

Lehrstuhl für Produktentwicklung
der Technischen Universität München

Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche in der Produktentwicklung

Andreas Gaag

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing., Dr. h. c. Herbert Birkhofer,
Technische Universität Darmstadt

Die Dissertation wurde am 15.12.2009 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 26.05.2010 angenommen.

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Problemstellung

Der Austausch von Informationen stellt einen wesentlichen Bestandteil und Erfolgsfaktor im Produktentwicklungsprozess dar. Durch die ständige Zunahme an Informationen in unterschiedlichster Form stellt sich für Unternehmen die Herausforderung, ihren Mitarbeitern den Zugriff auf die für sie relevanten Informationen zu ermöglichen. Dies ist entscheidend für schnelle Produktentstehungsprozesse und die Qualität von Produkten und Prozessen in Unternehmen. Im Kontrast zu dieser Ausgangsstellung gestaltet sich das gezielte Suchen und Finden notwendiger Informationen oft äußerst aufwändig oder ist sogar erfolglos. Für die Lösungssuche in der Produktentwicklung bedeutet dies, dass bewährte Lösungen nicht gefunden werden und ein weiteres Mal entwickelt werden müssen.

Die Ursachen für diese Problemstellung liegen zum Einen in der Verwendung unterschiedlichster Begriffe zur Beschreibung von Lösungen. Des Weiteren fehlt die Zuordnung von Lösungen zu geeigneten Abstraktionsebenen und je nach Branche und Unternehmen werden Lösungen unterschiedlich in Klassifizierungen eingeordnet. Schließlich liegen Informationen über relevante Lösungen häufig nur unstrukturiert in Textform wie beispielsweise in Emails, Handbüchern etc. vor. In der Folge verlängern sich Entwicklungs- und Projektierungsaufgaben unnötigerweise. Ferner ergeben sich Fehlermöglichkeiten bei jeder Mehrfachentwicklung ein weiteres Mal. Diese Problemstellung tritt dabei sowohl bei der unternehmensinternen als auch unternehmensübergreifenden Lösungssuche auf. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit die Problemstellung an Hand zweier Fallbeispiele behandelt: im Rahmen einer Organisationseinheit (Studenten suchen Lösungen auf Prinzipienebene) und unternehmensübergreifend (Mitarbeiter verschiedener Unternehmen suchen Lösungen zur Handhabungs- und Automatisierungstechnik).

Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Unterstützung der Suche nach bewährten und existierenden Lösungen im Rahmen der Entwicklung technischer Produkte. Der Zugriff auf diese Lösungen soll über die Betrachtung der Funktionen technischer Systeme aus Anwender- und Gebrauchssicht ermöglicht werden und moderne Suchtechnologien auf Basis semantischer Netze und Ontologien nutzen. Schließlich ist dem Suchenden ein geeigneter Lösungsraum mit relevanten Lösungen bereitzustellen, den er nach verschiedenen Kriterien eingrenzen und erweitern kann.

Ergebnisse

Auf Grundlage der Klärung des Standes von Forschung und Technik zur Lösungssuche in der Produktentwicklung und zum Informations- und Wissensmanagement ist das Vorgehensmodell zur Entwicklung von Ontologien zur Unterstützung der Lösungssuche ein erstes Ergebnis der Arbeit. Dieses Vorgehensmodell wird genutzt, um die Grundstruktur der Ontologie zu

erarbeiten, die die an den Lösungsansatz gestellten Anforderungen erfüllt. Dabei bildet die funktionsorientierte Beschreibung technischer Systeme den Kern dieser Grundstruktur.

Für die beiden Fallbeispiele sind die detaillierten Ontologien und deren prototypischer Einsatz die zentralen Arbeitsergebnisse. Dazu wurde die entwickelte Grundstruktur der Ontologie für die jeweiligen Fallbeispiele erweitert, detailliert und mit Instanzen konkreter Lösungen befüllt. Die abschließenden Evaluierungen dieser Ontologien zeigen das Potenzial, das die semantische Modellierung technischer Systeme zur Lösungssuche bietet. Insbesondere der für das Fallbeispiel zur Lösungssuche auf Prinzipienebene entwickelte Prototyp zeigt, dass ein funktionsorientierter Ansatz mit Hilfe des Einsatzes von Ontologien die Lösungssuche hinsichtlich der Anzahl gefundener Lösungen sowie des Aufwandes zur Lösungssuche optimiert.

Folgerungen für die industrielle Praxis

Das erfolgreiche Suchen und Finden relevanter Informationen zählt zu den entscheidenden Vorteilen im Wettbewerb. Die vorliegende Arbeit zeigt die Potenziale auf, die sich durch den Einsatz modernster Suchlösungen auf Basis von Ontologien sowohl in unternehmensinternen als auch unternehmensübergreifenden Szenarien ergeben. Die zu Grunde liegende Methodik – Lösungen über ihre Beschreibung auf Funktionsebene zugänglich zu machen – ist dabei unabhängig von den eingesetzten Technologien.

Das Vorgehensmodell und die eingesetzte Methodik sind eine Grundlage für den Einsatz in weiteren Anwendungsgebieten und Fachdomänen. Für die industrielle Praxis stellt sich insbesondere die Herausforderung, den Aufwand zur Erstellung von Ontologien auf ein Minimum zu begrenzen und gleichzeitig den Suchraum nicht unnötig einzuschränken.

Folgerungen für Forschung und Wissenschaft

Lösungen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen über die Beschreibung der Funktion aus Anwendungs- und Gebrauchssicht zugänglich zu machen bestätigt bisherige Ansätze zur Lösungssuche aus der Konstruktionsmethodik. Diese Ansätze zu erweitern und mit Hilfe von Ontologien für spezifische Problemstellungen zu nutzen stellt weitreichende Herausforderungen an die Systematik und Beschreibungsmethodik hierfür. Die vorliegende Arbeit bietet eine Grundlage, um diese Ideen und Ansätze auch auf andere Gebiete zu erweitern. Hierzu zählen beispielsweise das Erschließen und Abbilden weiterer Lösungsräume – auch aus ingenieurwissenschaftlich fremden Domänen wie beispielsweise der Biologie –, um sie für die Lösungssuche zugänglich zu machen.

Garching, Juli 2010

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann

Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München von September 2004 bis August 2009.

Mein größter Dank gilt meinem Doktorvater Professor Dr.-Ing. Udo Lindemann für das in mich gesetzte Vertrauen sowie die Unterstützung und die konstruktive Kritik, mit der er meine Arbeit und mein persönliches „Vorankommen“ begleitete und förderte. Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Herbert Birkhofer danke ich für die Übernahme der Zweitberichterstattung, Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Der Einsatz semantischer Technologien zur Lösungssuche bildete den Schwerpunkt meiner Forschungstätigkeit am Lehrstuhl. Ein erheblicher Teil meiner wissenschaftlichen Arbeit basiert auf der Bearbeitung des Teilprojekts PROCESSUS im vom BMWi geförderten Forschungsprogramms THESEUS.

Zum Gelingen der vorliegenden Arbeit haben zahlreiche Kollegen und Studenten am Lehrstuhl sowie unterschiedliche Partner in verschiedenen Unternehmen beigetragen. Für die erfolgreiche Arbeit im Rahmen des Forschungsprojektes PROCESSUS danke ich insbesondere der empolis GmbH für die Projektleitung durch die Herren Däkena und Hesse sowie für die Projektmitarbeit durch Hrn. Dabisch und Hrn. Nowak. Die Ergebnisse in PROCESSUS waren nur möglich durch die weitere Unterstützung der Herren Ott, Ihlenburg, Peter (FESTO AG) sowie Lehmann (VDMA) – vielen Dank dafür. Von meinen Kollegen möchte ich besonders Andreas Kohn und Josef Ponn hervorheben, die mir inhaltlich und persönlich eine große Hilfe waren. Für die erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung des Prototypen zur Lösungssuche danke ich besonders Felix Pflaum und Ömer Ahmet-Tsaous, die mich als Studenten tatkräftig unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt auch allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Produktentwicklung für die kollegiale Zusammenarbeit in Forschung und Lehre, die so dafür gesorgt haben, dass mir meine Zeit am Lehrstuhl immer in guter Erinnerung bleiben wird. Besonders denke ich dabei an meine ehemalige Kollegen A. Gahr, M. Engelhard, S. Braun, W. Lauer sowie an C. Körger und M. Parvan, die mich als Studenten unterstützten.

Schließlich möchte ich meinen Eltern danken, die durch ihren Einsatz in der Erziehung und Förderung ihrer Kinder den Grundstein dieser Arbeit gelegt haben. Zu guter Letzt danke ich besonders meiner Frau für ihre Ermutigung und Unterstützung – sie hat wesentlich dazu beigetragen, dass ich zügig die Arbeit abschließen konnte und nicht den „Kopf“ verloren habe.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problemstellung und Fallbeispiele	2
1.3 Vision und Zielsetzung der Arbeit	9
1.3.1 Vision der Unterstützung der Lösungssuche	9
1.3.2 Zielsetzung der Arbeit	10
1.4 Wissenschaftlicher Ansatz und Erfahrungsgrundlage	10
1.5 Aufbau der Arbeit	12
2. Lösungssuche und Problemlösung in der Produktentwicklung	15
2.1 Begriffsbestimmungen und inhaltliche Eingrenzung	15
2.2 Produktentwicklung und Systems Engineering	16
2.2.1 Vorgehensmodelle zur Produktentwicklung	17
2.2.2 Vorgehensmodelle zur Problemlösung	19
2.2.3 Systemdenken und Produktmodelle	21
2.3 Funktionsorientierte Betrachtung von technischen Systemen	26
2.3.1 Beschreibung von technischen Systemen und deren Anwendung	26
2.3.2 Detaillierte Betrachtung zum Funktionsbegriff in der Technik	28
2.3.3 Klassifizierungen und Strukturierung technischer Funktionen	30
2.4 Werkzeuge zur Lösungssuche	34
2.4.1 Übersicht über die betrachteten Werkzeuge	34
2.4.2 Einordnung der Werkzeuge in das Konkretisierungsmodell	35
2.4.3 Vergleichende Bewertung der Werkzeuge	40
2.5 Probleme und Herausforderungen bei der Lösungssuche	41
2.6 Schlussfolgerungen und Anforderungen an den Lösungsansatz	44
3. Semantik und Ontologien im Informations- und Wissensmanagement	47
3.1 Informationen und Wissen im Produktentstehungsprozess	47
3.2 Technologien und Werkzeuge zum Informations- und Wissensmanagement	49

3.2.1	Definitionen zum Informations- und Wissensmanagement	49
3.2.2	Technologien und Werkzeuge	50
3.2.3	Semantische Technologien und Ontologien	54
3.2.4	Vorgehen zur Entwicklung von Ontologien	61
3.3	Zusammenfassung und Folgerungen für den Lösungsansatz	67
4.	Vorgehensmodell für Entwicklung und Einsatz der Ontologie zur Lösungssuche	69
5.	Klärung der Anforderungen an die Ontologie	73
5.1	Allgemeine Anforderungen aus der Lösungssuche	73
5.2	Anforderungen aus den Fallbeispielen	77
5.2.1	Anforderungen aus der Suche nach Prinziplösungen	77
5.2.2	Anforderungen aus der Suche nach Produkt- und Systemlösungen	81
5.3	Anforderungen aus der Anwendung der Ontologie in Rechnerwerkzeugen	88
6.	Entwicklung der Grundstruktur der Ontologie	91
6.1	Grundstruktur der Ontologie	91
6.2	Abstraktionsebenen zur Strukturierung von Funktionen	93
6.3	Evaluierung der Grundstruktur über exemplarische Instanziierung	96
7.	Verfeinerung der Ontologie in den Fallbeispielen	101
7.1	Suchen von Prinziplösungen auf Wirkmodellebene	101
7.1.1	Erweiterung und Detaillierung der Ontologie	101
7.1.2	Instanziierung der Ontologie	103
7.1.3	Evaluierung der Verfeinerung der Ontologie	107
7.2	Suchen von Produkt- und Systemlösungen im Maschinen- und Anlagenbau	113
7.2.1	Erweiterung und Detaillierung der Ontologie	113
7.2.2	Instanziierung der Ontologie	116
7.2.3	Evaluierung der Verfeinerung der Ontologie	121
8.	Einsatz der Ontologie und abschließende Diskussion	125
8.1	Einsatz und Evaluierung bei der Suche nach Prinziplösungen	125
8.1.1	Vorgehen und Methodik zur Evaluierung	125
8.1.2	Prototyp zur Evaluierung der Ontologie	128

8.1.3	Auswertung der quantitativen Ergebnisse der Versuchsreihen	134
8.1.4	Auswertung der Such- und Navigationswege	140
8.1.5	Qualitatives Feedback der Versuchspersonen	142
8.1.6	Fazit zu Einsatz und Evaluierung bei der Suche nach Prinziplösungen	142
8.2	Diskussion des Lösungsansatzes	143
9.	Zusammenfassung und Ausblick	149
9.1	Zusammenfassung	149
9.2	Ausblick	151
10.	Literatur	155
11.	Anhang	167
11.1	Klassifizierung von Funktionen	167
11.1.1	Elementaroperationen nach EHRENSPIEL 2007	167
11.1.2	Funktionsklassifizierung nach PAHL et al. 2005	168
11.1.3	Funktionsklassifizierung nach HIRTZ et al. 2002	169
11.1.4	Übersicht über die Objektmerkmale nach BIRKHOFER 1980	170
11.2	Lösungsbeschreibungen Fallbeispiel 1	170
11.2.1	Liste der Funktionen	170
11.2.2	Liste der Prinziplösungen	171
11.3	Lösungsbeschreibungen Fallbeispiel 2	173
11.3.1	Lösungsbeschreibung „Handhaben von Schamotteröhren“	173
11.3.2	Lösungsbeschreibung „Handling von Sixpack-Bierflaschen“	175
11.3.3	Lösungsbeschreibung „Hopfig Herb Hybrid“	176
11.4	Verfeinerung der Ontologie im Fallbeispiel 1	180
11.4.1	Zuordnung der Funktionen zu den allgemeinen Funktionen	180
11.4.2	Zuordnung der Operationen zu den Funktionszielen	181
11.5	Evaluierung der Ontologie im Fallbeispiel 1	182
11.5.1	Übersicht über die gestellten Aufgaben	182
11.5.2	Detaillierte Ergebnisse der Evaluierungsversuche	187
12.	Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung	189

1. Einleitung

Suchmaschinen prägen den Alltag eines jeden, der sich beispielsweise im Internet auf die Suche nach Informationen macht. Dabei stellt das Suchen und Finden der relevanten Informationen in unterschiedlichen Medien auch für Unternehmen und deren Mitarbeiter eine bedeutende Herausforderung dar. An zwei Fallbeispielen aus der Entwicklung technischer Systeme wird die Problemstellung insbesondere bei der Suche nach bestehenden Lösungen dargestellt. Diese Lösungssuche zu unterstützen ist das Ziel und die Vision dieser Arbeit.

1.1 Motivation

Die Zunahme an Information und Daten betrifft alle Bereiche des täglichen und wirtschaftlichen Lebens. Eine Suche bei *Google* oder verwandten Internetsuchmaschinen zeigt die Potenziale aber auch Probleme und Herausforderungen, die sich im Rahmen einer Recherche nach Informationen heute stellen: der zielgerichtete Zugriff auf die richtigen Informationen. Dabei ist der Traum von der Antwortmaschine – anstelle der Suchmaschine – bereits ein alter. So zeigte ein Kinderbuch im Jahre 1964 folgendes Bild (Abb. 1-1):

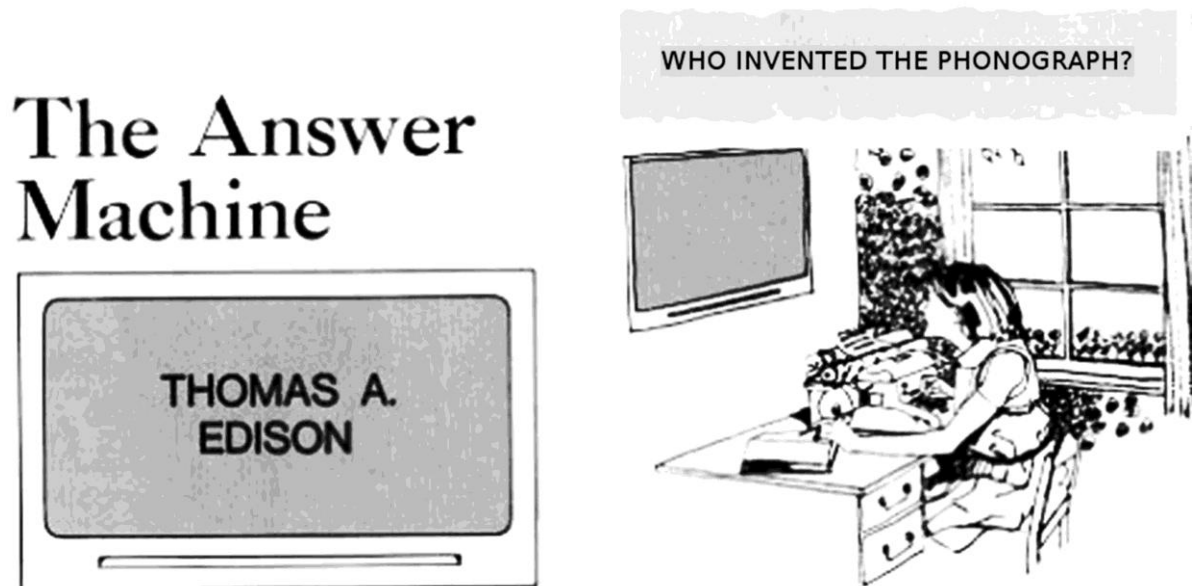


Abb. 1-1: Der Traum von der Antwortmaschine [nach CHILDCRAFT 1964, S. 148]

Um diesen Traum Wirklichkeit werden zu lassen, wird national und international an Technologien und Methoden geforscht, wie dies umgesetzt werden kann. Auch kommerzielle Anbieter von Suchmaschinen haben sich dieser Herausforderung gestellt – *Google* gilt sicher als einer der bekanntesten. Während die Grundlage bei einer „Antwort“ von *Google* auf der statistischen Auswertung der Webinhalte liegt, fokussieren neuere Ansätze die Nutzung von Wissensbasen, die von Menschen gepflegt werden. Ein aktuelles Beispiel ist die „Antwortma-

schine“ *Wolfram alpha*¹ des Physikers Stephen Wolfram, die Antworten zu gestellten Fragen berechnet. Ansätze im deutschen Forschungsumfeld legen den Schwerpunkt auf die Nutzung semantischer Technologien, was in ähnlicher Weise den Einsatz von Wissensrepräsentationen in Suchmaschinenlösungen darstellt [FRIEDEMANN 2008].

1.2 Problemstellung und Fallbeispiele

Vor allem für Unternehmen ist der Zugriff auf die relevanten Informationen von entscheidender Bedeutung. So ist der Einfluss einer ausreichenden „Informationsversorgung“ gerade in der Produktentwicklung entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Dabei stellt nicht nur das Informationsdefizit ein Problem dar, sondern auch eine mittlerweile nicht mehr handzuhabende Informationsflut [AUGUSTIN 1990, S. 9-13; KRCMAR 2003]. Die Lösungssuche als ein Entwicklungsschritt ist dabei besonders von der Herausforderung geprägt, die richtigen Informationen (z.B. in Form von bekannten und bewährten Lösungen) zu suchen und zu finden und ein breites Lösungsfeld mit vielen Alternativen aufzuspannen [EHRENSPIEL 2007, S. 86 ff.]. Bei der Suche nach bestehenden Lösungen können diese entweder aus einem unternehmensinternen oder einem unternehmensexternen Lösungsspeicher stammen (siehe Abb. 1-2). Die darin enthaltenen Lösungen müssen zuvor von Personen oder Personengruppen erstellt und angeboten werden.

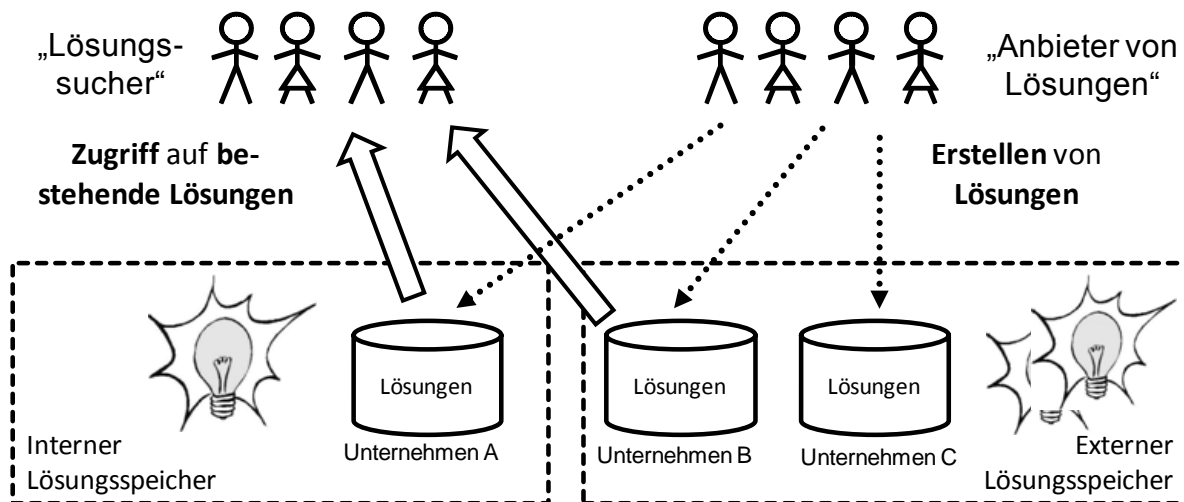


Abb. 1-2: Problemstellung – Lösungssuche in einem internen (Fallbeispiel 1, unternehmensintern) und externen Lösungsspeicher (Fallbeispiel 2, unternehmensübergreifend)

An zwei Fallbeispielen werden die Problembereiche diskutiert, die sich beim Zugriff auf bestehende Lösungen stellen. Im Fallbeispiel 1 werden die Problemstellungen aufgezeigt, die sich aus der unternehmensinternen Suche ergeben. Das Fallbeispiel 2 erweitert und ergänzt diese Zusammenstellung um weitere Herausforderungen, die ein Zugriff auf einen Lösungsspeicher, der unternehmensübergreifend zu sehen ist, mit sich bringt.

¹ Süddeutsche Zeitung am 11.03.2009, <http://www.sueddeutsche.de/computer/554/461181/text/>

Fallbeispiel 1: Suchen von Prinziplösungen auf Wirkmodellebene

Die Entwicklung von Prinziplösungen² stellt einen wichtigen Teil der Produktentwicklung dar [PAHL et al. 2005, S. 227; EHRENSPIEL 2007, S. 236]. Solche Prinziplösungen können beispielsweise auf der Wirkmodellebene erstellt werden, wobei physikalische Effekte genutzt werden, um eine bestimmte Funktion³ zu erfüllen. Im Rahmen der universitären Ausbildung an der Technischen Universität München (TUM)⁴ lernen Studenten deshalb, wie sie durch die Kombination von Einzeleffekten zu Effektketten sinnvolle Prinziplösungen zur Erfüllung von Funktionen erstellen. Diese Prinziplösungen stellen dabei häufig innovative Lösungen für die zu erfüllenden Funktionen dar. Für eine Funktion ist jeweils eine Ausgangslösung mit der Beschreibung der eingesetzten physikalischen Effekte, den Ein- und Ausgangsgrößen und einer Skizze gegeben. Zusätzlich ist die Funktionsweise dieser Ausgangslösung, die die Studenten variieren sollen, in Textform beschrieben. Im Rahmen der Prüfungen der letzten Jahre (2000-2009) wurden ca. 30 verschiedene Funktionen von Studenten bearbeitet und geeignete Prinziplösungen erstellt. Die Sammlung möglicher Lösungen umfasst mittlerweile ca. 200 verschiedene Prinziplösungen für diese ca. 30 verschiedenen Funktionen und liegt in digitaler Form als Prüfungssammlung vor. Charakteristisch für Lösungen auf Wirkmodellebene ist, dass sie sich aus der Zusammenstellung mehrerer Einzeleffekte zu einer Effektkette ergeben und durch die Darstellung in einer Skizze mit den wichtigsten Ein- und Ausgangsgrößen beschrieben werden.

In Abb. 1-3 ist beispielhaft die Suche nach Prinziplösungen für die Funktion *Gras mähen* dargestellt. Wird von Studenten im Rahmen einer gegebenen Aufgabenstellung – hier an Hand der Funktion *Gras mähen* – nach Prinziplösungen gesucht, so ist dies bei einer ausschließlichen Suche nach den Begriffen *Gras* und *mähen* ergebnislos. Im Lösungsspeicher, der mit den Lösungsvorschlägen von Studenten und Mitarbeitern aus den vergangenen Prüfungsaufgaben gefüllt ist, liegen bisher keine Lösungen dafür vor. Dennoch enthält die Sammlung Prinziplösungen, die sich vom Wirkprinzip her eignen, diese Funktion zu erfüllen. So können beispielsweise die bei den Funktionen *Pflanzen schneiden* und *Petersilie hacken* verwendeten Prinziplösungen auch genutzt werden, um *das Gras zu mähen*. Diese Zuordnung ist jedoch auf Grund der unterschiedlichen Begriffe nicht direkt möglich. Eine abstrakte Beschreibung z.B. nach abstrakten Funktionen oder Lösungsklassen fehlt, so dass auch hier keine Möglichkeit zur Klassifizierung und Zuordnung gegeben ist. Ein Vergleich der Lösungen auf Grund

² Als Prinziplösungen werden Lösungen für eine technische Aufgabenstellung bezeichnet, die noch nicht vollständig ausgearbeitet, sondern auf Ebene des Wirkmodells vorliegen. Dies entspricht einem Konzept auf Wirkmodellebene [PONN & LINDEMANN 2008], detaillierte Ausführungen siehe 2.2.3.

³ Eine Funktion im Verständnis der Arbeit beschreibt Sinn und Zweck eines technischen Systems und betrachtet damit auch die Anwendung, für die ein technisches System eingesetzt wird [AKIYAMA 1994, S. 26 ff.; HUBKA 1976, S. 11], detaillierte Ausführungen siehe 2.3.2.

⁴ Die Entwicklung von Prinziplösungen ist Teil der Lehrveranstaltung „Produktentwicklung und Konstruktion“ des Lehrstuhls für Produktentwicklung der TU München. Die Studenten entwickeln hier an praktischen Beispielen ein Produkt von der Funktionsstruktur über Prinziplösungen bis hin zu einem Gesamtkonzept (Lehrunterlagen nach LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG 2009)

der Ähnlichkeit der verwendeten physikalischen Effekte ist ebenfalls nicht zielführend, da so nur die Effektketten gefunden werden, die bereits so oder in ähnlicher Konstellation verwendet werden. Dies führt dazu, dass Prinziplösungen mit anderen Effektketten nicht gefunden werden können. In der Konsequenz ist ein hoher zeitlicher Aufwand notwendig, wenn die für eine neue Aufgabenstellung relevanten Lösungen aus der umfangreichen Sammlung identifiziert werden sollen. Wenn zeitliche Restriktionen jedoch dieses detaillierte Durchsehen der Sammlung verhindern, bleibt die Lösungsmenge sehr eingeschränkt, da interessante Alternativen keine Berücksichtigung finden. Im Fallbeispiel 1 wird deshalb untersucht, welche Methoden geeignet sind, schnell und effizient eine große Lösungsmenge zu erschließen, die mit unterschiedlichen Begriffen belegt ist.

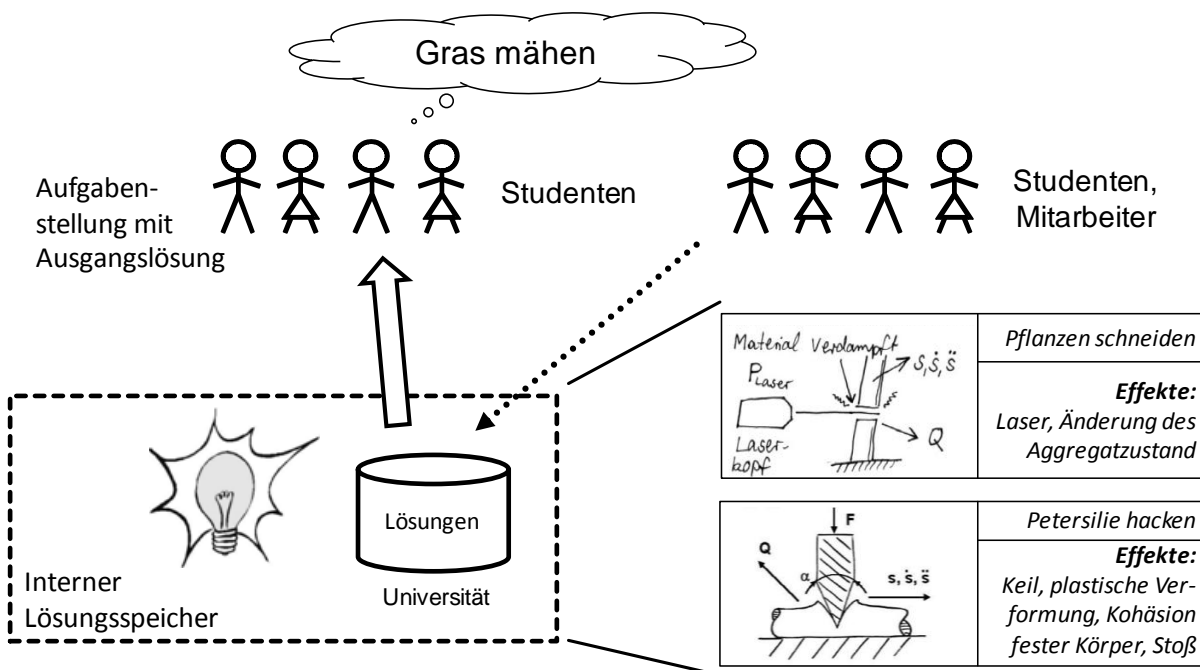


Abb. 1-3: Fallbeispiel 1 – Lösungssuche nach Prinziplösungen (interner Lösungsspeicher)

Fallbeispiel 2: Suchen von Produkt- und Systemlösungen im Maschinen- und Anlagenbau

Das zweite Fallbeispiel betrifft die Suche nach Produkt- und Systemlösungen im Maschinen- und Anlagenbau. Als besonders wissensintensive Tätigkeit im Bereich der Entwicklung und Konstruktion soll im Rahmen der Lösungssuche der gezielte Zugriff auf einen Lösungsraum für den Entwickler ermöglicht werden. Dabei wird im Gegensatz zu bestehenden Produktkonfiguratoren nicht die Entwicklung und Synthese neuer Lösungen beabsichtigt, sondern die rechnerbasierte Unterstützung des Lösungsauswahlprozesses. Dieses Fallbeispiel wird im Rahmen des Forschungsprojektes THESEUS⁵ [NIESSEN 2008] und hier im Anwen-

⁵ THESEUS ist ein vom BMWI gefördertes Forschungsprogramm mit dem Ziel, Geschäftsmodelle für semantische Technologien zu entwickeln. Im Rahmen von 6 Anwendungspiloten sollen die entwickelten Technologien eingesetzt und validiert werden [THESEUS-PROGRAMMBÜRO 2008b].

dungspilot PROCESSUS⁶ behandelt. Allgemeines Ziel des Anwendungspiloten PROCESSUS ist die semantische Unterstützung von wissensintensiven Geschäftsprozessen [FRANZ et al. 2008]. Dieser Anwendungspilot orientiert sich dabei an einem Szenario aus der Verpackungstechnik (siehe Abb. 1-4). Ein Anlagenbetreiber möchte ein Getränk in einer neuen Verpackung anbieten. Dazu sucht er einen geeigneten Anlagenbauer, der ihm hierfür ein Gesamtangebot für die Primär- (*Abfüllen des Getränkes*) und Sekundärverpackung (*Verpackung der Flaschen in Getränkekisten*) erstellt. Auf Seiten des Anlagenbauers wiederum sucht ein Entwickler für das *Verpacken von Flaschen in Getränkekisten* Lösungen, die ihm die Realisierung dieser Funktion im Rahmen verschiedener Anforderungen ermöglicht. Hierfür nutzt er sowohl internes Know-how, er möchte aber auch bei externen Anbietern von Lösungen suchen. Dazu stehen ihm Informationen aus dem Marketing und Vertrieb von Herstellern für Lösungen zur *Verpackung von Flaschen in Getränkekisten* bereit, die beispielsweise im Internet oder über andere Vertriebswege zur Verfügung stehen. Die Weitergabe und das Auffinden relevanter Informationen sind bei diesem Szenario zentrale Aspekte in der Zusammenarbeit verschiedener Personen an den Schnittstellen zwischen verschiedenen Unternehmen und innerhalb der Unternehmen. Dabei stellen technische Lösungen zur Erfüllung spezifischer Funktionen den Schwerpunkt der Suche dar.

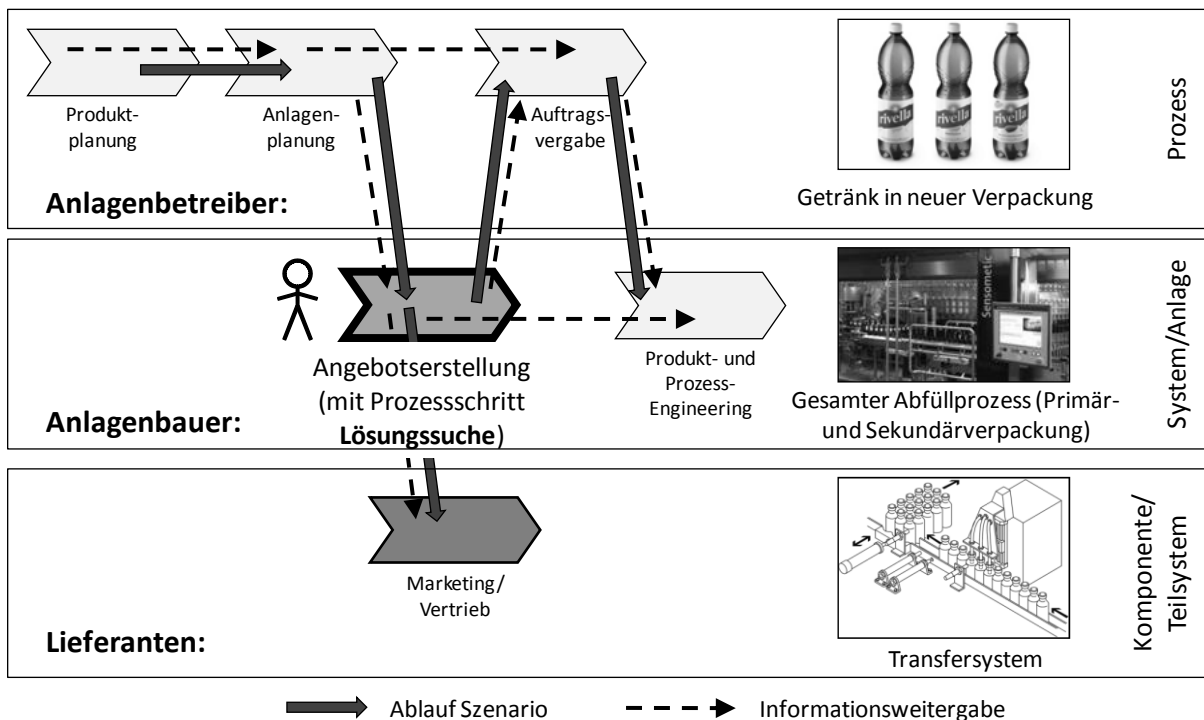


Abb. 1-4: Fallbeispiel 2 – Szenario für die Lösungssuche in Fallbeispiel PROCESSUS [nach FRANZ et al. 2008]

Im Rahmen dieses Fallbeispiels wird die Suche nach Lösungen im Rahmen der Angebotserstellung auf Ebene des Anlagenbauers fokussiert, der übergreifend über verschiedene Lösungsanbieter mögliche Lösungen für die *Verpackung von Flaschen* identifizieren möchte

⁶ PROCESSUS ist einer der 6 Anwendungspiloten semantischer Technologien im Forschungsprojekt THESEUS [THESEUS-PROGRAMMBÜRO 2008a].

(siehe Abb. 1-5). Die gesuchten Lösungen bestehen dabei aus verschiedenen Teilsystemen und Komponenten und stellen anwendungsspezifische Kundenlösungen dar [BAUMBERGER 2007]. Diese Lösungen werden in einem Unternehmen nach den spezifischen Kundenanforderungen neu aus bestehenden Teilsystemen aufgebaut oder als bereits bestehendes Gesamtsystem angepasst und werden von unterschiedlichen Personengruppen aus verschiedenen Abteilungen (z.B. Entwicklung bei Projektierung eines neuen Angebots, Vertrieb bei Bearbeitung einer Kundenanfrage) im Rahmen verschiedener Prozessschritte benötigt und gesucht. Ausgangspunkte für eine Lösungssuche, die unternehmensübergreifend in Internet erfolgt, sind neben den klassischen Vertriebswegen (direkter Vertrieb, Kataloge etc.) Marketing-Dokumente, die von den verschiedenen Lösungsanbietern auf deren Webseiten oder auf elektronischen Marktplätzen zur Verfügung gestellt werden. Dabei enthalten die Marktplätze jedoch meist nur Produkte, die sehr allgemein beschrieben und nicht auf spezifische Kundenfunktionen angepasst sind. Eine Verknüpfung zwischen den Lösungen und möglichen Anwendungen ist nicht gegeben, der Suchende muss also bereits wissen, welches Produkt seine Funktion erfüllen kann [GAAG & PONN 2008]. Ein Zugriff über Anwendungen auf Produkte ist auf den Webseiten verschiedener Unternehmen gegeben. Hier zeigt sich insbesondere eine große Varianz an Zugriffstrukturen und Beschreibungen für die Anwendungen und Lösungen. Eine Suche gestaltet sich dementsprechend zeitaufwendig. Ferner bleiben gute Lösungen unberücksichtigt, da entsprechende Hersteller oder geeignete Lösungen auf Grund der eingeschränkten und unterschiedlichen Begriffswelten nicht gefunden werden.

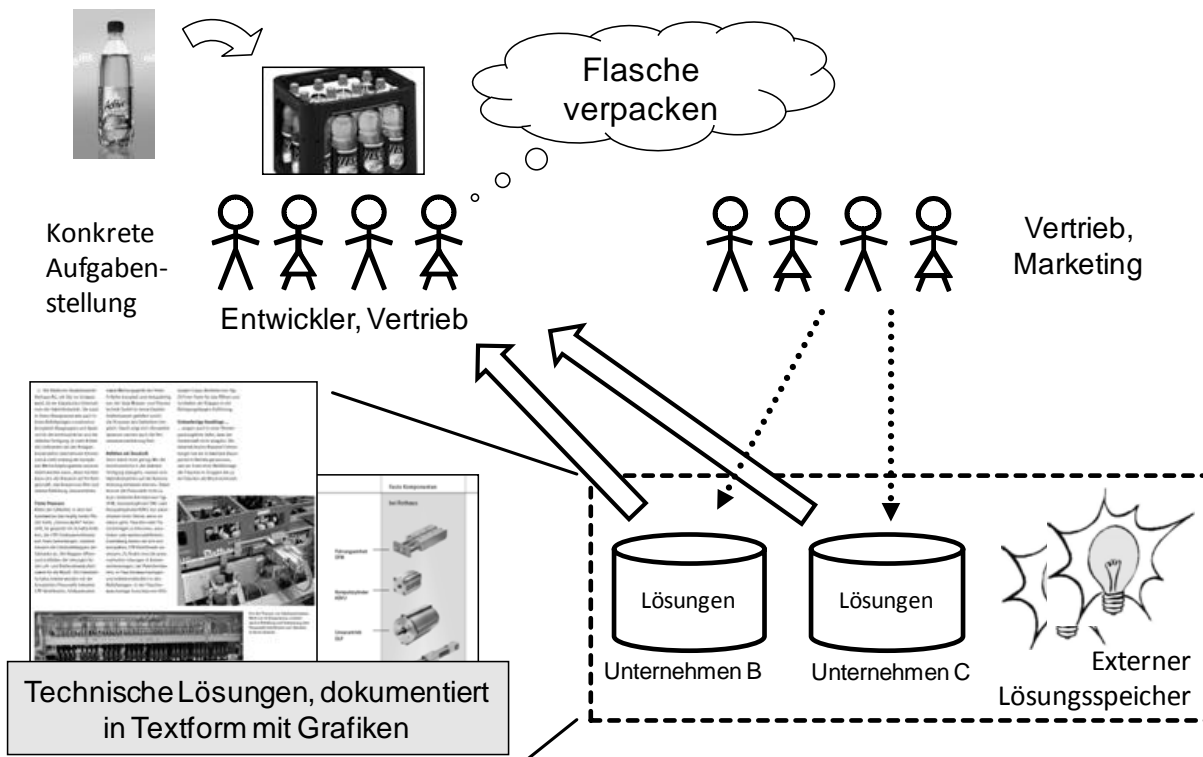


Abb. 1-5: Fallbeispiel 2: Suche nach Lösungen in unternehmensübergreifenden Marktplattformen im Internet

Gegenüberstellung der Fallbeispiele

Wie beide Fallbeispiele zeigen wird in verschiedenen Situationen nach bestehenden Lösungen gesucht. Diese Lösungsalternativen sind mit konkreten Anwendungen verknüpft und jeweils mit einer oder mehreren Abbildungen und textuellen Erläuterungen beschrieben (im Fall der Prinziplösungen mit der Funktion, im Fall der Systemlösungen mit zum Teil sehr detaillierter Erläuterung der Funktionsweise). Die Lösungssuche als Schritt der Produktentwicklung bezieht sich auf Lösungen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen. So sind die im Fallbeispiel 1 gesuchten Prinziplösungen auf sehr abstrakter, die im Fallbeispiel 2 gesuchten Lösungen auf sehr konkreter Ebene (mit Informationen zu Bauraum, eingesetzten Funktionsträgern, Unternehmen, Ansprechpartnern etc.).

Allgemeine Problemstellung

Bei der Lösungssuche stellen sich Hindernisse auf inhaltlicher Ebene, auf Grund der Form der vorliegenden Daten und wegen organisatorischer Rahmenbedingungen. Zu den Barrieren aus inhaltlicher Sicht zählen unterschiedliche Begriffswelten, die den direkten Zugriff beispielsweise über eine Volltextsuche erschweren [POCSAI 2000, S. 7 ff., S. 86]. Die Breite der unterschiedlichen Begriffe für Lösungen zeigt beispielsweise DYLLA (1990) in seinen Konstruktionsversuchen, bei der sechs Entwickler sehr verschiedene Begriffe zur Lösungssuche verwendeten (siehe Abb. 1-6). Ausgangspunkt für die Lösungssuche war die Aufgabenstellung, ein Lager für einen *Schwenkmechanismus* zu entwickeln. Die verwendeten Suchbegriffe sind nur bei zwei von sechs Versuchspersonen (Vp) ähnlich, zwei weitere Personen haben keine klare Vorstellung von einer möglichen Lösung. Auch die Bezeichnungen, mit der die gefundenen Lösungen beschrieben werden, unterscheiden sich stark, auch wenn ähnliche Lösungen adressiert werden (z.B. *kardanische Aufhängung* vs. *Kardan*, einfache *Passstifte* vs. *Zylinderstift* vs. *Stift*). Desweiteren können Begriffe – trotz Ähnlichkeiten – verschiedene Lösungsprinzipien beinhalten (z.B. *Passschraube* vs. *Passstift*).

Vp	Suchbegriff	Lösungsbegriff
Kurt	Schwenkung um den Winkel α : Schwenkung um β :	kleines Lager Zylinderstift, Paßschraube
Max	Schwenken: 2 Achsen sich treffen:	Gelenk Kardan
Ingo	?	Gelenke, Gleitlager, einfache Paßstifte und geriebene Bohrungen
Tom	Bewegungen sich überlagern und Achsen sich schneiden:	Pfanne mit Kugel
Rolf	?	kardanische Aufhängung; nicht Kugel
Hans	2 rotator. Beweglichkeiten in einer Achse: Kugel und Drehung um eine Achse <i>nicht</i> .	Kugelgelenk (skizziert) Stift

Abb. 1-6: Such- und Lösungsbegriffe von 6 unterschiedlichen Versuchspersonen (Vp) zur Beschreibung einer Lagerung [DYLLA 1990, S. 79]

Aus der Tatsache, dass Lösungen meist sehr anwendungsspezifisch sind, ergibt sich die fehlende abstrakte Beschreibung von Lösungen oder das Fehlen wichtiger Informationen wie beispielsweise die Funktionen eines Bauteils oder Produkts [IRLINGER 1998, S. 53]. Die Navigation in Klassifikationen und Strukturen, die solche Abstraktionsebenen bereitstellen, werden durch deren Unterschiedlichkeit erschwert. Die Unterschiedlichkeiten in den Begriffen und Strukturen beruhen dabei auf den verschiedenen Sichten, die die Einzelpersonen auf die Aufgabe besitzen [HEPP 2003, S. 56-58]. Zu den Problemen, die sich auf Seiten der Form der vorliegenden Informationen zu Lösungen ergeben, gehört die Heterogenität der Daten und Dokumente. So liegen die zu Lösungen gehörenden Beschreibungen und Modelle in verschiedenen Formaten mit unterschiedlichen Inhalten (z.B. textuelle und grafische Beschreibungen, Dokumentationen aus verschiedenen Branchen, Unternehmensbereichen und Anwendungsgebieten) vor. Die Schwierigkeit, die richtigen Informationen zu finden, wird zusätzlich dadurch erschwert, dass ein Großteil der Daten im Unternehmen in unstrukturierter Form vorliegt und damit ein Zugriff über Klassifizierungen und vorhandene Navigationswege nicht oder nur unzureichend unterstützt wird [BLUMBERG & ATRE 2003]. Auf Seiten der Anbieter von Lösungen hindert außerdem – insbesondere bei einer unternehmensübergreifenden Lösungssuche – der Schutz von Know-how als organisatorische Rahmenbedingung die Bereitstellung von relevanten Informationen zu Lösungen. Die oben genannten Probleme und Hindernisse lassen sich wie in Abb. 1-7 dargestellt zusammenfassen.

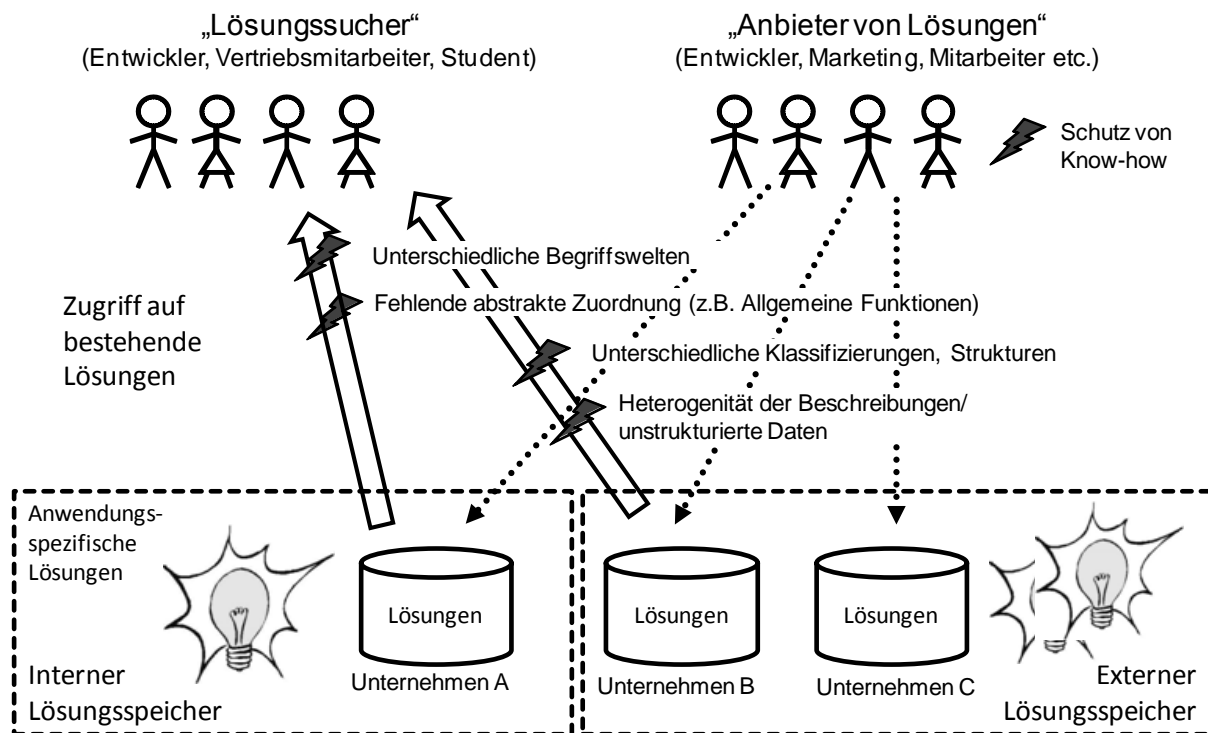


Abb. 1-7: Suche nach Informationen als Herausforderung mit vielfältigen Problembereichen

Diese Ausgangssituation führt einerseits zu hohen zeitlichen und personellen Aufwänden bei der Suche nach bestehenden Lösungen – sowohl unternehmensintern als auch unternehmensextern. Auf der anderen Seite ist das Suchergebnis unzufrieden stellend, da bewährte Lösungen nicht gefunden werden. In der Konsequenz ergeben sich verlängerte Produktentwick-

lungsprozesse oder Mehrfachentwicklungen für Bauteile und Produkte, die bereits als ausgearbeitete und bestehende Lösungen vorliegen. In der Folge wird „das Rad ein zweites Mal erfunden“. Diese Defizite und der hohe Einfluss der Lösungssuche im Rahmen der Produktentwicklung auf die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens machen eine intensive Betrachtung und Optimierung dieses Prozessschrittes notwendig.

1.3 Vision und Zielsetzung der Arbeit

Aus der dargestellten Problemstellung leiten sich die Vision und die Zielsetzung dieser Arbeit ab. Dabei umfasst die Vision im Kern einen Assistenten zur Unterstützung der Lösungssuche, die Zielstellung konkretisiert diese Vision und zeigt die wissenschaftlichen Fragestellungen im Rahmen der Lösungssuche auf.

1.3.1 Vision der Unterstützung der Lösungssuche

Die Vision zur Unterstützung der Lösungssuche lässt sich in folgender Aussage zusammenfassen:

*Assistent zur Unterstützung der **Lösungssuche nach bewährten und existierenden Lösungen** im Rahmen der Entwicklung technischer Produkte durch die Bereitstellung eines **Lösungsraumes mit relevanten Lösungen**, den der Suchende **nach verschiedenen Kriterien eingrenzen und erweitern** kann.*

Lösungssuche nach bewährten und existierenden Lösungen:

Erster wichtiger Aspekt ist der Zugriff auf bewährte und existierende Lösungen, die in entsprechenden textuellen Dokumentationen (Text mit Bildern) vorliegen. Sucht jemand eine Lösung für seine spezifische Aufgabe, werden ihm die bestehenden Lösungen zur Verfügung gestellt. Der Anwender kann in der ihm vertrauten Sprache (Begriffswelt, Navigation in der Sicht des Nutzers) auf die Lösungen zugreifen, eine aufwändige Einarbeitung in die Sprache der Lösungen ist nicht notwendig. Als Vision nimmt der „Assistent“ zur Lösungssuche eine Mittlerrolle zwischen Suchenden und den Lösungen ein und schließt so die semantische Lücke zwischen dem konkreten Problem und den anwendungsspezifischen Lösungen.

Zugriff auf einen Lösungsraum mit relevanten Lösungen:

Neben einem Zugriff auf bereits bekannte Lösungen für den exakt definierten Anwendungsfall muss auch ein Zugriff auf ähnliche Lösungen möglich sein, die beispielsweise über eine alternative Technik oder Wirkstruktur realisiert sind. Damit unterstützt der Lösungsassistent die Bereitstellung eines Lösungsraumes, der alle für eine spezifische Aufgabenstellung relevanten Lösungen enthält. Relevant ist eine Lösung dabei dann, wenn die prinzipielle Funktionsweise der Lösung auf die konkrete Aufgabenstellung übertragen werden kann. Damit unterstützt der Lösungsassistent im weiteren Sinne auch einen kreativen Lösungsprozess, indem er Ideen und Impulse durch ähnliche Lösungen bereitstellt und den Entwickler bei der Abstraktion und Analogiebildung unterstützt [EHRENSPIEL 2007, S. 68-70].

Eingrenzen und Erweitern des Lösungsraumes nach verschiedenen Kriterien:

Das Eingrenzen und Erweitern des Lösungsraumes nach verschiedensten Kriterien ist weiterhin ein entscheidender Aspekt, der als Unterstützung der Lösungssuche zu sehen ist. Dazu gehört – je nach Aufgabenstellung und Situation – eine freie Navigation im Lösungsraum: eine Lösung, die in einem Projekt zielführend ist, kann im nächsten Projekt – trotz der technischen Eignung – auf Grund von Randbedingungen nicht einsetzbar sein. HEPP (2003, S. 73) bezeichnet diese Art der Navigation als semantische oder attributbasierte Suche, bei der nicht hierarchisch oder über eine Volltextsuche, sondern über die Eigenschaften und semantischen Beziehungen Produkte und Dienstleistungen verfügbar gemacht werden.

1.3.2 Zielsetzung der Arbeit

Zielsetzung der Arbeit ist die Untersuchung der wissenschaftlichen Grundlagen für eine Unterstützung der Lösungssuche im Produktentwicklungsprozess, wie es in der dargelegten Vision skizziert wurde. Dies umfasst die Überprüfung folgender Thesen, die aus der Untersuchung zum Stand der Technik und der Grundlagen abgeleitet werden:

- **Hypothese 1:** „Die Betrachtung technischer Systeme aus Funktionssicht ist zentral für die Lösungssuche – der Weg über Funktionen auf Systemlösungen ist geeignet und erfolgreich.“
- **Hypothese 2:** „Abstraktionsebenen für Funktionen (Objekte und Operationen) ermöglichen den Zugriff auf Lösungen, die für eine neue Anwendung relevant sind.“
- **Hypothese 3:** „Die Wissensrepräsentation in einer Ontologie als semantisches Netz ist geeignet, um die existierenden und bewährten Lösungen zu unterstützen.“

Die Überprüfung dieser Hypothesen erfolgt im Rahmen der Evaluierung des gewählten Lösungsansatzes.

1.4 Wissenschaftlicher Ansatz und Erfahrungsgrundlage

In der vorliegenden Arbeit wird ein angewandter wissenschaftlicher Ansatz verfolgt (pragmatisches Wissenschaftsziel). Dabei steht weniger die Wirklichkeitserkenntnis im Fokus, sondern vielmehr deren Nutzarmachung für die Wirklichkeitsgestaltung [HILL et al. 1994, S. 34 ff.]. Die im Rahmen des „*design research*“ (Designforschung) eingesetzten Forschungsmethoden lassen sich in 4 Hauptgruppen einteilen: empirische oder experimentelle Untersuchung von Designprozessen, Entwicklung neuer Werkzeuge und Methoden sowie deren Einführung in der Industrie [CANTAMESSA 2002]. Als Methodik zur Designforschung schlagen BLESSING et al. (1998) ein Vorgehen vor, das als Design Research Methodology (DRM) bezeichnet wird und folgende Hauptschritte enthält:

- Bestimmung der **Kriterien**, die im Rahmen des Einsatzes der Methode oder des Werkzeuges verbessert werden soll.

- **Beschreibung I:** Deskriptive Untersuchung, die auf Beobachtung und Analyse basiert (Analyseschritt).
- **Entwicklung** von Methoden und Werkzeugen, basierend auf Annahmen und Erfahrung (Syntheseschritt).
- **Beschreibung II:** Anwendung der Methode und deskriptive Untersuchung durch Beobachtung und Analyse (Analyseschritt)

Diese Methodik liegt auch dem Vorgehen im Rahmen dieser Arbeit zu Grunde (siehe Abb. 1-8). Als Kriterien zur Bewertung der Lösungssuche eignen sich zum einen der Ressourcenaufwand (hier vor allem die Zeit) und die Qualität des Suchergebnisses, d.h. der Lösungsraum in Umfang und Qualität, der durch die Methode erschlossen werden kann. Die erste beschreibende Analyse (Beschreibung I) untersucht bestehende Technologien und Werkzeuge zur Lösungssuche auf informationstechnischer Seite und bei der Anwendung in der Produktentwicklung. Daraus abgeleitet wird der entsprechende Handlungsbedarf, der die Entwicklung einer Methode erfordert. Hier stellen die oben aufgestellten Hypothesen den Kern des Lösungsansatzes dar.

Die anschließende Evaluierung des Ansatzes bezüglich der definierten Kriterien wird in der zweiten beschreibenden Analyse (Beschreibung II) verfolgt. Die Evaluierung des Ansatzes im Fallbeispiel 1 erfolgt dabei anhand der Implementierung und des Einsatzes in einer nutzbaren Rechneranwendung. Im Rahmen von verschiedenen Versuchsgruppen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen wird der Lösungsansatz hinsichtlich Aufwand und Ergebnis der Lösungssuche mit semantischen Technologien bewertet. Im Fallbeispiel 2 erfolgt die Bewertung exemplarisch über verschiedene Testfälle, eine Bewertung bezüglich der Kriterien Aufwand und Ergebnis der Lösungssuche ist dadurch nur eingeschränkt möglich.

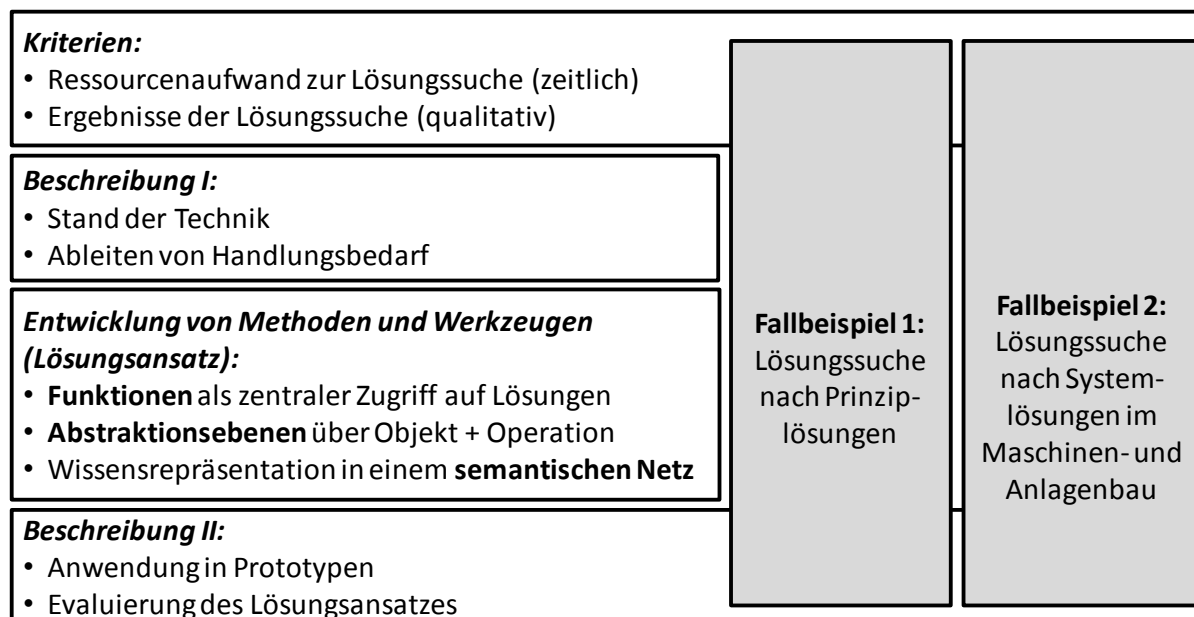


Abb. 1-8: Forschungsmethodischer Ansatz der vorliegenden Untersuchung

1.5 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit orientiert sich an dem dargestellten forschungsmethodischen Ansatz und ist in Abb. 1-9 dargestellt.

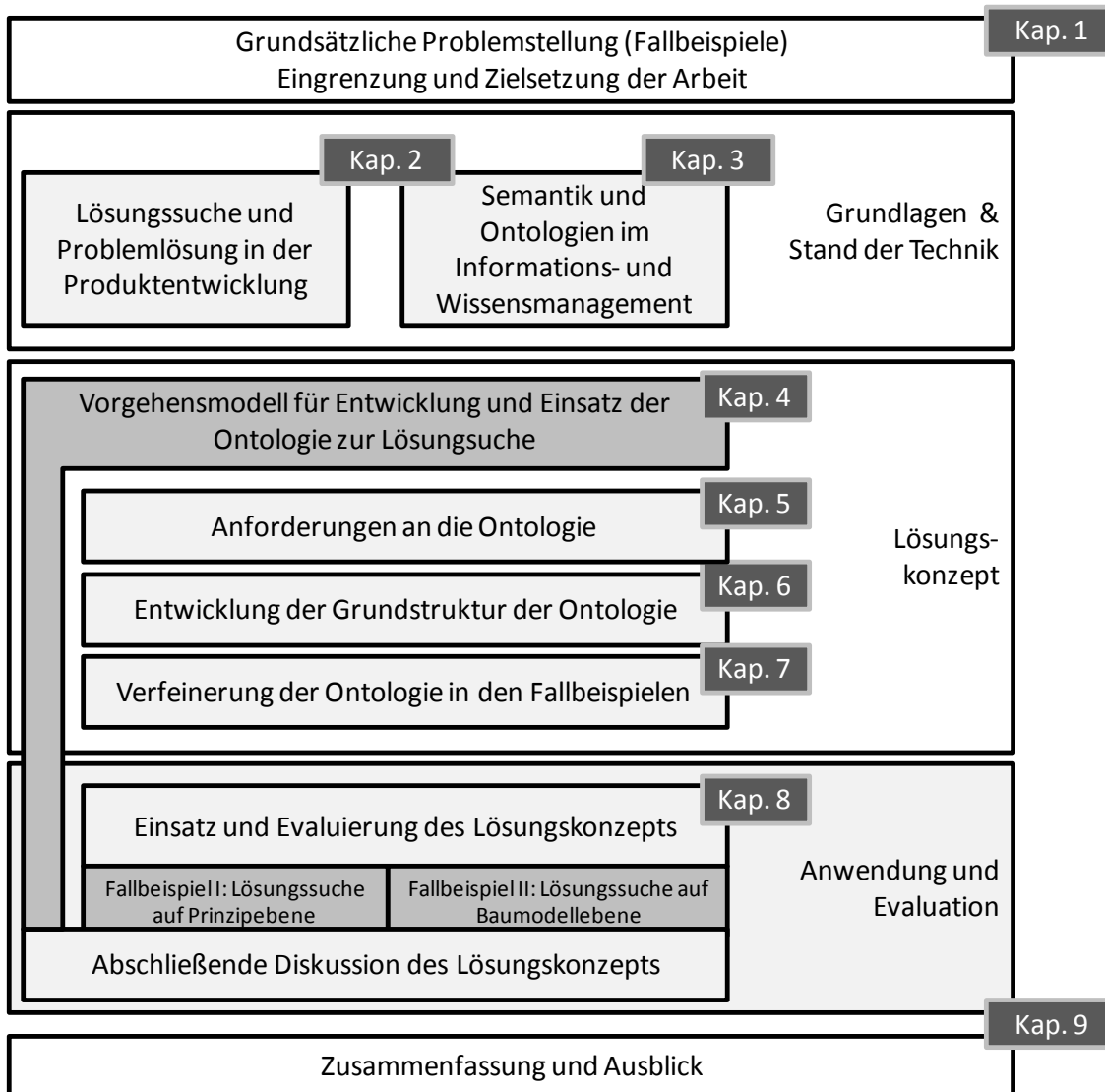


Abb. 1-9: Übersicht über den Aufbau der Arbeit

Kapitel 1 führt in die grundsätzliche Problemstellung ein und zeigt diese an zwei Fallbeispielen auf, die die Grundlage für die spätere Anwendung und Evaluierung des Lösungskonzeptes bilden. Dazu werden die notwendigen wissenschaftlichen Grundlagen in Bezug auf Vorgehen und Aufbau der Arbeit sowie die Erfahrungsgrundlage für den Lösungsansatz dargelegt.

In den Kapiteln 2 und 3 werden die Grundlagen der Arbeit beschrieben. Dabei ist in **Kapitel 2** die Lösungssuche und Problemlösung in der Produktentwicklung im Fokus. Ausgehend von der Fragestellung, nach welchem Vorgehen Probleme und Aufgaben bei der Produktentwicklung und im Systems Engineering gelöst werden, werden technische Systeme als Ergebnis einer Produktentwicklung betrachtet. Da Funktionen eine zentrale Bedeutung bei der Lösungssuche haben, werden die verschiedenen Betrachtungsweisen eines Systems aus Funkti-

onssicht dargestellt. Technische Funktionen eines Systems können dabei nach verschiedenen Gesichtspunkten geordnet und strukturiert werden. Schließlich werden die wichtigsten Werkzeuge im Zusammenhang mit der Lösungssuche aufgezeigt und in Bezug auf die Problemstellung eingeordnet. Aus den sich ergebenden Defiziten leitet sich der Handlungsbedarf der Arbeit ab, der in Anforderungen an den Lösungsansatz formuliert wird und die weiteren Betrachtungen in Kapitel 3 auf den Rahmen der Lösungssuche und Problemlösung in der Produktentwicklung eingrenzt.

Das **3. Kapitel** klärt die Grundlagen und den Stand der Technik zu Semantik und Ontologien im Informations- und Wissensmanagement. Nach Klärung der grundsätzlichen Begriffe und Bedeutung von Information und Wissen werden Technologien und Werkzeuge mit Bezug zum Information Retrieval und Wissensmanagement dargestellt. Da semantische Technologie und Ontologien als Wissensrepräsentationen eine bedeutende Rolle im Kontext der betrachteten Problemstellung sind, werden diese Themen ausführlich erläutert. Dies umfasst neben der Definition und Erklärung auch die Darstellung des aktuellen Einsatzes semantischer Wissensrepräsentationen sowie der Entwicklungsprozesse für Ontologien. Schließlich werden Folgerungen für den Lösungsansatz und Anforderungen formuliert.

Das Vorgehen zur Entwicklung der Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche wird im **Kapitel 4** hergeleitet und dargestellt. Dieses Vorgehensmodell basiert auf den in Kapitel 3 dargelegten Grundlagen semantischer Technologien sowie auf den Anforderungen und Randbedingungen, die sich aus der Suche nach Lösungen in der Produktentwicklung ergeben. Die Abgrenzung relevanter Lösungen für eine vorgegebene Funktion bildet dabei einen Schwerpunkt der Betrachtungen zu den Anforderungen an die Ontologie. Das Vorgehensmodell bildet den Rahmen der Entwicklung des Lösungskonzeptes, das in den folgenden Kapiteln erarbeitet wird.

Den ersten Entwicklungsschritt für die Ontologie bildet die Klärung von Ziel und Anforderung im **Kapitel 5**. Die Anforderungen stammen allgemein aus der Lösungssuche in der Produktentwicklung und werden ergänzt durch die Anforderungen, die sich aus den beiden Fallbeispielen ergeben. Schließlich werden auch die Anforderungen formuliert, die der Einsatz von Rechnerwerkzeugen zur Entwicklung sowie der spätere Einsatz und die Anwendung der Ontologie erfordern.

In **Kapitel 6** wird die Grundstruktur der Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche entwickelt. Die Funktionsbetrachtung und die Abstraktion konkreter Funktionen bilden dabei die Kernprinzipien des Lösungsansatzes. Dazu werden die Funktionen mit deren abstrakter Bedeutung in der Ontologie beschrieben und ermöglichen den Zugriff auf Lösungen. Die Grundstruktur der Ontologie ist unabhängig von den beiden Fallbeispielen.

Im **Kapitel 7** wird die Grundstruktur der Ontologie für die beiden Fallbeispiele verfeinert. Dazu ist die Erweiterung und Anpassung der Grundstruktur sowie die Instanziierung der Ontologie notwendig. Die Evaluierung dieses Entwicklungsschrittes in beiden Fallbeispielen schließt dieses Kapitel ab.

Der Einsatz und die Diskussion des Lösungskonzeptes bilden den Schwerpunkt in **Kapitel 8**. Dazu wird die Ontologie zur Lösungssuche auf Wirkmodellebene in Form eines Semantic

Wiki⁷ implementiert und in Versuchen mit Studentengruppen evaluiert. Abschließend wird der Lösungsansatz hinsichtlich der formulierten Zielsetzung und der wissenschaftlichen Hypothesen diskutiert.

Kapitel 9 fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf weitere Forschungsfragen und zukünftige Aktivitäten. Dies ist von besonderer Bedeutung für den weiteren Einsatz in der studentischen Lehre (Fallbeispiel 1) und mögliche Praxisanwendungen (Fallbeispiel 2) der entwickelten Ontologie.

⁷ Ein Wiki ist ein vereinfachtes Content Management System, bei dem die Benutzer die Inhalte nicht nur lesen, sondern sich auch aktiv an der Erstellung und Aktualisierung der Inhalte beteiligen. Semantic Wiki verknüpft die Inhalte aus einem regulären Wiki mit einem semantischen Netz und ermöglicht die Nutzung der semantischen Informationen.

2. Lösungssuche und Problemlösung in der Produktentwicklung

*Die große Bedeutung der Produktentwicklung hinsichtlich Kosten und Qualität eines technischen Systems in allen späteren Produktlebensphasen erfordert ein systematisches und methodisches Vorgehen: ausgehend von den Anforderungen werden die Funktionen definiert und anschließend schrittweise konkretisiert. Bei der Lösungssuche und Problemlösung stehen dabei vor allem eine funktionsorientierte Betrachtung sowie die Problemabstraktion im Fokus. Aus diesem Grund stehen dem Entwickler zahlreiche Methoden und Werkzeuge – im speziellen Rechnerwerkzeuge und Lösungssammlungen – zur Verfügung, um sowohl neue Lösungen zu generieren als auch bestehende und bewährte Lösungen zu finden. Im vorliegenden Kapitel werden die wichtigsten im Umfeld der Lösungssuche genutzten Methoden und Werkzeuge dargestellt und damit die Grundlage für den Lösungsansatz einer funktionsorientierten Lösungssuche mit semantischen Technologien gelegt. Abschließend werden die Problembe-
reiche bei der Suche nach bestehenden Lösungen zusammengefasst und die Anforderungen aus Sicht der Produktentwicklung an den Lösungsansatz formuliert.*

2.1 Begriffsbestimmungen und inhaltliche Eingrenzung

Das Lösen von Problemen und die Suche nach Lösungen sind in zahlreichen Disziplinen und Forschungsthemen von großer Bedeutung: Lösungen werden in den verschiedensten Ingenieurdisziplinen ebenso benötigt wie bei Versicherungen oder Banken. Aus diesem Grund werden die in der vorliegenden Forschungsarbeit verwendeten Begriffe definiert und das Forschungsfeld eingegrenzt (siehe Abb. 2-1). Zentrale Aspekte des Wissens- und Informationsmanagements werden dazu anschließend im Kapitel 3 erläutert. Hierzu zählen Methoden und Technologien, um auf unstrukturierte Informationen zielgerichtet zugreifen zu können (Information Retrieval) und die Möglichkeiten, über semantische Beziehungen Begriffe und Objekte der Realität beschreiben zu können (Semantic Web, Ontologien). Die ausführliche Darstellung zu den Grundlagen und zum Stand der Technik ist in dem entsprechenden Kapitel nachzulesen.

Die Produktentwicklung befasst sich mit Vorgehen, Beschreibung und Entwicklung von technischen Produkten für verschiedenste Anwendungen und Bereiche [LINDEMANN 2007, EHRLENSPIEL 2007]. Diese Produkte unterscheiden sich dabei ganz wesentlich nach den unterschiedlichsten Kriterien wie Komplexität, Anzahl der Bauteile etc. [LINDEMANN 2007, S 8 ff]. Im Rahmen der Lösungssuche sind Vorgehensmodelle und Methoden zur Problemlösung von besonderer Bedeutung, wobei in dieser Arbeit der Schwerpunkt auf den Grundprinzipien „Abstraktion“ [PAHL et al. 2005, S. 75] sowie der Funktionsbetrachtung von technischen Systemen liegt [PAHL et al. 2005, S. 44 ff.]. Unter Systems Engineering wird allgemein die Unterstützung einer zweckmäßigen und zielgerichteten Gestaltung komplexer Systeme verstanden [HABERFELLNER et al. 1992, S. 4 ff.]. Das Systems Engineering unterstützt die Lösung

komplexer Probleme und stellt Vorgehensmodelle für den Problemlösungsprozess bereit [HABERFELLNER et al. 1992, S. 19 ff.]. Daneben sind auch Ansätze aus Psychologie von großer Bedeutung, da die Lösungssuche einen stark kognitiven Prozess darstellt und der Mensch als Akteur einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität einer erfolgreichen Produktentwicklung und Lösungssuche hat [DÖRNER 1987]. Neben dem Entwickler als Individuum ist aber ebenso die Zusammenarbeit mit anderen innerhalb und außerhalb des Unternehmens zu betrachten. Besondere Bedeutung hat dies dann, wenn der Problemsteller, z.B. ein externer Kunde, eine andere Person ist als der Lösungsbereitsteller, z.B. der Vertriebsingenieur oder der Entwickler. Die Interaktion zwischen diesen Personen oder Personengruppen stellt damit einen weiteren wesentlichen Einfluss auf erfolgreiche Problemlösungen dar [EHRENSPIEL 2007, S. 206 ff.].

Die die beiden Forschungsdisziplinen verbindende Fragestellung betrifft das Suchen und den Zugriff auf die richtigen Informationen. Das Informations- und Wissensmanagement mit seinen Teildisziplinen stellt hier Werkzeuge bereit, die auf die in der Produktentwicklung auftretende Problemstellung angewandt werden und einen Beitrag zur Unterstützung der Lösungssuche leisten.

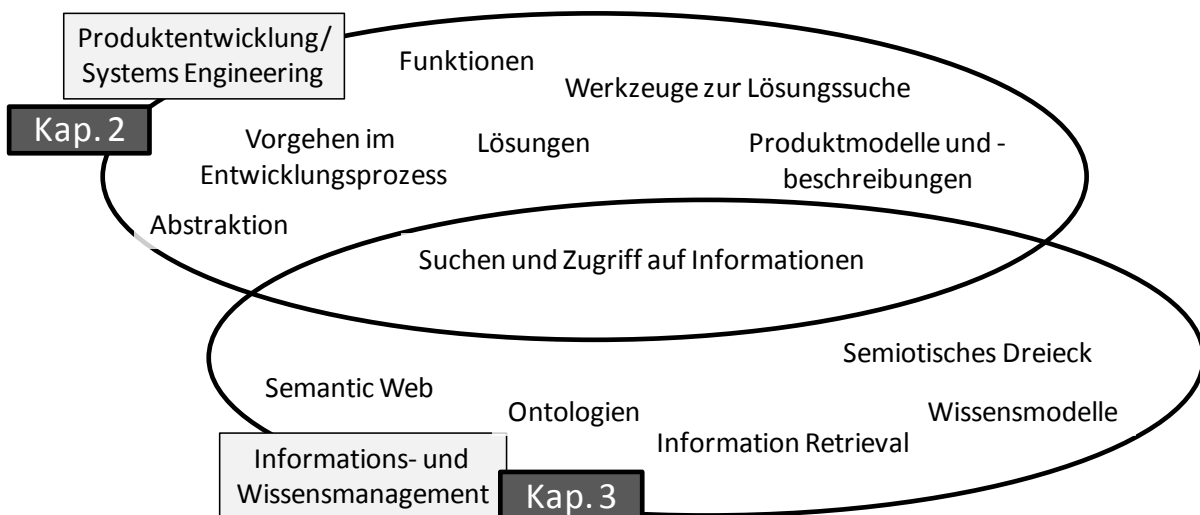


Abb. 2-1: Übersicht über betroffene Disziplinen und zentrale Forschungsthemen im Zusammenhang mit der Lösungssuche im Rahmen dieser Arbeit

2.2 Produktentwicklung und Systems Engineering

Die Produktentwicklung und das Systems Engineering stellen Methoden und Vorgehensmodelle bereit, um Aufgaben und Probleme verschiedenster Komplexität zu bewältigen. Produktmodelle auf unterschiedlichsten Konkretisierungsstufen zählen zu den wichtigsten Dokumentations- und Kommunikationsmitteln von Lösungen und werden deshalb ausführlich dargestellt. Produktmodelle beschreiben dabei sowohl den breiten Informationsraum, den ein Entwickler zu bewältigen hat, als auch Zugriffsmöglichkeiten auf Lösungen.

2.2.1 Vorgehensmodelle zur Produktentwicklung

Zahlreiche Vorgehensmodelle zur methodischen Entwicklung technischer Produkte sind in der Konstruktionsmethodik entwickelt und evaluiert worden. Je nach Autor und Fokus der Betrachtung sind diese Modelle unterschiedlich detailliert aufgelöst.

Vorgehensmodelle zur Produkt- und Systemgestaltung

Für das Vorgehen zur Entwicklung technischer Produkte und Systeme existieren zahlreiche Modelle in der Konstruktionsmethodik, um einen zielgerichtete Ablauf der Produkt- und Systemgestaltung zu ermöglichen und sicherzustellen [EHRENSPIEL 2007, S. 302 ff.; VDI 1993; BRENDAN et al. 2005]. Die einzelnen Vorgehensschritte können wiederum in Entwicklungsphasen zusammengefasst werden, die inhaltlich aufeinander aufbauen, sich aber zeitlich überlappen können [PAHL et al. 2005, S. 170 ff.]. Die Planungsphase beinhaltet das Klären und Zusammenstellen der Anforderungen und Ziele. Anschließend wird das System in seinem Konzept definiert (Konzipieren). Dies umfasst im Schwerpunkt die Festlegung der Funktionen in Umfang und Struktur und die Suche nach prinzipiellen Lösungen (auch Prinziplösungen genannt), die sich aus Lösungsprinzipien und deren Kombination ergeben. Diese prinzipiellen Lösungen sind weiterhin zu detaillieren, indem das System in Module gegliedert und anschließend detailliert und gestaltet wird (Entwerfen- und Ausarbeitungsphase).

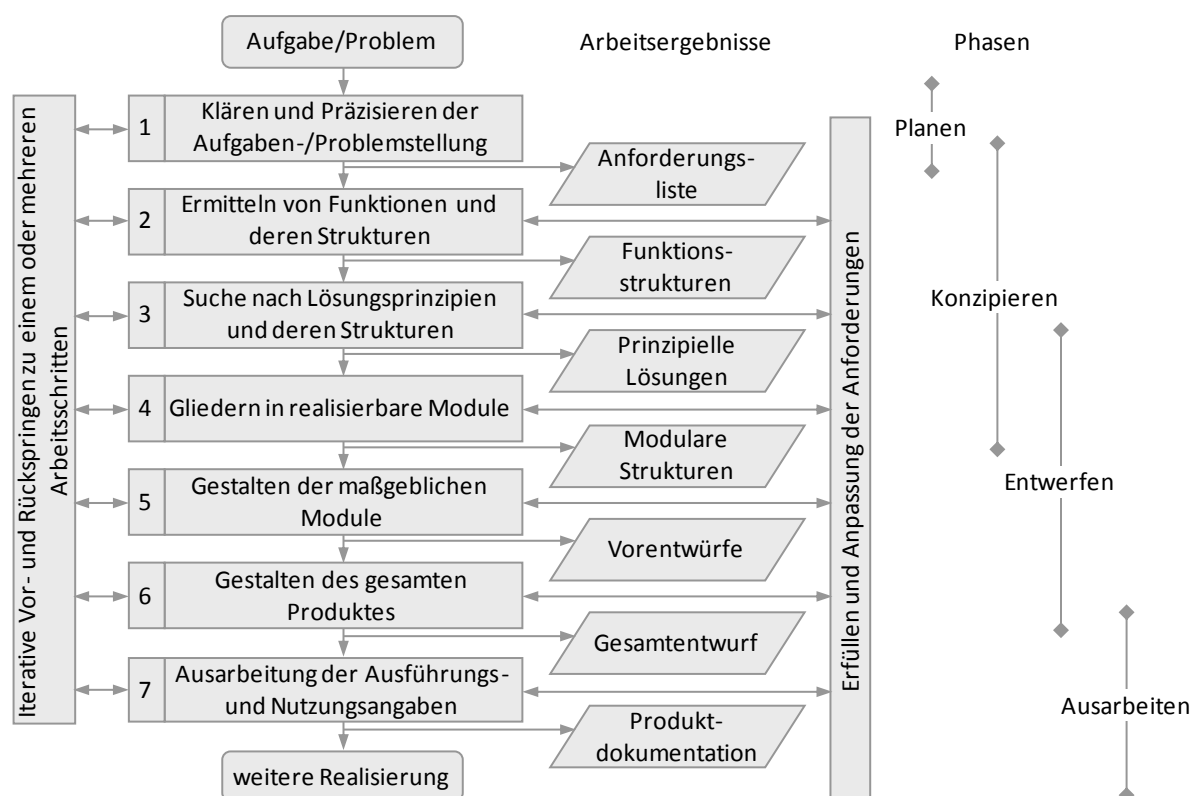


Abb. 2-2: Vorgehensmodell zur Entwicklung von technischen Produkten nach VDI-Richtlinie 2221 [VDI 1993]

Ein ähnlicher Aufbau zur Systemgestaltung wird auch im Systems Engineering beschrieben und vorgeschlagen [HABERFELLNER et al. 1992, S. 29-76]. Hier ist insbesondere die Gliede-

rung der Systemgestaltung in Phasen mit dem oben beschriebenen Vorgehen vergleichbar [HABERFELLNER et al. 1992, S.38].

