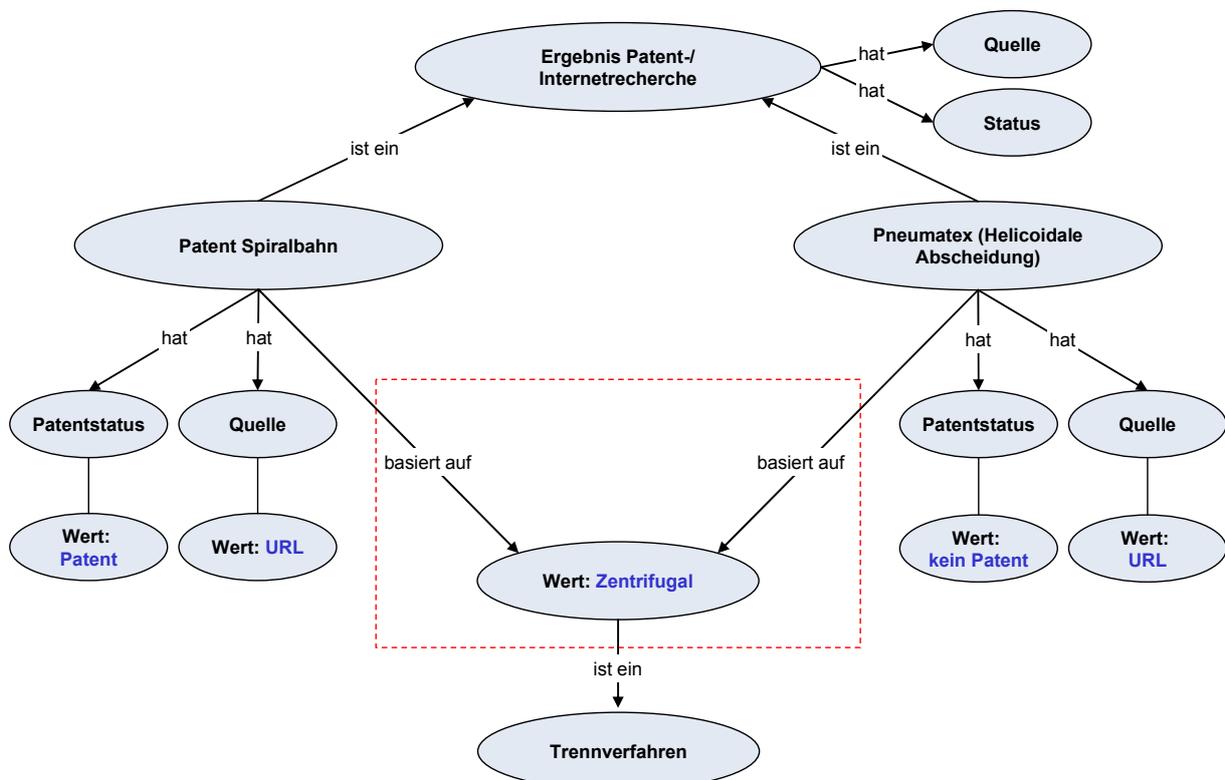


Abbildung 10.10: Schematische Darstellung der Abbildung von Recherchen in SNI

Da die Verdeutlichung eines solchen Rechercheeintrages eine Vielzahl von Bildschirmfotos aus SNI erforderlich machen würde, soll hier zunächst eine schematische Darstellung des

entstandenen Semantischen Netzes erfolgen (vgl. Abbildung 10.10). Das Entwicklungsteam hatte sich beim Knoten zu den Ergebnissen der Recherche auf ein Attribut Quelle und ein Attribut Patentstatus geeinigt, die somit an alle Ergebnisse vererbt wurden.

Die Visualisierung eines Ergebnisses in SNI zeigt Abbildung 10.11.

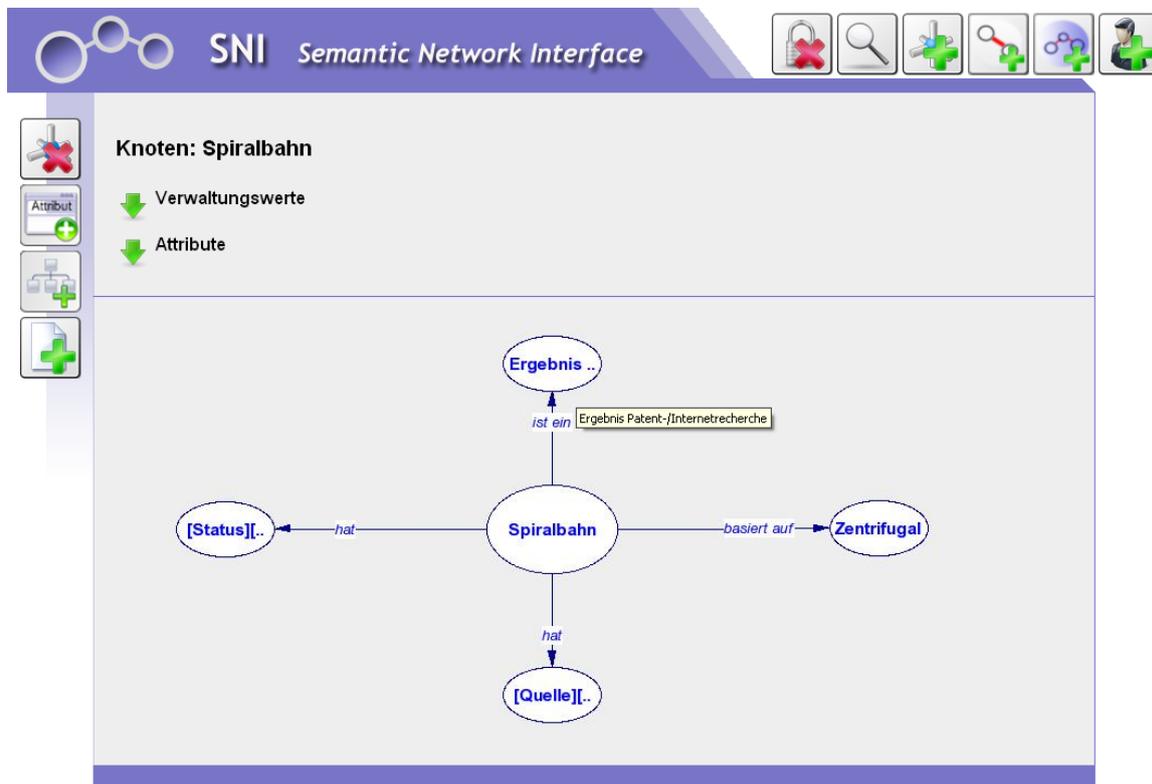


Abbildung 10.11: Darstellung eines Rechercheergebnisses in SNI

Funktionsstruktur

Zur Darstellung der Funktionsstruktur entschied sich das Entwicklungsteam dazu, eine Einzel- und eine Gesamtfunktionsstruktur zu schaffen, die als externe Diagramme an den Knoten „Funktion“ des Projektes Luftabscheider angehängt wurden. Zudem erstellte das Team die Elemente der Gesamtfunktionsstruktur als Knoten „Einleiten“, „Trennverfahren“ und „Abführung“. Hierbei wurde der Knoten „Trennverfahren“ für die weitere Entwicklung relevant, da er eine Verknüpfung zu den Ergebnissen der zuvor erläuterten Recherche ermöglichte und somit auch deren Bedeutung in funktionalem Zusammenhang deutlich gemacht hat. Abbildung 10.12 zeigt diese Verknüpfung schematisch.

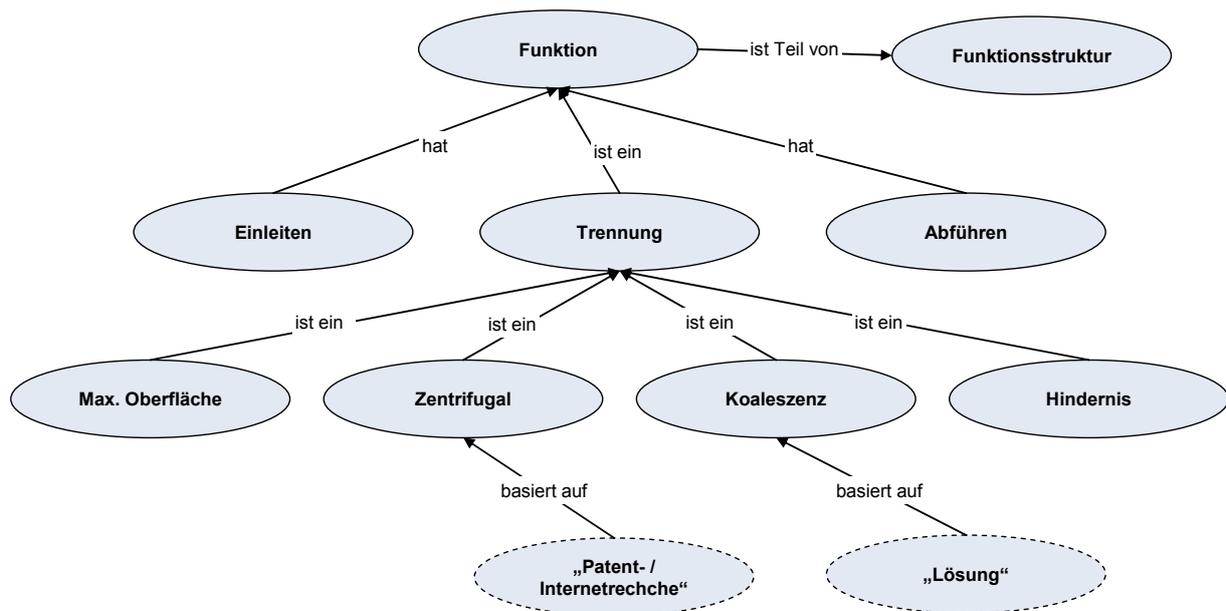


Abbildung 10.12: Schematische Darstellung der Erfassung der Funktionsstruktur

Anwendung von Lösungsfindungsmethoden

Nach der Erstellung der Funktionsstruktur hat das Entwicklungsteam verschiedene Lösungsfindungsmethoden verwendet, um aus den bisherigen Ergebnissen Lösungsansätze zu erarbeiten. Hierbei wurde insbesondere die systematische Methode TRIZ und die Kreativmethode 6-3-5 verwendet. Diese beiden Methoden sollten exemplarisch für systematische und kreative Lösungsfindungsmethoden stehen. Auf deren Ablauf und Funktionsweise soll hier nicht näher eingegangen werden, da dies für den gegebenen Kontext nicht relevant ist. Für eine detaillierte Betrachtung, auch über die Ausgestaltung in diesem Themenbereich, sei auf Speicher [Spei08] verwiesen.

Ähnlich wie bei der Funktionsstruktur wurde ein Knoten „Methoden“ erstellt, unter dem die angewendeten Methoden eingebettet wurden (vgl. Abbildung 10.13). Durch SNI war es dem Team möglich, alle Dokumente, die bei der Lösungsfindung verwendet wurden, mit abzulegen und so auch bei einem späteren Zugriff nachzuvollziehen, wie die Lösung gefunden wurde.

