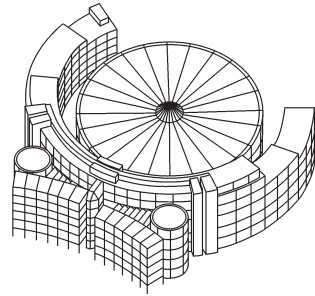


*Berichte aus dem
Produktionstechnischen
Zentrum Berlin*



Carsten Reise

Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung mit Semantik-Web- Wissensbanken



Technische Universität Berlin

Herausgeber: Professor Dr.-Ing. Günther Seliger

Carsten Reise

Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung mit Semantik-Web- Wissensbanken

Produktionstechnisches Zentrum Berlin (PTZ)

 **Fraunhofer**
IPK

WF
Institut für
Werkzeugmaschinen und
Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Kontaktadresse:

Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
Pascalstraße 8-9
10587 Berlin
Telefon 030 39006-0
Fax 030 39110-37
E-Mail info@ipk.fraunhofer.de
URL www.ipk.fraunhofer.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.
ISBN: 978-3-8396-0217-1

D 83

Zugl.: Berlin, TU, Diss., 2011

Druck: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2011

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 800469, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 0711 970-2500
Fax 0711 970-2508
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung mit Semantik-Web- Wissensbanken

Von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme –

der Technischen Universität Berlin

zur Erlangung des akademischen Grades

DOKTOR DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN

– Dr.-Ing. –

genehmigte Dissertation

von Diplom-Wirtschaftsingenieur

Carsten Reise

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

Technische Universität Berlin

Berichter: Prof. Dr.-Ing. Günther Seliger

Technische Universität Berlin

Berichter: Prof. Dr.-Ing. Albert Weckenmann

Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 17. Dezember 2010

Berlin 2011

D 83

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der Technischen Universität Berlin.

Mein erster Dank gilt den Mitgliedern des Promotionsausschusses. Herrn Prof. Dr.-Ing. Günther Seliger, dem Leiter des Fachgebiets Montagetechnik und Fabrikbetrieb am IWF, danke ich herzlich für die fachliche Betreuung und Förderung meiner Arbeit und für die anregenden Diskussionen der vergangenen fünf Jahre. Herrn Prof. Dr.-Ing. Albert Weckenmann, Leiter des Lehrstuhls Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, danke ich für die Übernahme des Koreferates und die interessanten Diskurse während der Entstehung dieser Arbeit. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann, Leiter des Fachgebietes Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik des IWF, bedanke ich mich für die Übernahme des Prüfungsausschussvorsitzes und das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse.

Mein zweiter Dank gilt den Kollegen und Mitarbeitern des Produktionstechnischen Zentrums Berlin, deren Unterstützung und vertrauensvolle Zusammenarbeit in Forschung und Lehre maßgeblich zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben. In fachlicher Hinsicht gilt insbesondere denen Dank, die mit mir den Studiengang Global Production Engineering ausgebaut haben, und denen, die die Forschung zu Semantik-Web-Technologien am Fachgebiet eingeführt haben. Durch ihr Engagement und ihre gewissenhafte Mitarbeit haben mir in der Erstellung der Arbeit die studentischen Hilfskräfte Robert Misterek, Daniel Bagheri-Azarfam und Roberto Cabezas sehr geholfen.

Mein dritter Dank gebührt meiner Familie und meinen Freunden. Meinen Eltern, Heidemarie und Günter Reise, danke ich für ihre Unterstützung und Förderung in allen Lebenslagen und meinem Sohn Anton für seine Lebensfreude, die mir täglich Motivation war. Meiner Frau, Elena Osuna, gilt mein besonderer Dank, vor allem für die Geduld und den Rückhalt, die sie mir auch in Zeiten hoher Arbeitsbelastung entgegenbrachte.

Berlin, Januar 2011

Carsten Reise

Abstract in Deutsch und Englisch

Die Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierungsprozesse erfolgt heute in einem dynamischen Umfeld und beinhaltet zahlreiche wissensintensive Aufgaben. Ziel der Arbeit war es, die Qualität der Qualifizierungsentscheidungen durch die Bereitstellung von hochwertigen Qualifikationsinformationen für alle Stakeholder des Bildungsmarktes zu verbessern. Es wurde der Ansatz verfolgt, sogenannte Learning Outcomes (LO) zur Qualifikationsrepräsentation und Semantik-Web-Technologien für die Verarbeitung der Qualifikationsinformationen zu nutzen.

Die erforderlichen Prozesse zur verbesserten Informationsbereitstellung umfassen die Erstellung, Speicherung und Identifizierung von Qualifikationsprofilen, insbesondere von Lehrveranstaltungen und Lernziel-Profilen. Außerdem beinhalten sie die Analyse von Qualifikationsbündeln und Synthese von Einzelqualifikationen für den jeweiligen Abgleich mit übergeordneten Qualifikationsprofilen.

Zur Erstellung von Qualifikationsprofilen wurde das sogenannte Plotin-Modell entwickelt, das ein einheitliches Verständnis von Lernzielen und Lernergebnissen für alle Akteure am Bildungsmarkt schafft. Die Qualifizierungsleistung wird durch LO definiert. Sie stellen die nachgewiesene Handlungsfähigkeit am Ende einer Lernaktivität dar und zeichnen sich durch hohe Ausdrucksstärke in einer auf natürlicher Sprache basierenden Struktur aus.

Zur Speicherung und Identifizierung verteilter LO-Informationen wurde eine Semantik-Web-Wissensbank entwickelt, die auf dem Plotin-Konzept basiert. Den Kern der Wissensbank bildet eine Ontologie, in der das strukturelle Wissen über didaktische und produktionstechnische Wissensdomänen maschinenverständlich hinterlegt ist. Mit Metadaten annotierte Qualifikationsprofile bilden das Datenfundament der Wissensbank. Mit der Software-Anwendung Learning-Outcomes-Generator wurde ein Werkzeug entwickelt, um LO-Beschreibungen zu erstellen, automatisch zu annotieren und online zu veröffentlichen.

Intelligente Agenten nutzen das World-Wide-Web-Informationsreservoir der Wissensbank zur Analyse und Synthese von Qualifikationsprofilen. In exemplarischen Anwendungen für den internationalen Masterstudiengang Global Production Engineering wurde nachgewiesen, dass intelligente Agenten das Potential haben, die Transparenz in der Planung von Produkten und Prozessen des Bildungsmarkts durch gezielte Informationsbereitstellung zu erhöhen.

Schon durch geringe Steigerungsraten der Effizienz und Effektivität von Lernwegen und Lehrprozessen ergeben sich in einem globalisierten Bildungsmarkt enorme finanzielle Potentiale für intelligente Agenten. Die Verbreitung der Semantik-Web-Technologien wird entsprechende Software-Werkzeuge künftig befähigen, die Mobilität der Lernenden zu fördern, die Modularität der Ausbildung zu stärken, Bildungssysteme horizontal und vertikal durchlässiger zu gestalten, die Planung von Qualifikationsprozessen zu unterstützen und Lehrveranstaltungen ergebnisorientiert vergleichbar zu machen.

Today the planning of qualification processes in the engineering field takes place in a dynamic environment and includes plenty of knowledge intensive tasks. The aim of this work was to provide high value information about qualifications to all stakeholders in the education market and as a result improve the quality of their decisions in learning, teaching and administrative processes. An approach was adopted that used so-called Learning Outcomes for the qualification representation and semantic web technologies for the processing of the qualification information.

The processes, which are needed to improve the provision of high value information about qualification, embrace the creation, storage and identification of qualification profiles, especially for courses and personal profiles. They also include the analysis of qualification bundles and the synthesis of single qualification statements in order to align them with super ordinate qualification profiles.

For creating qualification profiles, the so-called Plotin-model has been developed, which establishes a shared understanding of learning aims and learning results for all stakeholders in the educational market. The performance shown in the qualification process is defined through so-called Learning Outcomes (LO). They describe the proven ability to fulfill a task at the end of a learning activity and are featured by high expressiveness based on natural language.

For identifying and storing distributed LO-information a semantic-web-knowledge-base has been developed, which is based on the Plotin-model. The core of the knowledge base is an ontology, in which the structural knowledge above didactical and production-technological knowledge domains is deposited in a machine processable way. With the aid of metadata, annotated qualification profiles build the foundation of the knowledge base. With the software application called LOG, a tool was developed, to create LO-statements, annotate them automatically and publish them online.

Intelligent agents use the www-information-reservoir of the knowledge base, to analyze and synthesize qualification profiles. Examples of applications in the international masters program, Global Production Engineering, proved that, by providing unambiguous qualification information, intelligent agents can increase transparency in the planning of products and processes in the education market.

Even small improvements in efficiency and effectiveness of learning paths and teaching processes lead, in a globalized education market, to enormous financial potential for intelligent agents. In the future the dissemination of semantic-web-technologies will enable corresponding software tools to boost the mobility of students, strengthen the modularity of teaching programs, achieve a higher horizontal and vertical permeability of educational systems, support the planning of learning paths and make classes comparable based on their outcome.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Ziel der Arbeit und Vorgehensweise	4
2	Stand der Forschung und Technik	7
2.1	Planung produktionstechnischer Qualifizierung	7
2.1.1	Qualifikation und Kompetenz.....	7
2.1.2	Lernen.....	12
2.1.3	Lehren.....	13
2.1.4	Lehre planen	16
2.1.5	Lernerfolg ermitteln	17
2.1.6	Politische Prozesse	21
2.1.7	Betriebswirtschaftliche Prozesse	22
2.2	Semantik-Web-Technologien.....	29
2.2.1	Wissensbasierte Systeme	29
2.2.2	Das Semantik-Web.....	32
2.2.3	Ontologien	41
2.2.4	Entwicklungsmethoden	43
2.3	Lösungsansätze zur Qualifikationsdarstellung.....	47
2.3.1	Kompetenz- und Qualifikationsmodelle	47
2.3.2	Anrechnung von Qualifikationen	48
2.3.3	Klassische Datenbanksysteme	49
2.3.4	Metadaten-Standards für Qualifikationsbeschreibungen	53
2.3.5	Qualifikationsontologien.....	54
2.3.6	Zusammenhänge zwischen Qualifikationen	60
3	Handlungsbedarf.....	64
4	Konzeptentwicklung	68
4.1	Auswahl einer Methodik.....	68
4.2	Planung der Durchführung.....	72
4.3	Spezifikation des Anwendungsfeldes	75
4.3.1	Lernwegplanung (Lernende).....	79
4.3.2	Produktvermarktung (Bildungsmarketing)	81
4.3.3	Lehrveranstaltungsplanung (Lehrende).....	82
4.3.4	Curriculumplanung (Dekan).....	82
4.3.5	Qualifikationsanerkennung (Prüfungsamt)	83

4.3.6	Qualitätsplanung (Qualifikationsmanagement/Akkreditierung)	83
4.3.7	Anforderungen an Planungswerkzeuge	84
4.3.8	Ergebnisse der Spezifikation	86
4.4	Konzeptionalisierung der Ontologien	90
4.4.1	Glossar	90
4.4.2	Didaktische Konzepttaxonomien	91
4.4.3	Klassifikation ingenieurwissenschaftlicher Lehrinhalte	108
4.4.4	Aufbau von binären Relationen	108
4.4.5	Konzeptwörterbuch	110
4.4.6	Beschreibung der Axiome und Regeln	110
4.4.7	Beschreibung der Instanzen	112
4.5	Formalisierung	113
4.5.1	Formale Semantik	113
4.5.2	Abfrage von implizitem Wissen	117
4.5.3	Werkzeuge	119
4.6	Implementierung	122
4.6.1	LO-Ontologie	123
4.6.2	Wissensinhalte-Ontologie	123
4.6.3	Qualifikationsprofil-Ontologie	124
4.6.4	Bildungsinstitutionenspezifische Wissensontologien	125
4.6.5	Schnittstelle zum Arbeitsmarkt und Zusammenfassung	125
5	Umsetzung und Verifikation	127
5.1	Beschreibung des Anwendungsfeldes	127
5.2	Aufbau der Plotin-Wissensbank	128
5.2.1	Schlussfolgern	130
5.2.2	Einordnung von Qualifikationen in Anforderungsprofile	131
5.3	Learning Outcomes Generator (LOG)	133
5.3.1	Softwarearchitektur	133
5.3.2	LO-Generierung	134
5.4	LO-basierte Evaluation	136
6	Kritische Würdigung und Zukunftsperspektiven	139
6.1	Nutzen und Risiken	139
6.2	Verwertungsperspektiven	140
6.3	Forschungsperspektiven	143
7	Zusammenfassung	145
8	Literaturverzeichnis	148

9	Anhang	i
9.1	Plotin-Wissensbank	i
9.1.1	Semi-informale Strukturtabelle	i
9.1.2	Semi-informale Verbenliste	ii
9.1.3	Semi-informale Vorlesungsinhaltetabelle	iv
9.1.4	Auszüge aus dem OWL-Sourcecode	vi
9.1.5	Protégé-Screenshots	vii
9.2	LOG	ix
9.3	Glossar	xii