Produktentwicklung im Axiomatic Design nach Suh

Das *Axiomatic Design* ist eine Entwurfsmethode technischer Systeme, die auf der mathematischen Verknüpfung und Zuordnung von verschiedenen Domänen basiert. Dabei wird zwischen einer jeweiligen Zieldomäne (den Anforderungen) und der Lösungsdomäne (den konkreten Problemlösungen) unterschieden. Jede Domäne ist strikt von der anderen getrennt und stellt einen eigenen Entwurfsbereich eines technischen Systems dar. Die Zuordnung zwischen den einzelnen Domänen erfolgt über mathematische Ansätze (Restriktionen, Axiome und Verknüpfung über Matrizen). Der Entwicklungsprozess durchläuft dabei schrittweise die einzelnen Zuordnungsschritte zwischen den Domänen und konkretisiert so das technische System. Ausgehend von den Kundenanforderungen in der Kundendomäne werden die funktionalen Anforderungen (Funktionale Domäne) zugeordnet. Diesen funktionalen Anforderungen wiederum werden in der physischen Domäne Designparameter zugeordnet. Diese Zuordnung beschreibt damit den Übergang von der funktional-konzeptionellen Ebene hin zur physischen Ausgestaltung des Systems. In der Prozessdomäne werden schließlich die Variablen festgelegt, die für die Herstellung des Entwurfs notwendig sind. Ähnlich den bereits dargestellten Ansätzen wird ein technisches System auf verschiedenen Konkretisierungsstufen definiert. Ausgehend von den Kundenanforderungen wird ein Funktionskonzept entwickelt, das wiederum in der physischen Domäne weiter konkretisiert wird [SUH 2001].

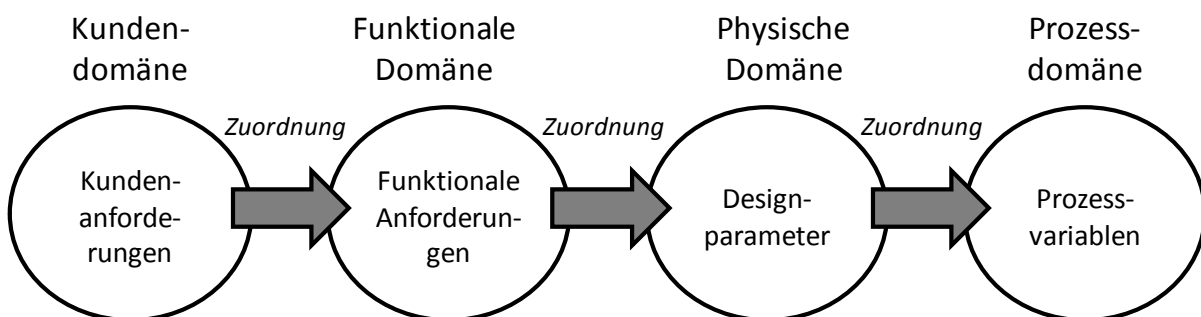


Abb. 2-3: Domänen und Vorgehen zur Gestaltung technischer Systeme im Axiomatic Design nach SUH (2001, S. 11)

Gemeinsamkeiten der Vorgehensmodelle

Die dargestellten Vorgehensmodelle in Produktentwicklung und im Systems Engineering weisen dabei wesentliche Gemeinsamkeiten und ähnliche Beschreibungen des Vorgehens auf. So ist allen Modellen das Vorgehen vom Abstrakten zum Konkreten gemeinsam. Der erste Arbeitsschritt ist die Klärung und Erfassung des Zieles bzw. die Klärung der Aufgabenstellung, die von der späteren Lösung und Realisierung noch weitgehend unabhängig ist. Die Lösungssuche stellt hier keinen inhaltlichen Anteil dar. Anschließend wird das System auf funktionaler Ebene beschrieben und entwickelt. Dabei stellt die Beschreibung des Systems aus funktionaler Sicht auch eine Zerlegung der Aufgabe in handhabbare Einzelfunktion bereit, die dann anschließend als Teilaufgabenstellungen bearbeitet werden können. Die funktionale

Beschreibung ist dann der Ausgangspunkt für die Suche nach Prinziplösungen, die die angestrebte Zielerreichung ermöglichen. Diese Prinziplösungen werden weiterhin detailliert, so dass nach Abschluss der Entwicklungstätigkeit eine vollständige Dokumentation des Produktes vorliegt.

Bei der Betrachtung des Vorgehens zeigt sich insbesondere, dass das schrittweise Vorgehen kein starres und sequentielles Vorgehen ist, sondern sich die einzelnen Phasen überlappen sowie ein iteratives Bearbeiten notwendig ist. Die Produktentwicklung kann keinem starren Muster folgen, vielmehr ist das Vorgehen gekennzeichnet von Vor- und Rücksprüngen.

2.2.2 Vorgehensmodelle zur Problemlösung

Neben den dargestellten allgemeinen Vorgehensmodellen zur Entwicklung technischer Produkte und Systeme stellen Vorgehen und Methoden zur Problemlösung einen weiteren zentralen Aspekt der Produktentwicklungsmethodik und des Systems Engineering dar. Während die oben dargestellten Modelle auf Makro-Ebene die Produktentwicklung beschreiben, ist das Vorgehen zur Lösung von Problemen als Mikro-Ebene zu sehen, die in allen Phasen der Produktentwicklung von großer Bedeutung ist [LINDEMANN 2007, S. 37-39; HABERFELLNER et al. 1992, S. 29].

Begriffsdefinition – Abgrenzung Problem und Aufgabe

Probleme treten vielmehr in vielfältigster Hinsicht und in allen Produktlebensphasen und Konkretisierungsstufen auf. In Abb. 2-4 ist die Abgrenzung zwischen einer Aufgabe und einem Problem dargestellt. Bei einer Aufgabe sind die Mittel, um die Aufgabe zu lösen, bekannt und verfügbar sowie der Lösungsraum klar begrenzt; ein Problem ist dadurch gekennzeichnet, dass entweder die Mittel nicht bekannt oder verfügbar sind oder das Ziel unklar ist.

Ziele, Restriktionen Mittel (Wissen, Können, Sachmittel)	klar (Lösungsfreiraum klar begrenzt)	unklar (Lösungsfreiraum unklar, Grenzen schwer erkennbar)
ausreichend bekannt und verfügbar	I. Aufgabe Einfache Konstruktion nach vorgegebenem Muster	III. Zielproblem Anforderungen für das Produkt können zunächst nicht ermittelt werden.
nicht ausreichend bekannt und verfügbar	II. Mittelproblem Konstruktion bei sich widersprechenden Zielen und zu engen Lösungsfreiräumen, komplexe Optimierung	IV. Ziel- und Mittelproblem Anforderungen und Lösungen unklar

Abb. 2-4: Unterscheidung von Aufgabe und Problem [EHRENSPIEL 2007, S. 58]

Ein Problem ist außerdem dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Lösung und dem Problem ein Hindernis besteht [PAHL et al. 2005, S. 60]. Im Rahmen der Lösungssuche nach bekannten und bewährten Lösungen ist dabei meist ein Mittelproblem angesprochen: es wird bei bekannten Zielen nach Mitteln gesucht, um die technische Aufgabenstellung zu lösen.

Vorgehen und Methoden zur Problemlösung

Die bekannten Vorgehen und Modelle zur Problemlösung bauen im Wesentlichen auf folgenden drei Schritten auf, die oft auch als Mikrologik bezeichnet werden [HABERFELLNER et al. 1992, S. 47 ff.; EHRENSPIEL 2007, S. 86 ff.]:

- **Schritt 1:** Zielsuche bzw. Zielkonkretisierung – es wird das Problem spezifiziert und das Ziel der Problemlösung konkretisiert.
- **Schritt 2:** Lösungssuche – um das Problem zu lösen werden Lösungen gesucht. Hier steht die Suche nach einer breiten Lösungsvielfalt im Vordergrund, die entweder durch das Generieren neuer Lösungen oder durch das Finden bekannter Lösungen erreicht wird.
- **Schritt 3:** Auswahl – die breite Lösungsvielfalt ist zu bewerten und geeignete Lösungen sind auszuwählen.

Diesen Grundsritten liegt auch das Münchener Vorgehensmodell zur Problemlösung zu Grunde [LINDEMANN 2007, S. 45 ff]. Es detailliert die 3 Schritte in insgesamt 7 Schritte, wobei diese Schritte nicht streng nacheinander erfolgen, sondern an die jeweilige Problemsituation angepasst werden können. Dadurch kommt das Vorgehensmodell den Anforderungen und Beobachtungen aus der Praxis nach, in der die Schritte zur Problemlösung häufig auch iterativ und sprunghaft durchlaufen werden (siehe Abb. 2-5).

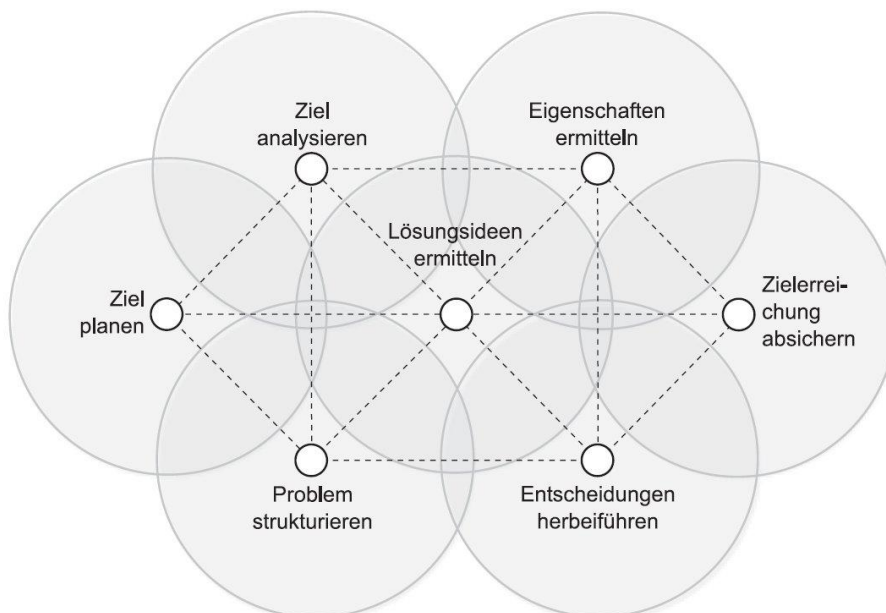


Abb. 2-5: Münchener Vorgehensmodell zur Problemlösung [LINDEMANN 2007, S. 46]

Für den Schritt der Suche nach Lösungen ist die Abstraktion von entscheidender Bedeutung: das Problem ist auf einer abstrakten Ebene zu beschreiben, anschließend können Lösungen identifiziert werden, die auf das Problem angewandt werden und so eine Lösung ermöglichen. Dadurch wird es möglich, Denkbarrieren zu überwinden und neue Lösungen zu finden. Dieses Prinzip liegt auch rechnerbasierten Systemen zu Grunde, die eine Problemlösung errei-

chen oder unterstützen sollen [KLIR & ELIAS 2003]. Um die Problemlösung zu unterstützen stellen Methoden geeignete Werkzeuge bereit. Dabei kommen Methoden in allen Schritten der Problemlösung zum Einsatz. So werden Funktionsmodelle als abstrakte Beschreibungsmodelle eingesetzt, um Denkfixierungen zu lösen und das Problem und das Ziel auf abstrakter Ebene zu beschreiben [PAHL et al. 2005, S. 61-63]. Die eigentliche Lösungssuche kann mit intuitiven Methoden (z.B. Kreativitätstechniken wie Brainstorming, Synektik etc.) unterstützt werden. Auf systematischer Ebene werden Lösungssammlungen genutzt, die die Verwendung bestehender Lösungsprinzipien für die Aufgabenstellung ermöglichen. Die gezielte Nutzung von Analogieschlüssen aus anderen Disziplinen macht sich beispielsweise die Bionik zu Nutze; hier werden biologische Systeme gezielt untersucht und deren Phänomene auf technische Nutzung übertragen [GRAMANN 2004].

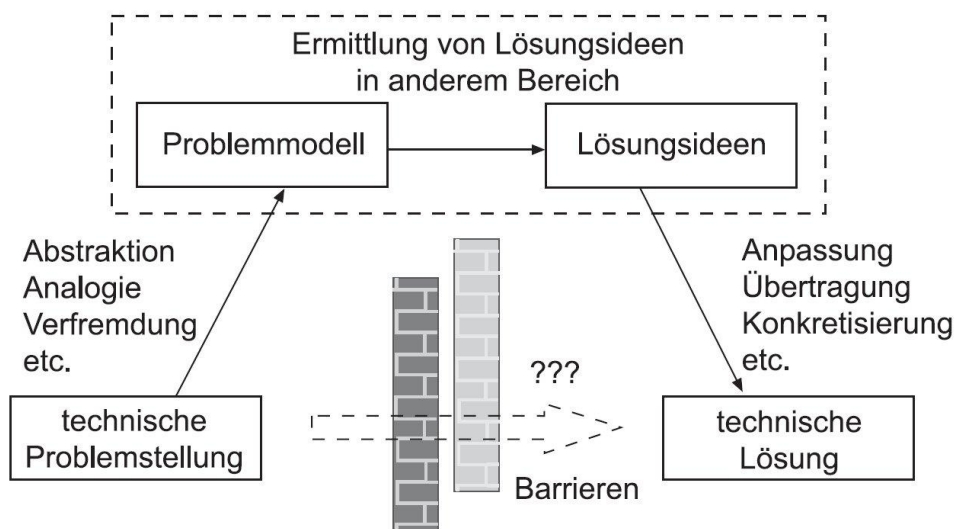


Abb. 2-6: Genereller Ansatz zur Problemlösung [LINDEMANN 2007, S. 29]

2.2.3 Systemdenken und Produktmodelle

Neben den Vorgehensmodellen zur Produktentwicklung und Problemlösung sind technische Systeme und deren Beschreibung als Gegenstand und Objekt der Lösungssuche zu betrachten. Das Systemdenken stellt hierzu für die Darstellung und Modellierung von technischen Systemen die Grundlage bereit.

Systemdenken als Grundlage zur Betrachtung von Systemen

Das Systemdenken als Teildisziplin des Systems Engineering stellt grundlegende Modelle zur Beschreibung und Betrachtung technischer Systeme bereit. Zu den wesentlichen Merkmalen eines Systems zählen nach HABERFELLNER et al. (1992, S. 4-26) die Elemente (Bausteine) des Systems, die durch Beziehungen miteinander verbunden sind. Ein System ist gegenüber seiner Umwelt über die Systemgrenze abgrenzbar und steht mit dieser ebenfalls in Beziehung. Eine der wichtigsten Betrachtungsweisen im Systemdenken stellt die Betrachtung eines Systems als Black Box dar, die eine wirkungsorientierte Betrachtung ermöglicht: die Überfüh-

zung eines Inputs in einen Output und damit die Übertragungsfunktion von Eingangsgrößen in Ausgangsgrößen.

Aus systemtechnischer Sicht lassen sich Systeme dabei in Sachsysteme, Handlungssysteme und Zielsysteme unterscheiden [ROPOHL 1975, S. 32-33]: Sachsysteme sind technische Gebilde, z.B. Maschinen, Geräte, Apparate, Anlagen, die den Gegenstand von Ingenieurtätigkeiten darstellen. Die Sachsysteme stellen dabei das eigentliche Objekt der Systemtechnik dar, sie werden auch als technische Systeme bezeichnet. Sachsysteme sind gekennzeichnet von ihrer Zweckorientierung, von ihrer Struktur und aus der Möglichkeit zur hierarchischen Strukturierung von Sachsystemen [ROPOHL 1975, S. 34-44]. Handlungssysteme sind diejenigen Systeme, in denen sich die Entwicklung und Gestaltung von Sachsystemen abspielt, also die Organisationen, die Maßnahmen und Einrichtungen technischer Arbeit ermöglichen (z.B. Unternehmen). Handlungssysteme stellen damit das Subjekt in der Systemtechnik dar [ROPOHL 1975, S. 45]. Unter einem Zielsystem ist das System zu verstehen, nach dem der Ingenieur oder Entwickler seine Handlungen ausrichtet, d.h. die Vorgaben aus der Umgebung, aber auch aus dem Handlungssystem.

Eine weitere wichtige Unterscheidung von Systemen stellt die Abgrenzung von Prozessen und Maschinensystemen dar [HUBKA 1976, S. 9-10]. Ein Maschinensystem wirkt auf den technischen Prozess derart ein, dass die gewünschte Transformation des Eingangs in den Ausgang durchgeführt werden kann (siehe Abb. 2-7). Der technische Prozess wird deshalb auch als Transformationsprozess bezeichnet, der den Gegenstand der Transformation (Operand) von einem Zustand 1 in einen Zustand 2 überführt. Der technische Prozess wiederum kann in einzelne Teilprozesse untergliedert sein, die in verschiedenen logischen Verschaltungen miteinander in Beziehung stehen. Die auf diesen Prozess einwirkenden Faktoren werden als Operatoren bezeichnet, sie wirken auf den Prozess ein. Neben der beabsichtigten Transformation des Operanden aus dem Zustand 1 in den Zustand 2 ist die Transformation eines Nebeninputs in einen Nebenoutput möglich.

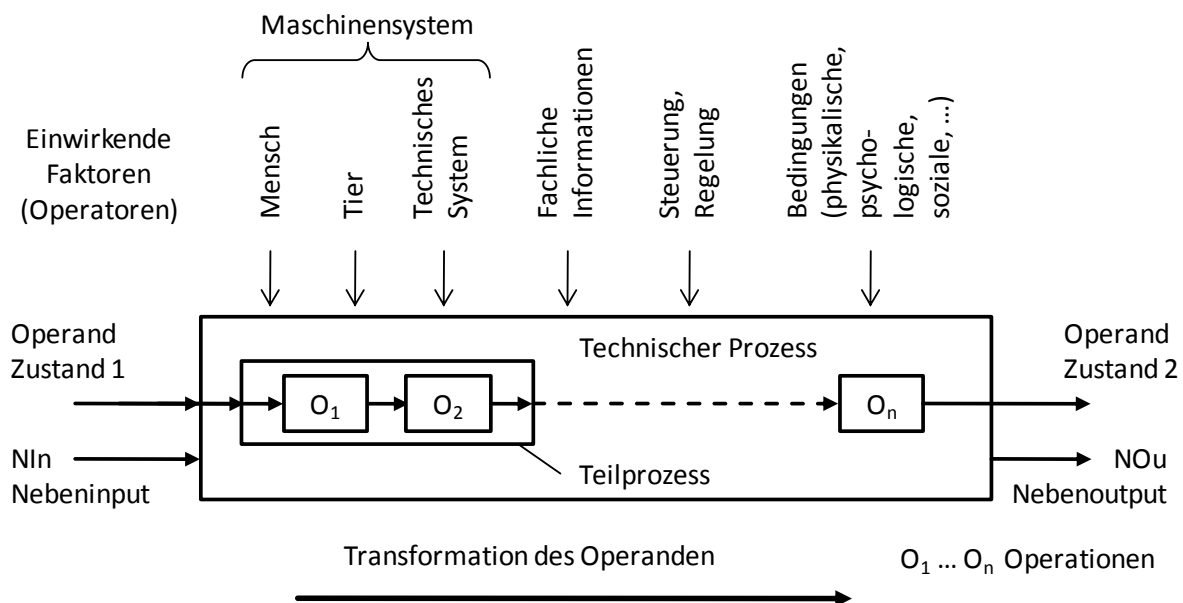


Abb. 2-7 Abgrenzung eines technischen Systems gegenüber einem technischen Prozess nach HUBKA (1976, S. 25)

Die hier betrachteten Systeme *Mensch*, *Tier* und *Technisches System* wirken auf den Transformationsprozess ein und werden deshalb auch als Wirksysteme bezeichnet, die auf ein Objekt einwirken. Neben den Wirksystemen sind auch fachliche Informationen, die Steuerung und Regelung sowie weitere Bedingungen (physikalische, psychologische, soziale etc.) als Einflussgrößen auf einen Prozess zu sehen. Bei der Lösungssuche werden nun die technischen Systeme gesucht, die auf einen technischen Prozess entsprechend einwirken können und damit die Überführung des Inputs in den Output ermöglichen.

Beschreibung technischer Systeme über Merkmale und Eigenschaften

Zur Beschreibung dieser technischen Systeme sind deren Eigenschaften zu betrachten. Eine Eigenschaft ist dabei definiert als die Beschreibung eines Systems, die sich aus einem Merkmal und einer Ausprägung zusammensetzt. Dabei kann eine solche Systembeschreibung nie vollständig erfolgen, sie kann aber für den Betrachtungszweck ausreichend sein.

Die für die Beschreibung technischer Systeme relevanten Merkmale lassen sich dabei in folgende Hauptgruppen unterscheiden [PATZAK 1982, S. 33; DIN 4000]:

- **Beschaffenheitsmerkmale – Zustandseigenschaften (Beschaffenheit):** „Wie ist das System?“ – originäre, für die weiteren Betrachtungen elementare Systemeigenschaften. Hierzu zählen die geometrischen, kinematischen, mechanischen, stofflich-energetischen und organisatorischen Eigenschaften.
- **Funktionsmerkmale – Wirkeigenschaften (Funktion):** „Welche Wirkung hat das System?“ – die auf den elementaren Systemeigenschaften aufbauenden Eigenschaften des Übertragungspotenzials eines Systems (Überführung des Inputs in den Output).
- **Relationsmerkmale – Verhaltenseigenschaften (Verhalten):** „Wie verhält sich das System?“ – auf den Eigenschaften der Beschaffenheit und der Funktion aufbauende, zusammengesetzte Eigenschaften der Auseinandersetzung des betrachteten Systems mit seiner jeweiligen Umwelt.

Die einzelnen Hauptgruppen an Merkmalen können weiter unterteilt werden. Die folgende Tabelle (Tab. 2-1) gibt eine Übersicht über die Merkmale mit entsprechenden Beispielen:

<i>Eigenschaftskat.</i>	<i>Erläuterungen</i>	<i>Merkmale (mit Beispielen)</i>
<i>Zustandseigenschaften /Beschaffenheit (originäre Eigenschaften):</i>		
Geometrische Eigenschaft	Topologische Beschaffenheit	Abmessungen (Länge, Flächen, Volumina, Winkel), Gestalt (Symmetrie, Toleranzen), Oberflächenbeschaffenheit
Kinematische Eigenschaft	Bewegungsgeometrische Beschaffenheit	Ort, Richtung, Größe, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Umdrehungszahl, Häufigkeit, Regelmäßigkeit, Genauigkeit
Mechanische Eigenschaft	Statische/dynamische Beschaffenheit	Masse, Kräfte, Gewichte, Trägheitsmomente, Festigkeit, Steifigkeit, Eigenfrequenzen
Stofflich-Energetische Eigensch.	Physikalisch/chemische Beschaffenheit	Optische, akustische, thermische, elektromagnetische und physikalisch/chemische Eigenschaften
Organisatorische Eigenschaft	Strukturelle Beschaffenheit	Struktur: Beziehungen, Anzahl, Anordnung, Aufbau, Reihenfolge, Modularisierung

Eigenschaftskat.	Erläuterungen	Merkmale (mit Beispielen)
<i>Funktionseigenschaften</i>		
Übertragungsfähigkeit Input → Output von Materie, Energie, Information	Aufnehmen Transportieren Kombinieren/Trennen Umformen Wandeln Kreieren/Vernichten Bewahren Abgeben	<u>Funktionsmerkmale – ERWÜNSCHT!</u> Beschreibung des Outputs und des Inputs und deren zeitlichen Abläufen; Kriterien: Art, Zustände, Mengen, Ort, Zeit, Häufigkeit, Beschränkungen, Genauigkeit, Kapazität, Wirkungsgrad, Automatisierung, ... <u>Unerwünschte Wirkungen/Bedingungen (Nebenoutputs):</u> Materiell: Stoffe, Gase, Dämpfe, Stäube (Abfallprodukte) Energetisch: Lärm, Vibrationen, Licht, Wärme, ... Informationell: diverse unerwünschte Belästigungen
<i>Verhaltenseigenschaften:</i>		
Technisches Nutzungsverhalten	Einsatzverhalten	Empfindlichkeit, Belastbarkeit, Leistungsfähigkeit etc.
	Beschaffungsverhalten	Herstellbarkeit, Fertigungseignung, Implementierbarkeit, etc.
	Langzeitverhalten	Widerstandsfähigkeit, Instandhaltbarkeit, etc.
Anthropo-Technisches Verh. (Mensch-Mittel-Beziehung)	Handhabungsverhalten	Anwendbarkeit, Handhabbarkeit, Sinnfälligkeit etc.
	Schädigungs- und Beeinträchtigerungsverhalten	Gefährlichkeit, Bedrohlichkeit, psychisch-physische Belastung des Verwenders etc.
	Förderlichkeitsverhalten	Psychisch-physische Förderlichkeit für den Verwender etc.
Sozio-Ökonomisches Verh. (Gesellschaft-Mittel-Beziehung)	Gesetzes- und Normverh.	Gesetzeskonformität, Normgerechtigkeit etc.
	Bedeutungs- und Geltungsverhalten	Syntaktische Bedeutung (Rhythmus etc.), ästhetische Wirkung, Image, Geltung etc.
	Nutzen-/Kostenverhalten	Preis, Ertrag, Beschaffungskosten etc.

Tab. 2-1: Strukturierung von Systemmerkmalen nach PATZAK (1982, S. 36-37)

Ein weiteres Kriterium zur Strukturierung von Systemmerkmalen stellt deren Beeinflussbarkeit im Entwicklungsprozess dar. Danach können die Merkmale und Eigenschaften in elementare Konstruktionseigenschaften und in innere und äußere Eigenschaften eingeteilt werden. Die elementaren Konstruktionseigenschaften sind die Eigenschaften, die der Entwickler direkt beeinflussen kann; er legt beispielsweise Abmessungen, Toleranzen und Material eines Bauteils fest. Daraus ergeben sich dann die inneren Eigenschaften wie Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit. Im Zusammenspiel mit der Umwelt ergeben sich so die äußeren Eigenschaften wie beispielsweise die Herstellkosten [HUBKA & EDER 1988, S. 137].

Aus konstruktionsmethodischer Sicht beschreiben jedoch auch die Anforderungen ein technisches System, wenn auch auf sehr abstrakter Ebene. Es können also auch Anforderungen als Modell gesehen werden, das die Eigenschaften eines Systems beschreibt. So können die Beschreibungsmerkmale von Systemen beispielsweise auch nach den Hauptmerkmalen zur Anforderungsklärung strukturiert werden [PAHL et al. 2005, S. 194].

Produkt- und Systemmodelle

Um Systeme zu beschreiben werden auf unterschiedlichen Konkretisierungsstufen eines Systems Modelle verwendet. Unter einem Modell wird dabei eine Repräsentation oder ein Abbild

der Realität verstanden, das die für einen spezifischen Zweck notwendigen Informationen beinhaltet [GRABOWSKI et al. 1993, S. 3-5].

Neben den Modellen zum allgemeinen Vorgehen kann die Produktentwicklung und im Speziellen das Konstruieren auch als „Modellraum des Konstruierens“ beschrieben werden [RUDE 1998, S. 45-46]. Eine mögliche Gliederung von Produktmodellen kann an Hand der Konkretisierungsstufen eines Systems oder Produkts erfolgen [PONN & LINDEMANN 2008]. Dabei spannt die Produktentwicklung die Dimensionen Konkretisierungsgrad, Variationsgrad und Detaillierungsgrad auf. PONN & LINDEMANN (2008) nutzen diese Betrachtung und ordnen die Schritte bei der Produktgestaltung im sog. Münchener Produktkonkretisierungsmodell ein. Dabei besteht dieses Modell aus 3 Ebenen der Produktkonkretisierung: Funktionsebene, Wirkmodellebene und Baumodellebene (siehe Abb. 2-8). Die Navigation im Modellraum erfolgt in Analogie zu RUDE (1998) in den Richtungen Abstrahieren vs. Konkretisieren, Zerlegen vs. Zusammenfügen und Einschränken vs. Variieren der Lösungsmenge.

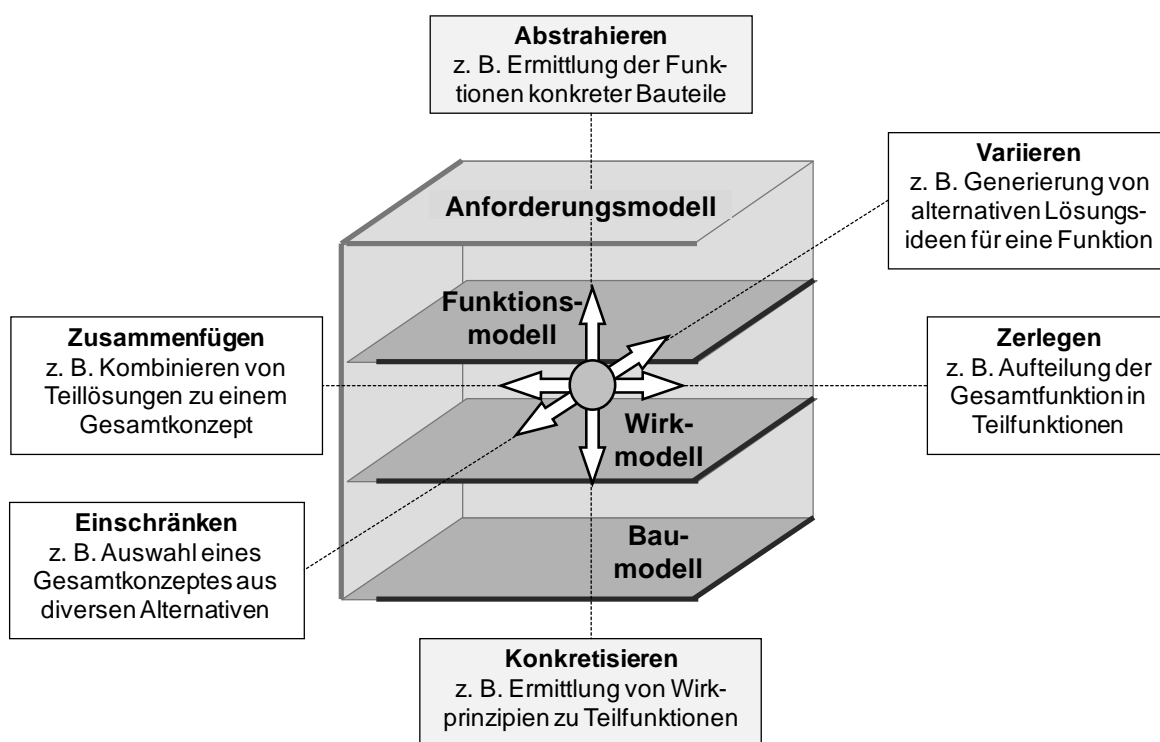


Abb. 2-8: Vorgehensmöglichkeiten in der Produktentwicklung [nach PONN & LINDEMANN 2008, S. 25]

Die Modelle auf den unterschiedlichen Ebenen lassen sich dabei folgendermaßen abgrenzen [PONN & LINDEMANN 2008, S. 24 ff.]: Das Anforderungsmodell ist dabei nicht als Ebene dargestellt, sondern als Hüllkurve des Würfels, da die Anforderungen sich auf die verschiedenen Ebenen beziehen und während der gesamten Produktkonkretisierung von Bedeutung sind. Auf der Funktionsmodellebene wird das Produkt als Funktionsmodell beschrieben. Die Wirkmodellebene beschreibt das System in seinen Wirkprinzipien und Wirkstrukturen (auch Wirkflächen, Wirkanordnungen etc.) und repräsentiert damit die prinzipielle Lösung einer technischen Aufgabenstellung. Die Vorsilbe „Wirk-“ drückt dabei die Funktionsrelevanz der Festlegungen auf dieser Ebene aus [EHRENSPIEL 2007, S. 329]. Die Beschreibung eines Produktes als Wirkmodell wird auch als Prinzip der Lösung bezeichnet und enthält die physikali-

schen Effekte in Kombination mit den geometrischen und stofflichen Merkmalen, die das Prinzip der Lösung sichtbar werden lassen [PAHL et al. 2005, S. 52]. Lösungen auf Ebene des Wirkmodells werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Prinziplösungen bezeichnet. Die Baumodellebene umfasst schließlich das Produkt in seiner räumlichen Ausgestaltung. Nach PONN & LINDEMANN (2008, S. 146) wird ein Baumodell wie folgt definiert: „Das Baumodell bezeichnet die Darstellungsform oder Repräsentation eines technischen Produktes auf der Ebene konkreter Bauelemente, wie sie anschließend gefertigt und montiert werden. Bauelement wird hier als Überbegriff für die Bestandteile des Gesamtproduktes gebraucht, also für einzelne Bauteile, Baugruppen oder Module. Die Baustruktur beschreibt die Verknüpfung der einzelnen Bauelemente innerhalb des Gesamtproduktes. Im Baukonzept sind sowohl die Baustruktur des Produktes beschrieben, als auch die Gestalt der einzelnen Bauteile und Baugruppen sowie die Definition der Schnittstellen.“

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden im Fallbeispiel 1 Lösungen auf Ebene des Wirkmodells (Prinziplösungen) gesucht, im Fallbeispiel 2 Lösungen auf Baumodellebene, die von Unternehmen als den Anbietern von Lösungen bereitgestellt werden.

2.3 Funktionsorientierte Betrachtung von technischen Systemen

Auf abstrakter Ebene können Systeme über die Anforderungen und Funktionen beschrieben werden. Sollen nun Systeme im Rahmen der Problemlösung gesucht und gefunden werden, stellt die Abstraktion ein wesentliches Prinzip dar. Diese Abstraktion kann über eine Beschreibung der Funktionen des Systems erfolgen. Deshalb werden im Folgenden die aktuellen Ansätze zur Beschreibung technischer Systeme aus Funktionssicht zusammengefasst und gegenübergestellt.

2.3.1 Beschreibung von technischen Systemen und deren Anwendung

Technische Systeme werden aus Sicht der Systemtechnik dazu eingesetzt, um auf einen technischen Prozess einzuwirken (siehe Ausführungen in 2.2.3). Unter einem technischen Prozess wird dabei allgemein jeder Ablauf oder Prozess bezeichnet, in welchem technische Mittel verwendet werden [HUBKA 1973, S.17-31]. In der Regel ist dieser technische Prozess als die Anwendung anzusehen, in der das technische System wirkt bzw. auf die das technische System einwirkt. Das technische System (als Operator) besitzt auf den technischen Prozess eine Einwirkung. Diese Einwirkung wird über entsprechende technische Mittel auf einem definierten Weg erreicht. HUBKA (1973, S. 50ff) bezeichnet sie auch als Arbeitswirkung eines Systems, die die Funktion des Systems darstellt. Der technische Prozess führt den Operanden von einem Eingangszustand in einen Ausgangszustand über, was als Ziel der technischen Transformation anzusehen ist. Neben dem Ziel des Prozesses können sich aus den Transformationen auch weitere Folgen ergeben, die entsprechende Nebenoutputs generieren. In Abb. 2-9 sind der Zusammenhang zwischen einem technischem System, der Einwirkung auf den technischen Prozess sowie der technische Prozess als Transformationen eines Operanden schematisch dargestellt.

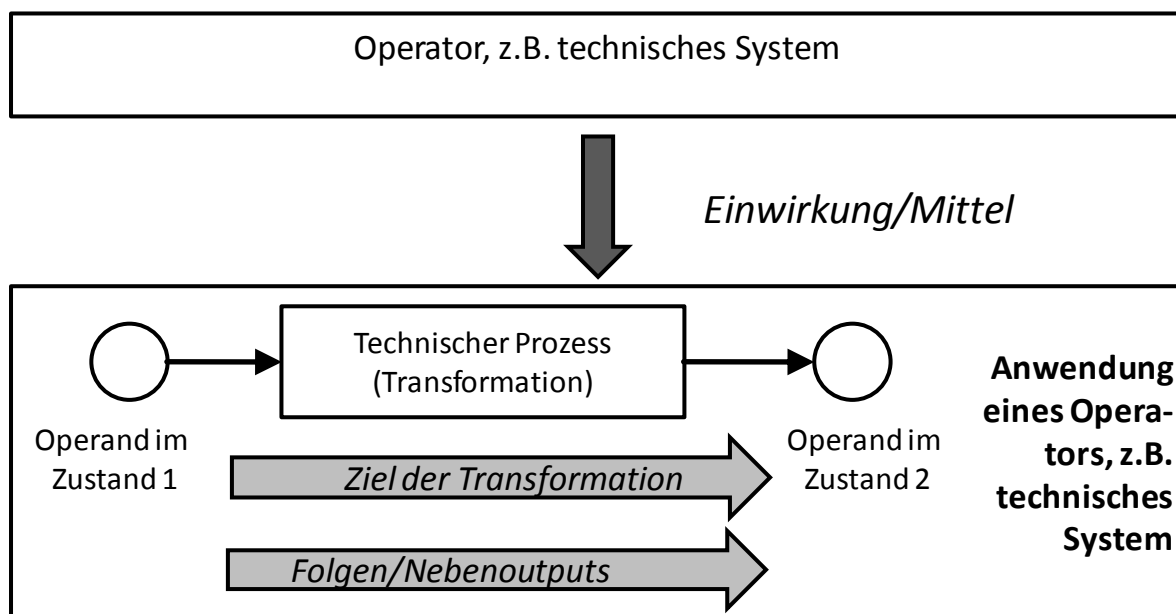


Abb. 2-9: Beschreibung eines technischen Systems im Zusammenspiel mit der Anwendung in Anlehnung an HUBKA (1973, S. 25)

Die *Trocknung von Stroh* stellt beispielsweise einen technischen Prozess dar. Ziel dieses Prozesses ist es, *feuchtes Stroh* in den Zustand des *trockenen Strohs* zu überführen. Dazu ist nun ein technisches System gesucht, das diese Einwirkung auf den Prozess erzeugt. Möglich wäre es, über eine *Heizung* den Operanden zu erwärmen, dadurch ein Verdampfen des Wassers zu erzwingen und so die *Trennung von Stroh und Feuchtigkeit* zu erzielen. Die *Heizung* stellt somit ein mögliches System dar, das über die Temperaturerhöhung (Mittel) eine Transformation erreicht. Folgen bzw. Nebenoutputs sind hier beispielsweise die *Erwärmung des Strohs*, die nicht Ziel der Transformation ist, sondern eine Folge der eingesetzten Mittel. Alternativ könnte z.B. die *Trocknung des Strohs* auch über *Zentrifugen* erfolgen. Hier ist dann eine *extreme Beschleunigung des Strohs* als Folge zu sehen. Soll also nun die Anwendung unabhängig von den technischen Mitteln beschrieben werden, ist die Unterscheidung zwischen Ziel, Mittel und Folgen der Einwirkung technischer Systeme entscheidend.

Noch abstraktere Ziele des technischen Prozesses könnten aber auch die *Verringerung des Transportgewichtes* oder *Lagerbarkeit gewährleisten* sein. Jedoch ist hier noch eine weitere Abstraktion vorzufinden, die über den in der Funktion vorgegebenen Kontext weit hinausgeht. Es wird jedoch klar, dass die Beschreibung der Anwendung entscheidenden Einfluss darauf hat, welche Abstraktion und welche Mittel zum Einsatz kommen können. Die Beschreibung technischer Systeme über deren Wirkung wird in der Konstruktionsmethodik oft als Funktion eines technischen Systems bezeichnet. Dementsprechend werden technische Systeme auch als Funktionsträger benannt, die über Funktionen und weitere Beschreibungselemente (z.B. Produkttopologie, Wirkzusammenhänge) modelliert werden können [ZWICKER 1998, S. 189 ff.].

2.3.2 Detaillierte Betrachtung zum Funktionsbegriff in der Technik

In zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten sind Ansätze und Beschreibungsformen von Funktionen betrachtet worden. Im Folgenden werden die für diese Arbeit wichtigen Aspekte untersucht.

Definition der technischen Funktion

Funktionen können genutzt werden, um folgende Fragestellungen an Produkte oder Dienstleistungen zu beantworten [AKIYAMA 1994, S. 26 ff.; HUBKA 1976, S. 11]: „Wozu existiert ein System“ oder „Warum existiert ein System, „Welchen Zweck erfüllt ein System“. Ziel der Analyse eines Systems aus Funktionssicht ist es, den teleologischen, d.h. zweckgebundenen Sinn zu erfassen. Funktionen beschreiben außerdem ein System im Idealfall lösungsneutral bzw. ohne die zugehörigen Instrumente oder Mittel, die zur Erfüllung der Funktion beitragen [DAENZER 1988, S. 44]. Funktionen treten ferner auf verschiedenen Abstraktionsstufen auf [HUBKA 1976, S. 11]. Die Verwendung von Funktionen zur Beantwortung der Frage „Wie funktioniert ein System“ ist in dieser Definition des Funktionsbegriffs nicht mit eingeschlossen [HUBKA 1976, S. 11].

Eine Funktion wird im Allgemeinen verbal über die Kombination aus einem Objekt und einem Verb beschrieben [EHRENSPIEL 2007, S. 398; AKIYAMA 1994, S. 55 ff.]. EHRENSPIEL (2007, S. 398) nutzt die Funktionsbetrachtung zur Beschreibung von Eigenschaftsänderungen. In Abb. 2-10 ist am Beispiel eines Montageroboters diese Betrachtung verdeutlicht. Das Umsatzprodukt eine Schraube, das aus dem Eingangszustand (Schraube auf Palette) in den Ausgangszustand (Schraube montiert) überführt wird. Diese Zustandsänderung wird durch den Funktionsträger (Montageroboter) bewirkt. Diese Ausführung ist analog zu den Definitionen von HUBKA (1973), wobei die Funktion hier gleichzeitig auch die Anwendung eines technischen Systems beschreibt (siehe 2.3.1).

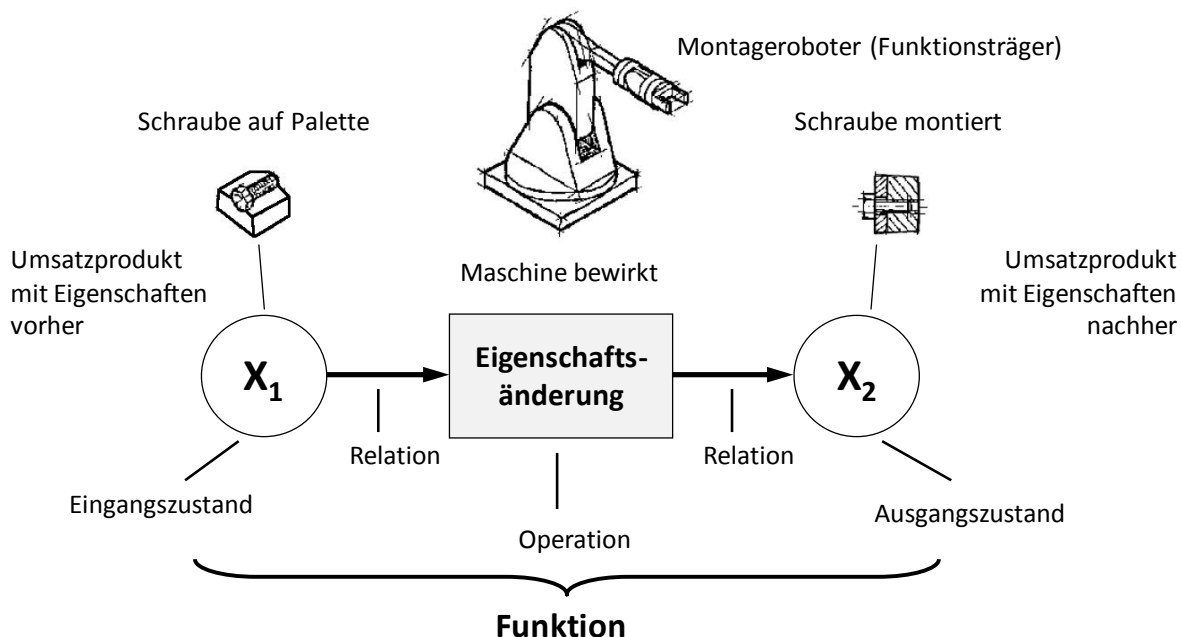


Abb. 2-10: Beschreibungsmodell für Funktionen [EHRENSPIEL 2007, S. 398]

Prinzipien zur Ermittlung von Funktionen

Um die Funktionen eines Systems zu ermitteln sind verschiedene Prinzipien von Bedeutung. So stellt die Abstraktion einen zentralen Aspekt dar [AKIYAMA 1994, S. 59]. Dabei kann die Funktion eines Systems auf verschiedenen Abstraktionsstufen beschrieben werden: das bereits dargestellte Beispiel des *Stroh Trocknen* kann auf abstrakter Ebene auch als *Stroh und Wasser Trennen* oder als *Zusammenhalt (zwischen Wasser und Stroh) Auflösen* beschrieben werden. Im Zusammenhang mit der abstrakten Beschreibung wird auch die lösungsneutrale Beschreibung eines Systems aus Funktionssicht genannt [LINDEMANN 2007, S. 117]. Darunter wird die Beschreibung eines Systems ohne Einschränkung oder Beschreibung des Lösungsweges verstanden. Diese Lösungsneutralität ist in der Praxis nur schwer fassbar und in der Regel nur auf sehr abstrakter Ebene möglich. In der Praxis (beispielsweise in zahlreichen technischen Dokumentationen, Katalogen etc.) werden die Funktionen nicht lösungsneutral beschrieben, das Mittel wird häufig berücksichtigt.

PONN & LINDEMANN (2008) führen weitere Prinzipien an, die bei der Betrachtung technischer Systeme aus Funktionssicht wichtig sind. Dazu zählen die Projektion (Sicht auf das System) und die Konzentration (Betrachtung der wesentlichen Aspekte eines Systems). Während die Projektion davon ausgeht, dass jede Systembetrachtung unter einem bestimmten Gesichtspunkt oder Blickwinkel erfolgt und dementsprechend die Funktionen gesehen werden müssen, wird unter der Konzentration die Fokussierung auf die wesentlichen Aspekte verstanden. Schließlich stellt die Zergliederung eines Systems ein weiteres Prinzip bei der Ermittlung von Funktionen sowie insbesondere der Funktionsstruktur eines Systems dar. Ein System wird dabei in die Teilfunktionen zergliedert, die dann in ihrer logischen Beziehung zueinander dargestellt werden. Diese Darstellung kann beispielsweise hierarchisch (z.B. Funktionsbaum) erfolgen oder nach dem entsprechenden logischen Ablauf der Funktionen (z.B. Umsatzorientiertes Funktionsmodell). Aus diesen Prinzipien zur Ermittlung von Funktionen ergeben sich unterschiedliche Funktionstypen. So können Funktionen nach verschiedenen Kriterien unterschieden werden:

- **Abstraktion:** eine Funktion kann auf sehr abstrakter Ebene beschrieben werden oder sich sehr konkret auf ein System beziehen. Diese Unterscheidung ist keine absolut mögliche Unterscheidung, sie muss jedoch bei der Ermittlung von Funktionen beachtet werden.
- **Zergliederung** (Hierarchieebene): eine Funktion kann sich hier auf das Gesamtsystem beziehen oder nur auf ein Teilsystem. Dementsprechend können Funktionen unterschieden werden in Gesamt- oder Teilfunktionen.
- **Konzentration:** Eine Funktion kann sich auf den Hauptzweck eines Systems beziehen oder auf eine untergeordnete Funktion. Daraus ergibt sich die Unterscheidung in Haupt- oder Nebenfunktionen.
- Aus **Sicht des Nutzers** (Projektion): Bei einer nutzerorientierten Betrachtung eines Systems können sich Gebrauchs- oder Geltungsfunktionen ergeben.
- Nach **Bedeutung** (Projektion): Eine Funktion kann für einen bestimmten Anwendungsfall nötig oder unnötig sein.

- Nach **Relation der Funktion** zu anderen Funktionen: eine Funktion steht immer in Relation zu den weiteren Systemfunktionen. Demensprechend können Funktionen in schädliche und nützliche Funktionen unterschieden werden (relationsorientierte Betrachtung).

Darstellung und Strukturierung von Funktionen im Systemzusammenhang

Die Funktionen eines Systems werden in der Regel nicht isoliert betrachtet [PONN & LINDEMANN 2008, S. 58 ff.]. Vielmehr beschreiben Funktionen in ihrem Zusammenhang ein System. Eine einfache Art der Vernetzung ist der Funktionsbaum, komplexe Darstellungsformen sind Funktionsnetze oder -modelle, die das Zusammenspiel der verschiedenen Funktionen eines Systems im Gesamtzusammenhang darstellen (z.B. Umsatzorientierte Funktionsmodelle, Relationsorientierte Funktionsmodelle). Dabei kommen je nach Darstellungsform unterschiedliche Verknüpfungsregeln zum Einsatz. Bei der relationsorientierten Funktionsmodellierung beispielsweise werden die Funktionen direkt miteinander verknüpft, bei der Umsatzorientierten Funktionsmodellierung geschieht dies über die Ein- und Ausgangszustände der Funktionen. Damit ergeben sich je nach gewählter Modellierungsart unterschiedliche Beschreibungselemente (Funktionselement und Verknüpfung), um aus Funktionsicht ein System beschreiben zu können.

2.3.3 Klassifizierungen und Strukturierung technischer Funktionen

Eine Möglichkeit zur Klassifizierung technischer Systeme besteht in der Einordnung der Systeme nach deren Funktion. Zur Klassifikation und Strukturierung technischer Funktionen existieren zahlreiche Ansätze, von denen im Folgenden die wichtigsten dargestellt werden. Dabei können Funktionen – aufbauend auf der grundsätzlichen Beschreibung über Objekt und Operation – sowohl nach den Objekten als auch nach den Operationen unterschieden werden.

Übersicht über verschiedene Klassifizierungsansätze für Funktionen

Bei der Klassifizierung nach Objekten der Funktion ist die Unterscheidung der Objekte in Stoff, Energie- oder Signalobjekte als allgemeingültig anzusehen (vgl. KOLLER & KASTRUP 1994; ROTH 1994; EHRENSPIEL 2007). Während die Unterscheidung nach Objekttyp recht eindeutig möglich ist, ist eine Klassifizierung nach Art der Operation deutlich vielfältiger. So werden die Operationen aus Sicht der Logik [RODENACKER 1976], aus Sicht des Ziels der Operation [BIRKHOFER 1980] oder aus einer bestimmten branchenspezifischen Unterscheidung geordnet [HESSE 2006]. Verschiedene Ansätze der konstruktionsmethodischen Forschung fokussieren die Untergliederung der möglichen Operationen in verschiedene Klassen. Die Unterscheidung von Funktionen nach dem Merkmal, das bearbeitet wird, stellt den Schwerpunkt der Betrachtung von BIRKHOFER (1980) dar und ist damit als alternativer Ansatz zur Strukturierung von Funktionen anzusehen.

Konstruktionsmethodische Strukturierung

Bei der Unterscheidung von Operationen aus Sicht der Konstruktionsmethodik kann die Einordnung im Wesentlichen ohne oder mit Betrachtung der Objekte erfolgen. Eine der ersten

Unterscheidungen nach den Operationen ist bei RODENACKER (1976, S. 43,53) zu finden. Er differenziert lediglich drei mögliche Ausprägungen von Operationen: Verknüpfen/Koppeln vs. Trennen/Hemmen vs. Führen/Leiten. In nachfolgenden Arbeiten wurde diese Abgrenzung der Operationen weiter detailliert (z.B. ROPOHL 1975, S. 36-41: Zustandsveränderung vs. -erhaltung; Wandlung, Transport, Speicherung), bei KOLLER & KASTRUP (1994) findet sich eine sehr detaillierte Unterscheidung mit Berücksichtigung der Objektart. Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die betrachteten Strukturierungsansätze für die Operationen technischer Funktionen. Die Strukturierung der Funktionen für Objekte im Daten- bzw. Informationsbereich wird dabei nicht näher betrachtet, da diese im Wesentlichen nicht physikalische Funktionen umfassen.

<i>EHRENSPIEL (2007); siehe Anhang Kap. 11.1.1</i>	<i>PAHL et al. (2005), siehe Anhang Kap. 11.1.2</i>	<i>KOLLER & KASTRUP (1994) (Informationsumsetzende Funktionen nicht betrachtet)</i>	
		<i>Energie</i>	<i>Stoff</i>
<i>Wandeln</i>	<i>Wandeln</i>	<i>Wandeln</i>	<i>Wandeln (Stoffeigenschaft hinzufügen/entfernen)</i>
<i>Ändern</i>	<i>Ändern</i>	<i>Vergrößern vs. Verkleinern</i>	<i>Vergrößern vs. Verkleinern</i>
		<i>Richtung ändern</i>	<i>(für Stoffe nicht definiert)</i>
<i>Leiten (Leiten vs. Isolieren)</i>	<i>Leiten</i>	<i>Leiten vs. Isolieren</i>	<i>Leiten vs. Isolieren</i>
<i>Vereinigen (Verbinden vs. Trennen)</i>	<i>Verknüpfen</i>	<i>(für Energie nicht definiert)</i>	<i>Fügen vs. Lösen</i>
		<i>Mischen vs. Trennen</i>	<i>Mischen vs. Trennen</i>
<i>Speichern</i>	<i>Speichern</i>	<i>Sammeln vs. Teilen</i>	<i>Sammeln vs. Teilen</i>
<i>(nicht definiert)</i>	<i>(nicht definiert)</i>	<i>Energie-Stoff-Verbindende Funktionen: Verbinden und Trennen</i>	

Tab. 2-2: Gegenüberstellung unterschiedlicher Strukturierungs- und Ordnungsprinzipien für Funktionen

Eine weiterhin sehr detaillierte Betrachtung stammt von HIRTZ et al. (2002, siehe Anhang Kap. 11.1.3). Die Objekte und Operationen werden hier in eine dreistufige Klassifizierung eingeordnet. Die Strukturierung der Objekte orientiert sich dabei an der Untergliederung nach Stoff, Objekt, Information. Die Unterteilung für die Operationen erfolgt auf erster Ebene nach den oben dargestellten Ansätzen. Darauf aufbauend werden die Operationen detailliert, so dass schließlich deutlich weiter spezifizierte technische Operationen in die Klassifizierung eingetragen werden.

Strukturierung der Funktionen nach Zielen der Operation

Während die dargestellten Ansätze zur Strukturierung der Funktion bzw. der Operationen im Fokus die Beschreibung der Funktion (was soll gemacht werden) eines technischen Systems haben, können die Funktionen auch nach dem Ziel der Handlung, die in der Funktion beschrieben wird, geordnet werden. Unter einem Ziel kann dabei die beabsichtigte Handlung an

einem Objekt bzw. an einer spezifischen Objekteigenschaft verstanden werden. Diese Betrachtungen führt BIRKHOFFER (1980) sehr ausführlich aus und beschreibt diese Unterscheidung in einem Zustandsmodell (siehe Abb. 2-11). Eine Funktion dient demnach dazu, eine oder mehrere Objekteigenschaften zu bearbeiten. Dabei kann eine Funktion mehrere Ziele besitzen (z.B. kann das *Schweißen* eingesetzt werden, einen *Zusammenhalt zu erzeugen* oder um eine *Oberfläche zu verändern*), ein Ziel wiederum kann von mehreren verschiedenen Funktionen erreicht werden (z.B. das Ziel, *die Form zu ändern*, kann über die verschiedenen Funktionen bzw. Handlungen *Umformen, Spanen, Trennen, Fügen* etc. realisiert werden).

Zu den theoretisch möglichen Objekteigenschaften zählen das Erzeugen einer vorher nicht vorhandenen Objekteigenschaft, das Auflösen einer vorhandenen Objekteigenschaft, das Erhalten einer Objekteigenschaft und das Ändern einer Objekteigenschaft. Die Merkmale, auf die diese Handlungen angewandt werden können, können dabei alle Objekteigenschaften betreffen – von den äußeren Systemeigenschaften wie Farbe bis hin zu den inneren Objekteigenschaften wie Härte. Zu den Merkmalen, die Birkhofer aufgreift, gehört eine Liste mit 21 Merkmalen, die sich hauptsächlich auf Beschaffenheitsmerkmale beziehen (siehe Anhang, Kap. 11.1.4). Dabei ist keine Hierarchie vorgegeben, die Merkmale beziehen sich ausschließlich auf die Unterscheidung, ob es ein oder mehrere Objekte betrifft.

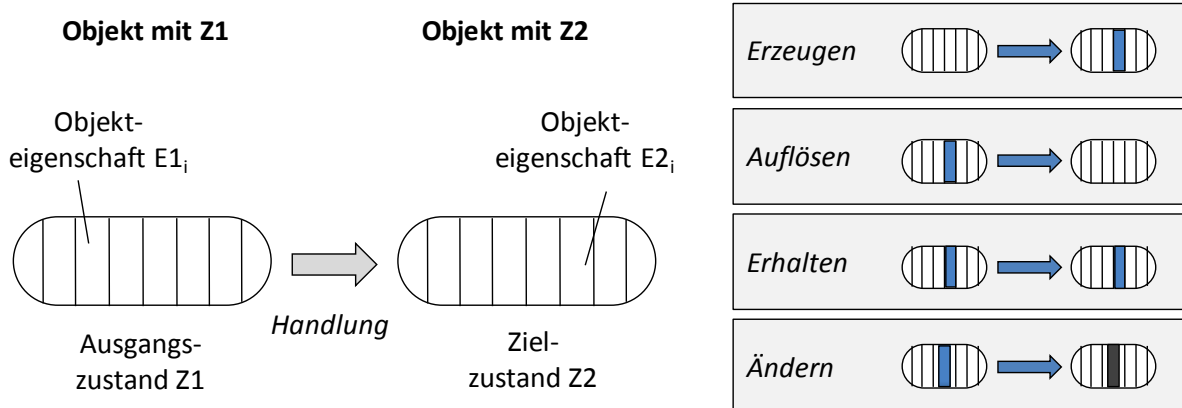


Abb. 2-11: Beschreibung der Ziele technischer Verben in einem Zustandsmodell nach BIRKHOFFER (1980)

Der wesentliche Unterschied bzw. die wesentliche Abgrenzung zur klassischen Strukturierung von Funktionen liegt dabei in der detaillierten Behandlung und Betrachtung der Objekteigenschaften – weniger auf einer Unterscheidung der Funktionen nach der Operationsart.

Branchenspezifische Strukturierungen

Neben den allgemeingültig für Funktionen in technischen Systemen ausgelegten Ansätzen werden die Funktionen in spezifischen Teilgebieten oft gesondert strukturiert. Dabei ist der Funktionsbegriff meist weniger stark auf eine Kombination aus Objekt und Operation gelegt, meist werden ausschließlich die Operationen in einen hierarchischen Zusammenhang gebracht. Für den im Bereich dieser Arbeit wichtigen Bereich der Handhabungstechnik ergibt sich eine Zusammenstellung der auftretenden Funktionen [Hesse 2006, S. 1], wie sie in Abb. 2-12 dargestellt ist. Diese Strukturierung ermöglicht auch die Einordnung technischer Systeme. So können die in der Fördertechnik eingesetzten technischen Systeme als Funktionsträger nach deren Funktion eingeteilt werden.

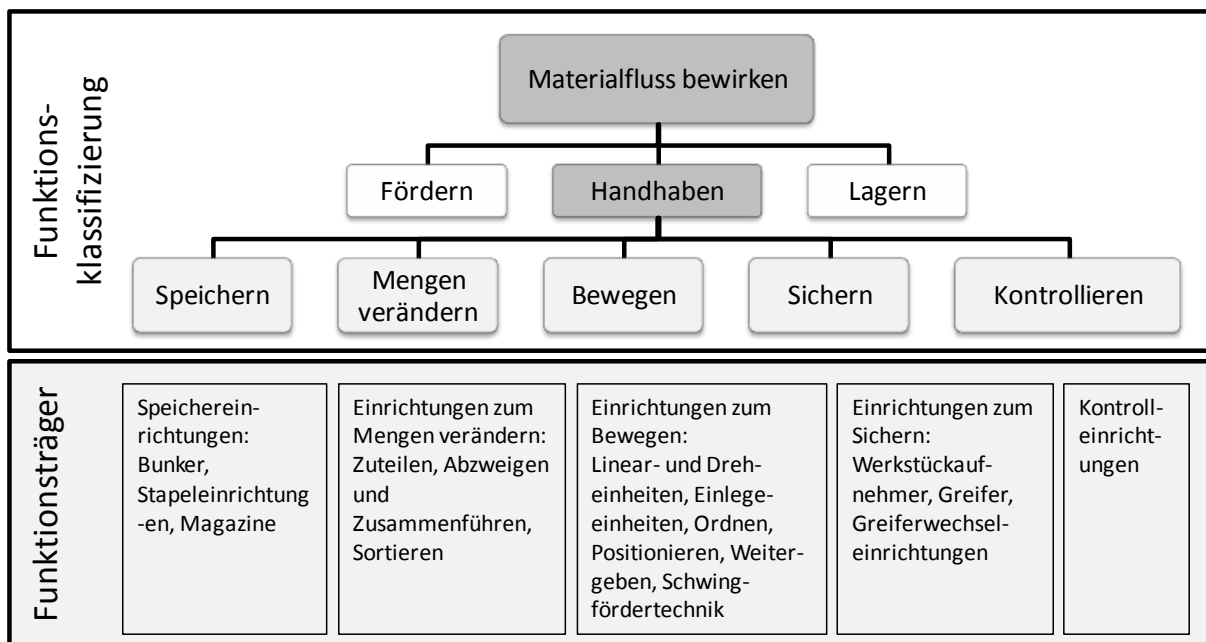


Abb. 2-12: Funktionsklassifizierung und Funktionsträger in der Fördertechnik nach HESSE (2006)

Einteilung technischer Verben nach sprachwissenschaftlichen Gesichtspunkten

Neben der dargestellten Einteilung aus inhaltlicher Sicht (Schwerpunkt Technik, Maschinen- und Anlagenbau) können Funktionen auch aus sprachwissenschaftlicher Sicht gegliedert werden. So können Verben beispielsweise danach unterschieden werden, ob sie absolut oder relativ sind. Absolute Verben erfordern keine Ergänzung (z.B. Er *schwimmt*, Er *raucht*), relative hingegen benötigen eine Ergänzung, damit ein sinnvoller Satz entsteht (z.B. Er *erwartet*, Er *legt*, ...) [HELBIG & SCHENKEL 1991, S. 12 ff.]. Eine detailliertere Unterscheidung liefert die Betrachtung der Verben nach deren Bedeutung. Umfangreiche Wörterbücher strukturieren Verben der deutschen Sprache in sogenannte Wortfelder, die in verschiedene Hierachiestufen unterteilt werden können. Diese Wortfelder können auf oberster Ebene (Makroebene) in die folgenden Verben unterteilt werden [SCHUMACHER 1986, S. 9-19]:

- Verben der allgemeinen Existenz (existieren, sich ereignen, entstehen, herstellen, ...)
- Verben der Relation und des geistigen Handelns (zusammenhängen mit, unterscheiden, vereinigen, tangieren, ...)
- Verben der Differenz (unterscheiden, sich ändern, verändern, verlängern, ...)
- sowie weitere 4 Felder.

Die Verbauswahl in diesen Wörterbüchern umfasst jedoch meist nur die Verben, die für Alltagssituationen notwendig sind [SCHUMACHER 1986, S. 7]. Eine Betrachtung spezifischer technischer Verben ist nicht vorhanden; es fehlen beispielsweise die Verben *verpacken*; *speichern*, *fördern* etc., wie sie als allgemeine Operationen in der Montagetechnik Verwendung finden (siehe Abb. 2-12).

2.4 Werkzeuge zur Lösungssuche

Um die Lösungssuche aus Funktions- und Anwendersicht zu unterstützen existieren zahlreiche Werkzeuge und Hilfsmittel. Je nach Problem und Aufgabenstellung können diese von einfachen Formblättern oder papierbasierten Listen bis hin zu komplexen Rechnerwerkzeugen reichen. Im folgenden Teilkapitel werden die zur Lösungssuche und Problemlösung relevanten Werkzeuge und Hilfsmittel kurz beschrieben und in die Produktentwicklung eingeordnet.

2.4.1 Übersicht über die betrachteten Werkzeuge

Werkzeuge und Hilfsmittel, die den Zugriff auf bestehende Lösungen ermöglichen, besitzen einen Informationsspeicher an Lösungen (Lösungsspeicher) und eine Zugriffslogik, die den Zugriff auf diese Lösungen ermöglicht (siehe Abb. 2-13). Der Lösungsspeicher ist von der Anzahl der Lösungen, von der inhaltlichen Beschreibung der Lösungen, von der Struktur und Ordnung der Lösungen und vom Konkretisierungsgrad der Lösungen gekennzeichnet. Die Zugriffslogik ermöglicht verschiedene Zugriffsmechanismen auf die Lösungen und kann beispielsweise die Abstraktion oder begriffliche Aspekte berücksichtigen.

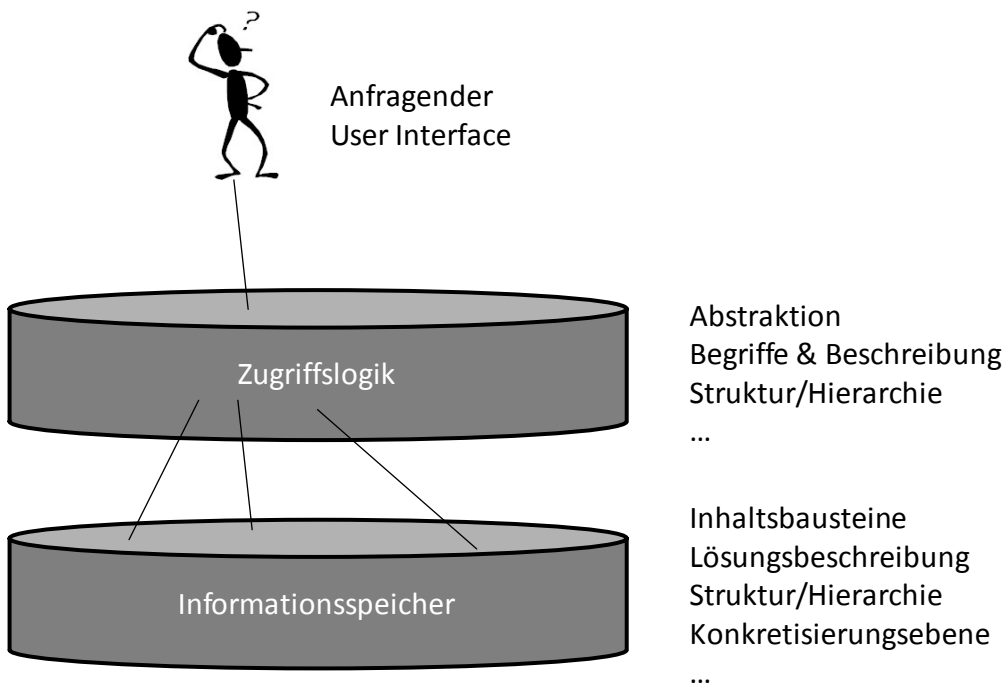


Abb. 2-13: Grundsätzlicher Aufbau der Werkzeuge zur Lösungssuche (Lösungssammlungen)

Diese Betrachtung ist analog zu den bekannten Konstruktionskatalogen, die durch folgende drei Aspekte gekennzeichnet und unterschieden werden [ROTH 1994, S. 1 ff.]:

- **Zugriffsteil:** dieser ermöglicht den Zugriff (die Logik), um geeignete Lösungen zu finden. Dieser Zugriff kann beispielsweise nach der allgemeinen Funktion erfolgen, die eine Lösung erfüllt. Dabei können im Rahmen einer Lösungssammlung verschiedene Zugriffsmechanismen eingesetzt werden.

- **Gliederungsteil:** stellt den Rahmen der Einordnung dar, in dem die Lösungen einsortiert werden. Diese Einordnung soll widerspruchsfrei möglich sein. Der Gliederungsteil kann dabei ein-, zwei- oder mehrdimensional ausgeführt sein. Dabei beschreibt jede Dimension einen Parameter, nach dem die Lösungen einsortiert werden.
- **Inhaltsteil:** er enthält die eigentliche Lösungssammlung, die verbal oder in Bilder gefasst sein kann. Sinnvollerweise befinden sich alle Lösungen auf einem ähnlichen Abstraktionsniveau.

Im Folgenden soll eine Strukturierung und Einordnung der Werkzeuge nach deren Inhaltsteil und nach der Zugriffslogik erfolgen. Dabei werden im Schwerpunkt folgende Werkzeuge und Hilfsmittel der Lösungssuche untersucht:

- **Konstruktionskataloge** und **Lösungssammlungen** auf verschiedenen Konkretisierungsebenen, in Papierform oder rechnerbasiert
- **Patentsammlungen** als übergeordnete Kategorie mit Lösungen für Anwendungsaufgaben
- Geometrieorientierte **Lösungsbausteine** und **-elemente** wie Normteile, CAD-Features etc.
- Allgemeine **Vertriebsmedien**, insbesondere **internetbasierte Marktplätze** mit Produkten und Lösungen verschiedenster Hersteller und Unternehmen, weitere Vertriebsmedien (z.B. Kataloge).

2.4.2 Einordnung der Werkzeuge in das Konkretisierungsmodell

Zur Einordnung der oben dargestellten Werkzeuge eignen sich verschiedene Kriterien. Wichtige Kriterien ergeben sich aus dem Modell zur Produktkonkretisierung, das sich als Grundlage zur Einordnung der Werkzeuge eignet. Zu den Kriterien gehören damit, auf welcher Konkretisierungsebene die Lösungen enthalten sind, welchen Zerlegungsgrad (Teil- oder Gesamtlösungen für eine Anwendung oder eine technische Aufgabenstellung) sie besitzen und in welcher Vielfalt (ein Anwendungsgebiet, viele Anwendungsgebiete, eine Lösung vs. breite Lösungsvielfalt) Lösungen enthalten sind. In Abb. 2-14 sind ausgewählte Lösungen, die im Zusammenhang mit dem Fallbeispiel 2 (Transfersystems für Flaschen) von Relevanz sind, beispielhaft angeführt und in das Modell zur Produktkonkretisierung eingeordnet. So stellt das Gesamtsystem des Transfersystems eine Gesamtlösung dar, während ein Hubzylinder nur eine Lösung für eine Teilfunktion darstellt. In Bezug auf die Breite des Lösungsraumes stellt ein mechanischer Greifer eine einzelne ausgewählte Lösung dar, diese kann erweitert werden um Lösungen aus der Biologie oder aus anderen Anwendungsgebieten.

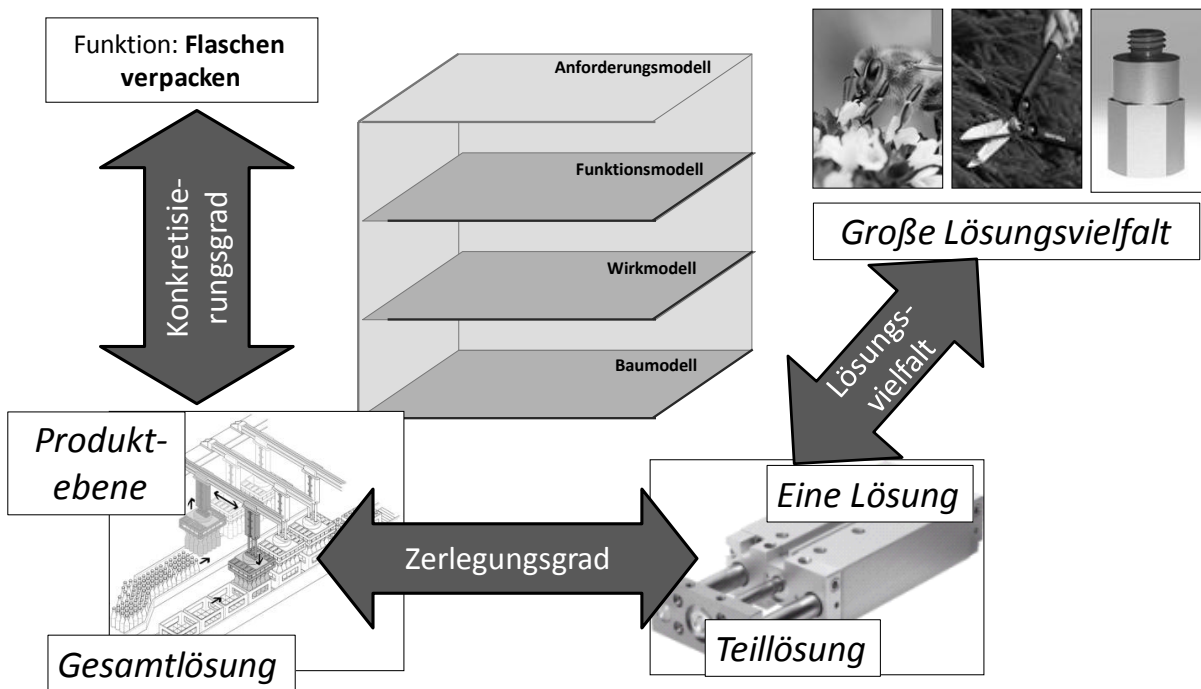


Abb. 2-14: Navigationsraum zur Produktkonkretisierung - Übersicht über mögliche Lösungen bei der Produktentwicklung

Im Folgenden werden die im Umfeld der Lösungssuche relevanten Werkzeuge und Hilfsmittel in Bezug auf Lösungsinhalte und Zugriffslogik dargestellt und in das Münchener Produktkonkretisierungsmodell eingeordnet.

Sammlungen von Lösungen auf Wirkmodellebene

Auf Wirkmodellebene existieren vielfältige Sammlungen und Werkzeuge. So enthält die „physikalische Effektesammlung“ knapp 90 verschiedene Effekte, die bei der Gestaltung von Prinziplösungen genutzt werden können [PONN & LINDEMANN 2008]. Während diese Sammlung papierbasiert ist, können hier auch Internetportale (z.B. www.creax.com⁸) oder Datenbanken (z.B. GoldfireInnovator⁹) genutzt werden. Der Zugang zu Lösungen auf Effektbasis kann über den Effektnamen, das physikalische Teilgebiet, die Ein- und Ausgangsgrößen oder über mit dem Effekt verknüpfte Beispiele erfolgen. Diese Effektsammlungen enthalten keine Zusammenstellung verschiedener Effekte zu einer Gesamtlösung, sondern stellen Lösungsbausteine bereit, die bei der Entwicklung und Generierung einer Gesamtlösung genutzt werden können. Analog zu den physikalischen Effektsammlungen existieren auch Sammlungen

⁸ CREAX ist ein Internetportal, das den Zugriff auf verschiedene physikalische und chemische Effekte ermöglicht [CREAX NV 2009].

⁹ Goldfire Innovator ist eine Softwarelösung von Invention Machine Corporation, das die Entwicklung innovativer Produktlösungen unterstützen soll. Eine Kernkomponente stellt die Sammlung zahlreicher Effekte aus verschiedenen Naturwissenschaften dar, die mit technischen Realisierungsmöglichkeiten belegt sind [INVENTION MACHINE CORPORATION 2009].

von biologischen Prinzipien, die für die Lösungssuche in der Produktentwicklung verwendet werden können [GRAMANN 2004].

Konstruktionskataloge stellen für spezifische Aufgaben oder Funktionen Lösungen auf Wirkmodellebene bereit, die von sehr allgemeinen Funktionen bis hin zu sehr konkreten Anwendungsgebieten oder Produktgruppen reichen können. In Abb. 2-15 sind Prinziplösungen für verschiedene allgemeine Funktionen dargestellt, die auf sehr abstrakter Ebene, Wirkprinzipien bereitstellen [ROTH 1994, KOLLER & KASTRUP 1994]. Der Zugriff erfolgt hier über die betrachteten Objekte und Operationen.

Objekte		Operationen								
		Allgemeine Operationen	Speichern	Übertragen			Verknüpfen			
				Leiten	Umformen	Wandeln	Summativ			
							Gleiche Größen	Verschiedene Größen	Gleiche Größen	
Allgemeine Größen	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	
Stoff	Symbol	1.1								
	Beispiel	1				Platinnetz Knallgas (St-Umformer) H ₂ O		Durchlauf- erhitzer		
	Energie	2.1								
Beispiel	2			Getriebe (E-Umformer)	Motor (Wandler)		Schalter	Wagen mit Linearmotor	Differential	
Information	Symbol	3.1								
	Beispiel	3	Lochstreifen		Code Parallel-Serien (I-Umformer)	SOS Codeumsetzer (Wandler)	Taschenrechner	Lochstreifen- stanzer	Durchschlag	

Abb. 2-15: Zugriff auf Prinziplösungen über Funktionen (ROTH 1994)

Patentsammlungen hingegen fokussieren stärker die Sammlung von Gesamtlösungen für eine Anwendung. So enthält eine Patentschrift die prinzipielle Lösungsmöglichkeit für ein Verfahren oder für ein Wirkprinzip als Teilfunktion eines Gesamtsystems. Hierzu bestehen verschiedene Recherche- und Zugriffsmöglichkeiten wie Volltextsuche, Suche über bestimmte Branchen und Anwendungsgebiete. Die Vielfalt der Patente, die über Internetportale eingesehen werden können, ist sehr groß – eine einfache Suche mit wenigen Schlagwörtern liefert eine sehr umfangreiche Ergebnismenge [FREEPATENTSONLINE.COM 2009].

In Abb. 2-16 sind die Lösungsspeicher auf Wirkmodellebene geordnet nach dem Zerlegungsgrad und der Vielfalt der darin enthaltenen Lösungen. Bei den Werkzeugen auf Wirkmodell-ebene stellen Konstruktionskataloge sowohl für Teilfunktionen als auch für Gesamtfunktionen Lösungen bereit. Physikalische Effektsammlungen enthalten meist nur Lösungen für Teilfunktionen, weiten dafür aber das Lösungsfeld im Vergleich zu Katalogen weiter auf. In die Breite geht die Sammlung von biologischen Phänomenen, diese können aber meist nur für sehr isolierte Teilfunktionen angewandt und eingesetzt werden. Hier ist jedoch noch ein hoher Anteil an Transferleistung und Analogiebildung notwendig, hier enthaltene Lösungen können

nicht als bewährte und existierende Lösungen in die Lösungssuche eingehen. Deshalb wird diese Art der Lösungssammlung bei der weiteren Betrachtung nicht mehr berücksichtigt. Patentschriften hingegen stellen eine Sammlung an Lösungen in der gesamten Bandbreite bezüglich des Zerlegungsgrades dar. Ferner ist eine große Lösungsvielfalt durch die Vielzahl verschiedenster Patente gewährleistet. Patente stellen jedoch rechtlich geschützte Lösungen dar, eine Übernahme für die konkrete Aufgabenstellung ist nicht oder nur nach Einigung mit dem Patentinhaber möglich.

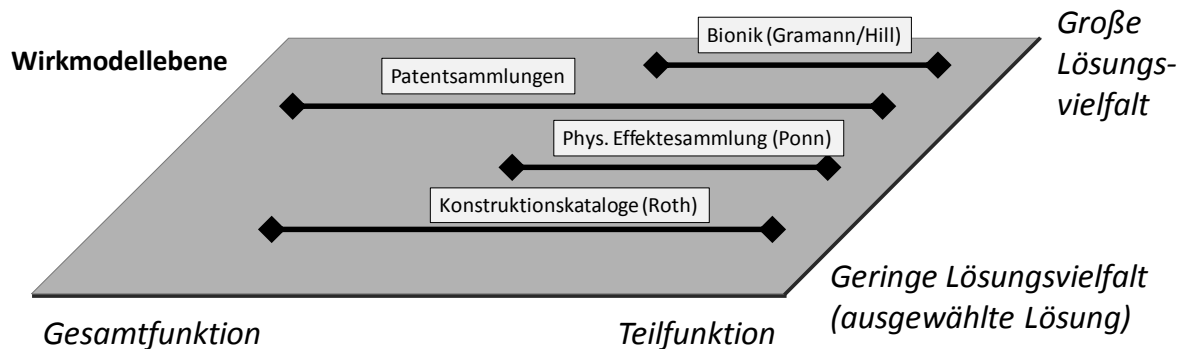


Abb. 2-16: Einordnung von Lösungsspeichern auf Wirkmodellebene

Sammlungen für Lösungen auf Baumodellebene

Auf Baumodellebene existieren zahlreiche Sammlungen von Lösungen, meist als einzelne Lösungselemente oder -bausteine. Hier sind als allgemeingültige Lösungen Normteile zu sehen, die als Lösungsbestandteile verwendet werden können (z.B. Wälzlager, Dichtungen, Schrauben). Ebenso können im CAD-Bereich Form-Features Verwendung finden, die als Lösungen innerhalb eines Unternehmens definiert sind. Unter Features werden dabei Formelemente zusammen mit deren Semantik verstanden [SPUR & KRAUSE 1997, S. 48-63]. Diese Features können dabei je nach Anwendung in verschiedene Bereiche gefasst werden [SPUR & KRAUSE 1997, S.175-203]: konstruktionsbezogene Features, die für den Konstrukteur von Bedeutung sind, etwa zu den funktionalen Attributen von Flächen, fertigungsbezogene Features, die die Automatisierung und Optimierung der Planung von Fertigungsprozessen ermöglichen und unterstützen sollen und qualitätsbezogene Features, die einen auf einen Gestaltungsbereich bezogenes Qualitätsmerkmal beschreiben. Für den unternehmensübergreifenden Zugriff und Einsatz von Lösungen bieten sich entsprechende CAD-Bibliotheken an, die auch als Hersteller- und Produktkataloge zu sehen sind. Durch den Einsatz von Form-Features können gezielt Lösungselemente auf Geometrie- und Technologiebasis verwendet werden.

Auf Baumodellebene bieten vorrangig Unternehmen Produkte und Lösungen an. Diese können in Katalogen, auf Messen oder anderen Vertriebswegen nachfragenden und suchenden Personen zugänglich gemacht werden. Kataloge sind dabei als Nachschlagemedium analog zur Unterteilung der Produkte strukturiert und ermöglichen einen guten Zugriff, wenn die Produkte und deren Unterteilung bekannt sind. Als neues Medium tritt das Internet immer stärker in den Informationsaustausch zwischen Unternehmen. Dabei werden sogenannte virtuelle Marktplätze in vertikale und horizontale Marktplätze unterschieden [ABRAMS 2002, S. 18 ff.]. Auf vertikalen Marktplätzen werden von einem einzelnen Unternehmen deren Produkte und

Lösungen angeboten. Diese Marktplätze sind meist direkt bei den Herstellern angesiedelt. Horizontale Marktplätze bieten Produkte und Lösungen von vielen verschiedenen Unternehmen einer Branche an. Die Produkte und Lösungen können dort direkt hinterlegt sein oder es wird auf den entsprechenden Hersteller weiterverwiesen.