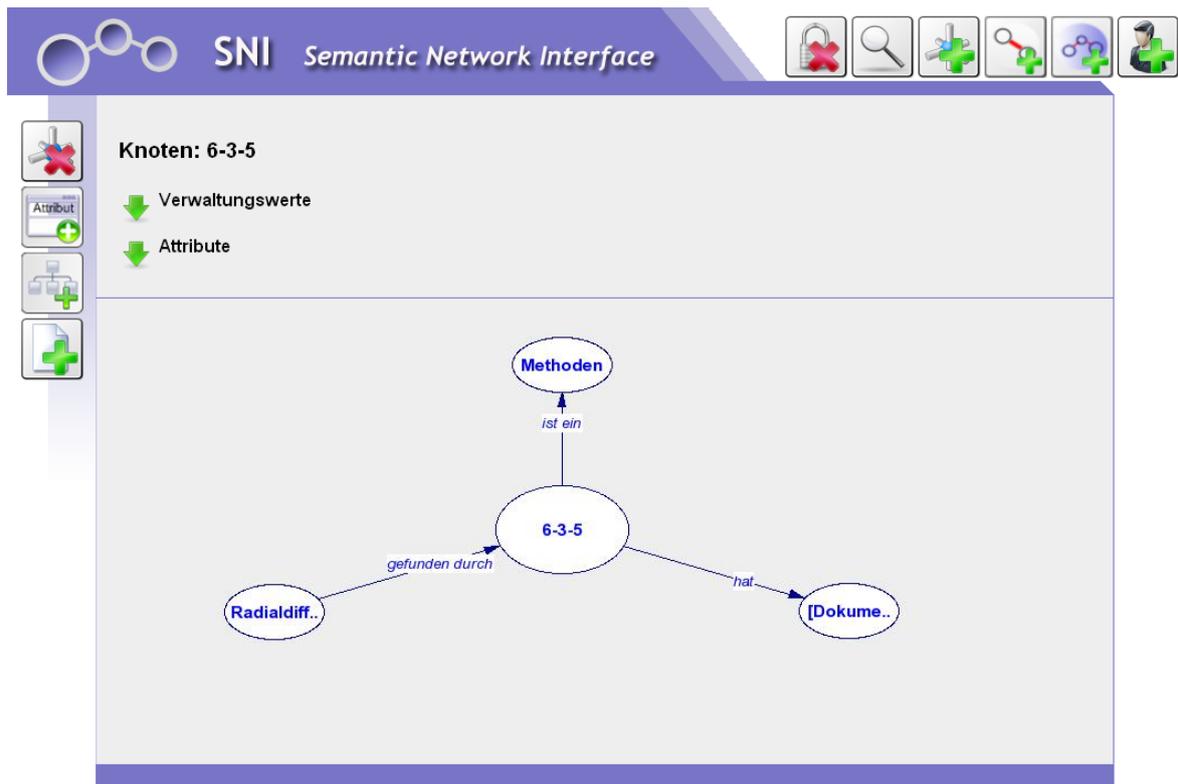


Abbildung 10.13: Abbilden von Lösungsfindungsmethoden in SNI

Merkmalsbewertung

Um zu entscheiden, welche der verschiedenen Lösungen, die das Entwicklungsteam bisher gefunden hat, weiter ausdetailliert werden soll, bewertete das Team in diesem Schritt die verschiedenen Merkmale²⁷ der Ansätze, um deren Relevanz festlegen zu können. Hierbei entschied sich das Team für die Methode des paarweisen Vergleichs. Ohne detailliert auf diese Methode einzugehen (hier sei erneut auf Speicher [Spei08] verwiesen), sollen die Kernidee und die in SNI abgelegten Informationen kurz beschrieben werden. Um die Merkmale zu bewerten, wird eine Matrix erstellt, die die Lösungsvarianten jeweils in der Kopfspalte und -zeile enthält. Zwischen diesen erfolgt der paarweise Vergleich. „0“ bedeutet Lösung 1 (Zeile) ist schlechter als Lösung 2 (Spalte). „1“ bedeutet beide Lösungen sind gleich gut und „2“ bedeutet Lösung 1 ist besser als Lösung 2. Abb. 30 zeigt, wie ein solcher paarweiser Vergleich beim Luftabscheiderprojekt aussieht.

²⁷ Der Begriff Merkmal wurde vom Benutzerteam hier nicht im Zusammenhang mit CPM/PDD gesehen, sondern in der Nomenklatur der Methode des paarweisen Vergleichs.

ist wichtiger 2 gleich wichtig 1 weniger wichtig 0	Baugröße	Kosten	Wartung	Flexib. Einbau	Flex. Filter	Fertigungsaufwand	Montage	Aktiv - Summe	Relative Gewichtung	Rang
Baugröße	-	2	2	2	2	2	2	12	0,28571429	1
Kosten	0	-	0	0	0	0	1	1	0,02380952	7
Wartung	0	2	-	2	2	2	2	10	0,23809524	2
Flexib. Einbau	0	2	0	-	0	2	2	6	0,14285714	4
Flex. Filter	0	2	0	2	-	2	2	8	0,19047619	3
Fertigungsaufwand	0	2	0	0	0	-	0	2	0,04761905	6
Montage	0	1	0	0	0	2	-	3	0,07142857	5
Passiv-Summe	0	11	2	6	4	10	9	42	1	

Abbildung 10.14: Paarweiser Vergleich der Bewertungsmerkmale

In SNI wurde die Merkmalsbewertung als Unterknoten bei dem bereits beschriebenen Knoten „Methoden“ erstellt. Welche Bewertungsmöglichkeit verwendet wird, bleibt auf diese Weise flexibel. Die vom Entwicklungsteam verwendete Methode des paarweisen Vergleichs wurde in SNI ergänzt.

Erarbeitung von Lösungsansätzen

Auf die Bewertung der Lösungsmerkmale folgte die Erarbeitung der Lösungsansätze. Diese wurden in SNI unter dem Basisknoten „Lösungen“ zusammengefasst. Dieser Basisknoten erhielt im Laufe des Projektes als Attribute eine Beschreibung, Dokumente wie Berechnungen, CAD-Daten etc., die als Dateianhänge hinzugefügt wurden, und den Bewertungsrang, den die jeweilige Lösung erzielt hat. Diese Attribute wurden dem Hauptknoten hinzugefügt und dann jeder einzelnen Lösung weitervererbt.

Zusätzlich wurden in diesem Schritt verschiedene Verknüpfungen zu den anderen Bereichen gesetzt. So wurde beispielsweise über die Relation „ist verantwortlich für“ der jeweilige Mitarbeiter mit dem Lösungsansatz verknüpft oder über die Relation „basiert auf“ der jeweilige Lösungsansatz einem Funktionsprinzip zugeordnet. Vom Entwicklungsteam wurden konkret die Lösungsansätze „Radialdiffusor“, „Bürstenstruktur“, „Zyklonabscheider“ und „Vibration“ implementiert. Abbildung 10.15 zeigt schematisch die Struktur eines Eintrags der zum Basisknoten „Lösungen“ gehört und Abbildung 10.16 beispielhaft den Eintrag eines Lösungsprinzips in SNI.

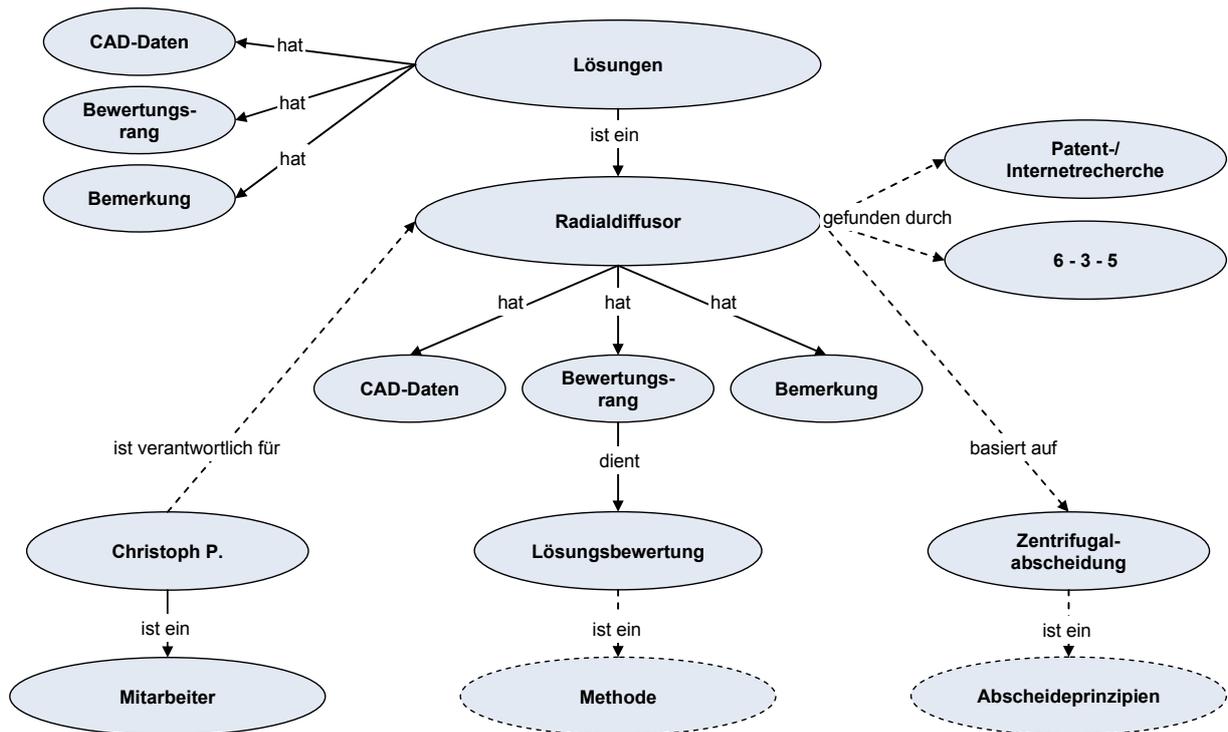


Abbildung 10.15: Schematische Darstellung der Struktur des Knotens „Lösungen“

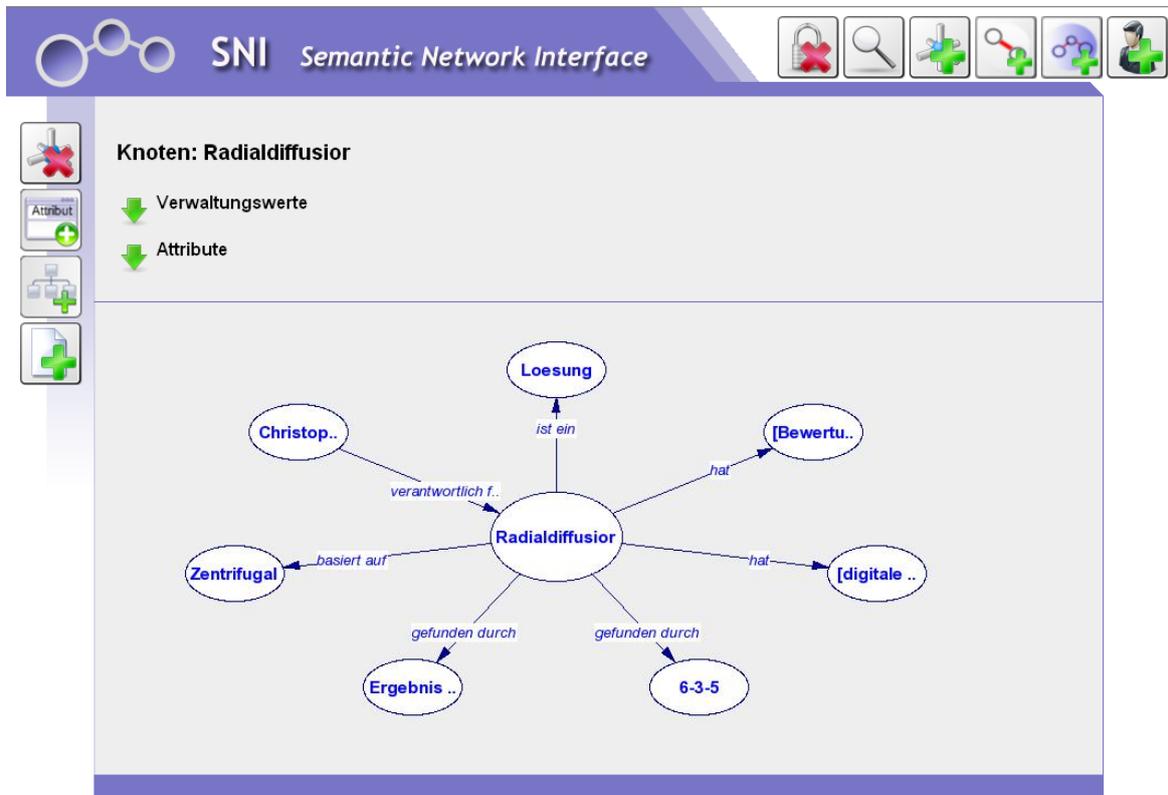


Abbildung 10.16: Instanz des Knotens „Lösungen“ in SNI

Lösungsbewertung

Aus den entwickelten Merkmalsbewertungen und der sich hieraus ergebenden Gewichtung wurde abschließend eine Bewertung der Lösungsvarianten nach dem Wertigkeitsverfahren durchgeführt. Dafür wurde vom Entwicklungsteam ein entsprechender Knoten erstellt. Die sich hieraus ergebende Tabelle wurde, wie bereits bei der Merkmalsbewertung beschrieben, als Datei an den Knoten angehängt. Hier konnte das Entwicklungsteam von der nicht-hierarchischen Struktur der Semantischen Netze profitieren, da die unter Methoden verlinkte Merkmalsbewertung über die „ist Teil von“-Relation mit der Lösungsbewertung verknüpft werden konnte.