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Gültigkeitsdauer des Wissens (nach [Pra-02])	1
Abbildung 2-1: Einflussgrößen des menschlichen Verhaltens (nach [Ros-03])	8
Abbildung 2-2: Eisberg-Modell der Kompetenz (nach [Kön-00])	10
Abbildung 2-3: Wissenstreppe (nach [Reh-96] u. [Nor-99])	11
Abbildung 2-4: Lernzyklen im Ingenieurwesen (in Anlehnung an [Hof-05])	13
Abbildung 2-5: Prozessmodell der Planung von Lehrveranstaltungen (nach [Smi-99])	16
Abbildung 2-6: Richt-, Grob-, Feinziele	17
Abbildung 2-7: Perspektiven auf den Lern-Lehrprozess (nach [Big-05])	18
Abbildung 2-8: Zusammenhang zwischen Input, Output und Outcome (nach [See-00])	19
Abbildung 2-9: Produktivität und Qualität in Qualifizierungsprozessen	20
Abbildung 2-10: Arbeitszeit- und ergebnisorientierte Anrechnungsverfahren	22
Abbildung 2-11: Referenzmodell des integrativen Kompetenzmanagements (nach [Mey-06])	24
Abbildung 2-12: Wettbewerbs-Qualifikationsportfolio (nach [Rei-08])	26
Abbildung 2-13: Nachhaltigkeits-Qualifikationsportfolio (nach [Rei-08])	26
Abbildung 2-14: Prozessmodell formaler Qualifizierung (nach [ISO-9001])	27
Abbildung 2-15: Basis eines wissensbasierten Systems (in Anlehnung an [Kur-92])	29
Abbildung 2-16: Darstellung einfacher Strukturen in RDF und RDF(S)	36
Abbildung 2-17: Beispiele von Klassen und Properties mit komplexen Beziehungen	38
Abbildung 2-18: Übersicht Learning Object Metadata	40
Abbildung 2-19: Nutzen von Ontologien im semiotischen Dreieck	43
Abbildung 2-20: Vorgehensmodell nach USCHOLD UND KING [Ush-95]	43
Abbildung 2-21: Akademische Kompetenzfelder (nach [Mei-05])	48
Abbildung 2-22: Vergleich von Lernergebnissen der Aus- und Weiterbildung (nach [Ruf-08])	49
Abbildung 2-23: Innomet-Dokumentenperspektive (nach [Inn-06])	50
Abbildung 2-24: Screenshot der Eingabeoberfläche des Differentiators [Dif-10a]	52
Abbildung 2-25: Screenshot der KOWIEN-Ontologie [Ala-04]	56
Abbildung 2-26: Screenshot aus dem Metamodell zum Vergleich von Ausbildungssystemen [Dem-07]	57
Abbildung 2-27: Modellierung von Lehrinhalten als Wissens Elemente in Lernzielen (nach [Sta-06])	58
Abbildung 2-28: Hierarchische, LO-basierte Qualifikationszusammenhänge	60
Abbildung 2-29: Vergleich der taxonomischen Ähnlichkeit (nach [Bie-06])	61
Abbildung 4-1: Methontology-Architektur	73
Abbildung 4-2: Teilnehmer des Bildungsmarktes und ihre Interessen	75
Abbildung 4-3: Stakeholder-Perspektive auf die Planung von Qualifizierung	76
Abbildung 4-4: Informationstechnologische Perspektive des PLOTIN-Konzeptes (in Anlehnung an [Gom-04])	77
Abbildung 4-5: Planungsprozessperspektive des Plotin-Konzeptes	88
Abbildung 4-6: Aufgaben der Konzeptionalisierung im Middle-Out-Ansatz (nach [Fer-99])	90
Abbildung 4-7: Klassifikation unterschiedlicher Qualifikationsdimensionen	93
Abbildung 4-8: Häufigkeit von Aufgaben in einem semantischen Netz	99
Abbildung 4-9: Beziehungen zwischen den Wissensarten	100
Abbildung 4-10: Politisch-organisatorische Bildungsebenen	101
Abbildung 4-11: Der EQR als Referenzrahmen von Qualifikationsprofilen	103
Abbildung 4-12: Architektur der Qualifikationsprofile	107

Abbildung 4-13: Binäre Relationen zwischen den Klassifikationsbäumen mentaler Prozess, Wissen und Leistungsindikator	109
Abbildung 4-14: Binäre Relationen zwischen LO-Ontologie und QR-Ontologie	110
Abbildung 4-15: PLOTIN-Ontologiearchitektur	122
Abbildung 4-16: Relationen zwischen LO-Ontologie und Wissensontologie.....	123
Abbildung 4-17: Semantisches, LO-basiertes Qualifikationsnetz.....	126
Abbildung 5-1: Plotin Software-Framework	129
Abbildung 5-2: Screenshot der Protégé-Eingabeoberfläche	130
Abbildung 5-3: Screenshot über die automatisierte Schlussfolgerung von MFP-LO zum SEEC-QR	132
Abbildung 5-4: LOG-Architektur	134
Abbildung 5-5: Screenshot der LOG-Eingabemaske	135
Abbildung 5-6: Evaluation von Kundengruppen am Beispiel des internationalen Masterstudiengangs GPE.....	136
Abbildung 5-7: Semi-automatisierter GPE-Evaluationsprozess mit Unizensus-Software (in Anlehnung an [Her-09])	138
Abbildung 6-1: Darstellung der Modulbeschreibung von UNIGRAZonline (nach [GRA-10])	142
Abbildung 9-1: Screenshot des OWL-Sourcecodes der Plotin-Ontologie	vi
Abbildung 9-2: Screenshot der LO-Kernontologie.....	vii
Abbildung 9-3: Screenshot der Wissensobjektontologie Manufacturing and Factory Planning	viii
Abbildung 9-4: Screenshot der LOG-Eingabemaske Startseite	ix
Abbildung 9-5: Screenshot der LOG-Eingabemaske Verbenauswahl	x
Abbildung 9-6: Screenshot der LOG-Eingabemaske Leistungsindikatorauswahl	xi

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Aufbau und Inhalt der Arbeit.....	5
Tabelle 2-1: Didaktische Dimensionen (nach [Bau-07])	14
Tabelle 2-2: Die CELG-Taxonomietafel (nach [May-10])	51
Tabelle 2-3: IMS Learner Information Package [IMS-02a]	53
Tabelle 2-4: Zusammenfassung von LO zu LO-Bündeln (nach [Hof-08a])	62
Tabelle 2-5: Bewertung der Ansätze zur Planung produktionstechnischer Qualifikation	63
Tabelle 4-1: Übersicht über die Anforderungen an eine Vorgehensweise zur Ontologieentwicklung	69
Tabelle 4-2: Bewertungsmatrix zur Auswahl einer Vorgehensweise für die Ontologieerstellung	71
Tabelle 4-3: Potentiale zur verbesserten Aufgabenausführung im Bildungsmarkt.....	85
Tabelle 4-4: Qualifikationsdimensionen	92
Tabelle 4-5: Ansätze zur Beschreibung kognitiver Dimensionen	94
Tabelle 4-6: Lernzieltaxonomie für den affektiven Bereich (nach [Kra-75])	95
Tabelle 4-7: Übersicht über Taxonomien im psychomotorischen Bereich	96
Tabelle 4-8: Struktur der Lernzieltaxonomien in der kognitiven, affektiven und psychomotorischen Dimension	97
Tabelle 4-9: Leistungsdimensionen.....	98
Tabelle 4-10: Niveauindikatoren in Qualifikationsrahmen mit Bezug zu produktionstechnischer Qualifizierung.	105
Tabelle 4-11: Relationen zwischen LO und Niveauindikatoren von QR unterschiedlicher Bildungsebenen	106
Tabelle 4-12: Beispiele von Regeln der PLOTIN-Ontologie.....	111
Tabelle 4-13: Beschreibungslogiken und ihre Sprachkonstrukte (nach [Baa-03])	116
Tabelle 4-14: Bewertung von Ontologieeditoren	120
Tabelle 4-15: Vergleich von Reasonern (nach [Schil-07]).....	121
Tabelle 9-1: Auszug aus der semi-informalen Strukturtabelle.....	i
Tabelle 9-2: Liste von Verben der affektiven Dimension.....	ii
Tabelle 9-3: Liste von Verben der kognitiven Dimension	iii
Tabelle 9-4: Screenshot der Wissensdomäne Technologiebewertung	iv
Tabelle 9-5: Screenshot der Wissensdomäne Produktionsplanung.....	v

Abkürzungsverzeichnis

ABET	Accreditation Board for Engineering and Technology
DQRH	Deutscher Qualifikationsrahmen für Hochschulabschlüsse
DQRLLL	Deutscher Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen
ECTS	European Credit Transfer and Accumulation System
ECVET	European Credit Transfer System for Vocational Education and Training
EQR	Europäischer Qualifikationsrahmen
EQRH	Europäischer Qualifikationsrahmen für den Hochschulraum
EQRLLL	Europäischer Qualifikationsrahmen für Lebenslanges Lernen
ERM	Entity-Relationship-Modell
GPE	Global Production Engineering
HAS	Hochschuladministrationssystem
HTML	Hypertext Markup Language
http:	Hypertext Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IMS	Instructional Management System
ISCED	International Standard Classification of Education
ISO	International Organization for Standardization
LO	Learning Outcomes
LOG	Learning Outcome-Generator
LOM	Learning Object Metadata
LTSC	Learning Technology Standards Committee
LP	Leistungspunkte
MF	Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb
MFP	Manufacturing and Factory Planning
MRP	Manufacturing Resource Planning
NQR	Nationaler Qualifikationsrahmen
OWL	Web Ontology Language
Plotin	Planung mit Learning Outcomes im Ingenieurwesen
QM	Qualifikationsmanagement
QR	Qualifikationsrahmen
RDCEO	Reusable Definition of Competency or Educational Objective
RDF	Resource Description Framework
RDF(S)	RDF-Schema
SEEC	Southern England Consortium for Credit Accumulation and Transfer
SWRL	Semantic Web Rule Language
SWW	Semantik-Web-Wissensbank
URI	Uniform Resource Identifier
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
W3C:	World Wide Web Consortium
WWW	World Wide Web
4ING	Zusammenschluss der vier deutschen Fakultätentage Bauingenieurwesen und Geodäsie, Elektro- und Informationstechnik, Informatik sowie Maschinenbau und Verfahrenstechnik

1 Einleitung

1.1 Motivation

Bildung ist die Quelle allen Wohlstandes. Sie ist die wichtigste Ressource industrialisierter Staaten und die einzige, die sich durch Teilung vermehrt. Gleichzeitig ist Bildung ein volatiles Gut, dessen Wert sich mit der technologischen Entwicklung wandelt. Die Globalisierung und die damit einhergehende Innovationsgeschwindigkeit führen zu einer hohen Dynamik des Produktmarktes. Dies resultiert in rasanten Veränderungen der beruflichen und gesellschaftlichen Qualifikationsanforderungen an die Menschen. Die Relevanz von Fachwissen zur Bewältigung beruflicher Anforderungen hat in vielen Wirtschaftsbereichen eine Halbwertszeit von weniger als zwei Jahren, die Relevanz technologischen Wissens halbiert sich teilweise innerhalb eines Jahres (vgl. Abbildung 1-1) [Pra-02]. Ein produktives Mitwirken in der Gesellschaft erfordert daher die ständige Überprüfung der eigenen Qualifikation und deren Anpassung an die Umwelt.

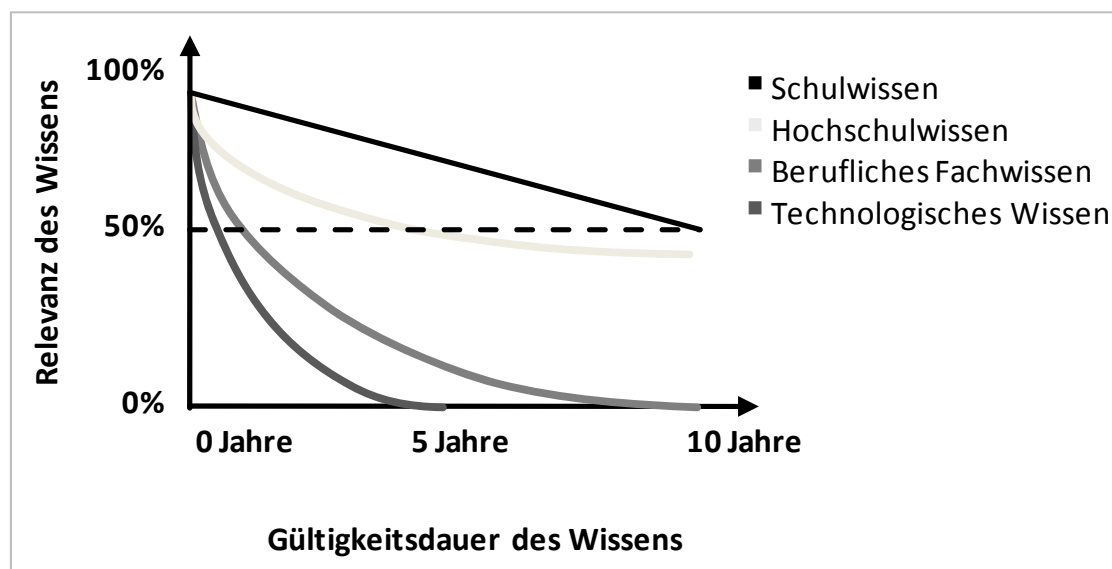


Abbildung 1-1: Gültigkeitsdauer des Wissens (nach [Pra-02])

Politische Institutionen haben in den vergangenen Jahren Reformen zur Schaffung eines europäischen Bildungsraums mit einheitlichen Standards auf den Weg gebracht. Damit wächst Europa zu einem der größten Bildungsmärkte der Welt heran. Private Bildungsanbieter drängen in Marktbereiche vor, die bisher staatlichen Bildungsinstitutionen vorbehalten waren. Die Politik will auch künftig den damit verbundenen Wettbewerb und die Diversität der Angebote fördern [EU-06]. Bildungsinstitutionen und ihre Kunden stehen damit einem sich über nationale Grenzen öffnenden Markt mit neuen Dimensionen in Angebot und Nachfrage von Bildungsleistungen gegenüber. Gleichzeitig erfordern die Marktbedingungen von beiden Gruppen die kontinuierliche Anpassung der Qualifizierungsleistungen. Die

Komplexität der Qualifizierungsprozesse steigt und damit die Bedeutung der Planung von Qualifizierung.