Das Ergebnis einer Lösungssuche auf horizontalen Marktplätzen ist eine ausführliche Produktbeschreibung mit den wichtigsten Kennwerten (siehe Abb. 2-17). Häufig sind Anwendungsgebiete der Produkte angeführt, die dann einen möglichen Einsatz für die eigene Problem- und Aufgabenstellung abschätzen lassen. Die horizontalen Marktplätze zeichnen sich entsprechend der Vielzahl an teilnehmenden Unternehmen auch durch eine große Lösungsvielfalt aus [DANZINGER et al. 2008].

The image shows two screenshots of an e-market portal. The top screenshot is from the VDMA-e-market website, displaying search results for 'Pneumatik'. A search bar at the top left is annotated with a box: 'Zugriff über „Suche“ (z.B. Volltext)'. A sidebar on the left lists various pneumatic components, annotated with a box: 'Struktur der Lösungen'. The main content area shows search results with a box: 'Treffermenge mit Verweis aus Herstellerseiten'. The bottom screenshot shows the Festo website product page for 'Linearantriebe DGC', with a box: 'Lösung mit konkreten Daten (meist Produkt)'. A large arrow points from the search results to this product page.

Abb. 2-17: eMarket-Portal als Möglichkeit zur herstellerübergreifenden Lösungssuche: VDMA-eMarket [VDMA Verlag GMBH, VDMA VERLAG 2009b] und Verweis auf Herstellerseite FESTO AG & Co. KG (2009)

Die Werkzeuge und Hilfsmittel auf Baumodellebene können ebenfalls ins Münchener Produktkonkretisierungsmodell eingeordnet werden. So zeigen elektronische Marktplätze die größte Lösungsvielfalt auf. Hier zeigt sich jedoch, dass vor allem Gesamtsysteme wenig Eingang in virtuelle Marktplätze gefunden haben. Die Beschreibung von Gesamtsystemen inklusive deren Anwendung ist vor allem auf einschlägigen Herstellerseiten zu finden, von Teillösungen für Kugellager bis hin zu Gesamtsystemen. Normteile besitzen keine Lösungsvielfalt und definieren Teilfunktionen einer Lösung. CAD-Features ermöglichen hier eine Erweite-

rung der Lösungsvielfalt, bilden aber meist ebenfalls Teilfunktionen von Lösungen ab. In Herstellerkatalogen sind nur die Lösungen eines Unternehmens zu finden, hier können jedoch verschiedene Lösungen des Herstellers für eine Funktion enthalten sein. Produktkataloge enthalten die Standardlösungen, die nicht oder nur eingeschränkt für die Gesamtfunktion geeignet sind und dann an die kundenspezifischen Anforderungen angepasst werden.

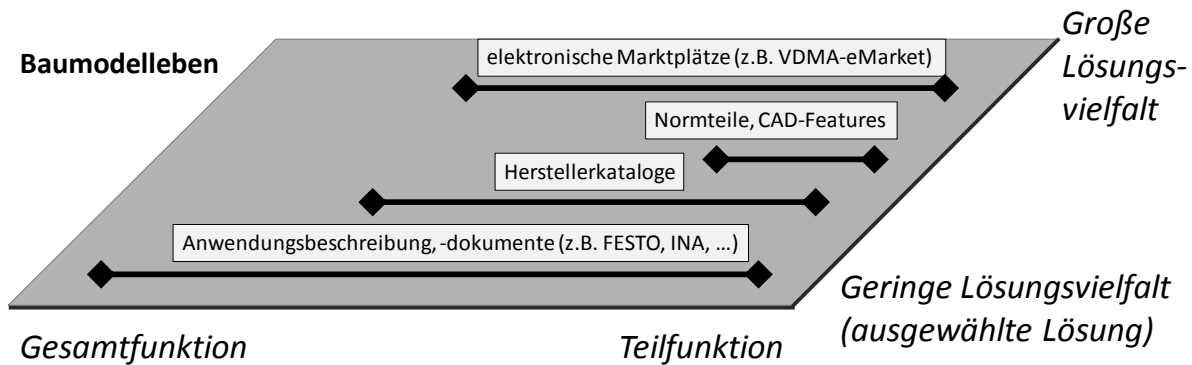


Abb. 2-18: Einordnung von Lösungsspeichern auf Baumodellebene

2.4.3 Vergleichende Bewertung der Werkzeuge

Die dargestellten Werkzeuge besitzen unterschiedliche Stärken und Schwächen bei der Lösungssuche. Tab. 2-3 stellt im Vergleich die unterschiedliche Werkzeuge gegenüber und bewertet die Möglichkeiten, auf die darin enthaltenen Lösungen über Funktionen zuzugreifen.

Werkzeug/ Lösungsspeicher	Konkretisierungsebene	Zerlegungsgrad	Viel-falt	Lösungs-inhalte	Zugriff aus Funktionssicht
Effektsammlung Physik	Wirkmodell	Teilfunktion	mittel	Effekt, Abbildung, Formel	ja, über allg. Funktionen
Konstruktionskataloge	Wirkmodell	Gesamt- und Teilfunktion	mittel	Abb., Formel, weitere Infor.	ja, über allg. Funktionen
Patentsammlungen	Wirkmodell	Gesamt- und Teilfunktion	hoch	Abb., Beschr., weitere Informat.	nein (z.T. über Anwendungen)
CAD mit Feature-Elementen	Baumodell	Teilfunktion	gering	Form, Technologie	nein, rein produktorientiert
Vertriebsmedien/ vertikale Marktplätze	Baumodell	Gesamt- und Teilfunktion	gering	Textbeschreibung, Produkte	ja, über Funktionen und Anwendungen
Horizontale Marktplätze	Baumodell	Gesamt- und Teilfunktion	hoch	Textbeschreibung, Produkte	ja, über Funktionen und Anwendungen

Tab. 2-3: Vergleichende Bewertung ausgewählter Werkzeuge zur Lösungssuche in der Produktentwicklung

Der Vergleich der Werkzeuge zeigt, dass auf allen Konkretisierungsstufen eine Werkzeugunterstützung in Form von Lösungsspeichern vorhanden ist. Diese reicht dabei von Gesamt- bis zu Teilfunktionen. Auf Wirkmodellebene ist die Lösungsvielfalt für Gesamtfunktionen jedoch eingeschränkt. Betrachtet man den Zugriff aus Funktionssicht, so wird deutlich, dass dieser in allen Werkzeugen in unterschiedlicher Ausprägung vorhanden ist. Generell gilt dabei, je konkreter die Lösungen, desto konkreter die Funktionen, die damit verbunden sind.

2.5 Probleme und Herausforderungen bei der Lösungssuche

Bei der Suche nach bewährten und existierenden Lösungen verhindern verschiedene Probleme einen schnellen und effizienten Zugriff auf diese Lösungen (siehe Abb. 2-19). Dies betrifft dabei vorrangig die Suche nach Lösungen in einem großen Lösungsfeld, wie es beispielsweise im Internet oder in größeren Unternehmen der Fall ist. Die Probleme lassen sich in folgende Hauptkategorien einordnen:

- **Fehlende Informationen** zu den Lösungen (Detailtiefe der Informationen, rechtlicher Zugriff etc.). Ergebnis: der Nutzer findet etwas, sein Informationsbedürfnis wird jedoch nicht befriedigt.
- **Ungeeignete Such- und Zugriffsmechanismen** auf Grund verschiedener Begrifflichkeiten und verschiedener Sichten etc.). Ergebnis: der Nutzer findet Informationen, die jedoch nicht für seine Aufgabenstellung geeignet sind.

Beide Problembereiche betreffen dabei sowohl die Suche innerhalb eines Unternehmens als auch die unternehmensübergreifende Suche beispielsweise über internetbasierte Medien.

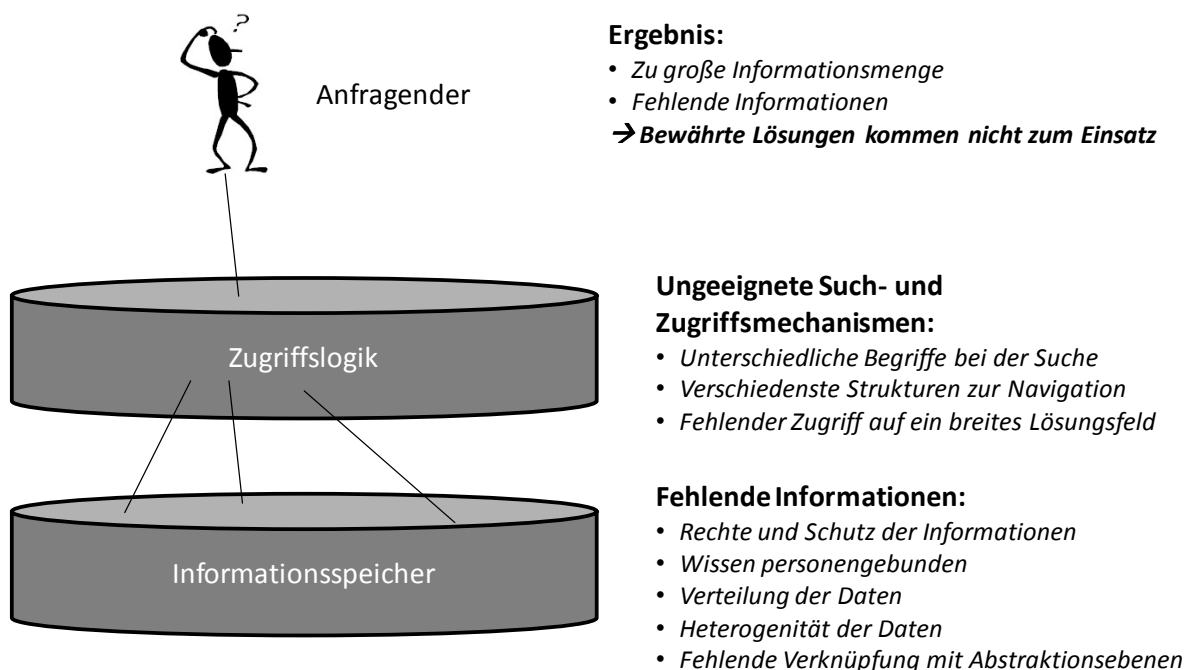


Abb. 2-19: Problembereiche bei der Lösungssuche

Informationen in den Lösungssammlungen

Eine häufige Barriere für den Zugriff auf geeignete Lösungen stellt der Schutz des unternehmensinternen Know-hows beim Suchen im Internet dar. Dabei variiert die Breite und Tiefe an Informationen stark von Unternehmen zu Unternehmen. Dennoch zeigt sich mittlerweile, dass zahlreiche Unternehmen das Internet als Vertriebs- und Marketinginstrument offensiv nutzen wollen, um so neue Kunden zu gewinnen und auf Innovationen aufmerksam zu machen [LINDNER 2008]. Eine weitere Herausforderung stellt die breite Verteilung der Informationen dar. Diese Verteilung spielt bei der unternehmensübergreifenden Suche ebenso eine Rolle wie bei der unternehmensinternen Suche. Ein Großteil der notwendigen Informationen liegt nicht in einem zentralen Speicherort, sondern im oder über Abteilungen und Unternehmen verteilt. Ein effizienter und schneller Zugriff auf die relevanten Informationen ist so kaum möglich. Auch die Heterogenität der Daten spielt in diesem Zusammenhang eine große Rolle. So liegen die Informationen meist nicht nur in Datenbanken und damit in strukturierter Form vor, sondern zu einem Großteil in unstrukturierten Informationen wie beispielsweise Emails, Textdokumente etc. Schließlich liegen Lösungen meist ohne Verbindung zu deren konkreten Anwendungen vor. Der Schwerpunkt der Dokumentation liegt in der Produktentwicklung auf den Informationen zur räumlichen Anordnung, zu Baugruppen, Anforderungen etc. Die Funktionen, für die die Lösungen eingesetzt und verwendet werden, sind oft nicht Teil der Produktdokumentationen. Damit fehlen die Information und Verknüpfungen zwischen abstrakten Funktionen und konkreten Anwendungsfällen. Werden Lösungen über deren Funktion beschrieben, so zeigt sich, dass die ausgewählten Funktionsbeschreibungen in großer Beliebigkeit gewählt werden und kaum nach allgemeinen Strukturen eingeordnet werden. Damit ist die Sicht und das Verständnis des Beschreibenden eine große Herausforderung, die zu überwinden ist.

Such- und Zugriffsmechanismen

Bei großen Datenbeständen stellen die Such- und Zugriffsmechanismen den zentralen Aspekt der Lösungssuche dar. Eine Studie zur Lösungs- und Anwendungssuche im Maschinen- und Anlagenbau zeigt die verschiedenen Probleme und Hindernisse auf [GAAG & PONN 2008]. Über eine Befragung (Fragebogenaktion) konnte in mehreren Unternehmen die Situation und der Inhalt von verschiedenen Suchsituationen analysiert werden. Die Suche nach Lösungen stellt dabei – neben Anfragen zu Ansprechpartner oder Suche von Inhalten, um sich beispielsweise weiterzubilden – einen zentralen Anlass für eine Suche dar. Als ein wichtiges Ergebnis der Studie konnten Kriterien ermittelt werden, die zu einem Abbruch einer Suchanfrage führten. Die Gründe für einen Abbruch der Suche lassen sich dabei – nach Häufigkeit der Nennungen – in 3 Bereiche gliedern (siehe Abb. 2-20).

- **Bereich 1:** Gründe, die sehr häufig zu einem Abbruch führen: diese können in einer langen Antwortzeit des Systems sowie in einem großen Zeitaufwand, der zu einer langen Suchdauer führt, liegen. Daneben spielt der inhaltliche Wert der gefundenen Informationen eine Hauptrolle für ein Ende der Suche; dies ist dann der Fall, wenn die Informationen zu ungenau oder zu umfangreich sind, so dass die relevanten Informationen nicht mehr ersichtlich sind.

- **Bereich 2:** Gründe, die zu einem Abbruch der Suche in nennenswerter Anzahl führen: diese liegen meist in der Funktionalität der Suchsysteme begründet: kompliziertes Handling, fehlender Suchkomfort, fehlende intelligente Suchfunktionen, schwierige Navigation im System, fehlende Übersicht auf den gefundenen Seiten.
- **Bereich 3:** Gründe, deren Einfluss auf Grund der geringen Anzahl nur eine nachgeordnete Rolle für negative Suchergebnisse spielen.

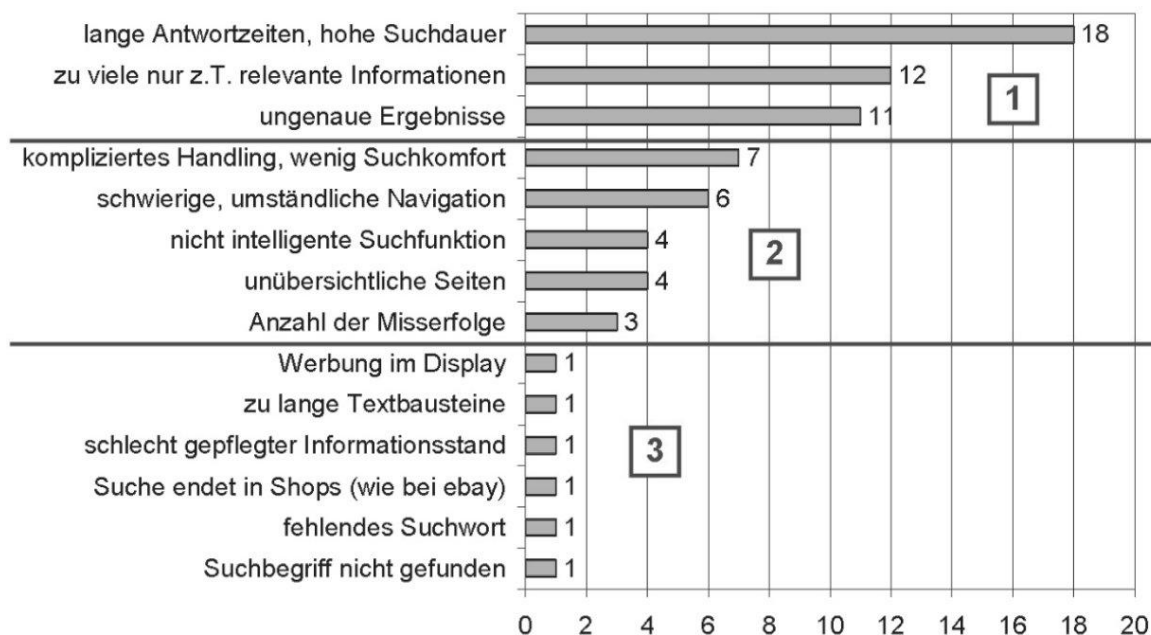


Abb. 2-20: Gründe für eine abgebrochene Suche – Anzahl der Nennungen angetragen, Mehrfachnennungen erlaubt bei 41 befragten Personen [GAAG & PONN 2008, S. 5]

Verschiedene Gründe und Ursachen führen zu dieser unbefriedigenden Situation. Eine wortbasierte oder begriffsorientierte Suche (z.B. bei einer Volltextsuche) nach den relevanten Informationen gestaltet sich meist dann schwer, wenn die richtigen Begriffe nicht bekannt sind. Man sucht mit den falschen Begriffen, obwohl man das gleiche meint [KITAMURA et al. 2001]. Dies ist unter dem Aspekt von besonderer Bedeutung, dass – wiederum auf Basis der oben genannten Studie – in zahlreichen Suchsituationen der Suchende nicht oder nicht exakt weiß, was er genau sucht. Bei einer Suche mit Hilfe einer Struktur zeigen sich dann Schwierigkeiten, wenn die vorgegebene Struktur nicht die eigene Sicht trifft oder dem Suchenden unbekannt ist [KITAMURA et al. 2001]. So ist die Produktstruktur evtl. in der Produktentwicklung und im Vertrieb identisch, die Zuordnung von Anwendungen zu Lösungen kann jedoch zwischen Abteilungen, Unternehmen, Branchen oder Domänen deutlich differieren. Selbst in Branchenportalen oder branchenübergreifenden Internetmarktplätzen ist die Struktur der Anwendungen und Produkte – trotz verschiedener Standards – unterschiedlich. Eine Suche gestaltet sich hier aufwändig und ist dann erfolgreich, wenn man sich in die vorgegebenen Strukturen und Sichten eingearbeitet hat.

Eine weitere Herausforderung bei der Lösungssuche ist es, ein möglichst breites Lösungsfeld mit Lösungsalternativen aufzuspannen. Auf Grund der Vielfalt an Lösungen im Maschinen-

und Anlagenbau ist nahezu keine Lösung völlig identisch zu einer anderen. Es sind immer im Rahmen von Kundenanforderungen Anpassungen notwendig. Deshalb sind nicht nur die Lösungen zu finden, die exakt auf das Anforderungsprofil passen, sondern auch die Lösungen, die ähnlich sind zur gesuchten Lösung.

2.6 Schlussfolgerungen und Anforderungen an den Lösungsansatz

Die Suche nach bewährten und existierenden Lösungen stellt einen wichtigen Schritt mit hoher Bedeutung in der Produktentwicklung dar. Verschiedene Werkzeuge und Hilfsmittel stellen hier eine breite Unterstützung dar. Dennoch bleiben Probleme und Herausforderungen, die sich als Anforderungen an den Lösungsansatz formulieren lassen.

Fazit zur Lösungssuche in der Produktentwicklung

Um systematisch Produkte zu gestalten ist ein schrittweises Vorgehen vom Abstrakten zum Konkreten notwendig. Funktionen stellen dabei – neben den Anforderungen – die abstraktesten Produktmodelle und den Ausgangspunkt für die Lösungssuche dar. Eine Funktion beschreibt dabei den Zweck, den ein technisches System erfüllt: die Transformationen eines Objekts aus einem Eingang- in einen Ausgangszustand.

Im Rahmen der Problemlösung stellt die Abstraktion ein zentrales Grundprinzip dar. Aus diesem Grund kommt einer funktionsorientierten Betrachtung von Systemen eine besondere Bedeutung bei der Lösungssuche in der Produktentwicklung zu. Darunter ist die Beschreibung eines Systems als gesamte Einheit zu verstehen, deren Zweck über eine Funktion beschrieben wird. Im Rahmen dieser Arbeit beschreibt eine Funktion dabei auch die Anwendung, in der ein technisches System eingesetzt wird. Um Funktionen ordnen und strukturieren zu können, sind verschiedene Ansätze möglich. Diese gehen dabei von allgemeinen Funktionen hierarchisch zu immer konkreteren Funktionen vor. Die Einordnung von Funktionen nach BIRKHOFFER (1980) betrachtet das Ziel, das eine Funktion verfolgt. Ein Ziel wird dabei über ein entsprechendes Objektmerkmal beschrieben, das über die Funktion bearbeitet wird.

Zahlreiche Werkzeuge unterstützen den Entwickler bei der Lösungssuche. Die Werkzeuge unterscheiden sich dabei sowohl hinsichtlich der Inhalte der Lösungen als auch in Bezug auf die Zugriffsmechanismen, die sie anbieten. Die Lösungen, die in den Lösungssammlungen enthalten sind, reichen dabei von physikalischen Effekten auf sehr abstrakter Ebene bis hin zu kompletten Systemen, wie sie in Projektordnern oder in Vertriebsmedien dokumentiert sind. Defizite weisen die Zugriffsmechanismen der bestehenden Werkzeuge vor allem bei komplexen Systemlösungen auf. Diese sind meist so spezifisch beschrieben, dass sie nur bei genauer Kenntnis über Inhalt oder Struktur des Zugriffs wieder gefunden werden können.

Die Probleme beim Zugriff auf bewährte Lösungen ergeben sich einerseits aus fehlenden Informationen und andererseits aus ungeeigneten Such- und Zugriffsmechanismen. So führen der Schutz von Know-how sowie die Tatsache, dass Lösungswissen lediglich implizit bei den Mitarbeitern vorhanden ist, dazu, dass das notwendige Wissen über Lösungen nicht verfügbar ist. Durch die breite Verteilung und Heterogenität der Daten ist der einfache Zugriff nicht möglich, eine aufwändige Suche und Extraktion der relevanten Informationen ist notwendig.

Ferner liegen Lösungen meist in sehr konkreten Beschreibungen vor, eine Verknüpfung mit geeigneten Abstraktionsebenen ist oft nicht gegeben. Da bestehende Such- und Zugriffsmechanismen auf Begriffen oder vorgegebenen Strukturen basieren, ist das Auffinden von Lösungen nur mit guter Kenntnis dieser möglich. Die verschiedenen Sichten, die sich auf Grund unterschiedlicher Abteilungen, Unternehmen oder Domänen ergeben, werden durch die bestehenden Zugriffslogiken nicht unterstützt. Ebenso fehlt ein Zugang, der über die Semantik von Begriffen geht und damit eine Loslösung von den spezifischen Fachbegriffen ermöglicht.

Anforderungen an eine Unterstützung der Lösungssuche

Im Fokus der Anforderungen an den Lösungsansatz steht die Unterstützung des Auffindens von bekannten und bewährten Lösungen. Ziel des Lösungsansatzes ist es, eine Zugriffslogik zu entwickeln, die die bisherigen Probleme und Hindernisse beseitigt oder minimiert: die semantische Lücke zwischen dem Suchenden und geeigneten Lösungsbeschreibungen soll überwunden werden. Folgende Aspekte müssen deshalb durch den Lösungsansatz unterstützt werden:

- Zugriff auf Lösungen aus **Anwendersicht über Funktionen**; deshalb Fokussierung der Funktionen als zentrales Beschreibungselement für Gesamtsysteme. Weitere Beschreibungselemente sollen dennoch zur Verfügung stehen und genutzt werden können.
- Abbildung und Modellierung von **Abstraktionsstufen**, um ein breites Lösungsfeld zu ermöglichen und die semantische Barriere zwischen Nutzer und Lösungsdokumentation zu überwinden.
- Aufzeigen eines **breiten Lösungsfeldes** mit Alternativen; dazu ist sowohl die Erweiterung des bekannten Lösungsfeldes als auch die Einschränkung auf geeignete Lösungen erforderlich.
- **Erschließen von ähnlichen Lösungen**: aus technischer Sicht ähnliche Lösungen können auf Grund unterschiedlicher Branchen der Anwendung deutlich verschieden beschrieben werden. Aus diesem Grund muss der Lösungsansatz die Identifizierung ähnlicher Lösungen zu einer Aufgabe ermöglichen. Dazu ist in einem ersten Schritt die Abgrenzung geeigneter und nicht geeigneter Lösungen notwendig.
- **Anwendung des Lösungsansatzes** in internetbasierten Umgebungen.

3. Semantik und Ontologien im Informations- und Wissensmanagement

Ein erfolgreiches Informations- und Wissensmanagement ist für Unternehmen von entscheidender Bedeutung. Dabei spielt der Zugriff auf Informationen in vielen Phasen des Produktentstehungsprozesses eine bedeutende Rolle. Das Informations- und Wissensmanagement unterstützt mit verschiedenen Technologien und Methoden in vielerlei Hinsicht die Generierung, Bewahrung und Verbreitung des Daten, Informationen und Wissen im Unternehmen. Der Repräsentation von Informationen auf Basis der semantischen Bedeutungen in Form von Ontologien kommt dabei besondere Bedeutung zu und wird deshalb ausführlich betrachtet. Bestehende Ansätze zur Entwicklung von Ontologien bilden dabei einen Schwerpunkt der Betrachtung. Abschließend werden die wichtigsten Anforderungen aus Sicht der Informationstechnik an den Lösungsansatz festgelegt.

3.1 Informationen und Wissen im Produktentstehungsprozess

Die Bedeutung von Informationen zeigt sich daran, dass sie mittlerweile - neben den materiellen Wirtschaftsgütern - zu den Wirtschaftsgütern gezählt wird. Information als Wettbewerbsfaktor hat ebenso Einfluss auf den Erfolg von Unternehmen wie deren Produktionsfaktoren Arbeit, Sachkapital etc. Aus diesem Grund kommt der Betrachtung von Information und Wissen eine besondere Bedeutung zu [REHÄUSER & KRCCMAR 1996, S. 17-19].

Begriffsklärungen und Abgrenzung

Die Beziehungen zwischen Zeichen – Daten – Information und Wissen sind durch eine zunehmende Anreicherung semantischer Informationen gekennzeichnet (siehe Abb. 3-1).

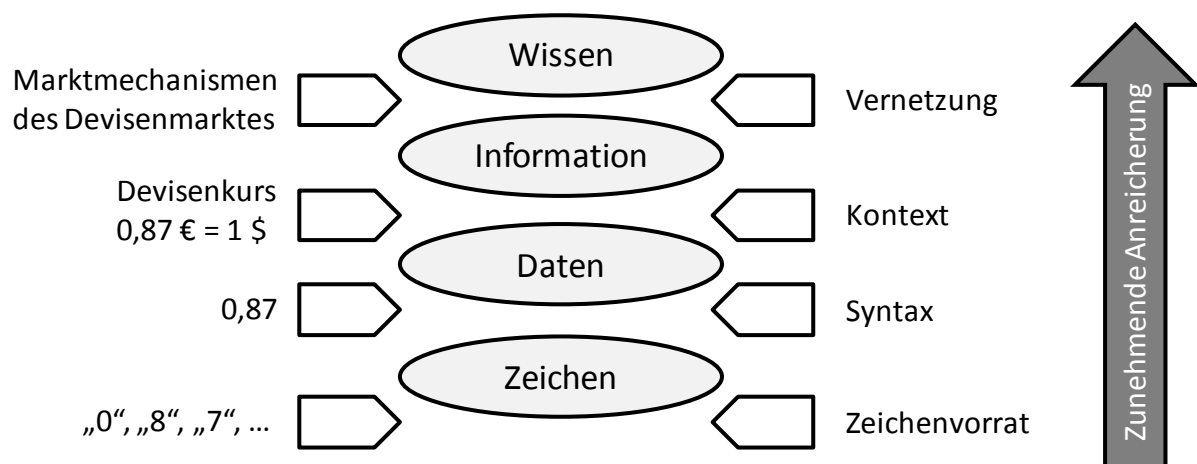


Abb. 3-1: Abgrenzung der Begrifflichkeiten im Informations- und Wissensmanagement [PROBST & GILBERT 2006, S. 2], auch nach REHÄUSER & KRCCMAR (1996, S. 6)

Der Begriff Wissen grenzt sich nach folgenden Punkten von Daten und Informationen ab [PROBST & GILBERT 2006; RIEMPP 2004, S. 61-64; TURBAN et al. 2007, S. 482]: unter Daten werden syntaktisch geordnete Zeichen verstanden, die Repräsentationen von etwas wahrnehmbaren sind (z.B. einem Messwert, einer Telefonnummer). Eine Information ist dann dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich zu den Daten auch der entsprechende Kontext und damit die Bedeutung der Information gegeben sind. Aus Informationen wird dann Wissen, wenn der Wissende (der Wissensträger) die Informationen verstehen und sein Handeln daraus ableiten kann und zur Problemlösung befähigt ist. Wissen beruht auf den Erfahrungen Einzelner oder von Gruppen und wird in mentalen Modellen abgelegt.

Wissen kann dabei in verschiedenen Arten und Formen vorkommen. Unter deklarativem Wissen versteht man Kenntnisse über die Realität und feststehende Tatsachen und Sachverhalte (*Know-that*). Beim prozeduralen Wissen ist das Wissen festgelegt, das die Vorgehensweisen oder Strategien umfasst, um Aufgaben und Probleme zu bearbeiten. Es entspricht dem *Know-how* [HAUN 2002, S. 42].

Bedeutung von Informationen und Wissen

Ein effektiver und effizienter Umgang mit Informationen und Wissen sind bei der Entstehung von Produkten von großer Wichtigkeit. Daten als Grundlage von Informationen müssen dabei von Beginn einer Produkt- und Geschäftsidee bis Ende des Produktlebenszyklus gespeichert, verwaltet und bearbeitet werden. Insbesondere die Produktentwicklung oder Konstruktion wird dabei häufig als informationsverarbeitender Geschäftsprozess angesehen. Analyse der Konstruktionstätigkeiten zeigten, dass ca. 15-50% der Arbeitszeit für Informations- und Kommunikationstätigkeiten anzusetzen ist [GRABOWSKI & RUDE 1999, S. 2-3].

Aus diesem Grund kommt der „Herstellung des informationswirtschaftlichen Gleichgewichts im Unternehmen“ [LINK 1982, S. 285] im Rahmen des Informationsmanagements die übergeordnete Zielstellung zu; es ist der Ausgleich zwischen Informationsbedarf und Informationsangebot zu schaffen. Daraus leitet sich die Informationslogistik als diejenige Logistik ab, die die entsprechenden Informationsflüsse und -kanäle bereitstellt. Es soll die richtige Information zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Menge am richtigen Ort in der richtigen Qualität bereitgestellt werden. Die Betrachtung des Sinnes bzw. der Bedeutung der Information liegt nicht im Bereich der Informationslogistik [KRCMAR 2003, S. 66-67].

Der Informationslogistik kommt auf Grund der stetig zunehmenden Informationsflut eine große Bedeutung zu. Diese Informationsflut betrifft nicht nur das Internet, sondern auch unternehmensinterne Daten und Informationen. So wurden für das Jahr 2004 beispielsweise 1,04 Milliarden Seiten errechnet [O'NEILL et al. 2003]. Auch wenn diese Zahl – je nach Quelle (siehe auch [HENZINGER & LAWRENCE 2004]) – unterschiedlich groß ist, wird der immense Umfang, den das Internet mittlerweile erreicht hat, deutlich. Ähnlich stellt sich die Situation innerhalb von Unternehmen dar. Auch hier steigt die Anzahl der Daten und Dokumente ständig an. Berücksichtigt man die Tatsache, dass ein Großteil der Informationen in unstrukturierter Form gespeichert ist, so wird deutlich, dass hier Ansätze notwendig sind, um dieser Informationsflut zu begegnen.

Die Herausforderung die relevanten Informationen bereitzustellen betrifft dabei alle Phasen der Produktentstehung bzw. des Produktlebenszyklus [SULLIVAN 2001, S. 82-83]. So können beispielsweise

- im **Marketing und Vertrieb** Informationen über aktuelle Markttrends, Verkaufszahlen etc.,
- in der **Produktentwicklung** Marktanalysen, Produktionskapazitäten etc.
- in der **Produktion** Berichte über Qualitätsuntersuchungen, Lieferantenkontakte etc.

notwendig sein. Der Zugriff und Austausch von Informationen ist dabei nicht nur auf eine Abteilung beschränkt, sondern ist vielmehr abteilungsübergreifend zu sehen und betrifft das gesamte Unternehmen. Alle diese Anfragen und Informationsbedürfnisse sollen in der Informationslogistik berücksichtigt werden [AUGUSTIN 1990].

3.2 Technologien und Werkzeuge zum Informations- und Wissensmanagement

Das vorliegende Kapitel stellt die Grundlagen und wichtigen Technologien und Werkzeuge im Informations- und Wissensmanagement dar. Da semantischen Technologien auf Grund deren Ausdrucksmächtigkeit eine zunehmende Bedeutung beispielsweise bei der Wissensrepräsentation zukommt, werden deren Grundlagen sowie die Modellierung von Ontologien im Schwerpunkt behandelt.

3.2.1 Definitionen zum Informations- und Wissensmanagement

Zum Informations- und Wissensmanagement gehören verschiedene Aspekte, die im Folgenden dargelegt werden. Darauf aufbauend können semantische Technologien eingeordnet werden.

Informationsmanagement und Informationssysteme

Das Informationsmanagement umfasst verschiedene Managementaufgaben, die sich in drei Ebenen einordnen lassen. Auf oberster Ebene steht das Management der Informationswirtschaft, also die Zuordnung von Informationsbedarf und Informationsangebot. Auf der mittleren Ebene betrifft es das Management der Informationssysteme. Im Kern sind hier das Management der Daten und Prozesse zu nennen. Auf unterster Ebene sind schließlich das Management der Informations- und Kommunikationstechnik zu sehen. Hier stehen die Speichertechnik, die Verarbeitungstechnologie, die Kommunikationstechnik und die Technikbündel im Mittelpunkt [KRCMAR 2003, S. 46-47].

Informationssysteme sind dabei die Mensch-Maschine-Systeme, die der Deckung des Informationsbedarfes dienen. Beispiele für Informationssysteme sind Datenbanken oder Produktdatenmanagementsysteme (PDM-System). PDM-Systeme unterstützen das Produktdatenmanagement, das „das Management von produktdefinierenden Daten (Produktmodell) in Ver-

bindung mit der Abbildung von technischen/organisatorischen Geschäftsprozessen (Prozessmodell) [...]“ beinhaltet [EIGNER & STELZER 2001, S. 18].

Wissensmanagement

Das Wissensmanagement hat zum Ziel, verschiedene Aspekte im Zusammenhang mit Wissen zu unterstützen. Dabei kommt dem Menschen mit seinen kognitiven Fähigkeiten und Leistungen wie beispielsweise Wahrnehmung, Denken, Problemlösen eine zentrale Bedeutung zu. Diese kognitiven Leistungen beruhen vor allem auf den Fähigkeiten des Menschen zur Deutung und Interpretation von Sachverhalten sowie deren Verknüpfung und Einordnung in den weiteren Kontext. Grundlegend dafür sind mentale oder kognitive Modelle einer Person zu einem Sachverhalt, also interne subjektiv geprägte Repräsentationen einer Problemstellung und einer entsprechenden Anwendungsdomäne. Wissensbasierte Systeme nutzen ebenfalls die beim Menschen bekannten Prinzipien der kognitiven Modellierung und rekonstruieren eine Anwendungsdomäne als informationstechnisches Modell. Um ein solches Modell zu entwickeln ist als erstes eine geeignete Konzeptualisierung zu definieren. Hierzu gehört die Festlegung der relevanten Einheiten, beispielsweise der konkreten Objekte aber auch der abstrakten Einheiten sowie der Relationen zwischen diesen Einheiten. Des Weiteren sind die Merkmale der Einheiten sowie die Schlussfolgerungsregeln aufzustellen, die auf den Relationen und Merkmalen basieren. Eine solche Konzeptualisierung ist anschließend zu formalisieren und zu implementieren [HAUN 2002, S. 50-52].

Zu einem erfolgreichen Wissensmanagement gehören mehrere Bausteine oder Kernprozesse wie beispielsweise die Wissensbewahrung oder Wissensverteilung [PROBST & GILBERT 2006, S. 49-57]. Diese Bausteine des Wissensmanagements müssen in einen strategischen Rahmen innerhalb eines Unternehmens integriert werden. Ein erfolgreiches Wissensmanagement bezieht sich damit nicht nur auf die Sicherstellung technischer Rahmenbedingungen, sondern umfasst auch die Berücksichtigung der Organisation und der Personen innerhalb der Organisation. Häufig wird deshalb auch von der lernenden Organisation gesprochen [TURBAN et al. 2007, S. 486 ff.].

Bei der Repräsentation von Wissen sind - analog zu den verschiedenen Arten von Wissen - verschiedene Darstellungsformen zu unterscheiden (HAUN 2000, S. 42 ff.). Bei der logik- oder regelorientierten Darstellung steht die Abbildung bzw. das Modell eines Ablaufes oder Verfahrens im Mittelpunkt. Außerdem werden Zusammenhänge in der Form „WENN-DANN“ abgebildet und stellen die Grundlage für wissensbasierte Systeme und Expertensysteme dar [LÄMMEL & CLEVE 2008, S. 34]. Die objektorientierte Darstellung fokussiert die Repräsentation von Objekten als Einheiten mit entsprechenden Merkmalen. Darin enthalten sind Techniken zur Vererbung von Eigenschaften. Diese Darstellung von Wissen wird beispielsweise in semantischen Netzen abgebildet [LÄMMEL & CLEVE 2008, S. 34, 83].

3.2.2 Technologien und Werkzeuge

Um das Informations- und Wissensmanagement zu ermöglichen, existieren zahlreiche Technologien und Werkzeuge. Während bei Informationsmanagement die Informationen in strukturierter Form vorliegen und den Zugriff ermöglichen, erlauben Information Retrieval Systeme

me den Zugriff bzw. die Extraktion von Informationen in unstrukturierter Form. Wissensbasierte Systeme und semantische Technologien gehen über die reinen Informationen hinaus und unterstützen die Verarbeitung bzw. den Zugriff auf Informationen unter Berücksichtigung der Bedeutung.

Information Retrieval

Das Information Retrieval (IR) kann als Teilgebiet des Informationsmanagements gesehen werden. Im Information Retrieval steht die Repräsentation, Speicherung, Organisation und der Zugriff auf Informationseinheiten im Vordergrund [SALTON & MCGILL 1983, S. 1 ff.]. Diese Informationsobjekte liegen in unstrukturierter Form (z.B. in Texten oder textuellen Beschreibungen) vor. Zu den möglichen Texten können Briefe, Dokumente, Artikel, Bücher etc. gehören. Das Information Retrieval soll den Nutzer dabei unterstützen, die von ihm benötigten Informationen zu finden. Im Gegensatz zu datenbankgestützten Systemen sind die Daten und Informationen nicht in Tabellen und damit in strukturierter Form erfasst, sondern in Texten und damit in unstrukturierter Form. Als Ergebnis einer Suchanfrage ergeben sich im Gegensatz zu Datenbanksystemen Dokumente und Verweise und nicht exakte Informationen in Form von Inhalten einer Datenbank [SALTON & MCGILL 1983, S. 7-10]. Die Grundstruktur bzw. Grundfunktionalität eines IR-Systems gliedert sich in die Anforderungs- oder Anfrage-seite und in die Inhaltsseite (siehe Abb. 3-2). Einer bestimmten Menge an Anfragen steht eine entsprechende relevante Menge an Informationsobjekten gegeben über. Zu Bestimmung der Relevanz oder Ähnlichkeit existieren verschiedene Methoden, die auf entsprechende sprachliche Inhaltsbausteine aufbauen. Information Retrieval Systeme kommen beispielsweise in Bibliotheken zum Einsatz, um aus der Vielzahl unterschiedlicher Schriftwerke die für eine Suche relevanten zu identifizieren.

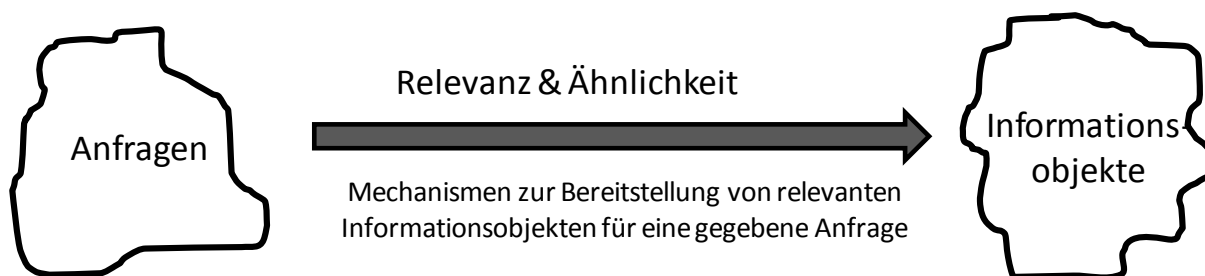


Abb. 3-2: Grundfunktionalität von IR-Systemen [nach SALTON & MCGILL (1983, S. 11)]

Zu den wichtigen Anforderungen und Kennzeichen für Information Retrieval-Systeme zählen, dass der Nutzer seinen Informationswunsch oft nicht präzise spezifizieren kann. Es gilt demnach, eine vage Anfrage – möglicherweise in mehreren Iterationsschritten (auch als *Browsing* bezeichnet) – mit den relevanten Informationen aus einer großen Informationsmenge zu beantworten. Ferner sind das Wissen und die Repräsentation des in den Dokumenten hinterlegten Wissens unvollständig und unsicher. Die Dokumente, die dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden, sind nach deren Relevanz zur Anfrage sortiert [BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999, S. 1-10].

Bei den für das IR relevanten Technologien steht die Bestimmung des Relevanzmaßes zwischen Anfrage und Informationsergebnis im Mittelpunkt. Diese Technologien lassen sich da-

bei in das mathematische Fundament, das zu Grunde liegt, und in die Modelleigenschaften unterscheiden [KUROPKA 2004]. Das mathematische Fundament beschreibt dabei die Logik des Zugriffs. Bei einem ausschließlich auf Boolean-Operatoren (beispielsweise UND, ODER-Verknüpfungen) basierenden Modell wird keine Gewichtung der Informationen innerhalb eines Dokumentes vorgenommen. Es wird ausschließlich nach der Frage des Vorhandenseins entschieden. Bei den algebraischen Methoden werden zusätzlich einzelne Terme hinsichtlich ihrer Bedeutung gewichtet. Bei den wahrscheinlichkeitsbasierten Methoden steht die Häufigkeit von Termen im Mittelpunkt. Diese Häufigkeit ist dann das entsprechende Maß dafür, ob ein Informationsobjekt für eine Anfrage von Bedeutung ist oder nicht. Bei der Unterscheidung der Modelle der Wissensrepräsentation steht die Frage im Mittelpunkt, ob zu den Termen ein Wissensmodell dahinter besteht. So können beispielsweise die Terme völlig unabhängig nebeneinander stehen (Modelle ohne Terminterpendenzen, Terme orthogonal) oder in Abhängigkeit voneinander (nicht orthogonal zueinander). Häufig werden in Suchsystemen verschiedene Technologien des IR miteinander kombiniert, um die Suchergebnisse und das Ranking der Dokumente und Ergebnismenge zu optimieren [CROFT 2000].

Da Information Retrieval Systeme auf einen textuellen Datenbestand zurückgreifen zählen auch die Methoden zur automatischen Verarbeitung der natürlichen Sprache zu den wichtigen Technologien im Umfeld des IR und sind als Schlüsselwerkzeuge anzusehen. Zu den wichtigen Anforderungen gehört hier das Zurückführen von Wörtern auf eine einheitliche Wortform. So kann ein Wort oder Term in unterschiedlichen Flexionsformen (Konjugation und Deklination eines Wortes, z.B. Haus, Hauses, Häuser), in unterschiedlichen Derivationsformen (verschiedene Wortform zu einem Wortstamm, z.B. Format, Formatierung, formatieren) sowie in unterschiedlichen Komposita (mehrgliedrige Ausdrücke, z.B. Geschäftsprozess, Wissensmanagement) vorkommen. Computerlinguistischen Verfahren (auch bekannt als *Natural Language Processing* (NLP)) ermöglichen die Erschließung von Texten (Normalisierung) und ermöglichen so eine strukturierte Weiterbearbeitung der textuellen Informationen [BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999, S. 193-189].

Zur Bewertung der Qualität von Information Retrieval Systemen eignen sich die Kennzahlen *Precision* und *Recall*, die folgendermaßen definiert sind:

- **Recall** beschreibt das Verhältnis aus der Menge an gefundenen Dokumenten zu der Menge an relevanten Dokumenten.

$$Recall = \frac{\text{Relevante Dokumente in Antwortmenge}}{\text{Relevante Dokumente}}$$

- **Precision** beschreibt das Verhältnis aus der Menge an relevanten Dokumenten zu der Menge, die auf eine Suchanfrage hin gefunden wurde.

$$Precision = \frac{\text{Relevante Dokumente in Antwortmenge}}{\text{Antwortmenge}}$$

Bei der Ermittlung der beiden Kennzahlen geht man davon aus, dass sich die Menge der relevanten Dokumente exakt ermitteln lässt. Dies ist jedoch häufig nicht in exakter Genauigkeit möglich, beide Kennzahlen erlauben jedoch eine erste Einschätzung zur Qualität von Information Retrieval Systemen [BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999, S. 75-79]. Die beiden Kennzahlen lassen sich grafisch wie in Abb. 3-3 gezeigt abbilden.

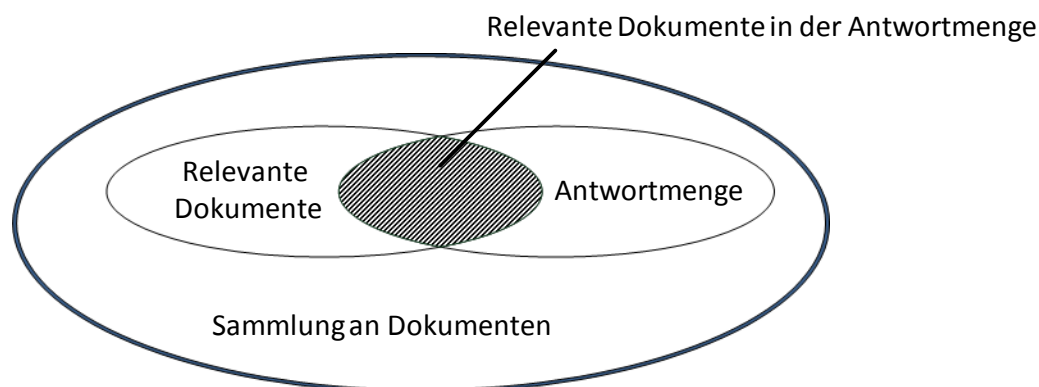


Abb. 3-3: Definition der Kennzahlen Precision und Recall im Information Retrieval (nach [BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999, S. 75])

Web Information Retrieval

Im Zusammenhang mit der Suche im Internet werden Information Retrieval Systeme im Allgemeinen als Suchmaschinen bezeichnet. Zu den derzeit am weitest verbreitetsten Suchmaschinen im Internet gehört *Google*. Suchmaschinen unterstützen den Nutzer dabei, die relevanten Internetseiten zu identifizieren und dort die gesuchten Informationen zu erhalten. Bei der Nutzung von Suchmaschinen werden dabei im Wesentlichen drei Arten von Suchanfragen und Zugriffen auf Inhalte im Internet unterschieden [LEWANDOWSKI 2005, S. 21-40]:

- **Informationsorientierter** Zugriff: dies entspricht dem klassischen Ansatz aus dem Information Retrieval. Ziel ist es, passende Dokumente über die Eingabe eines Begriffes in unterschiedlicher Komplexität zu identifizieren.
- **Navigationsorientierter** Zugriff: bei dieser Art des Zugriffs kennt der Nutzer den ungefähren Zugriffsweg auf seine Inhalte und nutzt diesen iterativ, bis er die Inhalte gefunden hat.

Wissensbasierte Systeme und Expertensysteme

In Ergänzung zum Information Retrieval sind Experten- oder Wissensbasierte Systeme zu sehen. Im englischsprachigen Kontext wird häufig auch von *Artificial Intelligence* [TURBAN et al. 2007] gesprochen. Während im Information Retrieval die Bereitstellung relevanter Daten und Informationen auf textueller Basis im Mittelpunkt steht, zeichnen sich Wissensbasierte Systeme durch die strikte Trennung zwischen Wissensbasis und Problemlösungskomponente aus. Zu den typischen Schritten zählen die Problemklärung mit Sammlung und Strukturierung der vorliegenden Informationen, die Suche nach Alternativen und Lösungen, der Vergleich und die Auswahl sowie abschließend die Realisierung und Implementierung der Lö-

sung [TURBAN et al. 2007, S. 14-17]. Der Nutzer interagiert dabei mit der Dialogkomponente, die den Zugriff auf die Wissensbasis über eine Erklärungs-, eine Problemlösungs- und eine Wissenserwerbskomponente ermöglicht (siehe Abb. 3-4). Grundlage für ein Wissensbasiertes System ist die genaue Kenntnis darüber, wie ein Problem oder eine Aufgabe zu lösen ist. Dieses Wissen ist in entsprechenden Regeln abgelegt. Diese Regeln werden dann auf die Wissensbasis angewandt, um so ein Problem zu lösen oder Antworten zu erhalten [LÄMMEL & CLEVE 2008, S. 31].

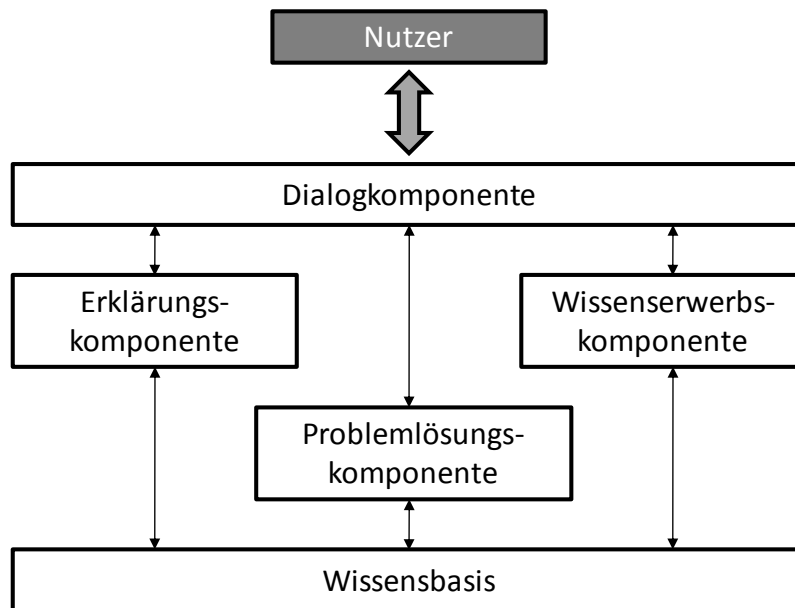


Abb. 3-4: Struktur eines Expertensystems als Beispiel für ein wissensbasiertes System [LÄMMEL & CLEVE 2008, S. 31]

Case-Based Reasoning

Die Problemlösung basiert im *Case-Based Reasoning* (CBR) auf der Verwendung von ähnlichen Fällen oder Aufgaben. Im Gegensatz zu wissensbasierten Systemen, die eine Aufgabe in Teilaufgaben zerlegen und diese nach genau vorgegebenen Regeln bearbeiten, sind diese Regeln im *Case-Based Reasoning* nicht bekannt. Ein CBR-System weiß nicht, wie das Problem zu lösen ist, es ermittelt vielmehr mögliche Lösungen, in dem es in einer definierten Lösungsmenge aus der Vergangenheit nach relevanten Lösungen sucht [WATSON 1997, S. 15-17 und S. 46-47].

3.2.3 Semantische Technologien und Ontologien

Im Rahmen aktueller Trends im Wissensmanagement - insbesondere im Bereich von Intranet- und Internetbasierten Systemen - stellen semantische Technologien einen wichtigen Pfeiler dar. Semantische Technologien basieren dabei auf der Nutzung von semantischen Informationen, die in einem semantischen Netz gespeichert werden. Unter einem semantischen Netz versteht man dabei „[...] ein Modell, das aus einer definierten Menge von begrifflichen Entitäten und der zwischen diesen bestehenden Beziehungen besteht.“ [HAUN 2000, S. 66]. Solche Netze bilden die Realität in einem Wissensmodell ab und zählen damit zu den Methoden

der Wissensrepräsentation und beschreiben – im Gegensatz zur prozeduralen Wissenspräsentation – Wissen in deklarativer Weise [HAUN 2000, S.22].

Definition und Grundlagen – Semiotisches Dreieck

Um die Semantik einordnen und definieren zu können sind grundlegende Betrachtungen zur Zeichenlehre – Semiotik¹⁰ – notwendig. Die Semiotik beschäftigt sich damit, wie Informationen in Zeichen repräsentiert werden und welche Zusammenhänge zwischen Informationssender und Informationsempfänger bestehen. Eine der grundlegenden Betrachtungen und Definitionen zur Semiotik findet man bei OGDEN & RICHARDS (1923). Dabei ist zu unterscheiden zwischen den Zeichen, der Interpretation oder Bedeutung der Zeichen und der Realität, für die diese Zeichen stehen. Dieser Zusammenhang ist im semiotischen Dreieck (siehe Abb. 3-5) abgebildet [SCHOLES 1982, S. 79 ff.; OGDEN & RICHARDS 1923, S. 14]]. Die Semantik¹¹ grenzt sich dabei vom Begriff Syntax¹² dadurch ab, dass bei der Semantik die Bedeutung eines Begriffes zur Realität im Mittelpunkt steht, bei der Syntax jedoch die Beziehung der Zeichen (formal und strukturell) zwischen den Zeichnungen. Neben der Semantik und Syntax beschreibt die Pragmatik die Beziehungen zwischen der Bezeichnung und dem Bezeichneten, also dem Gegenstand der Realität und den daraus abzuleitenden Aktionen für den Benutzer in seiner spezifischen Situation, die sich aus dessen Interpretation ergibt. Die Pragmatik versucht damit die Semantik eines Begriffes deutlich stärker mit dem Kontext der Interpretierenden zu verknüpfen und zu klären, welche Anwendung und Auswirkungen Sprachzeichen auf den Zeichenbenutzer haben. Damit ergibt sich eine zunehmende Subjektivität von der Semantik zur Pragmatik hin [STACHOWIAK 1973, S. 138-153].

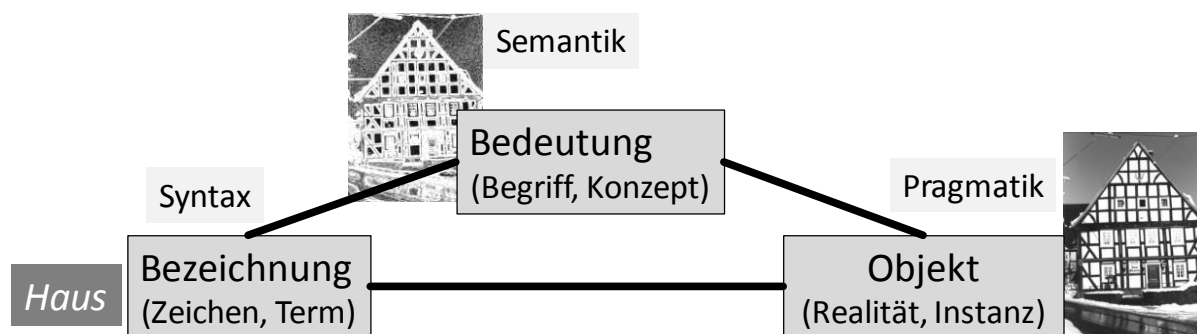


Abb. 3-5: Semiotisches Dreieck zur Abgrenzung von Bezeichnung, Realität und Vorstellung [nach SCHOLES (1982, S. 89-91)]

Abbildung semantischer Beziehungen über Ontologien

Zur Abbildung der Semantik von Begriffen können verschiedene Modelle eingesetzt werden. Diese können nach deren semantischer Reichhaltigkeit analog zur einer Treppe in einer soge-

¹⁰ Der Begriff Semiotik basiert auf dem griechischen Grundwort $\sigma\epsilon\mu\epsilon\iota\omicron\nu$ (semeion) = Zeichen.

¹¹ Der Begriff Semantik basiert auf dem griechischen Grundwort $\sigma\eta\mu\alpha\iota\nu\epsilon\iota\nu$ (semainein) = bezeichnen

¹² Der Begriff Syntax leitet sich von den beiden griechischen Grundworten $\sigma\acute{\upsilon}\nu$ (syn) = zusammen und $\tau\alpha\acute{\xi}\iota\varsigma$ (taxis) = Ordnung ab, die in der Sprachwissenschaft die Ordnung der Zeichen zueinander beschreiben.

nannten semantischen Treppe gesehen werden [BLUMAUER & PELLEGRINI 2006]. Ein Glossar als Sammlung von Begriffen zu einem Thema befindet sich auf der niedrigsten semantischen Stufe. Semantisch reichhaltiger sind Klassifizierungen und Taxonomien, die zusätzlich zu den Begriffen noch deren hierarchische Strukturierung enthalten.

Auf der nächsten Stufe sind Thesauri angesiedelt, die weitere Zusatzinformationen zu einem Begriff wie beispielsweise Synonyme, Deskriptoren sowie weitere Beziehungen zwischen den Begriffen definieren [DIN 1463]. In Topic Maps werden Begriffe Themen zugeordnet und innerhalb dieses Themas nach verschiedenen Aspekten strukturiert. Im Rahmen von Information Retrieval Systemen ermöglicht dies in thematisch weit verteilten Datenbeständen eine deutliche Verbesserung der Auffindbarkeit relevanter Dokumenten und Informationseinheiten [XU & CROFT 2000]. Als semantisch am reichhaltigsten sind Ontologien anzusehen. Eine Ontologie ist dabei wie folgt definiert [GRUBER 1995, S. 908]:

“An ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualization.”

Unter der Konzeptionalisierung wird dabei die Abbildung der relevanten Einheiten einer Anwendungsdomäne der Realität als Konzepte verstanden. Dabei sind die explizite Festlegung dieser Konzepte und der Relationen zwischen diesen notwendig. Zu den weiteren Eigenschaften einer Ontologie zählt die Formalisierung, d.h. eine formalgültige Dokumentation der Ontologie, die auch die Verarbeitung mit Rechnern ermöglicht. Ferner umfasst oder beschreibt eine Ontologie das Wissen auf ein gemeinsames Verständnis der Realität, nicht auf dem Verständnis einer einzelnen Person [STUDER et al. 1998, S. 25; GILCHRIST 2003, S. 13; USCHOLD & GRÜNINGER 1996, S. 5].

In Abb. 3-6 ist ein Beispiel einer einfachen Ontologie für die Anwendungsdomäne wissenschaftlicher Veröffentlichungen im Rahmen von Konferenzen dargestellt (Beispiel in Anlehnung an HAASE 2007, S. 60-63).

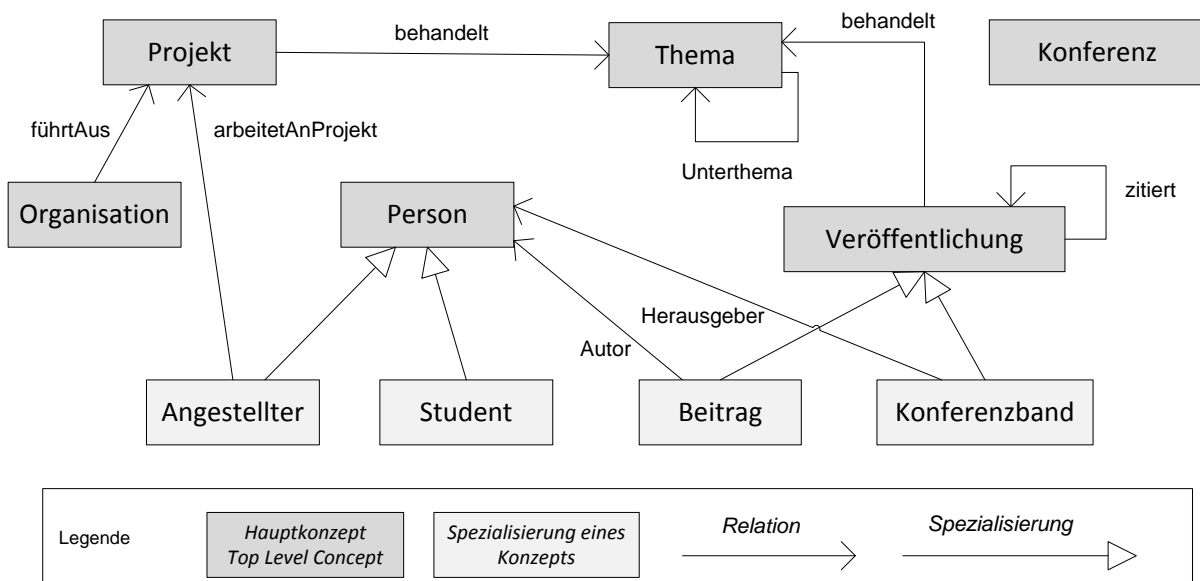


Abb. 3-6: Beispielausschnitt einer Ontologie für eine Literaturverwaltung (nach [HAASE 2007, S. 61])

Die Ontologie enthält dabei sechs Konzepte auf oberster Ebene (*Projekt, Organisation, Thema, Person, Veröffentlichung, Konferenz*), die über die Relationen *führtAus*,

arbeitetAnProjekt, *behandelt*, *Autor*, *Herausgeber*, *Unterthema*, *zitiert* miteinander in Beziehung stehen. So beschreibt die Relation *behandelt* die Beziehung zwischen dem *Projekt* und dem *Thema* sowie der *Veröffentlichung* und dem *Thema*. Relationen einer Ontologie können dabei eine Richtung besitzen. Die Konzepte auf oberster Ebene werden auch als Hauptkonzepte oder Konzepte auf oberster Ebene (Top Level Concepts) bezeichnet und bilden zusammen mit den Relationen zwischen diesen Konzepten die Grundstruktur der Ontologie. Die einzelnen Hauptkonzepte wiederum können weiter spezifiziert werden: eine *Person* kann beispielsweise ein *Angestellter* oder ein *Student* sein, eine *Veröffentlichung* kann ein *Beitrag* oder auch ein *Konferenzband* sein. Die Grundstruktur der Ontologie bildet den Ausgangspunkt für die weitere Detaillierung und Anknüpfung von weiteren Taxonomien, wie sie beispielsweise für das Konzept *Thema* in den unterschiedlichen Domänen existieren (z.B. Computerwissenschaften, Ingenieurwissenschaften). Die Grundstruktur ist jedoch für alle Anwendungen dieselbe.

Nutzung und Einsatz von Ontologien

Semantische Technologien und Ontologien werden zu verschiedenen Zwecken genutzt. Dabei steht im Vordergrund, eine Repräsentation eines Wissensgebietes abzubilden und zu modellieren. Die Entwicklung von Ontologien ist als Teilgebiet des Knowledge Engineering zu sehen. Ontologien können als Wissensmodell in Information Retrieval Systemen eingesetzt werden, um die Bestimmung der relevanten Informationsobjekte zu ermöglichen und zu optimieren [JASPER & USCHOLD 1999, S. 12 ff.; MOENCH et al. 2003, S. 688 ff.; SCHNURR et al. 2001]. Außerdem ermöglichen Ontologien auf Grund der formalen Spezifizierung die Verwendung von logischen Schließverfahren (Reasoning) und können so zum Erschließen von Zusammenhängen und Wissen beitragen und damit die Problemlösung unterstützen [STUDER et al. 1998, S. 4ff.].

Die steigende Bedeutung von semantischen Technologien und Ontologien auf Grund der stetig wachsenden Vernetzung im Intranet sowie der gestiegenen Rechenleistungen zeigen zahlreiche Forschungsprojekte im internationalen (SEKT¹³, SUPER¹⁴ und weitere) und nationalen Umfeld (THESEUS¹⁵) [BENJAMINS et al. 2008]. Diese beschäftigen sich zum Teil mit der Entwicklung und Optimierung bestehender Werkzeuge und Methoden, zum Teil aber auch mit der Anwendung der entsprechenden Technologien. Eine mögliche Anwendung wird aus der Medizintechnik untersucht. Im Rahmen des Forschungsprojektes THESEUS (Anwendungspilot MEDICO) werden Ontologien und semantische Techniken genutzt, um bei der

¹³ Semantic Knowledge Technologies, fokussiert den semantik-basierten Zugriff auf Informationen in Netzwerken [INSTITUT AIFB 2009].

¹⁴ „Semantics Utilised for Process management within and between Enterprises (SUPER)“, behandelt die Abbildung und Modellierung von Geschäftsprozessen mit Hilfe semantischer Technologien [SUPER PROJEKTHOME-PAGE 2009].

¹⁵ Forschungsprogramm THESEUS, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) initiiert wurde mit dem Ziel, eine neue internetbasierte Wissensinfrastruktur zu entwickeln [THESEUS PROGRAMMBÜRO 2008b].

klinischen Diagnose zu unterstützen. Ziel ist die Bereitstellung der Patienteninformationen, die für den aktuellen Diagnosefall von Bedeutung sind. Dazu wurde ein eigenes Vorgehensmodell sowie eine umfassende Ontologie entwickelt und exemplarisch verifiziert [WENNERBERG & ZILLNER 2008]. In zahlreichen weiteren Domänen wie beispielsweise im Bereich des Rechts oder der Bioinformatik werden ebenfalls Ontologien zur Wissensrepräsentation genutzt [BENJAMINS et al. 2005].

Der Ansatz, Informationen mit deren Bedeutung zu verwenden, wird außerdem im *Semantic Web* genutzt. Das *Semantic Web* ist dabei wie folgt definiert (W3C-Definition 2001¹⁶):

“The SemanticWeb is an extension of the current web in which information is given well-defined meaning, better enabling computers and people to work in cooperation.”

Die *Semantic Web Architektur* basiert dabei auf der eindeutigen Festlegung auf Syntaxebene über einen bestimmten Zeichensatz (Unicode) und definierte Verweise auf die Elemente (URI¹⁷). Innerhalb eines Dokumentes werden einzelne Objekte mit einer Auszeichnungssprache (beispielsweise XML (*Extensible Markup Language*)) definiert, um deren Darstellung für den Nutzer zu definieren. Auf einer nächsthöheren Ebene (Datenebene) definiert beispielsweise das RDF (*Resource Description Framework*) den Zusammenhang einzelner Objekte (*resources*) auf einer einfachen semantischen Ebene (v.a. Hierarchisierung von Objekten). Auf der Ontologieebene zeichnen sich Ontologiesprachen dadurch aus, dass sich deutlich komplexere Zusammenhänge modellieren lassen als mit RDF (z.B. Disjunktheit von Klassen, Kardinalität von Klassen). Aufbauend auf den Ontologien können durch die Festlegung von Logik und Regeln Schlüsse aus den Wissensrepräsentationen gezogen werden (*Reasoning*) [VOLZ 2004, S. 45 ff.].

Verschiedene Sprachen zur Ontologiemodellierung sind spezifiziert und ermöglichen die Abbildung von Ontologien (siehe Abb. 3-7). Diese unterscheiden sich vor allem in der Mächtigkeit der Logik, die durch die entsprechende Sprache ausdrückbar ist. Die der Ontologie zugrunde liegenden mathematischen Ausdrücke führen auch dazu, dass Ontologien als Beschreibungslogiken bezeichnet werden [BAADER et al. 2004; BIRKENBIHL 2006]. Die verschiedenen Wissensrepräsentationen im *Semantic Web* sind in Abb. 3-7 dargestellt. Als wichtige standardisierte Sprache ist die OWL-Sprache (Ontology Web Language) anzusehen. Sie wird von der *Web Ontology Working Group*¹⁸ spezifiziert und liegt in 3 verschiedenen Sprachumfängen vor: *OWL Lite*, *OWL DL* und *OWL Full*. *OWL Lite* enthält dabei nur die grundsätzlichen Sprachkonstrukte, die zur Modellierung von Klassenhierarchien oder einfache Relationen notwendig sind. Um komplexere Zusammenhänge abzubilden, ist *OWL Lite* nicht geeignet. Den kompletten Sprachumfang der OWL-Sprache unterstützt *OWL Full*. Da-

¹⁶ W3C (2001). W3C Semantic web activity statement [WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C) 2009b].

¹⁷ 2URL (uniform resource locator) bezieht sich auf eine eindeutige Adresse im Internet (URI), e.g. an <http://...> [WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C) 2009a].

¹⁸ Die Web Ontology Working Group ist eine Arbeitsgruppe des World Wide Web Consortiums, das sich mit Standardisierung von Internetdiensten beschäftigt [WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C) 2009c].

durch ist es möglich, sehr komplexe Zusammenhänge und Logiken aufzubauen. Der größte Nachteil hier ist jedoch, dass diese Logiken nicht mehr mathematisch entscheidbar sind und ein *Reasoning* nur eingeschränkt möglich ist. Als Kompromiss zwischen diesen Sprachen ist *OWL DL* anzusehen. Es werden alle wichtigen Sprachelemente unterstützt, dadurch ist eine mittlere Ausdrucksmächtigkeit bei vollständiger logischer Entscheidbarkeit gewährleistet [ANTONIOU & HARMELEN 2004].

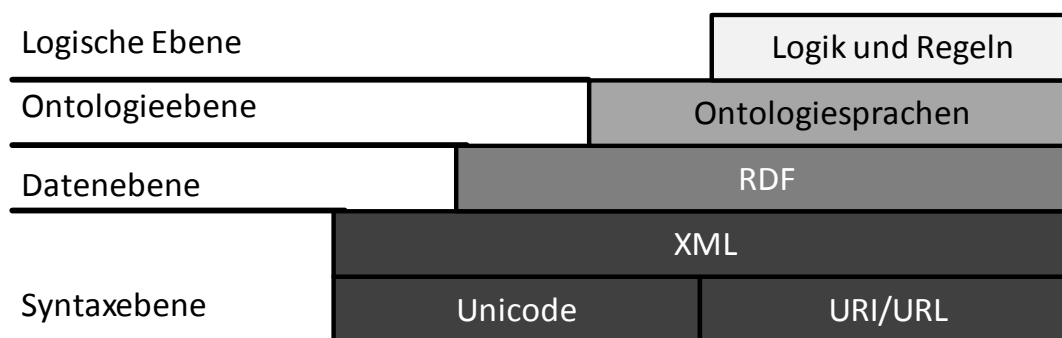


Abb. 3-7: Verschiedene Ebenen der Repräsentation von Information und Wissen im Semantic Web nach VOLZ (2004, S. 45)

Semantische Wissensrepräsentation in der Produktentwicklung

Im Bereich der Produktentwicklung existieren ebenfalls verschiedene semantische Repräsentationen von Produkt und Entwicklungsprozesse. Eine gute detaillierte Übersicht geben KIM et al. (2008), die 13 Forschungsprojekte zur Entwicklung von Ontologien im Rahmen der Produktentwicklung untersucht haben. Im Folgenden werden wichtige Forschungsarbeiten vorgestellt, die Untersuchung ist dabei auf die Modellierung von technischen Systemen mit Ontologien beschränkt.

HAMI-NOBARI & BLESSING (2005) verfolgen die Abbildung variantenreicher Produkte und nutzen dafür die Möglichkeiten einer Ontologie zur Beschreibung mit einer Taxonomie („ist-ein“) und Baugruppenstruktur („besteht-aus“). Vorteile und Potenziale des Ansatzes liegen in der objektorientierten Beschreibung der Abhängigkeiten und Restriktionen zwischen den einzelnen Baugruppen. Dies ermöglicht eine deutliche Reduzierung der Anzahl an definierten Abhängigkeiten, da diese nur einmalig zu definieren sind und wiederverwendet werden können. Die Verwendung der Möglichkeit des logischen Schließens über die in der Ontologie definierten Informationen wird dabei nicht erwähnt.

Die Verknüpfung von Produktinformationen mit Prozessen stellt daneben einen wichtigen Bereich des Konstruktionswissens dar, der in verschiedenen Wissensbasen Eingang gefunden hat. LOHSE et al. (2005) definieren und beschreiben eine Ontologie, die das Produkt mit Montagevorgängen verknüpft. Die Abbildung und Modellierung von Entwicklungsprozessen in verschiedenen Ontologien stellt daneben einen Schwerpunkt bei Wissensrepräsentationen der Produktentwicklung dar. Ein allgemeines Modell des Prozesses in Form einer Ontologie definieren SIM & DUFFY (2003).

Die Entwicklung einer ganzheitlichen Ontologie für die Produktentwicklung zeigen verschiedene Autoren auf. Die von AHMED et al. (2005) entwickelte Ontologie *EDIT (Engineering Design Integrated Taxonomy)* basiert auf empirischen Untersuchungen und enthält als Hauptkonzepte auf oberster Ebene das Produkt, den Entwicklungsprozess, die Logik bzw. die Ursachen und Gründe für Entscheidungen in der Entwicklung und die Funktion (siehe Abb. 3-8). Diese Ontologie wurde genutzt, um Textdokumente, die in der Entwicklungspraxis erstellt werden, zu indexieren und damit bei Suchanfragen besser zugänglich zu machen.

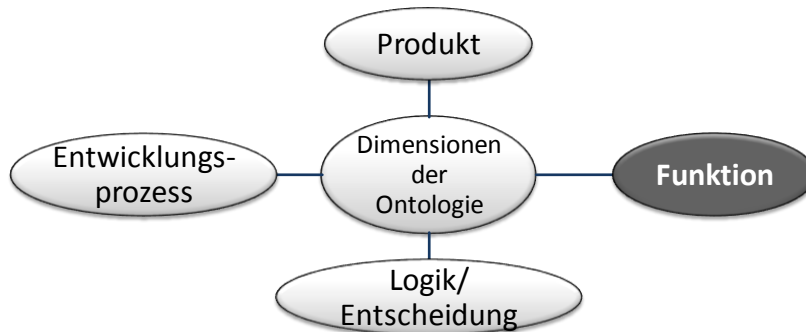


Abb. 3-8: Bestandteile der Ontologie *EDIT (Engineering Design Integrated Taxonomy)*, nach AHMED et al. (2005)

Eine Ontologie mit dem Ziel der Verbesserung von Suchergebnissen zeigen auch PONN et al. (2006). In der darin dargestellten Studie werden in zwei Fallbeispielen Möglichkeiten und Potenziale einer ontologiebasierten Suche aufgezeigt. Zu den wichtigsten Konzepten der Ontologie gehören die Branche, die Funktion, die Anforderungen an das Produkt, die Funktion, das Wirkprinzip, die Produkteigenschaften und die Unternehmen, die die Produkte herstellen und einsetzen. Eine Ontologie mit dem Ziel des Information Retrieval und der Wissensrepräsentation für die Produktentwicklung entwickelten LI et al. (2007). Diese Ontologie enthält Teilontologien für die Abbildung der Funktion, dem Produktverhalten – beschrieben als Funktion –, den Features einzelner Bauteile (Form und Gestalt), der Baustruktur des gesamten Produkts und der räumlichen Anordnung der Bauteile. Erstellte 3D-CAD-Modelle können in diese Ontologie eingeordnet werden und so ein Wiederfinden dieser Bauteile unter verschiedenen Gesichtspunkten ermöglichen. STORGA et al. (2005) entwickelten ebenfalls eine Ontologie zur Abbildung der Produktentwicklung (*Design Ontology, DO*), wobei im Fokus die Beschreibung des Produkts ausgehend von einer theoretischen Betrachtung der Produktentwicklung liegt.

Beim Zugriff auf Lösungen aus Funktionssicht über Ontologien werden neben der hierarchischen Struktur von Begriffen auch deren Bedeutung genutzt. Die Verknüpfung von Funktionen mit Lösungen auf Wirkmodellebene in Form einer Ontologie zeigen KITAMURA et al. (2001). Diesem Ansatz liegt die Betrachtung des *Axiomatic Design* zu Grunde, nach der die Produktgestaltung als Zuordnungsaufgabe zwischen Funktionen und möglichen Realisierungen verstanden wird. Über eine Ontologie (*functional concept ontology*) werden Funktionen auf Funktionsebene (*functional level*) mit Realisierungsmöglichkeiten auf Wirkmodellebene (*behavioral level*, siehe Abb. 3-9) verknüpft. Die Weiterverfolgung und Anwendung dieses Ansatzes in der industriellen Praxis zeigte großen Erfolg: Entwickler ordneten die Funktionen

ihrer Komponenten in die Funktionsontologie ein, dadurch konnte die Wiederverwendbarkeit von Lösungen erreicht werden [KITAMURA et al. 2005]. Eine weitere Anwendung dieser Funktionenbasis im Rahmen semantischer Technologien nutzt das oben dargestellte Grundgerüst erfolgreich zur Annotation von Textdokumenten. Ziel der Annotation ist es, Funktionen, die in Textform dokumentiert sind, mit deren semantischer Bedeutung zu hinterlegen. Das Zuordnen der Funktionen auf die allgemeine Funktionenbasis soll die Austauschbarkeit von Informationen über die Funktionen von Baugruppen oder Bauteilen für beispielsweise eine FMEA-Analyse ermöglichen [KITAMURA et al. 2006].

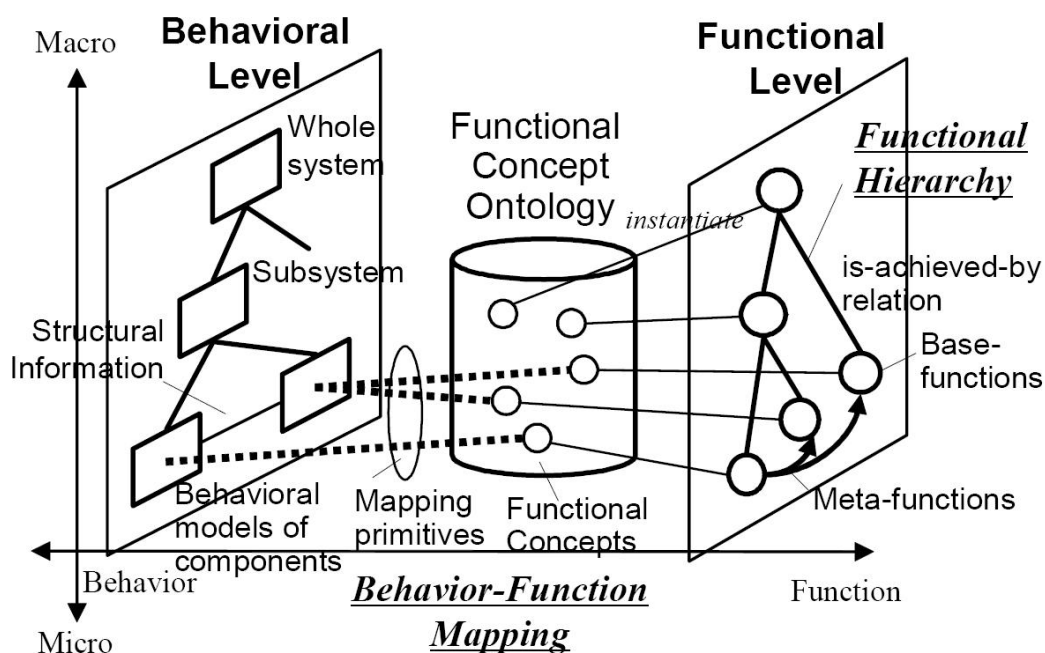


Abb. 3-9: Verknüpfung von Funktionen mit Prinzipien [KITAMURA et al. 2001, S. 3]

KOPENA & REGLI (2003) zeigen ebenfalls den Einsatz einer Ontologie, um bestehende Produkte mit deren Bedeutung aus Funktionssicht zu hinterlegen und so den Zugriff und die Suche nach geeigneten Produktlösungen zu ermöglichen. Die von WANG & KIM (2008) entwickelten Ansätze ermöglichen den Rückschluss von Formelementen auf deren entsprechende Funktion. Die Verknüpfung von Funktionen mit Prinziplösungen steht auch bei VAN DER VEGTE et al. (2002) im Vordergrund. Hier liegt der Fokus auf der Trennung zwischen dem Prozess als technische Transformation und dem Produkt, wie auch in der Systemtechnik unterschieden wird. Außerdem wird bei diesem Ansatz der Rahmen der Ontologie weiter gefasst und der Nutzer sowie die Umgebung als eigenständige Domänen in der Ontologie berücksichtigt.

3.2.4 Vorgehen zur Entwicklung von Ontologien

Um Ontologien zu entwickeln existieren verschiedene Modelle. Diese umfassen sowohl allgemeingültige Vorgehensweisen als auch Entwicklungsmodelle für Ontologien für fachspezifische Bereiche wie beispielsweise der Produktentwicklung.

Allgemeine Vorgehensmodelle zur Entwicklung von Ontologien

Im allgemeinen enthalten die Vorgehensmodelle zur Entwicklung von Ontologien die erstmalige Erstellung sowie die weitere Bearbeitung (z.B. Aktualisierungen, Versionierung) [CORCHO et al. 2003; PINTO et al. 2006]. Eine grundlegende Arbeit zur Erstellung fachspezifischer Ontologien stellt der Entwicklungsprozess von LOPEZ et al. (1999) dar. Ausgangspunkt zur Entwicklung ist die Planung des Vorgehens. Darauf aufbauend folgen die Phasen „Spezifizierung“, „Konzeptualisierung“ und „Implementierung“. Diese Phasen erfolgen nicht streng sequentiell, sondern überlappen sich und es sind iterative Bearbeitungen und Rücksprünge möglich. Aufbauend auf diesem Grundmodell kann ein allgemeiner Prozess zur Erstellung von Wissensmodellierungen abgeleitet werden, der sich in die in Abb. 3-10 dargestellten Schritte aufteilt [SURE et al. 2004].