10.2.2 Schlussfolgerungen aus dem Studentenprojekt Luftabscheider

Die hier durchgeführte Studie bildet nicht den realen Verlauf einer Produktentwicklung ab, gibt aber dennoch einen Eindruck für die Einsatzmöglichkeiten von SNI. Die Benutzer erhielten eine Version, die noch keine Inhalte enthielt, wodurch auch nur ein Zugriff auf die im Verlauf des Projektes erstellten Inhalte möglich war.

Die erforderlichen Basisknoten und die Funktionsweise des Vererbungsmechanismus decken sich mit den im theoretischen Teil entwickelten Knoten. Die Grundlagen Semantischer Netze und die Abbildung dieser in SNI wurden den Benutzern in einer Einführung dargestellt. Diese wurden weitestgehend verinnerlicht und in der Fallstudie umgesetzt. Durch die verwendeten Querverweise, die während des Projektfortschritts gesetzt wurden, wurde die Darstellung komplexer Wissenszusammenhänge möglich, die durch rein hierarchische Wissensspeicher nicht ohne weiteres realisierbar wären. Dies zeigt sich beispielhaft am Knoten Lösungen, deren Instanzen durch die „gefunden durch“-Relation direkt zu den verwendeten Lösungsfindungsmethoden führt.

Durch die semantische Struktur wird eine anschließende effektive Suche ermöglicht, bei der auch nach komplexeren Zusammenhängen gesucht werden kann. Der Mechanismus der Vererbung von Attributen erleichterte die Erfassung von Informationen enorm und ermöglichte dem Team einfachen Zugriff.

Mit der Oberfläche von SNI kamen die Benutzer nach einer Einführungsphase gut zurecht. Auch die netzwerkbasierte Implementierung zeigte in der Praxis viele Vorteile, da eine Verwendung von SNI an jedem PC mit Internetzugang möglich war. Die Verwendung durch

mehrere Benutzer gestaltete sich (auch bedingt durch die überschaubare Anzahl an Benutzern) in der Fallstudie problemlos. Der Software-Prototyp und die verwendete Architektur stellten sich als robust heraus.

Die Menge an erfassten Informationen steigt von Projekt zu Projekt. Das hier gezeigte Projekt gibt einen ersten Einblick in die Möglichkeiten, die SNI für spätere Projekte eröffnet. Die erstellten Basisknoten und die eingestellten Daten bilden hier die Ausgangsbasis für weitere Produktentwicklungen. Wird beispielsweise eine hier erfasste Funktion erneut gefordert, kann diese zusammen mit ihrem Kontext in SNI betrachtet werden. Auch spätere Ereignisse, wie beispielsweise nachträgliche Patentkonflikte können in das System eingetragen werden. So ist zum einen ersichtlich, auf welche anderen Projekte sich der Konflikt auswirkt und wo gegebenenfalls Änderungen durchzuführen sind. Zum anderen sind zukünftige Projekt vor dem gleichen Sachverhalt gewarnt. So erweitert sich die zur Verfügung stehende Basis von Projekt zu Projekt und erlaubt einen nachvollziehbaren Zugriff auf die abgelegten Informationen.

11 Zusammenfassung und Ausblick

11.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Produktentwicklung stellt ein sehr komplexes thematisches Umfeld dar. Der Verlauf eines Produktentwicklungsprozesses ist nicht vorhersehbar und sehr vielschichtig, was sich auch in einer Vielzahl von Theorien zu dieser Thematik äußert. Der informations- und wissensintensive Charakter führt zudem zu einer heterogenen Landschaft von Informations- und Wissensquellen.

Das Anliegen der vorliegenden Arbeit ist es, eine Technik aus dem Gebiet der Informatik, die Repräsentationsform der Semantischen Netze auf dieses Umfeld anzuwenden. Semantische Netze und semantische Technologien zeigten bereits in anderen Anwendungs- und Forschungsgebieten viel versprechende Möglichkeiten. Insbesondere sind sie in der Lage, heterogenes Wissen flexibel und wiederauffindbar zu erfassen.

Um die Portierung in ein neues Themengebiet zu ermöglichen, wurden zunächst die beiden thematischen Stränge Produktentwicklung, bzw. Informationen und Wissen in der Produktentwicklung und Semantische Netze getrennt von einander näher untersucht. Unter Berücksichtigung der identifizierten Ressourcen wurde eine Konzeption erstellt, die die Verwendung Semantischer Netze erforscht. Zur Implementierung einer informationstechnischen Lösung wurde hierauf aufbauend ein detailliertes konzeptionelles Layout entwickelt, das Strategien und Maßnahmen vorschlägt, die eine informationstechnische Unterstützung ermöglichen. Dieses beinhaltet eine passende Interpretation der Netze sowie verschiedene Mechanismen, die den Umgang mit diesen ermöglichen. Zudem mussten die Erfordernisse der Umgebung erfüllt werden, um eine Nutzung im Umfeld der Produktentwicklung zu ermöglichen. Bei der Implementierung wurde ein netzbasierter Prototyp realisiert, der die Nutzung semantischer Technologien unter Verwendung von modernen Internettechnologien ermöglicht. Dieser Prototyp wurde abschließend anhand eines Fallbeispiels und eines fiktiven Produktentwicklungsprojektes getestet.

Zusammenfassend wurde in dieser Arbeit gezeigt, dass die Verwendung Semantischer Netze in der Produktentwicklung zur Erfassung, zur Verarbeitung und zum Zugriff auf Wissen möglich ist. Betrachtet man die Unterteilung in produkt- und prozessorientiertes Wissen, wie sie in der Arbeit getätigt wurde, so können Semantische Netze an vielen Punkten angeknüpft werden. Da Semantische Netze schwach vorstrukturiert und flexibel erweiterbar sind, sind sie gut in der Lage, dem nicht vorhersehbaren Verlauf des Produktentwicklungsprozesses zu folgen und beliebiges Wissen zu ergänzen. Dies ermöglicht eine bessere Nachvollziehbarkeit zu einem späteren Zeitpunkt und kann die Frage nach dem „Warum?“ beantworten. Um die Anwendungsmöglichkeiten zu verdeutlichen, wurden verschiedene, in der Produktentwicklung üblicherweise verwendete Ressourcen identifiziert, und Strategien entwickelt, wie diese berücksichtigt werden können. Dabei spielen nach wie vor die an der Produktentwicklung beteiligten Personen die Hauptrolle. Diese können in Semantischen Netzen abgebildet und vernetzt werden. Aber auch die IT-Infrastruktur kann durch eine Metaebene mit semantischen Technologien stärker vernetzt und homogener gestaltet werden.

Da Semantische Netze per se sehr generisch sind, müssen jedoch gewisse Mechanismen eingeführt werden, um den Benutzer zu unterstützen. Hier bilden die Objektorientierung und die Vererbungsmöglichkeiten geeignete Techniken, die Vereinfachungen und Vereinheitlichung ermöglichen. Auch muss die Akzeptanz im Unternehmen gefördert werden. Hierzu wurde eine webbasierte Lösung eingeführt, die keine Installation bei hoher Verfügbarkeit und, durch den Einsatz moderner Internettechnologien, höchsten Bedienkomfort ermöglicht.

Semantische Netze sind nicht geeignet, die bestehende IT-Infrastruktur abzulösen. Gerade bei gut strukturierten Inhalten und wie z.B. bei CAD-Anwendungen und PDM-Systemen zur Verwaltung dieser sind konventionelle Lösungen effizienter und stabiler. Dennoch können Semantische Netze aus den beschriebenen Gründen eine sinnvolle Ergänzung darstellen und so der Forderung nach einer universellen Wissensbasis nachkommen.

11.2 Beantwortung der Forschungsfragen

- **Welche Wissensressourcen sind grundsätzlich bei einer informationstechnischen Umsetzung zur Nutzung Semantischer Netze in der Produktentwicklung zu berücksichtigen und wie können diese erfasst werden?**

Die Hauptressource der Produktentwicklung sind die beteiligten Personen. Bei der Wissensrepräsentation mit Semantischen Netzen müssen Personen zum einen mit dem Netz interagieren, zum anderen aber auch selbst im Netz erfasst werden. Dabei muss insbesondere die Problematik der Sprachwahl und Ontologie näher betrachtet werden. Unter Ausnutzung der Vererbungsmechanismen Semantischer Netze kann ein Weg gefunden werden, wie mit dieser Problematik umgegangen werden kann.

Da jedoch moderne Produktentwicklungen händisch kaum noch zu beherrschen sind, ist der Benutzer auf Rechnerunterstützung angewiesen. Die sich hieraus ergebende Vielzahl an externalisierten Informationen und Informationsquellen muss auch bei der Verwendung Semantischer Netze berücksichtigt werden. Deshalb muss eine Integration der informationstechnischen Umsetzung in die bestehende IT-Landschaft angestrebt werden, da diese die externalisierten Quellen darstellt. Hierbei sind die Elemente

- Applikationen
- Dateien und Dokumente
- Dateinhalte
- Webinhalte und Datenbanken

zu berücksichtigen, zu denen Abschnitt 7.1.2 entsprechende Strategien aufzeigt.

- **Welche Möglichkeiten bieten Semantische Netze zur Erfassung von Wissen hinsichtlich der Produktentwicklung nach CPM/PDD**

Die Möglichkeiten der Nutzung Semantischer Netze hinsichtlich der Produktentwicklung nach CPM/PDD lassen sich anhand der zu erfassenden Elemente beschreiben. Hierzu kann man den Wissensbegriff in produktorientiertes und prozessorientiertes Wissen unterteilen. Um produktorientiertes Wissen zu erfassen, müssen alle Teile des CPM-

Modells erfasst werden, also Merkmale, Eigenschaften, Relationen und auch External Conditions und Dependencies. Die Ressourcen dieser Teile sind sehr heterogen. Durch ihre schwache Vorstrukturierung und ihre Erweiterbarkeit ermöglichen Semantische Netze hier einen Weg, die Erfassung der Teile zu verbessern und so die Verfügbarkeit von produktorientiertem Wissen zu erhöhen.

Bei prozessorientiertem Wissen kommen neben den Teilen des produktorientierten Wissens noch das Evaluierungs- und das Schlussfolgerungswissen hinzu. Die Abbildung dieser Elemente ist für die Nachvollziehbarkeit des Verlaufs der Produktentwicklung sehr aussagekräftig. Semantische Netze ermöglichen hier auch eine flexible Erfassung von Wissen, da sie auf den unvorhersehbaren Verlauf des Produktentwicklungsprozesses in ihrer Repräsentationsform reagieren können.

Es existieren jedoch Grenzen und offene Problemstellen bei der Verwendung Semantischer Netze, die in Abschnitt 7.2.3 beschrieben werden.

- **Wie sieht ein konzeptionelles Layout für eine solche informationstechnische Umsetzung aus?**

Um die Technologie der Semantischen Netze verwenden und zugleich die genannten Erfordernisse erfüllen zu können, wurde ein konzeptionelles Layout für die informationstechnische Umsetzung entwickelt. Die Darstellung dieses Layouts und somit die Beantwortung dieser Forschungsfrage ist in Abbildung 8.2 ersichtlich. Die Umsetzbarkeit des dargestellten konzeptionellen Layouts zeigt die prototypische Implementierung.