Zentralistisch geprägte Planungsansätze sind vielfach zu unflexibel, um bedarfsgerecht Lösungen für aktuelle Herausforderungen zu geben. Dezentrale Planungsprozesse von Qualifizierungsangebot und -nachfrage werden der Dynamik des Marktes besser gerecht. Sie führen u. a. zu einer schnelleren Reaktionsfähigkeit auf Technologie- und Arbeitsmarkttrends, eine erhöhte Motivation des Lernenden durch hinzugewonnene Verantwortung und eine besseren Lernproduktivität durch individuell abgestimmte Ziele [Mey-06].

Lebenslanges Lernen erfordert vom Lernenden die Fähigkeit seinen Lernweg individuell zu planen. Eine traditionelle Ausrichtung des Lernwegs, die sich an den Qualifikationsprofilen sozialer Bezugspersonen orientiert, ist hier nicht mehr ausreichend. Eine erfolgversprechende Planung von Qualifizierungsprozessen bedarf der Gestaltung des Zielsystems durch eine eigenständige Analyse der derzeitigen und künftigen Tätigkeitsfelder sowie der darin geforderten Qualifikationen, der Wettbewerber und der Halbwertszeit von Qualifikationen. Für die Identifikation von Maßnahmen zur zielgerichteten Qualifizierung sind Prozesse erforderlich, die u. a. den Abgleich von Lernzielen mit dem aktuellen Qualifikationsprofil, die Zusammenfassung von Qualifikationen in zertifizierten, übergreifenden Qualifikationsprofilen und die Identifikation und Bewertung von Lehrveranstaltungen umfassen.

Die Identifikation einer geeigneten Lehrveranstaltung innerhalb des europäischen Bildungsraums ist in vielen Disziplinen durch eine unüberschaubare Anzahl von Lehrangeboten erschwert. Zusätzlich wird die Bewertung von Leistungsangeboten vielfach durch ungenügende Produktbeschreibungen gehemmt. Die Planung von Qualifizierung ist durch eine Vielzahl von Prozessen und Einflussgrößen gekennzeichnet, die insgesamt zu einem hohen Maß an Unsicherheit führen. Die Entscheidung über die Nachfrage nach Qualifizierungsprozessen ist zu einer wissensintensiven Aufgabe in einem komplexen Umfeld geworden. Um die Markttransparenz zu erreichen, die für eine Qualifikationsentscheidung wünschenswert wäre, fehlen vielen Personen die für eine umfassende Recherche erforderlichen Ressourcen.

Aber auch Bildungsinstitutionen stehen durch veränderte Wettbewerbsbedingungen vor neuen Herausforderungen. Neben Anbietern qualitativ hochwertiger Lehre etablieren sich im internationalen Markt zunehmend Wettbewerber geringer Lehrqualität, sogenannte „Degree Mills“, die formal gleiche Bildungsabschlüsse anbieten [Bro-06]. Qualitativ hochwertige Bildungsangebote bedürfen der Transparenz und Vergleichbarkeit, um erfolgreich am Markt bestehen zu können. Eine objektive Bewertung von Leistungen garantiert das Funktionieren

des Marktes [Ake-70]. Zusätzlich erwarten Nachfrager heute Bildungsprogramme, die Mobilität im globalen Rahmen ermöglichen, modular aufgebaut sind und deren Qualifizierungsleistung mit den Tätigkeitsanforderungen der Gesellschaft übereinstimmt. Dies erfordert von Bildungsanbietern die Beschreibung der im Produkt enthaltenen Wertschöpfung. Eine Sprache, die ein einheitliches Verständnis von Lernzielen, Lernaktivitäten und nachgewiesenen Lernergebnissen für alle Akteure am Bildungsmarkt schafft, kann die entsprechende Markttransparenz fördern. Die Didaktik bietet hier praxiserprobte Ansätze zur Qualifikationsrepräsentation im Hochschulbereich, die an die Ingenieurausbildung im formalen und informellen Bereich angepasst werden können.

Für wissensintensive Aufgaben in einem komplexen Umfeld hat die moderne Informations- und Kommunikationstechnologie heute vielversprechende Lösungsansätze. Der Siegeszug des World Wide Web (WWW) garantiert die einfache Veröffentlichung von elektronischen Medien und den zeitlich und räumlich unabhängigen Zugriff auf ein gewaltiges Informationsreservoir. Zusätzlich ermöglicht die Rechenleistung von Computern heute die Lösung komplizierter Algorithmen und die Verarbeitung großer Datenmengen. Die Zusammenführung von Erkenntnissen der Forschung über künstliche Intelligenz mit dem Informationsreservoir des WWW begründen die Entwicklung des Semantik Webs [Hit-08]. Eine Semantik-Web-Wissensbank bietet im Vergleich zu herkömmlichen Expertensystemen einheitliche offene Standards. Dies ermöglicht es, Informationen aus unterschiedlichen Quellen zu integrieren und sie zwischen unterschiedlichen Anwendungen und Plattformen auszutauschen. Expertenwissen über Teilbereiche der Welt wird mit Hilfe von formalen Repräsentationssprachen modelliert und über deren Semantik für Maschinen zugänglich gemacht. Die Repräsentationssprachen basieren auf formaler Logik. Maschinen nutzen die Repräsentationsmodelle, um das darin enthaltene Wissen auf die Informationen des WWW anzuwenden [Ant-08]. Damit können semantisch eindeutige Ergebnisse aus der Fülle des WWW-Informationsreservoirs gefiltert werden. Implizit vorliegende Informationen können durch die Schlussfolgerungen von Inferenzmaschinen in explizite transformiert werden. Mit Hilfe der Wissensbasis und anwendungsspezifischer Algorithmen werden wissensintensive Aufgaben, wie beispielsweise die Identifikation und Bewertung von Qualifikationsprofilen, durch automatisierte Systeme unterstützt [Hit-08].

Durch die Nutzung der Semantik-Web-Potentiale in Verbindung mit einer formalen, outcomebasierten Qualifikationsdarstellung kann die Planung produktionstechnischer Qualifizierung durch transparente Darstellung und automatisierte Verarbeitung von Qualifikationsinformationen verbessert werden. Informationen werden maschinenverarbeitbar und damit Anwendungen möglich, die die Marktteilnehmer mit Informationen über die Qualität und Produktivität von Lehrveranstaltungen versorgen.

1.2 Ziel der Arbeit und Vorgehensweise

Anbieter und Nachfrager ingenieurwissenschaftlicher Bildungsleistungen erhalten vermehrt die Chance, Qualifizierungsprozesse eigenständig zu planen. Dabei werden sie mit zahlreichen wissensintensiven Aufgaben konfrontiert. Entscheidungen, die auf unvollständigen Informationen basieren, beinhalten ein hohes Maß an Unsicherheit. Ziel der Arbeit ist es, die Qualität der Qualifizierungsentscheidungen durch die Bereitstellung von vollständigeren und relevanteren Qualifikationsinformationen für alle Stakeholder des Bildungsmarktes zu verbessern. Dafür soll erstens ein Modell zur aussagekräftigen Darstellung von ingenieurwissenschaftlichen Qualifikationen geschaffen werden. Zweitens sollen die Potentiale moderner Informations- und Kommunikationstechnologien erschlossen werden. Tabelle 1-1 gibt einen Überblick über die Vorgehensweise zur Erreichung dieser Ziele.

Kapitel 2 gliedert sich in die Erklärung grundlegender Begriffe und Zusammenhänge der Ingenieurdidaktik und der Semantik-Web-Technologien. Außerdem werden Lösungsansätze zur Darstellung und Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung vorgestellt. Zuerst werden Konzepte zur Beschreibung von menschlicher Handlungsfähigkeit und Lernprozessmodelle auf ihren Beitrag zur *Qualifikationsrepräsentation im Ingenieurwesen* untersucht. Es wird analysiert, in welchen Prozessen des Qualifizierungsmanagements Aussagen über Qualifikationen und deren Erwerb erforderlich sind. *Semantik-Web-Technologien* werden von klassischen Softwareanwendungen abgegrenzt, um die Potentiale der Technologie zu verdeutlichen. Der Ursprung der Technologie wird vorgestellt und die entstandene Struktur der Wissensrepräsentationssprachen analysiert. Modelle zur gemeinsamen Nutzung von Wissen durch Mensch und Maschine werden auf ihre Anwendbarkeit untersucht und Vorgehensweisen zu ihrer Implementierung beleuchtet. Abschließend werden aktuelle *Lösungen aus Forschung und Praxis* zur Planung von Qualifizierung präsentiert. Qualifikationsmodelle werden auf ihren Repräsentationsgrad hinsichtlich inhaltlicher, prozessualer und leistungsbezogener Aspekte untersucht. Softwareanwendungen zur Identifikation, Dokumentation, Analyse und Synthese von Qualifikationsbeschreibungen werden im Hinblick auf ihre informationstechnische Struktur und ihre Anwendbarkeit für die Qualifizierung im Ingenieurwesen bewertet.

In Kapitel 3 wird der Handlungsbedarf dargelegt, um die Potentiale der Ingenieurdidaktik und Informationstechnik für eine verbesserte Planung produktionstechnischer Qualifizierung zu nutzen. Durch Semantik-Web-Technologien können intelligente Agenten befähigt werden, Planungsprozesse zu unterstützen. Dies erfordert die Darstellung von Qualifikation durch Learning Outcomes und deren Speicherung in einer Semantik-Web-Wissensbank.

	Aktivität	Ergebnis
Kapitel 2 Stand der Technik	• Analyse von Begriffen und Prozessen der Ingenieurdidaktik und der Semantik-Web-Technologien • Analyse bestehender Ansätze zur Repräsentation von Qualifikation und zur informationstechnisch gestützten Planung von Qualifizierung	• Defizite der bestehenden Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung • Potentiale der Repräsentation von Qualifikation durch Learning Outcomes • Potentiale moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)
Kapitel 3 Handlungsbedarf	• Zusammenfassung der Defizite und Potentiale • Analyse der Anforderungen an ein System zur outcomebasierten Qualifizierungsplanung mit Hilfe von Semantik-Web-Technologien	• Anforderungen an ingenieurwissenschaftliche Qualifikationsmodelle • Anforderungen an wissensbasierte Lösungen zur Qualifizierungsplanung
Kapitel 4 Konzeptentwicklung	• Bestimmung der Vorgehensweise zur Systementwicklung • Spezifikation der wissensintensiven Aufgaben • Konzeption und Formalisierung eines Modells zur Qualifikationsrepräsentation und -planung • Analyse und Auswahl der formalen Wissensrepräsentationssprache und ihrer Modellierungswerkzeuge	• Repräsentation eines formalen Qualifikationsmodells zur Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung mit Hilfe von Semantik-Web-Ontologien
Kapitel 5 Umsetzung	• Vorstellung eines Anwendungsbeispiels • Aufbau der Semantik-Web-Wissensbank • Erstellung eines Werkzeuges zur Darstellung von Learning Outcomes und zur Generierung von Metadaten • Anwendung der Ontologien in der Evaluation	• Fertigstellung und Test der Semantik-Web-Wissensbank und des Learning Outcomes-Generators
Kapitel 6 Kritische Würdigung und Perspektiven	• Kritische Würdigung des Ansatzes • Analyse der Forschungsperspektiven • Analyse der wirtschaftlichen Potentiale	• Chancen und Risiken der Anwendung • Beschreibung der wirtschaftlichen Potentiale

Tabelle 1-1: Aufbau und Inhalt der Arbeit

Kapitel 4 beschreibt das Konzept zur Umsetzung des Handlungsbedarfs. Zuerst wird eine Vorgehensweise zum Entwurf von formalen Wissensrepräsentationen ausgewählt. Es werden die Stakeholder des Bildungsmarktes bestimmt. Die Prozesse der Qualifizierungsplanung werden aus unterschiedlichen Marktperspektiven betrachtet und die Potentiale für eine Prozessverbesserung durch Software-Anwendungen untersucht. Eine outcomebasierte

Qualifikationsrepräsentationssprache wird entwickelt, die den Stakeholdern des Bildungsmarkts als gemeinsames Modell zur Beschreibung ingenieurwissenschaftlicher Handlungsfähigkeit dienen kann. Strukturen und Zusammenhänge von Qualifikationsprofilen werden modelliert. Für die Formalisierung des Konzepts wird analysiert, welche Wissensrepräsentationssprache sich am besten eignet. Werkzeuge zur Überführung des Modells in eine formale Sprache werden ausgewählt. Abschließend werden die entstandenen Ontologien präsentiert.

Kapitel 5 beschreibt am Beispiel des von der TU Berlin angebotenen internationalen Masterstudiengangs Global Production Engineering (GPE) den prototypischen Test des Konzepts. Eine Semantik-Web-Wissensbank ordnet durch automatisches Schlussfolgern Learning Outcomes eines GPE-Lehrmoduls in übergeordnete Qualifikationsprofile ein. Ein Softwarewerkzeug unterstützt den Lehrenden dabei, didaktisch angemessene und durch Mensch und Maschinen lesbare Leistungsbeschreibungen zu erstellen. Exemplarisch für künftige Softwareanwendungen werden Prozesse der qualifikationsorientierten Evaluation in GPE mit Hilfe der Wissensbank automatisiert.

Kapitel 6 beschreibt Nutzen und Risiken des Konzepts und gibt anhand von Verwertungs- und Forschungsperspektiven einen Ausblick auf den künftigen Handlungsbedarf in Theorie und Praxis. Kapitel 7 fasst die Ergebnisse kurz zusammen.

2 Stand der Forschung und Technik

Der Stand der Technik zur Darstellung und Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung mit Hilfe von wissensbasierten Systemen wird vorgestellt. Zunächst wird ein thematischer Überblick über relevante Aspekte der Ingenieurdidaktik und über wissensbasierte Systeme gegeben. Dafür werden Begriffe definiert und deren Zusammenhänge erläutert. Methoden des Wissensgebietes und deren Anwendungsregeln werden vorgestellt. Anschließend werden aktuelle Lösungsansätze mit direktem Bezug zu dieser Arbeit untersucht.