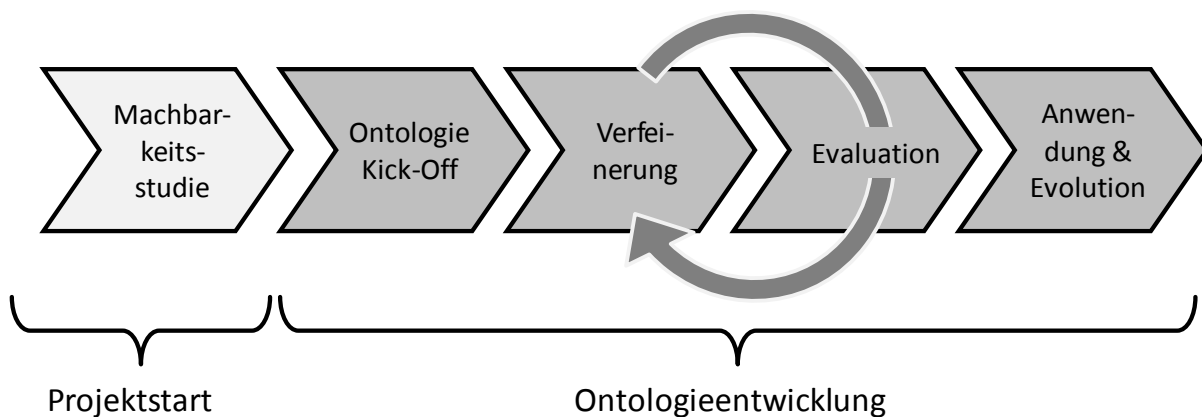


Abb. 3-10: Grundsätzliches Vorgehen bei der Entwicklung von Wissensmodellen in Form von Ontologien (nach [SURE et al. 2004, S. 121])

- In der **Machbarkeitsstudie** vor der eigentlichen Ontologieentwicklung sind die Risiken und Chancen der Wissensmodellierung zu identifizieren sowie das Einsatzgebiet der Ontologie festzulegen. Dabei sind neben den technischen Aspekten auch weitere Einflussfaktoren zu analysieren und zu betrachten (z.B. organisatorische Rahmenbedingungen, ökonomische Fragestellungen).
- Der Beginn der Ontologieentwicklung mit dem **Kick-Off** umfasst die Klärung der Anforderungen, die in einem Anforderungsdokument schriftlich erfasst und spezifiziert werden sollen. Die Analyse der relevanten Wissensquellen sowie die Erstellung einer ersten semi-formalen Ontologie ist ebenfalls Bestandteil dieser Entwicklungsphase. Diese Ontologie enthält die relevanten Begriffe und Konzepte der Domäne, die später Inhalt des Wissensmodells sein sollen, beispielsweise in Form eines Mind-Maps.
- In der Phase der **Verfeinerung** der Ontologie ist die semi-formale Ontologie zu detaillieren. Dazu kann nach zwei verschiedenen Vorgehensweisen vorgegangen werden: das top-down-Vorgehen legt auf einem sehr allgemeinem Niveau die Konzepte und Relationen der Ontologie an, die dann nachfolgend schrittweise detailliert werden. Im Gegensatz dazu werden beim bottom-up-Vorgehen aus bestehenden Textquellen die relevanten Terme als Instanzen extrahiert und darauf aufbauend Klassen

und Relationen abgebildet. Das middle-out-Vorgehen steht zwischen den beiden Vorgehen; ausgehend von den wichtigsten Konzepten werden diese verallgemeinert und gleichzeitig weiter spezifiziert.

Zur **Formalisierung** der Ontologie wird zuerst eine Taxonomie aufgebaut. Auf dieser Basis werden die weiteren Relationen definiert sowie die Konzepte weiter instanziiert. Die schrittweise Verfeinerung der Ontologie sollte dabei immer wieder evaluiert werden. Die Formalisierung der Ontologie beinhaltet auch die Implementierung mit entsprechenden Rechnerwerkzeugen.

- Die eigentliche **Evaluation** der Ontologie umfasst eine technologieorientierte, eine nutzerorientierte und eine ontologieorientierte Evaluation. Zur Bewertung der Technologie gehört die Betrachtung der Konformität der Syntax mit entsprechenden Standards, sowie der technischen Eigenschaften wie Skalierbarkeit etc. Der wichtigste Punkt der Bewertung umfasst jedoch die Fragestellung, ob die Anforderungen aus Nutzersicht mit der Ontologie erfüllt werden können. Schließlich sollte die Ontologie auch auf deren formale Eigenschaften hin bewertet und gegebenenfalls optimiert werden (z.B. Eignung zum Reasoning, Qualität der Hierarchien).
- Die Entwicklung der Ontologie schließt mit **Anwendung und Evolution** der Ontologie ab. Die Evolution ist dabei hauptsächlich ein organisatorischer Prozess. Es sind entsprechende Regeln festzulegen, die die Aktualisierung und Pflege der Ontologie (Instandhaltung) betreffen. Es ist zu klären, wer dafür verantwortlich ist, wie die Instandhaltung durchzuführen ist und in welchen Zeitintervallen dies geschieht.

Weitere Aspekte, die bei der Entwicklung von Ontologien zu berücksichtigen sind, beziehen sich auf technische Fragestellungen, die sich im Zusammenhang mit großen Ontologien oder beim Zusammenführen von verschiedenen Ontologien ergeben. Um große Ontologien handhabbar zu machen, sollte eine Modularisierung angestrebt werden. Dadurch ergeben sich verschiedene Vorteile in Bezug auf ein optimiertes Reasoning, auf die Erweiterung und Instandhaltung der Ontologie und um Ontologien wiederverwenden zu können [PARENT & SPACCAPIETRA 2009]. Existieren zu einer Anwendungsdomäne verschiedene Ontologien von verschiedenen Personen oder Gruppen, ist ein Mapping bzw. Verknüpfen dieser notwendig, wenn das Wissen in allen beteiligten Wissensmodellen genutzt werden soll. Verschiedene Methoden und Verfahren können dieses Mapping unterstützen oder automatisieren [CHOI et al. 2006].

Zur Unterstützung des Entwicklungs- und Instandhaltungsprozesses von Ontologien existieren zahlreiche Werkzeuge. Sehr häufig wird im Rahmen der Ontologieentwicklung Protégé eingesetzt, das die OWL-Standardsprachen unterstützt [CORCHO et al. 2003, S. 51-53].

Vorgehensmodell zur Entwicklung von Ontologien in der Produktentwicklung

Das im Rahmen der *Engineering Design Integrated Taxonomy* (EDIT) Ontologie eingesetzte Modell gliedert das Vorgehen bei der Ontologieentwicklung in zwei Hauptabschnitte (AHMED et al. 2005). Im ersten Abschnitt wird die Ontologie auf Basis empirischen Wissens entwickelt, beim zweiten Abschnitt werden computerbasierte Verfahren (z.B. computerlinguisti-

sche Verfahren) genutzt, um die Ontologie zu erweitern (z.B. über einen Thesaurus) und zu detaillieren (siehe Abb. 3-11).

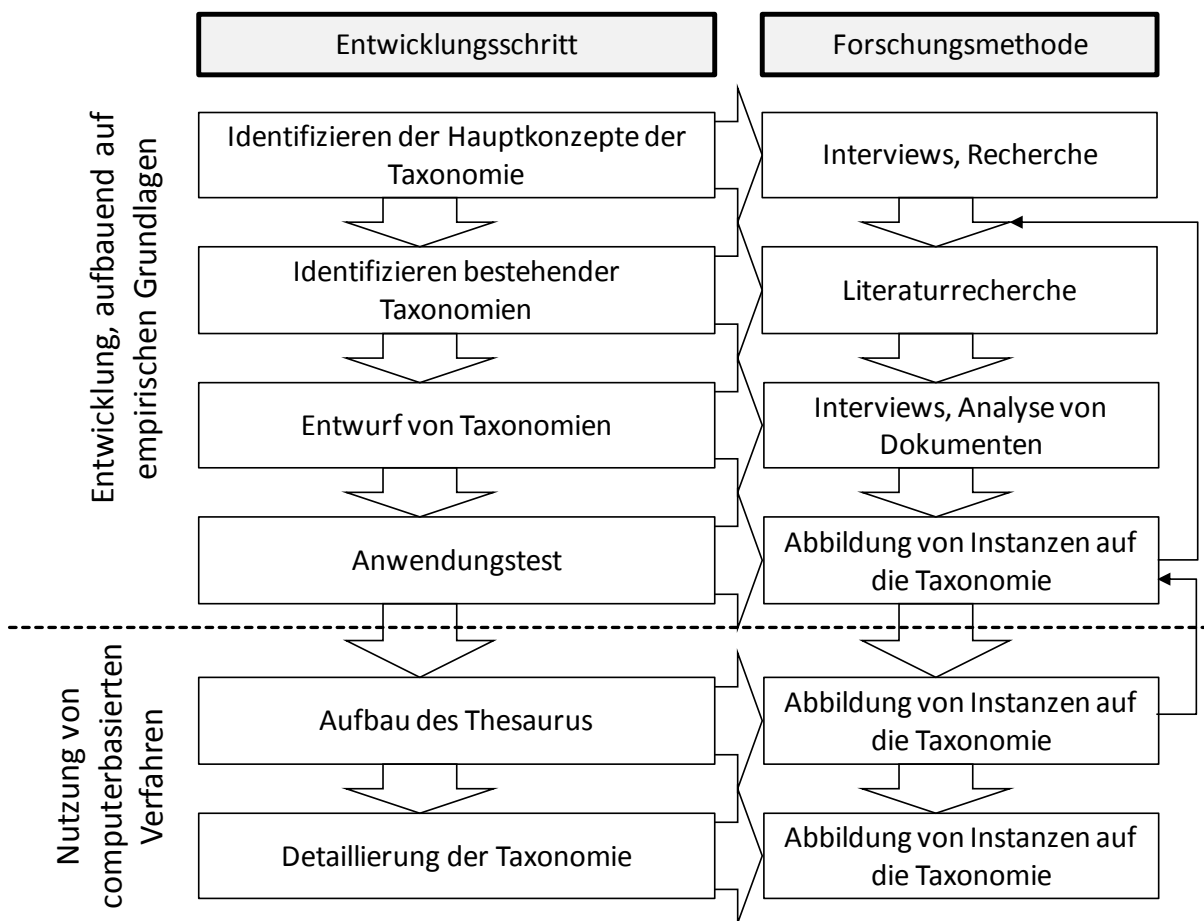


Abb. 3-11: Entwicklungsmodell für Ontologien im Umfeld der Produktentwicklung [AHMED et al. 2005, S. 3]

Das gesamte Vorgehen umfasst die folgenden Schritte:

- **Identifizieren der Hauptkonzepte der Taxonomie:** Dies umfasst die Bestimmung der Anwendung, für die die Ontologie entwickelt wird (z.B. Einsatz der Ontologie in einem Information Retrieval System) und die Festlegung der Hauptkonzepte der Ontologie, die das Anwendungsgebiet beschreiben (z.B. Produktentwicklung). Die Entwicklung basiert auf Ergebnissen aus Literaturrecherchen und Interviews, um die Erfahrungen von beteiligten Personen auf diesem Wissensgebiet zu erfassen. Abschließend werden die identifizierten Hauptkonzepte in Interviews validiert. Dabei werden exemplarisch Instanzen aus dem Anwendungsgebiet der Ontologie übernommen und daraufhin überprüft, ob sie in der Ontologie abbildbar sind.
- **Identifizieren bestehender Taxonomien:** In einem nächsten Schritt werden für die definierten Hauptkonzepte geeignete bestehende Taxonomien gesucht. Dies können beispielsweise bestehende Produktklassifizierungen für das Hauptkonzept *Produkt* oder Klassifizierungen technischer Funktionen für das Hauptkonzept *Funktion* sein. Die Evaluierung der Eignung der Taxonomien erfolgt wiederum mit den Dokumenten aus dem spezifischen Anwendungsgebiet. Diese Bewertung untersucht, ob die in

den Dokumenten enthaltenen Terme und Begriffe über bestehenden Taxonomien abgebildet werden oder ob sie nicht enthalten sind.

- **Entwurf von Taxonomien:** Zeigt sich aus der Evaluierung der bestehenden Taxonomien, dass die Terme nicht oder nur in geringem Maß in den Taxonomien enthalten sind, sind neue Taxonomien zu entwerfen. Diese Taxonomien bauen sich dann wiederum aus Klassen und Unterklassen auf und enthalten eine streng hierarchische Strukturierung. Bis zu diesem Entwicklungsschritt enthält die Ontologie noch keine Instanzen, sondern lediglich die entsprechenden Konzepte und Relationen.
- **Anwendungstests:** Nachdem die Ontologie mit den Hauptkonzepten und den detaillierten Taxonomien entwickelt worden ist, muss diese Ontologie für den eigentlichen Anwendungsfall evaluiert werden. Dazu werden Instanzen aus dem Anwendungsgebiet in die Ontologie integriert und nach folgenden zwei Kriterien überprüft:
 - Vollständigkeit der Hauptkonzepte (es sind alle wichtige Terme den Hauptkonzepten zuordenbar).
 - Überprüfung, ob die Taxonomien vollständig sind für die spezifische Anwendung (es lassen sich alle relevanten Terme in entsprechende Unterklassen einordnen).
- **Aufbau eines Thesaurus der Begriffe:** Um Zweideutigkeiten von Begriffen (z.B. Synonyme¹⁹ und Polyseme²⁰) zu berücksichtigen, werden die in der Ontologie enthaltenen Konzepte und Instanzen mit einem Thesaurus verknüpft. Diese Verknüpfung ist zu einem großen Teil automatisierbar, dennoch ist die Bewertung der Verknüpfung notwendig. Dieser Schritt dient als Vorbereitung zur computerbasierten Befüllung der Ontologie mit Instanzen.
- **Detaillierung der Ontologie:** Abschließend kann die Ontologie mit computerbasierten Verfahren (z.B. computerlinguistische Verfahren) in großem Umfang mit Instanzen detailliert und befüllt werden. Dies umfasst auch die weitere kontinuierliche Pflege und Aktualisierung der Ontologie, wenn beispielsweise neue Begriffe eingebunden werden sollen.

Bei diesem Vorgehensmodell liegt der Fokus auf der Anwendung der Ontologie für das Information Retrieval und damit auf die Konzepterkennung. Damit bleiben detaillierte Betrachtungen der Relationen zwischen den Konzepten der Ontologie, die über hierarchische Beziehungen hinaus gehen, ebenso unberücksichtigt wie die Nutzung von Verfahren zum Schließen (Reasoning).

¹⁹ Ein **Synonym** ist ein Wort, das in einem bestimmten Kontext die gleiche Bedeutung hat wie ein anderes Wort. Beispiel: Senkrecht – Vertikal.

²⁰ Als **Polysem** bezeichnet man ein Wort, dem unterschiedliche Bedeutungen – je nach Kontext – zu eigen sind (lexikalische Mehrdeutigkeit, Ambiguität). Beispiel: *Bank* als Sitzgelegenheit und als Geldinstitut.

Vergleich bestehender Vorgehensmodelle

In Kapitel 3.2.4 werden verschiedene Vorgehensmodelle zur Entwicklung von Ontologien ausführlich dargestellt. Die Entwicklung einer Ontologie aus informationstechnischer Sicht lässt sich in die Phasen „Ontologie-Kick-Off“, „Verfeinerung der Ontologie“, „Evaluation der Ontologie“ und „Anwendung und Evolution der Ontologie“ untergliedern. Dem voraus geht eine Machbarkeitsstudie, in der die wichtigsten Randbedingungen sowie das Potenzial einer Ontologie abgeschätzt werden [SURE et al. 2004]. Das von AHMED et al. (2005) entwickelte Vorgehen strukturiert den Entwicklungsprozess in ähnliche Schritte, betont dabei die Bedeutung, die bestehende Klassifizierungen bei der Entwicklung haben. Ein Vergleich der beiden Vorgehensmodelle – als Vertreter einer informationstechnischen Sicht und einer Betrachtung aus Sicht der Produktentwicklung – zeigt Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf und ermöglicht die Ableitung eines geeigneten Vorgehens im Rahmen dieser Arbeit. Dabei fällt besonders auf, dass SURE et al. (2004) die iterative Entwicklung der Ontologie betonen, während bei AHMED et al. (2005) ein strikteres Vorgehen vorgeschlagen wird. Dementsprechend ist die Gegenüberstellung der beiden Modelle nur eingeschränkt möglich. In Tab. 3-1 werden die wichtigsten Punkte der beiden Vorgehensweisen erfasst und verglichen.

Vorgehen zur Entwicklung von Ontologien (nach SURE et al. 2004)	Vorgehen zur Entwicklung von Ontologien (nach AHMED et al. 2005)
Ontologie-Kick-Off: → Spezifizieren der Anforderung → Sammlung von Wissensquellen → Erarbeitung einer Struktur der Ontologie	Identifizieren der Hauptkonzepte der Taxonomie
	Identifizieren bestehender Taxonomien
	Entwurf fehlender Taxonomien
Ergebnis: Grundstruktur der Ontologie, enthält Hauptkonzepte und Relationen Evaluierung über Interviews und exemplarische Instanzierung	
Verfeinerung/Detaillierung: → Aufbau der Ontologie (bottom-up, top-down, middle-out) → Schrittweise Verfeinerung und Implementierung der Ontologie, Evaluierungsschritte iterativ	Identifizieren bestehender Taxonomien
	Entwurf fehlender Taxonomien
	Anwendungstest
	Aufbau eines Thesaurus der Begriffe
Ergebnis: Detaillierte und befüllte Ontologie, enthält Konzepte, Relationen und Instanzen	
Evaluation (technologieorientiert, nutzerorientiert, ontologieorientiert)	<i>Zum Teil im Schritt „Detaillierung und Befüllung der Taxonomien“ enthalten.</i>
Anwendung und Evolution → Integration in Anwendung → Instandhaltung und Pflege der Ontologie	<i>Nicht mehr Bestandteil des Vorgehensmodells</i>

Tab. 3-1: Gegenüberstellung von verschiedenen Vorgehensmodellen zur Entwicklung von Ontologien

Im Entwicklungsschritt „Ontologie-Kick-Off“ werden die Anforderungen spezifiziert, die Wissensquellen gesammelt und eine Grundstruktur der Ontologie entwickelt. Diesem Schritt entsprechen die Einzelschritte „Identifizierung der Hauptkonzepte“, „Identifizierung beste-

hender Taxonomien“ und der „Entwurf fehlender Taxonomien“. Ergebnis ist in beiden Vorgehensmodellen eine Grundstruktur der Ontologie, die die wesentlichen Konzepte und Relationen enthält. Diese Grundstruktur ist über Interviews und exemplarische Instanzierungen zu evaluieren. Da die Schritte „Identifizierung bestehender Taxonomien“ und der „Entwurf fehlender Taxonomien“ sehr detaillierte Taxonomien erfassen, lassen sie sich nicht nur dem Ontologie-Kick-Off zuordnen, sondern auch der Verfeinerung und Detaillierung der Ontologie. Dabei entspricht das bei AHMED et al. (2005) gewählte Vorgehen dem bei SURE et al. (2004) beschriebenen top-down-Ansatz. Der bei AHMED et al. (2005) explizite Anwendungstest kann in das Modell von SURE et al. (2004) eingeordnet werden als Evaluationsschritt, bevor in einem nächsten Iterationsschritt die Ontologie weiter verfeinert und detailliert wird. („Aufbau eines Thesaurus der Begriffe“ und „Detaillierung und Befüllung der Taxonomien“). Die detaillierte Evaluation nach technologieorientierten, nutzerorientierten und ontologieorientierten Kriterien, wie sie bei SURE et al. (2004) vorgeschlagen ist, ist bei AHMED et al. (2005) nicht enthalten. Die Evaluation ist jedoch – vor allem aus Nutzersicht – Teil der Betrachtungen aus dem Schritt „Detaillierung und Befüllung der Taxonomien“. Die Anwendung und Evolution der Ontologie wird bei AHMED et al. (2005) nicht detailliert betrachtet.

3.3 Zusammenfassung und Folgerungen für den Lösungsansatz

Die verschiedenen Ansätze und Methoden zum Informations- und Wissensmanagement ermöglichen in verschiedenen Anwendungsgebieten neue Ansätze, um bestehende und existierende Probleme zu lösen. Um deskriptives Wissen in einer objektorientierten Wissensrepräsentation darzustellen, eignen sich semantische Netze. Die Nutzung dieser semantischen Technologien verspricht auch für die Produktentwicklung und insbesondere für die Lösungssuche ein hohes Potenzial, weshalb die Anforderungen, die sich aus der Festlegung auf diese Art der Wissensrepräsentation ergeben, für den weiteren Lösungsansatz formuliert werden müssen.

Zusammenfassung und Fazit

Informationen und Wissen haben im gesamten Produktentstehungsprozess eine hohe Bedeutung. Informationssysteme versorgen den Informationssuchenden mit den relevanten Informationen (Informationslogistik). Dazu existieren verschiedene Technologien und Methoden im Wissens- und Informationsmanagement. Neben den technischen Aspekten beschreibt das Wissensmanagement eine Aufgabenstellung, die weit darüber hinaus geht und zahlreiche Aspekte der Organisation, Einführung und Strategie umfasst.

Wissensbasierte Systeme zählen zu den wichtigen Werkzeugen im Bereich der Nutzung und Generierung von neuem Wissen. Sie zeichnen sich durch eine hohe Problemlösungskompetenz durch die Trennung zwischen Verarbeitungslogik und Wissensbasis aus. Der Schwerpunkt wissensbasierter Systeme liegt in einer intelligenten Verarbeitung des in der Wissensbasis hinterlegten Wissens und damit in der Erzeugung neuer Lösungen für einen Problem- oder Anwendungsfall. Diese Systeme berücksichtigen in der Regel jedoch reine textuelle Informationen oder die Semantik von Textbausteinen (z.B. Terme, die in textuellen Beschreibungen) enthalten sind. Um auf Informationen in textueller Form zuzugreifen, stellen Information Retrieval Methoden einen geeigneten Ansatz dar. Die hier zu Grunde liegenden Mo-

delle können mit unterschiedlich stark angereicherten semantischen Informationen hinterlegt sein. Semantische Wissensmodelle stellen hier eine Möglichkeit dar, neben Taxonomien und einfachen Relationen komplexe Beziehungen zwischen Konzepten der Realität abzubilden und in Rechnerwerkzeugen zu nutzen. Als Grundlage zur Nutzung sind ferner entsprechende computerlinguistische Methoden notwendig, um aus Texten die enthaltenen Terme in deren Grundform zu extrahieren.

Ontologien stellen eine Form der Wissensrepräsentation für semantische Informationen dar. In ihnen kann das Anwendungswissen einer Domäne in eine strukturierte formale Form gebracht und mit Rechnerwerkzeugen genutzt werden. Eine solche ontologiebasierte Wissensrepräsentation kann sowohl als eigenständige Wissensbasis genutzt und gepflegt werden, aber auch als Wissensbasis für ein optimiertes Information Retrieval. Erste Projekte, die den Einsatz von ontologiebasierten Suchsystemen untersucht und bewertet haben, lassen hier auch einen erfolgreichen Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau erwarten.

Schlussfolgerungen für den Lösungsansatz

Zielsetzung des Lösungsansatzes ist die Suche nach relevanten Lösungen und Lösungsdokumenten, die in Textform in heterogenen Datenbeständen vorliegen. Dem Suchenden soll ein geeigneter Lösungsraum bereitgestellt werden, der die für ihn relevanten Informationen soweit einschränkt, dass er selbständig weiter suchen kann. Dieser Ansatz entspricht der Zielsetzung des Information Retrieval. Darüber hinaus soll der Nutzer jedoch auch unterstützt werden bei der Navigation durch ein semantisches Wissensmodell. Aus diesem Grund fokussiert die vorliegende Arbeit die Entwicklung einer ontologiebasierten Wissensrepräsentation, die für einen Einsatz in Information Retrieval Systemen und in Semantic Web Anwendungen geeignet ist.

Diese Punkte sind als Anforderungen bei der Entwicklung, Gestaltung und Implementierung des Lösungsansatzes zu berücksichtigen. Als wesentliche Ergebnisse der weiteren Betrachtung ist dann das Vorgehensmodell zur Entwicklung von Ontologien für die Produktentwicklung sowie das Wissensmodell in Form einer Ontologie mit deren Konzepten, Relationen und Instanzen anzusehen.

4. Vorgehensmodell für Entwicklung und Einsatz der Ontologie zur Lösungssuche

Zur zielgerichteten Entwicklung der Ontologie wird ein Vorgehen auf Basis des Standes der Technik definiert. Dazu werden zuerst ein Überblick über das Vorgehen dargestellt und anschließend die Einzelschritte detailliert beschrieben.

Überblick über das Vorgehen

Abb. 4-1 zeigt das Vorgehen zur Entwicklung und zum Einsatz der Ontologie im Überblick.

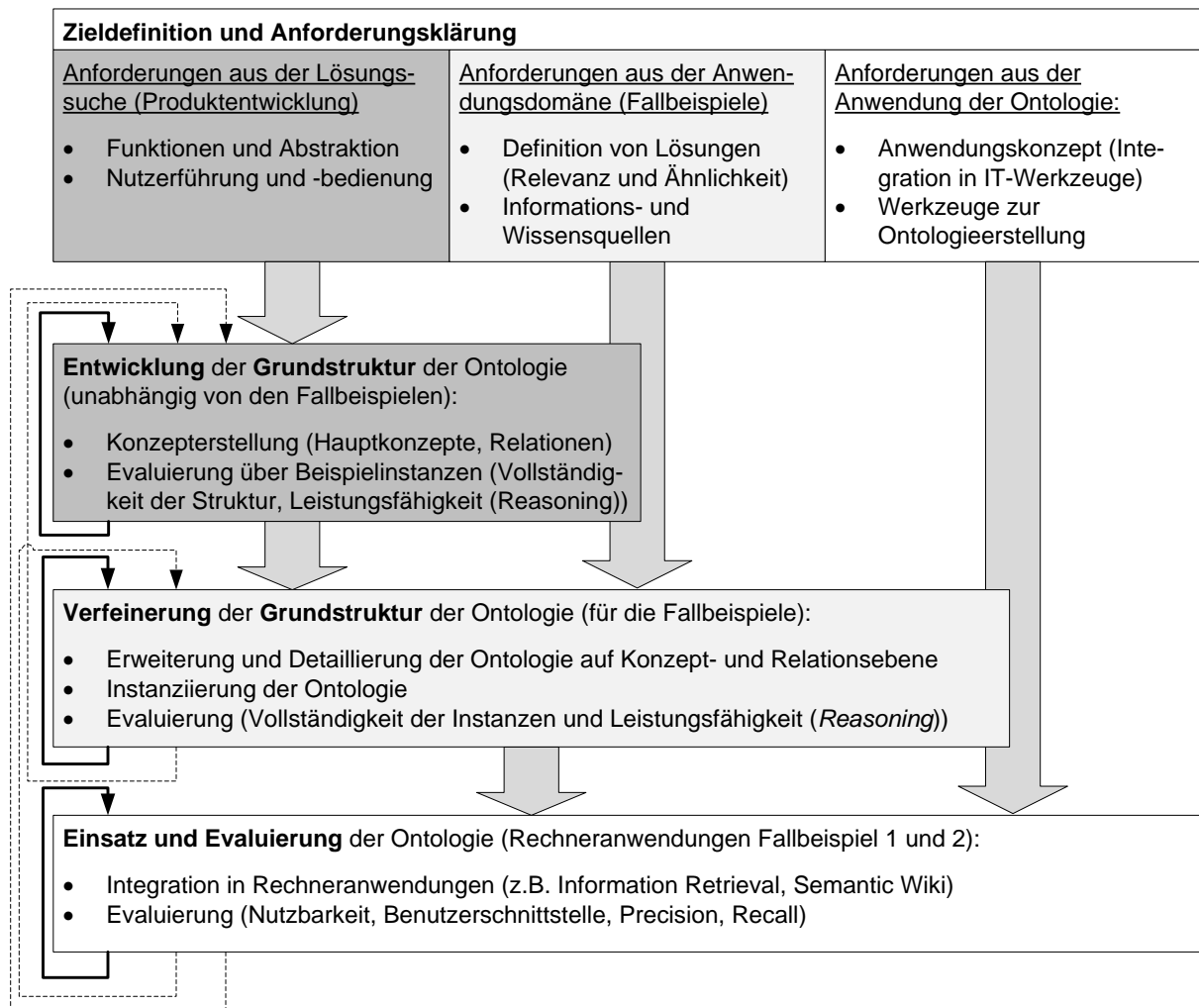


Abb. 4-1: Vorgehensmodell zur Entwicklung der Ontologie zur Lösungssuche in der Produktentwicklung

Dieses Vorgehen basiert auf den in 3.2.4 dargelegten Modellen zur Entwicklung von Ontologien und orientiert sich an SURE et al. (2004). Die von AHMED et al. (2005) beschriebene Integration und Weiterentwicklung von hierarchischen Strukturen findet aber ebenso Eingang in

das Modell, indem an die Hauptkonzepte die entsprechenden Hierarchien angebunden werden können. Das Vorgehensmodell bietet Anknüpfungspunkte für Iterationen und Rücksprünge im Anschluss an den jeweiligen Entwicklungsschritt. Jedem Entwicklungsschritt folgt eine Evaluierung vor Übergang in den nächsten Schritt. Zeigt diese Evaluierung Überarbeitungs- und Änderungsbedarf, ist der iterative Durchlauf dieses Schrittes sinnvoll. Rücksprünge, die eine Überarbeitung von bereits evaluierten Entwicklungsergebnissen (beispielsweise der Grundstruktur im Entwicklungsschritt Verfeinerung der Grundstruktur) notwendig machen, sollen durch die Evaluierungsschritte im Anschluss an den jeweiligen Schritt vermieden werden und damit die Ausnahme darstellen.

Zieldefinition und Anforderungsklä rung

Der erste Schritt ist die **Zieldefinition und Anforderungsklä rung**. Für die zu entwickelnde Ontologie ist die Unterstützung der Lösungssuche in der Produktentwicklung das Hauptziel. Die Anforderungen, die sich aus der Lösungssuche in der Produktentwicklung ergeben, gehen vorrangig in die Entwicklung der Grundstruktur der Ontologie ein. Die Anforderungen aus den beiden Fallbeispielen gehen im Schwerpunkt auf die Verfeinerung der Ontologie ein, und die Anforderungen aus den späteren Rechneranwendungen betreffen vorrangig den Einsatz und die Evaluierung der Ontologie. Die Entwicklung der Grundstruktur bleibt damit allgemeingültig – unabhängig von den Fallbeispielen. Dieser Zuordnung wird auch in Abb. 4-1 Rechnung getragen, wenn auch die Anforderungsbereiche nicht völlig unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen. Im Detail umfasst die Klärung der Anforderungen folgende Punkte:

- Anforderungen aus der **Lösungssuche** (Produktentwicklung): Zu diesen Anforderungen gehört die Klärung, welche Leistungsfähigkeit die Ontologie in Bezug auf die Lösungssuche haben soll. Hierzu zählen insbesondere die in Kap. 2.6 formulierten Anforderungen aus Sicht der Produktentwicklung (Funktion als zentrales Zugriffskriterium, Abstraktion als Prinzip zur Überwindung der semantischen Barriere). Außerdem ist die Nutzerführung bei der Lösungssuche von zentraler Bedeutung und muss vor der Entwicklung spezifiziert werden.
- Anforderungen aus den **Anwendungsdomänen** der Ontologie (Fallbeispiele 1 und 2): diese Anforderungen ergeben sich aus den spezifischen Einsatzfällen, in denen die Ontologie später eingesetzt werden sollen. Im Fall der vorliegenden Arbeit beziehen sich diese Anforderungen auf die beiden Fallbeispiele. Dabei stehen die Definition und Abgrenzung der relevanten und ähnlichen Lösungen im Vordergrund sowie die Klärung von Informations- und Wissensquellen (Textdokumente, Klassifizierungen, Thesauri etc.).
- Anforderungen aus der späteren **Anwendung der Ontologie**: Hierzu gehören die Anforderungen, die sich aus dem späteren Einsatz der Ontologie in Rechnerwerkzeugen und aus den Werkzeugen zur Ontologieerstellung ergeben. Dies umfasst sowohl detaillierte technische Fragestellungen zur Modellierung der Ontologie (Module der Ontologie, Sprachformat etc.) als auch Auswahl und Einsatz geeigneter Werkzeuge, um die Ontologie zu erstellen. Damit bildet die Festlegung der Anforderungen aus IT-Sicht die Grundlage für den Einsatz und die Anwendung der Ontologie.

Entwicklung der Grundstruktur der Ontologie

Die Erstellung der Grundstruktur der Ontologie hat das Ziel, die Ontologie in den Hauptkonzepten und deren Relationen zu definieren. Dies umfasst die Festlegung der notwendigen Konzepte als Abbildung der Realität sowie der Relationen dieser Konzepte zueinander. Da diese Grundstruktur den Kern der Ontologie darstellt, ist dieser Schritt von großer Bedeutung. Die Evaluierung der Ontologie erfolgt durch die exemplarische Instanziierung der Hauptkonzepte über Instanzen aus den Fallbeispielen. Diese Überprüfung fokussiert zum einen, ob die Instanzen aus der Anwendungsdomäne in der Ontologie abgebildet werden können, und zum anderen das Potenzial der Ontologie, ähnliche Lösungen zueinander in Beziehung setzen zu können (logisches Schließen von ähnlichen Lösungen über Reasoning-Verfahren). Eine Überprüfung der Vollständigkeit der Ontologie ist nicht Teil dieses Entwicklungsschrittes. Bei positiver Bewertung der Ontologie kann diese anschließend verfeinert werden.

Verfeinerung der Grundstruktur der Ontologie

Als wesentlicher Anforderungsbereich gehen die Anwendungsdomänen in den Entwicklungsschritt der Verfeinerung der Grundstruktur ein. Damit stellt die Detaillierung der Grundstruktur einen Entwicklungsschritt dar, der nicht mehr unabhängig von den Anwendungsdomänen erfolgen kann. Die zu betrachtenden Anwendungsdomänen sind die Suche nach Lösungen auf Wirkmodellebene im Rahmen des Fallbeispiels 1 und die Suche nach Produkt- und Systemlösungen im Maschinen- und Anlagenbau im Fallbeispiel 2. Da Lösungen immer neben verschiedenen anderen Möglichkeiten (CAD-Modelle etc.) mit textuellen Dokumenten beschrieben werden, werden in beiden Fallbeispielen Textdokumente mit grafischen Abbildungen als Grundlage verwendet. Aus diesem Grund kommt der Wissensextraktion aus den Texten eine große Bedeutung zu.

In Abb. 4-2 ist das Vorgehen, um von textuellen Beschreibungen zu einer Ontologie zu kommen, dargestellt. Dazu müssen die Texte annotiert werden und die wichtigen Instanzen extrahiert werden (z.B. die Funktionen, die mit einer Lösung realisiert werden, oder die Funktionsträger (*Portal*) und Objekte (*Flasche*)). Diese Instanzen werden anschließend auf Redundanzen überprüft, da die Ontologie die Instanzen redundanzfrei enthalten soll. Die so identifizierten Instanzen werden mit den Hauptkonzepten der Ontologie (z.B. *Portal* mit Funktionsträger, *Flasche* mit Objekt) verknüpft und in die Ontologie integriert. Dieser Schritt erfolgt mit einem Rechnerwerkzeug zur Ontologieerstellung. Sind keine geeigneten Konzepte in der Ontologie enthalten oder ist eine weitere Verfeinerung der Ontologie notwendig, sind weitere Konzepte und Relationen hinzuzufügen.

Darauf aufbauend kann die Ontologie um die Anknüpfungspunkte für Klassifikationen detailliert sowie das Mapping zwischen der Ontologie zur Lösungssuche und den Klassifikationen festgelegt werden. Weitere Fragestellungen sind die Bildung von Ontologiemodulen, die eine Zergliederung in handhabbare Einzelontologien ermöglichen, sowie notwendige Sprachanpassungen, die sich im Rahmen von Internationalisierungsfragen oder unternehmensspezifischen Begriffsdefinitionen ergeben. Anschließend wird die Ontologie mit den notwendigen Instanzen aus der Anwendungsdomäne gefüllt, wobei hier automatische Verfahren unterstützend genutzt werden können.

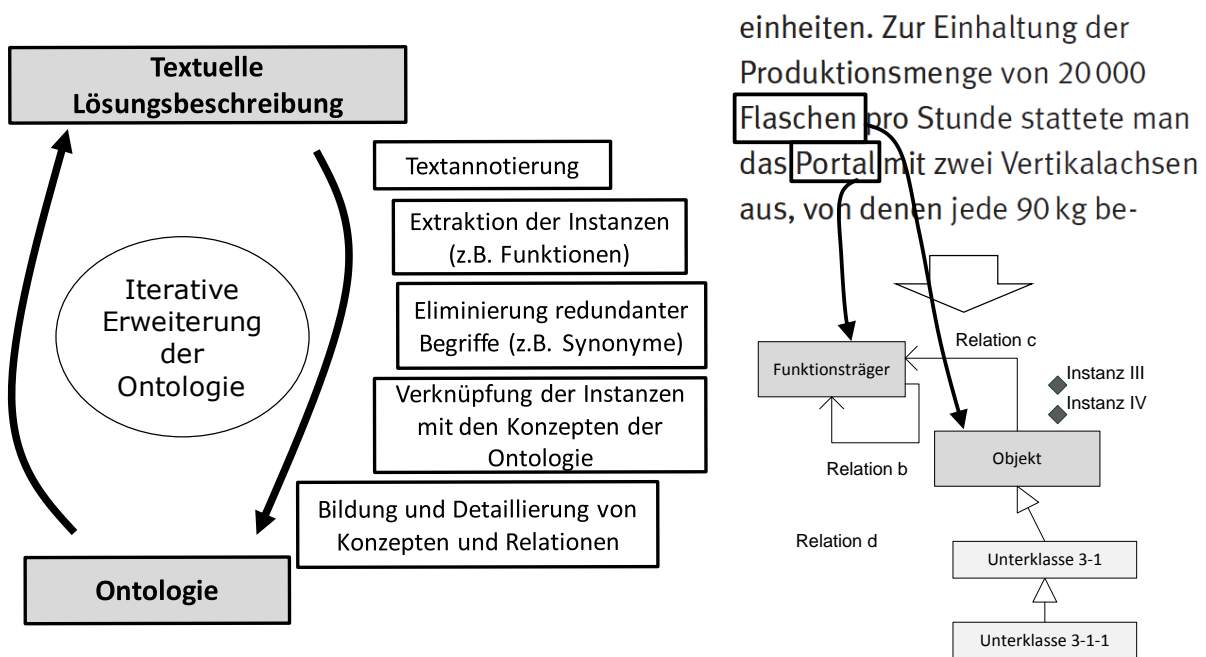


Abb. 4-2: Vorgehen zur Verfeinerung der Ontologie – Extraktion von Konzepten und Instanzen aus Textdokumenten

In Anlehnung an AHMED et al. (2005) wird vor dem eigentlichen Einsatz eine explizite Evaluierung der Ontologie durchgeführt. Diese Evaluierung geschieht noch nicht im Rahmen des späteren Einsatzes oder der späteren Anwendung, sondern überprüft exemplarisch die Erreichung des Anwendungsnutzens. Hierzu gehört im Fall der Lösungssuche die Navigation und das Finden von relevanten Lösungen, die für eine funktionsorientierte Anfrage wichtig sind.

Einsatz und Evaluierung der Ontologie

Der anschließende Einsatz der Ontologie erfolgt im Rahmen entsprechender Rechneranwendungen, bei denen die Ontologien als Wissensmodell eingesetzt werden (z.B. Information Retrieval, Semantic-Web-Anwendungen). Die Evaluierung in dieser Phase verfolgt zum einen die Überprüfung der Nutzbarkeit der Ontologie, d.h. ob der Nutzer sinnvoll damit umgehen kann, und zum anderen, ob die erzielten Ergebnisse möglich sind (relevante ähnliche Lösungen aus Funktionssicht). Als weiteren Aspekt werden die Ausweitbarkeit der Ontologie auf ein breites Anwendungsgebiet und die Verbesserung von *Precision* und *Recall* in den Anwendungswerkzeugen überprüft und gegeben falls die Ontologie erweitert oder verbessert.

Die sich an die Entwicklung der Ontologie anschließende Pflege und Instandhaltung folgt auf die vier Hauptschritte, ist aber nicht mehr Gegenstand der vorliegenden wissenschaftlichen Betrachtung. Wichtige Fragestellungen im Zusammenhang mit der Pflege und Instandhaltung werden im Ausblick der Arbeit aufgegriffen (siehe Kap. 9.2) und müssen bei dem weiteren Einsatz der Ontologie Beachtung finden.

5. Klärung der Anforderungen an die Ontologie

Die Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Suche nach Lösungen mit Hilfe semantischer Technologien stellt den Kern der Arbeit dar. Die Anforderungen an die Ontologie ergeben sich dabei zum einen aus der Lösungssuche in der Produktentwicklung, für die die Prinzipien „Abstraktion“, „Funktionsbetrachtung technischer Systeme“ zentral sind. Zum anderen stellen die beiden Fallbeispiele wichtige Anforderungen, was insbesondere den Umfang und das Schließen auf ähnliche Lösungen betrifft. Schließlich sind die Anforderungen, die sich aus der Entwicklung der Ontologie und aus dem späteren Einsatz der Ontologie in Rechneranwendungen ergeben, zu klären und in einem gesamthaften Lösungskonzept zu berücksichtigen.

5.1 Allgemeine Anforderungen aus der Lösungssuche

Zu den Anforderungen aus der Lösungssuche gehören die inhaltliche Abgrenzung der betrachteten Lösungen sowie die Festlegung, auf welchen Abstraktionswegen die Lösungssuche unterstützt werden soll. Des Weiteren stellt das Vorgehen eines Nutzers bei der Lösungssuche Anforderungen an die Gestaltung der Nutzerführung und -interaktion, die das Lösungskonzept berücksichtigen muss.

Beschreibung von Lösungen und Aufgaben aus Funktionssicht

Im Rahmen einer funktionsorientierten Lösungssuche stehen Lösungen im Vordergrund, die als Einheit auf einen spezifischen technischen Prozess einwirken und in der Anwendung des technischen Systems eine konkrete Aufgabe erfüllen. Da die Funktion eine zentrale Rolle bei der Beschreibung einer technischen Aufgabe oder Lösung darstellt, werden im vorliegenden Ansatz sowohl die Aufgabe als auch die Funktion primär über deren Funktion beschrieben. Weitere Aspekte und Anforderungen, die sich aus der Situation und dem weiteren Kontext ergeben, werden nicht berücksichtigt. Die Bewertung, wann eine Lösung für eine Aufgabe geeignet ist, erfolgt durch den Nutzer.

Unter einer Lösung im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird dabei jedes technische System – unabhängig von der Konkretisierungsebene – verstanden, das die folgenden Kriterien erfüllt:

- **Funktions- und Aufgabenorientierung:** Eine Lösung bezieht sich auf die Erfüllung einer spezifischen, vom Anwender der Lösung gestellten Aufgabe. Diese Aufgabe kann über eine Gesamtfunktion beschrieben werden, die sich wiederum in mehrere Teilfunktionen untergliedern lässt. Eine Funktion wird dabei generell über ein Objekt und eine zugehörige Operation beschrieben. Die Eignung einer Lösung zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe hängt nicht nur von der Erfüllung der Gesamtfunktion ab,

sondern auch von den weiteren Anforderungen und damit vom Kontext der Aufgabenstellung (beispielsweise von den aufgabenspezifischen Anforderungen).

- **Bestehende Lösung:** Die Anwendungs- und Lösungssuche ermöglicht den Zugriff auf bereits realisierte oder zumindest als Prinziplösung vorgedachte Lösungen. Die Konfiguration von Produkten (z.B. als Produktkonfigurator) stellt keinen Bestandteil der hier betrachteten Lösungssuche dar, da dort eine neue Lösung generiert wird.
- **Systemhierarchie der Funktionsträger:** Eine Lösung wird realisiert über einen oder mehrere Funktionsträger, die wiederum aus Teilkomponenten und Teilsystemen bestehen und eine hierarchische Struktur aufweisen. Um aus den Einzelkomponenten eine Lösung zu erstellen, ist eine explizite Entwicklungsleistung notwendig.
- **Lösungsalternativen:** Lösungen können – je nach Lösungsanbieter – über unterschiedliche Alternativen realisiert werden. Diese Alternativen sind auf allen Konkretisierungsstufen möglich (im Fallbeispiel 1 auf Ebene des Wirkmodells, im Fallbeispiel 2 auf Ebene des Baumodells).

Eine technische Lösung bezieht sich damit immer auf die Einwirkung in einen technischen Prozess, der die Transformation eines Operanden aus dem Zustand 1 in den Zustand 2 ermöglicht (siehe Abb. 5-1). Der technische Prozess stellt dabei die Anwendung des technischen Systems dar und wird als Funktion, bestehend aus einem Objekt und der Operation, beschrieben.

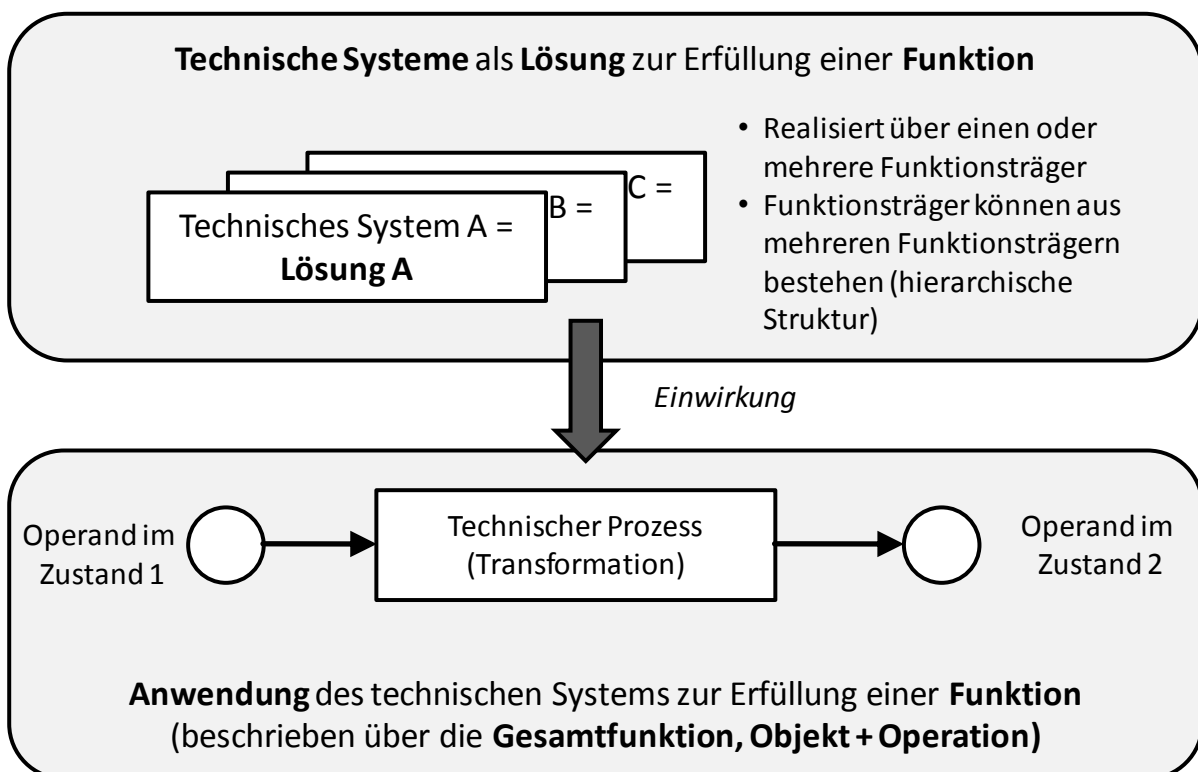


Abb. 5-1: Einsatz von technischen Systemen als Lösung in spezifischen Anwendungen

Überwindung der semantischen Barriere bei der Lösungssuche

Bei einer Suchanfrage existieren verschiedene semantische Barrieren zwischen dem Suchenden und den Beschreibungen im Lösungsraum. Um diese zu überwinden werden sowohl die Aufgaben- und Problembeschreibung als auch die Lösungsbeschreibungen im Lösungsraum in ein abstraktes Beschreibungsmodell eingeordnet. Die Verknüpfung von Elementen auf sehr konkreter Ebene, wie sie beispielsweise in konkreten Projektanfragen oder Systemdokumentationen enthalten sind, mit einer abstrakten Funktionsebene, muss im Lösungskonzept enthalten sein.

Am Beispiel der Suche nach geeigneten Systemen zur Verpackung von Getränkeflaschen soll dies verdeutlicht werden (siehe Abb. 5-2). Ein Entwickler stellt eine Anfrage an das System: „*ich möchte eine PET-Flasche transportieren*“. Diese konkrete Anfrage muss in der Ontologie auf eine abstrakte Ebene abgebildet werden können, beispielsweise auf die abstrakte Funktion *Zylindrisches Werkstück bewegen*. Diese wiederum ist auch mit den konkreten Instanzen im Lösungsraum verknüpft, beispielsweise dem *Transfersystem zum Flaschen verpacken*. Die in der Ontologie enthaltenen Abstraktionen beziehen sich dabei auf verschiedene Sichten und Abstraktionsebenen, um beispielsweise die Funktionsbezeichnungen verschiedener Domänen abbilden zu können.

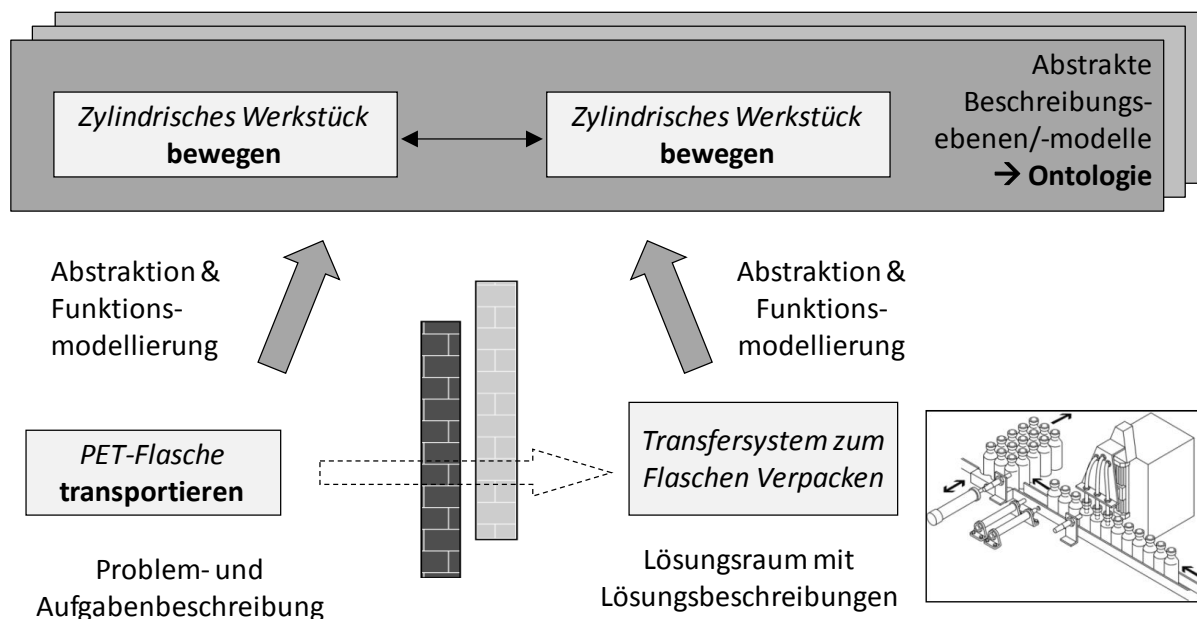


Abb. 5-2: Problemlösung und Lösungssuche über Funktionsbetrachtung und Abstraktionsebenen

Über die Abbildung von verschiedenen Abstraktionsebenen in der Ontologie kann die semantische Barriere zwischen Lösung und Lösungssuchenden überwunden werden. Daneben können über die Abstraktionsebenen nicht nur direkt geeignete Lösungen mit anderen textuellen Beschreibungen identifiziert werden, sondern auch Lösungen, die für eine Aufgabe relevant sein können, d.h. auf einem abstrakten Niveau zu einer Suchanfrage passen und damit eine Ausgangslösung darstellen, die an die zu lösende Aufgabe mit geringen Änderungen angepasst werden kann.

Nutzerführung und Bewertung von Lösungen

Das Lösungskonzept muss den Nutzer in seinem Vorgehen bei der Lösungssuche unterstützen. Dieses Vorgehen basiert dabei auf dem allgemeinen Ansatz in der Produktentwicklung, über Funktionen geeignete Lösungen zu identifizieren (siehe Abb. 5-3). Den Ausgangspunkt stellt die Funktion dar, die der Anwender in das System eingibt. Davon ausgehend kann er die Anfrage weiter spezifizieren, indem er beispielsweise seine konkrete Funktion in die vorgegebenen Abstraktionsstufen einordnet und damit seine Anfrage weiter spezifiziert. Diese Spezifikation basiert auf Basis der in der Ontologie modellierten Konzepte und Instanzen und deren Relationen. Daraus abgeleitet wird dem Nutzer eine entsprechende Treffermenge aus dem Informationsspeicher zur Verfügung gestellt. Diese Treffermenge umfasst dabei die direkten Treffer, die vollständig zur Suchanfrage passen. Diese initiale Treffermenge kann erweitert und eingeschränkt werden nach folgenden Strategien:

- **Erweiterungsstrategie:** eine gezielte Erweiterung der Treffermenge über die Abstraktion eines Kriteriums der Anfrage, um weitere Lösungen zu identifizieren. Diese Erweiterung muss nach verschiedenen Kriterien erfolgen können.
- **Reduktionsstrategien:** eine gezielte Einschränkung der Treffermenge wird ermöglicht, indem einschränkende Kriterien spezifiziert werden (z.B. durch die Angabe von Ausschlusskriterien).

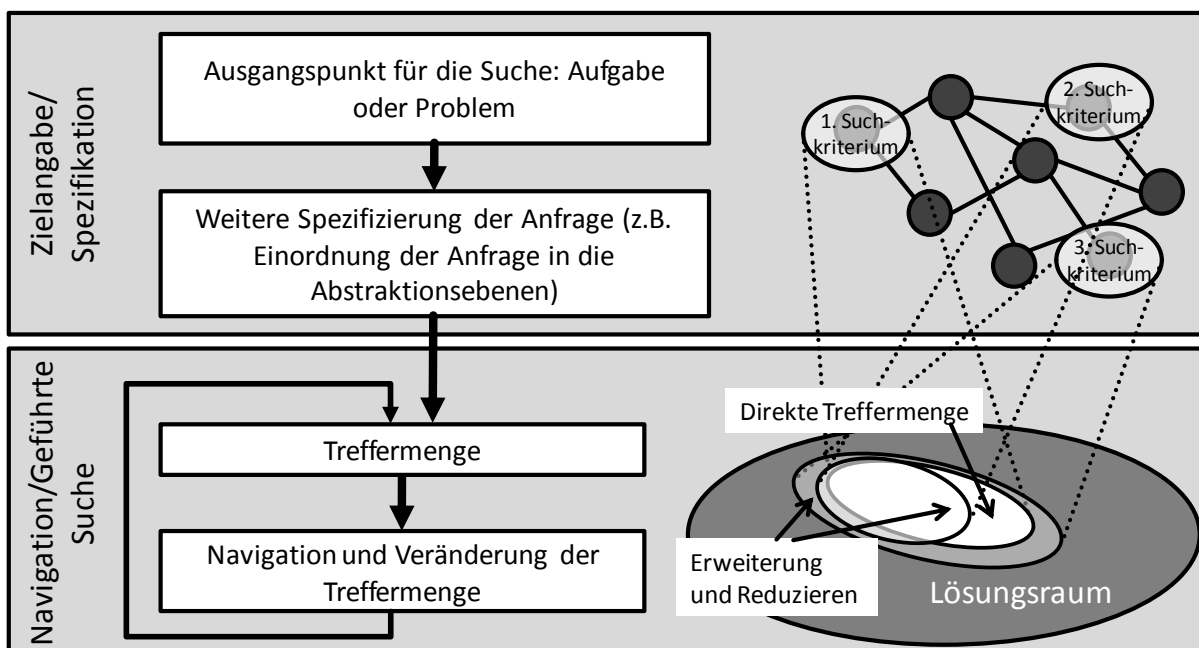


Abb. 5-3: Vorgehen und Nutzerführung bei der Lösungssuche

Neben einem Einstieg über die Funktion in die Lösungssuche sind auch weitere Einstiegsmöglichkeiten in die Ontologie möglich (beispielsweise über die genutzten physikalischen Effekte, die Branche etc.). Die Auswahl und Bewertung der Treffer wird dabei ausschließlich vom Nutzer vorgenommen, das System unterstützt ihn darin, eine möglichst geeignete Lösungsmenge zu erschließen.

5.2 Anforderungen aus den Fallbeispielen

Die Anforderungen, die sich allgemein aus der Lösungssuche in der Produktentwicklung ergeben, werden ergänzt um die Anforderungen, die die beiden Fallbeispiele an das Lösungskonzept stellen. Dazu gehört die Festlegung der inhaltlichen Bausteine, die in der Ontologie abgebildet werden müssen, sowie die Festlegung, welche Lösungen im Rahmen einer funktionsorientierten Betrachtung für eine Aufgabenstellung relevant sind.

5.2.1 Anforderungen aus der Suche nach Prinziplösungen

Die Abgrenzung relevanter Lösungen im Fallbeispiel 1 ist eine der zentralen Anforderungen an die Ontologie. Im Folgenden werden die Prinziplösungen detailliert beschrieben und die Relevanz der Prinziplösungen zueinander abgeleitet.

Beschreibung von Lösungen

Charakteristisch für Lösungen auf Wirkmodellebene ist, dass sie sich aus der Zusammenstellung mehrerer physikalischer Effekte zu einer Effektkette ergeben und durch die Darstellung in einer Skizze mit den wichtigsten Ein- und Ausgangsgrößen beschrieben werden. Die Lösungen im Fallbeispiel 1 sind einheitlich nach dem in Abb. 5-4 dargestellten Beispiel dokumentiert und liegen in digitaler Form vor.

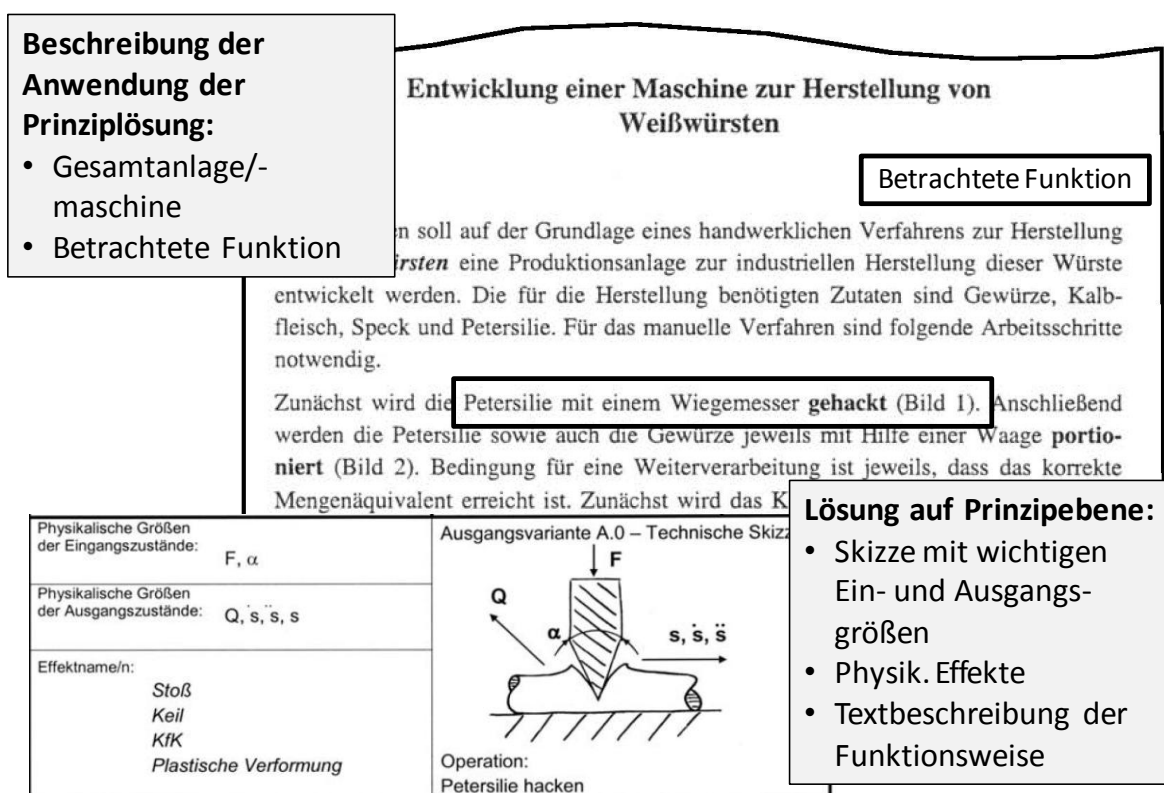


Abb. 5-4: Beispiel einer Lösung zum Hacken von Petersilie als Teilfunktion zur Herstellung von Weißwürsten

Die Prinziplösungen werden jeweils für konkrete Funktionen entwickelt und besitzen eine textuelle Beschreibung der gesamten Maschine oder Anlage, in der die Funktionen zum Ein-

satz kommen (siehe Abb. 5-4). So beschreibt die Funktion *Petersilie hacken* eine Teilfunktion, die notwendig ist zur *Herstellung von Weißwürsten*. Neben den Funktionen, bestehend aus Objekt und Operation, können auch die jeweiligen Funktionsträger enthalten sein, die diese Funktionen ausführen (*Wiegemesser*). In Ergänzung zu den Lösungsbeschreibungen liegt die Sammlung physikalischer Effekte als wichtige Informationsquelle vor, die die einzelnen Effekte mit Abbildung und kurzer Beschreibung sowie die Zuordnung zum physikalischen Teilgebiet enthält [PONN & LINDEMANN 2008].

Übersicht über den Lösungsraum

Die Lösungssammlung umfasst jeweils für eine Funktion unterschiedliche Lösungsalternativen. In Abb. 5-5 sind Prinziplösungen drei verschiedener Funktionen dargestellt: *Petersilie hacken*, *Pflanzen scheiden* und *Fruchtstücke auspressen*.

Funktion	Alternative 1		Alternative 2		Alternative 3	
	Bezeichnung	Effekte	Bezeichnung	Effekte	Bezeichnung	Effekte
Petersilie hacken	Hackbeil (Petersilie)	Stoß, Keil, KfK, Plast. Verformung	Hammerschlag (Petersilie)	Änderung Aggregatzustand, Stoß, KfK, Plast. Verformung	Wasserstrahlschneiden (Petersilie)	Staudruck, Kohäsion fester Körper, Plast. Verformung
Pflanzen schneiden	Schneidkeil (Pflanzen)	Stoß, Keil, KfK, Plast. Verformung	Reisser (Pflanzen)	Coulombsche Reibung, Plast. Verformung	Laserschneider (Pflanzen)	Laser, Änderung Aggregatzustand
Fruchtstücke auspressen	Draingepresse (Fruchtstücke)	KfK, Druckkraft	Aufschlag-Gravitation (Fruchtstücke)	KfK, Gravitation	Trommelquetsche (Fruchtstücke)	KfK, Scherung

Abb. 5-5: Prinziplösungen im Fallbeispiel 1 - beispielhafte Gegenüberstellung

Eingrenzung und Festlegung relevanter Lösungen

Vergleicht man die Lösungen untereinander, so wird deutlich, dass Prinziplösungen, die für eine konkrete Funktion entwickelt wurden, auch für andere Funktionen geeignet sein können. So sind sich die Alternativen 1 zu *Petersilie hacken* und *Pflanzen schneiden* sehr ähnlich – sie unterscheiden sich lediglich in der Anordnung der Funktionsträger, d.h. der Keile. Lösungsalternativen, die das *Auspressen der Fruchtstücke* ermöglichen, können nicht als geeignete Lösungen für das *hacken* oder *schneiden* genutzt werden.

Da alle Objekte und Operationen, die die Lösungssammlung des Fallbeispiels enthält, unterschiedlich sind, ist eine direkte Zuordnung geeigneter Lösungsalternativen über die Funktion nicht möglich. Aus diesem Grund soll ein Zugriff ermöglicht werden, der nicht nur direkt einer Funktion zugeordnete Lösungen angibt, sondern auch Lösungsalternativen, die für diese Funktion geeignet sein können. Stellt man alle Prinziplösungen einer spezifischen Funktion gegenüber, so können sie nach ihrer Eignung zur Erfüllung dieser Funktion bewertet werden. Da die Beschreibung der Funktion häufig bereits eine Angabe zur Art der Einwirkung bzw. zum Mittel enthält, ist die Abstraktion der Funktion auf die Transformation des Operanden notwendig. Dies bedeutet beispielsweise, dass die Funktion *Gras mähen* auf die Transformation des *Änderns der Länge des Grasses* abstrahiert wird, um Lösungsalternativen zuzulassen. Damit stellt die Fragestellung, ob eine Prinziplösung auf eine Transformation derart einwirken kann, dass die Überführung des Operanden aus dem Eingangszustand 1 in den Ausgangszustand 2 weiterhin gegeben ist, das entscheidende Kriterium zur Bewertung der Funktionserfüllung einer Prinziplösung dar. Prinziplösungen können sich damit in Wirkprinzip und -geometrie unterscheiden und doch auf dieselbe Transformation geeignet einwirken. Solche Prinziplösungen stellen dann Lösungsalternativen für eine bestimmte Transformation eines Operanden dar (siehe Abb. 5-6).

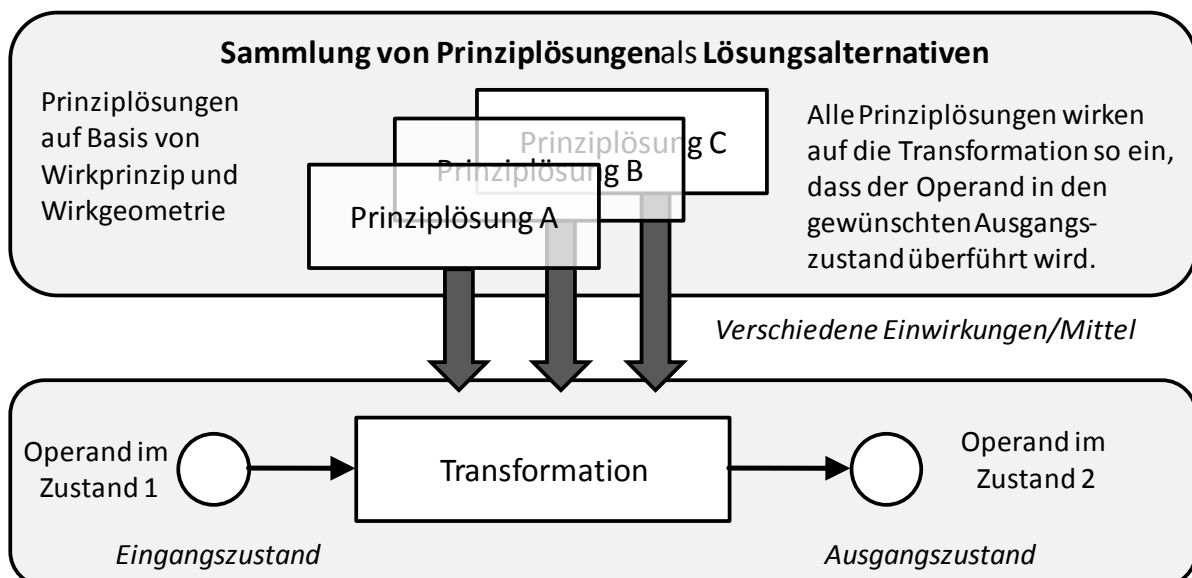


Abb. 5-6: Lösungsalternativen auf Wirkmodellebene zur Transformation eines Operanden

Die in Abb. 5-5 dargestellten Prinziplösungen besitzen zur Erfüllung der Funktion *Petersilie hacken* unterschiedliche Wirkmodelle und haben unterschiedliche Einwirkungen auf die Transformation des Objektes *Petersilie*. So bewirkt die Alternative *Hackbeil* ein Auseinander-

derdrängen des Materials, die Alternative *Hammerschlag* ein Zerschlagen des Materials (deutlich andere Bruchkante) und die Alternative *Wasserstrahl* einen abrasiven Vorgang. Allen Wirkprinzipien gemeinsam ist jedoch, dass sie die Transformation der *Petersilie lang* in den Ausgangszustand *Petersilie zerkleinert* oder *Petersilie kurz* bewirken. Damit können diese Prinzipien als Lösungsalternativen angesehen werden. Ebenso stellen auch Lösungsalternativen für die Funktion *Pflanzen schneiden* Lösungsalternativen bereit, die die gewünschte Transformation bewirken, wobei jedoch wiederum weitere Einwirkungsmöglichkeiten zur Transformation führen können (z.B. durch das Verbrennen des Materials an der Wirkfläche eines *Lasers*). Die Alternativen, die zum *Auspressen der Fruchtstücke* eingesetzt werden, stellen für das *Hacken der Petersilie* keine Lösungsalternativen dar. Sie können mit ihrem Wirkprinzip und der gegebenen Wirkgeometrie nicht auf das Objekt derart einwirken, dass es vom Eingangs- in den Ausgangszustand überführt wird.

Als weitere Lösungsalternativen sind in der gegebenen Lösungssammlungen Lösungen enthalten, die eine Prinziplösung unverändert lassen und um weitere Effekte ergänzen. So kann beispielsweise die Prinziplösung *Schneidkeil* um einen *Hebel* ergänzt werden, der die notwendige Kraft F auf den *Schneidkeil* ausübt. Insgesamt ergeben sich auf Basis dieser Betrachtungen vier verschiedene Teilmengen aus der Menge der Lösungsprinzipien für eine spezifische Funktion, die mit entsprechenden Beispielen in Abb. 5-7 dargestellt sind.

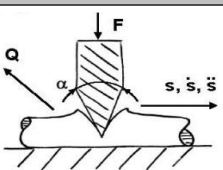
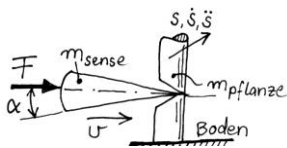
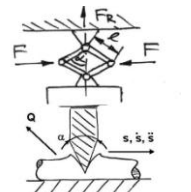
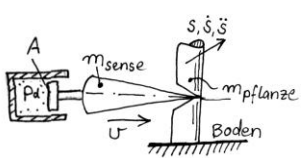
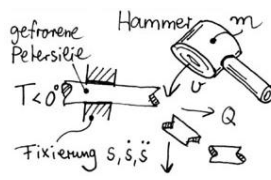
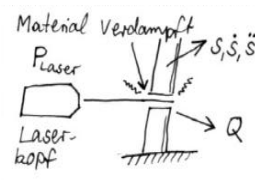
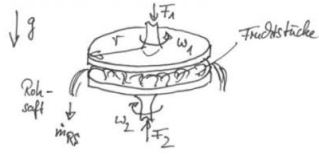
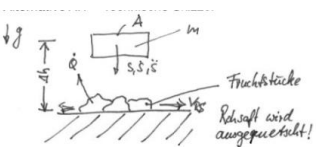
Funktion: Pflanzen schneiden			
Lösungsmenge	Definition	Beispiele	
Ähnliche Prinziplösungen	Ähnliches Wirkmodell (identische Effektkette, ähnliche Wirkgeometrie, gleiche Einwirkung)		
Erweiterte ähnliche Prinziplösungen	Wie oben, jedoch um weitere Effekte ergänzt (Erweiterung der Systemgrenze)		
Alternative Prinziplösungen	Neues Wirkmodell (andere Effektkette und Wirkgeometrie, alternative Einwirkung)		
Ungeeignete Prinziplösungen	Wirkmodell ohne geeignete Einwirkung auf die Transformation		

Abb. 5-7: Unterschiedliche Lösungsmengen zur Erfüllung der Funktion „Pflanzen schneiden“

Diese Teilmengen lassen sich nach folgender Definition gegeneinander abgrenzen:

- **Ähnliche Prinziplösungen:** Lösungsprinzipien mit ähnlichem Wirkmodell (besitzen eine identische Effektkette, können alternative Wirkgeometrien aufweisen (z.B. *Schneidkeil* und *Hackbeil*, lediglich Wirkrichtungsunterschiede).
- **Erweiterte ähnliche Prinziplösungen:** Besitzen wie ähnliche Prinziplösungen ein ähnliches Wirkmodell, das jedoch um weitere physikalische Effekte erweitert ist. Diese Lösungsmenge beinhaltet damit eine Erweiterung der Systemgrenze.
- **Alternative Prinziplösungen:** Geeignete Lösungsalternativen, die sich durch eine neue physikalische Effektkette sowie Wirkgeometrie auszeichnen und eine andere Einwirkung auf das Objekt besitzen, jedoch die gewünschte Transformation auf abstraktem Niveau bewirken.
- **Ungeeignete Lösungsprinzipien:** Sind nicht geeignet, auf das Objekt in der gewünschten Transformation einzuwirken. Lösungsprinzipien in dieser Gruppe wirken bei einem Austausch der Objekte nicht in der gewünschten Form ein, es wäre eine deutliche Veränderung der Effektkette und der Wirkgeometrie notwendig.

Zielsetzung: Unterstützung bei der Suche nach Lösungsprinzipien

Zielsetzung im Fallbeispiel 1 ist es, dem Suchenden einen zielgerichteten Zugriff auf die Lösungsmenge zu ermöglichen, so dass er im Falle einer neuen Aufgabenstellung schnell die dafür geeigneten und alternativen Prinziplösungen ermitteln kann. Die Bewertung der Eignung einer Lösung erfolgt dabei durch den Nutzer, im Idealfall werden ihm durch den ontologiebasierten Zugriff genau die Lösungen bereitgestellt, die die Erfüllung der von ihm gewünschten Funktion auf abstrakterer Ebene (Transformation seines Objektes) ermöglichen. Um diesen Zugriff zu unterstützen, werden die Funktionen über verschiedene Abstraktionsebenen in ihrer semantischen Bedeutung beschrieben.

5.2.2 Anforderungen aus der Suche nach Produkt- und Systemlösungen

Lösungen im Maschinen- und Anlagenbau werden über verschiedene Produktmodelle beschrieben. Im Rahmen von Marketingzwecken liegen dazu meist Informationen in textueller und grafischer Form vor. Diese Dokumente sind häufig über Internetauftritte der entsprechenden Unternehmen zugreifbar. Eine Recherche nach geeigneten Lösungen für konkrete Aufgabenstellungen gestaltet sich sehr zeitaufwändig. Die Unterstützung der Lösungssuche im Rahmen dieser Problemfelder fokussiert das zweite Fallbeispiel. Dabei stehen eine hohe Relevanz der bereitgestellten Lösungsmenge sowie eine möglichst geringe Menge an nicht bereitgestellten, aber relevanten Lösungen im Fokus (Kennzahlen *Precision* und *Recall* einer Suchanfrage).

Beschreibung von Lösungen

Lösungen im Fallbeispiel 2 beziehen sich auf Maschinen- oder Anlagen, die eine definierte Anwenderfunktion übernehmen. Diese Lösungen setzen sich aus Teilsystemen zusammen und

bilden ein Gesamtsystem zur Erfüllung der Funktion. Im Maschinen- und Anlagenbau sind diese Lösungen kundenindividuelle Lösungen, die sich aus der Anpassung bestehender Systeme und Produkte ergeben. Dementsprechend werden Lösungen auf der Baumodellebene, wie sie in diesem Fallbeispiel vorkommen, als Produkt- und Systemlösungen bezeichnet.

Im Rahmen der Lösungssuche im Fallbeispiel 2 stellt beispielsweise das in Abb. 5-8 dargestellte Transfersystem mit der zugehörigen Lösungsbeschreibung eine Lösung dar, die über die Ontologie zugänglich gemacht werden soll. Das Transfersystem erfüllt die Anwenderfunktion *Flasche verpacken* und besteht aus unterschiedlichen Komponenten und Teilsystemen, die zu einem nutzbaren Gesamtsystem zur Erfüllung der Gesamtfunktion zusammengestellt und aneinander angepasst werden. Die Lösung wird dabei nicht über weitere prozess- oder projektspezifische Attribute wie Projektdauer, Bearbeiter, Kostenrahmen etc. beschrieben. Neben der dargestellten Lösung gibt es weitere Alternativen. So kann der Transport von Flaschen über verschiedene mechanische Konstruktionen realisiert werden (z.B. Portalsysteme, Robotersysteme), die wiederum von verschiedenen Antriebstechnologien und physikalischen Wirkprinzipien (z.B. pneumatisch, elektro-mechanisch etc.) angetrieben werden können.

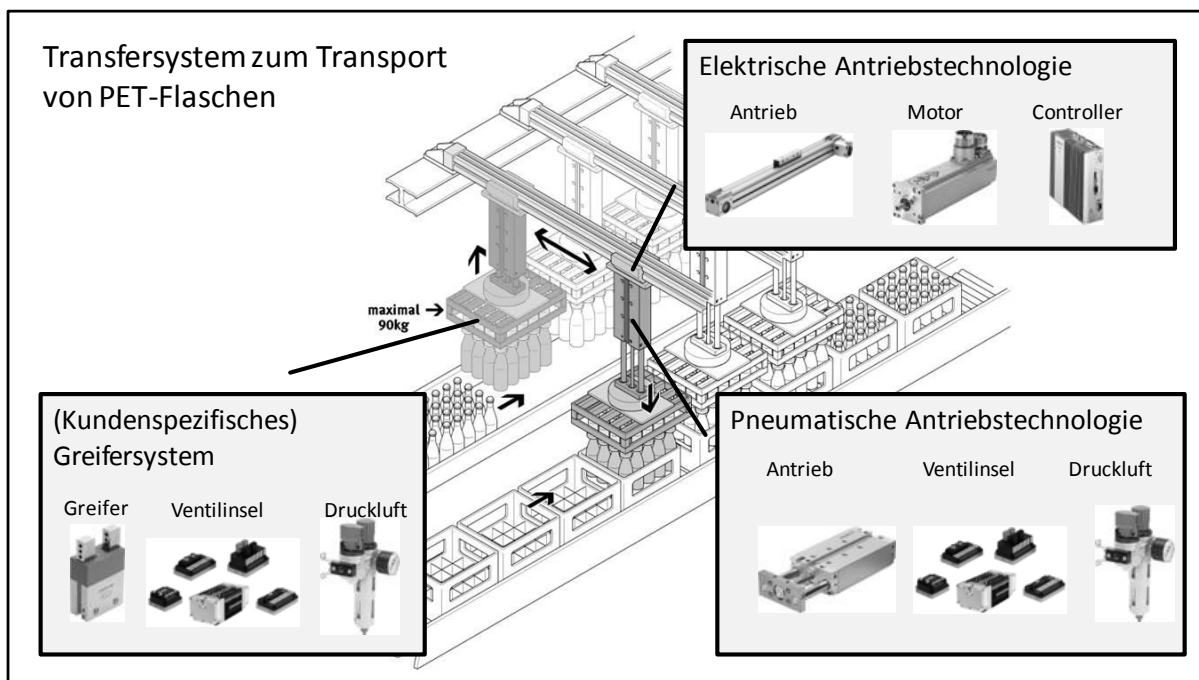


Abb. 5-8: Beispiel einer Lösung im Fallbeispiel 2 (Abbildung mit freundlicher Genehmigung der FESTO AG & Co. KG)

Lösungen im Fallbeispiel 2 sind in einer Vielfalt unterschiedlichster Dokumente und Produktmodelle (beispielsweise Produktdokumentationen, Handbücher, Vertriebsdokumente) beschrieben. In Abb. 5-9 ist exemplarisch die Beschreibung einer Lösung eines spezifischen Unternehmens im Fallbeispiel 2 dargestellt. Die Dokumente, die die Beschreibung von Lösungen beinhalten, können dabei deutlich in Umfang und Detailliertheit differieren. Dokumente im Vertrieb enthalten dabei meist Textbeschreibungen mit Abbildungen. Diese textuelle Art der Wissensrepräsentation beinhaltet den subjektiven Blick auf eine entsprechende Lösung, da die Beschreibung in Worten und Begriffen erfolgt. Eine solche Beschreibung enthält

verschiedene Angaben zu einer Lösung wie beispielsweise den Namen der Lösung (Handhaben von Flaschengut). Häufig wird die Ausgangs- und Problemstellung beschrieben und die zugehörige Lösung des Unternehmens. Die Angabe verschiedener Funktionen ist dabei sowohl Bestandteil der Beschreibung der Ausgangssituation als auch des Lösungskonzepts. So enthalten die Dokumente die Gesamt- und Teilfunktionen einer Lösung, jeweils mit unterschiedlichen Begriffen beschrieben. Weitere Angaben beziehen sich auf die Funktionsträger und Produkte, die eingesetzt werden zur Realisierung der Lösung. Als Angaben zum Abnehmer einer Lösung können der Kunde sowie Branche und Anwendung, in der die Lösung eingesetzt wird, angegeben sein. Insgesamt ergibt sich so eine umfassende Beschreibung einer Lösung, die geprägt ist durch die textuelle Darstellung und Form.