- **Wie kann die informationstechnische Umsetzung zur Verwendung Semantischer Netze unter Berücksichtigung der identifizierten Erfordernisse realisiert werden?**

Die informationstechnische Umsetzung kann durch die Repräsentation der Kernelemente Semantischer Netze *Knoten*, *Relation* und *Tripel* aus zwei Knoten und einer Relation erfolgen. Um die identifizierten Erfordernisse zu erfüllen sind jedoch weitere Funktionen erforderlich. Der implementierte Vererbungsmechanismus verwendet Basisknoten, die Ausgangspunkte für weitere Knoten darstellen. Diese und weitere implementierte Funktionen, die durch bestimmte Relationen ausgelöst werden, stellen die

Beherrschbarkeit des Semantischen Netzes sicher, ohne dessen flexible Struktur einzuschränken.

Bei der Erfassung von Wissen spielen die bei der Ausgestaltung des Semantischen Netzes implementierten Mechanismen eine zentrale Rolle. Die Definition von Attributen und die damit mögliche Definition von Templates über Vererbungsmechanismen erlaubt eine zeitsparende und dennoch flexible Möglichkeit. Zudem bietet das System die Möglichkeit, beliebige Dokumente und Dateien in das Netz einzubinden. Zur Verbesserung des Zugriffs wurde eine hybride Darstellung entwickelt, die die besonderen Vorzüge verschiedener Darstellungsformen im Zusammenhang mit den in der Produktentwicklung gestellten Anforderungen vereint.

Um die Akzeptanz der Benutzer zu erreichen und eine produktive Nutzung zu ermöglichen, werden besondere Erfordernisse an Verfügbarkeit und Zugriff gestellt. Hier bietet die entwickelte Client-Server-Architektur bestmögliche Wartbarkeit und ubiquitäre Zugriffsmöglichkeiten über Internettechnologien.

Als Erfordernis wurde eine notwendige Integration in die bestehende IT-Landschaft identifiziert. Hierzu wurden die Integrationsstrategie und das Layout der informationstechnischen Umsetzung so angepasst, dass eine Einbindung in diese möglich ist.

Zudem ist eine Mehrbenutzerumgebung für die Produktentwicklung zwingend erforderlich. Dies wurde durch eine webbasierte Architektur im Client-Server Design erfüllt.

11.3 Grenzen des Ansatzes

Die Grenzen des hier entwickelten konzeptionellen Layouts wurden zusammen mit einigen Ansatzpunkten für zukünftige Arbeiten bereits in Abschnitt 7.2.3 diskutiert. Im Folgenden sollen die wichtigsten Punkte noch einmal zusammengefasst werden.

Der generische und freie Charakter der Repräsentationsform bietet zwar viel Flexibilität und Freiraum bei der Erfassung, birgt jedoch das Risiko einer zu großen Vielfalt. Ontologien können hier die nötige Struktur bieten. Gleichzeitig gibt es noch keine allgemeingültige

Ontologie, sodass wiederum das Risiko der Bildung von Informationsinseln durch verschiedene Ontologien besteht.

Die Problematik der Definition von Lösch-Algorithmen ist zudem eine Einschränkung des hier vorgestellten Ansatzes. Es müssen bei einem praktischen Einsatz eventuell mächtigere Wege gefunden werden, Elemente oder auch Zweige des Netzes nachträglich wieder zu entfernen. Eine besondere Schwierigkeit ist hierbei die Vermeidung von Inkonsistenzen.

Der dargestellte Ansatz bietet die Möglichkeit, differenziert Benutzerrechte zu vergeben. Dies kann bei großen Datenmengen sehr komplexe und zeitaufwendige Aktivitäten erforderlich machen, damit letztendlich jeder Benutzer so viele Rechte im System wie nötig besitzt.

Bei der Durchführung eines Fallbeispiels wurde deutlich, dass die Netzdarstellung bei einer großen Zahl von anzuzeigenden Elementen unübersichtlich wird. Dies lässt sich zwar durch die gegebenen Filtermechanismen abschwächen, führt jedoch bei nicht aktivierten Filtern zu einer Informationsüberlastung des Benutzers.

Durch die Einbindung des Systems auf einer Metaebene hat sich zusätzlich gezeigt, dass die Implementierung von Schnittstellen zu anderen Programmen ein zeitintensives Unterfangen darstellt. Zudem stellte sich die hier implementierte Excel-Anbindung als sehr restriktiv heraus, da sie sehr enge Vorgaben für die Gestaltung der Eingabedaten macht.

11.4 Ausblick

Der entwickelte Prototyp wurde anhand einer Fallstudie getestet. Eine Evaluation wurde jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr durchgeführt. Eine solche Studie könnte zusätzliche Erkenntnisse über die Vorzüge und Schwachstellen des hier entwickelten Systems bringen.

Um in die bestehende Systemlandschaft nicht tiefgreifend zu verändern, wurde hier die Integration auf einer Metaebene über Schnittstellen realisiert. Beispielhaft wurden hierzu Schnittstellen zu einigen Anwendungen geschaffen. Zur Implementierung dieser Schnittstellen, möglicherweise mit mächtigeren Abbildungsalgorithmen, muss weitere Forschung erfolgen. So ist z.B. im Zusammenhang mit CAD-Systemen durch Features bereits eine Semantik festgelegt bzw. dargestellt (vgl. [WeWe99], [WeKr99]). Diese Technologien

könnten einen Ausgangspunkt für eine tiefere Verwurzelung der CAD-„Welt“ und des Semantischen Netzes sein, wenn es möglich ist, eine Schnittstelle hierzu zu erstellen. Solche Ableitungen der Semantik für das Semantische Netz sind auch für andere Anwendungen denkbar.

Auch eine Anbindung an ein firmeninternes, in Zukunft vielleicht sogar semantisches Wiki-System wäre eine Möglichkeit, die Erfassung von Wissen im Unternehmensalltag zu vereinfachen und die Verwendung eines zusätzlichen Werkzeuges zu bestärken.

In dieser Arbeit wurde die grundsätzliche Eignung Semantischer Netze und die Erfüllbarkeit der mit der Produktentwicklung entstehenden Anforderungen an diese diskutiert. Die hieraus entstandene Lösung fokussiert auf der informationstechnischen Umsetzung. Dies ist jedoch nicht der einzige Blickwinkel aus dem der Einsatz eines solchen Systems betrachtet werden muss. Für die weiteren Komponenten eines umfassenden Wissensmanagements sind wesentliche Studien im Bereich der Komponenten Organisation und Mensch erforderlich (vgl. Abschnitt 2.5). Strategien und Erkenntnisse in diesen Gebieten können in weiteren Forschungen im Bezug auf Semantische Netze ausgebaut werden.

Auch die Entwicklung firmenspezifischer Ontologien muss in der Praxis getestet und weiterentwickelt werden. Hierzu sind Studien in der Industrie unumgänglich.

Literaturverzeichnis

- [AbMü04] Abts, D.; Müller, W.: Grundkurs Wirtschaftsinformatik, 5. Aufl., Vieweg Verlag, Wiesbaden 2004
- [Ahme00] Ahmed, S.: Understanding the Use and Reuse of Experience in Engineering Design, Dissertation, Cambridge, 2000
- [Ahme05] Ahmed, S.: Encouraging reuse of design knowledge: a method to index knowledge, Design Studies, Volume 26, Issue 6, 2005
- [AhSt07] Ahmed, S.; Storga, M.: Engineering Design Ontologies – Contrasting an empirical and a theoretical approach, 16th International Conference on Engineering Design – ICED 07, The Design Society, 2007
- [AhWa06] Ahmed, S.; Wallace, K.: Reusing Design Knowledge. In: ElMaraghy H. A.; ElMaraghy, W. H. (Hrsg.): Advances in Design, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006
- [AlHC00] Allen, R. D.; Hicks, B. J.; Culley, S.J.: Integrating electronic information for the design of mechanical systems: The designers perspective. 4th World Multi-Conference on Systematics, Cybernetics and Informatics, 2, 266–271, International Institute of Informatics and Cybernetics, Orlando 2000
- [AnBo73] Anderson, J. R.; Bower, G. H.: Human Associative Memory, Wiley & Sons Inc, Hoboken, 1973
- [Ande96] Anderson, J. R.: Kognitive Psychologie, Spektrum akademischer Verlag, Springer, Berlin, 1996
- [Andr80] Andreasen, M. M.: Machine Design Methods Based on a Systematic Approach – Contribution to a Design Theory, Dissertation [in Dänisch], Department of Machine Design, Lund Institute of Technology, Sweden, 1980

- [AnGr05] Anderl, R.; Grabowski, H.: Elektronische Datenverarbeitung , In: Grote, K.; Feldhusen, J. (Hrsg.): Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer, Berlin, 2004
- [AnHa04] Antoniou, G.; Van Harmelen, F.: A Semantic Web Primer, B&T, Chatswood, 2004
- [Bär98] Bär, T.: Einsatz der Feature-Technologie für die Integration von Berechnungen in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses, Dissertation, Schriftenreihe Produktionstechnik, Saarbrücken, 1998
- [BeGr97] Beitz, W.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer Verlage, Berlin, 1997
- [BeHL01] Berners-Lee, T.; Hendler, J.; Lassila, O.: The Semantic Web, Scientific American - Volume 284, Number 5, New York, 2001
- [Bern94] Berners-Lee, T.: Weaving the web, Harper Business, New York, 1994
- [BGES08] Buffa, M.; Gandon, F. L.; Ereteo G.; Sander P.; Faron C.: SweetWiki: A semantic wiki, Journal of Web Semantics, 6/08, S.84-97, Elsevier, München, 2008
- [BIBW06] Blühdorn H.; Breindl E.; Waßner U. H. : Text - Verstehen, Grammatik und darüber hinaus (Jahrbuch des Instituts für Deutsche Sprache 2005), Walter de Gruyter Verlag, Berlin/New York, 2006
- [BlCh09] Blessing, L.; Chakrabarti, A.: DRM, a design research methodology. Springer, London, 2009
- [Bless94] Blessing, L. T. M.: A process-based approach to computer-supported engineering design, Dissertation, University of Twente, Netherlands, 1994
- [BlFu06] Blumenauer, A.; Fundneider, T.: Ontologien im Zentrum integrierter Wissensmanagement-Systeme. In: Pellegrini, T.; Blumauer, A. (Hrsg.):

- Semantic Web - Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft, Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2006
- [BlPe06] Blumauer A.; Pellegrini, T.: Semantic Web und semantische Technologien: Zentrale Begriffe und Unterscheidungen. In: Pellegrini T.; Blumauer A. (Hrsg.): Semantic Web - Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft, Springer, Berlin/Heidelberg, 2006
- [Booc91] Booch, G. : Object Oriented Design with Applications, Addison-Wesley, New York, Amsterdam, Bonn, 1991
- [Brac79] Brachman, R.: On the epistemological status of semantic networks, In: Findler, N.(ed.) Associative Networks: Representation and Use of Knowledge by Computers, S. 3–50, Academic Press, New York, 1979
- [BrLe85] Brachman, R. J.; Levesque H. J.: Readings in Knowledge Representation, Morgan Kaufmann, Los Altos, 1985
- [Broc03] Brockhaus Universal Lexikon von A – Z in 26 Bänden. F.A. Brockhaus, Mannheim, 2003
- [BuAn89] Buur, J.; Andreasen M. M.: Design models in mechatronic product development, In: Design Studies, Volume 10, Issue 3, S. 155-162, 1989
- [BüBi96] Büttner, K.; Birkhofer, H.: Mit Online-Produktkatalogen den Nutzen für Zulieferer und Abnehmer steigern, Konstruktion 48, Heft 6, S. 174-182, 1996
- [BuBu96] Buzan T.; Buzan B.: Das Mind-map-Buch, Mvg-Verlag, Landsberg am Lech, 1996
- [Büge04] Bügel, U.: Globaler Leitfaden “Wissensmanagement“, In: Kompetenznetzwerk Wissensmanagement, Karlsruhe, 05. November 2004, URL:
<http://wiman.server.de/servlet/is/5870/GlobalerLeitfaden.pdf?command=downloadContent&filename=GlobalerLeitfaden.pdf>, aufgerufen am