2.1 Planung produktionstechnischer Qualifizierung

2.1.1 Qualifikation und Kompetenz

Qualifizierung beschreibt einen Prozess, dessen Ziel es ist, eine Person zu befähigen, eine bestimmte Aufgabe ausführen zu können. Der Begriff schließt die Planung, Durchführung und Überprüfung von Lehr- und Lernprozessen ein. Das Ziel der Ingenieur-Qualifizierung besteht in der Nutzung von Technik für den Menschen. Technik wird aufgefasst als „die Menge der nutzenorientierten, künstlichen gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme), die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen, [und] die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden“ [VDI-3780]. Ein Teilgebiet bildet die Produktionstechnik als Wissenschaft der Gütererzeugung. Sie umfasst Verfahren, Maßnahmen und Einrichtungen zur Umwandlung und Kombination von Gütern und Diensten unter Nutzung materieller, energetischer und informationstechnischer Wirkflüsse [Spu-07]. Die *Planung* ist die Simulation von Handlungsmöglichkeiten und deren Abfolge, die zur Realisierung eines Zieles erforderlich erscheinen. Es wird eine Vorgehensweise für einen hohen Zielerreichungsgrad, die sogenannten Effizienz, in einem bestmöglichen Verhältnis zwischen Input und Aufwand, der sogenannten Effektivität, bestimmt [Dru-75]. Am Ende stehen kurz-, mittel-, und langfristige Pläne, die dem Ausführenden Sicherheit in seinem Vorgehen gewährleisten. [Wöh-08].

Die Gesamtheit der informationsverarbeitenden Prozesse und Strukturen eines intelligenten Systems werden als *Kognition* beschrieben. Unter Systemen können sowohl Menschen als auch Maschinen verstanden werden. Der Mensch wird ständig mit neuen Anforderungen der Umwelt konfrontiert, die Entscheidungen über Lernprozesse erfordern. Das Verhalten des Menschen entscheidet darüber, welche Lernwege eingeschlagen werden, es wird bestimmt durch vier Einflussgrößen [Ros-03]. Das soziale Dürfen und Sollen bezieht sich auf langfristig und allgemein gültige Normen und Regeln, die von der Umgebung vorgegeben werden.

Kurzfristige situationsbezogene Umstände können hemmende und begünstigende Wirkung auf das Verhalten haben. Persönliche Motivation, Ziele und Werte bestimmen das individuelle Wollen. Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten bestimmen das persönliche Können. Die Einflussgrößen und ihre Wechselwirkung werden in Abbildung 2-1 dargestellt.

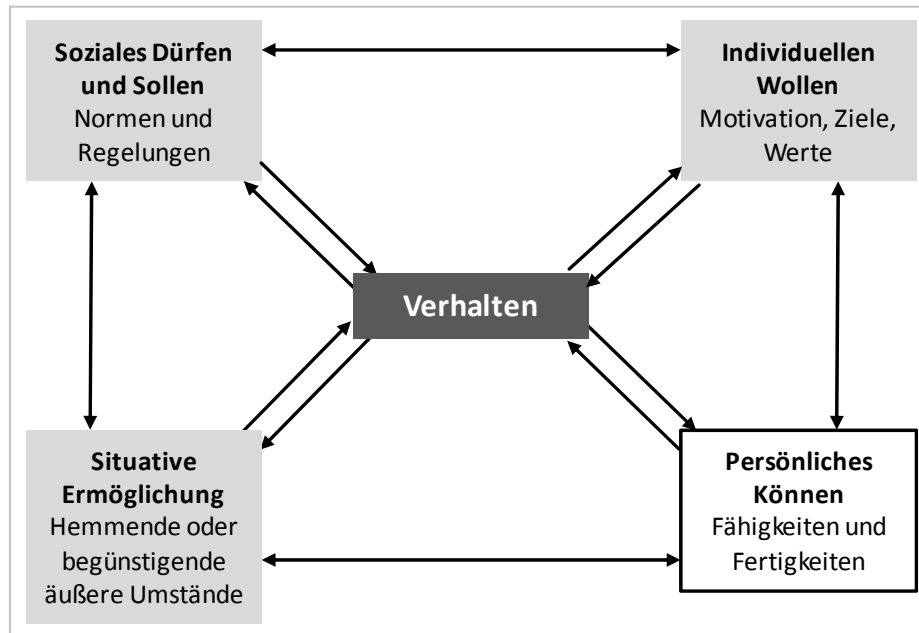


Abbildung 2-1: Einflussgrößen des menschlichen Verhaltens (nach [Ros-03])

Die Wissenschaft vom Lernen und Lehren, die sogenannte Didaktik, hat Modelle über den Prozess des Lernverhaltens hervorgebracht, die unter dem Namen *Lernphilosophien* zusammengefasst werden. Drei lernphilosophische Schulen haben die Didaktik seit Mitte des 20. Jahrhunderts besonders geprägt. Es handelt sich dabei um den Behaviorismus in den 1950er und 1960er Jahren, den Kognitivismus der 1970er und 1980er Jahre und das situierte Handeln, auch Konstruktivismus genannt, der 1990er Jahre [Ker-01].

Der *Behaviorismus* geht davon aus, dass das Verhalten vor allem durch die Konsequenzen gesteuert wird, die auf ein gezeigtes Verhalten folgen. Eine vom Individuum positiv bewertete Konsequenz der Umwelt verstärkt sein künftiges Verhalten. Eine negativ bewertete Konsequenz dagegen vermindert es. Der Behaviorismus konzentriert sich auf Prozesse, die sich zwischen Individuum und Umwelt abspielen. Die dem beobachtbaren Verhalten zugrunde liegenden kognitiven Prozesse werden nicht betrachtet [Ski-63]. Empirische Ergebnisse zeigten jedoch, dass gezeigtes Verhalten durch negative Konsequenz langfristig nicht notwendigerweise verschwindet, sondern zeitversetzt wieder auftreten kann.

Die Entwicklung der Informationstechnologie und ihre Verwendung als Modell für das menschliche Gehirn und Erkenntnisse aus der vergleichenden Verhaltensforschung, denen zufolge Vererbung einen substantiellen Beitrag für das Verhalten leistet, führten in den 1970er Jahren zur Bildung des *Kognitivismus* als vorherrschender Theorie. Diese geht davon aus, dass Lernen durch Prozesse und Zustände beeinflusst wird, die zwischen Reiz und

Reaktion liegen. Die innerpsychischen Vorgänge werden als Informationsverarbeitungsprozesse angesehen, mit denen sich Entscheidungen, Lernen und Einsicht erklären lassen. Der Mensch wird als ein selbstgesteuertes Wesen gesehen, das die wahrgenommenen Reize selbstständig und aktiv verarbeitet [Ban-77].

Mit Beginn der 1990er Jahre wurde am Kognitivismus zunehmend kritisiert, dass er die soziale Dimension des Handelns, also die menschliche Emotionalität, Identität und Situationsbezogenheit ausblende. Die Theorie des *situierten Lernens* geht davon aus, dass Wissen nicht deckungsgleich von einer Person auf eine andere transferiert werden kann. Dies hat den Hauptgrund darin, dass Lernprozesse hinsichtlich ihrer Bedeutung individuell interpretiert werden. Die Bedeutung hängt von der Situation und den Umfeldbedingungen ab, in denen der Lernende sich befindet [Lav-91]. Die Darstellung der Einflussfaktoren auf das Verhalten in Abbildung 2-1 gibt den situativen Ansatz wieder, der bis heute die vorherrschende Theorie bildet.

Die Eigenschaft einer Person, ein bestimmtes Verhalten zu zeigen, wird durch eine Vielzahl von Begriffen, wie Kompetenz, Verhaltensdisposition, Qualifikation, Fähigkeit, Fertigkeit oder Können beschrieben. Der Begriff *Kompetenz* wurde schon in den 1960er Jahren durch ROTH in Deutschland eingeführt [Rot-71]. Aber erst in den letzten Jahren ist dieser Begriff in Forschung und Praxis verstärkt aufgegriffen worden, um damit veränderte Anforderungen der Lebens- und Arbeitswelt zu beschreiben [Kli-01]. Diese Veränderungen beziehen sich unter anderem auf die Dynamisierung der Märkte, die eine Flexibilisierung und individuelle Steuerung des Lernens erforderlich machen. Die Bildungsziele sollen sich weniger an inhaltlichen Aspekten, sondern mehr an „lebensweltlichen Bezügen des Lernenden“ orientieren [Kli-01]. Nach ERPENBECK werden Kompetenzen als Dispositionen selbstorganisierten Handelns aufgefasst [ERP-03]. Diese Dispositionen sind nicht direkt prüfbar, sondern nur aus der Realisierung der Disposition erschließ- und evaluierbar. Kompetenzen enthalten „nichtexplizites Wissen in Form von Emotionen, Motivationen, Einstellungen, Fähigkeiten, Erfahrungen und Willensantrieben“ [ErpP-03] und „zu Emotionen und Motivationen verinnerlichte Werte und Normen“ [Erp-03].

Das aus dem Wissensmanagement stammende, sogenannte Eisbergmodell von KÖNIGSWIESER veranschaulicht den Umfang des Betrachtungsraums, der durch Kompetenzen repräsentiert wird [Kön-00]. Im Handeln bilden die sichtbaren Verhaltensäußerungen nur die Spitze des Eisberges (vgl. Abbildung 2-2). Gleichzeitig beinhaltet es nicht sichtbare Elemente wie Motivation, Interesse, Einstellungen, Verantwortungsbewusstsein und Lernwillen. Kompetenzen werden somit erst „durch Handeln und im Handeln“ sichtbar [StS-10]. Daraus ergeben sich große Herausforderungen in der Messbarmachung von Kompetenzen. WAGNER attestiert daher einen negativen Zusammenhang zwischen der Popularität des Kompetenzbegriffs und seiner Genauigkeit

[Wag-04]. Die Europäische Gesellschaft für Ingenieur-Ausbildung (SEFI) verzichtet in ihren Anforderungsprofilen an Ingenieure auf den Kompetenzbegriff [Hap-04].

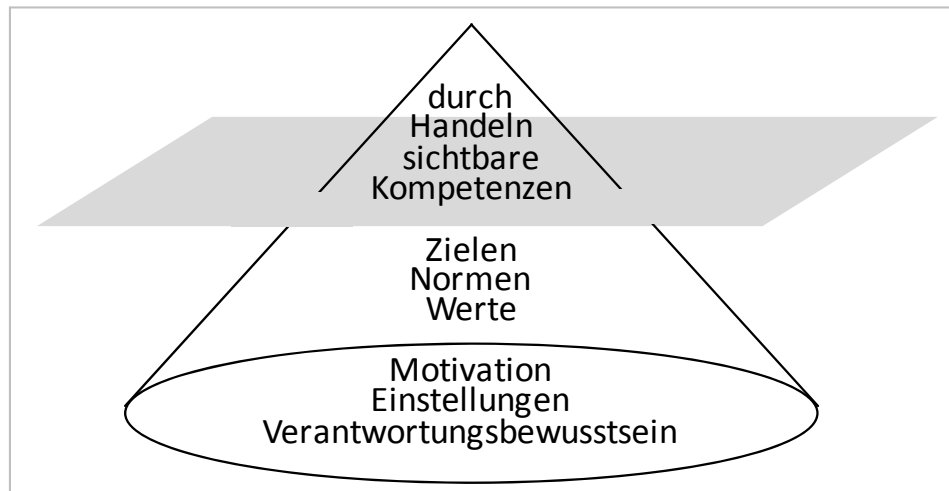


Abbildung 2-2: Eisberg-Modell der Kompetenz (nach [Kön-00])

Qualifikationen sind Darstellungen von in Prüfungssituationen nachgewiesener kontextbezogener Handlungsfähigkeit durch den Lernenden. Qualifikationen bilden „Wissens- und Fertigungspositionen“ ab [Erp-03]. Sie stellen Fähigkeiten dar, welche durch Kennzahlen prüfbar und durch gezielte Qualifizierungsprozesse verbesserbar sind. Nachteilig an dieser Perspektive ist, dass damit die selbstorganisierte Handlungsfähigkeit im beruflichen Kontext nicht nachgewiesen wird, da dies in formalen Qualifizierungssituationen nicht erfasst werden kann [Erp-03]. In dieser Arbeit wird trotz und wegen der begrenzten Darstellungsmöglichkeiten Qualifikation als Maß der Befähigung gewählt. Gründe sind zum einen die ungenügende Operationalisierbarkeit von Kompetenzen für die praxistaugliche Anwendung. Zum anderen ist der Bildungsmarkt charakterisiert durch formale Qualifizierungssituationen und die Anrechnung von beruflich nachgewiesener Handlungsfähigkeit als Qualifikation.

Zur Einordnung von Wissen und Fertigkeiten wird zuerst das Verhältnis zwischen Daten, Informationen, Wissen, Können und Handeln dargestellt. Dafür wird eine Klassifikation der Begriffe mit Hilfe der sogenannten Wissenstreppe vorgenommen (vgl. Abbildung 2-3) [Reh-96] [Nor-99]. Die Wissenstreppe repräsentiert den ansteigenden Umfang an Entitäten, die in einem kognitiven Prozess verarbeitet werden. Dies beginnt bei einzelnen *Zeichen*, z. B. Zahlen oder Buchstaben. Durch ein System von formalen Beziehungen zwischen Zeichen, der sogenannten *Syntax*, können aus dem Zeichenvorrat Kombinationen, sogenannte *Daten*, gebildet werden. Wird diesen Daten eine Bedeutung, die sogenannte *Semantik*, in Form eines hinterlegten Konzeptes gegeben, spricht man von *Information*. Unterschiedliche, in einen Kontext eingebettete Informationen ergeben *Wissen*. *Können* stellt das Potential dar, Wissen auf ein Objekt anzuwenden. Verfügt der Akteur über die erforderliche Motivation dieses Potential zu nutzen, *handelt* er.