Beschreibung der Lösung (Ausgangs- und Problemstellung, Funktionsweise, Abbildungen, Branche, Kunde etc.)	
<p>Ein Spezial-Greiferwerkzeug versetzt mit dem Festo 3D-Raumportal diesen Block in Verpackungseinheiten. Zur Einhaltung der Produktionsmenge von 20 000 Flaschen pro Stunde stattete man das Portal mit zwei Vertikalachsen aus, von denen jede 90 kg bewegt. Ein Kartonaufrichter bzw. Flaschenträgeraufrichter für die spätere Verpackung verarbeitet 60 Flaschenträger pro Minute. Geführte Antriebe vom Typ DGPIL sowie das System SoftStop SPC11 stellen die Träger bereit. Das System SoftStop SPC11 sorgt für die exakte und lagerichtige Zuführung der Laufräder in die Spanneinheit. Es verbessert das Dämpfungsverhalten in der Endlage. Damit sind höhere Taktzahlen sowie eine erschütterungsarme Konstruktion bei gleichzeitiger Erhöhung der Lebensdauer des Zylinders möglich.</p> <p>Das Handling erlaubt eine hohe Variantenvielfalt: Es verarbeitet unterschiedliche Flaschen, unterschiedliche Verpackungseinheiten sowie unterschiedliche Verpackungsarten wie Kartons oder</p>	<p>aber Flaschenträger. Es zeichnet sich durch seine hohe Verfügbarkeit, seine hohe Produktivität sowie seinen geringen Platzbedarf aus. Basis des 4-Achs-Raumportals sind Festo Zahnriemen-Lineareinheiten, angetrieben mit Festo Servomotoren und Sondergetriebe.</p> <p>Aber nicht nur Brauereien lassen sich komplett vormontierte individuelle Handlings über eine Teile- bzw. Projektnummer liefern. Vorab geprüft, mit allen Konstruktionsdaten und Schaltplänen sowie umfassender Funktions- und Festpreisgarantie geliefert, verkürzen die einbaufertigen Handlings den Weg von der Idee zur Maschine und reduzieren Schnittstellen. Fix und fertig zusammengebaut und geprüft, erfolgt die Anlieferung des einbaufertigen Systems direkt an die Maschine. Komplettlösungen entlasten das Fachpersonal, Konstruktionsaufwand und -kosten bleiben gering. Einbaufertige Handling-Systeme erleichtern den Beschaffungsprozess und senken die Prozesskosten.</p>
	 <p>Endlagenregler SPC11</p> <p>Ventilinsel CPV</p> <p>Wartungsgeräte D-Reihe</p>
	<p>Funktionsträger, die in der Lösung zum Einsatz kommen</p> 

Abb. 5-9: Textuelle und grafische Beschreibung der Lösung zum Verpacken von Flaschen [FESTO AG & Co. KG 2009b]

Neben den konkreten Lösungen stellen Klassifizierung und Thesauri eine weitere bedeutende Informationsquelle im Fallbeispiel 2 dar. Die folgende Tab. 5-1 enthält eine Übersicht über wichtigsten Klassifizierungen mit einer Kurzbeschreibung. Diese Klassifizierungen und Thesauri sind bei der Entwicklung und Verfeinerung der Ontologie zu berücksichtigen.

Klassifizierung/Thesaurus	Kurze Beschreibung zu den Inhalten der Klassifizierung/des Thesaurus
<i>NACE: Code Nomenclature of economic activities</i> [EUROPEAN COMMUNITIES 2009]	<i>Enthält eine international gültige Klassifizierung aller Branchen in den verschiedensten Industrie- und Wirtschaftszweigen.</i>
<i>VDMA-Fachzweigsystematik</i> [VDMA-VERLAG GMBH, VDMA VERLAG 2009a]	<i>Klassifiziert die verschiedenen Hersteller von Anlagen und Maschinen im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA)</i>
<i>eCI@ss</i> [ECLASS E.V. 2009]	<i>Enthält eine Klassifizierung von Produkten und Dienstleistungen</i>
<i>eMarket</i> [VDMA-VERLAG GMBH, VDMA VERLAG 2009b]	<i>Klassifiziert Produkte und Dienstleistungen verschiedener Fachbereiche des VDMA</i>
<i>FIZ-Thesaurus</i> [herausgegeben von FIZ TECHNIK E.V./FIZ-TECHNIK-INFORM GMBH 2009]	<i>Enthält allgemeine Begriffe aus dem Gebiet Technik und Management</i>
<i>Thesaurus Verpackungstechnik</i> HAAS & ELZE 1992	<i>Enthält allgemeine Begriffe aus dem Gebiet der Verpackungstechnik</i>

Tab. 5-1: Übersicht über Klassifizierungen und Thesauri im Umfeld des Fallbeispiels 2

Übersicht über den Lösungsraum

Im Gegensatz zum Fallbeispiel 1 ist die Datenbasis als Sammlung aller Lösungen nicht eindeutig abgrenzbar. Mögliche Lösungsdokumente können einer Vielzahl unterschiedlicher Hersteller entstammen und besitzen keine klare und einheitliche Struktur. Auch die inhaltlichen Informationen können von Hersteller zu Hersteller variieren. Das Fallbeispiel 2 umfasst Lösungen aus der Antriebs- und Automatisierungstechnik für die Getränkeverpackungstechnik. Dabei ist die Eingrenzung dieser Domänen schwerpunktmäßig für die Verfeinerung der Ontologie von Bedeutung, die Grundstruktur könnte auch für weitere Anwendungsdomänen verwendet und instanziiert werden.

Um die Ontologie auf eine Anwendung im Rahmen dieses Fallbeispiels zu verfeinern, wird eine relevante Menge an Lösungsdokumenten betrachtet und in die Ontologie integriert. Kriterien für die Auswahl dieser Lösungsdokumente sind:

- Lösungen aus dem Maschinen- und Anlagenbau (Fokus: Antriebs- und Automatisierungstechnik) für die verschiedensten Branchen und Anwendungen (z.B. Nahrungsmittelindustrie, Verpackungstechnik, Baugewerbe). Anbieter der Lösungen sind OEM-Hersteller, die Gesamtlösungen bereitstellen und nicht nur Zulieferer oder Komponentenlieferanten sind.
- Textuelle Beschreibung von Funktion und Funktionsweise der Lösung mit Gesamt- und Nebenfunktionen gegeben.
- Öffentliche Zugänglichkeit der Lösungsbeschreibung im Internet sowie explizite Freigaben von Unternehmen zur Weiternutzung in der Ontologie.

Auf Basis dieser Kriterien wurden im Rahmen des Forschungsprojektes PROCESSUS drei Unternehmen (FESTO AG & Co. KG²¹, KUKA Roboter GmbH²² und GÜDEL AG²³) gewonnen, die insgesamt mehr als 150 Lösungsdokumente zur Verfügung stellten. Da für die Ontologieverfeinerung keine unterstützenden Werkzeuge (z.B. automatische Textannotierung, computerlinguistische Verfahren) zur Verfügung standen, wurde die Auswahl der in die Ontologie zu übernehmenden Lösungen auf jeweils sechs Lösungen je Unternehmen eingeschränkt (siehe Tab. 5-2). So waren die manuelle Textannotierung sowie die Übernahme der Konzepte, Instanzen und Relationen aus den Lösungsdokumenten ohne computerunterstützte Werkzeuge möglich. Die Auswahl an Lösungen richtet sich danach, möglichst verschiedene Anwendungsbereiche abzudecken und gleichzeitig über die drei Unternehmen ähnliche Anwendungsfälle bereitzustellen (beispielsweise verschiedene Tätigkeiten im Umfeld von Flaschen, Verpackungen etc.).

<i>Unternehmen</i>	<i>Kurzbeschreibung (Gesamtfunktion) der ausgewählten Lösungsdokumente (die Bezeichnungen richten sich dabei nach den von den Herstellern angegebenen Namen)</i>
<i>FESTO AG & Co. KG</i>	<i>Automatisierung der Milchverpackung (Milchstraße); Abfüllen von Joghurt; Verpackung von Hundefutter; Herstellung von Farbe (Verpackung/Abfüllung); Automatisierung in Brauereien (Verpackung von Flaschen); siehe Anhang Kap. 11.3.3. Verpacken und Verschließen von Kaffee in luftdichten Verpackungen</i>
<i>KUKA Roboter GmbH</i>	<i>Roboter handhabt Plugmesser; Roboter handhabt LKW-Achsen an Schmiedepresse; Palettieren von Molkereiprodukten; Handhaben von Schamotterröhren; siehe Anhang Kap. 11.3.1. Handhaben von Getränkeverpackungen; Handhaben von Flaschengut</i>
<i>GÜDEL AG</i>	<i>Vollautomatische Leergebinde-Rücknahme, -Sortierung, -Reinigung und -Bereitstellung; Kommissionieren von Briefboxen für die Schweizer Post; Handling von Keramikrohren im Hochtemperaturbereich mit beengten Platzverhältnissen; Handling von Keramik-Rohren im Hochtemperaturbereich; Handling von Beton-Faserplatten; Handling von Sixpack-Bierflaschen-Greifen, Verpacken und Setzen; siehe Anhang 11.3.2.</i>

Tab. 5-2: Übersicht über die Lösungen und Lösungsdokumente zur Verfeinerung der Ontologie im Fallbeispiel 2

²¹ Festo AG & Co. KG, bietet pneumatische und elektrische Antriebstechnik für die Industrie- und Prozessautomatisierung an [FESTO AG & Co. KG 2009c].

²² KUKA Roboter GmbH, bietet Industrierobotik für verschiedene Anwendungsgebiete an [KUKA ROBOTER GMBH 2009].

²³ Güdel AG bietet Komponenten, Module und Systemlösungen für verschiedene Aufgaben mit Linear- und Antriebskomponenten an [GÜDEL AG 2009].

In Abb. 5-10 sind exemplarisch über die drei Unternehmen Lösungen abgebildet, um die Bandbreite der Lösungsvielfalt aufzuzeigen. Die eingesetzten Funktionsträger und Systemlösungen können hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien als ähnlich oder mit Bezug zueinander angesehen werden. So werden in der Lösung *Handhaben von Schamotteröhren* zylindrische Werkstücke gehandhabt, dies ist ebenso bei der Lösung zum *Transport von Getränkeflaschen* in der Nahrungs- und Verpackungstechnik und bei der Lösung zur *Vollautomatischen Leergerbinde-Rücknahme, -Sortierung, -Reinigung und -Bereitstellung* der Fall. Eine Festlegung, welche Lösung unter welchen Bedingungen für eine neue Aufgabe oder Funktion von Bedeutung ist, ist nicht allgemeingültig möglich und hängt von den situationsspezifischen Einflussfaktoren ab. Aus diesem Grund sollen die ausgewählten Lösungen auf Basis ihrer Lösungsdokumente in die Ontologie integriert werden und über einen Zugang nach verschiedensten Kriterien zugreifbar sein.

Unternehmen	KUKA	Güdel	FESTO
Bezeichnung	Handhaben von Schamotteröhren	Handling von Sixpack-Bierflaschen: Greifen, Verpacken und Setzen	Hopfig Herb Hybrid
Branche	Keramik, Stein; Bau	Nahrungsmittel / Verpackung	Nahrungsmittel / Verpackungstechnik
Anwendung	Palettieren	Greifen / Verpacken	Transportieren / Bereitstellen

Abb. 5-10: Verschiedene Lösungen aus der Antriebs- und Automatisierungstechnik

Eingrenzung und Festlegung relevanter Lösungen

Im Rahmen der Klärung der Anforderungen wurden in einem Arbeitskreis zum Forschungsprojekt PROCESSUS²⁴ vier Testfälle definiert, für die mit Unterstützung der Ontologie aus den oben angeführten 18 Lösungen die für diese Funktionen relevanten Lösungen identifizieren werden sollen (siehe Abb. 5-11).

Für jede Funktion wurden zusätzlich 2 relevante Kontextbedingungen festgelegt, die in der industriellen Praxis im Zusammenhang mit der jeweiligen Funktion von Bedeutung sind. Im Rahmen von Workshops wurden für jede der vier Testaufgaben die relevanten Lösungen unter den entsprechenden Kontextbedingungen ermittelt. Die Aufstellung der Kontextbedingungen ist dabei nicht als vollständig anzusehen, sie soll vielmehr aus verschiedenen Bereichen wichtige Aspekte in die Ontologieentwicklung einbringen.

²⁴ Arbeitskreis unter Mitwirkung von Mitgliedern der Firmen FESTO AG & Co. KG und der Empolis GmbH (an Attensity Group Company), des VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer), Fachbereich eMarket, des Fraunhofer Instituts für Verpackungstechnik IVV Dresden sowie des Lehrstuhls für Produktentwicklung der TU München.

Nr.	Funktion	Relevante Kontextbedingung (1)	Relevante Kontextbedingung (2)
1	Flasche verpacken	Zylindrisches Objekt handhaben/bewegen	Packgut mit Packmittel verbinden
2	Keramikkohre handhaben	Umgebungsbedingungen (hohe Temperatur)	Ähnliche Werkstoffe handhaben (Greifer)
3	Milch Abfüllen	Lebensmittel, Hygienevorschriften	Milch als Flüssigkeit handhaben
4	Hundefutter verpacken	Konsistenz des Objekts: Schüttgut	Anforderungen aus Nahrungsmittelsicht

Abb. 5-11: Testfälle zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Ontologie im Fallbeispiel 2

In Abb. 5-12 sind relevante Lösungen für die Funktion *Flasche verpacken* (Testaufgabe 1) dargestellt. Dabei zeigt die erste Zeile Lösungen, die allein das Objekt *Flasche* betrachten, ohne auf die Operation Rücksicht zu nehmen. In der zweiten Zeile sind dann die Lösungen, die zusätzlich zu dem Kriterium eines *Objektes mit zylindrischer Form* noch der Anfrage nach der Operation *Verpacken* genügen.








Relevante Lösungen für die Funktion Flasche verpacken				
Kriterium	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3	Alternative 4
Objekt: Flasche → Objekt mit Zylinder- form	Güdel Handling von Sixpack- Bierflaschen: Greifen, Verpacken und Setzen Nahrungsmittel / Verpackung  Greifen / Verpacken	KUKA Palettieren von Molkereiprodukten Nahrungs- und Genussmittel  Palettieren; Verpacken und Kommissionieren	FESTO Hopfig Herb Hybrid Nahrungsmittel / Verpackungstechnik  Transportieren / Bereitstellen	KUKA Handhaben von Schamotterröhren Keramik, Stein; Bau  Palettieren
Objekt: Flasche → Objekt mit Zylinder- form + Operation: verpacken	Güdel Handling von Sixpack- Bierflaschen: Greifen, Verpacken und Setzen Nahrungsmittel / Verpackung  Greifen / Verpacken	KUKA Palettieren von Molkereiprodukten Nahrungs- und Genussmittel  Palettieren; Verpacken und Kommissionieren	FESTO Hopfig Herb Hybrid Nahrungsmittel / Verpackungstechnik  Transportieren / Bereitstellen	

Abb. 5-12: Übersicht über relevante Lösungen für die Funktion Flasche verpacken

Zielsetzung: Unterstützung bei der Suche nach relevanten Lösungen

Allgemeine Zielsetzung im Fallbeispiel 2 ist die Unterstützung der Suche nach relevanten Produkt- und Systemlösungen. Die Auswahl und Bewertung der Relevanz von Lösungen hängt dabei von den gegebenen Anforderungen ab. Aus diesem Grund soll dem Suchenden ein semantisches Netz zur Verfügung gestellt werden, das ihm die Einordnung seiner eigenen Anfrage ermöglicht und gleichzeitig den Zugriff auf für ihn relevante Lösungen bietet. Die Bewertung der Relevanz nach vorgegebenen Kriterien bleibt unberücksichtigt. Vielmehr ist die Navigation des Suchenden gefragt, der nach den für ihn wichtigen Kriterien den Lösungsraum durchsucht.

Dementsprechend sind in der Ontologie die wichtigen in den Lösungsdokumenten enthaltenen Informationen in strukturierter Form abzulegen und mit entsprechenden Abstraktionsebenen zu vernetzen. Auf Grund der zentralen Bedeutung der Funktion sind die Gesamt- und Nebenfunktionen einer Lösung aus dem Lösungsdokument zu extrahieren und zu abstrahieren.

Als Anwendungsbeispiel für den Einsatz der Ontologie sind elektronische Fachmarktplätze von großer Bedeutung (z.B. eMarket-Portal des VDMA²⁵), in denen Unternehmen ihre Lösungen einem breiten Kundenkreis anbieten. In diesen Fachmarktplätzen können Ontologie verwendet werden, um die – weiterhin uneinheitlichen Lösungsdokumente der Hersteller – mit einem allgemeinen Wissensmodell zu verknüpfen und damit als einheitliche Zugriffsmöglichkeit dem Suchenden zur Verfügung zu stellen.

5.3 Anforderungen aus der Anwendung der Ontologie in Rechnerwerkzeugen

Die Anforderungen aus Sicht der Informationstechnik beziehen sich auf die Implementierung sowie die daran anschließende Integration und Anwendung der Ontologie in Rechneranwendungen in den beiden Fallbeispielen.

Werkzeuge zur Implementierung und Realisierung der Ontologie

Die Werkzeuge zur Ontologierstellung unterstützen den Anwender bei verschiedenen Aufgaben (Erstellung der Ontologie in einem spezifischen Datenformat, Visualisierung der Ontologie, Überprüfung der Ontologie auf Konsistenz etc.). Da in beiden Fallbeispielen unterschiedliche Anforderungen existieren, werden jeweils unterschiedliche Ontologierstellungswerkzeuge eingesetzt. Die Visualisierungen der Struktur der Ontologie mit den Klassen, Relationen und Instanzen erfolgt unabhängig von den klassischen Ontologiewerkzeugen mit einer kommerziellen Visualisierungssoftware (*Microsoft Visio*). Dadurch ist es deutlich einfacher, eine Struktur zu entwickeln und an die Bedingungen in den Fallbeispielen anzupassen. Insbesondere die Zusammenarbeit und Abstimmung mit wenig mit Ontologien vertrauten Personen

²⁵ E-Market-Portal des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer, enthält Produkte und Dienstleistungen der Investitionsgüterindustrie [VDMA VERLAG GMBH 2009b].

wird dadurch erleichtert, dass zur Darstellung von Alternativen und zur Diskussion der Ontologie keine Kenntnisse von Ontologieerstellungswerkzeugen notwendig sind.

Rechnertechnisches Gesamtkonzept - Anwendungskonzept

Das rechnertechnische Konzept unterteilt den Assistenten zur Unterstützung der Lösungssuche in drei Hauptebenen: die Nutzerebene, die Verarbeitungsebene und die Daten- und Informationsebene (siehe Abb. 5-13).

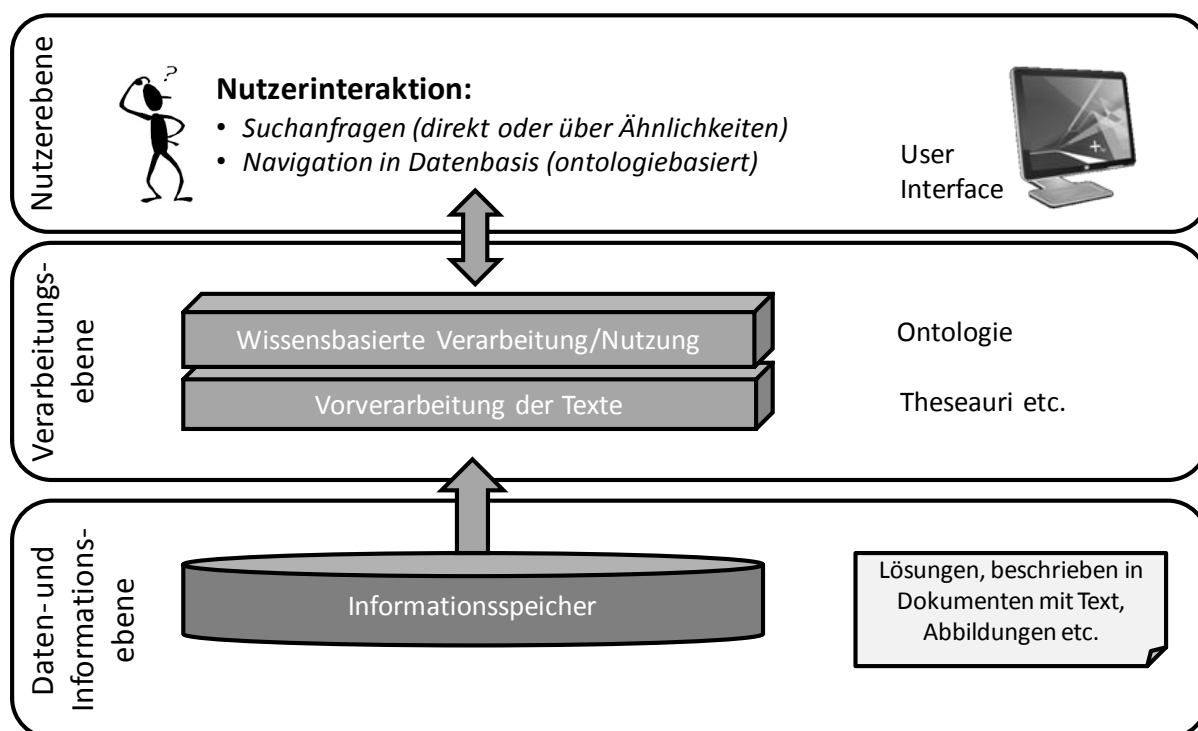


Abb. 5-13: Grundstruktur und Bausteine des Lösungsassistenten

Der Informationsspeicher enthält die Lösungen, die dem Nutzer verfügbar gemacht werden sollen. Diese sind im Kern Textdokumente, die eine Lösung beschreiben. Dazu gehören neben den Texten auch Abbildungen, Grafiken und Verweise auf die eingesetzten Produkte und Funktionsträger. Die Verarbeitungsebene enthält die beiden Hauptbausteine Vorverarbeitung und wissensbasierte Verarbeitung. Die Vorverarbeitung der Texte (beispielsweise über computerlinguistische Verfahren, siehe auch Kap. 3.2.2) stellt die Verbindung zwischen der Ontologie und dem Informationsspeicher dar. Der Informationsspeicher enthält hauptsächlich Textdokumente, daher ist eine computerlinguistische Textanalyse zur Faktenextraktion notwendig. Ergebnis dieses Werkzeuges sind analysierte Texte mit den extrahierten Konzepten und deren Relationen zueinander. Als Grundlage für die computerlinguistischen Verfahren können beispielsweise Theasauri aus dem entsprechenden Fachgebiet dienen. Die wissensbasierte Verarbeitung und Nutzung der Ontologie umfassen sowohl die Bereitstellung der Abstraktionsstufen, des funktionsorientierten Wissensmodells als auch die Grundlagen zur Nutzung des Erschließens von ähnlichen Lösungen mit rechnertechnischen Werkzeugen. Insgesamt gehört zu diesem Aspekt die Nutzung der Ontologie zur Extraktion des darin enthaltenen Wissens. Auf Seite der Nutzerinteraktion sind entsprechende Suchanfragen zu ermöglichen,

die dem Nutzer direkte oder ähnliche Treffer zu seiner Anfrage bereitstellen. Gleichzeitig wird auf dieser Ebene die Navigation im semantischen Netz ermöglicht. Der Nutzer stellt damit Anfragen und bekommt aus der Verarbeitungsschicht die Antworten und Verweise auf seine Anfragen.

Im Kern der Arbeit stehen die Entwicklung und Nutzung der Ontologie, die Vorverarbeitung der Texte über weitere informationstechnische Verfahren geht nicht in die Betrachtungen ein.

6. Entwicklung der Grundstruktur der Ontologie

Die Grundstruktur der Ontologie bildet den Kern der Ontologie. Sie enthält die zentralen Konzepte und Relationen der Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche. Als Anforderungen an die Grundstruktur gehen vor allem die allgemeinen Anforderungen aus der Lösungssuche ein, wobei die beiden Prinzipien „Abstraktion“ und „Funktionsbetrachtung technischer Systeme“ den Schwerpunkt bilden. Dazu werden die bestehenden Ansätze aus der konstruktionsmethodischen Forschung genutzt und weiterentwickelt, um den funktionsorientierten Zugriff auf Lösungen zu ermöglichen.

Die Grundstruktur der Ontologie ist unabhängig von den beiden Fallbeispielen und stellt damit einen allgemeinen Ansatz zur Lösungssuche aus Funktionssicht dar. Dieses Grundgerüst wird mit Hilfe exemplarischer Instanzen evaluiert und bildet die Grundlage für die weitere Detaillierung und Implementierung der Ontologie.

6.1 Grundstruktur der Ontologie

Die Grundstruktur der Ontologie verfolgt die Abbildung der Lösungen in einem semantischen Netz sowie die Verknüpfung dieser mit den zugehörigen Funktionen und Abstraktionsebenen. Die folgenden drei Ebenen bilden die Grundstruktur der Ontologie, um einen funktionsorientierten Zugriff auf Lösungen zu ermöglichen:

- **Lösungsebene:** Enthält die Konzepte und Relationen, die eine Lösung beschreiben. In dieser Ebene werden die konkreten Lösungen eingeordnet, die im Lösungsraum als Instanzen vorhanden sind. Eine Lösung besitzt dabei einen oder mehrere Funktionsträger und erfüllt eine oder mehrere Funktionen.
- **Funktionsebene:** In dieser Ebene sind die Angaben zu den Funktionen zusammengefasst, die zu einer Lösung gehören und diese beschreiben (beispielsweise Gesamt- und Teilfunktionen einer Lösung). Die Funktion wird dabei zentral über das Objekt und die Operation beschrieben, die beide als eigenständige Konzepte abgebildet und abstrahiert werden können. Unter einer Funktion wird dabei der technische Prozess bzw. die Anwendung verstanden, für die die Lösung eingesetzt wird.
- **Abstraktionsebene:** Diese Ebene enthält die Konzepte, die Funktionen mit deren abstrakter Bedeutung verknüpfen. Die Konzepte auf der Abstraktionsebene ermöglichen die Überwindung der semantischen Barriere, dadurch kann ein breites Lösungsfeld erschlossen werden. Als Abstraktionsmöglichkeiten stehen die in 2.3.3 dargestellten Klassifizierungsmöglichkeiten für Funktionen zur Verfügung: die Betrachtung der Funktionen als Einheit mit der Einordnung nach den Allgemeinen Funktionen, die Betrachtung der Operationen nach deren Operationsziel mit dem Fokus der bearbeiteten Merkmale sowie die Abstraktion der Objekte nach Objektart und Objekteigenschaften. Diese Abstraktionsebenen werden in der Ontologie unabhängig

voneinander modelliert. Dadurch wird ein Zugang zu den Funktionen aus unterschiedlichen Sichten ermöglicht.

Die Grundstruktur der Ontologie enthält die folgenden Hauptkonzepte und Relationen, die für eine funktionsorientierte Lösungssuche notwendig sind (siehe Abb. 6-1).

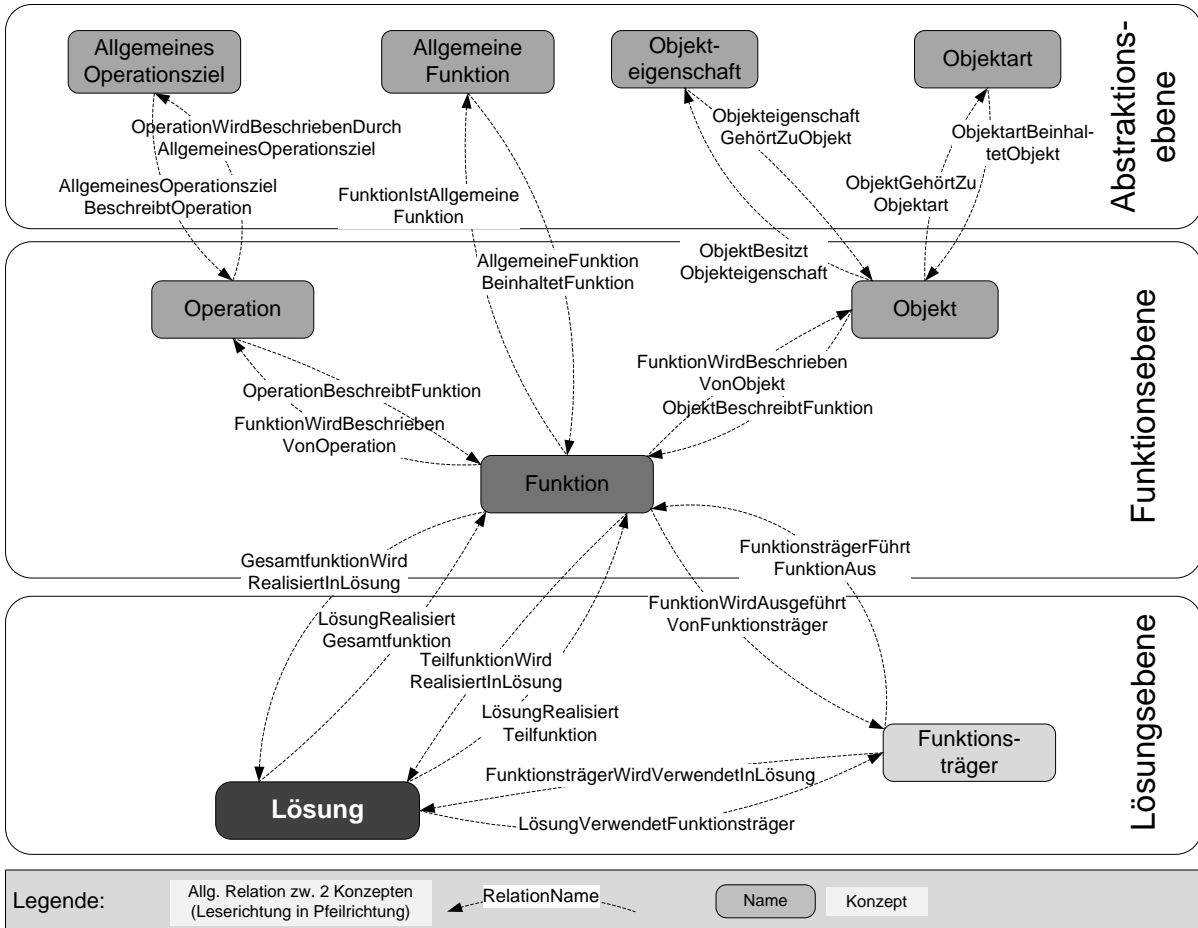


Abb. 6-1: Grundstruktur der Ontologie (Hauptkonzepte und Relationen)

Wichtige weitere Beschreibungselemente wie beispielsweise die Anforderungen an die Lösung und die Eigenschaften der Lösung werden im Rahmen der Entwicklung der Grundstruktur nicht weiter betrachtet. Damit fokussiert die Grundstruktur ausschließlich einen funktionsorientierten Zugriff auf Lösungen. Diese Grundstruktur ist dabei als Gerüst zu verstehen, das eine entsprechende Erweiterung der Ontologie mit Konzepten und Relationen aus den Fallbeispielen oder weiteren Anwendungsgebieten ermöglicht.

In Tab. 6-1 sind die oben genannten Hauptkonzepte beschrieben und definiert. Jedes dieser Konzepte wird in sich weiter detailliert über entsprechende Taxonomien und Relationen. So kann beispielsweise der Funktionsträger wieder in einzelne Funktionsträger auf Teilsystemebene gegliedert werden. Die die Hauptkonzepte verbindenden Relationen ergeben sich aus den entsprechenden Zusammenhängen zwischen den Hauptkonzepten und sind mit entsprechenden Bezeichnungen versehen.

<i>Konzeptname</i>	<i>Definition</i>
<i>Lösung</i>	<i>Eine Lösung ist ein technisches System, das eine spezifische technische Funktion erfüllt. Lösungen im Verständnis der vorliegenden Arbeit liegen bereits vor, sie müssen nicht erst entwickelt werden. Die Definition einer Lösung wurde oben (Kapitel 5.1) bereits ausführlich beschrieben.</i>
<i>Funktions-träger</i>	<i>Unter einem Funktionsträger ist ein technisches System zu verstehen, das eine oder mehrere Funktionen erfüllt. Eine Lösung kann einen oder mehrere Funktionsträger enthalten, die dann jeweils Teilfunktionen übernehmen.</i>
<i>Funktion</i>	<i>Unter einer Funktion wird der Zweck eines technischen Systems verstanden. Bei der hier betrachteten Lösungssuche umfasst dies insbesondere die Funktion einer Lösung (z.B. Keramikrohr handhaben). Die Funktion stellt das zentrale Element für den Zugriff auf Lösungen dar. Eine Funktion besitzt in der Regel einen Input und generiert einen definierten Output. Das Hauptkonzept Funktion umfasst sowohl Gesamt- als auch Teilfunktionen, die entsprechende Unterscheidung wird über Relationen modelliert.</i>
<i>Objekt</i>	<i>Ein Objekt ist definiert als Konzept, das in einer Funktion bearbeitet wird.</i>
<i>Operation</i>	<i>Eine Operation ist die Handlung, die eine Funktion auf ein Objekt ausübt. Eine Operation überführt damit ein Objekt vom Ausgangszustand in einen Zielzustand (siehe auch 6.2).</i>
<i>Allgemeine Funktion</i>	<i>Die allgemeinen Funktionen stellen eine Abstraktionsebene für die Funktionen als gesamtes dar und bauen auf der Strukturierung nach KOLLER & KASTRUP (1994) auf (siehe auch 6.2).</i>
<i>Allgemeines Operationsziel</i>	<i>Das allgemeine Operationsziel stellt eine Abstraktionsstufe für Funktionen dar. Die mit der Funktion verbundene Operation besitzt ein oder mehrere Operationsziele, die sich nach den Operationen richten. Das Operationsziel setzt sich aus einem Merkmal und einer Handlung zusammen.</i>
<i>Objektart</i>	<i>Objekte können auf oberster Ebene unterschieden werden in Energie, Information, Stoff (siehe auch 6.2)</i>
<i>Objekteigen-schaft</i>	<i>Objekte können über ihre jeweiligen Eigenschaften beschrieben und abstrahiert werden.</i>

Tab. 6-1: Übersicht und Definition der Hauptkonzepte der Grundstruktur der Ontologie

6.2 Abstraktionsebenen zur Strukturierung von Funktionen

Um Funktionen auf abstrakter Ebene beschreiben zu können existieren die unter 2.3.3 dargestellten Betrachtungen und Ansätze. Dabei können Funktionen getrennt nach Objekt und Operation oder als Einheit aus Objekt und Operationen abstrahiert werden.

Abstraktion der Objekte

Objekte können auf sehr abstrakter Ebene in Stoff-, Energie- und Signalobjekte unterschieden werden. Diese einzelnen Objektklassen wiederum können weiter klassifiziert werden, beispielsweise in feste, flüssige und gasförmige Stoffe. Eine detailliertere Strukturierung für die Objekte ist nicht vorgesehen und notwendig, vielmehr soll die Abstraktion der Objekte über deren Eigenschaften erfolgen. Dies bietet den Vorteil, dass die Objektinstanzen als eigenständige Instanzen ausführlich modelliert und abgebildet werden. Daraus können dann weitere Objektgruppen - je nach Sicht und Kontext - gebildet werden.

Abstraktion der Operationen

Eine detaillierte Abstraktion der Operationen stellt BIRKHOFFER (1980) mit seiner Beschreibung von Operationen nach deren Operationsziel bereit. Diese Betrachtung wird als grundlegendes Prinzip genutzt und erweitert. Dabei liegt weniger einer streng hierarchische Ordnung im Fokus, sondern vielmehr eine Beschreibungs- und Abstraktionslogik, um über die Bedeutung von Operationen Aussagen treffen zu können. Der Ansatz, Funktionen explizit nach deren Ziel zu betrachten, forciert weiterhin die anwendungsorientierte Betrachtung von technischen Systemen und Lösungen. Die Zielbetrachtung von Funktionen spannt ein 2-dimensionales Ordnungsschema auf, das aus den Dimensionen Merkmal und den darauf ausgeführten Handlungen besteht (siehe Abb. 6-2). Diese Matrix wird im Folgenden als Zielsystem bezeichnet.

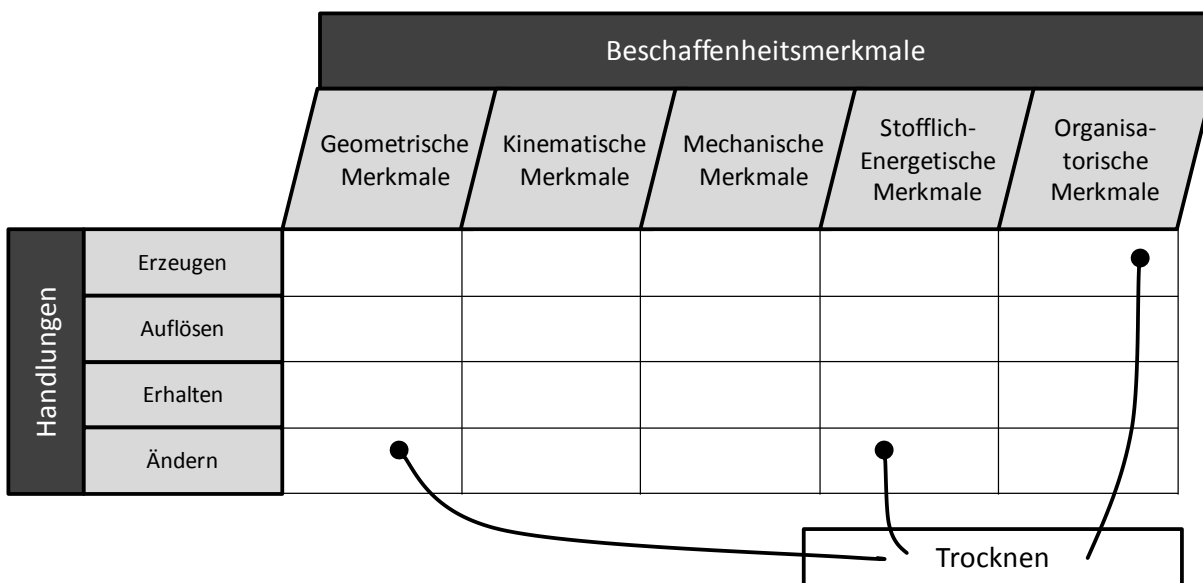


Abb. 6-2: Zielsystem zur abstrakten Beschreibung technischer Operationen - Einordnung von Operationen

Die beiden Hauptdimensionen können dabei wie folgt beschrieben werden:

- **Dimension des Merkmals:** Die aus der Systemtechnik bekannte Unterscheidung der Merkmale technischer Systeme liefert einen geeigneten Beschreibungsansatz auf erster Ebene, wobei zur Betrachtung des Objektes als Gegenstand die Beschaffenheitsmerkmale (*geometrische, kinematische, mechanische, stofflich-energetische* und *organisatorische Merkmale*) ausreichend sind, da Objekte im Verständnis der Funktionen als passive Systeme angesehen werden können und deshalb die Funktionseigenschaften und Relationseigenschaften nachrangig sind.
- **Dimension der Handlungen:** Die Handlungen entsprechen den vier Handlungen *Erzeugen, Auflösen, Erhalten* und *Ändern*, wie sie von BIRKHOFFER (1980) definiert werden.

Bei der Einordnung von Operationen ins Zielsystem sind mehrere Punkte wichtig bzw. zu beachten. So kann eine Operation mehrere Ziele besitzen bzw. mit mehreren Zielen beschrieben werden. Außerdem ist das Ziel einer Operation abhängig vom Kontext und insbesondere

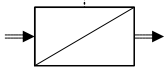
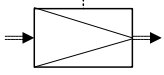
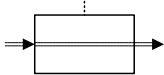
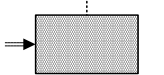


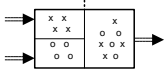
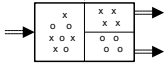
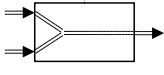
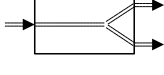
vom Objekt der Funktion. So stellt sich das Verpacken von *Milch* anders dar als das Verpacken einer *Fertigungsanlage* oder einer *PET-Flasche*. Bei der Zuordnung von Operationen zu Zielen steht nicht die exakt korrekte Zuordnung im Mittelpunkt, vielmehr stellt diese Zuordnung einen Weg dar, Operationen mit einer weiteren Bedeutung zu belegen und dadurch mit entsprechenden Abstraktionsstufen zu verknüpfen.

Neben der Betrachtung des Zieles einer Operation werden auch weitere Wirkungen einer Operation (z.B. unerwünschte Wirkungen oder Wirkungen, die sich als Konsequenz aus dem eigentlichen Ziel ergeben) in das Zielsystem eingetragen. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn eine Operation so beschrieben ist, dass der Lösungsweg bereits stark eingegrenzt ist (z.B. Operation *Trocknen*). Während das Ziel eines Trockenprozesses in der Auflösung eines der organisatorischen Merkmale (also des Zusammenhalts aus einem Objekt und einer Flüssigkeit) liegt, kann auch die Temperatur davon betroffen sein. Dementsprechend kann die Temperatur von der Operation *Trocknen* beeinflusst werden, es liegt jedoch nicht als Ziel vor. Ferner existieren Zwangsbedingungen zwischen den Zielen einer Operation und den damit verknüpften weiteren Wirkungen. So erzeugt das Trocknen eines Objektes auch eine Veränderung der geometrischen Merkmale (beispielsweise des Volumens oder der Länge) oder der stofflich-energetischen Merkmale (beispielsweise Dichte oder Gewicht). Die Abbildung dieser weiteren Wirkungen erfolgt über die Verknüpfung der Operation mit den von diesen weiteren Wirkungen betroffenen Merkmalen über die Relation *Nebenwirkung*, ohne dabei die Art der Handlung weiter zu spezifizieren.

Abstraktion der Funktionen als Einheit

Funktionen als gesamte Einheit lassen sich nach verschiedenen Kriterien und Gesichtspunkten abstrahieren. Hierzu existieren die unter Kap. 2.3.3 dargestellten Ansätze. Die konstruktionsmethodische Betrachtung nach KOLLER & KASTRUP (1994) stellt hier sehr detailliert unterschiedliche Operationen mit zahlreichen Beispielen zusammen und wird deshalb im Folgenden exemplarisch als ein Vertreter aus den genannten Ansätzen für die weitere Abstraktion und Strukturierung der Funktionen genutzt.

KOLLER & KASTRUP (1994) unterteilen dabei technische Funktionen nicht unabhängig vom Objekt bzw. von der Objektart. Sie unterscheiden die Operationen, die sich auf das Objekt Energie beziehen, in verschiedene Energie-Operationen, Operationen, die sich auf die Verknüpfung von Stoff und Energie beziehen, in Stoff-Energie-Operationen und die Operationen für Daten und Information in die Grundfunktionen für Daten- und Informationsumsätze. Da die im Rahmen der Fallbeispiele untersuchten Funktionen sich auf Stoffumsätze beziehen, werden diese im Folgenden dargestellt. Die möglichen allgemeinen Stoffoperationen zeigt Tab. 6-2. In diese Tabelle der allgemeinen Stoffoperationen können die konkreten Anwendungsfunktionen eingeordnet werden. Dadurch werden konkrete Funktionen hinsichtlich ihrer allgemeinen Bedeutung aus konstruktionsmethodischer Sicht beschrieben.

Stoff-Operation	Symbol	Erklärung	Beispiel
Wandeln		Einem Stoff der Art A eine Eigenschaft (a) geben oder nehmen.	Apparate, um Stoffe zu magnetisieren, entmagnetisieren, flüssig oder gasförmig, fest oder flüssig, etc. zu machen
Vergrößern/ Verkleinern		Einen Eigenschaftswert eines Stoffes A von a1 auf a2 vergrößern oder verkleinern.	Apparate zum Erhöhen oder Verringern der Dichte (Stampfer, Verdichter), elektrischen Leitfähigkeit, Härte, etc. und anderer Stoffeigenschaften
Leiten		Einen "bestimmten Weg (Raum) bereiten" (leitfähig machen), um einen Stoff von Ort 1 zu Ort 2 zu bringen (leiten).	Rohrleitungen, Behälter, Dichtungen (Isolatoren), Hähne, Karosserien, Türen, Schirme, Speicher
Isolieren		Verhindern, dass ein Stoff in einen bestimmten Raum eindringen kann.	Rohrleitungen, Behälter, Dichtungen (Isolatoren), Hähne, Karosserien, Türen, Schirme, Speicher
Fügen		Zusammenhalt bzw. Zusammenhaltskräfte zwischen gleichen oder verschiedenen Stoffen herstellen od. aufbringen (→ Fügen) bzw. aufheben (→ Lösen)	Schraub-, Schweiß-, Löt-, Niet-, Klebe-, Schnapp-, Pressverbindung; sintern, montieren u.a.
Lösen			Schraub-, Schweiß-, Löt-, Niet-, Klebe-, Schnapp-, Preßverbindung lösen; sägen, aufdampfen, schneiden, brechen, mahlen, zerreißen; erodieren, zerhacken, zerkleinern, demontieren u.a.
Mischen		Ordnung (Sortierung) von Stoffen aufheben, d.h. Stoffgemische herstellen.	Mischer, Rührwerke, chemisch verbinden
Trennen		Stoffgemische nach Qualitäts- bzw. Eigenschaftsmerkmalen ordnen (nach verschiedenen Stoffen sortieren).	Siebe, Raffinerie-, Müllsortieranlagen, Ölabscheider, Abwasserreinigungs-, Entsalzungsanlagen, Zentrifugen u.a.
Sammeln		Mengen gleicher oder verschiedener Stoffe zusammenbringen (Quantität vergrößern).	Zusammenstellen, zusammenschütten, auffüllen
Teilen		Eine Stoffmenge in mehrere kleinere Mengen teilen (Quantität verkleinern).	in Portionen teilen, abwiegen, verteilen

Tab. 6-2: Allgemeine Stoff-Operationen [KOLLER & KASTRUP 1994, S. 19]

6.3 Evaluierung der Grundstruktur über exemplarische Instanziierung

Die Evaluierung der Grundstruktur der Ontologie erfolgt bezüglich der Kriterien Vollständigkeit (alle wesentlichen Beschreibungsmerkmale von Lösungen abbildbar), Navigationsmöglichkeiten (gezielte Einschränkung und Erweiterung der Lösungsmenge) und Leistungsfähig-

keit (Erschließen ähnlicher Lösungen möglich). Dazu wird die Ontologie exemplarisch instanziiert und hinsichtlich dieser Kriterien bewertet.

Exemplarische Abbildung von Instanzen in die Ontologie

Die exemplarische Abbildung von Instanzen erfolgt auf Basis von exemplarischen Lösungen aus beiden Fallbeispielen (siehe Abb. 6-3). Aus dem Fallbeispiel 1 werden dazu die Prinzipi-
lösung *Hackbeil (Petersilie)* und *Laserschneider (Pflanzen)* (siehe auch 5.2) integriert, aus dem Fallbeispiel 2 das *Transfersystem zur Verpackung von Flaschen* und das *Robotersystem zum Handhaben von Schamotteröhren* (siehe auch 5.2).

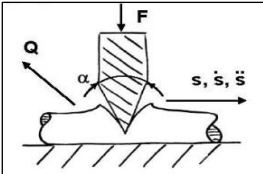
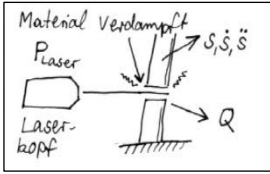
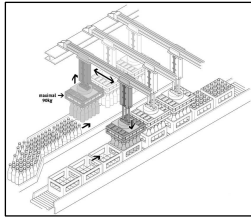

Fallbeispiel 1		Fallbeispiel 2	
Hackbeil (Petersilie)	Laserschneider (Pflanzen)	Transfersystem (Portal mit Greifereinheit)	Robotersystem mit Greifereinheit
			
<i>Petersilie hacken</i>	<i>Pflanzen schneiden</i>	<i>Flaschen verpacken</i>	<i>Handhaben von Schamotteröhren</i>

Abb. 6-3: Beispielinstanzen zur Evaluierung der Grundstruktur der Ontologie

Die Instanziierung ist in Abb. 6-4 dargestellt. Die Zuordnung der Informationselemente auf die einzelnen Konzepte erfolgt dabei manuell. Für die Lösungs- und Funktionsebene sind die Instanzen und die Zuordnungen direkt aus den Lösungsbeschreibungen ersichtlich, die Vernetzung mit den Abstraktionsebenen ist ein zusätzlicher Schritt, bei dem die Relationen als weitere Informationen generiert werden. Eine Lösung ist dabei immer die konkrete, im Dokument beschriebene Lösung. Die Beschreibung der Funktion erfolgt nach den in den Lösungen angegebenen Bezeichnungen und wird aufgetrennt in Objekt und Operationen. Insbesondere die Abstraktion der Lösungen stellt eine wichtige Ergänzung der Funktionen mit deren semantischer Bedeutung hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien dar. Diese Abstraktion erfolgt bezüglich der Operationen (allgemeines Operationsziel), der Funktionen (allgemeine Funktion) und des Objektes (Objekteigenschaften und Objektart). Die Operationen *Hacken*, *Schneiden* und *Verpacken* können auf abstrakter Ebene dem *Auflösen* oder *Erzeugen eines organisatorischen Merkmals* zugeordnet werden. Die Operation *Handhaben* ändert ein *geometrisches Merkmal*, ebenso ist dies auch bei der Operation *Verpacken* als Nebenwirkung des Verpackungsprozesses der Fall. Als Hauptziel wird das Verpacken der Flaschen mit dem Operationsziel *Organisatorisches Merkmal erzeugen* (Flasche mit Packmittel verbinden) verknüpft. Bei der Zuordnung der Allgemeinen Funktionen werden die Funktionen *Petersilie hacken* und *Pflanzen schneiden* mit der allgemeinen Funktion *Stoff trennen*, die Funktion *Flasche verpacken* mit dem *Fügen von Stoffen* und *Schamotteröhre Handhaben* mit der allgemeinen Funktion *Stoff leiten* beschrieben. Die Objekteigenschaften von *Flaschen* sind bei-

spielsweise *Werkstoff Glas*, *Packgut*, *festes Objekt*, *zylindrische Form*, das Schamotterrohr kann auf Basis des beschreibenden Lösungsdokumentes lediglich mit den Eigenschaften *keramischer Werkstoff* und *zylindrische Form* belegt werden. Alle in den beiden Fallbeispielen betrachteten Objekte sind *feste Objekte* und dementsprechend dieser Objektart zugeordnet.

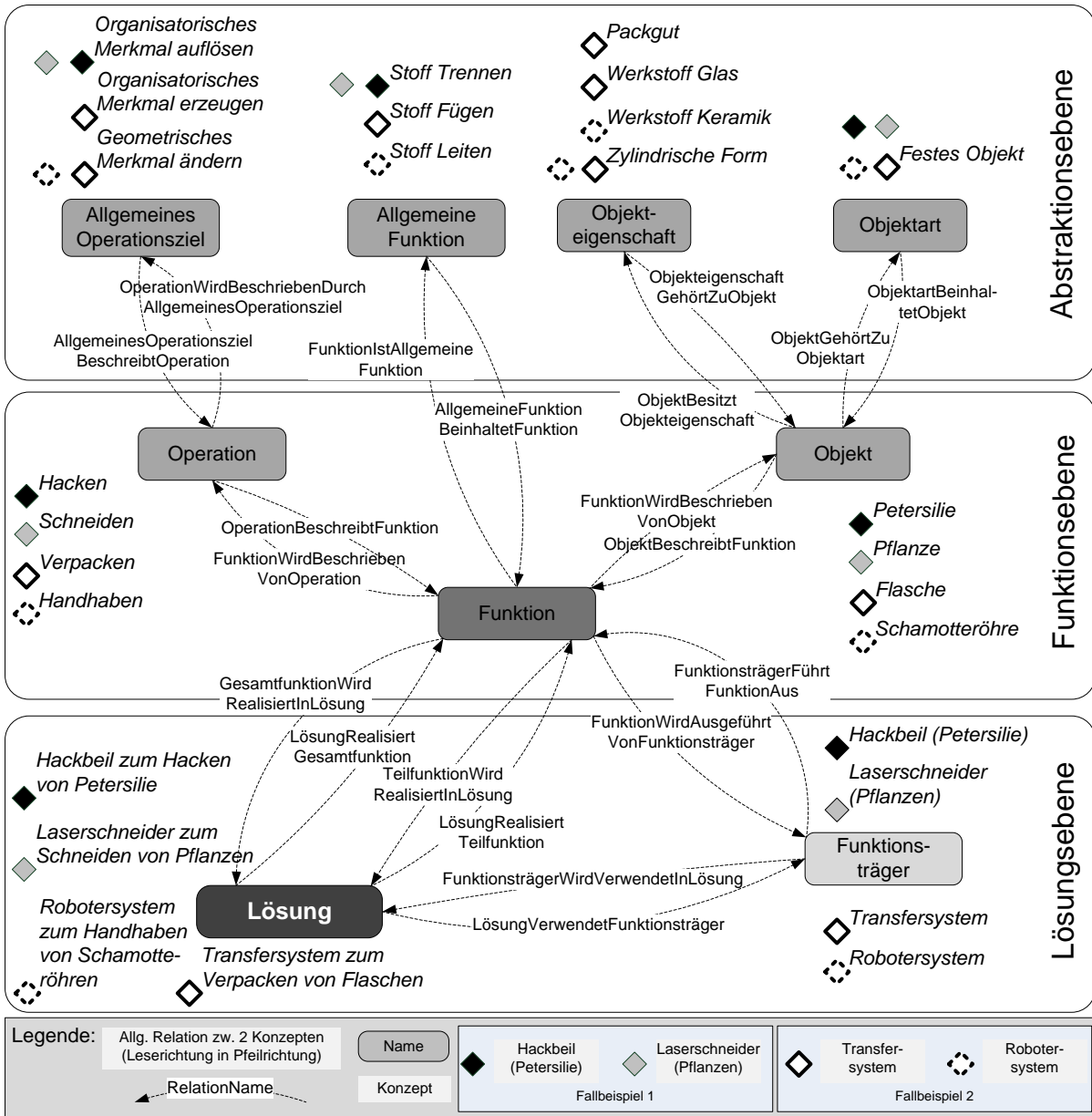


Abb. 6-4: Exemplarische Instanziierung der Grundstruktur der Ontologie (aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Instanzen der Funktionen nicht eingetragen, sie ergeben sich direkt aus dem jeweiligen Objekt mit Operation)

Navigation in der Ontologie

Der Zugriff auf Lösungen ist aus dem semantischen Netz über verschiedene Navigationswege möglich. So kann beispielsweise über Funktionen auf Funktionsebene auf die entsprechenden Lösungen zugegriffen werden. Der Zugriff über die Konzepte und Instanzen der Abstrakti-

onsebene ermöglicht den Zugriff aus abstrakter Sicht. Durch die vollständige Vernetzung aller Konzepte und damit aller Instanzen der Ontologie kann – ausgehend von jedem beliebigen Konzept – auf damit in Verbindung stehende Lösungen zugegriffen werden. So ermöglicht der Einstieg in das Netz über die Instanz *Petersilie* den Zugriff auf die Funktion *Petersilie hacken* und anschließend auf das *Hackbeil zum Hacken von Petersilien*. Ausgehend von der *Petersilie* werden damit verbundene Funktionen erreichbar, was wiederum die Navigation im Lösungsraum aus Funktionssicht ermöglicht. Insgesamt ist damit im Sinne einer strukturierten Suche und Navigation der Zugriff auf alle Konzepte und Instanzen der Ontologie ausgehend von verschiedenen Ausgangspunkten und Abstraktionsebenen möglich.

Logisches Schließen auf ähnliche Lösungen

Beim logischen Schließen (Reasoning²⁶) steht nicht die Navigation des Nutzers im Mittelpunkt, sondern inwieweit die Ontologie nicht verknüpfte Lösungen miteinander in Beziehung setzt. Hauptziel des Reasoning-Verfahrens im Rahmen der Lösungssuche ist es, dem Nutzer ähnliche Lösungen zur Verfügung zu stellen, die für seine Aufgabenstellung geeignet sein können. Dabei soll die Ähnlichkeit nicht mit mathematischen Verfahren über eine entsprechende Gewichtung ermittelt werden, sondern auf Basis der Eigenschaften der Konzepte und Instanzen in der Ontologie. Das ontologiebasierte Reasoning basiert auf Basis mengentheoretischer Betrachtungen der entsprechenden Terme, die in den Lösungsbeschreibungen enthalten und in der Ontologie modelliert sind. Mögliche Abfragen an eine Ontologie nutzen dabei die Beschreibungen der Instanzen und leiten daraus logische Schlüsse ab. So können beispielsweise Lösungen, die ein Objekt mit einer bestimmten Objekteigenschaft besitzen, ermittelt werden, ohne dass diese vorher in Beziehung zueinander gesetzt wurden

Für die im Rahmen der Evaluierung instanziierten Beispiele werden die Konzepte der Abstraktionsebene für das Schließen auf ähnliche Lösungen genutzt. Damit lassen sich verschiedene Ähnlichkeiten von Lösungen zueinander ableiten (siehe Tab. 6-3).

- **Fallbeispiel 1:** Die Lösungen im Fallbeispiel 1 lassen sich über die Betrachtung der Abstraktionsebenen nicht unterscheiden, jedoch können sie auf Basis der Operationsziele und der allgemeinen Funktion miteinander in Beziehung gesetzt werden. Diese Betrachtung ist im Rahmen der definierten Anforderungen an die Ontologie korrekt, da beide Lösungen als ähnliche Lösungen definiert werden (siehe 5.2.1).
- **Fallbeispiel 2:** Die betrachteten Lösungen sind in Bezug auf verschiedene Kriterien ähnlich. Bei beiden Lösungen wird ein *geometrisches Merkmal* (Operationsziel) *geändert*, wobei das Verpacken dieses Merkmal lediglich in seiner Nebenwirkung ändert. Diese Unterscheidung zeigt sich auch bei den allgemeinen Funktionen: während das Transfersystem das *Fügen* als allgemeine Funktion besitzt, ist das Robotersystem mit der allgemeinen Funktion *Leiten* beschrieben. Aus Sicht der Objekte wird in beiden Lösungen jeweils ein *festes Objekt* mit *zylindrischer Form* bearbeitet, sie unterscheiden sich aber bezüglich des Werkstoffes. Zur Art des Gutes ist bei den *Scha-*

²⁶ Reasoning als feststehender Begriff aus der Informationstechnik, der allgemein das logische Schließen beschreibt.

motteröhren keine weitere Unterscheidung gegeben und damit keine Aussage bezüglich der Ähnlichkeit zur *Flasche* möglich.

Kriterium und Beziehung der Lösungen zueinander		Fallbeispiel 1		Fallbeispiel 2	
		Hackbeil (Petersilie)	Laserschneider (Pflanzen)	Transfersystem (Portal mit Greifereinheit)	Robotersystem mit Greifereinheit
Allgemeines Operationsziel	Ähnlichkeit über	Organisatorisches Merkmal auflösen		Geometrisches Merkmal ändern (beim Verpacken als Nebenwirkung)	
	Unterscheidung über	<i>Keine Unterscheidung über das Allgemeine Operationsziel</i>		Organisatorisches Merkmal erzeugen (nur für Verpacken)	
Allgemeine Funktion	Ähnlichkeit über	Stoff Trennen		<i>Keine Ähnlichkeit über die allgemeine Funktion</i>	
	Unterscheidung über	<i>Keine Unterscheidung über die allgemeine Funktion</i>		Fügen für das Verpacken, Leiten für das Handhaben	
Objekteigenschaft	Ähnlichkeit über	Keine Unterscheidung möglich		Zylindrische Form	
	Unterscheidung über			Werkstoff, Art des Guts (Flasche ist Packgut)	
Objektart	Ähnlichkeit über	Fester Stoff		Fester Stoff	
	Unterscheidung über	<i>Keine Unterscheidung über die Objektart</i>		<i>Keine Unterscheidung über die Objektart</i>	

Tab. 6-3: Bestimmung der Ähnlichkeit von Lösungen in Bezug auf verschiedene abstrakte Kriterien

Fazit der Evaluierung der Grundstruktur

Die entwickelte Grundstruktur beinhaltet die wichtigsten Konzept und Relationen zur funktionsorientierten Lösungssuche. Die Funktion bildet dabei das zentrale Konzept und wird über verschiedene Abstraktionsmöglichkeiten beschrieben. Wie die exemplarische Instanziierung zeigt, lassen sich Lösungen aus beiden Fallbeispielen vollständig in der Ontologie abbilden und ermöglichen die Navigation und Suche im Lösungsraum. Die Untersuchung der Abstraktionsmöglichkeiten in Bezug auf das logische Schließen ähnlicher Lösungen zeigt, dass dies wie in den Anforderungen definiert möglich ist. Dabei sind die verschiedenen Konzepte zur Abstraktion notwendig, um einerseits die Relevanz der Lösungen zueinander zu zeigen, andererseits aber auch die Unterschiede zwischen den Lösungen zu erhalten und zu nutzen.

7. Verfeinerung der Ontologie in den Fallbeispielen

Die Grundstruktur der Ontologie wird in den beiden Fallbeispielen „Suchen von Prinziplösungen auf Ebene physikalischer Effekte - Fallbeispiel 1“ und „Suchen von Produkt- und Systemlösungen im Maschinen- und Anlagenbau - Fallbeispiel 2“ weiter verfeinert. Dies umfasst die Erweiterung und Anpassung der Grundstruktur sowie die Instanziierung der Ontologie mit den Instanzen der beiden Fallbeispiele. Diese Instanziierung bildet die Grundlage für die Bewertung der Verfeinerung. Diese Bewertung fokussiert die Überprüfung des Zugriffs auf Lösungsalternativen zu einer gegebenen Funktion über die in der Ontologie integrierten Abstraktionsebenen.

7.1 Suchen von Prinziplösungen auf Wirkmodellebene

Die Lösungen im Fallbeispiel 1 erfordern sowohl die Anpassung und Erweiterung der Grundstruktur als auch die Detaillierung dieser Grundstruktur. Daran anschließend können die Prinziplösungen in die Ontologie eingeordnet werden und mit den Abstraktionsebenen verknüpft werden. Dies ermöglicht das Schließen auf ähnliche Lösungen. Aus diesem Grund werden Testaufgaben an die verfeinerte Ontologie gestellt und die Möglichkeiten, geeignete Lösungen zu finden, bewertet.

7.1.1 Erweiterung und Detaillierung der Ontologie

Die Ergänzungen der Grundstruktur sind notwendig, um die spezifischen Konzepte des Fallbeispiels abzubilden. Gleichzeitig ist eine weitere Detaillierung notwendig, um die Instanzen ausreichend genau in der Ontologie abbilden zu können.

Anpassung und Erweiterung der Grundstruktur

Zur Anpassung und Erweiterung der Grundstruktur gehört die Ergänzung um die Konzepte Effekt, physikalisches Teilgebiet und Anwendung. Die Anwendung bezieht sich dabei auf die gesamte Anlage oder Maschine, in denen die Prinziplösung als Teillösung eingesetzt wird, und nicht auf die isoliert betrachtete Anwendung der Prinziplösung. Das Hauptkonzept Funktionsträger der Grundstruktur ist im Rahmen der Lösungssuche auf Wirkmodellebene nicht notwendig, es ist aber als grafisches Modell in der Skizze der Prinziplösung enthalten. Eine explizite Modellierung im semantischen Netz entfällt.

Im Rahmen einer Lösungssuche auf Wirkmodellebene werden die Relationen zwischen den Konzepten lediglich als Verknüpfungen abgebildet, eine weitere Beschreibung ist nicht notwendig. Mit diesen Ergänzungen und Anpassungen ergibt sich die in Abb. 7-1 dargestellte Ontologie.

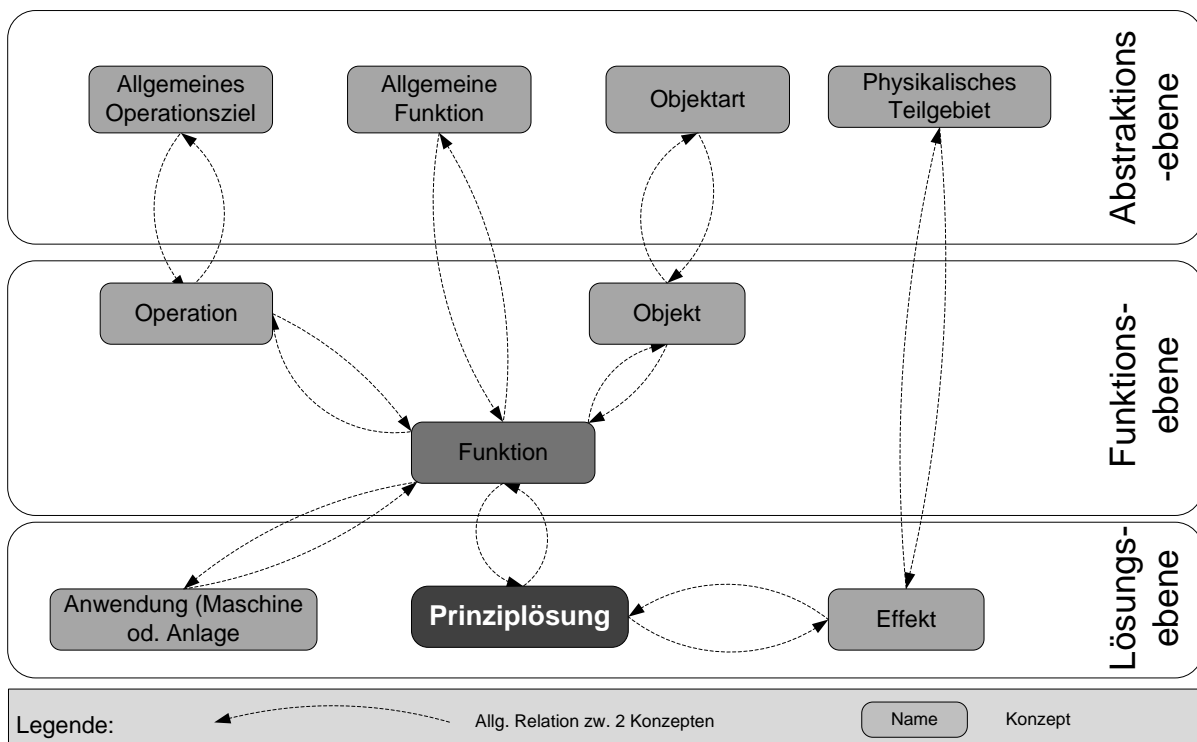


Abb. 7-1: Erweitertes Ontologiemodell zur Lösungssuche auf Wirkmodellebene

Detaillierung der Ontologie

Die Detaillierung der Ontologie betrifft vor allem das in der Ontologie enthaltene Zielsystem, das auf den spezifischen Anwendungsfall hin ergänzt und detailliert wird. Dazu werden die in der Grundstruktur der Ontologie (siehe Abb. 6-2) enthaltenen Merkmale weiter detailliert (siehe Tab. 7-1). Diese Detaillierung erfolgt in Anlehnung an die Strukturierung nach PATZAK (1982) und den in Tab. 2-1 dargestellten Merkmalen. Es werden dabei die Merkmale ausgewählt, die für die im Fallbeispiel relevanten Operationen notwendig sind. So stellt beispielsweise das Merkmal „Farbe“ kein Merkmal dar, das als Ziel in einem der Fallbeispiele behandelt wird. Für die jeweiligen Merkmale sind mögliche Operationen als Beispiel angegeben mit der Angabe, welche Handlung diese Operation auf dem Merkmal ausführt. Dabei enthält die Tabelle jeweils nur eine Handlung, es sind jedoch weitere Handlungen auf den jeweiligen Merkmalen möglich. So ist beispielsweise neben dem Ändern des Merkmals Länge auch das Erhalten der Länge möglich.

Die Zusammenstellung der Merkmale stellt keine vollständige Auflistung aller möglichen Merkmale dar, deren Bearbeitung Ziele allgemeiner technischer Systeme sind. In Struktur und Detaillierungsgrad gibt diese Aufstellung jedoch eine sehr gute Ausgangsbasis zur Betrachtung technischer Operationen nach deren Ziel im betrachteten Fallbeispiel. In weiteren Anwendungsgebieten kann das Zielsystem entsprechend angepasst, erweitert und detailliert werden.

<i>Eigenschaftskategorie</i>	<i>Merkmale</i>	<i>Definition/Beschreibung</i>	<i>Beispiel</i>
Geometrische Eigenschaft	Länge	Abmessung des Objektes in einer Dimension	Ändern des Merkmals über Ablängen, Kürzen, Schneiden
	Fläche	Abmessung des Objektes in zwei Dimensionen	Ändern des Merkmals über Quetschen, Drücken
	Volumen	Abmessung des Objektes in drei Dimensionen	Ändern des Merkmals über Mahlen, Zerhacken
Kinematische Eigenschaft	Position	Position des Objektes im Raum	Erhalten des Merkmals über Fixieren, Einspannen
	Orientierung	Orientierung des Objektes im Raum	Ändern des Merkmals über Drehen, Wenden
	Bewegungsrichtung	Richtung der Bewegung eines Objektes im Raum	Ändern des Merkmals über Führen, Leiten
	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit eines Objektes im Raum in einer Bewegungsrichtung	Ändern des Merkmals über Beschleunigen, Schieben, Bremsen
Mechanische Eigenschaft	Die im Rahmen der Arbeit untersuchten Funktionen behandeln keine Merkmale aus der Kategorie der mechanischen Eigenschaften - eine weitere Detaillierung entfällt.		
Stofflich-Energetische Eigenschaft	Temperatur	Temperatur eines Objektes (absolut oder relativ)	Ändern des Merkmals über Erhitzen, Kochen
	Aggregatzustand	Aggregatzustand eines Objektes (fest, flüssig, gasförmig)	Ändern des Merkmals über Abkühlen, Erhitzen
Organisatorische Eigenschaft	Zusammenhalt	Fester Zusammenhalt innerhalb eines oder zwischen zwei oder mehreren Objekten, so dass diese als Einheit behandelt werden	Ändern des Merkmals über Schneiden, Hacken, Zerlegen, Demontieren
	Anzahl	Anzahl der Objekte, unabhängig von deren Zusammenhalt	Ändern des Merkmals über Portionieren, Abfüllen
	Mischung	Anordnung mehrerer Objekte zueinander, unabhängig von der Herstellung eines festen Zusammenhalts	Erzeugen des Merkmals über Mischen, Rühren

Tab. 7-1: Beschreibung der Merkmale im Zielsystem des Fallbeispiels 1

7.1.2 Instanziierung der Ontologie

Nachdem die Ontologie in den Konzepten und Relationen definiert ist, werden die Instanzen aus dem Fallbeispiel eingepflegt.

Abbildung der Instanzen in der Ontologie

Zur Instanziierung der Ontologie wurden die einzelnen Aufgabenstellungen mit deren Funktionen sowie die Prinziplösungen mit den Effekten in die Ontologie übernommen. Den Umfang der integrierten Instanzen zeigt Tab. 7-2. Darin sind Instanzen aus Prüfungen des Lehrstuhls für Produktentwicklung der TU München (TUM) aus den Jahren 2000 - 2008 (jeweils Sommer- und Wintersemester) im Fach Produktentwicklung und Konstruktion enthalten.

Konzept	Beispielinstanz	Anzahl der Instanzen
Anwendung	Anlage zur Herstellung von Fruchtsaft	16 Instanzen
Prinziplösung	Drainagepresse	138 Prinziplösungen, wobei die Anzahl je Funktion zwischen 3 und 6 schwankt (siehe Anhang Kap. 11.2.2)
Funktion	Fruchstücke auspressen	32 Instanzen, Übersicht siehe Anhang Kap. 11.2.1)
Allgemeine Funktion	Stoff leiten	10 Stoffoperationen (siehe Tab. 6-2), sowie 2 Energie- und Stoff verbindende Operationen
Operationsziel	Länge ändern	15 Merkmale, auf die 5 verschiedene Handlungen angewandt werden können → 75 verschiedene Operationsziele
Effekte	Keil	88 verschiedene Effekte (nach PONN & LINDEMANN 2008, S. 311 ff.)
Physikalisches Teilgebiet	Statik starrer Körper	16 physikalische Gebiete (nach PONN & LINDEMANN 2008, S. 306 ff.)

Tab. 7-2: Umfang der Instanzen im Fallbeispiel 1

Verknüpfung der Funktionen mit den allgemeinen Funktionen

Die Verknüpfung der konkreten Funktionen mit den allgemeinen Funktionen und den Operationszielen stellt – im Gegensatz zur Abbildung der Instanzen in der Ontologie – die Generierung von neuen Zusammenhängen dar. Aus diesem Grund ist die Erstellung der Vernetzung mit den Abstraktionsebenen Schwerpunkt der Verfeinerung der Ontologie im Fallbeispiel 1. Die Zuordnung zu den allgemeinen Funktionen betrifft dabei ausschließlich Stoffoperationen und Stoff und Energie verbindende Operationen. In Abb. 7-2 sind exemplarisch Funktionen den allgemeinen Funktionen zugeordnet, der Anhang Kap. 11.4.1 enthält die Zuordnung aller im Fallbeispiel 1 enthaltenen Funktionen zu den allgemeinen Funktionen.

Objekt	Operation	Allg. Funktionen (nach Koller)									
		Stoffoperationen									
		Wandeln	Vergrößern/Verkleinern	Leiten	Isolieren	Fügen	Lösen	Mischen	Trennen	Sammeln	Teilen
Kehrgut	Aufnehmen								X		
Fruchstücke	Auspressen			X							
Petersilie	Hacken						X				
Pflanzen	Schneiden						X				

Abb. 7-2: Auszug aus der Zuordnung von Funktionen zu allgemeinen Funktionen

Die Zuordnung der Funktionen zu den allgemeinen Funktionen basiert auf der Definition nach KOLLER & KASTRUP (1994). Diese Zuordnung unterliegt dabei subjektiven Einschätzungen, die die eintragende Person oder der die Zuordnung festlegende Personenkreis trifft. Im Rahmen des Fallbeispiels erfolgte die Zuordnung von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter unter Unterstützung einer studentischen Hilfskraft. Dies ermöglichte die Betrachtung sowohl von Seiten einer erfahrenen Person als auch die Einschätzung einer mit den Abstraktionen wenig vertrauten Person.

Bei der Zuordnung zeigen sich verschiedene Schwierigkeiten. So ist die Verknüpfung mit ausschließlich einer allgemeinen Funktion teilweise nur mit starken Einschränkungen möglich. Die Funktion *Kehrgut aufnehmen* stellt beispielsweise eine Funktion des *Leitens* dar. Geht man jedoch von dem Aspekt der *Kehrschaukel* aus, soll der Zusammenhalt zwischen *Kehrschaukel* und *Kehrgut* erreicht werden. Damit wäre die Funktion *Kehrgut aufnehmen* auch der allgemeinen Funktion *Stoff sammeln* zuordenbar. Um die Potenziale einer direkten Zuordnung zu überprüfen, wird in der Ontologie nur eine 1:1-Zuordnung berücksichtigt. Im Vergleich zu einer 1:n-Verknüpfung ist eine deutlich geringere Treffermenge, im Gegenzug jedoch auch das Fehlen wichtiger Prinziplösungen bei bestimmten Funktionen zu erwarten. Dieser Aspekt ist detailliert im Rahmen der Umsetzung und Evaluierung der Ontologie zu überprüfen.

Durch diese Zuordnung von Funktionen zu den allgemeinen Funktionen ist eine Klassenbildung in der Ontologie realisiert. Der Umfang der einzelnen allgemeinen Funktionsklassen reicht dabei von keiner Funktion (z.B. *Stoff mischen*) bis zu 13 Funktionen (*Stoffe trennen* und *Stoffe lösen*). Damit liegt der Schwerpunkt der Ontologie in Prinziplösungen, die für das *Trennen* und *Lösen* von *Stoffen* geeignet sind.

Verknüpfung der Operationen mit Operationszielen

Analog zur Zuordnung der Funktionen zu den allgemeinen Funktionen können die Operationen den Operationszielen zugeordnet werden. Wichtig ist bei dieser Zuordnung die Unterscheidung in das Ziel oder die Ziele einer Operation und in die weiteren Wirkungen, die diese Operation besitzt oder besitzen kann. In Abb. 7-3 ist ausschnittsweise diese Zuordnung dargestellt, der Anhang Kap. 11.4.2 enthält für alle Funktionen im Fallbeispiel 1 die Zuordnung ins Zielsystem. Die Ergänzung der Ziele um die Nebenwirkungen ermöglicht es, die Operationen in ihrer Bedeutung weiter zu beschreiben und Zwangsbedingungen oder Nebenwirkungen zu erfassen. So sind zahlreiche Operationen, die den Zusammenhalt eines Objektes auflösen, immer auch mit einer Änderung des geometrischen Merkmals verbunden (z.B. *Auspressen*). Bezieht sich eine Operation auf das Auflösen einer Mischung, so ist damit immer auch eine Änderung der kinematischen Beziehung verbunden.

Diese Art der Zuordnung stellt damit im Gegensatz zu der bei den allgemeinen Funktionen realisierten 1:1-Zuordnung eine Verknüpfung dar, die eine Funktion über mehrere Ziele und über die Nebenwirkungen der Funktion beschreibt. Diese Art der Zuordnung ist bei der Erstellung weniger subjektiv geprägt, da im Zweifel mehrere Ziele oder mehrere Objektmerkmale in der Nebenwirkung betrachtet werden können. In Bezug auf die Treffermenge sind jedoch mehr Lösungen für eine Funktion zu erwarten, wobei gleichzeitig auch die Anzahl an ungeeigneten Lösungen steigen sollte.

Operation	Geometrische Merkmale			Kinematische Merkmale				Stofflich-energetische Merkmale		Organisatorische Merkmale		
	Länge	Fläche	Volumen	Position	Orientierung	Bewegungsrichtung	Geschwindigkeit	Temperatur	Aggregatzustand	Zusammenhalt	Anzahl	Mischung
Auspressen			NW							-		NW
Aufnehmen				NW						+	+	
Hacken	x	x	NW							-		
Schneiden	x	x	NW							-		

Legende:	x	Operation besitzt Operationsziel „Ändern des Merkmals in der Spalte“
	o	Operation besitzt Operationsziel „Erhalten des Merkmals in der Spalte“
	-	Operation besitzt Operationsziel „Auflösen des Merkmals in der Spalte“
	+	Operation besitzt Operationsziel „Erzeugen des Merkmals in der Spalte“
	NW	Operation kann sich auf das Merkmal in der Spalte auswirken (Nebenwirkung)

Abb. 7-3: Auszug aus der Zuordnung von Operationen zu Operationszielen (alphabetische Sortierung)

Ergebnis der Instanziierung der Ontologie

Mit der Zuordnung der Funktionen zu den Abstraktionsebenen liegen alle Instanzen und deren Verknüpfungen für die Instanziierung vor. In Abb. 7-4 ist die Ontologie mit den verfeinerten Konzepten und den Instanzen der Funktion *Petersilie hacken* dargestellt. Die Funktion *Petersilie hacken* steht dabei zentral zwischen den Abstraktionsebenen und den Prinziplösungen. Die Funktion wird realisiert in drei verschiedenen Alternativlösungen *Hackbeil zum Hacken von Petersilie*, *Hammerschlag zum Hacken von Petersilie* und *Wasserstrahlschneiden zum Hacken von Petersilie*. Die Abstraktion erfolgt nicht über die Prinziplösungen direkt, sondern über die Funktion, die nach den oben dargelegten Kriterien den allgemeinen Operationszielen und der allgemeinen Funktion zugeordnet wird. Die Funktion *Petersilie hacken* stellt außerdem eine Teilfunktion der Anwendung *Herstellung von Weißwürsten* dar. Die physikalischen Effekte sind den jeweiligen Prinziplösungen zugeordnet. Die Klassifizierung der physikalischen Effekte nach dem physikalischen Teilgebiet ist ebenfalls Teil der Ontologie, die tatsächliche Verbindung zwischen den Effekten und den physikalischen Teilgebieten ist in Abb. 7-4 der Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellt.

Ergebnis der Instanziierung der Ontologie ist ein vollständiges semantisches Netz aller im Lösungsraum enthaltenen Prinziplösungen mit deren Funktionen und die Verknüpfung dieser mit den entsprechenden Instanzen der Abstraktionsebene. Dieses Netz bildet die Grundlage für die spätere Implementierung und Anwendung der Ontologie.

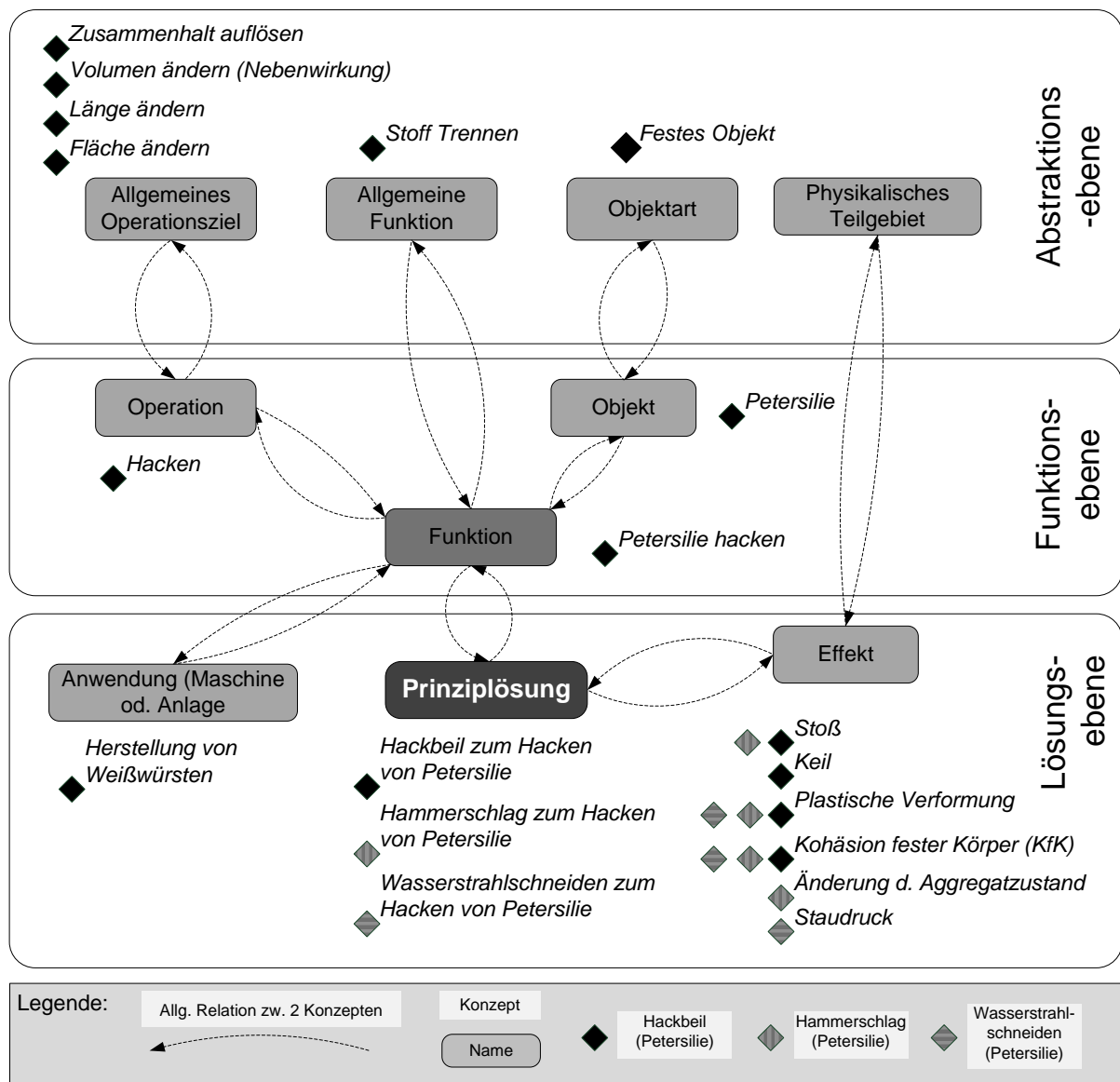


Abb. 7-4: Instanziierung der verfeinerten Ontologie – Funktion „Petersilie hacken“

7.1.3 Evaluierung der Verfeinerung der Ontologie

Die Evaluierung der verfeinerten Ontologie bezieht sich auf die Vollständigkeit der Instanzen und deren Abbildung, auf die Navigation im Lösungsraum und auf das Potenzial, auf relevanten Lösungen zu schließen. Wie in Abb. 7-4 dargestellt, können die Instanzen in der erweiterten Ontologie vollständig abgebildet werden, der Zugang und die Navigation auf Prinziplösungen ist über verschiedene Wege möglich. Damit liegt der Schwerpunkt der Bewertung der Ontologie in der Evaluierung des Erschließens ähnlicher und relevanter Lösungen. Diese Bewertung erfolgt über zwei Testaufgaben, die als neue Aufgabenstellungen in die Ontologie eingeordnet werden. Für diese Aufgabenstellung wird auf Basis von Expertenbewertungen eine Referenzmenge an Lösungen ermittelt und anschließend mit den sich aus der Ontologie zu erschließenden Lösungsmengen verglichen.