22.04.2007

- [CaHa69] McCarthy, J.; Hayes, P.: Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In: Meltzer, B.; Michie, D. (Hrsg.); Machine Learning 4, Edinburgh University Press, 1969
- [CDKW07] Conrad, J.; Deubel, T.; Köhler, C.; Wanke, S.; Weber, C.: Comparison of Knowledge Representation in PDM and by Semantic Networks, 16th International Conference on Engineering Design – ICED 07, The Design Society, 2007
- [CeAP03] Cesarano, C.; Acierno d', A.; Picariello, A.: An Intelligent search Agent System for Semantic Information Retrieval on the Internet, in Proceedings of the 5th ACM international workshop on Web information and data management. New Orleans, Louisiana, USA, 2003, S. 111-117, ACM Press, New York, 2003
- [CEN04] European Committee for Standardization/Information Society Standardization System (CEN/ISSS): Europäischer Leitfaden zur erfolgreichen Praxis im Wissensmanagement, CEN/ISSS Knowledge Management Workshop, <ftp://cenftp1.cenorm.be/PUBLIC/CWAs/e-Europe/KM/German-text-KM-CWAGuide.pdf>, Stand 6. Mai 2009
- [CKWW08] Conrad, J.; Köhler, C.; Wanke, S.; Weber, C.: What is design knowledge from the viewpoint of CPM/PDD?, In: Design 2008 : proceedings of the 10th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, May 19 - 22, 2008 / Ed.: Dorian Marjanovic. - Zagreb : Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2008
- [DeSW05] Deubel, T.; Steinbach, M.; Weber, C.: Requirement- and Cost- Driven Product Development Process, 15th International Conference on Engineering Design 2005 - ICED 05, The Design Society, Melbourne, 2005
- [Deub07] Deubel, T: Anforderungs-, kosten- und wertgetriebene Steuerung des

- Produktentwicklungsprozesses, Dissertation, Schriftenreihe Produktions-
technik, Saarbrücken, 2005
- [DFG00] Deutsche Forschungsgemeinschaft: Objektorientierte Modellierung,
Planung und Konstruktion, Forschungsbericht, Dietrich Hartmann
(Hrsg.) Wiley-VCH, Weinheim, 2000
- [Diek81] Diekhöner, G.: Erstellen und Anwenden von Konstruktionskatalogen im
Rahmen des methodischen Konstruierens, VDI Fortschrittsbericht, Reihe
Konstruktionstechnik – Maschinenelemente, Dissertation, Reihe 1, Band
75, VDI-Verlag, 1981
- [Diek83] Diekhoff, G. M.: Relationship judgements in the evaluation of structural
understanding, in: Journal of Educational Psychology, 75, S. 227-233,
APA Journals, Washington DC, 1993
- [Diet05] Dietrich, K.: Bosch Research Info, Kooperationen ohne Grenzen,
Ausgabe 1/2005, URL: [http://researchinfo.bosch.com/content/language1/
downloads/briD1_2005.pdf](http://researchinfo.bosch.com/content/language1/downloads/briD1_2005.pdf), Stand 17. Juli 2007
- [DIN6789] DIN 6789: Dokumentationssystematik; Aufbau Technischer
Produktdokumentation, Beuth Verlag, Berlin, 1990
- [DIN69901] DIN 69901: Projektwirtschaft - Projektmanagement - Begriffe, Beuth
Verlag, Berlin, 1987
- [DuAn95] Duffy, A. H. B.; Andreasen, M. M.: Enhancing the Evolution of Design
Science, Proceedings of ICED'95, Prague, 1995
- [EbFi04] Eberhart, A.; Fischer S.: Webtechnologien, URL: [http://www.minet.uni-
jena.de/~sack/WS0405/materialien/webtechnologien-06sm.pdf](http://www.minet.uni-jena.de/~sack/WS0405/materialien/webtechnologien-06sm.pdf)
- [EbGH05] Ebersbach, A.; Glaser, M.; Heigl, R.: Wiki-Tools - Kooperation im Web,
Springer, Berlin, 2005
- [EbGI05] Ebersbach, A.; Glaser, M.: Wiki (aktuelles Schlagwort), Informatik

- Spektrum 28(2), Springer, Berlin/Heidelberg, 2005
- [EiSt01] Eigner, M.; Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme, Springer, Berlin, 2001
- [EyMa05] Eysenck, M. W.; Mark, T.; Keane, M. T.: Cognitive Psychology, Psychology Press, Sussex, 2005
- [FHLW03] Fensel, D.; Hendler, J.; Liebermann, H.; Wahlster, W.: Introduction, In: Spinning the Semantic Web, The MIT Press, Cambridge, London, 2003
- [Freg07] Frege, G.: Funktion – Begriff – Bedeutung, Hrsg. Mark Textor, Vandenhoeck & Rupprecht, Göttingen, 2007
- [GeNi89] Genesereth, M.R.; Nilsson, N. J.: Logische Grundlagen der Künstlichen Intelligenz, Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1989
- [GiRi98] Giarratano, J. C., Riley, G. D.: Expert Systems: Principles and Programming, Course Technology, Boston, 1998
- [GoGo04] Gorodnichy, D. O.; Gorodnichy, O. P.: Using associative memory principles to enhance perceptual ability of vision systems, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Washington D.C., USA, 2004
- [GoJo08] Gonçalves D.; Jorge J. A.: In Search of Personal Information: Narrative-Based Interfaces, ACM International Conference on Intelligent User Interfaces 2008 - IUI2008, Maspalomas, Spain, 2008
- [Gron01] Gronau, N.: Wissensmanagement Systeme – Anwendungen – Technologien, Shaker Verlag, Aachen, 2001
- [Grub95] Gruber, T.: Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing, International Journal Human-Computer Studies Vol. 43, Issues 5-6, Academic Press Inc., Duluth, 1995

- [HaAn02] Hansen, C. T.; Andreasen, M. M.: Two approaches to synthesis based on the domain theory, In: Chakrabati, A. (Hrsg.): Engineering Design Synthesis, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2002
- [Häck98] Häcker, K.-H.: Dorsch Psychologisches Wörterbuch, Stapf / Huber Verlag, Bern, 1998
- [Hahn04] Hahn, U.: Die Verdichtung textuellen Wissens zu Information, In: Hammwöhner, R.; Rittberger, M.; Semar, W. (Hrsg.): Wissen in Aktion: Der Primat der Pragmatik als Motto der Konstanzer Informationswissenschaft, Festschrift für Rainer Kuhlen, UVK Verlagsgesellschaft, Konstanz, 2004
- [HaWe03] Hatchuel, A.; Weil, B.: A New Approach of Innovative Design: An Introduction to C-K-Theory. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design - ICED03, Royal Institute of Technology, Stockholm, Schweden, The Design Society, 2003
- [HaWM07] Hatchuel, A.; Weil, B.; Le Masson, P.: Design as Forcing: Deepening the foundations of C-K-Theory. 16th International Conference on Engineering Design - ICED 2007, Knowledge, Innovation and Sustainability, Paris, France
- [HCAM02] 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, International Journal of Information Management 22 (2002) S. 263-280, Elsevier, München, 2002
- [Heis03] Heisig, P.; Finke, I.: Wissensmanagement-Kompetenz-Check. In: Rosenstiel, L. und Erpenbeck, J. (Hrsg.): Handbuch Kompetenzmessung, Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen u, pädagogischen und psychologischen Praxis, Schaeffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2003, Seite 488-504
- [Helb06] Helbig, H.: Knowledge representation and the semantics of natural

- language, Springer, Berlin/Heidelberg, 2006
- [Helb96] Helbig, H.: Künstliche Intelligenz und automatische Wissensverarbeitung, Technik-Verlag, Hagen, 1996
- [HeTB03] Hering, E.; Triemel, J.; Blank, H.-P.: Qualitätsmanagement für Ingenieure, Springer Verlage, Berlin, 2003
- [Hick93] Hicks, B. J.: Management information systems: A user perspective, West Publishing Company, Eagan, 1993
- [Holz07] Holzbaur, U.: Entwicklungsmanagement mit hervorragenden Produkten zum Markterfolg, Springer, Berlin 2007
- [Hubk84] Hubka, V.: Theorie Technischer Systeme – Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1984
- [HuEd96] Hubka, V.; Eder, W. E.: Design Science. Introduction to needs, scope and organization of Engineering Design Knowledge, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1996
- [ISO7498-1] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): ISO/IEC 7498-1: Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The basic model (ISO/IEC 7498-1:1994-11), Beuth Verlag, Berlin, 1994.
- [Jaco08] Jacob, O.: ERP Value, Signifikante Vorteile mit ERP-Systemen, Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2008
- [JoBY93] Jonassen, D. H.; Beissner, K.; Yacci, M.: Structural Knowledge, Lawrence Erlbaum Associates INC, Hillsdale, 1993
- [KaHW08] Kazakci A. O.; Hatchuel A.; Weil B.: A Model of CK Design theory based on term logic, a formal CK background for a class of Design Assistants, Design 08, Dubrovnik, Croatia, 2008

- [KaNo97] Kaplan, R., Norton, D.: Balanced Scorecard Strategien erfolgreich umsetzen, Handelsblatt Reihe, Stuttgart, 1997
- [KaPr04] Kappel, G.; Pröll, B.: Web Engineering - Systematische Entwicklung von Web-Anwendungen, Dpunkt- Verlag, Heidelberg, 2004
- [Kay03] Kay, A.: On the Meaning of “Object-Oriented Programming”, 2003, URL: http://www.purl.org/stefan_ram/pub/doc_kay_oop_en
- [Kay93] Kay, A.: The early history of Smalltalk, In: The second ACM SIGPLAN conference on History of programming languages, Cambridge, Massachusetts, 1993
- [KCKW08] Kaiser, J. M.; Conrad, J.; Koehler, C.; Wanke, S.; Weber, C.: Classification of tools and methods for knowledge management in product development, In: Design 2008: proceedings of the 10th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, May 19 - 22, 2008 / Ed.: Dorian Marjanovic. - Zagreb : Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2008
- [Klab03] Klabunde, S.: Wissensmanagement in der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung - Best-Practice-Modelle zum Management von Meta-Wissen, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2003
- [KoBe90] Koller, R.; Berns, S.: Strukturierung von Konstruktionswissen, Konstruktion 42, S. 91-96, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1990
- [Koll73]: Koller, R.: Eine algorithmisch-physikalisch orientierte Konstruktionsmethodik, VDI-Z 115 (1973) 147-152
- [Koll98]: Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau, 4. Auflage, Springer, Berlin/ Heidelberg/ New York/ Tokyo, 1998
- [Konz08] Konz, M.: Repräsentation Semantischer Netze in der Produktentwicklung, Studienarbeit Universität des Saarlandes, Lehrstuhl

- für Konstruktionstechnik/CAD, 2007
- [Krau87] Krause, J.: Inhaltserschließung von Massendaten, Georg Olms Verlag, Hildesheim / New York / Zürich, 1987
- [KrWe06] Krapp A.; Weidenmann B. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie: Ein Lehrbuch, Beltz Psychologie Verlags Union, Landsberg, 2006
- [LiLL07] Ying Liu, Y.; Lu, W. F.; Loh, H. T.: Knowledge Discovery and Management for Product Design Through Text Mining – A Case Study of Online Information Integration for Designers, 16th International Conference on Engineering Design – ICED 07, The Design Society, 2007
- [LiRe98] Lindemann, U.; Reichwald, R.: Integriertes Änderungsmanagement, Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 1998
- [LuTr05] Lucko, S. Trauner, B.: Wissensmanagement, Hanser Verlag, München, 2005
- [Mars97] Marsh, J. R.: The Capture and Utilisation of Experience in Engineering Design, PhD-Thesis, Cambridge University, USA, 1997
- [MeBK05] Mertens, P.; Bodendorf, F.; König, W.: Grundzüge der Wirtschaftsinformatik, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005
- [MiCh84] Mitchell, A. A.; Chi, M. T.: Measuring knowledge within a domain, in: Nagy, P. (Hrsg.): The representation of cognitive structure, S. 85-109, Ontario Institute for Studies in Education: Toronto, 1984
- [Mill56] Miller, G. A.: The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. In: Psychological Review, 63, S.81-97, 1956
- [Mins75] Minsky, M.: A framework for representing knowledge, In Winston, P. H. (Hrsg.), The Psychology of Computer Vision, McGraw-Hill, New York,