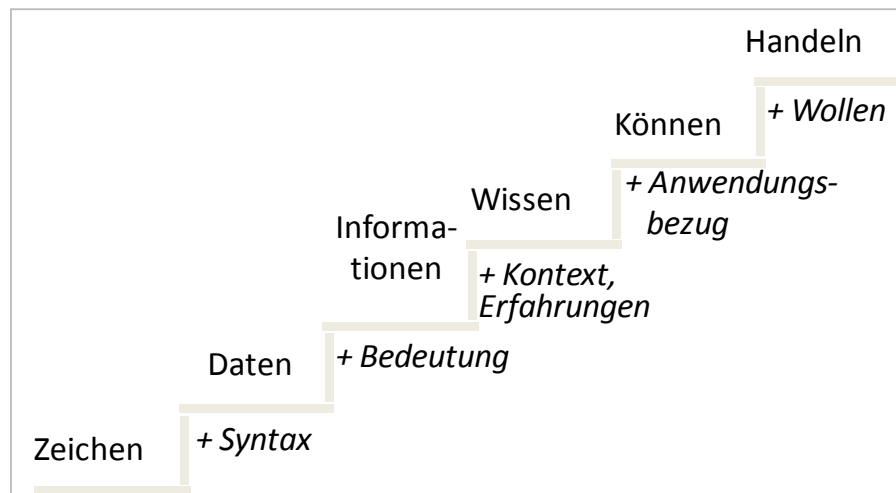


Abbildung 2-3: Wissenstreppe (nach [Reh-96] u. [Nor-99])

Wissen kann definiert werden als „jede Form der Repräsentation von Teilen der realen oder gedachten Welt in einem materiellen Trägermedium“ [Bod-97]. Wissen, das in nicht direkt artikulierbarer Form vorliegt, wird nach POLANYI als implizites Wissen bezeichnet [Pol-66]. Dieses Wissen resultiert aus persönlicher Erfahrung und zeigt sich prozessgebunden. Explizites Wissen kann losgelöst vom Prozess beschrieben werden. Es wird beispielsweise in Form von Schriften oder Bildern abgelegt. Mit steigender Kompliziertheit der Zusammenhänge wird es zunehmend anspruchsvoller, Wissen z. B. in Form von Regeln zu repräsentieren. Eine scharfe Abgrenzung von explizitem und implizitem Wissen ist in der Praxis daher vielfach schwierig. Stattdessen bilden explizites und implizites Wissen die Extrempole einer Dimension [Ste-10]. Explizites Wissen kann zielgerichtet in formalen Lehraktivitäten vermittelt werden und lässt sich informations- und kommunikationstechnisch verarbeiten. Implizites Wissen verschließt sich hingegen einem zielgerichteten Qualifizierungsprozess. Hier ist die Aneignung von Routinen erforderlich, die langfristig ein unbewusstes Handeln verursachen, das richtiges implizites Handeln gewährleistet [Pro-98].

Fertigkeiten und *Fähigkeiten* können als Teilmengen von Können angesehen werden. Fertigkeiten können in formalen Lehraktivitäten beigebracht werden. Explizites Wissen bildet ihre Grundlage. Fähigkeiten sind im Gegensatz dazu im Bereich des impliziten Wissens angesiedelt. Sie sind angeboren oder durch äußere Umstände bestimmt [Bod-97].

Qualifikationsmodelle beschreiben Qualifikationsdimensionen und deren Eigenschaften. Zur Erklärung von Teilbereichen der Qualifikationen werden erstens Strukturen, sogenannte *Niveauindikatoren*, definiert und zweitens unterschiedliche *Niveaustufen* je Niveauindikator beschrieben. Die Definition von Niveaustufen erfolgt durch sogenannte Deskriptoren. Sie beschreiben die konkrete situative Handlungsfähigkeit, die Individuen bei einer bestimmten Ausprägung einer Qualifikation ausführen können [Kli-09].

Ein Qualifikationsmodell eines spezifischen Anwendungsbereichs, das Deskriptoren für alle Qualifikationsindikatoren und deren Niveaus enthält, wird als *Qualifikationsrahmen* (QR) bezeichnet. Ein QR kann allgemeine Lernergebnisse und Lernwege umfassen oder auf eine bestimmte Bildungsebene, Disziplin oder Bildungsinstitution bezogen sein. Qualifikationsrahmen sollten folgende Bedingungen erfüllen [You-03]:

- alle Qualifikationen können mit Hilfe eines standardisierten Katalogs von Deskriptoren beschrieben werden (engl. single set of descriptors),
- alle Qualifikationen können in einer einzigen Struktur von Niveaustufen dargestellt werden (engl. single set of levels),
- alle Qualifikationen lassen sich als Lernergebnisse (engl. learning outcomes) beschreiben,
- alle Qualifikationen lassen sich zu Qualifikationsbündeln zusammenfassen, denen eine angenommene Lernzeit und damit Leistungspunkte zugeschrieben werden können,
- alle Qualifikationen lassen sich zu Qualifikationsbündeln zusammenfassen, die sich mit Deskriptoren vergleichen und damit einzelnen Hierarchieebenen zuordnen lassen.

Qualifikationsrahmen stellen *Bildungsstandards* dar. Erwartungen an die Ziele des Lehrenden und Leistungsanforderungen an den Lernenden werden transparenter. Über QR lassen sich Leistungsanforderungen der Gesellschaft mit Leistungsangeboten einer Lehrveranstaltung vergleichen. Die zielgerichtete Entwicklung von Qualifizierungsangeboten wird damit erleichtert. Außerdem ermöglichen QR die Übertragung von Leistungsnachweisen zwischen Bildungsinstitutionen und Unternehmen. Barrieren für horizontale und vertikale Lernwege in Bildungssystemen werden dadurch abgebaut.

2.1.2 Lernen

Beim Lernen handelt es sich um eine relativ stabile Veränderung des Verhaltens aufgrund von Erfahrung oder neu gewonnenen Einsichten [Shu-86]. Vergleichbar zum Wissensbegriff von POLANYI kann zwischen absichtlichem, sogenanntem *expliziten*, und beiläufigem, sogenanntem *impliziten* Lernen unterschieden werden. Zudem werden die Situationen des Lernens in formales, nicht formales und informelles Lernen unterschieden. *Formales* Lernen findet in einer Bildungsinstitution statt, ist hinsichtlich seiner Lernziele, Lernzeit oder Lernmittel strukturiert und wird mit Hilfe einer Überprüfung zertifiziert. *Nicht formales* Lernen findet außerhalb von Bildungsinstitutionen statt und wird nicht zertifiziert. Gleichwohl ist es systematisch im Hinblick auf Lernziele, Lerndauer und Lernmittel. *Informelles* Lernen unterscheidet sich von nicht formalem Lernen dadurch, dass es kein bewusstes Ziel verfolgt und nicht strukturiert ist.

Es existieren unterschiedliche Modelle über die Struktur von Lernprozessen. Zwei gängige Unterteilungen sind die von GAGNÉ nach der Komplexität und dem Umfang der Informationsverarbeitung [Gag-74] und die von KOLB nach der zeitlichen Phasenfolge im Lernprozess [Kol-84]. Ein von HOFFMANN entwickeltes *Lernmodell für das Ingenieurwesen* übernimmt Aspekte der Lernzyklus-Modelle von KOLB und GAGNÉ (vgl. Abbildung 2-4) [Hof-05].

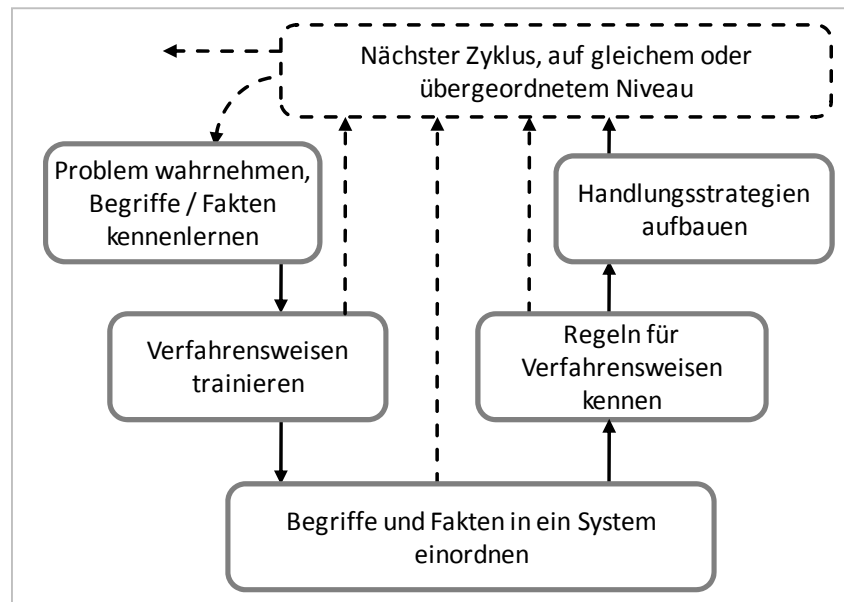


Abbildung 2-4: Lernzyklen im Ingenieurwesen (in Anlehnung an [Hof-05])

Der Prozess beginnt mit der Identifikation eines Sachverhalts, der Widersprüche aufwirft und den Betrachter vor ein Problem stellt. Der Lernende wird daraufhin versuchen, das erforderliche Vokabular und dessen Bedeutung kennenzulernen. Er kann dann Verfahrensweisen trainieren. Die hinter den Begriffen stehenden Konzepte ordnet der Lernende mit zunehmender Erfahrung in ein System ein. Hier wird neues Wissen in kontinuierlich entstehende Strukturen eingeordnet und es werden Relationen zwischen den Konzepten hergestellt. Der nächste Lernschritt besteht darin, zu wissen, wann welche Verfahren angewendet werden. Hier werden Regeln vermittelt, die kontextbezogen Anwendung finden. Die höchste Stufe des Lernprozesses stellt das eigenständige Entwickeln neuer Handlungsstrategien dar. Bestehendes Wissen kann auf neue Fragestellungen übertragen werden. Regeln können korrigiert, neue Regeln geschaffen werden.

2.1.3 Lehren

Lehren setzt Lernprozesse in Gang und beschleunigt diese [Big-03]. Formales Lernen findet im Rahmen einer Lehrveranstaltung statt. Zur Definition der Lernprozesse werden dafür Lernziele festgelegt. Die Art des Lehrens beschreibt der Begriff *Lehrmethode*. Lehrmodule sind Lehrveranstaltungen, die aus mehreren unabhängigen Teilen, sogenannten Kursen, bestehen. Kurse können zu unterschiedlichen Modulen gehören. Wird eine von der

Bildungsinstitution festgelegte Lernleistung innerhalb einer Lernaktivität erreicht, kann diese zertifiziert werden. Die Kombination von Lehrmodulen bildet ein Curriculum.

2.1.3.1 Unterrichtsdimensionen

Um Unterricht zu beschreiben, bedarf es Kriterien, sogenannter Dimensionen. Basierend auf den Arbeiten des Göttinger Katalogs Didaktischer Modelle (GKDM) [Fle-96] entwickelte BAUMGARTNER zwölf Dimensionen mit denen Lehrmethoden klassifiziert werden (vgl. Tabelle 2-1) [Bau-07].

Dimension	Parameter				
Anzahl der Teilnehmer	1	2	3-7	8 bis 30	30+
Selbstbestimmung	Fremdsteuerung (Aufgabe, Zeit und Reihenfolge vorgegeben)		Selbststeuerung (Zeit frei)		Selbstorganisation (Aufgabe, Zeit und Reihenfolge frei)
Körperwahrnehmung	gar nicht nur retrospektive über das Lernprodukt	kaum eMail, Forum	Mittelmäßig Synchrone schriftliche Formen, wie Chat	ziemlich Video, Audio-konferenz	außerordentlich körperliche Präsenz, Face-to-face
Raum	privater Raum	Arbeitsraum, Rich Learning Environment	Seminarraum, Schule, Klasse	Halböffentlicher Bildungsraum	öffentlicher Raum
Kognitiver Prozess	wiedererkennen, erinnern	verstehen	anwenden	analysieren, bewerten	erzeugen, kreieren, erfinden
Wissenstyp	Fakten	Konzepte, Regeln	Prozesse	Muster	Gestalt
Umweltbezug	abstrakt	abstrahierend	Fallbeispiel	konkretisierend	situierter
Persönlichkeitsbezug	nicht gegeben	Idealtypus (Alter, Bildungsniveau)	Idealtypus + Vorwissen	... + Lernstil	... + individuelle Erfahrung
Lernaktivität, Lernhandlung	rezeptiv	reaktiv	gestaltend, aktiv	kommunikativ	kooperativ
Kompetenzniveau	angelernt, Hilfsarbeiten	Lehre, Lehrling	Techniker, Facharbeiter	Fachhochschule	Universität
Feedback	keines	Erfolg/Ergebnis (richtig/falsch)	zeitnah, (korrigierend)	Hinweise, (helfend)	Ständig, (begleitend)
Mediale Codierung	Text	Klang	Grafik	Bild	Film

Tabelle 2-1: Didaktische Dimensionen (nach [Bau-07])

2.1.3.2 Unterrichtsmethoden

Der GKDM ordnet formale und informale Lernprozesse anhand von 20 Grundmodellen. Die Modelle in alphabetischer Reihenfolge sind: Arbeitsunterricht, Disputation, Erkundung, Fallmethode, Famulatur, Fernunterricht, Frontalunterricht, Individualisierter programmierter Unterricht, Individueller Lernplatz, Kleingruppen-Lerngespräch, Lernausstellung, Lerndialog, Lernkabinett, Lernkonferenz, Lernnetzwerk, Lernprojekt, Simulation, Tutorium, Vorlesung,

Werkstattseminar und Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) unterstütztes Lehren. Jedem didaktischen Grundmodell sind mehrere Varianten zugeordnet. Eine ausführliche Beschreibung der Grundmodelle und Ihrer Varianten erfolgt in [Fle-96].