Festlegung von Testfällen zur Evaluierung

Als Basis der Bewertung werden zwei Testaufgaben verwendet, die als Referenz dienen (siehe Abb. 7-5). Diese Aufgabenstellungen sind einer älteren Prüfungsaufgabe zur Herstellung von Teig entnommen. Jede der Aufgaben besitzt eine Bezeichnung einer Funktion (z.B. *Dotter von Eiklar trennen*) sowie eine Ausgangslösung, die über einen Text und eine Abbildung beschrieben ist. Für diese Aufgabenstellungen werden aus dem Lösungsraum Lösungsalternativen ermittelt.

Funktion: Dotter von Eiklar trennen (Testaufgabe 1)	
Beschreibung	Abbildung
Um das Eiklar vom Dotter zu trennen wird das nebenstehende Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte Kohäsion fester Körper (KfK) und Gravitation bleibt der Dotter in der Trennschale, das Eiklar schwimmt in der Trennschale auf und fällt nach unten in den Auffangbehälter.	
Funktion: Ei zuführen (Testaufgabe 2)	
Beschreibung	Abbildung
Um das Ei zuzuführen wird das nebenstehende Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte Kohäsion fester Körper (KfK), Gravitation und Coulombsche Reibung wird das Ei auf dem Förderband transportiert.	

Abb. 7-5: Übersicht über die Testfälle zur Bewertung der Ontologie

Definition von Referenzmengen für Lösungsalternativen

Für die dargestellten Aufgabenstellungen können aus der Menge an Prinziplösungen Referenzmengen für geeignete Lösungsalternativen bestimmt werden. Dazu werden alle im Lösungsraum enthaltenen Prinziplösungen hinsichtlich ihrer Eignung bewertet, die geforderten Funktionen zu erfüllen. Diese Eignung basiert auf der Einschätzung eines Expertenteams, das sich aus drei wissenschaftlichen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Produktentwicklung der TU München zusammensetzt. Die Bewertung der Lösungen erfolgt dabei analog zu der bereits dargestellten Eingrenzung von Lösungen in die Bereiche ähnliche, erweiterte ähnliche Prinziplösungen, Lösungsalternativen und ungeeignete Lösungen. Die besondere Schwierigkeit in der Bewertung liegt in der Abschätzung, wann eine Prinziplösung noch geeignet ist oder wann sie als ungeeignet bezeichnet wird bzw. die notwendigen Änderungen so umfangreich

sind, dass die generierte neue Lösung nicht mehr als die Zuordnung einer bestehenden Lösung angesehen werden kann. Folgende beiden Kriterien gelten als Abgrenzung dafür, ob eine bestehende Lösung als geeignet oder ungeeignet bewertet werden kann:

- **Veränderung der Effektkette:** muss die Effektkette der Alternativlösung verändert oder angepasst werden, um die gewünschte Transformation zu erzielen, so wird diese Lösung als ungeeignet bewertet, da dies einen wesentlichen Syntheseschritt und damit die Gestaltung einer neuen Prinziplösung bedeutet und nicht mehr die Verwendung einer bestehenden Ausgangslösung.
- **Veränderung der Wirkgeometrie:** die Veränderung der Wirkgeometrie ist soweit zulässig, als die ursprüngliche Wirkung und die Funktionserfüllung der Ausgangslösung auch nach Veränderung der Wirkgeometrie noch erzielt werden. Die Prüfung dieses Kriteriums orientiert sich daran, ob die Funktionserfüllung in der neuen Aufgabenstellung gewährleistet ist, wenn lediglich das Objekt ausgetauscht wird und Parameter der physikalischen Anordnung variiert werden (betrifft die Wirkgeometrie, z.B. die Veränderung der Durchmesser einer Siebtrommel).

Unter diesen Randbedingungen und Kriterien lassen sich die Prinziplösungen in geeignete und ungeeignete Prinziplösungen für die Testfunktionen unterteilen. Für die Testaufgabe 1 ergeben sich so 54, für die Testaufgabe 2 31 alternative Prinziplösungen. Diese Lösungen werden im Folgenden als die Referenzlösungen für diese zwei Testaufgaben bezeichnet und dienen als Grundlage zur Evaluierung der Abstraktionsebenen und der Verfeinerung der Ontologie.

Da auf diesem Weg alle Prinziplösungen in Bezug auf diese zwei Testfunktionen bewertet werden, können auch die zu den Prinziplösungen gehörenden Funktionen in Relevanzbeziehungen zu den Testfunktionen gesetzt werden: besitzt eine Funktion eine für eine weitere Funktion geeignete Prinziplösung, so ist diese Funktion relevant für die weitere Funktion. Da jedoch nicht alle Lösungen einer Funktion auch für eine neue Aufgabenstellung geeignet sind, werden zur Bewertung der Eignung bzw. Relevanz von Funktionen für eine neue Funktion folgende drei Bewertungsgruppen definiert:

- **Funktionen mit hoher Relevanz:** Funktionen, die mehrere Lösungsalternativen besitzen, die geeignet sind, die geforderte Funktion zu erfüllen.
- **Funktionen mit geringer Relevanz:** Funktionen, die entweder nur eine geeignete Lösungsalternative besitzen, oder die mehrere Alternativen besitzen, deren Einsatz für die neue Aufgabe jedoch Änderungen der Wirkgeometrie notwendig macht.
- **Funktionen ohne Relevanz:** Funktionen, deren zugeordnete Lösungen keine geeigneten Prinziplösungen darstellen.

Damit ist es möglich, die in Kap. 6.1 dargestellte Verknüpfung von Funktionen über die Abstraktionsebenen gegenüber der oben definierten Referenzmenge zu bewerten (Abb. 7-6). So wird beispielsweise die Funktion A mit der Funktion B über die Beziehung auf der Abstraktionsebene vernetzt. Aus der Bestimmung der Relevanz für die Testfälle können diese beiden Zuordnungen miteinander verglichen und die Qualität der Abstraktion bewertet werden.

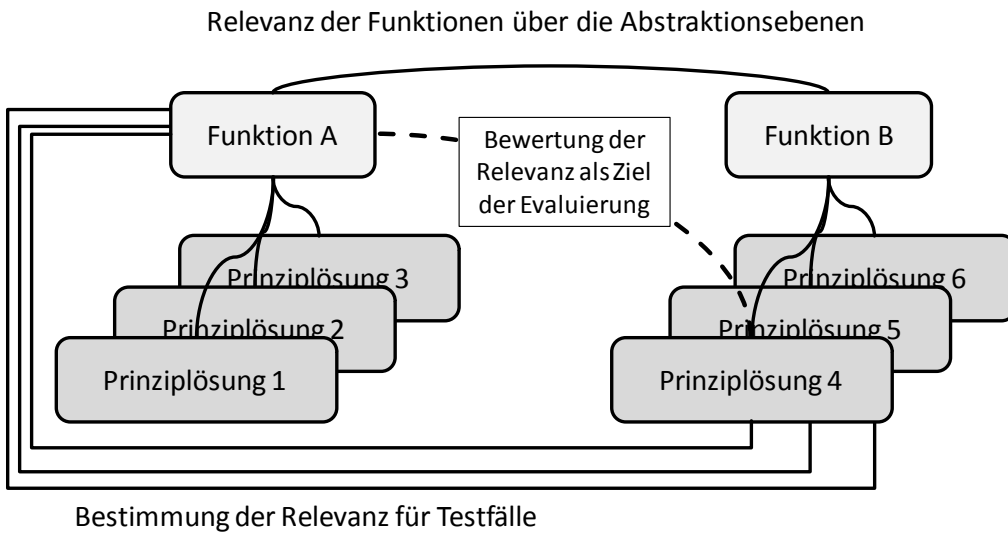


Abb. 7-6: Evaluierung der Abstraktionsebenen über die Betrachtung von Referenzmengen für zwei Testaufgaben

Das Ergebnis dieser Bewertung ist in Abb. 7-7 dargestellt. Für die Funktion *Dotter von Eiklar trennen* lassen sich zahlreiche Funktionen mit geeigneten Lösungsalternativen erkennen, für die Funktion *Eier zuführen* ist die Menge an Alternativen deutlich geringer.

	Abscheiden	Absenken	Anheben	Aufnehmen	Auspressen	Ausstanzen	Besprühen	Herstellen	Bremsen	Bremsen	Fixieren	Formen	Führen	Fügen	Hacken	Knacken	Kochen	Kühlen	Reinigen	Reinigen	Schälen	Schneiden	Separieren	Sortieren	Trennen	Trennen	Trocknen	Trocknen	Zerkleinern	Zermahlen	Ziehen
Dotter von Eiklar trennen	■			■								■								■	■		■	■	■	■					
Eier zuführen	■	■	■						■			■							■	■			■	■	■						

Legende:

- Mehrere Lösungsalternativen (gut geeignet)
- Änderung der Wirkgeometrie notwendig
- Keine geeignete Lösungsalternative

Abb. 7-7: Bewertung der Funktionen in Bezug auf ihre Relevanz zu den Referenzaufgaben

Erschließen von Lösungsalternativen über die allgemeinen Funktionen

Die allgemeinen Funktionen stellen eine Abstraktionsebene in der Ontologie dar. Ordnet man den beiden Testaufgabenstellungen jeweils die allgemeinen Funktionen zu, so können die

Funktionen identifiziert werden, die der gleichen allgemeinen Funktion zuzuordnen sind. Im Falle des *Trennens des Dotters vom Eiklar* ist dies die allgemeine Funktion *Stoffe trennen*, für die Funktion *Eier zuführen* die allgemeine Funktion des *Stoffe leiten*.

In Abb. 7-8 sind die Zuordnung der Funktionen nach den allgemeinen Funktionen sowie die Referenzmengen der Lösungen dargestellt. Für die Funktion *Dotter von Eiklar trennen* zeigt sich, dass die Zuordnung nach den allgemeinen Funktionen nur solche Funktionen verknüpft, die auch Lösungsalternativen enthalten. Es bleiben jedoch Funktionen unberücksichtigt, die weitere wichtige Alternativen beinhalten (z.B. das *Aufnehmen des Kehrgruts*, das der allgemeinen Funktion *Stoffe Leiten* zugeordnet ist). Für das *Zuführen der Eier* zeigt die Zuordnung nicht nur das Fehlen wichtiger Verknüpfungen auf, sondern führt auch zu Funktionen, die keine relevanten Lösungsalternativen enthalten.

	Abscheiden	Absenken	Anheben	Aufnehmen	Auspressen	Ausstanzen	Besprühen	Herstellen	Bremsen	Bremsen	Fixieren	Formen	Führen	Fügen	Hacken	Knacken	Kochen	Kühlen	Reinigen	Reinigen	Schälen	Schneiden	Separieren	Sortieren	Trennen	Trennen	Trocknen	Trocknen	Zerkleinern	Zermahlen	Ziehen	
	Bruchstücke	Schachtel	Kolben	Kehrgrut	Limetten	Fruchstücke	Kartonzuschnitt	Waschtuch	Bodenkontakt	Bremsrolle	Vorratswalze	Spundbohle (am Mätkler)	Dattel	Tablette	Kartonzuschnitt	Petersilie	Haselnüsse	Rohwurst	Glasstrang	Transportelement	Wasseroberfläche	Kartoffeln	Pflanzen	Mahlgut	Kartoffeln	Haselnusskerne und Schalen	Wasser und Kehrgrut	Fasern	Lehm-Faserstoff-Ziegel	Stroh	Mahlgut	Glasstrang
Dotter von Eiklar trennen	X				X	X													X	X			X	X	X	X	X	X				
Eier zuführen				X				X					X																			X

Legende:






	Mehrere Lösungsalternativen (gut geeignet)		Funktionen gehören zur gleichen allgemeinen Funktion
	Änderung der Wirkgeometrie notwendig		Funktionen gehören nicht zur gleichen allgemeinen Funktion
	Keine geeignete Lösungsalternative		

Abb. 7-8: Gegenüberstellung der Referenzmengen an Lösungen im Vergleich zur Zuordnung nach den allgemeinen Funktionen

Da im Rahmen der definierten Ontologie die Zuordnung einer Funktion auf jeweils nur eine allgemeine Funktion festgelegt wurde, entspricht dieses Ergebnis den Erwartungen. Da sich wie gezeigt die Lösungsmenge jedoch trotzdem auf diesem Weg weiter eingrenzen und strukturieren lässt – trotz der Unschärfe – wird die bestehende Anordnung für die weitere Betrachtung genutzt.

Erschließen von Lösungsalternativen über das Zielsystem

Analog zur Betrachtung und Zuordnung über die allgemeinen Funktionen werden die beiden Testaufgaben auch in das Zielsystem eingeordnet und die sich daraus abgeleitete Lösungsmenge mit der Referenzmenge bewertet (Zuordnung siehe Abb. 7-9). Dabei ist die Zuordnung

noch weiter zu unterteilen, da eine Funktion jeweils über mehrere Ziele sowie Nebenwirkungen beschrieben wird.

		Abscheiden	Absenken	Anheben	Aufnehmen	Auspressen	Auspressen	Ausstanzen	Besprühen	Herstellen	Bremsen	Bremsen	Fixieren	Formen	Führen	Fügen	Hacken	Knacken	Kochen	Kühlen	Reinigen	Reinigen	Schälen	Schneiden	Separieren	Sortieren	Trennen	Trennen	Trocknen	Trocknen	Zerkleinern	Zermahlen	Ziehen			
Dotter von Eiklar trennen	Zusammenhalt				-	-	-		+							+		-			-	-	-	-												
	Mischung	-				NW	NW																													
	Anzahl				+																															
	Volumen					NW	NW	NW							X		NW	X	NW	NW	NW	NW	NW	NW				NW	NW	NW	NW	X	X			
Eier zuführen	Position	NW	X	X	X				X						X	NW																				
	Orientierung		NW	NW												NW	NW																			
	Bewegungsrichtung		NW	NW				NW			NW	NW	NW			O																				
	Geschwindigk.		NW	NW							-	-	NW			O																				

Legende	 	Mehrere Lösungsalternativen (gut geeignet)	+	Erzeugen
	 	Änderung der Wirkgeometrie notwendig	-	Auflösen
	 	Keine geeignete Lösungsalternative	o	Erhalten
			x	Ändern
			NW	Nebenwirkung

Abb. 7-9: Gegenüberstellung der Referenzmengen an Lösungen im Vergleich zur Zuordnung nach den Funktionszielen

Die Funktion *Dotter von Eiklar trennen* wird über die Operation *Trennen* beschrieben, die die Ziele *Auflösen des Zusammenhalts* und *Auflösen der Mischung* besitzt. Desweiteren kann sich die Operation *Trennen* auch auswirken auf *Anzahl* und *Volumen* des Objektes (abgebildet als Nebenwirkungen). Als Ziele des *Führens der Eier* werden die kinematischen Merkmale definiert (*Ändern der Position*, *Erhalten von Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung*) mit weiteren Auswirkungen auf die Orientierung.

Die Auswertung zeigt, dass für das *Trennen des Dotters* über die verschiedenen Merkmale ein Großteil der relevanten Funktionen erreicht werden können und sich gleichzeitig die Funktionen, die ebenfalls mit einer Relevanz definiert sind, aber keine relevanten Lösungen liefern, in Grenzen halten. Für das *Zuführen der Eier* ergibt sich ein deutlich anderes Bild: Lösungen, die mit einem Trennvorgang zu tun haben und wichtige Lösungsalternativen bereitstellen, werden nicht zugeordnet. Ein Ansatz, diese Zuordnung zu erreichen, wäre die Trennfunktionen mit einer entsprechenden Nebenwirkung, die in der Veränderung eines oder mehrerer kinematischer Merkmale liegt, zu belegen.

Bewertung der Verfeinerung der Ontologie

Die im Anwendungsfall 1 verfeinerte Ontologie ermöglicht die Einordnung von Prinziplösungen in ein semantisches Netz. Dazu werden die Prinziplösungen unter der jeweiligen Funktion, für die sie konzipiert wurden, zusammengefasst. Diese Funktionen wiederum werden untereinander über Abstraktionsebenen miteinander in Beziehung gesetzt. Dadurch ist es möglich, auf relevante Lösungsalternativen zu schließen. Die Identifikation relevanter oder geeigneter Lösungsalternativen stellt dabei eine besondere Herausforderung dar. Diese Bewertung richtet sich dabei zum einen nach der technischen Eignung einer Lösung zur Funktionserfüllung, zum anderen aber auch danach, ob die Prinziplösung ohne weitreichende Änderung für eine neue Funktion geeignet ist. Sind weitreichende Anpassungen der physikalischen Effektkette oder der Wirkgeometrie notwendig, so wird eine Prinziplösung als nicht geeignet eingeordnet, da dadurch bereits eine neue Lösung generiert und nicht die bestehende Lösung genutzt wird.

Wie insbesondere die Bewertung über zwei Testaufgaben zeigt, können Prinziplösungen über die beiden Abstraktionsebenen Allgemeine Funktion und Operationsziel miteinander in Beziehung gebracht werden. Eine solche Zuordnung beinhaltet jedoch auf beiden Abstraktionsebenen sowohl ungeeignete Lösungen als auch Lösungen, die auf Grund von fehlenden Zuordnungen nicht berücksichtigt werden. Aus diesem Grund muss die Bewertung der durch die Ontologie zur Verfügung gestellten Lösungsmenge explizit von dem Suchenden weiter vorgenommen werden.

7.2 Suchen von Produkt- und Systemlösungen im Maschinen- und Anlagenbau

Im zweiten Fallbeispiel ist die Unterstützung der Suche nach Produkt- und Systemlösungen im Maschinen- und Anlagenbau das Ziel. Die Lösungen liegen dabei in einem Dokumentenarchiv (textuelle und grafische Beschreibung von Lösungen) vor. Für einen Zugriff auf die für eine Aufgabenstellung relevanten Lösungen ist die Ontologie zu erweitern, zu instanziierten und anschließend auf die Eignung zum Schließen auf relevante Lösungen zu überprüfen.

7.2.1 Erweiterung und Detaillierung der Ontologie

Aufbauend auf den textuellen und grafischen Beschreibungen der Lösungen erfolgt die Detaillierung der Ontologie mit dem Ziel, die zur Beschreibung der Lösungen notwendigen Konzepte zu ergänzen und zu verfeinern.

Ergänzung und Anpassung der Grundstruktur der Ontologie

Die Grundstruktur der Ontologie ist um weitere Konzepte und Relationen zu ergänzen bzw. nicht notwendige Konzepte sind herauszunehmen. Dies umfasst neben der Betrachtung der in den Lösungsdokumenten enthaltenen Dokumente auch die Berücksichtigung von Klassifizierungen, für die Anknüpfungspunkte in der Ontologie vorzusehen sind. In Abb. 7-10 ist die erweiterte Grundstruktur dargestellt.

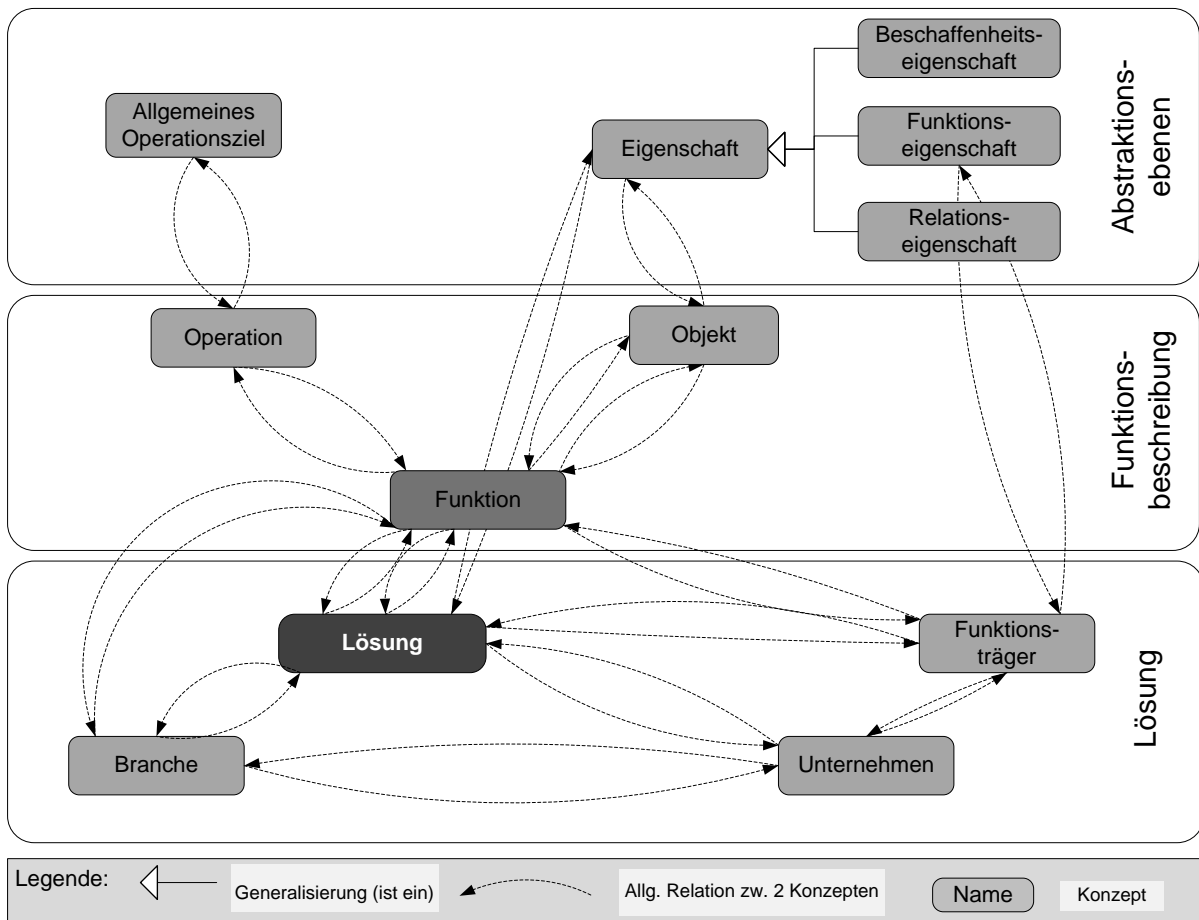


Abb. 7-10: Struktur und Hauptkonzepte zur Beschreibung von Lösungen im Fallbeispiel 2 (Bezeichnungen der Relationen aus Darstellungsgründen nicht enthalten)

Als wichtigste Ergänzungen sind die Konzepte Unternehmen (Hersteller oder Anbieter von Lösungen), Branche und die detaillierte Unterscheidung der Eigenschaften (Unterscheidung in Beschaffenheits-, Funktions- und Relationseigenschaften) enthalten. Dabei bilden die Eigenschaften und das allgemeine Operationsziel die wesentlichen Abstraktionsstufen, die für das Schließen auf ähnliche Lösungen genutzt werden sollen.

Zur Verknüpfung der Konzepte werden weitere Relationen benötigt. So wird eine Lösung über zugehörige Funktionen beschrieben, die Unterscheidung in Gesamt- und Teilfunktion geschieht über zwei verschiedene Relationen zwischen den Konzepten Lösung und Funktion. In Tab. 7-3 sind die jeweils verknüpften Konzepte und die Beschreibung der zugehörigen Relation dargestellt.

Konzept 1	Konzept 2	Definition der Relation
Lösung	Unternehmen	Ein Unternehmen stellt eine oder mehrere Lösungen bereit.
Lösung	Branche	Eine Lösung wird in einer oder mehreren Branchen verwendet.
Lösung	Funktion	Eine Lösung kann eine oder mehrere Gesamt- und Teilfunktionen besitzen (Unterscheidung in Gesamt- und Teilfunktion über die Relationsart).
Lösung	Funktionsträger	Eine Lösung wird über einen oder mehrere Funktionsträger realisiert.
Lösung	Eigenschaft	Eine Lösung besitzt verschiedene Eigenschaften (Beschaffenheits-, Funktions- und Relationseigenschaften).
Branche	Unternehmen	Jedes Unternehmen gehört zu einer Branche.
Branche	Funktion	In einer Branche werden typische Funktionen ausgeführt (häufig auch als Anwendungen bezeichnet).
Unternehmen	Funktionsträger	Ein Unternehmen stellt verschiedene Funktionsträger her, die in einer Lösung zum Einsatz kommen.
Funktions-träger	Funktionsei-genschaft	Für einen Funktionsträger sind die Funktionseigenschaften zentral.
Funktion	Operation	Eine Funktion führt genau eine Operation durch; diese Operation ist als Verb gegeben.
Funktion	Objekt	Eine Funktion bearbeitet mindestens ein Objekt und ändert dessen Merkmale. Ebenso kann eine Funktion ein indirektes Objekt besitzen; dieses Objekt wird genutzt, um das eigentliche Objekt zu bearbeiten (unterschieden über die Relationsart).
Objekt	Eigenschaft	Ein Objekt besitzt verschiedene Eigenschaften.
Operation	Allgemeines Operationsziel	Jede Operation wird über ein oder mehrere Operationsziele beschrieben.

Tab. 7-3: Übersicht über die wichtigsten Relationen zwischen den Konzepten der erweiterten Ontologie im Fallbeispiel 2

Anknüpfungspunkte für Klassifizierungen und Thesauri

Im Rahmen der Verfeinerung der Ontologie sind die entsprechenden Konzepte und Relationen so zu definieren, dass Klassifizierungen und Thesauri entsprechend angebunden werden können. In Kap. 5.2 sind die wichtigsten Klassifizierungen dargestellt. Tab. 7-4 gibt eine Zuordnung der in der Ontologie definierten Konzepte zu den Klassifizierungen und Thesauri.

Klassifizierung/Thesauri	Anknüpfung an die Ontologie
<i>NACE (Code Nomenclature of Economic Activities)</i>	<i>Knüpft an das Konzept Branche an und beschreibt v.a. die Anwenderbranche der Lösung, Anknüpfung als hierarchische Struktur an die Ontologie</i>
<i>VDMA-Fachzweigsystematik</i>	<i>Knüpft an das Konzept Unternehmen an und beschreibt v.a. Herstellerbranchen von Lösungen, Anknüpfung als hierarchische Struktur an die Ontologie</i>
<i>eCl@ss</i>	<i>Knüpft an das Konzept Objekt an, Anknüpfung als hierarchische Struktur an die Ontologie (teilweise sind die Objekte in der Klassifizierung bereits mit Eigenschaften belegt, die in der Ontologie genutzt werden können).</i>
<i>eMarket</i>	<i>Knüpft an das Konzept Funktionsträger an, Anknüpfung als hierarchische Struktur an die Ontologie; die einzelnen Funktionsträger sind in der Klassifizierung bereits mit den wichtigsten Merkmalen beschrieben.</i>
<i>FIZ-Thesaurus</i>	<i>Generelle Quelle für Objekte, technische Operationen; beinhaltet v.a. ein Begriffssystem</i>
<i>Thesaurus Verpackungstechnik</i>	<i>Generelle Quelle für Objekte und technische Operationen der Verpackungstechnik; beinhaltet v.a. ein Begriffssystem</i>

Tab. 7-4: Anknüpfungspunkte für Klassifizierungen und Thesauri im Umfeld des Fallbeispiels 2 an die Ontologie

7.2.2 Instanziierung der Ontologie

Die Instanziierung der Ontologie baut auf den in den Lösungsdokumenten enthaltenen Instanzen auf. Diese werden extrahiert und den entsprechenden Konzepten der Ontologie zugeordnet. Schließlich werden die Instanzen der Konzepte „Operation“ und „Objekt“ den Abstraktionsebenen zugeordnet.

Vorgehen zur Instanziierung

Das Vorgehen richtet sich nach dem in Abb. 4-2 dargestellten Vorgehensmodell. In Abb. 7-11 sind schematisch die Extraktion von Funktionen aus einem Lösungsdokument sowie die Integration in die Ontologie dargestellt. Konkrete Instanzen wie Antriebe (wie z.B. *geführte Antriebe vom Typ DFM*) werden den Funktionsträgern zugeordnet, Objekte, die Gegenstand der Funktion sind und in der Lösung gehandhabt werden (*Flaschen*), werden den Objekten der Ontologie zugeordnet, die durchgeführten Operationen in Form von Verben (*klemmen, anheben, weiterbefördern*) den Operationen und Lösungen als gesamte Einheit (*pneumatische Lösungen*) entsprechend als Instanz der Lösungsklasse. Die Extraktion der Instanzen und Abbildung dieser erfolgt bei diesem Entwicklungsschritt manuell.

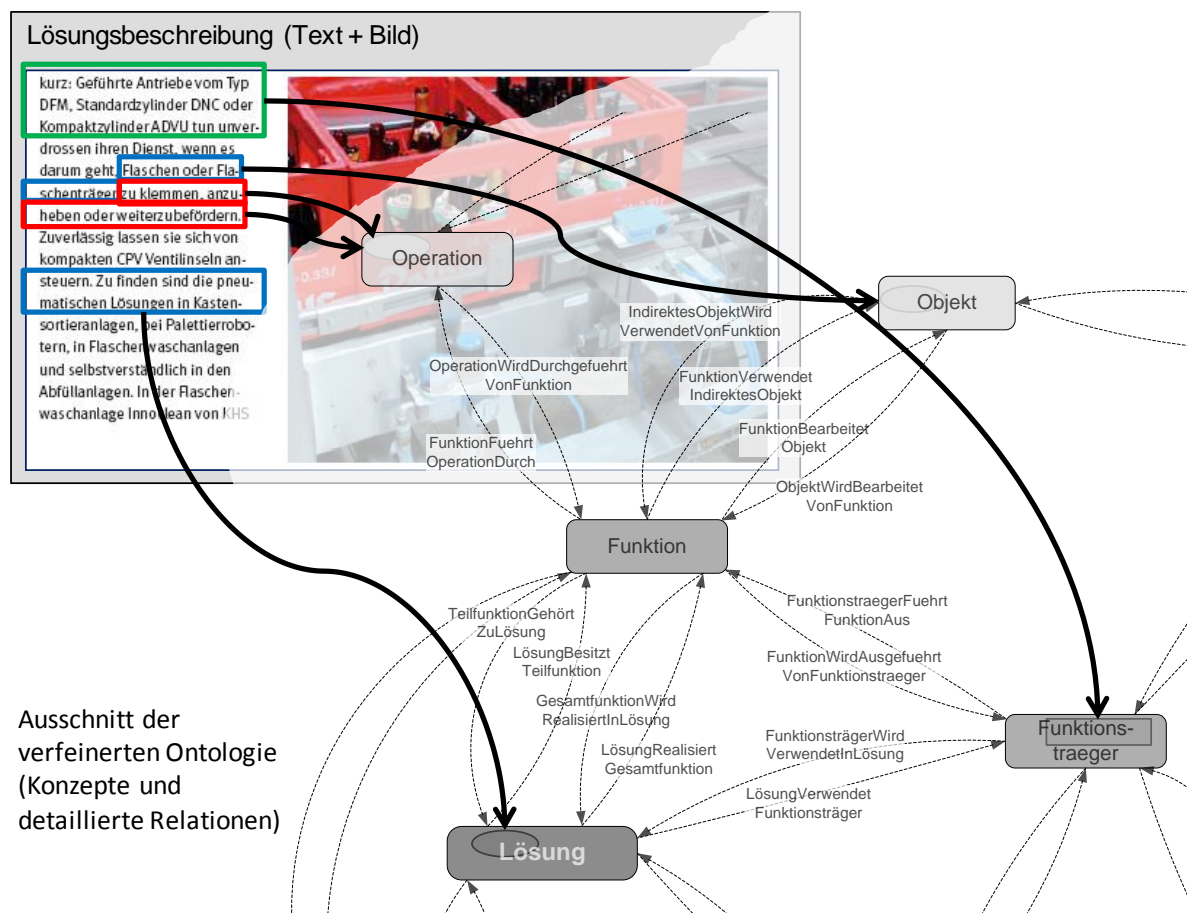


Abb. 7-11: Instanziierung der Ontologie über manuelle Textannotierung und Zuordnung zur Ontologie

Die Trennlinie zwischen Konzepten und Instanzen richtet sich dabei nach den gegebenen Informationen in den Lösungsdokumenten. Diese Abgrenzung zwischen Instanzen und Konzepten ist jedoch nicht in jedem Fall trennscharf, sie muss vielmehr für jeden extrahierten Begriff untersucht werden.

Für Instanzen gelten folgende Richtlinien:

Grundsätzlich werden alle Begriffe, die einem Lösungsdokument entnommen werden, als Instanzen modelliert. Wird beispielsweise in einem Lösungsdokument eine Flasche bewegt, so wird diese Flasche als eindeutige Instanz in die Ontologie integriert (z.B. als Flasche_UNTERNEHMEN_Nr.). Dadurch wird gewährleistet, dass die im Dokument gegebenen Informationen lediglich abgebildet, aber noch nicht interpretiert werden. So trifft die aus dem Lösungsdokument extrahierte Information „Flasche“ noch keine Aussage, welches Füllvolumen diese Flasche hat oder aus welchem Material die Flasche besteht.

Für Konzepte gelten folgende Richtlinien:

Die aus den Lösungsdokumenten extrahierten Instanzen werden dann mit Konzepten verknüpft, die als allgemeingültige Klassen verschiedene Instanzen nach einem bestimmten Ordnungskriterium zusammenfassen. So ist die dargestellte Flasche_UNTERNEHMEN_Nr. eine Instanz des Konzepts „Obj_Stoff“ sowie deren Unterkonzept „Obj_Flasche“. Jede Flasche –

unabhängig vom Anwendungsgebiet (z.B. Medizin, Nahrungsmittelbranche), Material oder Füllvolumen – kann als stoffliches Objekt angesehen werden. Dies stellt den kleinsten gemeinsamen Nenner dar. Darauf aufbauend kann eine Flasche als Unterkonzept der stofflichen Objekte gegliedert werden, wobei allen Flaschen das Merkmal Füllvolumen, Material etc. zu Eigen ist. Die tatsächliche Ausprägung dieser Merkmale wird dann wiederum für die einzelnen Flaschen (z.B. Flasche_UNTERNEHMEN_Nr.) vorgenommen.

Beschreibung der Instanzen über deren Eigenschaften

Die einzelnen Instanzen werden in der Ontologie mit deren Eigenschaften modelliert und dadurch beschrieben. Dies bildet die Grundlage für den späteren Einsatz von Verfahren des logischen Schließens. In Tab. 7-5 sind exemplarisch Funktionsträgermerkmale mit möglichen Ausprägungen dargestellt, die aus den Lösungsdokumenten extrahiert und für die Modellierung genutzt werden können.

<i>Merkmale</i>	<i>Mögliche Ausprägungen</i>
Taktzeit	<i>Quantitative Werte (z.B. 7s, 11s)</i>
Verfahrlänge	<i>Quantitative Werte (z.B. 20 m)</i>
Wiederholgenauigkeit	<i>Wiederholgenauigkeit hoch, mittel, niedrig</i>
Zykluszeit	<i>Zykluszeit kurz, Zykluszeit mittel</i>

Tab. 7-5: Beschreibung der Funktionsträger durch im Text enthaltene Merkmale und Ausprägungen

Die Beschreibung der Eigenschaften der Funktionsträger auf Basis der Lösungsdokumente unterliegt dabei einer großen Unschärfe. So fehlen meist quantitative Angaben, häufig sind es lediglich qualitative Beschreibungen und Angaben. Für eine weitere Detaillierung können Anbindungen an Produktdatensysteme oder Katalogsysteme genutzt werden, die diese Informationen beinhalten. Im Rahmen der Lösungssuche über die beschriebenen Dokumente ist jedoch eine weitere Eingrenzung nicht möglich.

Ebenso können die Objekte über deren Eigenschaften beschrieben werden. Hier liegt der Fokus auf den Beschaffenheitsmerkmalen. So können die Objekte durch deren Geometrie (z.B. Abmessungen, Form, Füllvolumen) oder mechanischen Eigenschaften (z.B. Masse) in der Ontologie abgebildet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung wichtiger Objekteigenschaften liefern branchenspezifische Betrachtungen. So können Objekte aus Sicht der Verpackungstechnik in verschiedene Packgutarten (z.B. Schüttgut, Stückgut etc.) oder nach deren Verhalten beim Fördern (z.B. hochviskos vs. niedrigviskos) unterschieden werden.

Vernetzung der Instanzen mit den Abstraktionsebenen

Um die Lösungen zu abstrahieren werden die Objekte und Operationen mit den bestehenden Abstraktionsebenen vernetzt. Für die Objekte bedeutet dies die Beschreibung der Eigenschaften, insbesondere der Beschaffenheitseigenschaften, wie oben dargestellt. Die Beschreibung der Operationen erfolgt über deren Operationsziel. Wie im Fallbeispiel 1 werden auch hier den Operationen deren entsprechende Ziele zugeordnet. Das Zielsystem umfasst dabei dieselben Merkmale wie im Fallbeispiel 1 und ermöglicht so die Beschreibung einzelner Operationen auf abstrakter Ebene.

Ergebnis der Instanziierung

Auf Basis der dargestellten Instanziierung werden die Lösungen in das verfeinerte Ontologiemodell integriert. In Abb. 7-12 ist die verfeinerte Ontologie mit zwei Beispielinstanzen (*Transfersystem* und *Robotersystem*) exemplarisch dargestellt.

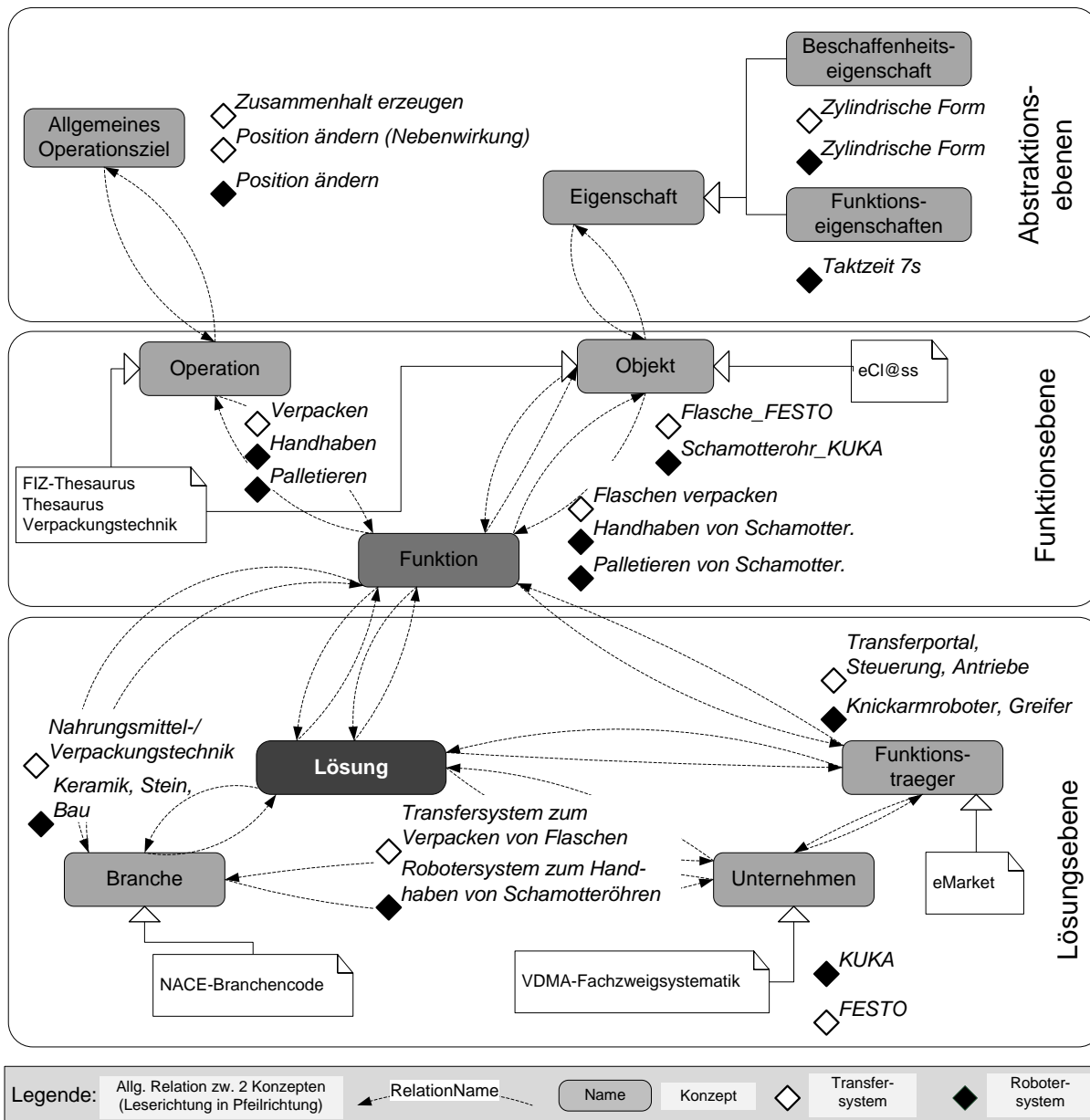


Abb. 7-12: Verfeinerte Struktur der Ontologie mit zwei Lösungen und den damit verknüpften Beispielinstanzen

Das Modell enthält neben den Konzepten und Relationen auch die Verknüpfungen und Zuordnungen der Klassifizierungen (*NACE-Branchencode*, *VDMA-Fachzweigsystematik* etc.) und Thesauri (z.B. *Thesaurus Verpackungstechnik*) im Anwendungsgebiet. Die Verknüpfung der Prinziplösungen untereinander erfolgt wiederum über die Funktion als zentrales Konzept der Ontologie. Unter Betrachtung der Funktionen auf abstrakter Ebene kann der Lösungsraum aufgeweitet werden. So ermöglicht der Zugriff über das Operationsziel *Position ändern* das Finden des *Transfersystems zum Verpacken* ebenso wie des *Robotersystems zum Handhaben*

von Schamotteröhren. Analog kann der Zugriff über verschiedene Objekteigenschaften erfolgen, beispielsweise der *zylindrischen Form* von *Flaschen* als auch von *Schamotteröhren*. Neben der Erweiterung des Suchraumes können die Beschreibungen auf abstrakter Ebene auch zur Reduzierung und Einschränkung der Lösungsmenge genutzt werden. Lösungen, die ein Objekt mit zylindrischer Form in seiner Form bearbeiten (z.B. das Drehen eines zylindrischen Körpers), können durch Angabe des Operationszieles und der Objekteigenschaft ausgeschlossen werden.

Modellierung der Ontologie mit Rechnerwerkzeugen

Ausgehend von den Konzepten und Konzepthierarchien werden die Instanzen eingepflegt und mit den Eigenschaften belegt. Dazu wird das nicht kommerzielle Werkzeug Protégé²⁷ genutzt, um die Ontologie im Standardformat *owl* zu erstellen. Grundsätzlich eignen sich weitere Alternativen zur Erstellung der Ontologie, die den owl-Standard unterstützen (beispielsweise *NeOn-Toolkit*²⁸) Alle in dieser Arbeit dargestellten Screenshots basieren auf der Bearbeitung der Ontologie im entsprechenden Werkzeug (hier: *Protégé* in Version 3.4). Zur Visualisierung der Ontologie können die in *Protégé* integrierten Visualisierungswerkzeuge genutzt werden. Als Werkzeug zum Schließen (Reasoning) wird der integrierte *Pellet-Reasoner*²⁹ verwendet.

In Abb. 7-13 ist ein Screenshot der Implementierung der Ontologie in Protégé dargestellt. Die Abbildung zeigt die Konzepthierarchie für die in der Ontologie integrierten Eigenschaften. Im Beispiel ist die Beschaffenheitseigenschaft geometrische Form (*Eig_Besch_Geo_Form*) hervorgehoben. Die Instanz Zylindrische Form (*Inst_Eig_Besch_Geo_Form_Zylinder*) ist eine Instanz dieses Konzepts. Im rechten Bereich des Screenshots sind dann die weiteren mit dieser Instanz verbundenen Instanzen der Ontologie erkennbar. In diesem Fall besitzen noch zahlreiche weitere Instanzen (*Inst_Obj_Six-Pack*, *Inst_Obj_Bierflasche* etc.) die Eigenschaft der zylindrischen Form.

Auf diesem Weg können die einzelnen Instanzen der Realität detailliert in der Ontologie beschrieben werden. Zu den weiteren Vorteilen zählt, dass jedes modellierte Objekt als eigenständige Einheit betrachtet werden kann. So kann eine Flasche, die einmal mit ihren Eigenschaften modelliert ist, mit weiteren Instanzen verbunden werden. Im Rahmen der Übernahme der aus den Lösungsdokumenten extrahierten Informationen wird dieser Mehrwert erkennbar: sind Grobstruktur der Ontologie und wichtige Instanzen modelliert, lassen sich neue Instanzen sehr zügig in die Ontologie hinzufügen und sind ohne weitere Bearbeitung für die Verfahren des logischen Schließens nutzbar. Die auf diesem Weg verfeinerte Ontologie umfasst auf Basis der ausgewählten Lösungsdokumente knapp 200 Funktionen, die aus ca. 60 Objekten und 90 Operationen gebildet werden. Desweiteren umfassen die Konzepte Branche 14 Instanzen, die Funktionsträger 32 Instanzen und die Merkmale 39 Instanzen. Die Erfas-

²⁷ siehe hierzu weitere Informationen unter [STANFORD CENTER FOR BIOMEDICAL INFORMATICS RESEARCH 2009].

²⁸ siehe hierzu weitere Informationen unter [NEON PROJECT 2009].

²⁹ siehe hierzu weitere Informationen unter [CLARK & PARSIA 2009].

sung der in den Lösungsdokumenten enthaltenen Informationen ist dabei nicht als vollständig anzusehen, dennoch können in der Ontologie die wichtigsten Inhalte abgebildet und modelliert werden und stehen für die Überprüfung der Ontologie hinsichtlich der Potenziale zum logischen Schließen zur Verfügung.

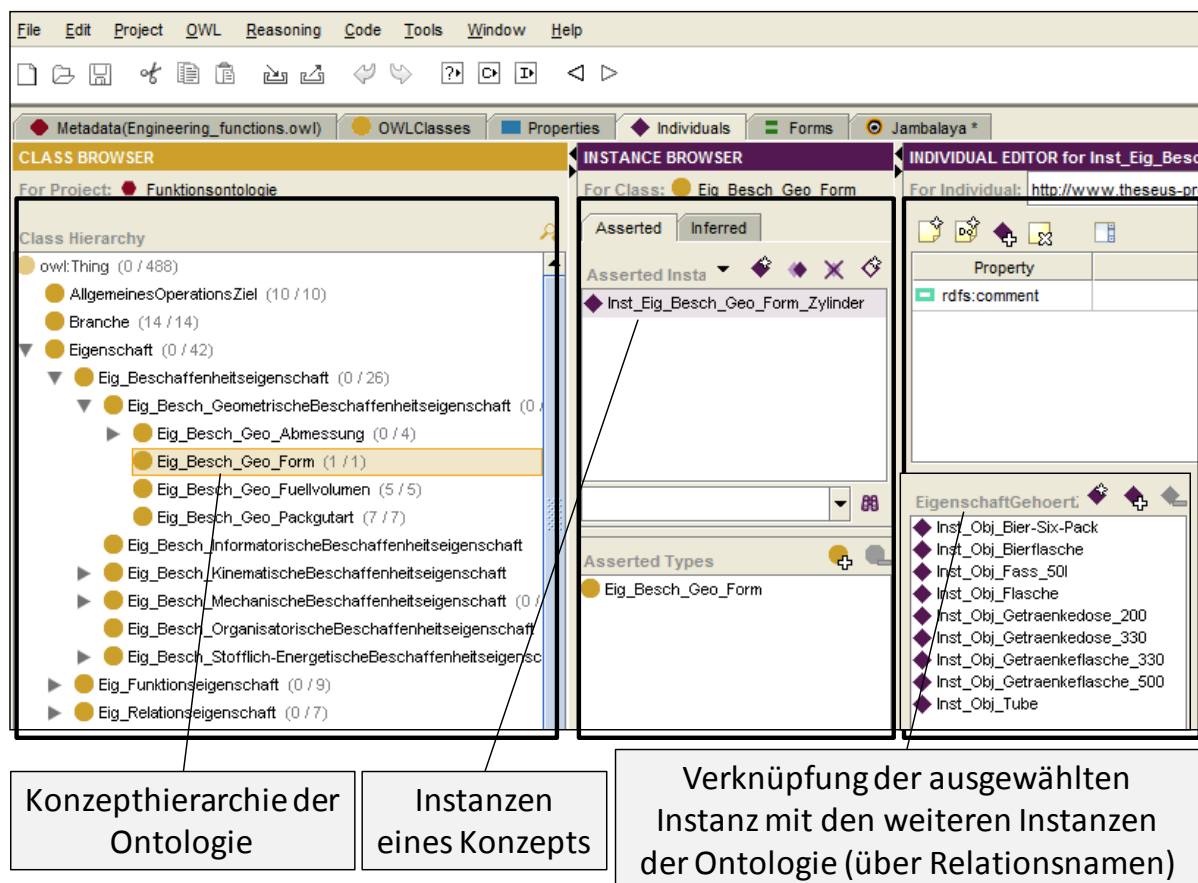


Abb. 7-13: Screenshot der Implementierung der Ontologie zur Suche nach Produkt- und Systemlösungen (Fallbeispiel 2)

7.2.3 Evaluierung der Verfeinerung der Ontologie

Im Rahmen der Evaluierung der Verfeinerung der Ontologie ist als erstes die Ontologie in Bezug auf Vollständigkeit der Konzepte, Relationen und Instanzen zu überprüfen. Durch die manuelle Integration der Lösungsdokumente in die Ontologie und die iterative Anpassung und Erweiterung der Ontologie über die extrahierten Informationen ist dies gegeben. Der zweite Aspekt der Evaluierung betrifft die Potenziale der Ontologie zum logischen Schließen. Dieser Schritt bildet den Schwerpunkt bei der Bewertung der Verfeinerung der Ontologie.

Vorgehen und Methodik zur Evaluierung

Zu diesem Zweck werden Anfragen an die Ontologie gestellt. Dies geschieht üblicherweise über eine Anfragesprache. Testweise erfolgt dies im Rahmen des Fallbeispiels über die Festlegung von definierten Klassen. Unter definierten Klassen sind solche Klassen zu verstehen, die über ihre Eigenschaften festgelegt sind und noch keine Instanzen enthalten. Definierte

Klassen enthalten nach Durchlauf des Verfahrens zum logischen Schließen (*Reasoning-Verfahren*) alle die Instanzen, die den von den definierten Klassen festgelegten Eigenschaften genügen. Erst nach der Anwendung eines Werkzeuges zum logischen Schließen (*Reasoner*) werden Instanzen, die den Eigenschaften dieser definierten Klassen entsprechen, in diese Klassen eingeordnet. Für die in 5.2.2 definierten Testfälle werden zur Evaluierung definierte Klassen gebildet. In Abb. 7-14 sind diese definierten Klassen in der Konzepthierarchie dargestellt (z.B. *Such_LoesungHoheUmgebungstemperatur*). Für die Anfrage nach Lösungen, die ein *zylindrisches Objekt verpacken*, ist die Suchanfrage detailliert mit den mengentheoretischen Angaben abgebildet. Das *Verpacken* als Operation ist dabei auf das allgemeine Operationsziel *Zusammenhalt erzeugen* abstrahiert. Dabei werden alle Lösungen als relevante Lösungen zusammengestellt, die den Zusammenhalt als Teilfunktion oder als Gesamtfunktion erzeugen. Ebenso werden alle Lösungsinstanzen in diese Lösungsmenge mit eingeschlossen, die ein Objekt mit zylindrischer Form in einer Teil- oder Gesamtfunktion bearbeiten.

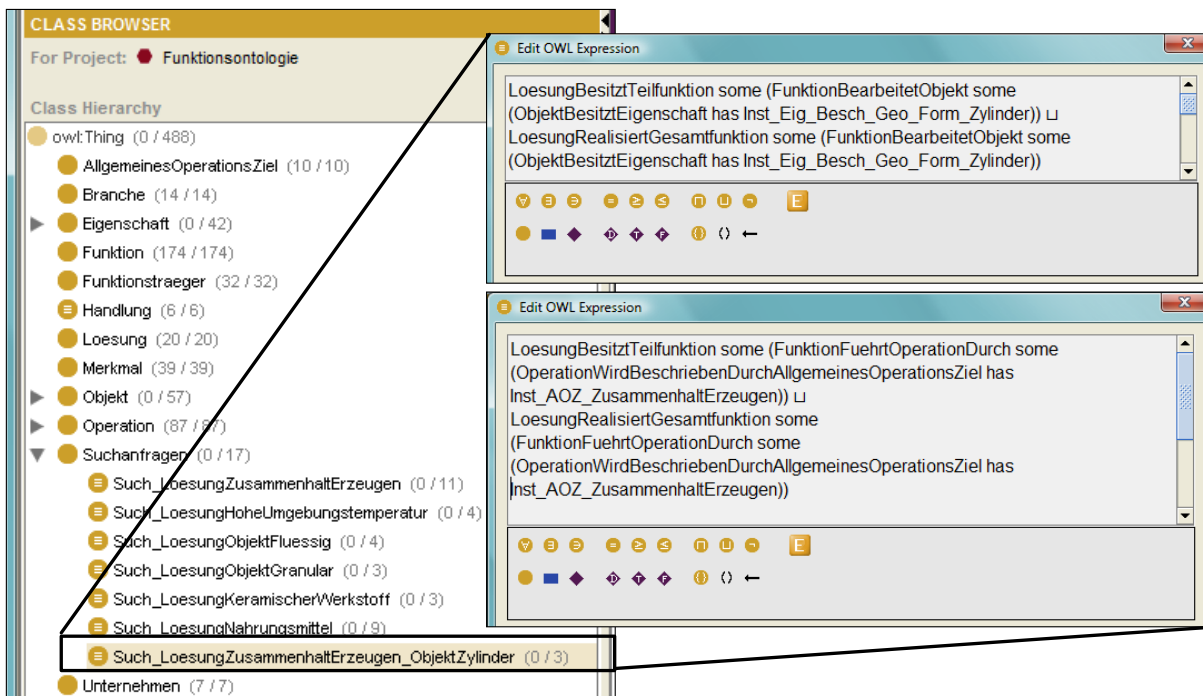


Abb. 7-14: Suchanfragen an die Ontologie (Übersicht und exemplarische Darstellung)

Evaluierung mit Rechnerwerkzeugen zum logischen Schließen

Nach Durchlauf des Reasoning-Algorithmus sind die den Anforderungen aus den definierten Klassen entsprechenden Lösungen diesen Klassen zugeordnet (siehe Abb. 7-15). Die zugeordneten Instanzen sind die Instanzen, die auch in den Testfällen als relevante Lösungen definiert wurden. Für die weiteren Testfälle zeigt sich ein ähnliches Bild: es werden für die Suchanfragen an die Ontologie jeweils die relevanten Lösungen geliefert, wie dies auch von der Arbeitsgruppe definiert wurde. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da in der Verfeinerung der Ontologie exakt die Eigenschaften modelliert und abgebildet wurden, die auch in den entsprechenden Lösungsdokumenten enthalten sind.

Die Qualität der Zuordnungen ist direkt abhängig von der Modellierung der Instanzen in der Ontologie. Im Rahmen des mit 18 Lösungen überschaubaren Lösungsraumes stellt dies eine manuell bewältigbare Aufgabe dar, die auch zu entsprechend guten Lösungen führt. Inwieweit sich dieses Ergebnis auch bei einer deutlichen Erweiterung des Lösungsraumes bestätigt, kann nur über eine entsprechende Integration der Ontologie in ein Information Retrieval-System bewertet werden.

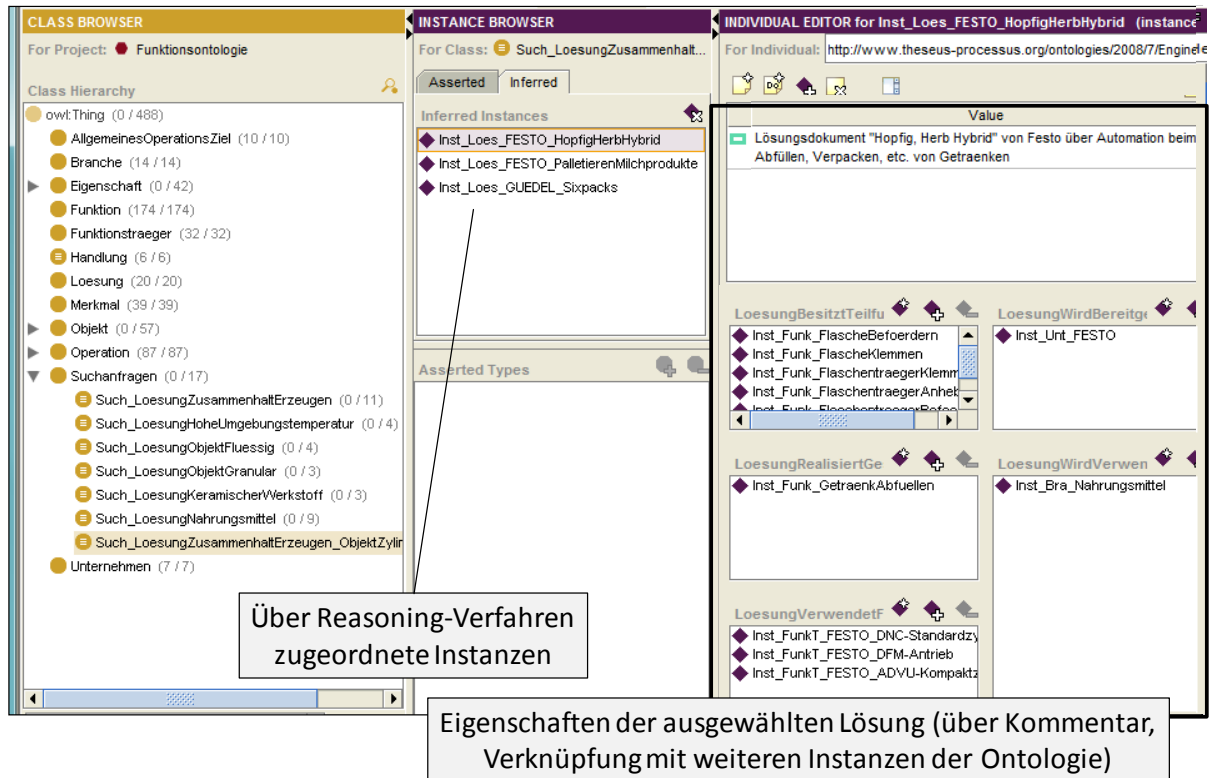


Abb. 7-15: Screenshot zum Einsatz von Reasoning-Verfahren im Fallbeispiel 2

8. Einsatz der Ontologie und abschließende Diskussion

Die verfeinerte Ontologie kann in verschiedenen Rechneranwendungen eingesetzt werden. Im Fallbeispiel 1 wird dazu die Ontologie in ein Wiki-System integriert, das die semantischen Informationen der Ontologie nutzt. Bei der Evaluierung steht neben der Bewertung der Leistungsfähigkeit der Ontologie, auf ähnliche Lösungen zu schließen, auch die Nutzbarkeit der Ontologie aus Anwendersicht im Mittelpunkt. Die abschließende Betrachtung diskutiert den gesamten Lösungsansatz in beiden Fallbeispielen hinsichtlich Vorgehen und Ergebnis der Ontologieentwicklung.

8.1 Einsatz und Evaluierung bei der Suche nach Prinziplösungen

Zur Suche nach Prinziplösungen im Fallbeispiel 1 wird die entwickelte Ontologie in einer Internetanwendung implementiert und von vier Versuchsgruppen mit unterschiedlichen Zugängen zu den Lösungen evaluiert. Die Bewertung der Versuchsgruppen richtet sich dabei sowohl nach dem quantitativen Ergebnis der Lösungssuche in den Gruppen als auch nach den verschiedenen Wegen, die zur Lösungssuche genutzt werden.

8.1.1 Vorgehen und Methodik zur Evaluierung

Vor der Umsetzung und Realisierung der Ontologie in einer Rechneranwendung werden die Evaluierungsmethodik und die Kennzahlen zur Bewertung näher beschrieben.

Versuchsgruppen und Zugänge zu den Prinziplösungen

Die Ontologie zur Lösungssuche nach Prinziplösungen bietet verschiedene Zugänge zu Lösungen. Im Rahmen der Evaluierung sollen vier verschiedene Zugänge gegeneinander bewertet werden. Dazu werden Versuchsreihen durchgeführt, bei denen jeweils eine Gruppe von mehreren Versuchspersonen (5-7 Studenten) vorgegebene Aufgabenstellungen bearbeiten müssen. Die Versuchspersonen sind Studenten aus dem Hauptstudium des Studiengangs Maschinenwesen der TU München und stehen vor der Prüfung im Prüfungsfach „Produktentwicklung und Konstruktion“. Die Studenten haben mit der Prüfungsvorbereitung noch nicht begonnen, besitzen aber durch Besuch von Vorlesung und Übung einen vergleichbaren Kenntnisstand bezüglich der Themen- und Aufgabenstellungen. Dennoch ist ein hoher Einfluss der individuellen Fähigkeiten und Kompetenzen auf die Qualität der Lösungssuche zu erwarten, was sich auch in den unterschiedlich guten Prüfungsergebnissen der Studenten bei der Bearbeitung dieses Teils der Prüfung in den Vorjahren gezeigt hat.

Als Referenzgruppe der Versuchsreihen dient die Gruppe 1. Diese Gruppe greift auf die Lösungen ausschließlich auf der Lösungsebene zu. Die Gruppe 2 hingegen kann über die Be-

trachtung der Funktionen geeignete Prinziplösungen ermitteln, und den Gruppen 3 und 4 steht ein Zugang über die Abstraktionsebenen auf die Prinziplösungen offen (siehe Abb. 8-1).

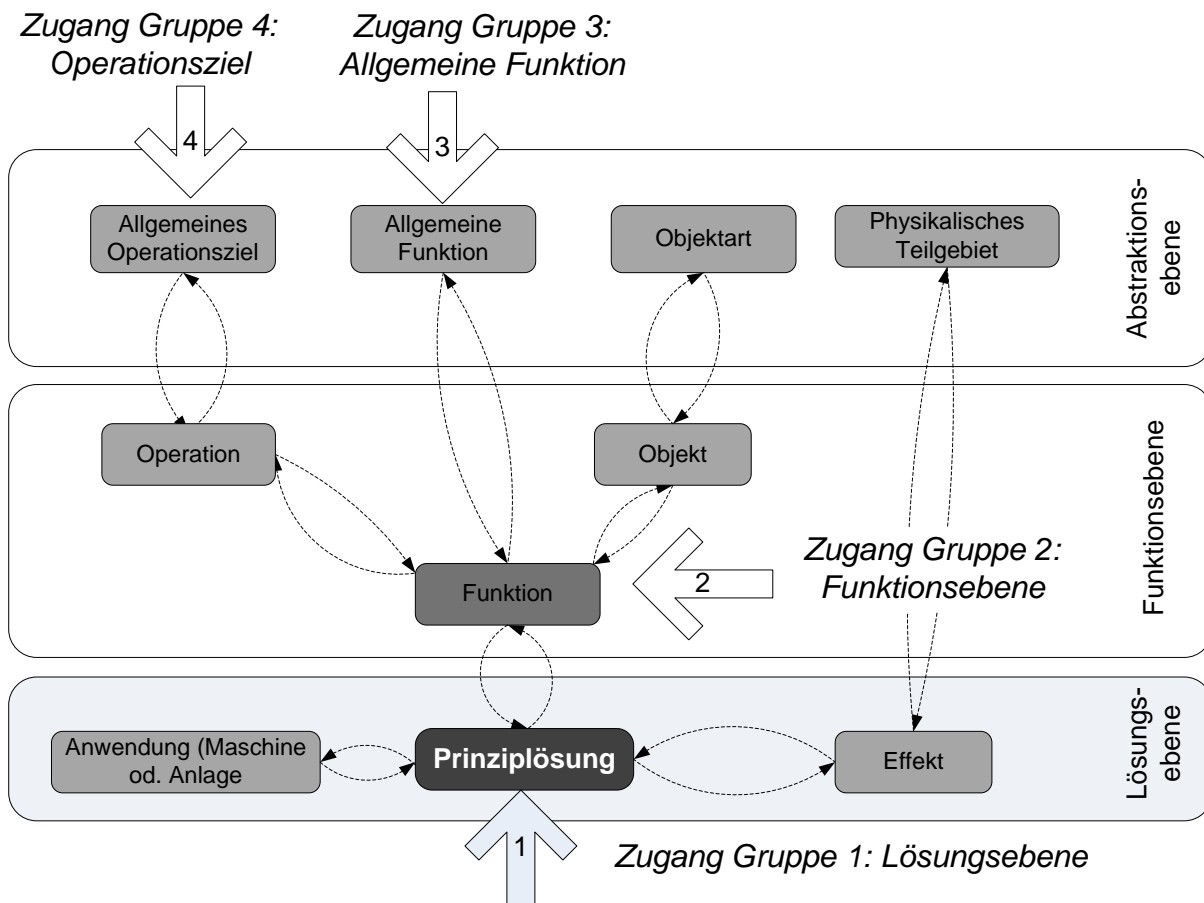


Abb. 8-1: Versuchsgruppen und Zugänge zu den Prinziplösungen

Versuchsaufgaben und -bedingungen

Die Versuchspersonen erhielten die Aufgabe, zu 5 vorgegebenen Aufgabenstellungen jeweils eine möglichst große Menge an geeigneten Prinziplösungen zu ermitteln. Dazu hatten die Studenten je Aufgabe 10 Minuten Bearbeitungszeit, in denen sie an Rechnerarbeitsplätzen mit Internetzugang in Einzelarbeit geeignete Prinziplösungen ermitteln und die Namen der von ihnen ausgewählten Prinziplösungen in ein Lösungsblatt übertragen sollten. Die fünf Aufgabenstellungen sind in Tab. 8-1 in der Übersicht dargestellt, der Anhang Kap. 11.5.1. enthält die Aufgabenstellungen aller Versuchsaufgaben. Dabei entsprechen die Aufgaben 1 und 3 den bereits betrachteten Testfällen zur Evaluierung der Verfeinerung der Ontologie in Kap. 7.1.3. Die Aufgabenstellungen sind jeweils vorgegeben mit einer Funktion und einer kurzen Beschreibung zur Funktionsweise einer Ausgangslösung, die ebenfalls vorgegeben wurde. Aufgabe 1 wurde von allen Versuchspersonen über die Zugangsart 1 (entspricht Zugang der Gruppe 1), die Aufgaben 2-4 wurden dann von jeder Versuchsgruppe mit der jeweils spezifischen Zugangsart bearbeitet. Dadurch dient die Aufgabe 1 als Referenzaufgabe über alle Versuchspersonen hinweg, da hier alle Studenten die gleichen Bedingungen hatten. Die Auswahl

der Aufgabenstellungen berücksichtigt dabei verschiedenen allgemeinen Funktionen (Aufgabe 1, 2 und 3 betreffen das Trennen, Aufgabe 3 und 6 den Transport eines Stoffes).

Nr.	Funktion	Beschreibung	Zugangsart
1	Dotter von Eiklar trennen	Um das Eiklar vom Dotter zu trennen wird folgendes Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte KfK und Gravitation bleibt der Dotter in einer Trennschale, das Eiklar schwimmt in der Trennschale auf und fällt nach unten in einen Auffangbehälter.	Alle Gruppen mit Zugangsart der Gruppe 1
2	Ei anbrechen	Um das Ei anzubrechen wird folgendes Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte Hebel, Keil und KfK wird das Ei an der Bruchstelle angeritzt oder angeschlagen.	Jede Versuchsgruppe mit der spezifischen Zugangsart
3	Eier zuführen	Um das Ei zuzuführen wird folgendes Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte KfK, Gravitation und Coulombsche Reibung wird das Ei auf einem Förderband transportiert.	
4	Zitrone auspressen	Um die Zitronen auszupressen wird folgendes Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte KfK, Gravitation, Stoß und plast. Verformung wird die Zitrone verformt, dadurch wird der Saft aus der Zitrone gedrückt.	
5	Abfall aufnehmen	Um den Abfall aufzunehmen wird folgendes Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte KfK und elastische Verformung wird der Abfall ein Transportband befördert.	Alle Versuchsgruppen mit Zugangsart der Gruppe 4

Tab. 8-1: Übersicht über die Versuchsaufgaben zur Evaluierung der Ontologie im Fallbeispiel 1

Bewertung der Versuchsergebnisse - quantitativ

Im Rahmen der Versuche ermittelte jede Versuchsperson Prinziplösungen für die gestellten Versuchsaufgaben. Diese Lösungen wurden in einem ersten Schritt dahingehend bewertet, ob sie als geeignete Lösungen angesehen werden können. Die Bewertung der Eignung erfolgt analog zu den in Kap. 5.2.1 dargestellten Bewertungskriterien. Auf diesem Weg wird für jede Versuchsperson die Anzahl der ausgewählten geeigneten Lösungen aufgestellt.

Parallel zur Anzahl der von den Versuchspersonen aufgeschriebenen Lösungen wurden die angeklickten Seiten protokolliert (Log-Files des Webservers). Damit kann als quantitative Bewertungszahl je Student und Aufgabe das Verhältnis aus den gefundenen Lösungen zu den aufgerufenen Seiten ermittelt werden. Diese Kennzahl gibt eine Aussage darüber, wie genau die Versuchspersonen geeignete Lösungen ermitteln konnten.

Bewertung der Versuchsergebnisse - qualitativ

Neben der Ermittlung der oben genannten Kennzahlen je Student und Aufgabe können auch die Zugangswege zu den Prinziplösungen untersucht werden. Hierbei steht weniger eine quantitative Auswertung im Vordergrund, sondern vielmehr eine qualitative Aussage darüber, wie das Suchverhalten der Versuchspersonen gekennzeichnet ist und welche Lösungswege (d.h. welche Zugriffswege innerhalb jeder Gruppe) zur Lösungssuche genutzt wurden. Basis

für die Bewertung der Versuche hinsichtlich dieser Kriterien stellen die aufgezeichneten Seitenaufrufe sowie das Feedback der Studenten zu den Versuchen dar.

8.1.2 Prototyp zur Evaluierung der Ontologie

Um die oben genannte Auswertung und Evaluierung der Ontologie zu erreichen wird ein Prototyp für die semantische Suche eingesetzt. Dieser Prototyp ist in einem Webbrowser zugreifbar und ermöglicht die dargestellten Zugangsarten.

Systemauswahl

Datengrundlage für die Informationen im Fallbeispiel sind die bisher teilweise in Papier vorliegenden Prüfungen und Lösungsvorschläge zum Vorlesungsfach „*Produktentwicklung und Konstruktion*“. Für einen webbasierten Zugriff eignen sich verschiedene Webapplikationen wie beispielsweise CMS-Systeme³⁰. Insbesondere Wiki-Lösungen zeichnen sich jedoch dadurch aus, dass Inhalte nicht nur gelesen, sondern auch von den Benutzern editiert werden können. In semantischen Wiki-Systemen können die Inhalte zusätzlich mit einem semantischen Netz verknüpft werden. Die *Semantic MediaWiki+*³¹ stellt für das vorliegende Fallbeispiel die notwendigen Funktionen bereit, die den Einsatz eines semantischen Netzes zur Lösungssuche ermöglichen und gleichzeitig durch die Vielzahl an vorhandenen Funktionen und Programmbausteinen eine zügige und aufwandsarme Implementierung ermöglicht. Die Ontologie liegt hier im Format *rdf* vor und kann mit gängigen Werkzeugen zur Ontologierstellung verändert und angepasst werden.

Datenstruktur des Prototypen

Im Prototyp werden die zur Lösungssuche relevanten Informationen aus der Ontologie als Datenmodell integriert. In Abb. 8-2 ist die dazu entwickelte Datenstruktur in Anlehnung an ein UML³²-Klassendiagramm dargestellt. Die Hauptkonzepte der Ontologie sind als jeweils eigenständige Klassen modelliert, die dann über weitere Beschreibungen detailliert und über Relationen miteinander verknüpft werden. Die zentrale Klasse ist die Funktion, die über das Objekt und die Operation beschrieben wird. Alle weiteren Klassen des Datenmodells sind über die Funktion miteinander in Beziehung gesetzt. Eine Funktion besitzt so die Verknüpfungen mit den Klassen aus der Lösungs- und Abstraktionsebene. Diese Ebenen umfassen:

- **Abstraktionsebene:** Eine Funktion ist auf der Abstraktionsebene verknüpft mit den Allgemeinen Operationszielen und einer Allgemeinen Funktion. Ein Allgemeines Operationsziel enthält ein Merkmal, eine kurze Beschreibung des Merkmals und die

³⁰ Content-Management-Systeme ermöglichen das gemeinschaftliche Erstellen und Bearbeiten von Inhalten, meist in Internetanwendung.

³¹ Weitere Informationen unter [ONTOPRISE GMBH 2009].

³² Die UML (Unified Modeling Language) stellt eine Modellierungssprache dar, um im Schwerpunkt Softwaresysteme zu modellieren [RUMBAUGH et al. 1993].

dazugehörige Handlung. Die Allgemeine Funktion nach der konstruktionsmethodischen Betrachtung besitzt einen eindeutigen Namen, ein entsprechendes Icon sowie eine Kurzbeschreibung mit Beispielen. Jede Allgemeine Funktion ist außerdem eingeteilt nach der Objektart in eine Energie-/Stoff-/Signal- oder Energie-Stoff-verknüpfende Operation.

- Lösungsebene:** Jede Funktion ist auf der Lösungsebene mit den entsprechenden Prinziplösungen verbunden. Diese Prinziplösungen besitzen eine Skizze sowie eine kurze Beschreibung. Von den Prinziplösungen aus sind die physikalischen Effekte in das Modell eingebunden. Die physikalischen Effekte wiederum sind über einen eindeutigen Namen, eine Beschreibung, eine Formel bzw. die Angabe des physikalischen Gesetzes, eine Skizze und die Zuordnung zu einem physikalischen Teilgebiet beschrieben. Schließlich sind die Funktionen mit den Anwendungen verbunden, in denen sie eingesetzt werden. Die Anwendungen sind dabei jeweils die Aufgabenstellungen einer Prüfung aus einem Semester mit einer Beschreibung der jeweiligen Maschine oder Anlage, in der die Funktion eingesetzt wird.

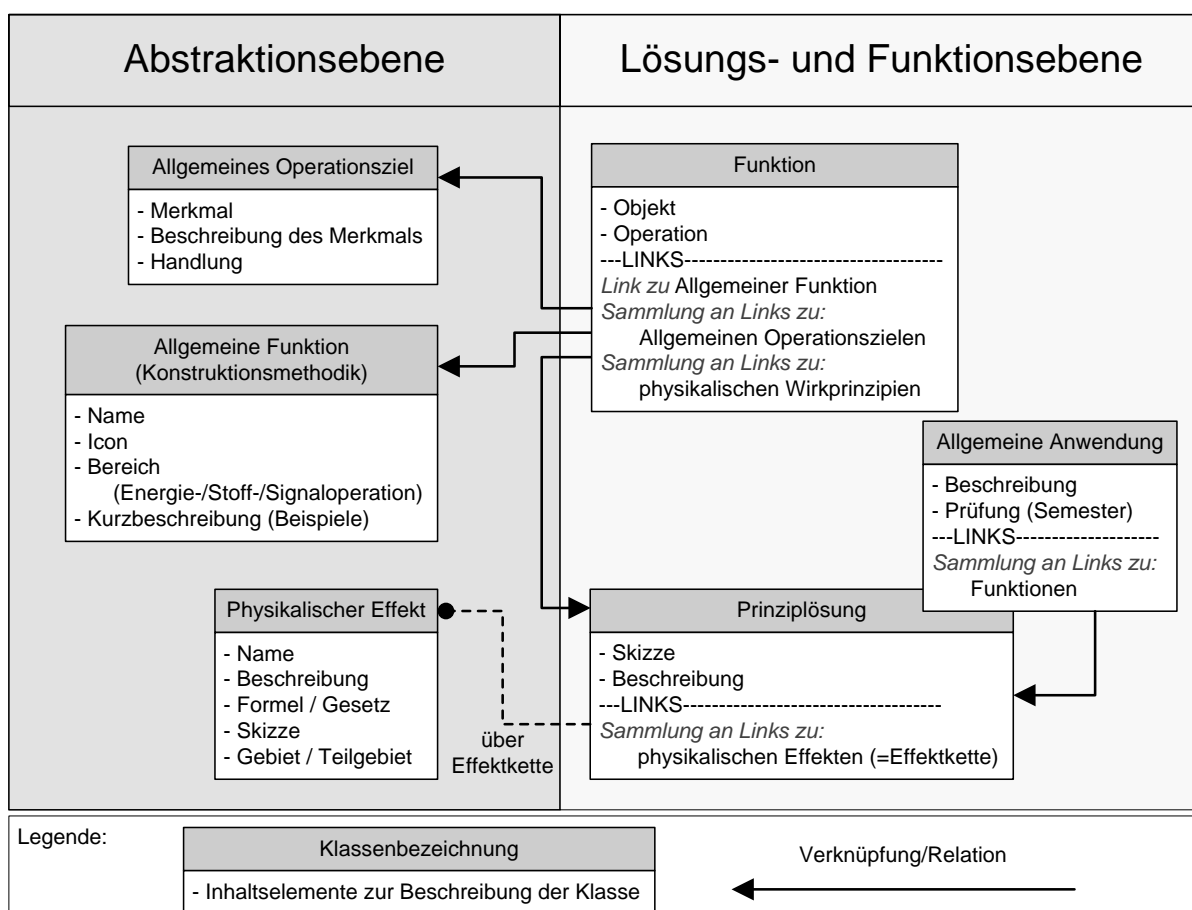


Abb. 8-2: Datenstruktur des Prototypen zur semantischen Lösungssuche für Prinziplösungen (Darstellung in Anlehnung an ein UML-Klassendiagramm)

Jede Klasse des Datenmodells ist im *Semantic MediaWiki+* als eine Kategorie realisiert. Die einzelnen Instanzen der Ontologie bilden die Inhaltsseiten des Wiki, die wiederum den Kategorien zugeordnet werden.

Übersicht über den Prototypen

In Abb. 8-3 ist der Prototyp in der Übersicht dargestellt. Die Abbildung zeigt exemplarisch den Aufruf einer Anwendung (*Maschine zur Herstellung von Weißwürsten*) und gibt einen Überblick über den Aufbau des Prototypen.



Abb. 8-3: Screenshot des Prototypen zur Suche nach Prinziplösungen

Folgende Inhalte bzw. Navigationsmöglichkeiten stehen immer zur Verfügung, unabhängig von der aufgerufenen Seite:

- Um die Navigation bei der Lösungssuche zu unterstützen, wird die Chronik im oberen Fensterbereich festgehalten. Dies ermöglicht das Zurückspringen zu den letzten fünf aufgerufenen Seiten.
- Die Hauptnavigationseiste im linken Bildschirmbereich enthält zum einen den Zugriff auf die Informationen auf Ebene der Prinziplösungen (Prinziplösungen, Anwendungen und physikalische Effekte) und zum anderen die verschiedenen Zugriffsmöglichkeiten auf der Funktions- und Abstraktionsebene.

- Der Inhaltsbereich einer Seite enthält dann jeweils die Informationen zu den einzelnen Seiten sowie die mit dieser Seite verknüpften Informationen und weiteren Seiten.

Während in Abb. 8-3 alle Zugangsarten enthalten sind, werden für die Versuchsreihen die nicht benötigten Zugangsarten ausgeblendet.

Darstellung der Prinziplösungen

Als Ergebnis einer Suche im Prototyp können Prinziplösungen ermittelt werden, die von dem Suchenden hinsichtlich der Eignung für die eigene Aufgabenstellung bewertet werden müssen (siehe Abb. 8-4).

Bezeichnung der Prinziplösung


Erfüllt Funktion

Petersilie hacken

Genutzt in Anwendung

Maschine zur Herstellung von Weißwürsten

Allgemeine Funktion



Stoff-Operation: Lösen

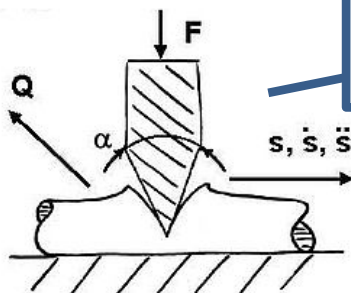
[Ähnliche Funktionen](#) | [Ähnliche Prinziplösungen](#)

Zielsystem

Länge	Fläche	Volumen	Position	Orientierung	Bew.Richtung	Geschw.keit	Temperatur	Aggregatzust.	Material	Zusammenh.	Anzahl	Mischung
X	X	X	?									