1975

- [MKRS93] Meerkamm, H.; Krause, D.; Rösch, S.; Storath, E.: Anforderungen an integrierte Konstruktionssysteme – Auswirkungen auf die Architektur des CAD-Referenzmodells, in VDI-Berichte Nr. 1079, , S. 299-319, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993
- [MKTB06] Müller, S.; Kritzler, N.; Tartakovski, A.; Bergmann, R.; Traphöner, R.: Knowledge-Search within a Company-Wiki, LWA 2006 : Lernen – Wissensentdeckung – Adaptivität (9.–11.10.2006 in Hildesheim), Tagungsbeitrag
- [Mora99] Moran, M.: Knowledge is the key, whatever your sector, In: Knowledge Management Survey, Financial Times Business Solution Series, London, 1999
- [Morr79] Morris, C. W.: Grundlagen der Zeichentheorie, Ullstein Materialien, Frankfurt / Berlin / Wien, 1979
- [Müll08] Müller, M.: Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie, Dissertation, Schriftenreihe Produktionstechnik, Saarbrücken, 2008
- [Muth94] Muth, M.: Repräsentation von Konstruktionswissen unter Verwendung des objektorientierten Paradigmas, Schriftenreihe Produktionstechnik Band 7, Saarbrücken, 1994
- [Naum07] Naumann, T.: Rechnerunterstützte Konstruktionskataloge – Stand der Technik und Identifikation von Defiziten bestehender Konzepte, Studienarbeit Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, 2007
- [Neum01] Neumüller M.: Hypertext Semiotics in the Commercialized Internet, Dissertation, Wirtschaftsuniversität Wien, 2001

- [Newe82] Newell, A.: The knowledge level, *Artificial Intelligence* 18(1), 87–127, Stanford University, 1982
- [NGPR04] Nückles, M.; Gurlitt, J.; Pabst, T.; Renkl, A.: *Mind Maps & Concept Maps. Visualisieren – Organisieren – Kommunizieren*, Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 2004
- [Niel96] Nieland, S.: *Integration objektorientierter Ansätze in ein bestehendes Software-Entwicklungsmodell*, Dissertation, Osnabrück, 1996
- [NoTa97] Nonaka, I.; Takeuchi, H.: *Die Organisation des Wissens, Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen*, Campus Verlag, Frankfurt, 1997
- [OgRi23] Ogden, C. K., Richards, I. A.: *The Meaning of Meaning*, Harcourt, Brace, and World, New York, 1923
- [PaBe96] Pahl, G.; Beitz, W.: *Engineering design: A systematic approach* (2nd ed.), Springer, London, 1996
- [PaBe97] Pahl, G.; Beitz, W.: *Konstruktionslehre*, Springer, Berlin/ Heidelberg/ New York/ Tokyo, 1997
- [Peir31] Peirce, C. S.: *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Volumes 1-6*, Hartshorne C.; Weiss P. (Hrsg.), Cambridge, MA: Harvard University Press, 1931-1935
- [PeWa04] Peters, T. J.; Waterman, R. H.: *Auf der Suche nach Spitzenleistungen*, Redline Wirtschaftsverlag, München, 2004
- [PrMI00] *Project Management Institute: Guide to the Project Management Body of Knowledge*, Project Management Institute, Newton Square, 2000
- [PrRR06] Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: *Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen*, Gabler, Wiesbaden, 2006

- [PSWW05] Pohl, M.; Steinbach, M.; Weber, C.; Werner, H.: Neue Wege im Wissensmanagement CAD/CAM Report 24 (2005) 7/8, S. 46-49, 2005
- [Quil68] Quillian, M.: Semantic Memory, In: Minsky, M. (Hrsg.): Semantic Information Processing, MIT Press, Cambridge, 1968
- [RBPE91] Rumbaugh, J.; Blaha M.; Premerlani W.; Eddy F.; Lorenzen W.: Object-Oriented Modeling and Design, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1991
- [Reim91] Reimer, U.: Einführung in die Wissensrepräsentation, Netzartige und schema-basierte Repräsentationsschemata, Vieweg und Teubner, Wiesbaden, 1991
- [RiCL98] van Rijsbergen, C. J.; Crestani, F.; Lalmas, M. (Eds.): Information Retrieval: Uncertainty and Logics, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998
- [Rode84] Rodenacker, W. G.: Methodisches Konstruieren. Konstruktionsbücher Bd.27, 3.Auflage, Springer, Berlin/ Heidelberg/ New York/ Tokyo, 1984
- [RoFS71] Roth, K.; Frank, H.-J.; Simonek, R.: Algorithmisches Auswahlverfahren zur Konstruktion mit Katalogen, Feinwerktechnik 75, Seiten 337-345, Springer, Berlin/Heidelberg, 1971
- [Roth00] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen – Band I Konstruktionslehre, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2000
- [Roth68] Roth, K.: Gliederung und Rahmen einer neuen Maschinen-, Geräte-Konstruktions- lehre, Feinwerktechnik 72, Seiten 521-528, Springer, Berlin/Heidelberg 1968
- [RuNo03] Russel, S.; Norvic, P.: Artificial Intelligence – A Modern Approach, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2003
- [Ryle49] Ryle, G.: Collected Papers, Vol. II. Critical Essays, Hutchinson, London, 1949

- [SBBK07] Schaffert, S.; Bry, F.; Baumeister, J.; Kiesel, M.: Semantic Wiki, Informatik Spektrum 06/07, Springer, Berlin/Heidelberg, 2007
- [ScCo96] Schreyögg, G.; Conrad, P.: Webbasiertes Wissensmanagement, Gruyter, Berlin/New York, 1996
- [Sche82] Schefe, P.: Some Fundamental Issues in Knowledge Representation, in Proceedings of the 6th German Workshop on Artificial Intelligence, Informatik-Fachberichte, Vol. 58, Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, 1982
- [Scho00] Scholz, C.: Strategische Organisation Multiperspektivität und Virtualität, Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 2000
- [ScSc06] Schiefele, U.; Schaffner, E.: Wissenserwerb und Motivation. In: Rost, D., H. (Hrsg.), Handwörterbuch Pädagogische Psychologie, S. 866, Beltz, Weinheim, 2006
- [ScZu03] Schmitz, C.; Zucker, B.: Wissensmanagement, Metropolitan Verlag, Regensburg, Berlin 2003
- [Shap87] Shapiro, S. C. (Hrsg.): Encyclopedia of Artificial Intelligence, Wiley, 1987
- [Shas88] Shastri, L.: Semantic Networks - An Evidential Formalization, Morgan Kaufmann Publishers Inc, San Francisco, 1988
- [Snow00] Snowden, D.: The ASHEN Model, an enabler of action. Knowledge Management 3, pp14-17, Inside Knowledge, London, 2000
- [Sowa00] Sowa, J. F.: Ontology, Metadata and Semiotics. In: Ganter, B.; Mineau, G., W. (Hrsg.), Conceptual Structures: Logical, Linguistic, and Computational Issues: 8th International Conference on Conceptual Structures, ICCS 2000 Darmstadt, Germany, Seiten 55-81, Springer, Berlin, 2000

- [Sowa00a] Sowa, J. F.: Knowledge representation: logical, philosophical, and computational foundations, BROOKS/COLE, Pacific Grove, 2000
- [Spei08] Speicher, T.: Benutzerschnittstellen für webbasierte semantische Technologien in der wissensbasierten Produktentwicklung, Studienarbeit Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, 2008
- [SpKr97] Spur, G.; Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt – Management der CAD-Technik, Carl Hanser Verlag, Wien/München, 1997
- [SSLP04] Schnauffer, H.-G.; Stieler-Lorenz, B., Peters, Sybille: Wissen vernetzen Wissensmanagement in der Produktentwicklung, Springer Verlag, Berlin, 2004
- [Stei06] Steinbach, M.: Systematische Gestaltung von Product-Service Systems – Integrierte Entwicklung von Product-Service Systems auf Basis der Lehre von Merkmalen und Eigenschaften, Dissertation, Schriftenreihe Produktionstechnik, Saarbrücken, 2005
- [StMB04] Storga, M.; Marjanovic, D.; Bojcevic, N.: Considerations on IT Systems Interoperability in Product Development, In: Proceedings of the TMCE 2004, Millpress, Rotterdam, 2004
- [Suh90] Suh, N.P.: The Principles of Design. Oxford Series on Advanced Manufacturing, Oxford University Press, New York/Oxford, 1990
- [Thun06] Schulz von Thun, F.: Miteinander reden - Störungen und Klärungen, Allgemeine Psychologie der Kommunikation, Rowohlt-Taschenbuch-Verlag, Reinbek bei Hamburg, 2006
- [ToMa06] Tochtermann, K.; Maurer, H.: Am Anfang war der Wunsch. In: Pellegrini, T.; Blumauer, A. (Hrsg.) Semantic Web - Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft, Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2006

- [TSDK07] Tissot C. M.; Strauchmann, M.; de Dios M. R.; Kissner, H.; Haase T.: Semantic Virtual Engineering Environment for Product Design, In: Schenk M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme, 4. Fachtagung zu Virtual Reality, Magdeburg, 2007
- [UIEp03] Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D.: Product Design and Development, McGraw-Hill Publ. Comp, New York, 2003
- [VDI-2219] VDI-Richtlinie 2221: „Datenverarbeitung in der Konstruktion: Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen“, Gründruck, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999
- [VDI2221] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Beuth-Verlag, Berlin, 1993
- [VDI2222] VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1: Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien, Beuth Verlag, Berlin, 1997
- [VDI2223] VDI-Richtlinie 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte. Beuth Verlag, Berlin, 2004
- [VDI2243] VDI-Richtlinie 2243: Recyclingorientierte Produktentwicklung, Beuth Verlag, Berlin, 2002
- [VDI5610] VDI-Richtlinie 5610 Blatt 1: Wissensmanagement im Ingenieurwesen - Grundlagen, Konzepte, Vorgehen, Beuth Verlag, Berlin, 2009
- [VWBZ09] Vajna, S.; Weber, C.; Bley, H.; Zeman, K.: CAx für Ingenieure, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009
- [VWSS94] Vajna, S.; Weber, C.; Schlingensiepen, J.; Schlottmann, D.: CAD/CAM für Ingenieure, Vieweg, Rostock, 1994
- [W3C08] World Wide Web Consortium (W3C): Widgets 1.0 – Requirements (ed.

- Marcos Caceres), W3C Working Draft, 2008,
URL: <http://www.w3.org/TR/2008/WD-widgets-reqs-20080915/>
- [WaCK07] Wanke, S.; Conrad, J.; Köhler, C.: Verhaltensbeschreibende Produktkataloge - Ein Anwendungsbeispiel der Solution Patterns des CPM/PDD Ansatzes 18. Symposium "DfX", Neukirchen 11.-12.10.2007 Band 18, 2007
- [Webe03] Weber C.: Ein neuer Ansatz zur Modellierung von Produkten und Produktentwicklungsprozessen, Vortrag beim VDI Bezirksverein Saar – Arbeitskreis Entwicklung Konstruktion Vertrieb am 20.02.2003.
- [Webe05] Weber, C.: CPM/PDD – An Extended Theoretical Approach to Modelling Products and Product Development Processes, 2. German-Israeli Symposium on Advances in Methods and Systems for Development of Products and Processes, TU Berlin/Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Tagungsband, Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart, 2005
- [Webe05a] Weber, C.: What Is (Designing) Knowledge? (based on CPM – Characteristics-Properties Modelling and PDD – Property-Driven Development), unveröffentlichte Diskussion der 7th European Summer School on Engineering Design Research, 2005
- [Webe06] Weber, C.: Unterlagen zur Vorlesung „Rechnerunterstützte Konstruktionssysteme I“ im Wintersemester 06/07 an der Universität des Saarlandes, 2007
- [Webe07] Weber, C.: Looking at “DfX” and “Product Maturity” from the perspective of a new approach to modelling product and product development processes, In: Krause, F.-L. (Hrsg.): The future of product development, Proceedings of the 17th CIRP Design conference, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007
- [Webe08] Weber, C.: How to derive application-specific design methodologies, In:

- Design 2008 : proceedings of the 10th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, May 19 - 22, 2008 / Ed.: Dorian Marjanovic. - Zagreb : Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2008
- [WeDe02] Weber, C.; Deubel, T.: Ein neuer Ansatz zur Modellierung von Produkten und Produktentwicklungsprozessen, Workshop Produktmodellierung, TU München, Lehrstuhl für Software & Systems Engineering, 2002
- [WeDe03] Weber, C.; Deubel, T.: New Theory-Based Concepts for PDM and PLM; 14. International Conference on Engineering Design (ICED 03); Stockholm; Schriftenreihe "Design Society", DS 31: Proceedings of ICED 03; 2003
- [WeKr99] Weber, C.; Krause, F.-L.: Features mit System – die neue Richtlinie VDI 2218. VDI-Berichte Nr. 1497, S. 349-367, VDI Verlag, Düsseldorf, 1999
- [WePS04] Weber, C.; Pohl, M.; Steinbach, M.: New Ideas for Knowledge Management in Product Development Projects. In: Proceedings of Design 2004, Dubrovnik, 2004
- [Wern01] Werner, H.: Integration von CAx-Funktionalitäten in einem neuartigen Konstruktionssystem, Dissertation, Saarbrücken, 2001
- [WeSt91] Weber, C.; Stark, R.: Wissensbasierte Systeme für die Konstruktion – Grundlagen aus Konstruktions-methodischer Sicht, 8th International Conference on Engineering Design 1991 - ICED 91, Zürich/Schweiz 27.-29.08.1991. In: Hubka, V. (Hrsg.): Schriftenreihe „Workshop–Design–Konstruktion“, WDK 20: Proceedings of ICED 91, Vol. 2, S. 1151-1162. Heurista-Verlag, Zürich, 1991
- [WeWD03] Weber, C.; Werner, H.; Deubel, T.: A different view on Product Data Management/Product Life-Cycle Management and its future potential, Journal of Engineering Design, 2003

- [WeWD03] Weber, C.; Werner, H.; Deubel, T.: A Different View on PDM and its Future Potentials. In: Journal of Engineering Design 14 (2003) 4, S. 447-464, Taylor and Francis, Oxford, 2003
- [WeWe00] Weber, C.; Werner, H.: Klassifizierung von CAX-Werkzeugen für die Produktentwicklung auf der Basis eines neuartigen Produkt- und Prozessmodells, 11. Symposium "Design for X" Schnaittach, 12. und 13. Oktober 2000
- [WeWe01] Weber, C.; Werner, H.: Schlussfolgerungen für „Design for X“ (DFX) aus der Perspektive eines neuen Ansatzes zur Modellierung von Produkten und Produktentwicklungsprozessen, 12. Symposium „Design for X“, Neukirchen, 2001
- [WeWe98] Werner H.; Weber C.: „Ligo - an Object-Oriented Modelling Tool for Integrated Product Development“, 2nd International Workshop „Integrated Product Development“, Magdeburg, 1998.
- [WeWe99] Weber, C.; Werner, H.: Produktentwicklung mit einem elektronischen Baukasten: VDI-Fachtagung "Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie", München In: VDI-Berichte 1497, S.349-367, VDI Verlag, Düsseldorf, 1999
- [Wilk04] Wilke, H.: Einführung in das systematische Wissensmanagement, Carl-Auer-Systeme Verlag, Heidelberg, 2004
- [Witt53] Wittgenstein, L.: Philosophical Investigations, Blackwell, Oxford, 1953
- [WSBD04] Weber, C.; Steinbach, M.; Botta, C.; Deubel, T.: Modelling of Product-Service Systems (PSS) - Based on the PDD Approach. Design 2004 – 8th International Design Conference, Dubrovnik/Kroatien 18.-21.05.2004. In: Marjanovic, D.: Proceedings of Design 2004, S. 547-554, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2004

- [WWPS05] Werner, H.; Weber, C.; Pohl, M.; Steinbach, Mi.: Innovatives Wissensmanagement auf Basis semantischer Netze. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 100 (2005) 4, S. 212-218. 2005
- [www1] Ikewiki, URL: <http://www.kiwi-project.eu/>
- [www2] Mind Mapping by Tony Buzan - iMindMap™ Official Mind Map Software, URL: <http://www.imindmap.com/>
- [www3] OWL Web Ontology Language Overview. URL: <http://www.w3.org/TR/owl-features/>
- [www4] Resource Description Framework (RDF) / W3C Semantic Web Activity, URL: <http://www.w3.org/RDF/>
- [www5] RFC 3986 - Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax, URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc3986>
- [www6] Semantic virtual engineering environment for Product Design, URL: <http://www.sevenpro.org>
- [www7] Social Text Enterprise Wiki, URL: <http://www.socialtext.com>
- [www8] Technology Review: Online in die Vergangenheit, URL: <http://www.heise.de/tr/Online-in-die-Vergangenheit--/artikel/54303/0/0>
- [www9] TurboGears: Front-to-Back Web Development, URL: <http://turbogears.org/>
- [www10] TWiki® - the Open Source Enterprise Wiki and Web 2.0 Application Platform, URL: <http://twiki.org/>
- [www11] W3C Semantic Web Activity, URL: <http://www.w3.org/2001/sw/>
- [Yara91] Yaramanoglu, N.: Anwendung von semantischen Netzen als Lösungsraummodelle bei der mechanischen Baugruppenkonstruktion. In: Prof. Dr.-Ing. Drs. h.c. Spur, G. (Hrsg.): Produktionstechnik – Berlin,

Forschungsberichte für die Praxis, Hanser Verlag München/Wien, 1991

[Zema64] Zeman, J.: The Graphical Logic of C. S. Peirce, Dissertation, Chicago, 1964

[Zuse07] Zuse, K.: Der Computer - Mein Lebenswerk, Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2006

Anhang

Anhang A (Deklarationen der Netzobjekte)

```
class Node(SQLObject):
    Name = UnicodeCol(alternateID=True, length=255)
    Comment = UnicodeCol(length=255, default="")
    UpFiles = RelatedJoin("UpFile")
    Author = UnicodeCol(length=30, default="")
    Created = DateTimeCol(default=DateTimeCol.now)

class Relation(SQLObject):
    Name = UnicodeCol(alternateID=True, length=255)
    Function = UnicodeCol(length=30, default="")
    Author = UnicodeCol(length=30, default="")
    Created = DateTimeCol(default=DateTimeCol.now)

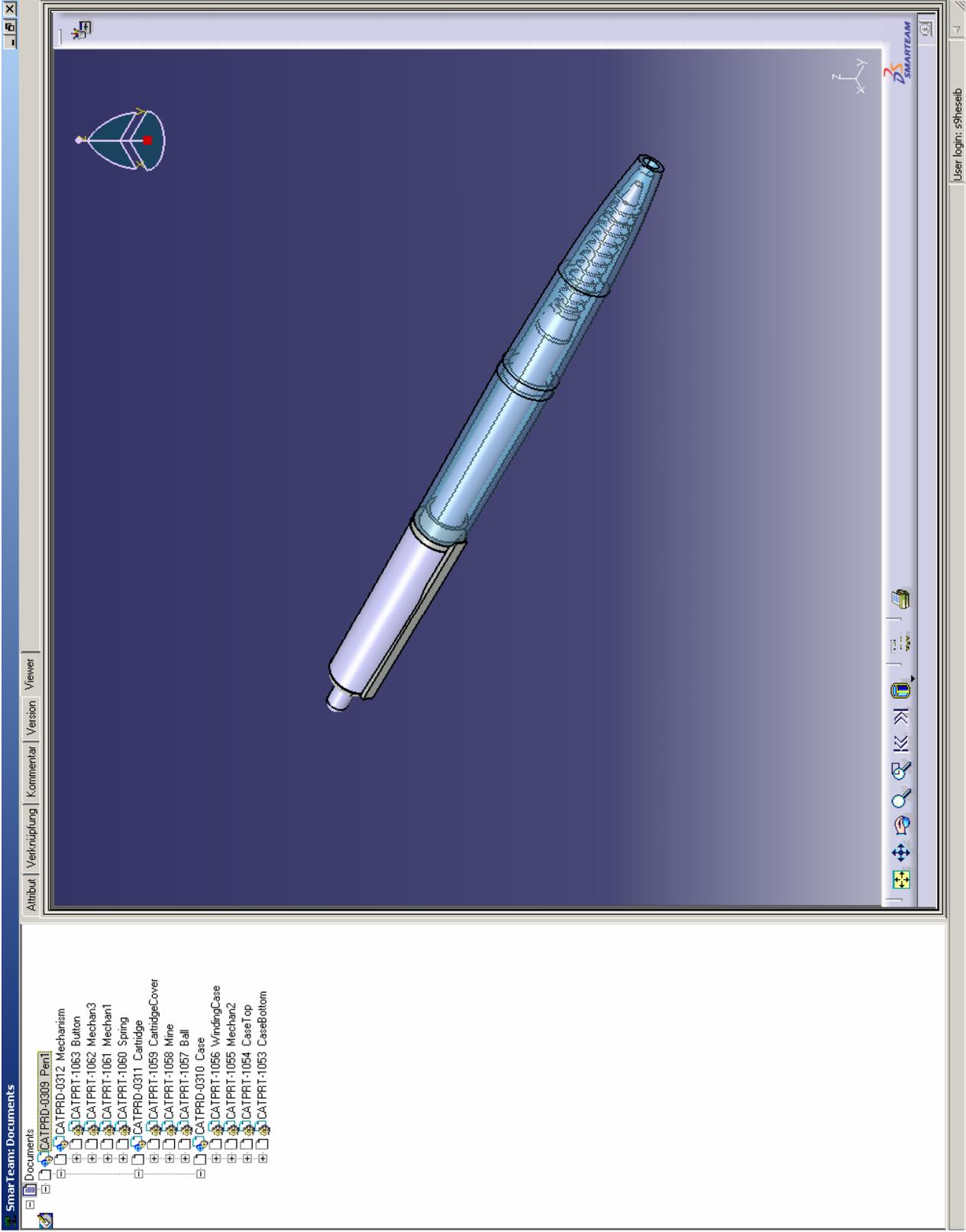
class Triple(SQLObject):
    StartNode = ForeignKey("Node")
    EndNode = ForeignKey("Node")
    Relation = ForeignKey("Relation")
    Value = UnicodeCol(length=255, default="")
    Author = UnicodeCol(length=30, default="")
    Created = DateTimeCol(default=DateTimeCol.now)

class UpFile(SQLObject):
    FileName = UnicodeCol(alternateID=True, length=255)
    Name = UnicodeCol(length=255, default="na")
    Nodes = RelatedJoin("Node")
    Author = UnicodeCol(length=30, default="")
    Created = DateTimeCol(default=DateTimeCol.now)

class User(SQLObject):
    class sqlmeta:
        table = 'tg_user'
    user_name = UnicodeCol(length=16, alternateID=True)
    email_address = UnicodeCol(length=255, alternateID=True)
    display_name = UnicodeCol(length=255)
    password = UnicodeCol(length=40)
    created = DateTimeCol(default=datetime.now)
    groups = RelatedJoin('Group')
```

Die Zeile nach `sqlmeta` ist eine Anweisung die Tabelle innerhalb der SQL-Datenbank `tg_user` zu nennen, da `User` ein von SQL reserviertes Wort ist.

Anhang B (Darstellung des Kugelschreibers im PDM-System SmarTeam)



Anhang D (Aufgabenstellung Fallbeispiel Luftabscheider)

Projekt Luftabscheidung aus Wasser



UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES

LKT

Lehrstuhl für Konstruk-
tions-technik/CAD

Campus A4 2
D – 66123 Saarbrücken

Postfach 15 11 50
D – 66041 Saarbrücken

Tel.: +49 / (0)681 / 302 - 3075

Fax: +49 / (0)681 / 302 – 4858

E-Mail:
sekretariat@cad.uni-saarland.de

Internet:
<http://www.cad.uni-saarland.de>

Aufgabenstellung

Luft hat schädliche Auswirkungen auf das Systemverhalten und die Systemlebensdauer von Heizungssystemen. Das Entwicklungsteam soll mit den Methoden der Konstruktionssystematik und dem Softwarewerkzeug SNI Lösungsansätze finden und ausarbeiten, die die Luftabscheidung aus Wasser ermöglichen. Die Lösungen sollen in einer geeigneten Form dokumentiert und vorgestellt werden.