Potentiale für eine produktivere Ingenieurausbildung wurden in den vergangenen Jahren insbesondere in der Anwendung der didaktischen Modelle Lernprojekt und IKT unterstütztes Lehren identifiziert [VDI-09]. Im *Lernprojekt* wenden Lernende erworbenes Wissen in realen Situationen an. Positive Aspekte dieser Lehrform umfassen: die erhöhte Motivation der Lernenden, der umfassend durchlaufene Problemlösungszyklus, das Innovationspotential und das tiefere Verständnis, das erschlossen werden kann, die Förderung der Handlungskompetenz und der Autonomie [CDI-07]. Auf Hochschulebene gibt es zahlreiche Initiativen, die diese Lehrform favorisieren. In der Ingenieurausbildung setzt sich die CDIO-Vereinigung beispielsweise dafür ein, diese Unterrichtsform zu verbreiten. Die Universität Enschede bietet projektorientierte Curricula [Ege-04] und die TU Berlin Lehrprojekte mit Ingenieurstudierenden unterschiedlicher Herkunftsländer [Sel-04] [Sel-08].

Anstelle von *IKT-unterstütztem Lehren* wird heute vielfach von *E-Learning* gesprochen. Dies umfasst alle Formen des Lehrens und Lernens, bei denen moderne Informations- und Kommunikationstechnik für die Präsentation und Distribution von Lernmaterialien und zur Unterstützung zwischenmenschlicher Kommunikation zum Einsatz kommen [Ker-01]. Einige ausgewählte Begriffe aus dem eLearning werden im Folgenden kurz beschrieben: *Autorensysteme* sind Entwicklungswerkzeuge für die Erstellung und Aufbereitung von elektronischen Lernangeboten. Sie bieten beispielsweise Lehrenden die Möglichkeit, Inhaltsunterlagen für das WWW oder ein tragbares Speichermedium zu entwickeln. *Computer Based Training* bezeichnet Lernprogramme, die zeitlich und räumlich flexibel genutzt werden können und bei denen die Lernenden nicht in direktem Kontakt mit dem Lehrenden und anderen Lernenden stehen. Die Aufgabe eines *Learning Content Management Systems* ist das Wiederverwenden, Auffinden und Bereitstellen von elektronischen Lehrangeboten. Die Informationen werden in Datenbanken abgelegt. Die elektronischen Lehrangebote können dann für unterschiedliche Lehrveranstaltungen genutzt werden [Ker-01]. *Qualifikationsmanagementsysteme* umfassen die Möglichkeit automatisierte Vergleiche zwischen Soll- und Ist-Qualifikationsprofil anzustellen, um Kompetenzdefizite zu identifizieren und daraus Lernwege zu entwickeln. Sie bilden einen Teil von Lernplattformen. Als *Lernplattform* (engl. Learning Management System) werden Systeme bezeichnet, die ein Online- und Präsenz-Lehrangebot administrieren können. Dies umfasst u. a. die Bereitstellung von Lehrinhalten und die Organisation von Lernprozessen, z. B. die Planung des Lernweges, die Anmeldung zu Kursen, die Bereitstellung von Kursunterlagen, die Zertifizierung des Lernerfolgs und die Bewertung der Lehrleistung durch Evaluationen. *Blended Learning* bezeichnet ein Lehrangebot, das Präsenzveranstaltungen

und E-Learning kombiniert. Das Konzept soll die Effektivität und Flexibilität von elektronischen Lernprozessen mit den sozialen Aspekten der persönlichen Kommunikation und dem praktischen Lernen von Tätigkeiten verbinden [Sau-04].

2.1.4 Lehre planen

Die Planung von Lehre umfasst die Analyse von Methoden und Inhalten, die aufeinander und auf die Bedürfnisse der Lernenden abgestimmt sein müssen. Die Entwicklung elektronischer Lehrangebote verursacht einen hohen Ressourcenaufwand. Eine detaillierte Planung der Vorgehensweise ist daher zweckmäßig [Bau-07]. Durch die Ausbreitung von eLearning und Blended-Learning hat daher auch die methodische Planung von Lehrveranstaltungen in den vergangenen Jahren an Aufmerksamkeit gewonnen. SMITH und RAGAN unterteilen die Planung von Lehrveranstaltungen in drei Phasen: die Aufgabenanalyse (engl. task analysis), die Konzeption und Ausarbeitung (engl. strategy) und die Evaluationsphase (engl. evaluation) (vgl. Abbildung 2-5).

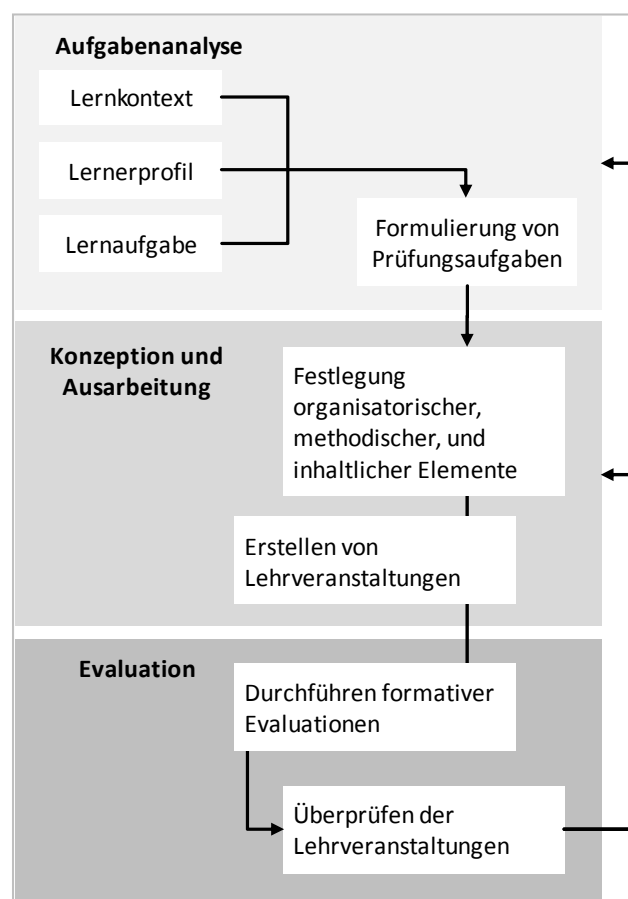


Abbildung 2-5: Prozessmodell der Planung von Lehrveranstaltungen (nach [Smi-99])

In der *Aufgabenanalyse* werden Umfeld, Teilnehmer und Ziele der Lehrveranstaltung analysiert. Das Ergebnis dieser Phase ist eine Liste von Lernzielen und daraus abgeleitet Situationen zur Prüfung der Qualifikation der Lernenden. Es wird eine Analyse des Lernenden, insbesondere seiner Vorkenntnisse, seines präferierten Lernstils und seiner

Interessen durchgeführt. Die Analyse des Kontextes befasst sich u. a. mit der Gruppengröße, dem Lehrort und den technischen Hilfsmitteln. Im Bereich der Analyse der Lernaufgabe (engl. analyzing learning task) werden allgemeine Lernziele, sogenannte *Richtziele*, formuliert. Diese werden dann zu detaillierteren Lernzielen, sogenannten *Grob-* und *Feinzielen*, verfeinert. Dabei haben Richtziele den höchsten Abstraktionsgrad und dienen zur allgemeinen Beschreibung eines Bildungsprogramms, z. B. eines Studiengangs. Grobziele haben einen mittleren Abstraktionsgrad und beziehen sich meist auf ein konkretes Lehrmodul. Feinziele sollten eine präzise Lernzielformulierung beinhalten. Sie dienen dem Lehrenden zur Unterrichtsplanung, Prüfung und der Evaluation des Unterrichtes und den Lernenden zur effizienten Lernmittelauswahl und zur Kontrolle der eigenen Lernaktivitäten.

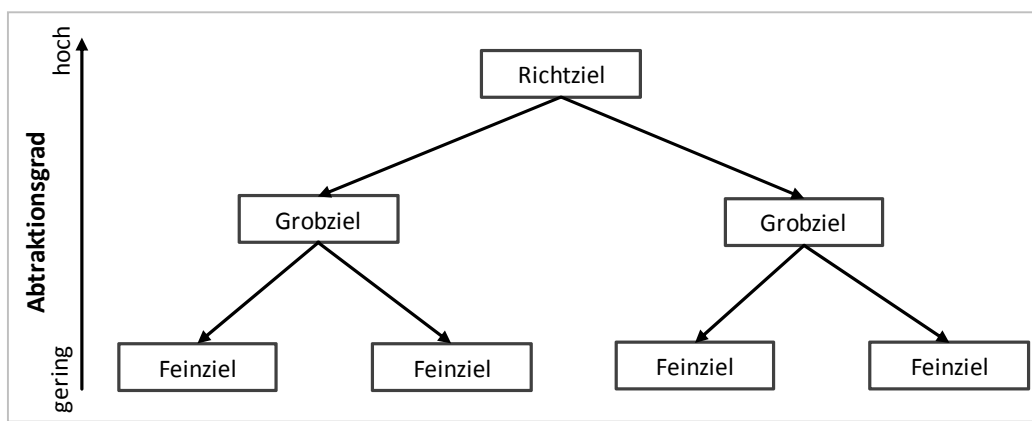


Abbildung 2-6: Richt-, Grob-, Feinziele

In der *Konzeptions-* und *Ausarbeitungsphase* werden organisatorische, inhaltliche, technische und methodische Rahmen festgelegt, auf deren Basis eine Lehrveranstaltung entwickelt wird. In der *Evaluation* wird der Erfolg der Lehrveranstaltung analysiert und ggf. die Entscheidung zur Überarbeitung der Lehrveranstaltung getroffen [Smi-99]

2.1.5 Lernerfolg ermitteln

Der *konstruktivistischen Lernphilosophie* folgend kann die Menge der Qualifikationen, die der Schüler erwirbt, nicht bestimmt werden. Die Qualifikationen umfassen intendierte und nicht intendierte Lernziele. Die Menge an Fähigkeiten, die gelernt wurden, ohne explizit in Lernzielen beschrieben oder durch den Lehrer absichtlich vermittelt worden zu sein, bildet das sogenannte *Hidden Curriculum* [Hor-03]. Die Anzahl und der Nutzen der nicht beabsichtigten Qualifikationen variiert je nach Lehrveranstaltung und Lernenden. Sie sind Teil der Lehrveranstaltung, entziehen sich aber der Messung.

Eine Bewertung des Lernerfolgs kann das Hidden Curriculum, so positiv es auch für die Entwicklung des Lernenden sein kann, nicht explizit berücksichtigen. Für eine aussagekräftige Bewertung von Qualifizierungsprozessen ist der Transfer der intendierten Lernergebnisse in den messbaren Bereich erforderlich. Dies bedarf der Analyse, welche Lernziele besondere Bedeutung haben und als Messobjekte der Lehrveranstaltung

ausgewählt und abgeprüft werden. Diese Lernziele sollten die „Diamanten“ [Moo-05] oder das „Fundament“ [Ken-08] einer Lehrveranstaltung darstellen.

2.1.5.1 Abgleich von Lernergebnissen und Leistungsbewertung

„Es ist hilfreich, sich regelmäßig daran zu erinnern, dass es wichtiger ist, zu ermitteln, was gelernt anstatt was gelehrt wurde“ (Zitat aus dem Englischen übersetzt) [Shu-86]. In der Gestaltung der Lehrveranstaltung werden die unterschiedlichen Perspektiven von Lehrendem und Lernendem auf die Lehrveranstaltung vielfach nicht angemessen berücksichtigt. Für den Lehrer stehen Lehrziele und daraus abgeleitet intendierte Lernergebnisse am Anfang der Planung einer Lehrveranstaltung (vgl. Abbildung 2-7) [Big-05]. Danach werden Lernaktivitäten definiert und am Ende eine Leistungsbewertung vorgenommen. Der Lernende hingegen orientiert seine Lernplanung primär an der Leistungsbewertung. Daraus leitet er seine Beteiligung an den Lernaktivitäten ab. Das Engagement in den Lernaktivitäten entscheidet über das Erreichen der vom Lehrer intendierten Lernergebnisse.

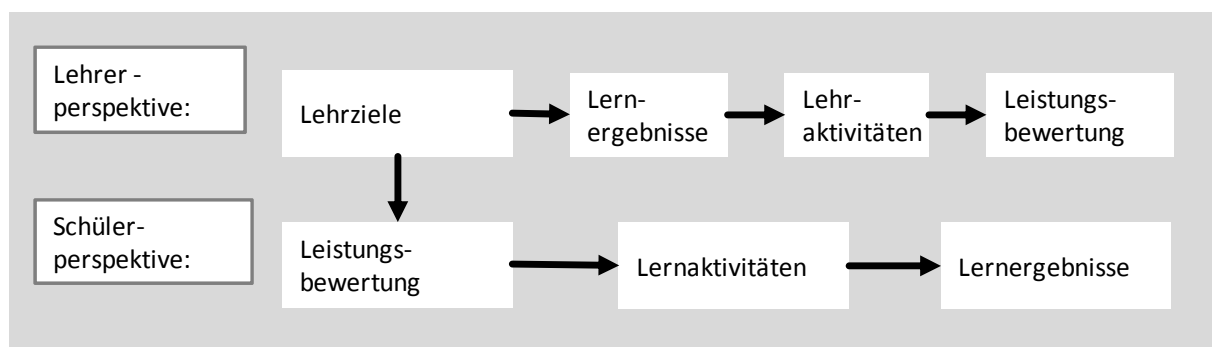


Abbildung 2-7: Perspektiven auf den Lern-Lehrprozess (nach [Big-05])

Um sicherzustellen, dass die Lernaktivitäten sich an den Lehraktivitäten orientieren, sollte der Lehrer die Leistungsbewertung auf die intendierten Lernergebnisse ausrichten. Dies bedeutet im Rückschluss, dass Lernziele einer Veranstaltung sich aus der Prüfungsfähigkeit der Lernergebnisse ableiten. BIGGS spricht in diesem Zusammenhang von *constructive alignment* [Big-03]. Intendierte, aber nicht prüfungsfähige Lernergebnisse gehören zum Hidden Curriculum, das sich der Bewertung entzieht. Die Vermittlung intendierter Lernergebnisse kann ausschließlich durch nachgewiesene Handlungsfähigkeit, den sogenannten Outcome, sichergestellt werden.