Funktionen mit gleicher Zielsystem-Konfiguration

Hackbeil (Petersilie)



Operation:
Petersilie hacken

Beschreibung und Abbildung

Auftretende Physikalische Effekte

Effekt:Keil	Statik starrer Körper
Effekt:Kohäsion fester Körper (KFK)	Molekularkräfte
Effekt:Plastische Verformung	Dynamik
Effekt:Stoß (allgemein)	Dynamik

Effektkette bearbeiten

Auftretende Physikalische Effekte (mit physikalischem Teilgebiet)

Zuordnung der Prinziplösung über die Abstraktion der Funktion

Abb. 8-4: Darstellung von Prinziplösungen im Prototyp (Screenshot, Beispiel Hackbeil (Petersilie))

Die Prinziplösungen werden über einen eindeutigen Namen und eine grafische Abbildung beschrieben. Zusätzlich sind zu jeder Prinziplösung die genutzten physikalische Effekte und deren physikalisches Teilgebiet aufgeführt. Auf Funktionsebene ist jede Prinziplösung mit der Funktion verknüpft, für die sie als Lösungsalternative entwickelt wurde. Zusätzlich zu den

gegebenen Ausgangsinformationen ist jede Prinziplösung einer Allgemeinen Funktion und einem oder mehreren Operationszielen zugeordnet. Diese Zuordnung basiert auf der Einordnung der zugehörigen Funktion in das semantische Netz. Für die Prinziplösung *Hackbeil (Petersilie)* für die Funktion *Petersilie hacken* ergibt sich so die Einordnung entsprechend Kap. 7.1.2.

Zugriffsmöglichkeiten auf Prinziplösungen

Um auf Prinziplösungen zuzugreifen, gibt es verschiedene Zugriffsmöglichkeiten. Diese sind in Tab. 8-2 dargestellt und werden im Folgenden erklärt.

Zugriffsart	Beschreibung
Direkter Zugriff über Namen der Prinziplösungen	Alphabetische Liste aller Prinziplösungen
Zugriff über die spezifischen Funktionen (Namen der Funktion)	Alphabetische Liste aller spezifischen Funktionen; jeder Funktion sind die entsprechenden Lösungen zugeordnet.
Zugriff über die allgemeinen Funktionen	Übersicht über die allgemeinen Funktionen; jeder allgemeinen Funktion sind entsprechende spezifische Funktionen zugeordnet, die den Zugriff auf Lösungen ermöglichen.
Zugriff über das Zielsystem	Übersicht über das Zielsystem von Funktionen; jedem Ziel sind entsprechende spezifische Funktionen zugeordnet, die den Zugriff auf Lösungen ermöglichen.

Tab. 8-2: Übersicht über die Zugriffsmöglichkeiten auf Prinziplösungen

Direkter Zugriff über Namen der Prinziplösungen

Der Zugriff auf die Prinziplösungen erfolgt direkt über deren Namen. Dazu sind alle Prinziplösungen als alphabetische Liste aufgeführt. Zusätzlich können die Prinziplösungen über die Anwendungen und über die Effekte erreicht werden. So können alle Prinziplösungen, die einen spezifischen physikalischen Effekt nutzen, über eine Filterfunktion abgerufen werden.

Lösungssuche über Funktionen

Auf die Prinziplösungen kann aus der Funktionsebene heraus über eine alphabetische Auflistung aller im System hinterlegten Funktionen zugegriffen werden (siehe Abb. 8-5). Jeder Funktion sind dabei die in den Lösungsvorschlägen definierten Lösungen (ca. 3-6 Lösungen je Funktion) zugeordnet.

Name	Objekt	Operation	Anwendung
Bodenkontakt des Reinigers herstellen	Bodenkontakt	Herstellen	Verfahren zur Poolreinigung und -pflege
Bremsrolle verschleißfrei bremsen	Bremsrolle	Bremsen	Rollentrainer für professionelles Fahrradtraining Indoor
Bruchstücke abscheiden	Bruchstücke	Abscheiden	Entwicklung einer Maschine zur Sortierung und Verpackung von Tabletten

Abb. 8-5: Zugriff auf Prinziplösungen über die Funktionsnamen

Lösungssuche über die allgemeinen Funktionen

Die allgemeinen Funktionen ermöglichen den Zugriff auf die Lösungen, die zu einer Funktion aus einer bestimmten Gruppe der Allgemeinen Funktionen gehören. Dazu sind alle allgemeinen Funktionen – getrennt durch die Zuordnung nach der Objektart – in einer Übersicht mit den entsprechenden Symbolen dargestellt (siehe Abb. 8-6). Trifft der Nutzer eine Entscheidung für eine allgemeine Funktion, erhält er eine kurze Beschreibung mit Beispielen sowie die zugeordneten Funktionen aus der Lösungssammlung. Nun kann er sich für eine Funktion entscheiden und auf die hinterlegten Prinziplösungen zugreifen.

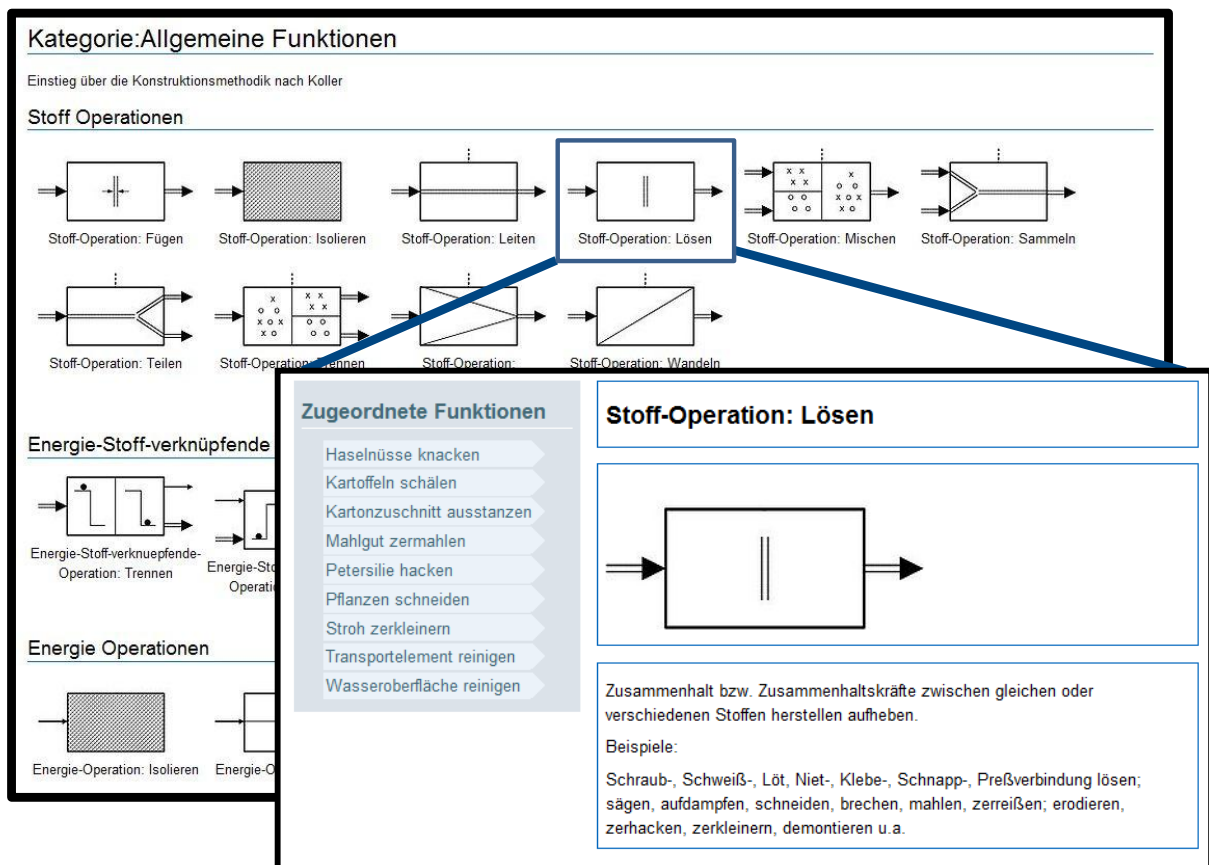


Abb. 8-6: Zugriff auf Prinziplösungen über Allgemeine Funktionen und die zugehörigen Funktionen

Lösungssuche über das Zielsystem

Die Umsetzung der Lösungssuche über das Zielsystem stellt die zweite Zugangsart aus der Abstraktionsebene heraus dar. Hierzu ist in einem ersten Schritt die Entscheidung des Nutzers für ein Merkmal notwendig, das für ihn von Bedeutung ist. Zur Auswahl stehen ihm die in der Detaillierung der Ontologie beschriebenen Merkmale (siehe Kap. 7.1.1). Für jedes Merkmal sind – wie in Abb. 8-7 dargestellt – eine kurze Beschreibung sowie die Funktionen eingeordnet. Die Zuordnung der Funktionen richtet sich dabei nach der jeweiligen Handlung, die eine Funktion auf das Merkmal ausübt. So sind im Lösungsspeicher keine Funktionen enthalten, die das Merkmal Fläche erzeugen, auflösen, erhalten oder ändern. Zu den Funktionen, die einen Einfluss auf das Merkmal Fläche nehmen, gehören *Kartonzuschnitt ausstanzen*, *Petersilie hacken*, *Pflanzen schneiden* sowie einige weitere. Zusätzlich zu dieser Einteilung sind ex-

plizit alle Funktionen und Prinziplösungen aufgeführt, so dass direkt mögliche Lösungsalternativen ersichtlich sind.

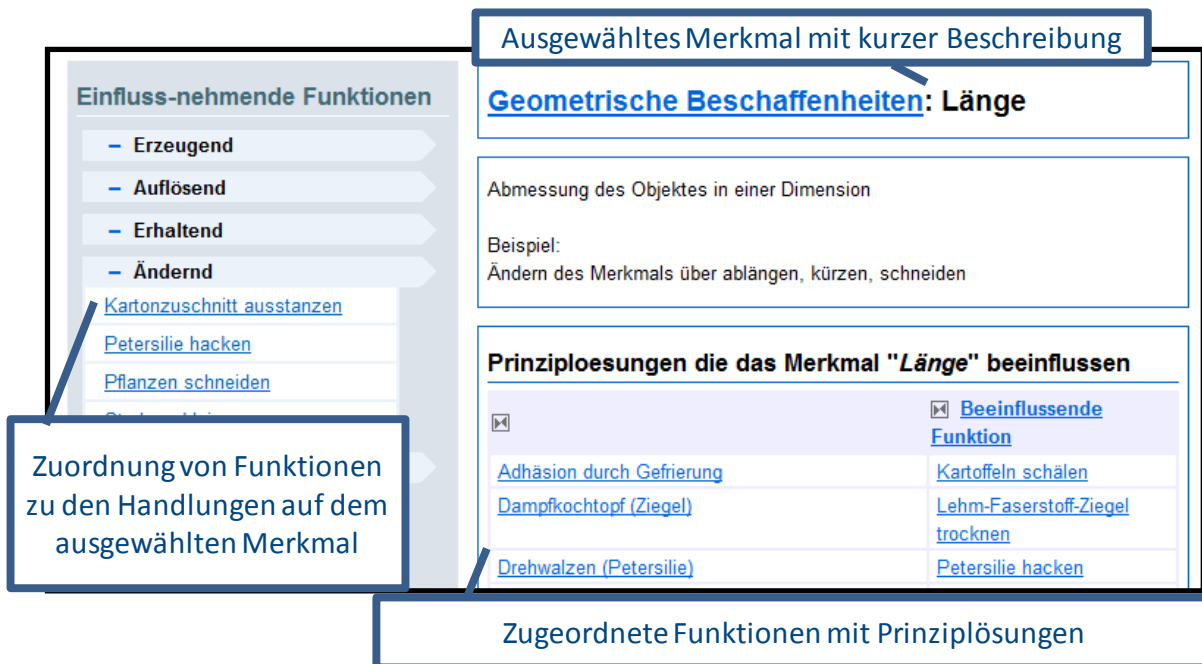


Abb. 8-7: Zugriff auf Prinziplösungen durch ein ausgewähltes Merkmal und die zugeordneten Handlungen

8.1.3 Auswertung der quantitativen Ergebnisse der Versuchsreihen

Die Ergebnisse der Versuchsreihen umfassen je Student und Aufgabe zum einen die ausgewählten Lösungen (dokumentiert in Papierform) und zum anderen die Protokolldateien des Webservers, in denen die Seitenaufrufe je Student und Aufgabe erfasst sind. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse dargestellt und mögliche Schlüsse für die Bewertung der semantischen Suche nach Prinziplösungen gezogen.

Ermittlung der Kennzahlen

Die Ermittlung der Kennzahlen basiert auf den Lösungsbögen der Studenten und den Protokolldateien des Webservers. Auf diesem Weg ist es möglich, je Student die ausgewählten Lösungen sowie die aufgerufenen Seiten zu erfassen.

Ermittlung der ausgewählten Lösungen: Für die ausgewählten Lösungen ist besonders zu überprüfen, ob diese auch als geeignete Lösungen angesehen werden können. Diese Überprüfung erfolgt für die Aufgaben 1 und 3 an Hand der in Kap. 7.1.3 definierten Referenzmengen, für die Aufgaben 2, 4 und 5 an Hand von Referenzmengen, die zusätzlich auf Basis der Bewertung zweier wissenschaftlicher Mitarbeiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung ermittelt wurden. Untersucht man die von den Studenten ausgewählten Lösungen an Hand dieser Lösungsmengen, so zeigt sich, dass mehr als 90% aller ausgewählten Lösungen innerhalb der jeweiligen Referenzmenge liegen. Aus diesem Grund wird keine weitere Unterscheidung in ausgewählte nicht geeignete und ausgewählte geeignete Lösungen unternommen. Dies bedeu-

tet, dass die Betrachtung der ausgewählten Lösungen je Student rein quantitativ erfolgt. Im Durchschnitt wurden unter diesen Annahmen im Mittel 9 Prinziplösungen je Aufgabe ausgewählt.

Ermittlung der aufgerufenen Seiten: Bei der Ermittlung der aufgerufenen Seiten sind nur die Seiten eindeutig feststellbar, die innerhalb einer Aufgabenstellung einmalig neu aufgerufen wurden. Die zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zur Protokollierung erlauben nicht die Erfassung von Seitenaufrufen über den Zurück-Button im Browser. Es stehen damit je Aufgabe und Student die neu aufgerufenen Seiten zur Verfügung. Unter diesen Annahmen wurden im Mittel 12 Prinziplösungen je Aufgabe näher betrachtet, was deutlich weniger als 10 % der Gesamtlösungsmenge von 138 Prinziplösungen entspricht.

Vorgehen zur Auswertung

In Abb. 8-8 ist das Vorgehen zur Auswertung der Versuchsreihen sowie zur Bewertung der Kennzahlen dargestellt.

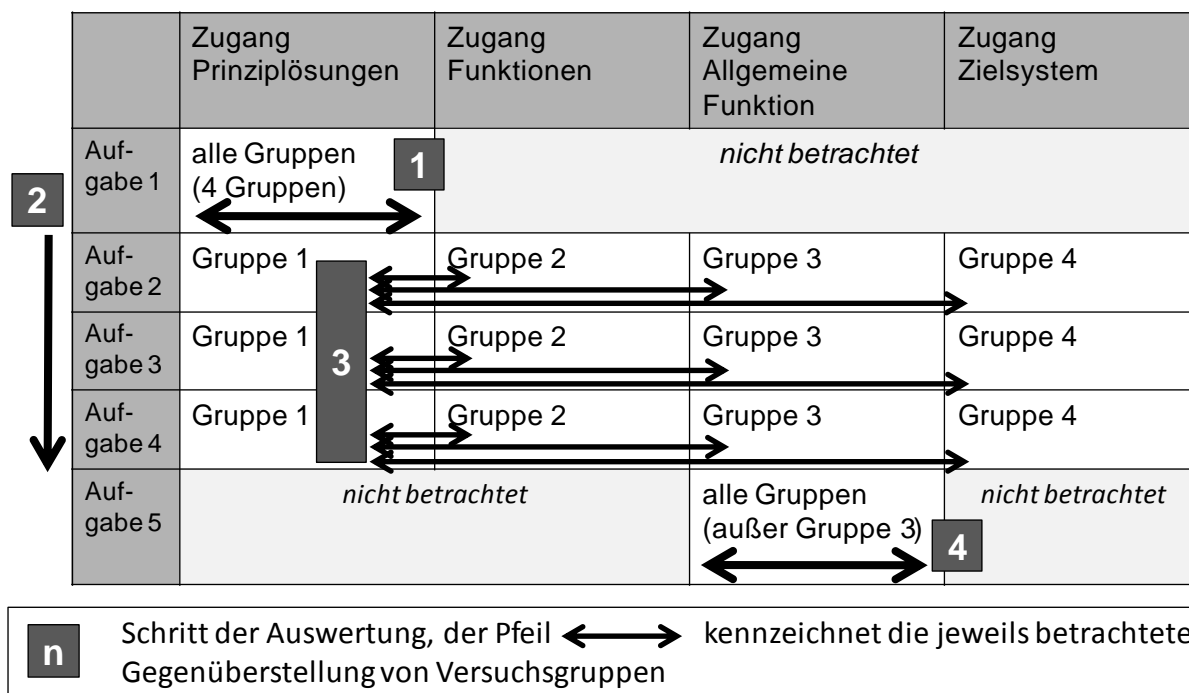


Abb. 8-8: Vorgehen zur Auswertung der Versuchsreihen

In einem ersten Schritt werden über alle Gruppen hinweg die Studenten als Einzelpersonen betrachtet und allgemein die Suche nach Lösungen auf Lösungsebene untersucht (Auswertungsschritt 1). Anschließend wird jede Gruppe einzeln im Verlauf über die gesamte Versuchsreihe analysiert (Auswertungsschritt 2). Eine wichtige Fragestellung, die hier zu beantworten ist, betrifft die möglichen Lerneffekte, die sich innerhalb einer Versuchsreihe einstellen. Schließlich werden in einer weiteren Untersuchung die Versuchsgruppen untereinander verglichen (Auswertungsschritt 3). Auf diesem Weg können die verschiedenen Zugangsarten in Bezug auf deren Eignung und Nutzbarkeit bewertet werden, den Zugriff auf geeignete Lösungen zu ermöglichen. Die abschließende Betrachtung der Aufgabe 5 dient dazu, die Ergeb-

nisse und Erkenntnisse abzusichern (Auswertungsschritt 4). Auf Grund technischer Probleme bei der Versuchsdurchführung konnte die Gruppe 3 (Zugang über allgemeine Funktionen) die Aufgabe 5 (alle Gruppen suchen hier über die Allgemeinen Funktionen) nicht bearbeiten.

Betrachtung aller Versuchspersonen – Referenzaufgabe 1

In einem ersten Auswerteschritt werden die Kennzahlen aller Versuchspersonen der Referenzaufgabe 1 untersucht. In Abb. 8-9 sind die Ergebnisse in einer Übersicht dargestellt, im Anhang sind die Ergebnisse für die weiteren Aufgaben 2-5 enthalten (siehe Kap. 11.5.2).

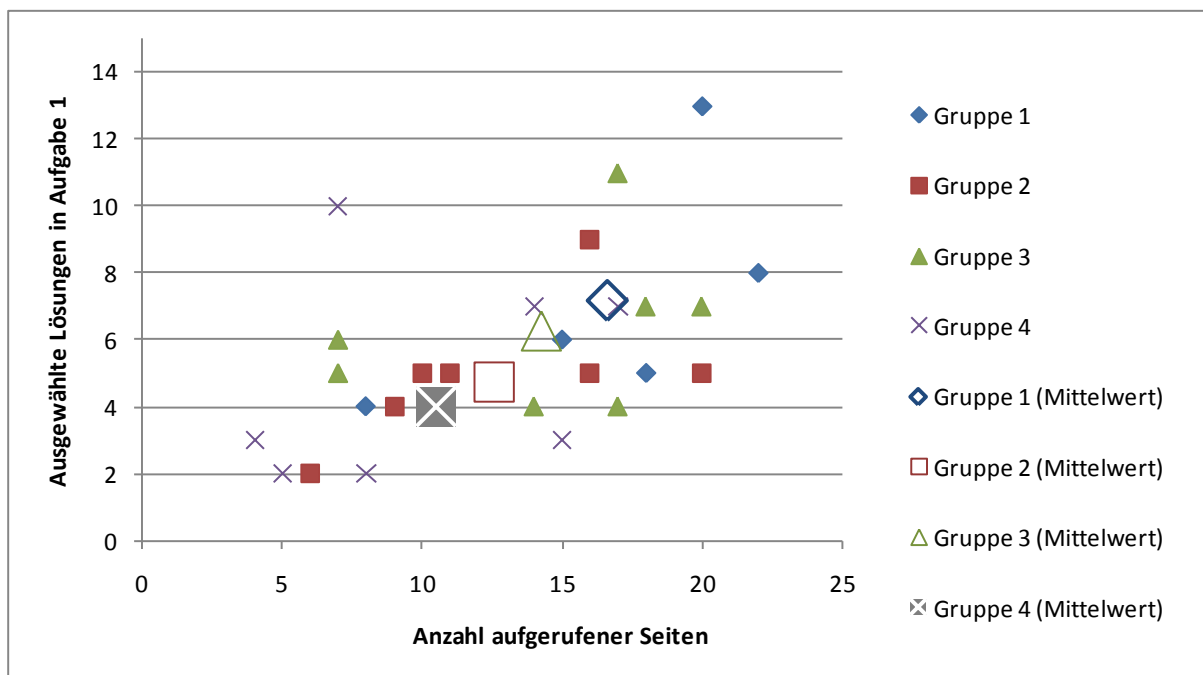


Abb. 8-9: Ergebnisauswertung Referenzaufgabe 1: ausgewählte Lösungen / aufgerufene Lösungsseiten

Folgende Punkte kennzeichnen diese Versuchsauswertung:

- **Große Streuung über alle Versuchspersonen hinweg:** die Versuchspersonen unterscheiden sich stark sowohl in der Anzahl der aufgerufenen Prinziplösungsseiten als auch in der Anzahl der ausgewählten Lösungen. Diese Aufstellung bestätigt die starke Abhängigkeit der Lösungssuche und Problemlösung von den individuellen Fähigkeiten (Kreativität, Problemlösungsfähigkeiten etc.).
- **Vergleich der Streuung innerhalb einer Gruppe:** betrachtet man die Versuchspersonen nach deren Gruppen, so zeigt sich eine gleichmäßige Verteilung innerhalb der jeweiligen Gruppen.
- **Vergleich der Gruppen zueinander (Absolutwerte):** Im Vergleich der Gruppen zeigen sich deutliche Unterschiede. Diese werden deutlich, wenn man die Mittelwerte betrachtet: hier weist die Gruppe 1 die meisten Lösungen und die meisten aufgerufenen Seiten auf, während die Gruppe 4 die wenigsten Lösungen und die wenigsten aufgerufenen Seiten aufzeigt.

- Vergleich der Gruppen zueinander (Verhältnis):** Vergleicht man das Verhältnis von ausgewählten Lösungen zu aufgerufenen Seiten, erkennt man hier deutliche Übereinstimmungen. Über alle Gruppen hinweg bewegt sich dieses Verhältnis im Bereich zwischen 0,38 (Gruppen 2 und 4) und 0,43 (Gruppe 1) bzw. 0,44 (Gruppe 4). Dies bedeutet, dass alle Gruppen im Mittel mit einer ähnlich guten Zielgenauigkeit Lösungen ermitteln konnten.

Insgesamt zeigt sich durch diese Betrachtung, dass der Vergleich der Versuchspersonen zueinander sowie der Gruppen untereinander auf Grund der großen Bandbreite der Streuungen nur bedingt aussagekräftig ist. Es können jedoch im Folgenden Relativvergleiche der einzelnen Gruppen zueinander durchgeführt werden, die auf dem Verhältnis von ausgewählten Lösungen zu aufgerufenen Lösungen basieren.

Betrachtung der Versuchsgruppen über alle Aufgaben - Absolutwerte

Im nächsten Auswertungsschritt werden die Absolutwerte über alle Gruppen und Aufgaben hinweg verglichen (siehe Abb. 8-10). Es zeigt für jede Gruppe die Mittelwerte der aufgerufenen Prinziplösungsseiten (jeweils als Balken mit unterschiedlichen Schraffierungen) und die Mittelwerte der ausgewählten Lösungen (jeweils als Balken mit Rahmen) über alle 5 Versuchsaufgaben hinweg.

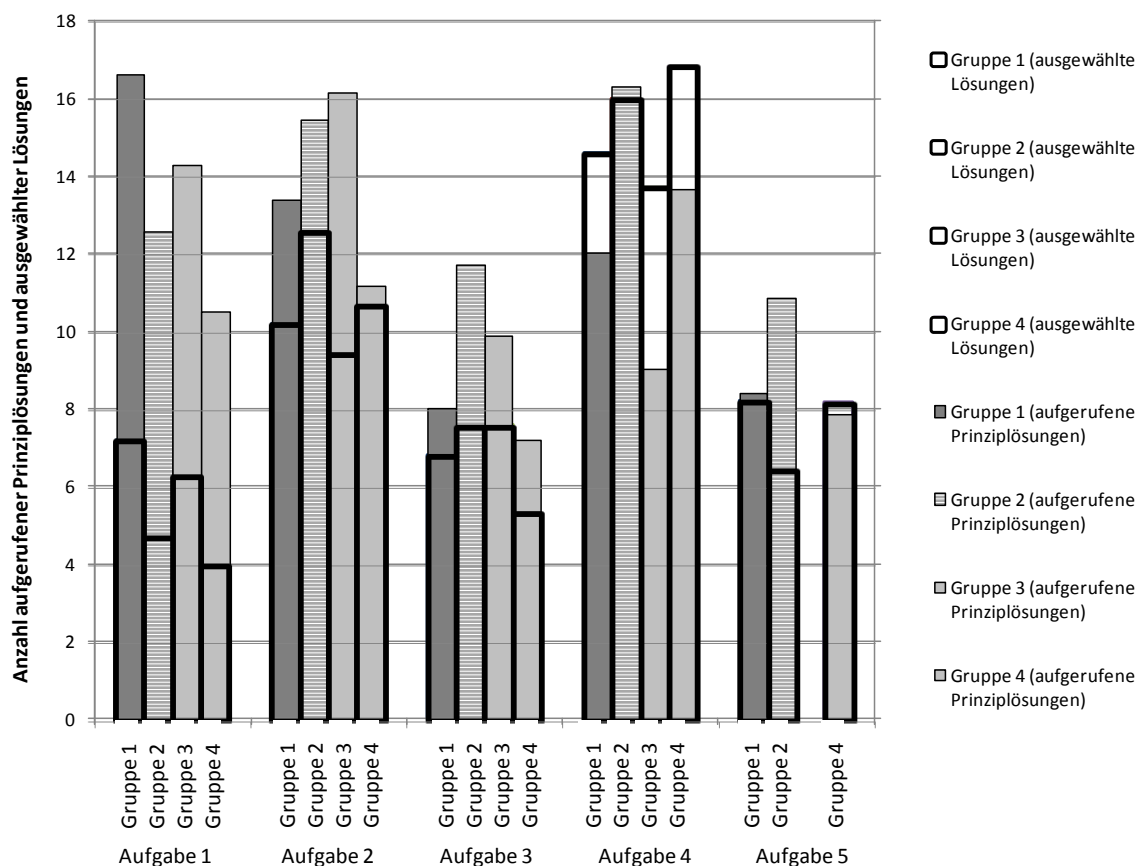


Abb. 8-10: Gegenüberstellung von aufgerufenen Lösungen zu ausgewählten Lösungen (Absolutwerte)

Betrachtet man dieses Diagramm im Detail, so lassen sich folgende Beobachtungen und Schlüsse ziehen:

- **Streuung der Gruppen zueinander:** Die beobachtete Streuung der Gruppen im Vergleich zueinander ist über alle weiteren Aufgaben erkennbar.
- **Mehr ausgewählte als betrachtete Prinziplösungen:** In Aufgabe 4 tritt der Effekt auf, dass mehr Prinziplösungen im Mittel ausgewählt wurden als aufgerufen wurden. Mögliche Gründe dafür können darin liegen, dass die Studenten während der Versuchsreihen bereits einige Prinziplösungen kennengelernt haben, die sie – ohne die Seite erneut aufzurufen – als Lösungsalternative notiert haben.
- **Vergleich der Aufgaben zueinander:** Im Vergleich der Aufgaben zueinander ist ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Zur Aufgabe 3 wurden weniger Lösungen gefunden als für die übrigen Aufgaben. Gründe dafür können in der verringerten Menge an geeigneten Lösungen liegen, da die Aufgabe 3 sich auf eine Transportaufgabe bezieht, hierzu aber tendenziell weniger Lösungen vorliegen. Dies bestätigt sich auch durch den Vergleich der bereits dargestellten Referenzlösungsmengen.

Der Vergleich der Bearbeitung der verschiedenen Aufgaben zeigt insbesondere auf, dass die Versuchspersonen im Laufe der Versuche tendenziell mehr Lösungen ausgewählt haben, wobei jedoch vermehrt auf bereits im Vorfeld bekannte Lösungen zugegriffen wurde.

Betrachtung der Versuchsgruppen über alle Aufgaben - Relativwerte

Im nächsten Auswertungsschritt werden die Relativwerte der Gruppen über die 5 Testaufgaben hinweg verglichen (Abb. 8-11).

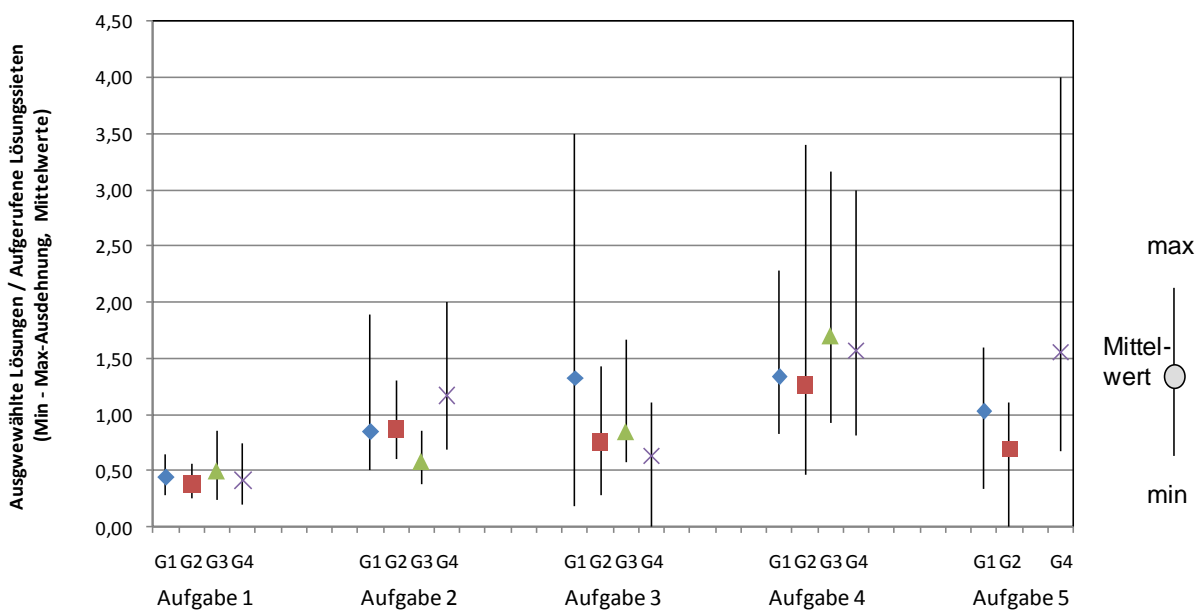


Abb. 8-11: Entwicklung der Suchqualität der Versuchsgruppen über alle Aufgaben

Die Relativwerte geben dabei vor allem einen Einblick, mit welcher Treffgenauigkeit Lösungen ermittelt werden konnten. Aus diesem Grund eignet sich diese Gegenüberstellung dazu, die verschiedenen Zugangsarten miteinander zu vergleichen.

Zu den wichtigsten Erkenntnissen aus der Betrachtung der Mittelwerte der Treffersicherheit der Gruppen im Vergleich zueinander gehören die folgenden Punkte:

- **Zunahme der Suchgenauigkeit von Aufgabe 1 zu Aufgabe 2:** die Gruppen 1, 2 und 4 suchen in Aufgabe 2 genauer als in Aufgabe 1. Gruppe 3 hingegen (Zugang über die Allgemeinen Funktionen) zeigt kaum eine Verbesserung der Suchgenauigkeit auf. Dies liegt daran, dass das Kennenlernen und Erlernen der abstrakten Denkweise (z.B. *Stoffe trennen* vs. *Stoffe teilen* vs. *Stoffe lösen*) eine Einstiegshürde darstellt. Diese Hürde konnte jedoch von der Gruppe im Verlauf der weiteren Aufgabenstellungen schnell überwunden werden.
- **Suchgenauigkeit in Aufgabe 3:** Bei Aufgabe 3 haben alle Gruppen eine deutlich geringere Suchgenauigkeit als Gruppe 1. Die Gruppe 1 findet am genauesten eine hohe Anzahl an Lösungen. Dieses Ergebnis ist zu erwarten, betrachtet man die Zuordnung der Funktion *Ei zuführen* zu den Abstraktionsebenen und den Vergleich dieser Zuordnung mit der dafür definierten Referenzmenge (siehe Kap. 7.1.3, S. 110 und S. 111).
- **Suchgenauigkeit bei Aufgabe 4:** In Aufgabe 4 bewegen sich alle Gruppen auf ähnlichem Niveau der Suchgenauigkeit. Dies wird bestätigt, wenn man die Absolutzahlen betrachtet. Für die Aufgabe 4 gibt es bereits eine sehr ähnliche Funktion in der Lösungssammlung (*Limette auspressen*), so dass hier für diese Aufgabe eine große Menge an Lösungen bereitsteht. Die begrenzte Bearbeitungszeit und die große Menge an Lösungsalternativen haben hier die Trefferqualität für alle Gruppen gleichmäßig erhöht.
- **Suchgenauigkeit bei Aufgabe 5:** Die fünfte Aufgabe konnte auf Grund technischer Probleme bei der Versuchsdurchführung von Gruppe 3 nicht bearbeitet werden. Die anderen Gruppen konnten über die Allgemeinen Funktionen Lösungsalternativen ermitteln. Wiederum zeigt sich eine breite Streuung der verschiedenen Gruppen, ein Vergleich mit den vorangegangenen Aufgabenstellungen ist jedoch auf Grund des hohen Einflusses der Aufgabenstellung nicht möglich.

Die Betrachtung der Min- und Max-Werte hingegeben liefert nur eine eingeschränkte Aussagekraft. Wie gezeigt können hier einzelne Versuchspersonen extreme Werte (sehr viele Treffer oder sehr wenige Treffer im Vergleich zum Durchschnitt der Gruppe) hervorrufen, obwohl die Gruppe im Gesamten sich auf einem anderem Niveau bewegt. Aus diesem Grund werden die Min- und Max-Werte nicht detailliert analysiert.

Fazit der quantitativen Auswertung der Versuchsreihen

Zur quantitativen Bewertung des Einsatzes der Ontologie bei der Suche nach Prinziplösungen werden die von den Versuchspersonen ermittelten Lösungen zu den jeweils aufgerufenen Lösungen ins Verhältnis gesetzt. Dadurch ist die Zielgenauigkeit der Suche ermittelbar. Durch

die verschiedenen Versuchsgruppen ist es möglich, Aussagen bezüglich des Nutzens von Abstraktionsebenen bei der Lösungssuche zu treffen und den Zugang zu Lösungen über die allgemeinen Funktionen mit dem Zugang über das Zielsystem zu vergleichen.

Bei der Aufgabe 1, die von allen Versuchspersonen unter gleichen Bedingungen bearbeitet wurde, zeigt sich eine gleichmäßige Verteilung der Suchergebnisse über alle Gruppen hinweg. Jede Gruppe ist von guten Lösungssuchern (hohe Anzahl an gefundenen Lösungen bei gleichzeitig hoher Treffergenauigkeit) und weniger guten Lösungssuchern (wenig gefundene Lösungen bei geringer Treffergenauigkeit) gekennzeichnet.

Die Aufgaben 2-4 wurden von den Versuchsgruppen über die unterschiedlichen Zugangswege bearbeitet. Dabei fällt insbesondere beim Zugang über die allgemeinen Funktionen (Gruppe 3) auf, dass hier im Vergleich zu den anderen Versuchsgruppen zuerst eine geringere Treffergenauigkeit von den Versuchspersonen erzielt wird: die Versuchspersonen müssen sich erst in die verschiedenen allgemeinen Funktionen einarbeiten und diese kennenlernen. Ist diese Einstiegshürde überwunden, wird eine gute oder sogar bessere Trefferqualität als mit den anderen Zugangswegen erreicht. Bei der Suche über das Zielsystem (Gruppe 4) zeigt sich diese Einstiegshürde nicht, die Versuchspersonen können bereits bei Aufgabe 2 sehr zielgerichtet eine große Lösungsmenge identifizieren.

Eine hohe Auswirkung auf die Qualität der Suche über die Abstraktionsebenen hat insbesondere die Zuordnung von spezifischen Funktionen zu den abstrakten Konzepten. In Aufgabe 3 führt dies dazu, dass die Trefferqualität bei der Suche über die Abstraktionsebenen geringer ist als bei der direkten Suche im Lösungsraum, was in der ungenauen und nur teilweise zutreffenden Zuordnung der Funktion *Ei zuführen* zu den allgemeinen Funktionen und in das Zielsystem liegt (siehe Kap. 7.1.3, S. 110 und S. 111). Für eine erfolgreiche Suche über die Abstraktionsebenen ist demnach eine gute Zuordnung der Lösungen über die Funktionen zu den abstrakten Konzepten sowie die korrekte Einordnung der Funktion in der Aufgabenstellung durch den Suchenden entscheidend. Diese Zuordnung ist über das Zielsystem durch die Möglichkeit, mehrere Ziele für eine Funktion zu definieren, mit einer höheren Toleranz im Vergleich zur eindeutigen Zuordnung für die allgemeinen Funktionen möglich. Für einen weiteren Einsatz der Ontologie ist folglich auch die Mehrfachzuordnung einer spezifischen Funktion zu mehreren allgemeinen Funktionen anzustreben. Dies erweitert die Suchmenge, die dem Nutzer zur Verfügung steht, bedeutet aber im Gegenzug, dass er eine größere Menge möglicher Lösungen bewerten muss.

8.1.4 Auswertung der Such- und Navigationswege

Neben der quantitativen Auswertung der Ergebnismenge stellt die Auswertung der genutzten Such- und Navigationswege einen zentralen Aspekt der Evaluierung dar.

Allgemeines Such- und Navigationsverhalten

Im Zusammenhang mit der Navigation im Lösungsraum lässt sich beobachten, dass Lösungen – unabhängig von der Zugangsart – aufgerufen und anschließend explizit bewertet und verworfen werden. Der Zurück-Button in gängigen Browsern unterstützt dieses Navigationsverhalten. Ein weiterer Effekt betrifft das Wiederverwenden von bereits bekannten Lösungen: bei

der im Fallbeispiel hinterlegten Lösungsmenge zeigt sich, dass gegen Ende der Versuchsreihe immer weniger neue Seiten aufgerufen werden, um Lösungen zu erhalten, und stattdessen bereits in den vorhergehenden Versuchen genutzte Lösungen verwendet werden. Dies wird dadurch begünstigt, dass die Aufgabenstellungen sehr ähnlich zueinander sind.

Such- und Navigationspfade auf den Abstraktionsebenen

Für die Ebenen allgemeine Funktion und Zielsystem stellt sich die Frage, welche der vorgegebenen abstrakten Beschreibungen von den Versuchspersonen gewählt wurden, um den Lösungsraum einzuschränken. Dazu wurde für jede Aufgabe und jeden Studenten untersucht, in welcher Reihenfolge eine Allgemeine Funktion (Gruppe 3) oder ein Merkmal aus dem Zielsystem (Gruppe 4) gewählt wurde. In Abb. 8-12 sind die gewählten abstrakten Operationen für Aufgabe 2 (*Ei anbrechen*) dargestellt, im Anhang Kap. 11.5.2 ist die Aufstellung der Rangfolge der ausgewählten abstrakten Funktionen für die weiteren Aufgaben 1, 3, 4 und 5 enthalten.

Rangfolge der ausgewählten Ziele je Student (Gruppe 4)

	Stud1	Stud2	Stud3	Stud4	Stud5	Stud6	Stud7
Mischung	1	5		3		5	
Fläche	2	2		1	3	3	2
Position				6			
Zusammenhalt			1	4		1	1
Volumen				7		4	
Beweg. Richtung		1		5	2	6	
Geschwindigkeit		3					
Länge		4		2		2	
Anzahl					1		

Rangfolge der ausgewählten allgemeinen Funktionen je Student (Gruppe 3)

	Stud1	Stud2	Stud3	Stud4	Stud5	Stud6	Stud7
Teilen	1	2	3	3	1		
Mischen	2				5		
Lösen	3	1	2	1	3	3	1
Trennen	4	3	1	2	2	2	2
E&S Trennen	5			4		1	
Vergr./ Verkl.	6	4	5				
Isolieren			4				
Sammeln					4		
Fügen					6		

Abb. 8-12: Rangfolge der gewählten abstrakten Funktionen für Aufgabe 2 „Ei anbrechen“ (Gruppe 3 und 4)

Insgesamt zeigt sich bei der Betrachtung der ausgewählten allgemeinen Konzepte, dass abhängig von der Sicht des Suchenden, unterschiedliche Merkmale oder allgemeine Funktionen ausgewählt werden und damit als erstes mit der Aufgabenstellung assoziiert werden. So haben drei Studenten zwar als erstes den *Zusammenhalt* als das Merkmal, das behandelt wird, identifiziert, aber ebenso werden auch die Merkmale *Mischung*, *Bewegungsrichtung*, *Fläche* oder *Anzahl* genannt. Im Bereich der allgemeinen Funktionen wird von drei Studenten das *Lösen* als die erste assoziierte Funktion gewählt, aber ebenso von zwei Studenten auch das *Teilen* und von jeweils einem Studenten das *Trennen* von Energie und Stoff. Die Einordnung einer konkreten Aufgabenstellung in die Abstraktionsebenen ist damit deutlich geprägt von den subjektiven Einschätzungen der Einzelpersonen.

8.1.5 Qualitatives Feedback der Versuchspersonen

Im Anschluss an die Versuchsdurchführung bewerteten die Versuchspersonen in einem Evaluierungsbogen das System qualitativ. Es sollten die Nutzerführung (schnell verständlich, intuitiv) sowie die vom System bereitgestellte Lösungsmenge bewertet und konstruktive Kritik am System geübt werden. Der Feedback-Bogen wurde von allen Versuchsteilnehmern ausgefüllt.

Das Feedback zur Benutzerführung war überwiegend positiv, so konnten sich die Studenten nach deren Aussagen sehr schnell in das System einarbeiten. Insbesondere der Zugriff auf Lösungen über die allgemeinen Funktionen wurde sowohl von Gruppe 3 als auch von den weiteren Versuchspersonen im Rahmen der Untersuchung zu Aufgabe 5 als schwierig und sehr abstrakt wahrgenommen. Dazu gehört auch der Kritikpunkt, dass die allgemeinen Funktionen zu wenige geeignete Lösungen enthalten. Desweiteren wurde von den Versuchspersonen eine detaillierte Beschreibung der Prinziplösungen inklusive Funktionsbeschreibung gefordert. Insgesamt konnte über die Feedback-Bögen der subjektive Eindruck durch die Versuchsleiter während der Workshops bestätigt werden.

8.1.6 Fazit zu Einsatz und Evaluierung bei der Suche nach Prinziplösungen

Zusammenfassend werden die wichtigsten Punkte aus dem Einsatz und der Evaluierung der Ontologie zur Lösungssuche nach Prinziplösungen dargestellt. Dabei hängt die Bewertung der Qualität der Suche der verschiedenen Gruppen stark von den individuellen Fähigkeiten der Einzelpersonen ab. Der Einsatz der Ontologie zur Lösungssuche im Rahmen des *Semantic Media-Wiki+ Systems* ermöglichte jedoch insgesamt eine sehr zielgerichtete Suche nach Prinziplösungen über die verschiedenen Zugangsmöglichkeiten.

Bei der Abstraktion von Funktionen über die allgemeinen Funktionen war für die meisten Versuchspersonen eine hohe Einstiegshürde zu überwinden, da das Denken in den abstrakten Funktionen bis dahin nicht bekannt war und zuerst im Rahmen der Versuche geübt wurde. Durch die Subjektivität der Zuordnung von spezifischen Funktionen zu den allgemeinen Funktionen war die Trefferqualität ebenfalls zum Teil deutlich geringer als über die anderen Zugangswege. Dies zeigte sich auch daran, dass die Studenten mit den jeweiligen Aufgabenstellungen unterschiedliche allgemeine Funktionen assoziierten. Diese Schwierigkeit konnte auch im Zusammenhang mit der Zuordnung von Funktionen in das Zielsystem beobachtet werden. Jedoch wirkte sich dies weniger stark aus, da die Nennung mehrerer Ziele für eine Funktion immer auch einen geeigneten Lösungsraum erschlossen hat. Folglich ist für den weiteren Einsatz der Ontologie die Mehrfachzuordnung von spezifischen Funktionen zu mehreren abstrakten Konzepten (beispielsweise zu mehreren allgemeinen Funktionen) anzustreben.

Das positive Feedback der Benutzer der Anwendung zeigt insgesamt eine gelungene Umsetzung der semantischen Lösungssuche, die die Nutzung der Ontologie in einer Rechneranwendung ermöglicht und deren Potenzial über die verschiedenen Zugangsarten realisiert. Mit der Umsetzung als Wiki-System steht eine technische Plattform zur Verfügung, die insbesondere auch die weitere Einbindung von Studenten und wissenschaftlichen Mitarbeitern des Lehr-

stuhls für Produktentwicklung als Autoren von Lösungen ermöglicht. Auf diesem Weg kann der bestehende Lösungsraum über das Einpflegen weiterer Prüfungsaufgaben und Prinziplösungen sukzessive erweitert werden.

8.2 Diskussion des Lösungsansatzes

Im Folgenden wird der auf Basis semantischer Technologien entwickelte Lösungsansatz zur funktionsorientierten Lösungssuche hinsichtlich der in Kap. 1.3.1 formulierten Zielsetzung diskutiert:

*Assistent zur Unterstützung der **Lösungssuche nach bewährten und existierenden Lösungen im Rahmen der Entwicklung technischer Produkte durch die Bereitstellung eines Lösungsraumes mit relevanten Lösungen, den der Suchende nach verschiedenen Kriterien eingrenzen und erweitern kann.***

Dazu werden sowohl die Erstellung der Ontologie aus Sicht der Produktentwicklung hinsichtlich des Vorgehens und der Werkzeugunterstützung betrachtet als auch das Ergebnis der Entwicklung in Form der verfeinerten Ontologien in den beiden Fallbeispielen. Der Einsatz der Ontologie zur Suche nach Prinziplösungen (Fallbeispiel 1) rundet die Diskussion mit dem Einsatz der Ontologie in einer nutzbaren Rechneranwendung und der Nutzerbewertung des Einsatzes ab.

Erstellung der Ontologie aus Sicht der Anwendungsdomäne Lösungssuche in der Produktentwicklung (Grundstruktur der Ontologie)

Den Ausgangspunkt zur Entwicklung der Grundstruktur bildet die Betrachtung technischer Systeme aus Funktionssicht. Dadurch wird der Zugriff auf Lösungen auf deren Funktion reduziert und abstrahiert. Dies ist notwendig, um den Lösungsraum in einem ersten Schritt der Lösungssuche auf eine für eine konkrete Aufgabenstellung relevante Lösungsmenge einzugrenzen. Daran anschließend ist jedoch eine weitere Betrachtung der Kontextbedingungen der Aufgabenstellung durch den Lösungssuchenden notwendig. So kann eine Lösung, die aus Sicht der Funktion geeignet ist, eine erforderliche technische Transformation eines Objektes zu bewirken, durch die Kontextbedingungen als ungeeignete Lösung bewertet werden. Für die Funktion *Petersilie hacken* im Fallbeispiel 1 bedeutet dies, dass die Lösung, die gefrorene Petersilie mit einem Hammer zu zerschlagen, trotz der funktionellen Umsetzbarkeit nicht geeignet ist, wenn durch den Kontext der Aufgabenstellung ein Gefrieren der Petersilie oder des für die Aufgabe relevanten Objekts ausgeschlossen ist. Diese Kontextbedingungen werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter berücksichtigt, eine detaillierte Auseinandersetzung mit Kontextbedingungen findet sich beispielsweise bei PONN (2007). Der Lösungsansatz verfolgt damit das Ziel, relevante Lösungen zu ermitteln und die Bewertung der Eignung von Lösungen dem Nutzer zu überlassen.

Bei der Betrachtung von technischen Systemen aus Funktionssicht ist die Unterscheidung zwischen dem technischen System und seiner Einwirkung auf den technischen Prozess notwendig. Der technische Prozess hat die Transformation (Eigenschaftsänderung) eines Objektes zum Ziel und wird als die Anwendung eines technischen Systems bezeichnet. Ein techni-

ches System wird somit dazu genutzt, die Eigenschaftsänderung eines Objektes zu bewirken. Im Rahmen der Arbeit beschreibt die Funktion diese technische Transformation und damit die Anwendung, auf die ein technisches System als Lösung einwirkt. Als relevante Lösung wird eine Lösung dann bezeichnet, wenn sie aus Funktionssicht die technische Transformation bewirken kann.

Unter diesen Einschränkungen stellt die Grundstruktur der Ontologie, die auf den Prinzipien Funktionsbetrachtung und Abstraktion basiert, ein geeignetes Beschreibungsmodell von Lösungen und Zugriffsmöglichkeiten auf Lösungen aus Funktionssicht bereit.

Diskussion von Vorgehen und Werkzeugunterstützung bei der Ontologieentwicklung

Das zur Entwicklung der Ontologie abgeleitete Vorgehen ermöglicht die schrittweise Erstellung der Ontologie. Ausgehend von den Anforderungen über die Grundstruktur bis zur Verfeinerung sind zwischen den einzelnen Entwicklungsschritten Zwischenergebnisse definiert, die der Evaluierung und der Absicherung dienen. Das Vorgehensmodell wurde in beiden Fallbeispielen erfolgreich eingesetzt.

Im Rahmen der Entwicklung der Ontologie wurden verschiedene Rechnerwerkzeuge eingesetzt. Insbesondere in der frühen Entwicklungsphase (Grundstruktur der Ontologie) zeigten grafische Visualisierungswerkzeuge (beispielsweise *Microsoft Visio*), die keinen direkten Bezug zur Ontologieentwicklung haben, deutliche Vorteile, da noch keine Einschränkungen auf Grund technischer Restriktionen der Ontologieeditoren gegeben sind. Insbesondere die Visualisierung der Ontologie stellte sich als große Herausforderung dar, da bestehende Ontologieeditoren hier nur eine eingeschränkte Unterstützung bieten. Aus diesem Grund war vor allem bei der Erstellung der Grundstruktur die parallele Entwicklung in einem grafischen Werkzeug und mit dem Ontologieeditor *Protégé* notwendig (v.a. Fallbeispiel 2).

Ergebnis der Ontologieentwicklung im Fallbeispiel 1: Suche nach Prinziplösungen

Zur Suche nach Prinziplösungen wurde die Grundstruktur durch die Aufgabenstellungen und Lösungsvorschläge aus 10 Klausuren im Prüfungsfach „*Produktentwicklung und Konstruktion*“ detailliert und instanziiert. Da die Informationen hier in strukturierter Form digital vorlagen, war die Instanziierung der Lösungen und Funktionen zügig möglich.

Die Zuordnung der konkreten Funktionen aus den Aufgabenstellungen zu den allgemeinen Funktionen und ins Zielsystem stellt den Hauptaspekt der Detaillierung und Instanziierung dar. Dabei werden zwei unterschiedliche Zielrichtungen verfolgt:

- Die **Zuordnung zu den allgemeinen Funktionen** fokussiert die Einordnung nach der Logik der Operation. Die Objekte werden lediglich hinsichtlich der Objektarten (Stoff, Energie und Signal) berücksichtigt. Im Rahmen der Arbeit wird eine konkrete Funktion jeweils nur einer allgemeinen Funktion zugeordnet, um das Schwächen und Stärken einer 1:n-Zuordnung abschätzen zu können.

- Die **Zuordnung ins Zielsystem** betrachtet das Ziel der Transformation in Form der Eigenschaftsänderung des Objektes. Damit steht das Objekt mit seinen Merkmalen im Mittelpunkt. Um neben den eigentlichen Zielen einer Transformation auch die Nebenwirkungen einer Funktion betrachten zu können, kann eine Operation über die „Nebenwirkung“ genannte Relation mit weiteren Objektmerkmalen belegt werden. Dadurch lassen sich die Schwächen und Stärken einer n:m-Zuordnung ermitteln.

Die Zuordnung von konkreten Funktionen zu den abstrakten Konzepten stellt auf Grund der direkten Zuordnung einer konkreten Funktion zu genau einer allgemeinen Funktion eine besondere Herausforderung dar, die von den subjektiven Aspekten von Einzelpersonen oder Gruppen geprägt ist. Dass trotz dieser Einschränkung über die Zuordnung von Funktionen auf abstrakter Ebene eine sinnvolle und nutzbare Einschränkung und Strukturierung des Lösungsraums möglich ist, zeigt das Fallbeispiel 1. Dabei hängt die Qualität der Treffermenge direkt von der Qualität der Zuordnung ab – eine ungenügende Zuordnung führt zu vielen falschen oder fehlenden Zuordnungen.

Die anschließende Realisierung und Umsetzung der Ontologie in einer Anwendung zielt auf die nutzerorientierte Bewertung der funktionsorientierten Ontologie ab. Dazu verwendeten vier studentische Versuchsgruppen die rechnerische Implementierung auf Basis des Wiki-Systems zur Suche nach Lösungen in fünf Aufgabenstellungen. Diese Versuche wurden ausgewertet in Bezug auf die Qualität der Lösungssuche im System. Das Ergebnis der Suche hängt dabei sehr stark von den individuellen Fähigkeiten der Versuchspersonen ab. Der Suchprozess als solcher ist gekennzeichnet vom wechselweisen Zugreifen auf Lösungen, Bewerten und anschließendem Entscheiden.

Als Ergebnis der Versuche zeigt sich, dass das Zusammenfassen von mehreren Prinzipzlösungen unter der jeweiligen Funktion im Vergleich zum direkten Suchen nach Prinzipzlösungen gleich gute Ergebnisse liefert. Damit ist die Reduzierung von Prinzipzlösungen auf die Funktion, die über die Lösungen erfüllt wird, eine gute Möglichkeit zur Begrenzung und Strukturierung eines Lösungsraumes. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn der Lösungsraum deutlich größer ist als im Fallbeispiel und die einzelnen Prinzipzlösungen nicht mehr überschaubar sind. Die in der Ontologie umgesetzten Zugriffsmöglichkeiten über das Zielsystem und die allgemeinen Funktionen ermöglichen es, Lösungen mit gleicher oder besserer Treffergenauigkeit zu identifizieren wie bei einem Zugang ohne Abstraktion. Für die Suche über das Zielsystem ist die Einarbeitungszeit ins System von geringer Dauer, der Ansatz nach den allgemeinen Funktionen erfordert deutlich mehr Einarbeitungsaufwand. Als Ergebnis aus dem Fallbeispiel 1 liegt eine instanziierte Ontologie vor, die als über das Internet zugreifbare Lösungssammlung auf Wirkmodellebene umgesetzt wurde. Dieses System stellt eine Basis für die spätere Erweiterung durch das Einpflegen neuer Instanzen dar.

Ergebnis der Ontologieentwicklung im Fallbeispiel 2: Suche nach Produkt- und Systemlösungen

Zur Lösungssuche auf Baumodellebene wurde für einen abgegrenzten Lösungsraum im Maschinen- und Anlagenbau eine Ontologie mit den zur Lösungssuche relevanten Konzepten

und deren Relationen entwickelt. Diese Ontologie wurde in einem Arbeitskreis³³, bestehend aus Vertretern von Wissenschaft und Industrie, in Bezug auf die Eignung für die Lösungssuche abgesichert. Zur Instanziierung der Ontologie wurden manuell die Instanzen aus Lösungsdokumenten ermittelt. Dieses manuelle Verfahren zeigt sich für die Entwicklung der Grundstruktur als geeignet, auch wenn damit ein hoher personeller Aufwand (zwei wissenschaftliche Mitarbeiter über einen Zeitraum von ca. 6 Monaten sowie zusätzliche Arbeitstreffen in der Arbeitsgruppe in monatlichem Abstand) verbunden ist. Die intensive Abstimmung mit allen beteiligten Personen im Arbeitskreis erwies sich dabei als besonders wichtig, um die Gültigkeit der Grundstruktur und der Verfeinerung der Ontologie über mehrere Unternehmen hinweg zu gewährleisten. Gegen Ende der Instanziierung konnte der Implementierungsaufwand deutlich reduziert werden, da die Ontologie bereits einen Großteil der notwendigen Konzepte und Instanzen enthielt und so ein Einpflegen neuer Lösungen deutlich zügiger voran ging als beim Anlegen der ersten Lösungen. Diesen Prozess können in Zukunft semiautomatisierte Verfahren weiter unterstützen.

Das Potenzial der instanziierten und verfeinerten Ontologie zeigt der Einsatz von Reasoning-Verfahren. Über geeignete Abfragesprachen können so Anfragen an die Ontologie gestellt werden, wobei beliebige Kriterien als Such- und Ausschlusskriterien eingehen können. Eine wesentliche Einschränkung betrifft die Nutzbarkeit der Ontologie mit den derzeitigen Werkzeugen: diese ist von einem nicht mit Ontologien vertrauten Nutzerkreis auf Basis des Werkzeugs *Protégé* nicht nutzbar. Zur Nutzung der Ontologie ist diese in Anwendungswerkzeuge wie Information Retrieval-Systeme zu integrieren.

Bewertung der wissenschaftlichen Fragestellungen und Hypothesen

Auf Basis der dargestellten Diskussion werden die wissenschaftlichen Fragestellungen und Hypothesen aus Kap. 1.3.2 bestätigt bzw. entscheidende Einschränkungen gegeben.

Hypothese 1: „Die Betrachtung technischer Systeme aus Funktionssicht ist zentral für die Lösungssuche – der Weg über Funktionen auf Systemlösungen ist geeignet und erfolgreich.“

Die Betrachtung von Aufgabenstellung und Lösung aus Funktionssicht ist in beiden Fallbeispielen zentral für eine erfolgreiche Lösungssuche. Dennoch bildet die Funktion nur einen Aspekt ab, der im Rahmen einer erfolgreichen Lösungssuche berücksichtigt werden muss. Die Bewertung der Eignung einer Lösung richtet sich nach zahlreichen weiteren Kontextbedingungen, die der Suchende im Rahmen einer funktionsorientierten Lösungssuche berücksichtigen muss.

Hypothese 2: „Abstraktionsebenen für Funktionen (Objekte und Operationen) ermöglichen den Zugriff auf Lösungen, die für eine neue Anwendung relevant sind.“

Abstraktionsebenen eignen sich dazu, den Lösungsraum gezielt zu erweitern. Dies ermöglicht es, relevante Lösungen für eine neue Anwendung zu identifizieren. Es ist jedoch weiterhin eine explizite Nutzerbewertung der Lösungen notwendig, um die Eignung von Lösungen zu überprüfen.

³³ Arbeitskreis im Forschungsprojekt PROCESSUS, detaillierte Angaben siehe Fußnote S. 86.

Hypothese 3: „Die Wissensrepräsentation in einer Ontologie als semantisches Netz ist geeignet, um die Suche nach existierenden und bewährten Lösungen zu unterstützen.“

Die Modellierung von Lösungen, Funktionen und den abstrakten Funktionen in einer Ontologie eignet sich, als Wissensmodell für eine Anwendung in anwendernahe Werkzeuge einzugehen. Wie im Fallbeispiel 1 gezeigt, können die in einer Ontologie hinterlegten Wissensinhalte genutzt werden, um die Suche nach Prinziplösungen in einem geeigneten Anwendungssystem (*Semantic Media-Wiki+*) zu unterstützen.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Die Suche und der Zugriff auf bewährte und existierende Lösungen stellt eine große Herausforderung in der Produktentwicklung dar. Die vorliegende Arbeit untersucht den Zugriff auf diese Lösungen aus Sicht der Funktionen unter Einsatz semantischer Technologien. Dazu wird an Hand von zwei Fallbeispielen das Lösungskonzept einer ontologiebasierten Suche aufgezeigt und umgesetzt. Wie die Anwendung der Ontologie im Rahmen der Fallbeispiele zeigt, ergeben sich weitere Forschungsthemen im Zusammenhang mit Entwicklung und Einsatz von Ontologien in der Produktentwicklung, insbesondere bei der Suche nach Lösungen. Diese Themen werden im Ausblick der Arbeit dargelegt und sollen weitere Forschungsaktivitäten anregen.

9.1 Zusammenfassung

Ausgehend von der Motivation der Arbeit – das Suchen relevanter Inhalte über rechnerunterstützte Systeme – zeigt die vorliegende Arbeit einen Lösungsansatz auf, der für die Produktentwicklung den Zugriff auf bestehende und bewährte Lösungen ermöglicht. Dieser Lösungsansatz basiert auf dem Einsatz semantischer Technologien, wozu geeignete Wissensmodelle in Form von Ontologien entwickelt werden.

Problemstellung und Grundlagen der Arbeit

Verschiedene Barrieren zwischen dem Lösungssuchenden und dem Anbieter von Lösungen führen dazu, dass – statt bestehende Lösungen zu nutzen – scheinbar neue Lösungen entwickelt werden oder ein aufwändiger Suchprozess nötig ist. Dabei stellt die semantische Barriere zwischen dem Lösungsanbieter und dem Lösungssucher eine wesentliche Hürde dar, die auf dem unterschiedlichen Verständnis von Begriffen und auf der unterschiedlichen Einordnung und Klassifizierung von Begriffen beruht. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit untersucht, wie Suchanfragen und mögliche Lösungen semantisch beschrieben werden können, um den Zugriff auf relevante Lösungen zu unterstützen und zu verbessern.

Gängige Vorgehensmodelle beschreiben die Produktentwicklung als einen Prozess, der ausgehend von der Aufgabenstellung mit den Anforderungen das Produkt über die Funktionsebene und die Wirkmodellebene bis hin zur Baumodellebene konkretisiert. Die Funktionen auf Funktionsebene stellen dabei ein zentrales Beschreibungsmerkmal für die Aufgabenstellung und für die Lösung dar. Bei der Beschreibung aus Funktionssicht steht die Transformation eines Objektes im Mittelpunkt, das von einem Ist-Zustand in einen Ziel-Zustand überführt wird. Diese Transformation ist der Zweck, zu dem ein technisches System entwickelt wird. Aus diesem Grund wird diese Transformation auch als die Funktion des technischen Systems beschrieben. Da sowohl die Aufgabe als auch das technische System von unterschiedlichen Personen mit verschiedenen Funktionsbegriffen versehen werden, sind beide Funktionsbeschreibungen in ein abstraktes Beschreibungsmodell einzuordnen. Auf diesem Weg ist die

Überwindung der semantischen Barriere zwischen dem Lösungssuchenden und dem Lösungsanbieter möglich. Zur Abbildung dieser semantischen Beziehungen zwischen den Begriffen eignen sich auf Seiten des Informations- und Wissensmanagements Ontologien. Zur Entwicklung von Ontologien existieren verschiedene Vorgehensmodelle, die an die im Rahmen der Lösungssuche gestellten Anforderungen angepasst werden.

Vorgehensmodell für Entwicklung und Einsatz der Ontologie zur Lösungssuche

Das auf Basis des Standes der Technik abgeleitete Vorgehensmodell geht sowohl auf die eigentliche Entwicklung der Ontologie als auch auf den Einsatz dieser in der späteren Anwendung zur Lösungssuche ein. Der erste Schritt besteht in der Klärung der Anforderungen aus der Produktentwicklung, aus den beiden Fallbeispielen sowie aus der Anwendung und dem Einsatz der Ontologie in Rechnerwerkzeugen. Darauf aufbauend wird die Grundstruktur der Ontologie definiert und diese anschließend für die beiden Fallbeispiele verfeinert. Die Anwendung und Evaluierung der Ontologie stellt den letzten Schritt im Vorgehensmodell dar und schließt die eigentliche Entwicklung ab. Die an die Entwicklung und den Einsatz anschließenden Schritte der Pflege und Aktualisierung der Ontologie sind nicht mehr Bestandteil des Vorgehensmodells.

Zieldefinition und Klärung der Anforderungen an die Ontologie

Aus Sicht der Produktentwicklung ist die Betrachtung technischer Systeme aus Funktionssicht sowie deren Abbildung in verschiedenen Abstraktionsebenen die zentrale Anforderung. Außerdem erfordert die Suche nach Lösungsalternativen Erweiterungs- und Reduktionsmöglichkeiten durch den Suchenden, der die Eignung der Lösungen bewertet. Die Ontologie unterstützt die Bereitstellung eines Lösungsraumes mit möglichst vielen relevanten Lösungen, deren explizite Eignung dem Nutzer überlassen bleibt. Zu den wichtigsten Anforderungen aus den beiden Fallbeispielen gehören die Bestimmung der Informationsquellen und die Definition relevanter Lösungen für eine Aufgabenstellung. Diese Abgrenzung erfolgt an Hand ausgewählter Beispielslösungen und orientiert sich daran, ob eine Lösung in ihrer Wirkung die erforderliche technische Transformation bewirken kann. Dazu werden für verschiedene Testaufgaben in beiden Fallbeispielen relevante Lösungsmengen ermittelt. Die Anforderungen aus dem späteren Einsatz der Ontologie in Rechneranwendungen grenzen die Inhalte der Ontologie gegenüber weiteren Wissensinhalten aus anderen Quellen (z.B. Thesauri) ab.

Entwicklung der Ontologie (Grundstruktur und Verfeinerung)

Die Grundstruktur der Ontologie enthält Konzepte auf drei verschiedenen Ebenen: der Lösungsebene (beschreibt die Lösung), der Funktionsebene (beschreibt die Funktion einer Lösung) und der Abstraktionsebene (ermöglicht es, verschiedene Funktionen miteinander in Beziehung zu setzen). Die Abstraktion der Funktionen erfolgt über die Einordnung der Funktionen in die allgemeinen Funktionen nach KOLLER & KASTRUP (1994) sowie nach den Merkmalen des Objektes, die eine Funktion über verschiedene Handlungen bearbeitet (BIRKHOFER 1980). Die beispielhafte Instanziierung mit Inhalten aus den beiden Fallbeispielen

zeigt die Leistungsfähigkeit der Ontologie, relevante Lösungen bereitstellen zu können und irrelevante Lösungen auszuschließen.

Zur Verfeinerung der Ontologie wird die Grundstruktur für beide Fallbeispiele angepasst und über weitere Konzepte und Relationen detailliert. Im Fallbeispiel 1 (Suche nach Prinziplösungen) enthält die Ontologie Aufgabenstellungen und Lösungen aus den Prüfungen im Vorlesungsfach „Produktentwicklung und Konstruktion“ aus den Jahren 2000-2008. Die Evaluierung der Instanzen für die Suche nach Prinziplösungen fokussiert die Verknüpfung der Funktionen mit den Abstraktionsebenen (allgemeine Funktion und Funktionsziel) und weist die Möglichkeit der Einschränkung und Erweiterung der relevanten Treffermenge über die abstrakten Konzepte nach. Im Fallbeispiel 2 (unternehmensübergreifende Suche nach Produkt- und Systemlösungen) enthält die Ontologie nach der manuellen Extraktion der Instanzen 18 Lösungsbeschreibungen von drei verschiedenen Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau (Fokus: Automatisierungstechnik). Zur Evaluierung der Ontologie ist diese mit dem Rechnerwerkzeug Protégé als owl-Ontologie modelliert. An vier Testfällen zeigt sich so das Potenzial der Ontologie zum Schließen auf relevante Lösungen aus Funktionssicht.

Einsatz der Ontologie in den Fallbeispielen und Diskussion des Lösungsansatzes

Der Einsatz der Ontologie im Fallbeispiel 1 in eine für den Nutzer (Studenten) geeigneten Internetanwendung (Semantic Media Wiki) und die mit verschiedenen Studentengruppen durchgeführten Versuchsreihen zeigen, dass der funktionsorientierte Zugriff auf Lösungen mit Hilfe semantischer Technologien zu erfolgreichen Suchergebnissen führt. Während sich die Ontologie sehr gut über die verschiedenen Abstraktionsebenen dazu eignet, die Lösungsmenge gezielt einzuschränken oder zu erweitern, bleibt die Bewertung der Eignung einer Lösung für eine konkrete Aufgabenstellung dem Nutzer überlassen.

Die Diskussion des Lösungsansatzes und der Ontologie im Fallbeispiel 2 macht die Potenziale und Grenzen einer ontologiebasierten Suche deutlich. So werden im Rahmen des funktionsorientierten Zugriffes wichtige Entscheidungskriterien und Kontextbedingungen aus Aufgabenstellung und Lösungsmöglichkeiten nicht berücksichtigt. Dieser Aspekt bleibt der Bewertung und Einschätzung des Suchenden nach erfolgtem Zugriff auf eine Lösung überlassen. Weiterhin ist der hohe Aufwand zur manuellen Instanziierung der Ontologie ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung. Demgegenüber zeigt sich jedoch, dass über eine ontologiebasierte Suche die Lösungsmenge sich flexibel nach verschiedenen Kriterien einschränken und erweitern lässt. Für die Entwicklung der Ontologie ist insbesondere der Aspekt der Wiederverwendbarkeit einzelner Konzepte und Instanzen zu betonen. Dadurch ermöglichen die bereits in der Ontologie abgebildeten Wissensinhalte mit zunehmendem Fortschreiten und Wachsen der Ontologie eine immer zügigere Abbildung von weiteren Lösungen als Instanzen.

9.2 Ausblick

Die Ergebnisse und Erkenntnisse im Rahmen dieser Arbeit bieten Potenzial für Weiterentwicklungen und weiterführende Forschungstätigkeiten. Bei der Suche nach Prinziplösungen bietet das als Wiki-System implementierte Rechnerwerkzeug Potenzial für weitere Untersu-

chungen hinsichtlich der Nutzerinteraktion mit den Inhalten semantischer Netze. Die Ergebnisse der funktionsorientierten Lösungssuche auf abstrakter Ebene der Wirkmodelle im Fallbeispiel 1 können desweiteren für die Nutzung weiterer Lösungssammlungen auf Wirkmodellebene herangezogen werden. Das Fallbeispiel 2 bietet mit einer sehr praxisorientierten Ontologie Ansätze für eine Weiterentwicklung der Ontologie und den Einsatz von Ontologien in weiteren Rechnerwerkzeugen (beispielsweise in Information-Retrieval-Systemen).

Weitere Forschungstätigkeiten und Anwendungen der Ontologie zur Suche nach Prinziplösungen

Die Erkenntnisse aus dem Fallbeispiel 1 zeigen insbesondere die Möglichkeiten von Nutzern, das semantische Netz für die Lösungssuche zu nutzen. Das als Wiki-System realisierte Portal zur Lösungssuche ermöglicht nicht nur das Suchen von Lösungen, sondern auch die aktive Mitgestaltung der Inhalte des Portals durch den Nutzer. Damit ist eine Grundlage geschaffen, die Nutzerinteraktion mit semantischen Netzen zu untersuchen. Dazu gehören beispielsweise Fragestellungen, ob die Zuordnung von Lösungen zu den Abstraktionsebenen auch von dafür nicht explizit geschulten Personen so möglich ist, dass andere Nutzer die Lösungen wieder auffinden können.

Die im Rahmen des Fallbeispiels 2 entwickelte Ontologie zur Lösungssuche kann außerdem auf weitere Lösungssammlungen auf Wirkmodellebene angewandt werden. So stellt beispielsweise die Suche nach Analogien aus der Biologie im Rahmen einer Lösungssuche die interessante Fragestellung, ob Phänomene aus der Biologie auch über eine Funktion beschrieben werden können und so die Verknüpfung mit Aufgaben aus Funktionssicht ermöglicht. Als Ansatzpunkt für die Funktionen und zugehörigen Effekte auf Seiten der Biologie kann die Assoziationsliste nach GRAMANN (2004, S. 109 ff, S. 132 ff.) angewandt werden.

Weitere Forschungstätigkeiten und Anwendung der Ontologie zur Suche nach Produkt- und Systemlösungen

Weitere Forschungstätigkeiten zur Suche nach Produkt- und Systemlösungen sollten den weiteren Kontext von Aufgabenstellungen und technischen Lösungen berücksichtigen. Da die Lösungen, die im Rahmen des Fallbeispiels 2 betrachtet werden, auf sehr konkreter Ebene vorliegen, können sehr detaillierte Aussagen über die weiteren Aufgaben- und Lösungseigenschaften getroffen werden (z.B. über die Umgebungsbedingungen einer Lösung). Dies gewinnt insbesondere bei einer Anwendung des Ansatzes im Rahmen von elektronischen Marktplätzen an Bedeutung, wenn eine größere Anzahl an Lösungsalternativen vorliegt. Hier wird eine Betrachtung der Funktion nur eine grobe Einschränkung geben können, die über zusätzliche Kriterien noch weiter reduziert werden muss.

Eine Weiterentwicklung der Ontologie kann verschiedene Zielrichtungen verfolgen. Im Rahmen einer inhaltlichen Erweiterung und Detaillierung können bestehende Konzepte und Instanzen mit weiteren Eigenschaften ergänzt werden (z.B. detaillierte Betrachtung der Objekteigenschaften). Im Sinne einer Ausweitung der Ontologie ist die Integration weiterer Anwendungsbereiche (z.B. Produktion, Fahrzeugtechnik) sinnvoll, um eine breitere Grundlage für einen praxisgerechten Einsatz zu schaffen. Um die Ontologie um weiteren Instanzen zu befüllen ist eine geeignete Werkzeugunterstützung bei der Verfeinerung der Ontologie not-

wendig. Während die Ontologien in beiden Fallbeispielen mit manuellen Methoden entwickelt wurden, kann dieses Vorgehen nur exemplarisch erfolgreich sein und ist zukünftig um computerbasierte automatisierte Verfahren zu ergänzen.

Schließlich steht die Bewertung der Ontologie des Fallbeispiels 2 im Praxiseinsatz aus. Dazu muss die Ontologie beispielsweise im Rahmen von Information Retrieval-Systemen zur Lösungssuche eingesetzt werden. Darauf aufbauend kann die Verbesserung der Kennzahlen *Precision* und *Recall* durch eine ontologiebasierte Suche überprüft und mit einer herkömmliche Suche (beispielsweise Struktur- oder Volltextsuche) verglichen werden. Um eine Ontologie auch über den ersten Einsatz hinaus nutzen zu können, ist die ständige Aktualisierung und Pflege notwendig. Dementsprechend sind hierzu Prozesse zu definieren sowie Fragestellungen zur Schulung von Lösungsanbietern und Lösungssuchern, Datensicherheit, Rechten an der Ontologie etc. zu berücksichtigen. Sollten diese Untersuchungen die Ergebnisse und Potenziale von Ontologien zur Lösungssuche in der Produktentwicklung, wie sie im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigt wurden, bestätigen, ist eine breite Anwendung in verschiedenen Anwendungsfällen realistisch und kann in einer Vielzahl von Suchsituation zu deutlich besseren Ergebnissen bei der Suche führen.

10. Literatur

ABRAMS 2002

Abrams, J. r.: Vertikale elektronische Marktplätze: Empirische Untersuchung und Gestaltungsanforderungen. Lohmar: Eul 2002. ISBN: 3899360141.

AHMED et al. 2005

Ahmed, S.; Kim, S.; Wallace, K. M.: A Methodology for Creating Ontologies for Engineering Design, 17th International Conference on Design, Theory and Methodology (DTM) at ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference Long Beach / USA, 24.-28. September 2005. (Paper No. DETC2005-84729)

AKIYAMA 1994

Akiyama, K.: Funktionenanalyse - Der Schlüssel zu erfolgreichen Produkten und Dienstleistungen. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, Japan Service 1994. ISBN: 3-478-91110-9

ANTONIOU & HARMELEN 2004

Antoniou, G.; Harmelen, F. v.: Web Ontology Language: OWL. In: Staab, S. et al. (Hrsg.): Handbook on Ontologies. 1. Aufl. Berlin: Springer 2004, pp. 67-92. ISBN: 3-540-40834-7. (International Handbooks on Information Systems).

AUGUSTIN 1990

Augustin, S.: Information als Wettbewerbsfaktor. Zürich: Industrielle Organisation 1990. ISBN: 3-85743-949-1.

BAADER et al. 2004

Baader, F.; Horrocks, I.; Sattler, U.: Description Logics. In: Staab, S. et al. (Hrsg.): Handbook on Ontologies. 1. Aufl. Berlin: Springer 2004, pp. 3-28. ISBN: 3-540-40834-7. (International Handbooks on Information Systems).

BAEZA-YATES & RIBEIRO-NETO 1999

Baeza-Yates, R.; Ribeiro-Neto, B.: Modern Information Retrieval. Harlow, England: Addison-Wesley Longman 1999. ISBN: 0-201-39829-X. (ACM Press books).

BAUMBERGER 2007

Baumberger, G. C.: Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten. Technische Universität München, München (2007).

BENJAMINS et al. 2005

Benjamins, V. R.; Casanovas, P.; Breuker, J.; Gangemi, A. (Hrsg.): Law and the Semantic web - Legal Ontologies, Methodologies, Legal Information Retrieval, and Applications 1. Aufl. Berlin: Springer 2005. ISBN: 3-540-25063-8 (Lecture Notes in Artificial Intelligence 3369).

BIRKENBIHL 2006

Birkenbihl, K.: Standards für das Semantic Web. In: Blumauer, A. et al. (Hrsg.): Semantic Web: Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft. 1. Aufl. Berlin: Springer 2006, pp. XIV, 533 S. . ISBN: 3-540-29324-8.

BIRKHOFER 1980

Birkhofer, H.: Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte. Diss. Technische Universität Carolo-Wilhelmina, Braunschweig (1980). Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. ISBN: 3-18-147001-5. (Fortschrittberichte der VDI-Zeitschriften. Reihe 1, Konstruktionstechnik; Nr. 70).

BLESSING et al. 1998

Blessing, L. T. M.; Chakrabarti, A.; Wallace, K. M.: An Overview of Descriptive Studies in Relation to a General Design Research Methodology. In: Frankenberger, E. et al. (Hrsg.): Designers – The Key to Successful Product Development. Berlin: Springer 1998.

BLUMAUER & PELLEGRINI 2006

Blumauer, A.; Pellegrini, T.: Semantic Web und semantische Technologien: Zentrale Begriffe und Unterscheidungen. In: Blumauer, A. et al. (Hrsg.): Semantic Web: Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft. 1. Aufl. Berlin: Springer 2006, pp. XIV, 533 S. . ISBN: 3-540-29324-8.

BLUMBERG & ATRE 2003

Blumberg, R.; Atre, S. (Red.): The Problem with Unstructured Data. DM Review, Ausgabe vom February 2003, <<http://www.dmreview.com/issues/20030201/6287-1.html>; http://www.soquelgroup.com/Articles/dmreview_0203_problem.pdf> -

BRENDAN et al. 2005

Brendan, O. D.; Eckert, C.; Clarkson, J.; Browning, T. R.: Design planning and modelling. In: Clarkson, J. et al. (Hrsg.): Design Process Improvement - A review of current practice. 1. Aufl. London: Springer 2005, pp. 61-87. ISBN: 1-85233-701-X.

CANTAMESSA 2002

Cantamessa, M.: Design research in perspective – a meta-research on ICED 97 and ICED 99. In: Culley, S. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design ICED'01, Glasgow, August 21-23 2001. Bury St. Edmunds:IMEchE 2001 pp. 29-36.

CHILDCRAFT 1964

Childcraft (Hrsg.): How Things Change. Field Enterprises Educational Corporation 1964. (Childcraft Encyclopedia).

CHOI et al. 2006

Choi, N.; Song, I. Y.; Han, H.: A survey on ontology mapping. SIGMOD Record 35 (2006) 3, pp. 35.

CLARK & PARSIA 2009

Clark & Parsia, L.: Pellet: The Open Source OWL Reasoner <<http://clarkparsia.com/pellet/>> - 15.08.09.

CORCHO et al. 2003

Corcho, O.; Fernández-López, M.; Gómez-Pérez, A.: Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? Data & Knowledge Engineering 46 (2003) 1, pp. 41-64

CREAX NV 2009

Creax NV: CREAX Function Database <<http://function.creax.com/>> - 15.8.2009.

CROFT 2000

Croft, W. B.: Combining Approaches to Information Retrieval. In: Croft, W. B. (Hrsg.): Advances in Informational Retrieval: Recent Research from the Center for Intelligent Information Retrieval. 1. Aufl. Boston: Kluwer Academic 2000, pp. 1-36. ISBN: 0-7923-7812-1. (The Kluwer International Series on Information Retrieval 7).

DAENZER 1988

Daenzer, W. F. (Hrsg.): Systems Engineering - Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorhaben. 6. Aufl. Zürich: Verlag Industrielle Organisation 1988. ISBN: 3-85743-906-8 (Nachdruck 1989)

DANZINGER et al. 2008

Danzinger, F.; Ihl, C.; Meisel, K.; Reichwald, R.: Die Zukunft von Internetplattformen im Maschinen- und Anlagenbau. Frankfurt am Main: VDMA Verlag GmbH 2008. ISBN: 9783816305637.

DIN 1463

DIN 1463 Teil 1: Erstellung und Weiterentwicklung von Thesauri. Berlin: Beuth Verlag 1987.

DIN 4000

DIN 4000 Teil1: Sachmerkmalleisten: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth Verlag 1981.

DÖRNER 1987

Dörner, D.: Problemlösen als Informationsverarbeitung. Stuttgart: Kohlhammer 1987. ISBN: 3-17-009711-3.

DYLLA 1990

Dylla, N.: Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. Technische Universität München (1990).

ECLASS E.V. 2009

eCl@ss e.V.: eCl@ss - Das führende Klassifikationssystem <<http://www.eclass.de>> - 15.08.2009.

EHRENSPIEL 2007

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung - Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 3. Aufl. München: Hanser Verlag 2007. ISBN: 978-3-446-40733-6.