Projekthintergrund

Beim Betrieb von Heizungsanlagen ist Luft im Heizkreislauf eine Störgröße und soll nach Möglichkeit vermieden werden. Dabei kommt Luft in folgenden Zuständen vor:

- als gelöste Luft (unsichtbar),
- als Oberflächenschaum (sichtbar) und
- als ungelöste, im Ölvolumen dispergierte Luft (sichtbar als Luftblasen).

Während gelöste Luft und geringer Oberflächenschaum weniger nachteilige Wirkung zeigen, kann im Wasser dispergierte Luft (d.h. Luftblasen) große Probleme bereiten, wie beispielsweise mangelnder Wärmetransport oder erhöhte Geräuschbildung.

Um die vorhandene Luft im Heizwasserkreislauf zu minimieren, soll ein Luftabscheider für die Montage am Heizgerät entworfen werden, der aufgrund des zur Verfügung stehenden Platzes sehr kompakt sein soll. Alle weiteren Informationen sind dem Lastenheft zu entnehmen.

Lebenslauf

PERSÖNLICHE DATEN:

Name: Jan Conrad

Geburtsdatum, -ort: 16.08.1979 in St. Wendel

Anschrift: Im Rehwinkel 4
66620 Nonnweiler

E-Mail: jan.conrad@gmx.net

Familienstand: verheiratet

Staatsangehörigkeit: deutsch

SCHULBILDUNG:

1986 –1990 Grund- und Hauptschule Primstal

1990 – 1999 Hochwaldgymnasium Wadern

ZIVILDIENTST

1999-2000 Caritasverband für die Region Schaumberg-Blies, St. Wendel

STUDIUM:

2000 – 2007 Diplom-Studium der Informatik
Universität des Saarlandes, Saarbrücken
Abschluss: Diplom-Informatiker (Dipl.-Inform.)

- 2005 – 2006 Master-Studium der Informatik
Växjö Universitet, Schweden
Abschluss: Master of Science (M.Sc.)
- 2006 - 2009 Aufbaustudiengang Europäische Wirtschaft
Europa-Institut der Universität des Saarlandes
Abschluss: Master of Business Administration (MBA)

PROMOTION:

- 2007 – 2010 Promotionsstudium im Bereich Konstruktionstechnik bei
Prof. Dr.-Ing. C. Weber, Lehrstuhl für Konstruktions-
technik/CAD, Universität des Saarlandes

BERUFSBEZOGENE TÄTIGKEIT:

- 2003 – 2004 Studentische Hilfskraft
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität des
Saarlandes, Saarbrücken
- 2004 – 2006 Software-Entwickler
brainframe GmbH, Saarbrücken
- 2004 – 2006 Student Researcher
Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz DFKI,
Saarbrücken
- 2006 – 2008 Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität des
Saarlandes, Saarbrücken
- Seit 2008 Betriebsingenieur / Projektleiter Technische Informatik
AG der Dillinger Hüttenwerke, Dillingen

Universität des Saarlandes
Schriftenreihe Produktionstechnik
Herausgeber: D. Bähre und H. Bley
ISSN 0945-6244

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände (Stand: Juli 2010)

Band 1 Schulte, Michael: *Grundlagen der automatischen funktionsorientierten Klassifizierung technischer Gegenstände im Rahmen intelligenter Konstruktionsunterstützungssysteme (CAD-Systeme)*.
ISBN 3-930429-30-6 (1993)

Band 2 Schulte, Michael; Stark, Rainer: *Definition und Anwendung höherwertiger Konstruktionselemente (Design Features) am Beispiel von Wellenkonstruktionen*.
ISBN 3-930429-31-4 (1993)

Band 3 Mischo, Armin: *Modellbasierte Akquisition und Implementierung des technologischen Wissens für die NC-Detailplanung*.
ISBN 3-930429-32-2 (1993)

Band 4 Rech, Karsten: *Regelungsmodell zur Konzipierung der Informationsverarbeitung in der Produktionslogistik*.
ISBN 3-930429-33-0 (1994)

Band 5 Stark, Rainer: *Entwicklung eines mathematischen Toleranzmodells zur Integration in (3D-) CAD-Systeme*.
ISBN 3-930429-34-9 (1994)

Band 6 Dietz, Stefan: *Wissen zur Auswahl von Montagemitteln, seine Aufbereitung und Verarbeitung in CA-Systemen*.
ISBN 3-930429-35-7 (1994)

Band 7 Muth, Michael: *Repräsentation von Konstruktionswissen unter Verwendung des objektorientierten Paradigmas*.
ISBN 3-930429-36-5 (1994)

Band 8 Stadelmeyer, Volker: *Entscheidungsunterstützung zur technischen Planung im Fertigungsbereich*.
ISBN 3-930429-37-3 (1994)

Band 9 Jostock, Jürgen: *Aufbau eines hierarchisch organisierten, wissensunterstützten Fertigungsregelungssystems*.
ISBN 3-930429-38-1 (1994)

Band 10 Müller, Andreas: *Leitlinie zur Problemdefinition bei der Entwicklung von komplexen Montagesystemen*.
ISBN 3-930429-39-X (1994)

Band 11 Labisch, Susanna: *Untersuchung des Kaltpressens pulverförmiger Stoffe mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung der Trockenpressung von Sekundärkornmassen.*

ISBN 3-930429-40-3 (1995)

Band 12 Schmidt, Jürgen: *Untersuchung zur Reinheit spanend bearbeiteter Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung des erzeugenden Prozesses.*

ISBN 3-930429-41-1 (1996)

Band 13 Cuber, Michael: *Entwicklung einer Strategie zur qualitätsgerechten Modellierung des Entwicklungs-/Konstruktionsprozesses.*

ISBN 3-930429-42-X (1996)

Band 14 Avgoustinov, Nicolay: *Minimizing the Labour for Exchange of Product Definition Data Among N CAx-Systems.*

ISBN 3-930429-43-8 (1997)

Band 15 Bär, Thomas: *Einsatz der Feature-Technologie für die Integration von Berechnungen in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses.*

ISBN 3-930429-44-6 (1998)

Band 16 Seel, Uwe: *Roboter gestützte Zellenkalibrierung als Basis einer Feature-basierten Montageplanung.*

ISBN 3-930429-45-4 (1999)

Band 17 Britten, Werner: *CAD-basierte Übersetzung geometrischer Toleranzen in vektorielle Darstellungen.*

ISBN 3-930429-46-2 (1999)

Band 18 Jung, Dieter: *Praxis- und Prozessnahes Optimierungsmodell (PPO-Modell) zur systematischen, kontinuierlichen Verbesserung komplexer industrieller Prozesse*

ISBN 3-930429-47-0 (2000)

Band 19 Muth, Michael: *CAD-M (COMPUTER AIDED DESIGN using MULTIMEDIA)-Repräsentation und Nutzung von Konstruktionswissen in verteilten Entwicklungsumgebungen.*

ISBN 3-903429-48-9 (2000)

Band 20 Wuttke, Claas Christian: *Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik.*

ISBN 3-930429-49-7 (2000)

Band 21 Oltermann, Ralf: *Systematik zur Abschätzung von Fertigungstoleranzen auf Grundlage einer Auswertung der laufenden Fertigung.*

ISBN 3-93042-50-0 (2000)

Band 22 Werner, Horst: *Integration von CAx-Funktionalitäten in einem neuartigen Konstruktionssystem.*

ISBN 3-930429-51-9 (2001)

Band 23 Behrning, Stefan: *Messungen von Belegungen durch Fertigungshilfsstoffe auf metallenen Werkstücken mittels mIR-Fasersonde.*
ISBN 3-930429-52-7 (2001)

Band 24 Thome, Oliver: *Durchgängige Erfassung und Verarbeitung von Toleranzinformationen.*
ISBN 3-930429-53-5 (2001)

Band 25 Junk, Stefan: *Inkrementelle Blechumformung mit CNC-Werkzeugmaschinen: Verfahrensgrenzen und Umformstrategien.*
ISBN 3-930429-54-3 (2003)

Band 26 Braun, Peter: *Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung des Einflusses von Kühlschmierstoffen auf das Härteverhalten von Einsatzstählen am Beispiel des Kühlschmierstoffs ARAL Sarol 470 EP und der Einsatzstähle C15, 16MnCr5, 9SMnPb28.*
ISBN 3-930429-55-1 (2003)

Band 27 Rattay, Bernd: *Untersuchung der Einflußgrößen auf die Formfüllung und die Werkzeugbelastungen beim Prägen von Mikrokanalstrukturen in Metallische Bleche.*
ISBN 3-930429-56-X (2003)

Band 28 Franke, Christina: *Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik.*
ISBN 3-930429-57-8 (2003)

Band 29 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems
ISBN 3-930429-58-6 (2003)

Band 30 Korne, Thomas: *Fertigungsorientierte Analyse und Optimierung von Gruppenarbeit in der Automobil-Endmontage unter besonderer Berücksichtigung von Informationstechnologie und Digitaler Fabrik.*
ISBN 3-930429-59-4 (2004)

Band 31 Fischer, Nikolaus: *Messungen geringster organischer Belegungen auf diffus reflektierenden Oberflächen mit einem mIR-faseroptischen Prüfkopf.*
ISBN: 3-930429-60-8 (2005)

Band 32 Bernardi, Markus: *Gestaltung eines mechatronikorientierten Entwicklungsprozesses für mobile Arbeitsmaschinen und des dazugehörigen Entwicklungsumfeldes.*
ISBN 3-930429-61-6 (2005)

Band 33 Ryu, Shi-Bok: *Development of a Microklystrode Vacuum Tube: A Focus on the Improvement of Modeling and Manufacturing Processes.*
ISBN 3-930429-62-4 (2005)

Band 34 Vielhaber, Michael: *Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus.*
ISBN 3-930429-63-2 (2005)

Band 35 Steinbach, Michael: *Systematische Gestaltung von Product-Service Systems*.
ISBN 3-930429-64-0 (2005)

Band 36 Blumenau, Jean-Claude: *Lean Planning unter besonderer Berücksichtigung der Skalierung wandlungsfähiger Produktionssysteme*.
ISBN 3-930429-65-9 (2006)

Band 37 Zenner, Christian: *Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung*.
ISBN 3-930429-66-7 (2006)

Band 38 Bossmann, Marc: *Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung*.
ISBN 978-3-930429-67-7 (2007)

Band 39 Deubel, Till: *Anforderungs-, Kosten- und wertgetriebene Steuerung des Produktentwicklungsprozesses*.
ISBN 978-3-930429-68-4 (2007)

Band 40 Oberhausen, Michael: *Der Einsatz laserinduzierter Fluoreszenzmessungen zu Detektion geringster organischer Belegungen auf Oberflächen*.
ISBN 978-3-930429-69-1 (2007)

Band 41 Fritz, Jürgen Ulrich: *Zielführende Modellierung und Analyse schlanker Fertigungssysteme mit der Digitalen Fabrik*.
ISBN 978-3-930429-70-7 (2007)

Band 42 Müller, Marco: *Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie*.
ISBN 978-3-930429-71-4 (2007)

Band 43 Kiefer, Jens: *Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau*.
ISBN 978-3-930429-72-1 (2007)

Band 44 Burr, Holger: *Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau*.
ISBN 978-3-930429-73-8 (2008)

Band 45 Köhler, Christian: *Technische Produktänderungen – Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten auf Basis einer Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes*.
ISBN 978-3-930429-74-5 (2009)

Band 46 Weyand, Lars: *Risikoreduzierte Endmontageplanung am Beispiel der Automobilindustrie*.
ISBN 978-3-930429-75-2 (2010)

Band 47: Schilke, Martin: *Einsatz von Produktdatenmanagement-Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie*
ISBN 978-3-930429-76-9 (2010)

Band 48: Wanke, Sören: *Neue Konzepte zur Verwaltung und Bereitstellung von Lösungen im Produktentwicklungsprozess – CPM/PDD-Lösungsmuster als Grundlage eines verhaltensbeschreibenden Lösungskataloges*
ISBN 978-3-930429-77-6 (2010)

Band 49: Conrad, Jan: *Semantische Netze zur Erfassung und Verarbeitung von Informationen und Wissen in der Produktentwicklung*
ISBN 978-3-930429-78-0 (2010)