2.1.5.2 Learning Outcomes

Lernergebnisse bzw. Leistungsbewertungen lassen sich durch eine definierte Struktur, die sogenannten *Learning Outcomes* (LO), formulieren. GOSLING und MOON definieren:

„LO beschreiben, was ein Lernender bei Abschluss eines Lernprozesses weiß, versteht und in der Lage ist zu tun. Sie werden beschrieben in Form von Wissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten“ (aus dem Englischen übersetzt) [Gos-01].

Die Grundregeln zur Formulierung von LO umfassen: Erstens die Verwendung eines *aktiven Verbs*. Zweitens die Spezifizierung des Verbs durch ein Objekt und einen Kontext, in dem *Wissen und Können* nachgewiesen werden. Drittens einen mit der Handlung verbundenen *Leistungsstandard*. Um Verbindlichkeit in der Aussage zur Leistungsbewertung zu schaffen, sollten LO als Mindeststandard definiert werden [Moo-05] [Ken-07]. Dieser bildet die Voraussetzung zur Zertifizierung einer Lernleistung. Durch die Festlegung des Standards kann eine quantitative Aussage über Lern- und Lehrprozesse erfolgen. Eine gemeinsame Qualifikationsteilmenge aller Lernenden einer Lehrveranstaltung wird definiert und kann mit anderen Lehrveranstaltungen verglichen werden. LO decken die Bandbreite von einer hohen Abstraktions- bis zu einer sehr detaillierten Operationalisierungsebene von ingenieurwissenschaftlichen Qualifikationen ab. Die Europäische Kommission empfiehlt die Verwendung von Lernergebnissen zur Beschreibung von Lernzielen [EU-08]. An Hochschulen Großbritanniens beweisen LO seit Jahren ihre Praxistauglichkeit [Moo-05].

Zu Bündeln zusammengefasste Qualifikationen werden als *Qualifikationsprofil* bezeichnet. Innerhalb eines Qualifikationsprofils können beispielsweise Anforderungsniveaus für Tätigkeiten, die Qualifikationen einer Person oder die Leistung einer Lehrveranstaltung beschrieben werden.

2.1.5.3 Output und Outcome

Die in der Lehrveranstaltung nachgewiesene Handlungsfähigkeit beschreibt noch nicht, ob ein Lernender auch in der Lage ist, die Qualifikation in der Praxis anzuwenden. Outcome verlängert den Fokus der Lernergebnisse auf die Verwertungsperspektive. SEEBER definiert drei Felder der Qualifizierung, deren Prozesse den Outcome bewirken (vgl. Abbildung 2-8).

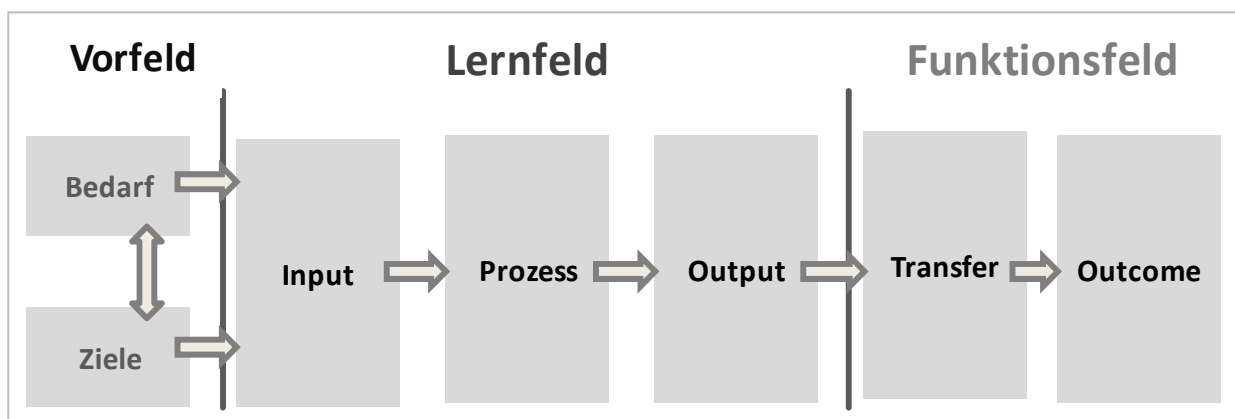


Abbildung 2-8: Zusammenhang zwischen Input, Output und Outcome (nach [See-00])

Im Vorfeld bestimmt der Lehrer den gesellschaftlichen Bedarf nach Qualifikationen und die Ziele der Lehrveranstaltung. Im Lernfeld, der Qualifizierungsphase, interagieren Lerner und Lehrer. Ein *Input* in Form von Reizen, z. B. Lehrmitteln, wird im Lernprozess verarbeitet und generiert einen *Output* in Form eines Lernergebnisses. Die Formulierung des Output erfordert die Deckungsgleichheit von intendierten Lernergebnissen und prüfbaren Leistungen in Form nachgewiesener Handlungsfähigkeit. Im Funktionsfeld zeigt sich, ob der Lernende fähig ist, die Qualifikation auf eine unbekannte Situation zu transferieren, und selbstständig in einem neuartigen Umfeld handeln kann. Die im Funktionsfeld erfolgreich durchgeführte Handlung definiert das *Outcome* [See-00].

2.1.5.4 Produktivität und Qualität

Prozesse der Qualifizierung können nach DRUCKER anhand der Merkmale Produktivität (engl. efficiency) und Qualität der Zielerreichung (engl. effectivity) bewertet werden [Dru-05]. Die *Vermittlungsproduktivität* wird durch das Verhältnis zwischen dem Output und dem dafür benötigten Input bestimmt. Der Output beschreibt die Summe der messbaren und intendierten Lernergebnisse. Der Input beschreibt den mengenmäßigen Einsatz von materiellen und immateriellen Mitteln und Leistungen, die für den Qualifizierungsprozess eingesetzt wurden. Vermittlungsproduktivität ist ein Maß für die Anwendung der richtigen Methoden und Werkzeuge, um Qualifikationen zu generieren. Die *Verwertungsqualität* definiert das Verhältnis zwischen Outcome und Output. Sie ist ein Beleg für die Wirksamkeit der Qualifizierungsmaßnahme, und beschreibt, ob Lernende Qualifikationen in der Praxis anwenden können. Die *Lehrqualität* beschreibt, wie viele Teilnehmer (Input) einer Lehrveranstaltung im Rahmen eines definierten zeitlichen Aufwands die Leistungsanforderungen (Output) erfüllen. Die *Lernproduktivität* misst, wie viel Aufwand (Input) ein Lernender benötigt, um die Leistungsanforderungen (Output) zu erfüllen (vgl. Abbildung 2-9).

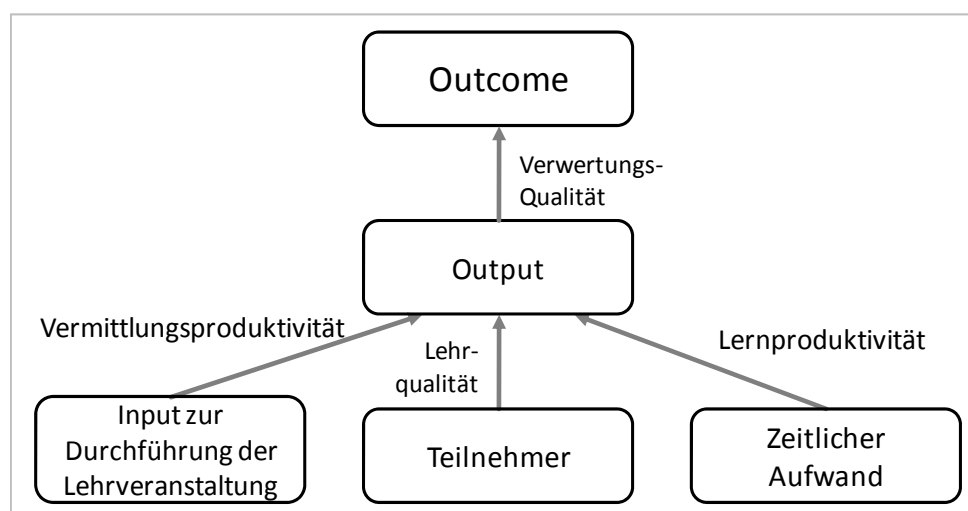


Abbildung 2-9: Produktivität und Qualität in Qualifizierungsprozessen

2.1.6 Politische Prozesse

Der *Bologna-Prozess* bezeichnet eine bildungspolitische Initiative zur Schaffung eines einheitlichen europäischen Hochschulwesens. Sie geht auf eine Erklärung europäischer Bildungsminister aus dem Jahr 1998 an der Sorbonne Universität in Paris zurück. Darin wurde vereinbart, im Ausland erbrachte Leistungen in einem gemeinsamen Hochschulraum unbürokratisch anerkennen zu lassen, die studentische Mobilität zu fördern und ein Kreditpunktesystem zu erarbeiten [Sor-98]. 1999 kamen die Bildungsminister der 29 europäischen Nationen in BOLOGNA zusammen, um mit der *Bologna-Erklärung* die in Paris beschlossenen Ziele zu konkretisieren und zu erweitern. Die Einführung eines zweistufigen Abschlusssystems mit den Abschlüssen *Bachelor* und *Master* wurde vereinbart [BOL-99]. Als Methoden und Werkzeuge wurden u. a. das Diploma Supplement und der Europass zur personenindividuellen Qualifikationsbeschreibung, der Europäische Qualifikationsrahmen als länderübergreifendes Bezugssystem für Qualifikationsprofile und das „European Credit Transfer and Accumulation System“ (ECTS) zur quantitativen Beschreibung von Lernleistung entwickelt [EU-04]. 2003 wurde mit dem sogenannten „Berliner Communiqué“ ein dritter Zyklus in den Bologna-Prozess integriert, der die Promotionsausbildung betrifft. Weiterhin wurde beschlossen, gemeinsame Mechanismen zur Qualitätssicherung zu entwickeln [Ber-03].

Der Bologna-Prozess konzentriert sich auf die akademische Erstausbildung. Ergänzend wurde für den Bereich der beruflichen Aus- und Weiterbildung vom Rat der Bildungsminister in BRÜGGE 2001 und in KOPENHAGEN 2002 eine „EntschlieÙung zur Förderung einer verstärkten Zusammenarbeit bei der beruflichen Bildung“ entwickelt, die den sogenannten *Brügge-Kopenhagen-Prozess* begründet [EU-02]. Als Ziele wurden die Einordnung der beruflichen Bildung in das europäische Bildungssystem, die Anerkennung und Transparenz von Qualifikationen und die Schaffung von Instrumenten der Qualitätssicherung festgelegt.

Das ECTS definiert den Erwerb von Leistungspunkten (engl. *credit points*) die während des Studiums durch Leistungsnachweise erworben werden. Die Leistungspunkte regeln Anrechnungs- und Zertifizierungsverfahren. Sie beschreiben den geschätzten Arbeitsaufwand des Lernenden in Stunden, die erforderlich sind, definierte Leistungsanforderungen zu erzielen. Ein Leistungspunkt entspricht 25 bis 30 Arbeitsstunden [EU-04]. Durch die Punktevergabe ist es möglich, über die Semesterwochenstunden hinaus den Lern-, Vor- und Nachbereitungsaufwand, der durchschnittlich mit einer Veranstaltung verbunden ist, in die Kalkulation studentischer Tätigkeit einzubeziehen [EU-04].

Das „European Credit Transfer System for Vocational Education and Training“ (ECVET)-System soll die Anerkennung von Qualifikationen erleichtern, die in der beruflichen Bildung erworben wurden. Das ECVET-System schlägt vor, lediglich die *Lernergebnisse* zu

betrachten, die durch Qualifikationen erworben werden [EU-10] (vgl. Abbildung 2-10). Das ECTS-System dagegen nutzt eine Mischung aus Qualifikationsbeschreibungen in Form von Eingangsvoraussetzungen und Abschlussprüfung und zeitlichen Aspekten in Form von Leistungspunkten [EU-04]. Beispiele für zertifizierte Bildungsleistungen ohne Berücksichtigung zeitlicher Aspekte sind beispielsweise Sprachtests, wie der TOEFL und die deutsche Promotion. Der Führerschein oder das deutsche Abitur und Hochschul-Diplom erfordern dagegen eine Mindestausbildungszeit, die an einer Bildungseinrichtung verbracht werden muss, bevor eine Prüfung erfolgen kann. Das ECVET-System begünstigt den Abgleich mit Qualifikationsrahmen, in denen keine Ausbildungszeiten hinterlegt werden [EU-10].