EUROPEAN COMMUNITIES 2009

European Communities: List of NACE codes
<http://ec.europa.eu/competition/mergers/cases/index/nace_all.html> - 15.08.2009.

EIGNER & STELZER 2001

Eigner, M.; Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme. Berlin: Springer 2001. ISBN: 3-540-66870-5.

FESTO AG & Co. KG 2009a

FESTO AG & Co. KG: FESTO - Produktübersicht
<http://www.festo.com/cms/de_de/Produktuebersicht.htm> - 15.08.2009.

FESTO AG & Co. KG 2009b

FESTO AG & Co. KG: Getränkeabfüllung in Brauereien
<http://www.festo.com/cms/de_de/2941.htm#Getr%C3%A4nkeabf%C3%BCllung%20in%20Brauereien> - 15.08.2009.

FESTO AG & Co. KG 2009c

FESTO AG & Co. KG: Willkommen bei FESTO
<http://www.festo.com/cms/de_de/index.htm> - 15.08.2009.

FIZ TECHNIK E.V./FIZ-TECHNIK-INFORM GMBH 2009

FIZ Technik e.V./FIZ-Technik-Inform GmbH: Fachinformation Technik, Thesaurus Technik und Management <<http://www.fiz-technik.de/fiz/thesaurus.htm>> - 15.08.2009.

FRANZ et al. 2008

Franz, J.; Gaag, A.; Abuosba, M.: The Semantic Enterprise - bringing Meaning to Business Processes, Proceedings of the 14th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE2008). Lissabon / Portugal, 23-25 June 2008 2008.

FREEPATENTSONLINE.COM 2009

FreePatentsonline.com: FreePatentsOnline.com
<<http://www.freepatentsonline.com/contact.html>> - 15.08.09.

FRIEDEMANN 2008

Friedemann, M. (Hrsg.): Wie arbeiten die Suchmaschinen von morgen? Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl. 2008. ISBN: 978-3-8167-7526-3

GAAG & PONN 2008

Gaag, A.; Ponn, J.: „Suchen und Finden“ im Maschinen- und Anlagenbau - Eine Studie in Zusammenarbeit mit dem VDMA. CiDaD Working Paper Series (2008) 4,

GILCHRIST 2003

Gilchrist, A.: Thesauri, taxonomies and ontologies – an etymological note. Journal of Documentation 59 (2003) 1, pp. 7-18.

GRABOWSKI et al. 1993

Grabowski, H.; Anderl, R.; Polly, A.: Integriertes Produktmodell. Berlin: Beuth 1993. ISBN: 3-410-12920-0.

GRABOWSKI & RUDE 1999

Grabowski, H.; Rude, S. (Hrsg.): Informationslogistik: Rechnerunterstützte unternehmensübergreifende Kooperation. Stuttgart: Teubner 1999. ISBN: 3-519-06384-0.

GRAMANN 2004

Gramann, J.: Problemmodelle und Bionik als Methode. Diss. Technische Universität München (2004). 1. Aufl. München: Verlag Dr. Hut 2004. ISBN: 3-89963-063-7.

GRUBER 1995

Gruber, T. R.: Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. International Journal of Human Computer Studies 43 (1995) 5, pp. 907-928.

GÜDEL AG 2009

Güdel AG: Komponenten, Module, Roboter und Systeme <www.gudel.com/de/> - 15.08.2009.

HAAS & ELZE 1992

Haas, K.; Elze, J.: Thesaurus Verpackung. 2., überarbeitete Aufl. München: Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung 1992. (Band 1).

HAASE 2007

Haase, P.: Semantic Technologies for Distributed Information Systems. Karlsruhe: Universitätsverlag 2007. ISBN: 978-3-86644-100-2. (Dissertation, genehmigt von der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe, 2006)

HABERFELLNER et al. 1992

Haberfellner, R.; Nagel, P.; Becker, M.; Büchel, A.; von Massow, H.: Systems Engineering - Methodik und Praxis 7. Aufl. Zürich: Verlag Industrielle Organisation 1992. ISBN: 3-85743-964-5

HAMI-NOBARI & BLESSING 2005

Hami-Nobari, S.; Blessing, L.: Effect-oriented Description of Variant rich Products. In: Samuel, A. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design ICED'05, Melbourne / Australia, 15.-18. August 2005. Melbourne: The Design Society 2005, pp. 219-220 (exec. Summ.). ISBN: 0-85825-788-2 (book of abstracts).

HAUN 2000

Haun, M.: Wissensbasierte Systeme. Renningen-Malmsheim: expert-Verlag 2000. ISBN: 3-8169-1677-5.

HAUN 2002

Haun, M.: Handbuch Wissensmanagement: Grundlagen und Umsetzung, Systeme und Praxisbeispiele. 1. Aufl. Berlin: Springer 2002. ISBN: 3-540-67583-3.

HELBIG & SCHENKEL 1991

Helbig, G.; Schenkel, W.: Wörterbuch zur Valenz und Distribution deutscher Verben. 8. Aufl. Tübingen: Niemeyer 1991. ISBN: 3-484-10456-2.

HENZINGER & LAWRENCE 2004

Henzinger, M.; Lawrence, S.: Extracting knowledge from the World Wide Web. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 101 (2004) pp. 5186.

HEPP 2003

Hepp, M.: Güterklassifikation als semantisches Standardisierungsproblem. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag 2003. ISBN: 3-8244-7932-X.

HESSE 2006

Hesse, S.: Grundlagen der Handhabungstechnik. 1. Aufl. München: Hanser 2006. ISBN: 3-446-40473-2.

HILL et al. 1994

Hill, W.; Fehlbaum, R.; Ulrich, P.: Organisationslehre 1. Bern: Haupt 1994. ISBN: 3-8252-0259-3.

HIRTZ et al. 2002

Hirtz, J.; Stone, R. B.; McAdams, D. A.; Szykman, S.; Wood, K. L.: A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts. The Journal of Research in Engineering Design 13 (2002) 2, pp. 65-82.

HUBKA 1973

Hubka, V.: Theorie der Maschinensysteme: Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. 1. Aufl. Berlin: Springer 1973. ISBN: 3-540-06122-3.

HUBKA 1976

Hubka, V.: Theorie der Konstruktionsprozesse: Analyse der Konstruktionstätigkeit. 1. Aufl. Berlin Springer 1976. ISBN: 3-540-07767-7.

HUBKA & EDER 1988

Hubka, V.; Eder, W. E.: Theory of technical systems – a total concept theory for engineering design. 2. Aufl. Berlin Springer 1988. ISBN: 0-387-17451-6.

INSTITUT AIFB, UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH) 2009

Institut AIFB, Universität Karlsruhe (TH): Semantically Enabled Knowledge Technologies <www.sekt-project.com> - 15.08.2009.

INVENTION MACHINE CORPORATION 2009

Invention Machine Corporation: Invention Machine Goldfire <<http://www.invention-machine.com/ProductsServices.aspx?id=50>> - 15.09.2009.

IRLINGER 1998

Irlinger, R.: Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung. Technische Universität München, Aachen (1998).

JASPER & USCHOLD 1999

Jasper, R.; Uschold, M.: A Framework for Understanding and Classifying Ontology Applications, 12th Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling, and Management KAW99. Banff / Kanada, 16.-22. Oktober 1999 1999. <<http://facstaff.seattleu.edu/jasperr/papers/final-ont-apn-fmk.pdf>> -

KIM et al. 2008

Kim, S.; Bracewell, R.; Wallace, K.: Some Reflections on Ontologies in Engineering Domain. In: Horváth, I. et al. (Hrsg.): Tools and Methods of Competitive Engineering; Proceedings of the Seventh International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2008, Izmir, Türkei, 21.-25. April 2005. Delft: Univ. of Technology ISBN: 978-90-5155-044-3.

KITAMURA et al. 2001

Kitamura, Y.; Kasai, T.; Mizoguchi, R.: Ontology-based Description of Functional Design Knowledge and its Use in a Functional Way Server. In: (Hrsg.): Proceedings of the Pacific Asian Conference on Intelligent Systems 2001 (PAIS 2001), Seoul, Korea, 16.-17. November pp. 400-409.

KITAMURA et al. 2005

Kitamura, Y.; Koji, Y.; Mizoguchi, R.: An Ontological Model of Device Function and Its Deployment for Engineering Knowledge Sharing. In: (Hrsg.): (Proc. of the First Workshop FOMI)

KITAMURA et al. 2006

Kitamura, Y.; Washio, N.; Ookubo, M.; Koji, Y.; Sasajima, M.; Takafuji, S.; Mizoguchi, R.: Towards a Reference Ontology of Functionality for Interoperable Annotation for Engineering Documents. In: Sure, Y. et al. (Hrsg.): The Semantic Web: Research and Applications - Proceedings of the 3rd European Semantic Web Conference ESWC 2006, Budva, Montenegro, 11.-14. Juni 2006. Berlin / Heidelberg: Springer pp. 75-76. ISBN: 978-3-540-34544-2.

KLIR & ELIAS 2003

Klir, G. J.; Elias, D.: Architecture of systems problem solving. Plenum Pub Corp 2003.

KOLLER & KASTRUP 1994

Koller, K.; Kastrup, N.: Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte. 1. Aufl. Berlin Springer 1994. ISBN: 3-540-58243-6.

KOPENA & REGLI 2003

Kopena, J. B.; Regli, W. C.: Functional Modeling of Engineering Designs for the SemanticWeb. IEEE Data Engineering Bulletin 26 (2003) 4, pp. 55-62.

KRCMAR 2003

Krcmar, H.: Informationsmanagement. Berlin: Springer 2003. ISBN: 3-540-43886-6.

KUKA ROBOTER GMBH 2009

Kuka Roboter GmbH: KUKA Roboter GmbH Deutschland <<http://www.kuka-robotics.com/germany/de/>> - 15.08.2009.

KUROPKA 2004

Kuropka, D.: Modelle zur Repräsentation natürlichsprachlicher Dokumente - Ontologie-basiertes Information-Filtering und -Retrieval mit relationalen Datenbanken. Berlin: Logos-Verlag 2004. ISBN: 3-8325-0514-8. (Advances in Information Systems and Management Science Band 10).

LÄMMEL & CLEVE 2008

Lämmel, U.; Cleve, J.: Künstliche Intelligenz. 3., neu bearbeitete Auflage Aufl. München: Carl-Hanser 2008. ISBN: 978-3-446-41753-3

LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG 2009

Lehrstuhl für Produktentwicklung: Lehrunterlagen Produktentwicklung und Konstruktion <http://www.pe.mw.tum.de/studium/vorlesungen/produktentwicklung-und-konstruktion-1/vl_view> - 15.08.2009.

LEWANDOWSKI 2005

Lewandowski, D.: Web Information Retrieval - Technologien zur Informationssuche im Internet. Diss. Universität Düsseldorf (2005). Frankfurt am Main: DGI 2005. ISBN: 3-925474-55-2 (DGI-Schrift / Informationswissenschaft 7).

LI et al. 2007

Li, Z.; Raskin, V.; Ramani, K.: A Methodology of Engineering Ontology Development for Information Retrieval. In: Bocquet, J. C. (Hrsg.): Design for society: knowledge, innovation and sustainability, Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design ICED'07, Paris / Frankreich, 28.-31 August 2007. Paris: Ecole Centrale 2007, ISBN: 1-904670-01-6 (book of abstracts), ISBN: 1-904670-02-4 (Proceedings CD).

LINDEMANN 2007

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 2. Aufl. Berlin: Springer 2007. ISBN: 3-540-37435-3.

LINDNER 2008

Lindner, K.: Informationsplattform - Kundeninteraktion im Innovationsprozess im Maschinenbau: In der frühen Phase des Innovationsprozesses. In: Bentele, M. (Hrsg.): KnowTech 2008,

LINK 1982

Link, J.: Die methodologischen, informationswirtschaftlichen und führungspolitischen Aspekte des Controlling. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 52 (1982) 3, pp. 261-280.

LOHSE et al. 2005

Lohse, N.; Valtchanov, G.; Ratchev, S.; Onori, M.; Barata, J.: Towards a Unified Assembly System Design Ontology using Protégé, 8th International Protégé Conference. Madrid / Spanien, 18.-21. Juli 2005.

LOPEZ et al. 1999

Lopez, M. F.; Gómez-Pérez, A.; Sierra, J. P.; Sierra, A. P.: Building a chemical ontology using Methontology and the OntologyDesign Environment. IEEE Intelligent Systems and their applications 14 (1999) 1, pp. 37-46.

MOENCH et al. 2003

Moench, E.; Ullrich, M.; Schnurr, H.-P.; Angele, J.: SemanticMiner - Ontology-Based Knowledge Retrieval. Journal of Universal Computer Science 9 (2003) 7, pp. 682-696.

NEON PROJECT 2009

NeOn Project: Welcome to NeOn! <<http://www.neon-project.org>> - 15.08.09.

NIESSEN 2008

Niessen, T.: THESEUS- der Weg zu einer neuen Wissensinfrastruktur, KnowTech 2008. IHK Frankfurt am Main, 2008.

O'NEILL et al. 2003

O'Neill, E. T.; Lavoie, B. F.; Bennett, R.: Trends in the Evolution of the Public Web. D-Lib Magazine 9 (2003) 4, pp. 1082-9873.

OGDEN & RICHARDS 1923

Ogden, C. K.; Richards, I. A.: The Meaning of meaning. London: K. Paul, Trench, Trubner & Co. 1923.

ONTOPRISE GMBH 2009c

Ontoprise GmbH: SMW+ Semantic Enterprise Wiki
<<http://wiki.ontoprise.com/wiki/>> - 15.08.2009.

PAHL et al. 2005

Pahl, G.; Beitz, W.; Grote, K.-H.; Feldhusen, J.: Konstruktionslehre. 6. Aufl. Berlin: Springer 2005. ISBN: 3-540-22048-8.

PARENT & SPACCAPIETRA 2009

Parent, C.; Spaccapietra, S.: An Overview of Modularity. In: Stuckenschmidt, H. et al. (Hrsg.): Modular Ontologies. Berlin Springer 2009, pp. 1. ISBN: 3-642-01906-4.

PATZAK 1982

Patzak, G.: Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme: Grundlagen, Methoden, Techniken. Berlin: 1982. ISBN: 3-540-11783-0.

PINTO et al. 2006

Pinto, S.; Staab, S.; Tempich, C.; Sure, Y.: Distributed Engineering of Ontologies (DILIGENT). In: Staab, S. et al. (Hrsg.): Semantic Web and Peer-to-Peer: Decentralized Management and Exchange of Knowledge and Information. 1. Aufl. Berlin: Springer 2006, pp. XIII, 363 S. ISBN: 3-540-28346-3.

POCSAI 2000

Pocsai, Z.: Ontologiebasiertes Wissensmanagement für die Produktentwicklung. Karlsruhe: Universität Karlsruhe 2000. (Fakultät für Maschinenbau).

PONN 2007

Ponn, J.: Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte. Diss. Technische Universität München (2007). 1. Aufl. München: Dr. Hut Verlag 2007. ISBN: 978-3-89963-654-3.

PONN et al. 2006

Ponn, J.; Deubzer, F.; Lindemann, U.: Intelligent Search for Product Development Information - An Ontology-Based Approach. In: Marjanovic, D. (Hrsg.): Proceedings of the 9th International Design Conference DESIGN 2006, Dubrovnik / Kroatien, 15.-18. Mai 2006. Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Univ. of Zagreb 2006, pp. 1203-1210. ISBN: 953-6313-78-2.

PONN & LINDEMANN 2008

Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. 1. Aufl. Berlin Springer 2008. ISBN: 978-3-540-68562-3.

PROBST & GILBERT 2006

Probst; Gilbert: Wissen Managen. Wiesbaden: Gabler 2006. ISBN: 13: 978-3834901170

REHÄUSER & KRCMAR 1996

Rehäuser, J.; Krcmar, H.: Wissensmanagement im Unternehmen. In: Schreyögg, G. et al. (Hrsg.): Wissensmanagement. Berlin: de Gruyter 1996, pp. 1-40.

RIEMPP 2004

Riempp, G.: Integrierte Wissensmanagement-Systeme: Architektur und praktische Anwendung ; mit 26 Tabellen. Berlin: Springer 2004. ISBN: 3540204954.

RODENACKER 1976

Rodenacker, W. G.: Methodisches Konstruieren. 2., völlig neubearb. Aufl. Berlin: Springer 1976. ISBN: 3-540-07513-5. (Konstruktionsbücher Band 27).

ROPOHL 1975

Ropohl, G.: Systemtechnik - Grundlagen und Anwendung. 1. Aufl. München: Hanser 1975. ISBN: 3-446-11829-2.

ROTH 1994

Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Band 2: Konstruktionskataloge. 2. Aufl. Berlin Springer 1994. ISBN: 3-540-57656-8.

RUDE 1998

Rude, S.: Wissensbasiertes Konstruieren, Habil.-Schr. Universität Fridericiana (TH) Karlsruhe (1998). Aachen: Shaker Verlag 1998. ISBN: 3-8265-3985-0.

RUMBAUGH et al. 1993

Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlani, W.; Eddy, F.; Lerenzen, W.: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen. München: Hanser 1993. ISBN: ISBN 3-446-17520-2.

SALTON & MCGILL 1983

Salton, G.; McGill, M. J.: Introduction to Modern Information Retrieval 1. Aufl. New York: McGraw-Hill 1983. ISBN: 0-07-054484-0 (McGraw-Hill Computer Science Series).

SCHNURR et al. 2001

Schnurr, H.-P.; Staab, S.; Studer, R.; Sure, Y. (Hrsg.): Ontologiebasiertes Wissensmanagement - Ein umfassender Ansatz zur Gestaltung des Knowledge Life Cycle. Technical Report, Institut AIFB, Universität Karlsruhe (2001). <http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/ysu/publications/2001_wminderpraxis.pdf> -

SCHOLES 1982

Scholes, R. E.: Semiotics and interpretation. New Haven: Yale Univ. Pr. 1982. ISBN: +49300027982.

SCHUMACHER 1986

Schumacher, H. (Hrsg.): Verben in Feldern - Valenzwörterbuch zur Syntax u. Semantik deutscher Verben. 1. Aufl. Berlin: de Gruyter 1986. ISBN: 3-11-010782-1. (Schriften des Instituts für Deutsche Sprache 1).

SIM & DUFFY 2003

Sim, S. K.; Duffy, A. H. B.: Towards an ontology of generic engineering design activities. Research in Engineering Design 14 (2003) 4, pp. 200-223.

SPUR & KRAUSE 1997

Spur, G.; Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt: Management der CAD-Technik. 1. Aufl. München: Hanser 1997. ISBN: 3-446-19176-3.

STACHOWIAK 1973

Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. 1. Aufl. Wien: Springer 1973. ISBN: 3-211-81106-0.

STANFORD CENTER FOR BIOMEDICAL INFORMATICS RESEARCH 2009

Stanford Center for Biomedical Informatics Research: welcome to protégé <<http://protege.stanford.edu/>> - 15.08.09.

STORGA et al. 2005

Storga, M.; Andreasen, M. M.; Marjanovic, D.: Towards a formal design model based on a genetic design model system. In: Samuel, A. et al. (Hrsg.): 15th International Conference on Engineering Design ICED'05, Melbourne / Australia, 15.-18. August 2005. Barton: Institution of Engineers Australia

STUDER et al. 1998

Studer, R.; Benjamins, V. R.; Fensel, D.: Knowledge Engineering: Principles and Methods. Data & Knowledge Engineering 25 (1998) 1-2, pp. 161-197.

SUH 2001

Suh, N. P.: Axiomatic Design - Advances and Applications 1. Aufl. Oxford (New York): Oxford University Press 2001. ISBN: 0-19-513466-4 (The MIT Pappalardo series in mechanical engineering CIRP design book series).

SULLIVAN 2001

Sullivan, D.: Document Warehousing and Text Mining 1. Aufl. New York: Wiley 2001. ISBN: 0-471-39959-0.

SURE et al. 2004

Sure, Y.; Staab, S.; Studer, R.: On-To-Knowledge Methodology (OTKM). In: Staab, S. et al. (Hrsg.): Handbook on Ontologies. 1. Aufl. Berlin: Springer 2004, pp. 117-132. ISBN: 3-540-40834-7. (International Handbooks on Information Systems).

SUPER PROJEKTHOME PAGE 2009

Super Projekthomepage: Integrated Project SUPER <<http://www.ip-super.org/>> - 15.08.2009.

THESEUS PROGRAMMBÜRO 2008a

Theseus Programmbüro: PROCESSUS– Optimierung von Geschäftsprozessen <<http://www.theseus-programm.de/anwendungsszenarien/processus/default.aspx>> - 15.08.2008.

THESEUS PROGRAMMBÜRO 2008b

Theseus Programmbüro: Theseus - Neue Technologien für das Internet der Dienste <<http://www.theseus-programm.de/home/default.aspx>> - 15.08.2008.

TURBAN et al. 2007

Turban, E.; Aronson, J. E.; Liang, T.-P.; Sharda, R.: Decision Support and Business Intelligence Systems. 8. internat. Aufl. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall 2007. ISBN: 0-13-158017-5

USCHOLD & GRÜNINGER 1996

Uschold, M.; Grüninger, M.: Ontologies: principles, methods, and applications. Knowledge Engineering Review 11 (1996) 2, pp. 93-155.

VAN DER VEGTE et al. 2002

Van der Vegte, W. F.; Kitamura, Y.; Mizoguchi, R.; Horváth, I.: Ontology-Based Modeling of Product Functionality and Use - Part 2: Considering Use and Unintended Behavior. In: (Hrsg.): Proceedings of Engineering Design in Integrated Product Development EDIProD 2002 - 3rd International Seminar and Workshop, Lagow, Polen, 10.-12. Oktober 2002.

VDI 1993

VDI: VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.

VDMA-VERLAG GMBH 2009a

VDMA-Verlag GmbH: Statistisches Handbuch für den Maschinenbau 2006 <<http://www.vdma-verlag.com/home/p262.html>> - 15.08.2009.

VDMA-VERLAG GMBH 2009b

VDMA-Verlag GmbH.: VDMA E-Market - Internetportal der Investitionsgüterindustrie <<http://www.vdma-e-market.com/de/index.html>> - 15.08.2009.

VOLZ 2004

Volz, R.: Web ontology reasoning with logic databases. Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Karlsruhe (2004).

WANG & KIM 2008

Wang, E.; Kim, Y. S.: Object Ontology with Justification Graphs for Form-Function Reasoning. In: (Hrsg.): Proceedings of the ASME 2008 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2008, Brooklyn (NY) / USA, 3.-6. August 2008. American Society of Mechanical Engineers ISBN: 0-7918-3831-5.

WATSON 1997

Watson, I. D.: Applying Case-Based Reasoning - Techniques for Enterprise Systems. 1. Aufl. San Francisco: Morgan Kaufmann 1997. ISBN: 1-55860-462-6.

WENNERBERG & ZILLNER 2008

Wennerberg, P.; Zillner, S.: Semantic Technologies for Advanced Medical Image and Information Search, Proc. of the 2nd Annual European Semantic Technology Conference ESTC 2008. Wien / Österreich, 24.-26. September 2008.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C) 2009a

World Wide Web Consortium (W3C): Naming and Addressing: URIs, URLs, ... <<http://www.w3.org/Addressing/>> - 15.08.2009.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C) 2009b

World Wide Web Consortium (W3C): Semantic Web home <<http://www.w3.org/2001/sw/Activity>> - 15.08.2009.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C) 2009c

World Wide Web Consortium (W3C): Web Ontology Language (OWL) <<http://www.w3.org/2004/OWL/>> - 15.08.2009.

XU & CROFT 2000

Xu, J.; Croft, W. B.: Topic-Based Language Models for Distributed Retrieval. In: Croft, W. B. (Hrsg.): Advances in Informational Retrieval: Recent Research from the Center for Intelligent Information Retrieval. 1 Aufl. Boston: Kluwer Academic 2000, pp. 151-172. ISBN: 0-7923-7812-1. (The Kluwer International Series on Information Retrieval 7).

ZWICKER 1998

Zwicker, E.: Unterstützung der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung durch den Einsatz moderner Informationstechnologien. Diss. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (1998).

11. Anhang

Der Anhang enthält weiterführende Anmerkungen zu den Grundlagen der Arbeit sowie die detaillierte Darstellung der Arbeitsergebnisse. Auf die einzelnen Bestandteile des Anhangs ist in der Arbeit an den entsprechenden Stellen verwiesen.

11.1 Klassifizierung von Funktionen

11.1.1 Elementaroperationen nach EHRENSPIEL 2007

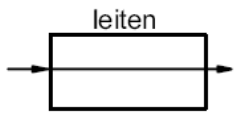
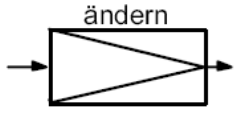
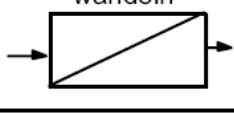
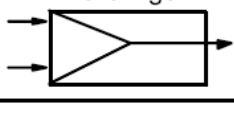
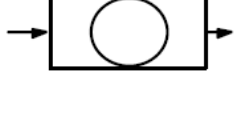
elementare Operation	technische Operation
 <p>leiten</p>	<p>leiten, zu- und abführen, tragen, transportieren, lagern (im Sinne von „Kraftleiten“, z. B. Wälzlager, Auflager), übertragen, dichten, schalten, isolieren, unterbrechen...</p>
 <p>ändern</p>	<p>ändern, vergrößern, verkleinern, umlenken, übersetzen, umformen, verlängern, verdichten, zerspanen, schmelzen, verdampfen, reflektieren...</p>
 <p>wandeln</p>	<p>umsetzen, erzeugen, absorbieren, verbrennen, zersetzen, wandeln, messen...</p>
 <p>vereinigen</p>	<p>vereinigen, verzweigen, überlagern, summieren, aufteilen, zusammenführen, verbinden, montieren, entmischen, vermischen, trennen...</p>
 <p>speichern</p>	<p>speichern, dämpfen, glätten, lagern (im Sinne von „Stofflagern“), aufstauen, sammeln...</p>

Abb. 11-1: Übersicht über elementare Operationen und zugeordnete technische Operationen [Ehrlenspiel 2007, S. 711]

11.1.2 Funktionsklassifizierung nach PAHL et al. 2005

Energieumsatz:	
Energie wandeln	z.B. elektrische in mechanische Energie wandeln
Energiekomponente ändern	z.B. Drehmoment vergrößern
Energie mit Signal verknüpfen	z.B. elektrische Energie einschalten
Energie leiten	z.B. Kraft übertragen
Energie speichern	z.B. kinetische Energie speichern
Stoffumsatz:	
Stoffumsatz wandeln	z.B. Luft verflüssigen
Stoffabmessungen ändern	z.B. Blech walzen
Stoff mit Energie verknüpfen	z.B. Teile bewegen
Stoff mit Signal verknüpfen	z.B. Dampf absperren
Stoffe miteinander verknüpfen	z.B. Stoffe mischen oder trennen
Stoff leiten	z.B. Kohle fördern
Stoff speichern	z.B. Stoffe lagern
Signalumsatz:	
Signal wandeln	z.B. mechanisches in elektrisches Signal wandeln oder stetiges in unstetiges Signal umsetzen
Signalgröße ändern	z.B. Ausschlag vergrößern
Signal mit Energie verknüpfen	z.B. Messgröße verstärken
Signal mit Stoff verknüpfen	z.B. Kennzeichnung vornehmen
Signale verknüpfen	z.B. Soll-Ist-Vergleich durchführen
Signal leiten	z.B. Daten übertragen
Signal speichern	z.B. Daten bereithalten

Tab. 11-1: Funktionsklassifizierung nach Pahl et al. 2005, S. 220

11.1.3 Funktionsklassifizierung nach HIRTZ et al. 2002

<i>Class (Primary)</i>	<i>Secondary</i>	<i>Tertiary</i>	<i>Correspondents</i>
Branch	Separate	Divide	Isolate, sever, disjoin
		Extract	Detach, <i>isolate</i> , release, sort, split, disconnect, subtract
		Remove	Refine, filter, purify, percolate, strain, <i>clear</i>
	Distribute	Cut, drill, lathe, polish, sand	
Channel	Import		Diffuse, dispel, disperse, dissipate, diverge, scatter
	Export		Form entrance, <i>allow</i> , input, <i>capture</i>
	Transfer		Dispose, eject, <i>emit</i> , empty, <i>remove</i> , destroy, eliminate
		Transport	Carry, deliver
		Transmit	Advance, lift, move
	Guide		Conduct, convey
		Translate	Direct, shift, steer, straighten, switch
		Rotate	Move, relocate
		Allow DOF	Spin, turn
Connect	Couple		Constrain, unfasten, unlock
		Join	Associate, connect
		Link	Assemble, fasten
	Mix	Attach	
Control Magnitude	Actuate		Add, blend, coalesce, combine, pack
	Regulate		Enable, initiate, start, turn-on
		Increase	Control, equalize, limit, maintain
		Decrease	<i>Allow</i> , open
	Change		Close, delay, interrupt
		Increment	Adjust, modulate, <i>clear</i> , demodulate, invert, normalize, rectify, reset, scale, vary, modify
		Decrement	Amplify, enhance, magnify, multiply
		Shape	Attenuate, dampen, reduce
		Condition	Compact, compress, crush, pierce, deform, form
	Stop		Prepare, adapt, treat
		Inhibit	End, halt, pause, interrupt, restrain
Convert	Convert		Disable, turn-off
			Shield, insulate, protect, resist
Provision	Store		Condense, create, decode, differentiate, digitize, encode, evaporate, generate, integrate, liquefy, <i>process</i> , solidify, transform
		Contain	Accumulate
		Collect	<i>Capture</i> , enclose
	Supply	Provide, replenish, retrieve	
Signal	Sense		Feel, determine
		Detect	Discern, perceive, recognize
		Measure	Identify, <i>locate</i>
	Indicate		Announce, show, denote, record, register
		Track	Mark, time
		Display	<i>Emit</i> , expose, select
Support	Process	Compare, calculate, check	
	Stabilize	Steady	
	Secure	Constrain, hold, place, fix	
	Position	Align, <i>locate</i> , orient	
Overall increasing degree of specification →			

Tab. 11-2: Funktionsklassifizierung nach Hirtz et al. 2002 (S. 40)

11.1.4 Übersicht über die Objektmerkmale nach BIRKHOFFER 1980

- | | |
|---------------------|-----------------|
| – Aggregatzustand | – Kontakt* |
| – Amplitude | – Konzentration |
| – Anzahl* | – Lage |
| – Betrag | – Maß |
| – Bewegungsrichtung | – Menge* |
| – Durchlässigkeit | – Mischung* |
| – Energie | – Oberfläche |
| – Farbe | – Rauigkeit |
| – Form | – Temperatur |
| – Geschwindigkeit | – Volumen |
| | – Zusammenhalt |

Abb. 11-2: Merkmale, die im Rahmen der 4 Handlungen von Birkhofer betrachtet werden [Birkhofer 1980, S. 78] – mit * gekennzeichnete Merkmale beziehen sich auf zwei oder mehr Merkmale

11.2 Lösungsbeschreibungen Fallbeispiel 1

11.2.1 Liste der Funktionen

Objekt	Operation
Bruchstücke	Abscheiden
Schachtel	Absenken
Kolben	Anheben
Abfall	Aufnehmen
Kehrgut	Aufnehmen
Limetten	Auspressen
Fruchtstücke	Auspressen
Kartonzuschnitt	Ausstanzen
Waschtuch	Besprühen
Bodenkontakt	Herstellen
Bremsrolle	Bremsen
Vorratswalze	Bremsen
Spundbohle	Fixieren
Dattel	Formen
Tablette	(Vorbei-) Führen

Objekt	Operation
Kartonzuschnitt	Fügen
Petersilie	Hacken
Haselnüsse	Knacken
Rohwurst	Kochen
Glasstrang	Kühlen
Datteln	Öffnen
Transportelement	Reinigen
Wasseroberfläche	Reinigen
Kartoffeln	Schälen
Pflanzen	Schneiden
Mahlgut	Separieren
Kartoffeln	Sortieren
Teig	Transportieren
Haselnusskerne und Schalen	Trennen

Objekt	Operation
Sand von Abfallbestandteilen	Trennen
Wasser und Kehrgut	Trennen
Fasern	Trocknen
Lehm-Faserstoff-	Trocknen

Objekt	Operation
Ziegel	
Stroh	Zerkleinern
Mahlgut	Zermahlen
Glasstrang	Ziehen/Abziehen

Tab. 11-3: Tabelle der Funktionen im Fallbeispiel 1

11.2.2 Liste der Prinziplösungen

Name der Prinziplösung
Adhäsion durch Gefrierung
Bodensauger mit klebrigen Rädern
Bodensauger mit Permanentmagnet
Bodensauger mit Strömungskanal
Bodensauger unter Gravitation
Bürstenreiniger (Transportelement)
Dampfhitze (Rohwurst)
Daueromagnet (Kolben)
Drainagepressung
Drehwalzen (Petersilie)
Drehwalzen (Pflanze)
Druckkammer (Limette)
Druckzylinder mit Befestigungskeil
Elastischer Stab
Elektroherd (Fruchstücke)
Elektroherd (Rohwurst)
Elektromagnet (Spundbohle)
Fanghaken mit Feder
Federhebemechanismus
Fliehkraft-Entsafter
Fluidbremse
Freier Fall (Dattel)
Freier Fall (Limette)
Freier Fall (Mahlgut)
Fusselrolle (Transportelement)
Fusselroller
Gaszylinder-Hebevorrichtung
Glasstrang unter Gravitation
Glasstrang unter Wasser
Gravitationsabscheider (Tabletten)

Name der Prinziplösung
Gravitationsseparierer (Zementklinker)
Handfeger und Kehrschaufel
Hammerschlag (Nuss)
Hammerschlag unter fester Einspannung (gefrorene Petersilie)
Handhebelpresse (Limette)
Hebemechanismus mit Druckzylinder
Hebemechanismus mit Schwimmer
Heftung
Heißdraht-Schneidegerät (Stroh)
Heizstrahler (Faser)
Heizstrahler (Kehrgut)
Heizstrahler (Rohwurst)
Heizung (Faser)
Induktionsherd (Rohwurst)
Kehrschaufelreiniger (Laub)
Keilschaber
Kescher (Laubverunreinigung)
Klebstoff (Kartonage)
Kniehebelpresse (Mahlgut)
Kolbensprühpistole (Waschmittel)
Kugelstrahlformen (Dattel)
Kühlung durch Wärmestrahlung
Laserschneiden (Karton)
Laserschneiden (Pflanze)
Limette unter Masseneinwirkung
Luftbremse (Walze)
Luftstrahl-Formgeber
Luftstrom entlang schiefer Ebene
Luftstrom-Schneidegerät (Pflanze)

Name der Prinziplösung	Name der Prinziplösung
Luftstromabscheider (Tabletten)	Schwerkraftpressung
Luftstromseparierer (Kartoffel)	Seilreibung (Walze)
Luftstromseparierer (Zementklinker)	Sichtprüfung auf Fließband
Luftstromtrockner (Kehrgut)	Sichtprüfung seitliche Einspannung
Luftzugreiniger (Laub)	Sichtprüfung unter Gravitation
Magnetbremse (1)	Sichtprüfung unter Luftstrom
Magnetheber	Sieb (Kartoffel)
Magnetische Waage (Schachtel)	Siebabscheidung (Tabletten)
Manuelle Reinigung mit Zange	Siebseparation (Nusschale)
Manuelle Trennung (Nusschale)	Siebseparation (Zementklinker)
Manueller Zug (Glasstrang)	Sonneneinstrahlung (Faser)
Manuelles Formen (Dattel)	Staubsauger
Mikrowelle (Ziegel)	Transportband mit Siebblende (Kartoffel)
Mühlenstein	Transportband mit Siebblende (Tabletten)
Pressluft-Entsafter	Verripte Zentrifugentrommel
Pressluft-Nussknacker	Verspannhebel
Pressluftreiniger	Wasserbadseparation (Nuss)
Rotierende Siebtrommel (Faser)	Wasserstrahlschaber
Rotierende Siebtrommel (Kehrgut)	Wasserstrahl-Schneidegerät (Petersilie)
Rotierender Glasstrang	Wasserstrahl-Schneidegerät (Stroh)
Sandstrahler (Karton)	Wippe
Schalldruckbremse	Zahnkranzbremse (Walze)
Scherschneiden (Karton)	Zangenartiger Nussknacker
Scherquetscher (Fruchstücke)	Zentrifugaldüse (Waschmittel)
Schleudermühle	Zentrifugalextraktor (Kartoffel)
Schmutzschaber (Transportelement)	Zentrifugalextraktor (Zementklinker)
Schmutzverbrenner (Transportelement)	Zentrifugenschaber
Schneidekeil	Zinnbad (Glasstrang)
Schneidekeil (Petersilie)	Zugbelastung unter fester Einspannung (Stroh)
Schneidekeil (Pflanze)	Zylinderpresse (Nuss)
Schneidekeil (Stroh)	Zylinderquetschung
Schwamm (Kehrgut)	
Schwamm (Ziegel)	

Tab. 11-4: Tabelle der Prinziplösungen im Fallbeispiel 1

11.3 Lösungsbeschreibungen Fallbeispiel 2

11.3.1 Lösungsbeschreibung „Handhaben von Schamotteröhren“

KUKA

Handhaben von Schamotteröhren

III Ausgangslage / Aufgabenstellung

Die Wolfshöher Tonwerke setzen bereits seit Jahren auf eine ökonomisch sinnvolle Automatisierung. Beispielsweise transportierten sie Schamottekaminrohre, die mit Nut und Feder ausgestattet werden, bisher mit Lineareinheiten. Da das betreffende Werk stillgelegt wurde, sah das Unternehmen in dem Umzug die Chance, das Handling zu modernisieren.

III Nummer des Berichtes

R 222

III Branche

Keramik, Stein
Bau

III Realisation / Lösung



Handhaben von Schamotteröhren

Da die Schamottekaminrohre heute von drei KUKA Robotern gehandhabt werden, stiegen sowohl die Produktivität und Qualität als auch die Flexibilität. Bei den Robotern handelt es sich um einen vierachsigen Palettierroboter KR 180 PA und zwei sechsachsige Standardroboter KR 45. Die aus Schamottemasse hergestellten Rohlinge werden automatisch auf Längen von 330 oder 660 mm geschnitten. Je vier 330 mm lange Rohre und ein kurzer Setzring gehören zu einer Einheit, die die KR 45 später zu einem Turm stapeln. Bei der Produktion von 660 mm Länge sind es zwei Rohre und ebenfalls ein Setzring. Es folgt die Übergabe an die Transportmulden

III Anwendung

Handling & be,-entladen
Sonstige
Handhabungsoperationen

III Produkt

Roboter
Mittlere Traglast (30-60 kg)
Palettierer
Steuerung
KR C (Robot Controller)

III Kunde

Wolfshöher Tonwerke GmbH,
Deutschland

III Weitere Informationen

Video

der Rohranlage. Deren Bediener wählt am Display seines Steuerpultes das Programm, das der Länge und dem Durchmesser der Rohlinge entspricht. Im Hinblick auf die Roboter nutzt er dafür das KUKA Control Panel. Bei 330 mm langen Röhren werden im Wechsel jeweils zwei Rohlinge mit oder ohne Setzring in eine Mulde gelegt und in die Abnahmeposition transportiert. Dort nimmt sie der KR 180 PA mit seinem Vakuum-Sauggreifer auf und legt sie in die Mulden des Rohrquerübersetzers. Der führt gleichzeitig je einen Rohling den rechts und links angeordneten Nut- und Feder-Schneidstationen zu. Der Setzring wird dagegen auf das Rohrtransportband abgekippt. Im Anschluss an den Schneidprozess bringt der Querübersetzer die Rohre zu den zwei KR 45. Die nehmen die Rohlinge auf und stellen sie senkrecht übereinander auf den Setzring, der schon auf dem Rohrtransportband liegt. Da der Setzring in einer definierten Lage mechanisch zentriert wird, können die KR 45 die Rohre millimetergenau stapeln. Hierbei misst die Robotersteuerung mit einem in den Greifer integrierten Lasertaster kontinuierlich den verbleibenden Abstand. Aufgrund dieser Information lässt sich der Rohling feinfühlig positionieren. Ist ein Rohrturm komplett, taktet ihn das Band zu einem Rohrsetzer. Der nimmt den Turm auf und übergibt ihn an den Ofenwagen. Für 660 mm lange Rohre benötigt der Betreiber lediglich einen KR 45 und einen Rohrquerübersetzer. Außerdem greift der verbleibende Sechssachser in dem Fall immer nur einen Rohling, der KR 180 PA bei jedem zweiten Takt zusätzlich einen Setzring.

Abb. 11-3: Lösungsbeschreibung Handhaben von Schamotteröhren (Quelle: KUKA Roboter GmbH)

Systemkomponenten / Auftragsumfang

- ein KUKA Palettierroboter KR 180 PA
- zwei KUKARoboter KR 45
- drei PC-basierende KUKA Robotersteuerungen einschließlich Control Panel mit vertrauter Windows-Oberfläche
- drei Vakuumsauggreifer, die sich auf unterschiedliche Rohrdurchmesser einstellen lassen
- Roboterprogrammierung
- Inbetriebnahme

Lieferung durch die FREYMATIC AG, Felsberg in der Schweiz.

Ergebnis/Erfolg

- Vorsprung durch den Palettierprofi

Der „Palettierprofi“ KR 180 PA, ein Vier-Achs-Roboter mit passiver fünfter Achse, garantiert durch seine anwendungsspezifische, FEM optimierte Kinematik besonders effiziente Palettierprozesse. Sein aus dem Kohlenstofffaser-Verbundwerkstoff CFK gefertigter Arm gestattet wegen eines kleineren Massenträgheitsmoments beachtliche Beschleunigungswerte. Der KR 180 PA kann Lasten im Gewicht von 180 kg bis auf Höhen von 3.000 mm stapeln. Gerade diese große Reichweite war für den Betreiber ausschlaggebend, als es um die Auswahl des richtigen Roboters ging. Außerdem ist der KR 180 PA günstiger herzustellen als ein Sechssachser. Kostenvorteile ergeben sich auch durch die weitgehende Verwendung von Standardkomponenten.

- Beträchtliche Leistungssteigerung

Aus der Umstellung auf Roboter resultierte eine beträchtliche Leistungssteigerung. In dem Bereich, in dem die Roboter eingesetzt werden, sind die Wolfshöher Tonwerke jetzt über 50 Prozent schneller als zuvor. Ferner benötigt das Unternehmen dort wesentlich weniger Arbeitskräfte. Für die heutige Produktion von 16 Schamottekaminrohren pro Minute gibt es neben den kurzen Zykluszeiten der Roboter auch den Grund, dass die Kaminrohre nicht mehr nacheinander, sondern paarweise in zwei parallel angeordneten Stationen mit Nut und Feder versehen werden.

- Bessere Qualität

Die Wolfshöher Tonwerke erzielen jetzt auch eine bessere Qualität, weil die mit hoher Wiederholgenauigkeit arbeitenden Roboter die Rohlinge äußerst sanft handhaben und infolgedessen keine Deformationen mehr entstehen.

- Hohe Flexibilität

Ein weiterer Pluspunkt der Roboter ist ihre Flexibilität. Die zeigen sie zum Beispiel beim Handling von fünf Rohrgrößen mit Durchmessern von 120 bis 200 mm.

- Verringerter Personalaufwand

Die KUKA Roboter erübrigen nicht nur die entsprechenden manuellen Tätigkeiten, sondern auch verschiedene Transportaufgaben. Insofern profitiert der Betreiber auch von einem verringerten Personalaufwand, einer minimierten Fehlerquote und von kürzeren Wegen. Ferner verzeichnet er weniger Beschädigungen.

11.3.2 Lösungsbeschreibung „Handling von Sixpack-Bierflaschen“

GÜDEL AG
 Phone +41.62.9169191
 E-Mail: info@ch.gudel.com

GÜDEL

Druckansicht - Anwendungen: Handling von Sixpack-Bierflaschen: Greifen, Verpacken und Setzen

AUFGABE

Bier-Six-Pack in Getränkeboxen einpacken. Lose Flaschen (0,5l + 0,33l) von Zuführband holen und in Boxen setzen.

Taktzeit für Six-Packs: 11 sec. (gleichzeitig auch Vorgabe vom Kunden)

Taktzeit für Flaschen: 6,8 sec. (Vorgabe: 7 sec.)

LÖSUNG

Es werden immer 8 Boxen gleichzeitig befüllt. Mit einem [Zweiachsmodul ZP-6](#) und dazugehörigem Sauggreifer, die auf einem Band bereitgestellten Six-Packs abholen und auf Setzbild spreizen, dann in Getränkeboxen übergeben.

Lose, aufgereichte Flaschen mit Tulpengreifer abholen.

Greifer auf Setzbild-Boxe spreizen. Flaschen in Getränkeboxen übergeben. D.h. am Portal sind drei verschiedene Greifer über ein Wechselsystem montiert.

Ein Greifer, um Six-Packs vom Band in Boxen zu setzen (8 x 4 Six-Packs = 32 Stück = 1 Kiste).

Ein Greifer, um lose 0,33 l Flaschen vom Band zu holen und in Boxen setzen (8 x 24 Stück x 0,33l = 192 Stück) und ein Greifer, um lose 0,5 l Flaschen vom Band zu holen und in Boxen setzen (8 x 20 Stück x 0,5 l = 160 Stück).

PROJEKT-INFO

GÜDEL Produkt
 2-Achs Modul: Type ZP 6

Art der Anwendung
 Handhabung: Beschicken

Branche
 Nahrungsmittel/Verpackung

Realisiert von
[Güdel GmbH](#), Deutschland



LIEFERUMFANG

- [Zweiachsmodul ZP-6](#)
- Greiferwechselsystem für 0,5l (24er Gefache), 0,33l (32er Gefache) und Sixpack greifen

ERGEBNIS

Die Flaschen werden sortiert, in Six-Packs verpackt und in Getränkeboxen abgepackt.

Abb. 11-4: Lösungsbeschreibung Handling von Sixpack-Bierflaschen (Quelle: Güdel AG, Switzerland)

11.3.3 Lösungsbeschreibung „Hopfig Herb Hybrid“

Branchenlösungen	
<p>Brauereien und Getränkeabfüllung</p> <p>Anwendung Pneumatische Automatisierung in Hybridindustrien – Prozess- und Fabrikautomation kombiniert</p> <p>Nutzen Zeit und Kosten sparen mit einbaufertiger Pneumatik</p>	<h2 data-bbox="639 645 1058 701">Hopfig herb hybrid</h2> <p data-bbox="225 801 1225 902">Von der Prozess- zur Fabrikautomation – Hybridindustrien benötigen Automationslösungen von Partnern, die mehr zu bieten haben als nur Komponenten. Das kann bis zu einbaufertigen Handlings gehen, die in Brauereien in Hochgeschwindigkeit die Flaschenträger füllen.</p> 

Abb. 11-5: Lösungsbeschreibung Hopfig Herb Hybrid (Quelle: FESTO AG & Co. KG)

www.festo.com/de/food

■ Die Badische Staatsbrauerei Rothaus AG, mit Sitz im Schwarzwald, ist ein klassisches Unternehmen der Hybridindustrie. Sie nutzt in ihrem Brauprozess wie auch in ihren Abfüllanlagen zunehmend komplette Baugruppen und Systeme für die kontinuierliche und die diskrete Fertigung. Je mehr Arbeit die Lieferanten bei der Anlagenkonstruktion übernehmen können und je mehr entlang der komplexen Wertschöpfungskette automatisiert werden kann, desto leichter kann sich die Brauerei auf ihr Kerngeschäft, das Brauen von Bier und dessen Abfüllung, konzentrieren.

Flotte Prozesse

Allein der Gärkeller, in dem beispielsweise das hopfig herbe Pils der Sorte „Tannenzäpfle“ heranreift, ist gespickt mit Schaltschränken, die CPV Feldbusventilinseln von Festo beherbergen. Letztere steuern die Edelstahlklappen der Gärtanks an. Die Klappen öffnen und schließen die Leitungen für die Luft- und Kohlendioxidzufuhr sowie für die Abluft. Die Edelstahl-Schaltschränke wurden mit der kompletten Pneumatik inklusive CPV Ventilinseln, Feldbusknoten

sowie Wartungsgerät der Festo D-Reihe komplett und einbaufertig von der Stulz Wasser- und Prozesstechnik GmbH im benachbarten Grafenhausen geliefert und in die Prozesse des Gärkellers integriert. Damit zeigt sich: Komplett Systeme machen auch die Prozessautomatisierung flott.

Abfüllen mit Druckluft

Doch damit nicht genug: Wo die kontinuierliche in die diskrete Fertigung übergeht, müssen sich Hybridindustrien auf die Automatisierung verlassen können. Dabei kommt die Pneumatik nicht zu kurz: Geführte Antriebe vom Typ DFM, Standardzylinder DNC oder Kompaktzylinder ADVU tun unverdrossen ihren Dienst, wenn es darum geht, Flaschen oder Flaschenträger zu klemmen, anzuheben oder weiterzubefördern. Zuverlässig lassen sie sich von kompakten CPV Ventilinseln ansteuern. Zu finden sind die pneumatischen Lösungen in Kasten-sortieranlagen, bei Palettierrobotern, in Flaschenwaschanlagen und selbstverständlich in den Abfüllanlagen. In der Flaschenwaschanlage Innoclean von KHS

sorgen Copac Antriebe vom Typ DLP von Festo für das Öffnen und Schließen der Klappen in der Reinigungslaugen-Zuführung.

Einbaufertige Handlings ...

... sorgen auch in einer Bierverpackungslinie dafür, dass der Gerstensaft nicht ausgeht. Die österreichische Brauerei Föhrenburger hat ein Schwerlast-Raumportal in Betrieb genommen, das am Ende einer Abfüllanlage die Flaschen in Gruppen bis zu 60 Flaschen als Block vereinzelt.



Von der Prozess- zur Fabrikautomation: Nicht nur im Brauprozess, sondern auch in Abfüllung und Verpackung sind Pneumatik-Ventilinseln und -Antriebe in ihrem Element.

Branchenlösungen ... Hopfig herb hybrid



Prozessantriebe von Festo vom Typ DLP: In der Flaschenwaschanlage Innoclean von KHS zum Öffnen und Schließen der Klappen in der Reinigungsaußen-Zuführung

Ein Spezial-Greiferwerkzeug versetzt mit dem Festo 3D-Raumportal diesen Block in Verpackungseinheiten. Zur Einhaltung der Produktionsmenge von 20000 Flaschen pro Stunde stattete man das Portal mit zwei Vertikalachsen aus, von denen jede 90 kg bewegt. Ein Kartonaufrichter bzw. Flaschenträgeraufrichter für die spätere Verpackung verarbeitet 60 Flaschenträger pro Minute. Geführte Antriebe vom Typ DGPIL sowie das System SoftStop SPC11 stellen die Träger bereit. Das System SoftStop SPC11 sorgt für die exakte und lagerichtige Zuführung der Laufräder in die Spanneinheit. Es verbessert das Dämpfungsverhalten in der Endlage. Damit sind höhere Taktzahlen sowie eine erschütterungsarme Konstruktion bei gleichzeitiger Erhöhung der Lebensdauer des Zylinders möglich.

Das Handling erlaubt eine hohe Variantenvielfalt: Es verarbeitet unterschiedliche Flaschen, unterschiedliche Verpackungseinheiten sowie unterschiedliche Verpackungsarten wie Kartons oder

aber Flaschenträger. Es zeichnet sich durch seine hohe Verfügbarkeit, seine hohe Produktivität sowie seinen geringen Platzbedarf aus. Basis des 4-Achs-Raumportals sind Festo Zahnriemen-Lineareinheiten, angetrieben mit Festo Servomotoren und Sondergetriebe.

Aber nicht nur Brauereien ...

... lassen sich komplett vormontierte individuelle Handlings über eine Teile- bzw. Projektnummer liefern. Vorab geprüft, mit allen Konstruktionsdaten und Schaltplänen sowie umfassender Funktions- und Festpreisgarantie geliefert, verkürzen die einbaufertigen Handlings den Weg von der Idee zur Maschine und reduzieren Schnittstellen. Fix und fertig zusammengesetzt und geprüft, erfolgt die Anlieferung des einbaufertigen Systems direkt an die Maschine. Komplettlösungen entlasten das Fachpersonal, Konstruktionsaufwand und -kosten bleiben gering. Einbaufertige Handling-Systeme erleichtern den Beschaffungsprozess und senken die Prozesskosten.

Festo Komponenten

bei Rothaus

Führungseinheit DFM



Kompaktzylinder ADVU



Linearantrieb DLP



Linearantrieb DGPIL



Endlagenregler SPC11



Ventilinsel CPV



Wartungsgeräte D-Reihe



Anlieferung direkt an die Maschine, Auftragsabwicklung über eine Teilenummer: Einbaufertige Handlings von Festo sparen Zeit und Kosten im Beschaffungs- und Konstruktionsprozess.



Infoservice

is 0911

Produkte für die Prozessindustrie

is 0912Partner der Nahrungsmittel-
und Verpackungsindustrie

Klassische Hybridindustrie-Brauerei:
Prozessautomation mit CPV Feldbus-
ventilinseln im Biergärkeller.

**Mehrschichtbaukasten**

Bei der Erstellung eines solchen Handlings kann Festo aus dem Vollen schöpfen: Mit dem mechatronischen 3D-CAD-Mehrschichtbaukasten von Festo bekommen Konstrukteure kreative Freiräume und sparen Zeit und Kosten: Fürs Greifen, Fügen, Drehen, genaue und raumgreifende Positionieren stehen mehrere hundert frei kombinierbare und aufeinander abgestimmte elektrische und pneumatische Komponenten zur Verfügung. Energieführungskette, Integrationsschlauch, Sensoren und Ventilinseln sind Konstruktions- und Lieferbestandteil fertiger Handlings.

Installation inbegriffen

Nicht nur die Montage, sondern auch die Installation gehört zum Leistungsumfang der Handlings. Dabei können die Systemtechni-

Spezialisten für jedes Handling auf das breite und tiefe Katalogprogramm von Festo, nicht nur auf Antriebe, sondern auch auf leistungsfähige Ventile, Ventilinseln oder Wartungseinheiten zugreifen, mit ihnen Handlings projektieren und kundenindividuell kombinieren. Greifen und Saugen sind integrale Bestandteile der Handlings.

Nach dem Motto „Stillstand ist Rückschritt“ baut Festo seinen mechatronischen Mehrschichtbaukasten ständig weiter aus: Beispielsweise mit dem präzisen elektromechanischen Minischlitten SLTE als Pendant zum pneumatischen Schlitten SLT oder mit der elektrischen Handhabungsachse HME als Gegenstück zur pneumatischen Achse HMP: Mit einer Wiederholgenauigkeit von $\pm 0,03$ mm läuft die Achse

in der Feinwerktechnik bei Fügeaufgaben mit engen Toleranzen wie dem passgenauen Einlegen von empfindlichen Werkstücken zur Höchstform auf – und damit nicht nur bei hopfig-herb hybriden Anwendungen. ■

www.rothaus.de
www.stutz-technik.de
www.khs.de
www.fohrenburger.at

11.4 Verfeinerung der Ontologie im Fallbeispiel 1

11.4.1 Zuordnung der Funktionen zu den allgemeinen Funktionen

		Allg. Funktionen (nach Koller)									
		Stoffoperationen									
Objekt	Operation	Wandeln	Vergrößern/ Verkleinern	Leiten	Isolieren	Fügen	Lösen	Mischen	Trennen	Sammeln	Teilen
Bruchstücke	Abscheiden								X		
Schachtel	Absenken										
Kolben	Anheben										
Kehrgut	Aufnehmen			X							
Limetten	Auspressen								X		
Fruchtstücke	Auspressen								X		
Kartonzuschnitt	Ausstanzen						X				
Waschtuch	Besprühen			X							
Bodenkontakt	Herstellen					X					
Bremsrolle	Bremsen										
Vorratswalze	Bremsen										
Spundbohle	Fixieren					X					
Dattel	Formen		X								
Tablette	(Vorbei-) Führen			X							
Kartonzuschnitt	Fügen					X					
Petersilie	Hacken						X				
Haselnüsse	Knacken						X				
Rohwurst	Kochen		X								
Glasstrang	Kühlen		X								
Datteln	Öffnen						X				
Transportelement	Reinigen						X				
Wasseroberfläche	Reinigen						X				
Kartoffeln	Schälen						X				
Pflanzen	Schneiden						X				
Mahlgut	Separieren								X		
Kartoffeln	Sortieren								X		
Haselnusskerne und Schalen	Trennen								X		
Sand von Abfallbestandteilen	Trennen								X		
Wasser und Kehrgut	Trennen								X		
Fasern	Trocknen								X		
Lehm-Faserstoff-Ziegel	Trocknen								X		
Stroh	Zerkleinern						X				
Mahlgut	Zermahlen						X				
Glasstrang	Ziehen/Abziehen			X							

Tab. 11-5: Zuordnung der Funktionen zu den allgemeinen Funktionen

11.4.2 Zuordnung der Operationen zu den Funktionszielen

Operation	Geometrische Merkmale			Kinematische Merkmale				Stofflich-energetische Merkmale		Organisatorische Merkmale		
	Länge	Fläche	Volumen	Position	Orientierung	Bewegungsrichtung	Geschwindigkeit	Temperatur	Aggregatzustand	Zusammenhalt	Anzahl	Mischung
Abscheiden				NW								-
Absenken				x	NW	NW	NW					
Anheben				x	NW	NW	NW					
Aufnehmen				x							+	
Auspressen			NW							-		NW
Auspressen			NW							-		NW
Ausstanzan	x	x	NW							-		
Besprühen				x		NW						
Herstellen										+		
Bremsen						NW	-					
Bremsen						NW	-					
Fixieren				o	o	NW	NW			NW		
Formen	NW	NW	x									
(Vorbei-) Führen				x	NW	o	o					
Fügen				NW	NW					+		
Hacken	x	x	NW							-		
Knacken	NW	x	x							-		
Kochen			NW					x	NW			
Kühlen			NW					NW	x			
Öffnen		x	NW							x		
Reinigen			NW							-		
Reinigen			NW							-		
Schälen	NW	x	NW							-		
Schneiden	x	x	NW							-		
Separieren											NW	-
Sortieren											NW	-
Trennen			NW							NW	NW	-
Trennen												
Trennen												
Trocknen	NW	NW	NW					NW		NW		-
Trocknen	NW	NW	NW					NW		NW		-
Zerkleinern	x	x	NW							-		
Zermahlen	NW	x	x							-		
Ziehen/Abziehen	NW	x	x									

Tab. 11-6: Zuordnung der Operationen zu den Funktionszielen

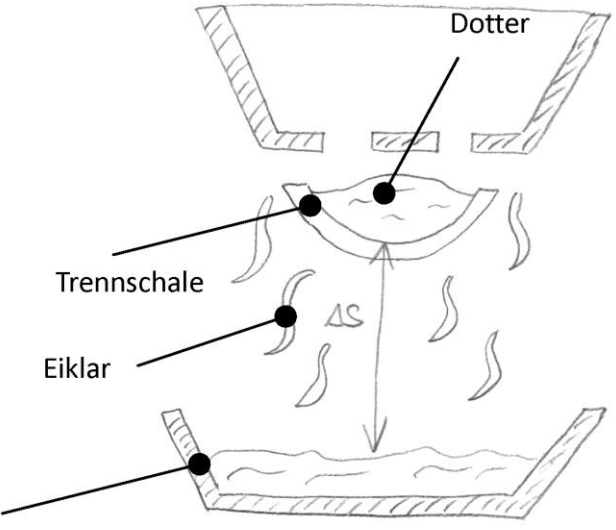
11.5 Evaluierung der Ontologie im Fallbeispiel 1

11.5.1 Übersicht über die gestellten Aufgaben

Aufgabe 1: Lösungsalternativen zur Funktion „Dotter von Eiklar trennen“

Ausgangslösung:

Um das Eiklar vom Dotter zu trennen wird das nebenstehende Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte KfK und Gravitation bleibt der Dotter in der Trennschale, das Eiklar schwimmt in der Trennschale auf und fällt nach unten in den Auffangbehälter.



Aufgabenstellung:

Suchen Sie für diese Funktion nach Lösungsalternativen im PUK-Portal des Lehrstuhls für Produktentwicklung.

Geben Sie bitte die identifizierten Lösungen auf dem Lösungsblatt an. Wenn Sie Anmerkungen bezüglich Anpassungen etc. haben, schreiben Sie diese bitte in das zugehörige Feld.

Beispiellösung:

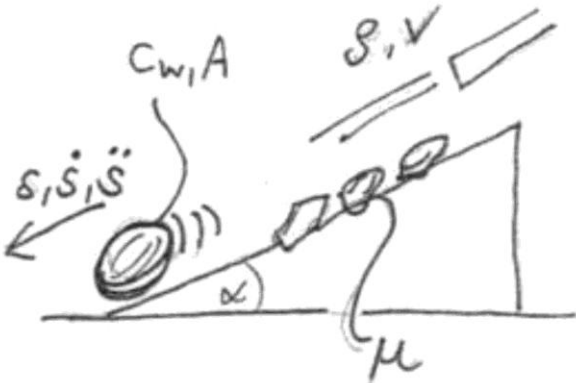
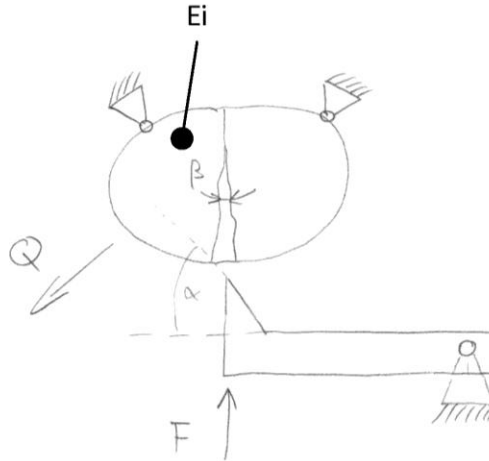


Abb. 11-6: Aufgabenstellung zur Funktion „Dotter von Eiklar trennen“

Aufgabe 2: Lösungsalternativen zur Funktion „Ei anbrechen“

Ausgangslösung:

Um das Ei anzubrechen wird das nebenstehende Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte Hebel, Keil und KfK wird das Ei an der Bruchstelle angeritzt oder angeschlagen.



Aufgabenstellung:

Suchen Sie für diese Funktion nach Lösungsalternativen im PUK-Portal des Lehrstuhls für Produktentwicklung.

Geben Sie bitte die identifizierten Lösungen auf dem Lösungsblatt an. Wenn Sie Anmerkungen bezüglich Anpassungen etc. haben, schreiben Sie diese bitte in das zugehörige Feld.

Beispiellösung:

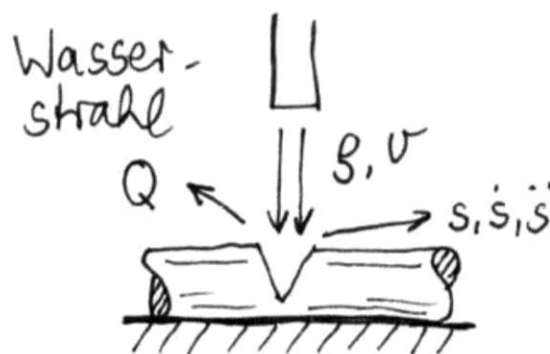
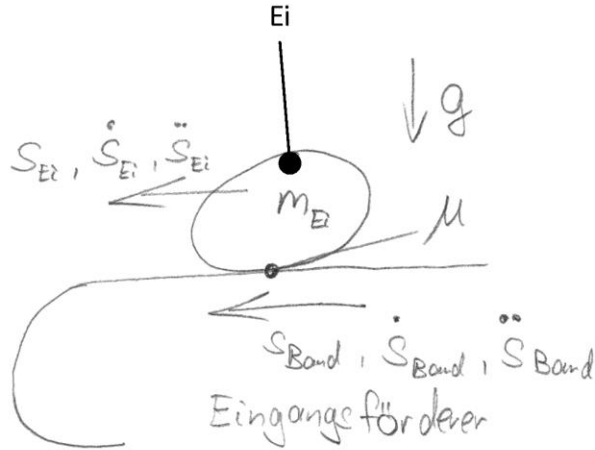


Abb. 11-7: Aufgabenstellung zur Funktion „Ei anbrechen“

Aufgabe 3: Lösungsalternativen zur Funktion „Teig transportieren“

Ausgangslösung:

Um das Ei zuzuführen wird das nebenstehende Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte KfK, Gravitation und Coulombsche Reibung wird das Ei auf dem Förderband transportiert.



Aufgabenstellung:

Suchen Sie für diese Funktion nach Lösungsalternativen im PUK-Portal des Lehrstuhls für Produktentwicklung.

Geben Sie bitte die identifizierten Lösungen auf dem Lösungsblatt an. Wenn Sie Anmerkungen bezüglich Anpassungen etc. haben, schreiben Sie diese bitte in das zugehörige Feld.

Beispiellösung:

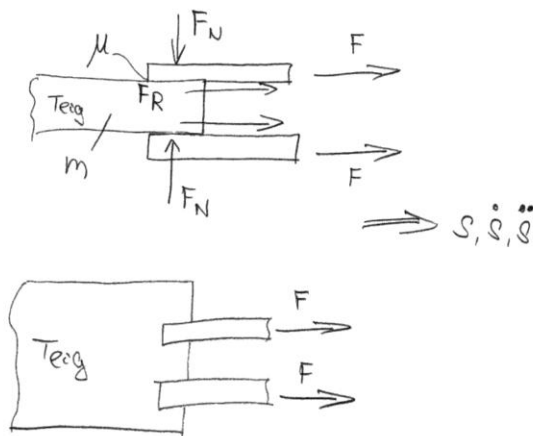
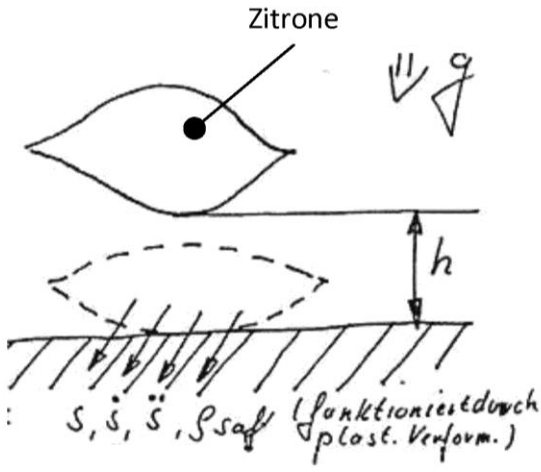


Abb. 11-8: Aufgabenstellung zur Funktion „Teig transportieren“

Aufgabe 4: Lösungsalternativen zur Funktion „Zitrone auspressen“

Ausgangslösung:

Um die Zitronen auszupressen wird das nebenstehende Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte KfK, Gravitation, Stoß und plast. Verformung wird die Zitrone verformt und der Saft aus der Zitrone gedrückt.



Aufgabenstellung:

Suchen Sie für diese Funktion nach Lösungsalternativen im PUK-Portal des Lehrstuhls für Produktentwicklung.

Geben Sie bitte die identifizierten Lösungen auf dem Lösungsblatt an. Wenn Sie Anmerkungen bezüglich Anpassungen etc. haben, schreiben Sie diese bitte in das zugehörige Feld.

Beispiellösung:

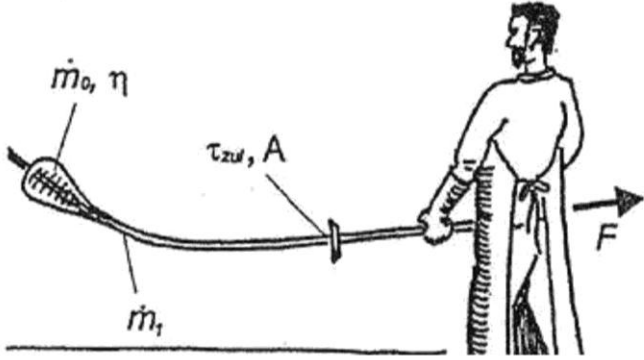


Abb. 11-9: Aufgabenstellung zur Funktion „Zitrone auspressen“

Aufgabe 5: Lösungsalternativen zur Funktion „Abfall aufnehmen“

Ausgangslösung:

Um den Abfall aufzunehmen wird das nebenstehende Wirkprinzip verwendet: Über die Effekte KfK und elastische Verformung wird der Abfall auf das Transportband befördert.

Aufgabenstellung:

Suchen Sie für diese Funktion nach Lösungsalternativen im PUK-Portal des Lehrstuhls für Produktentwicklung.

Geben Sie bitte die identifizierten Lösungen auf dem Lösungsblatt an. Wenn Sie Anmerkungen bezüglich Anpassungen etc. haben, schreiben Sie diese bitte in das zugehörige Feld.

Beispiellösung:

Abb. 11-10: Aufgabenstellung zur Funktion „Abfall aufnehmen“

11.5.2 Detaillierte Ergebnisse der Evaluierungsversuche

Auswertung aller Versuchspersonen: Anzahl aufgerufener Seiten und Anzahl ausgewählter Lösungen

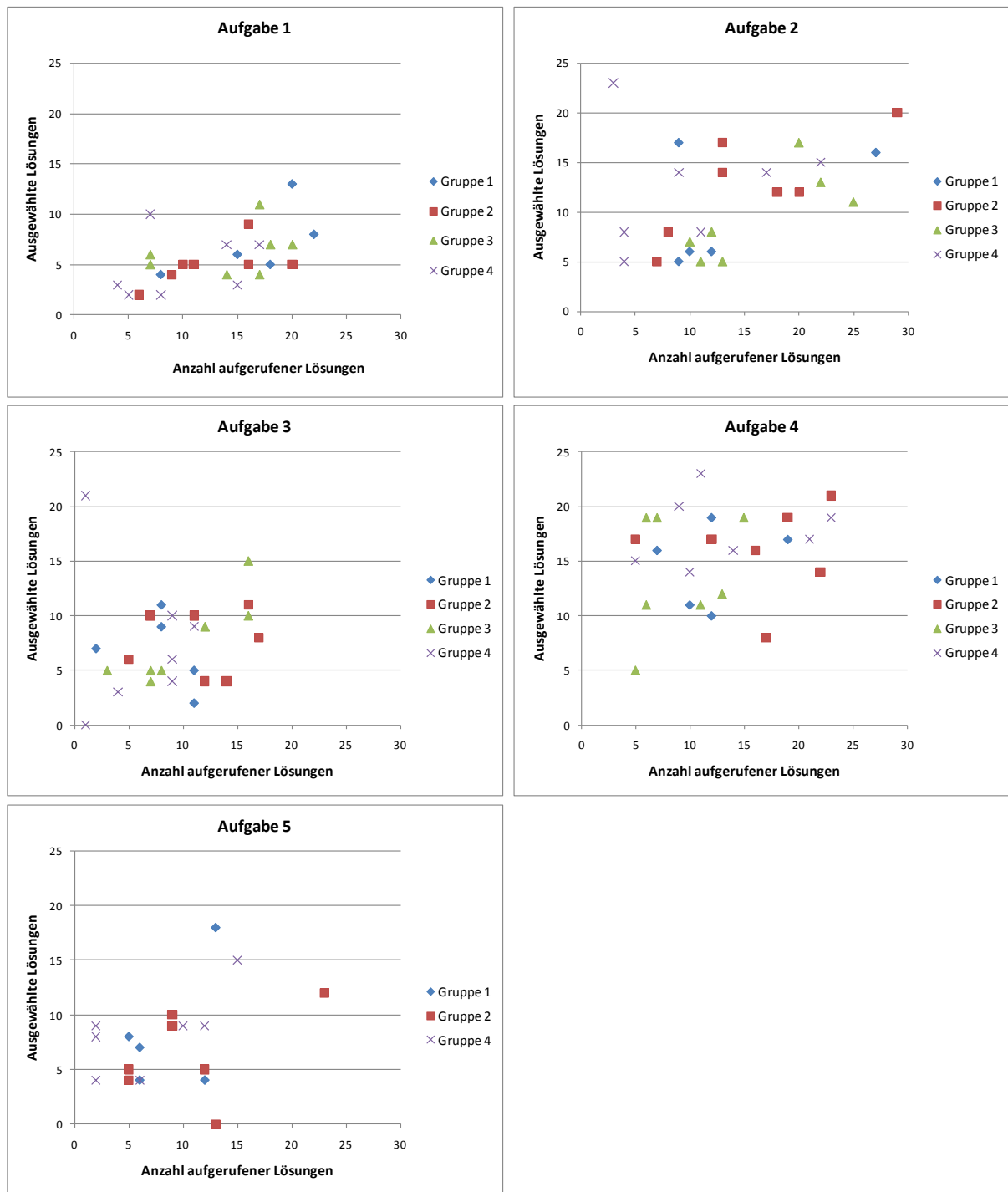


Abb. 11-11: Übersicht über die Anzahl der aufgerufenen Seiten und die Anzahl der ausgewählten Lösungen über alle Gruppen und Aufgaben für die einzelnen Versuchspersonen

Auswertung der Navigationspfade bei der Suche über die Abstraktionsebenen

Zielsystem (Gruppe 4)

Aufgabe 2

	Stud1	Stud2	Stud3	Stud4	Stud5	Stud6	Stud7
Mischung	1	5		3		5	
Fläche	2	2		1	3	3	2
Position				6			
Zusammenhalt			1	4		1	1
Volumen				7		4	
Beweg. Richtung	1			5	2	6	
Geschwindigkeit		3					
Länge		4		2		2	
Anzahl					1		

Aufgabe 3

	Stud1	Stud2	Stud3	Stud4	Stud5	Stud6	Stud7
Position	1	1	3	2		4	4
Orientierung		2		4		3	5
Beweg. Richtung		3	1	1	2	1	1
Geschwindigkeit		4	2	3	4	2	2
Mischung		5	4	6			
Zusammenhalt		6				5	6
Anzahl				5	1		
Fläche				6	3		3

Aufgabe 4

	Stud1	Stud2	Stud3	Stud4	Stud5	Stud6	Stud7
Zusammenhalt	1	3	1		4	2	1
Volumen	2	1	3	1		3	
Mischung		2		5		4	4
Anzahl		4	2	2	1		6
Fläche		5		4	3	1	3
Beweg. Richtung				3	2		
Orientierung				6			
Position				7		5	5
Aggregatzustand				8		6	2

Allg. Funktion (Gruppe 3)

Aufgabe 2

	Stud1	Stud2	Stud3	Stud4	Stud5	Stud6	Stud7
Teilen	1	2	3	3	1		
Mischen	2				5		
Lösen	3	1	2	1	3	3	1
Trennen	4	3	1	2	2	2	2
E&S Trennen	5			4		1	
Vergr. / Verkl.	6	4	5				
Isolieren			4				
Sammeln					4		
Fügen						6	

Aufgabe 3

	Stud1	Stud2	Stud3	Stud4	Stud5	Stud6	Stud7
Leiten	3	1	1	2	1	1	1
Sammeln	1	2		3	2	4	4
Fügen	2			1	6		
Trennen		3	4	4	7	5	5
Wandeln			2			2	6
Lösen			3		4	3	
Mischen				5	3		3
Isolieren				6	5	6	2
Vergr. / Verkl.				7			7

Aufgabe 4

	Stud1	Stud2	Stud3	Stud4	Stud5	Stud6	Stud7
Trennen	1	1	1	1	5	1	5
Vergr. / Verkl.			2		4	3	6
Mischen			3				3
Lösen			4		2		2
Teilen			5			2	4
Wandeln			6		3		
Leiten					1		1

Abb. 11-12: Übersicht über die Reihenfolge der ausgewählten Elemente der Abstraktionsebenen in den Gruppen 3 und 4

12. Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching
Dissertationen betreut von

- Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker,
- Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel und
- Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

- D1 COLLIN, H.:
Entwicklung eines Einwalzenkalanders nach einer systematischen Konstruktionsmethode. München:
TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit
allgemeingültigen Methoden.
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines
Hochleistungsschalter-Antriebs.
München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.
München: TU, Diss. 1977.
- D10 WEBER, J.:
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1978.

- D11 HEISIG, R.:
Längencodierer mit Hilfsbewegung.
München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60).
Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:
Kostenanalyse von Stirnzahnrädern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.
München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren.
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985. Zugl. München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:
Konstruieren als gedanklicher Prozess.
München: TU, Diss. 1985.
- D22 SAUERMAN, H. J.:
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.
München: TU, Diss. 1986.
- D23 HAFNER, J.:
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gussgehäusen.
München: TU, Diss. 1987.
- D24 JOHN, T.:
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.
München: TU, Diss. 1987.

- D25 FIGEL, K.:
Optimieren beim Konstruieren.
München: Hanser 1988. Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess.

Reihe Konstruktionstechnik München

- D26 TROPSCHUH, P. F.:
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1). Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.
- D27 PICKEL, H.:
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2). Zugl. München: TU, Diss. 1988.
- D28 KITTSTEINER, H.-J.:
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen.
München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3). Zugl. München: TU, Diss. 1989.
- D29 HILLEBRAND, A.:
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluss an ein CAD-System.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D30 DYLLA, N.:
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D31 MÜLLER, R.
Datenbankgestützte Teileverwaltung und Wiederholteilsuche.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D32 NEESE, J.:
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D33 SCHAAL, S.:
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation.
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D34 BRAUNSPERGER, M.:
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die Automobilindustrie.
München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D35 FEICHTER, E.:
Systematischer Entwicklungsprozess am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D36 WEINBRENNER, V.:
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D37 WACH, J. J.:
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

- D38 LENK, E.:
Zur Problematik der technischen Bewertung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D39 STUFFER, R.:
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D40 SCHIEBELER, R.:
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D41 BRUCKNER, J.:
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härterei.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D42 WELLNIAK, R.:
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D43 SCHLÜTER, A.:
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D44 WOLFRAM, M.:
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D45 STOLZ, P.:
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D46 STOLL, G.:
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D47 STEINER, J. M.:
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D48 HUBER, T.:
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau.
München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D49 DANNER, S.:
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D50 MERAT, P.:
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25). Zugl. München: TU, Diss. 1996 u. d. T.: MERAT, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem
- D51 AMBROSY, S.:
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D52 GIAPOULIS, A.:
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27). Zugl. München: TU, Diss. 1996.

- D53 STEINMEIER, E.:
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D54 KLEEDÖRFER, R.:
Prozess- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D55 GÜNTHER, J.:
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D56 BIRSACK, H.:
Methode für Krafteinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.
München: TU, Diss. 1998.
- D57 IRLINGER, R.:
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖSSER, R.:
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D64 ASSMANN, G.:
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D66 DEMERS, M. T.
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

- D67 STETTER, R.:
Method Implementation in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D68 VIERTLBÖCK, M.:
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D69 COLLIN, H.:
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D70 REISCHL, C.:
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D71 GAUL, H.-D.:
Verteilte Produktentwicklung - Perspektiven und Modell zur Optimierung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D72 GIERHARDT, H.:
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 46). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D73 SCHOEN, S.:
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D74 BENDER, B.:
Zielorientiertes Kooperationsmanagement.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D75 SCHWANKL, L.:
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D76 WULF, J.:
Elementarmethoden zur Lösungssuche.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D77 MÖRTL, M.:
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D78 GERST, M.:
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 52). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D79 AMFT, M.:
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung.
München: Dr. Hut 2003. (Produktentwicklung München, Band 53). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D80 FÖRSTER, M.:
Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus.
München: TU, Diss. 2003.
- D81 GRAMANN, J.:
Problemmodelle und Bionik als Methode.
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 55). Zugl. München: TU, Diss. 2004.

- D82 PULM, U.:
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 56). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D83 HUTTERER, P.:
Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 57). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D84 FUCHS, D.:
Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 58). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D85 PACHE, M.:
Sketching for Conceptual Design.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 59). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D86 BRAUN, T.:
Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 60). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D87 JUNG, C.:
Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 61). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D88 HEBLING, T.:
Einführung der Integrierten Produktpolitik in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 62). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D89 STRICKER, H.:
Bionik in der Produktentwicklung unter der Berücksichtigung menschlichen Verhaltens.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 63). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D90 NIBL, A.:
Modell zur Integration der Zielkostenverfolgung in den Produktentwicklungsprozess.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 64). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D91 MÜLLER, F.:
Intuitive digitale Geometriemodellierung in frühen Entwicklungsphasen.
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 65). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D92 ERDELL, E.:
Methodenanwendung in der Hochbauplanung – Ergebnisse einer Schwachstellenanalyse.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 66). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D93 GAHR, A.:
Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 67). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D94 RENNER, I.:
Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D95 PONN, J.:
Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D96 HERFELD, U.:
Matrix-basierte Verknüpfung von Komponenten und Funktionen zur Integration von Konstruktion und numerischer Simulation.
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 70). Zugl. München: TU, Diss. 2007.

- D97 SCHNEIDER, S.:
Model for the evaluation of engineering design methods.
München: Dr. Hut 2008 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D98 FELGEN, L.:
Systemorientierte Qualitätssicherung für mechatronische Produkte.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D99 GRIEB, J.:
Auswahl von Werkzeugen und Methoden für verteilte Produktentwicklungsprozesse.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D100 MAURER, M.:
Structural Awareness in Complex Product Design.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D101 BAUMBERGER, C.:
Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten .
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D102 KEIJZER, W.:
Wandlungsfähigkeit von Entwicklungsnetzwerken – ein Modell am Beispiel der Automobilindustrie.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D103 LORENZ, M.:
Handling of Strategic Uncertainties in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2008.
- D104 KREIMEYER, M.:
Structural Measurement System for Engineering Design Processes.
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D105 DIEHL, H.:
Systemorientierte Visualisierung disziplinübergreifender Entwicklungsabhängigkeiten mechatronischer Automobilsysteme.
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D106 DICK, B.:
Untersuchung und Modell zur Beschreibung des Einsatzes bildlicher Produktmodelle durch Entwicklerteams in der Lösungssuche.
Zagl. München: TU, Diss. 2009.
- D107 GAAG, A.:
Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche in der Produktentwicklung.
Zagl. München: TU, Diss. 2010.
- D108 ZIRKLER, S.:
Transdisziplinäres Zielkostenmanagement komplexer mechatronischer Produkte.
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D109 LAUER, W.:
Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen.
Zagl. München: TU, Diss. 2010.
- D110 MEIWALD, T.:
Konzepte zum Schutz vor Produktpiraterie und unerwünschtem Know-how-Abfluss.
TU München: 2010. (als Dissertation eingereicht)