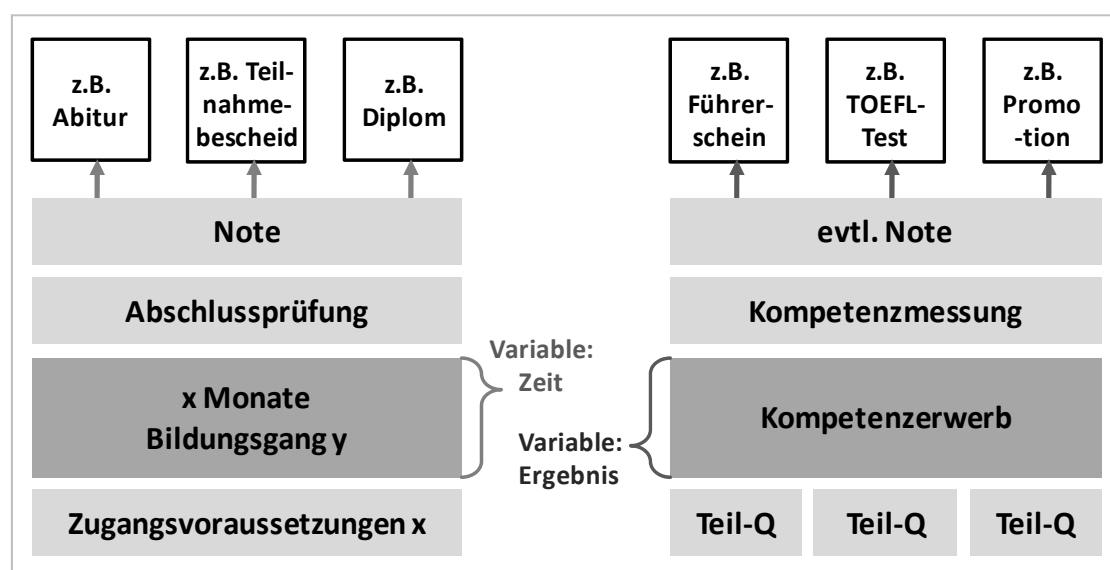


Abbildung 2-10: Arbeitszeit- und ergebnisorientierte Anrechnungsverfahren.

2.1.7 Betriebswirtschaftliche Prozesse

Der Bildungsmarkt wird anhand der, von der Unesco entwickelten, International Standard Classification of Education (ISCED)-Niveaus in drei Sektoren aufgeteilt. Der primäre Bildungssektor (ISCED-Niveaustufe 1) umfasst den vorschulischen Bereich und die Grundschulausbildung. Der sekundäre Bildungsbereich (ISCED-Niveaustufen 2 und 3) beinhaltet den schulischen Bereich und die duale Berufsausbildung. In den tertiären Sektor (ISCED-Niveaustufen ≥ 4) fallen die Angebote der Hochschulausbildung sowie der beruflichen Weiterbildung [Une-97]. Alle Prozesse der Durchführung und Organisation von Qualifizierung werden auf Märkten verhandelt. Auf dem Arbeitsmarkt werden Bewerberprofile und Stellenprofile miteinander verglichen, um geeignete Bewerber für eine Position zu bestimmen. Diese Bewertung erfolgt auf der Basis der Qualifikation von Personen.

Arbeitnehmer können heute nicht mehr damit rechnen, nach der ersten Berufsausbildung bis zum Altersruhestand gleiche Arbeitsprozesse ausführen zu können. Die persönliche Anpassung an sich wandelnde Arbeitsanforderungen ist Voraussetzung einer erfolgreichen

Tätigkeit. Diese kontinuierliche Anpassung wird auch als *Life-Long-Learning* beschrieben. Es beinhaltet die eigenständige Analyse des Qualifikationsprofils und den Abgleich mit heutigen und künftigen Anforderungsprofilen des Arbeitsmarktes. Vielfach übernehmen Bildungsinstitutionen die Verantwortung für die Auswahl von Qualifizierungsmaßnahmen innerhalb eines zertifizierten Bildungsprogramms. Dies ist bei jungen Menschen ohne den erforderlichen Weitblick für die eigene Qualifizierungsplanung sinnvoll. Mit fortschreitender Entwicklung kann Lernenden jedoch die eigenständige Planung ihrer Qualifizierung zugemutet werden, z. B. in der Masterausbildung [Mey-06]. An europäischen Universitäten überwiegt heute vielfach die zentrale Planung von Bildungsprozessen mit langen Ausbildungszeiten. Im beruflichen Weiterbildungsmarkt überwiegt dagegen die dezentrale Planung. Lehrangebote haben vielfach kurze Ausbildungszeiten. Hier hat der Lernende mehr individuelle Gestaltungsfreiheit, aber vielfach Probleme mit der Anerkennung von Leistungen für eine Zertifizierung [Schie-07]. Assistenzprogramme können helfen, Schwierigkeiten in der individuellen Auswahl von Qualifizierungsangeboten zu überwinden. Sie führen dabei automatisierte Vergleichsprozesse zwischen aktuellen und beabsichtigten Qualifikationsprofilen durch und generieren Trainingspläne [Wec-09].

2.1.7.1 Qualifikations-/Kompetenzmanagement

Die Definitionsbereiche der Begriffe *Qualifikationsmanagement* (QM) und *Kompetenzmanagement* überdecken sich, entsprechend oben gegebener Definition zu Qualifikation und Kompetenz, stark und werden teilweise synonym verwendet [Tse-10]. Sie wurden vor allem aus der Perspektive des Arbeitsmarktes, insbesondere der Unternehmensführung und Personalwirtschaft, untersucht. Im Bereich der Unternehmensführung umfasst QM eher strategische Funktionen, wie den systematischen, an den übergeordneten Unternehmenszielen orientierten Umgang mit der Qualifikation des Unternehmens [Nor-05]. Die Personalwirtschaft definiert QM eher operativ als die Bedarfsermittlung von Wissen und Fähigkeiten, die Ableitung von Fähigkeitsprofilen, den Abgleich zwischen Anforderungsprofilen und Ist-Profilen und die gezielte Minimierung der Defizite durch Qualifizierung [Gün-07]. Es ermöglicht durch den Abgleich von Soll- und Ist-Profilen neben der Identifikation von Weiterbildungsbedarf die gezielte Auswahl und den Einsatz der Personen, die über die gesuchten Qualifikationen verfügen [Gün-07].

Meyer entwickelte ein *Referenzmodell des integrierten Kompetenzmanagements*, dass die Wechselwirkungen der Marktteilnehmer des Arbeits- und Bildungsmarktes beleuchtet [Mey-06]. Im Mittelpunkt dieses Modells steht der Managementkreislauf, bestehend aus: Ziele setzen, planen, entscheiden, umsetzen und kontrollieren, den die Akteure im Qualifizierungsprozess durchlaufen. Die Gestaltung des Qualifizierungsmanagements basiert auf den Wechselwirkungen mit den Stakeholdern des Marktes. Bei den Stakeholdern handelt es sich um *Organisationen*, die qualifizierte Arbeitskräfte zur Wertschöpfung benötigen, um

die lernenden *Ingenieure*, die die Arbeitskraft zur Verfügung stellen und um *Bildungsinstitutionen*, die die Qualifizierung durchführen. Diese Gruppen sind Teil der Gesellschaft über die alle Stakeholder miteinander im Dialog stehen. Zusätzlich besteht eine direkte Verbindung zwischen den Akteuren durch den Kompetenz-Arbeitsmarkt, auf dem die Kompetenznachfrage der Organisationen mit dem Kompetenzangebot der Ingenieure abgeglichen wird und den Kompetenz-Bildungsmarkt, auf dem die Nachfrage von den Kompetenzen der Ingenieure und dem Leistungsangebot der Bildungsträger bestimmt wird (vgl. Abbildung 2-11).

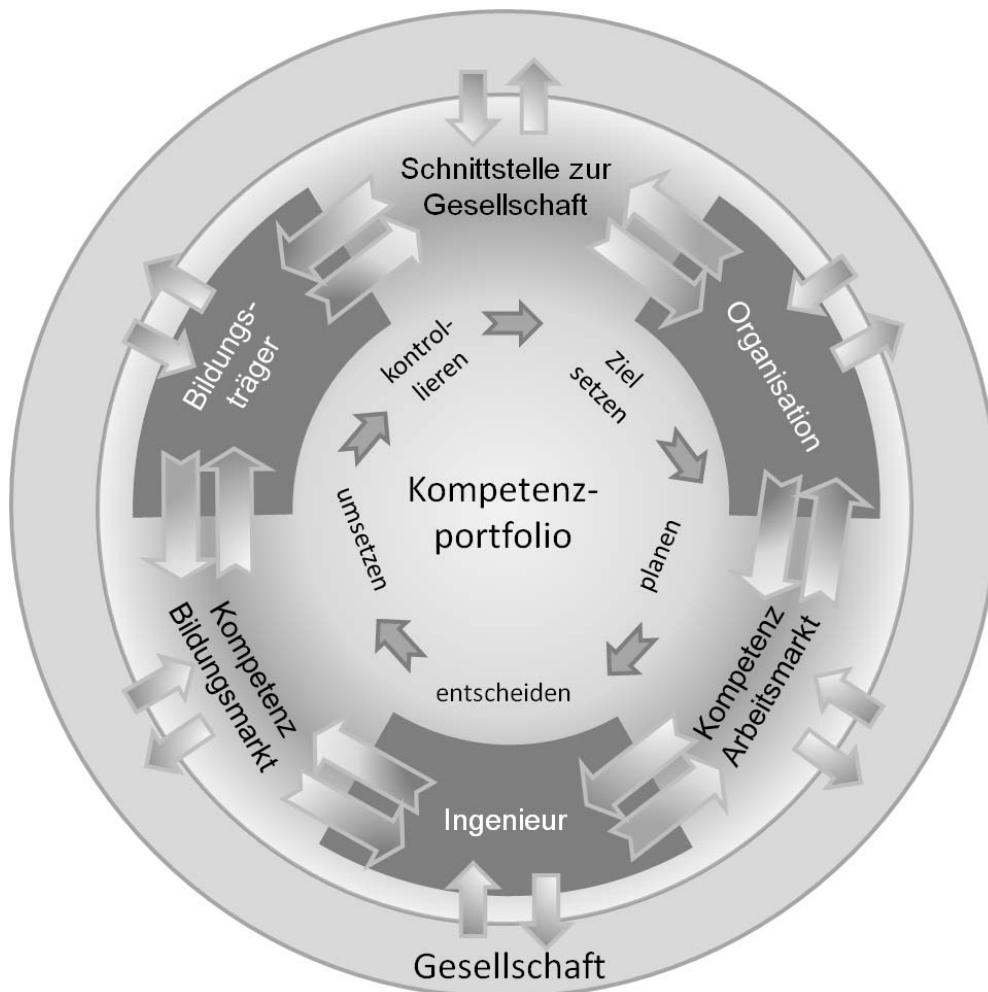


Abbildung 2-11: Referenzmodell des integrativen Kompetenzmanagements (nach [Mey-06])

Angebot und Nachfrage beeinflussen die Management-Entscheidung der Akteure. Eine Analyse des Marktes ist erforderlich, um die entsprechenden Informationen für eine risikoarme Entscheidung zu erlangen.

2.1.7.2 Markttransparenz

KUHLMANN definiert *Markttransparenz* als den „Grad der Informiertheit von Wirtschaftssubjekten über relevante Aspekte der Marktstruktur und der Marktprozesse“ [Kuh-01]. Sie ermöglicht ein bedarfs- und zielgerechtes Agieren und mindert das Risiko von Fehl-

entscheidungen. Konsumenten benötigen Informationen über das Marktangebot, um ihre Bedürfnisse angemessen befriedigen zu können und um Fehlentscheidungen zu vermeiden. Damit führen sie gleichzeitig eine wichtige volkswirtschaftliche Funktion aus, indem sie jene Angebote und Anbieter auswählen, die ihre Bedürfnisse am besten befriedigen. Märkte mit einer asymmetrischen Informationsverteilung zwischen Anbietern und Nachfragern können versagen, wenn für die Anbieter von Gütern hoher Qualität keine Möglichkeit besteht, den Nachfragern diese Qualität glaubwürdig darzustellen. AKERLOF beschreibt, wie Anbieter von qualitativ hochwertigen Produkten schrittweise den Preis senken müssen, wenn die Käufer den Unterschied zwischen qualitativ hoch- und geringwertigen Produkten nicht kennen. Langfristig verdrängen dann die geringwertigen Produkte die Hochwertigen [Ake-70]. Anbieter einer besseren Qualität stehen demnach systematisch vor dem Problem, wie sie die asymmetrische Informationsverteilung überwinden können. Die Veröffentlichung von Informationen zur Produktqualität ist daher nicht nur aus Verbraucherperspektive erwünscht, um Transaktionskosten der Informationsbeschaffung zu verringern, sondern liegt im Eigeninteresse der Anbieter von Produkten hoher Qualität [Schoe-04]. Die zunehmende Durchdringung der Märkte mit Informations- und Kommunikationstechnologie führt zu umfassender und allzeitiger Verfügbarkeit von Informationen. Nachfrager können sich bei gleichen Such- und Informationskosten weitaus mehr Informationen über Anbieter, Produkte, Leistungen und insbesondere Preise einholen als dies früher der Fall war [Res-02].

2.1.7.3 Qualifikationsportfolios

Die Planung der Qualifizierung kann durch das Werkzeug der *Portfolio-Technik* unterstützt werden. Dafür werden Qualifikationen auf Ihre aktuelle und künftige Marktattraktivität analysiert. Gegenstand können einzelne LO und umfassende Qualifikationsprofile sein. Mit Hilfe des Wettbewerbs-Qualifikationsportfolios kann die Stellung im Arbeitsmarkt analysiert werden, um kurzfristige Chancen und Risiken der verfügbaren Qualifikationen zu erkennen und daraus Maßnahmen abzuleiten (vgl. Abbildung 2-12) [Rei-00].

Es wird untersucht, wie viele Personen eine ähnliche Qualifikation aufweisen und bewertet, wie stark die untersuchte Qualifikation in der beruflichen Tätigkeit genutzt wird. Die Matrix spannt dadurch vier Felder auf, die als Grundlage der Qualifizierungsentscheidung dienen. Bei Qualifikationsvorsprung gegenüber Wettbewerbern sollte das Tätigkeitsfeld verstärkt auf diese Qualifikation ausgerichtet werden. Tätigkeitsfelder in denen eine Person weder einen Qualifikationsvorsprung besitzt, noch besonders aktiv ist, sollten abgebaut werden. In Tätigkeitsfeldern mit hohen Arbeitsanteilen in denen die Person keinen Qualifikationsvorsprung hat, muss das Qualifikationsprofil durch kurzfristige Qualifizierungsmaßnahmen verbessert werden.

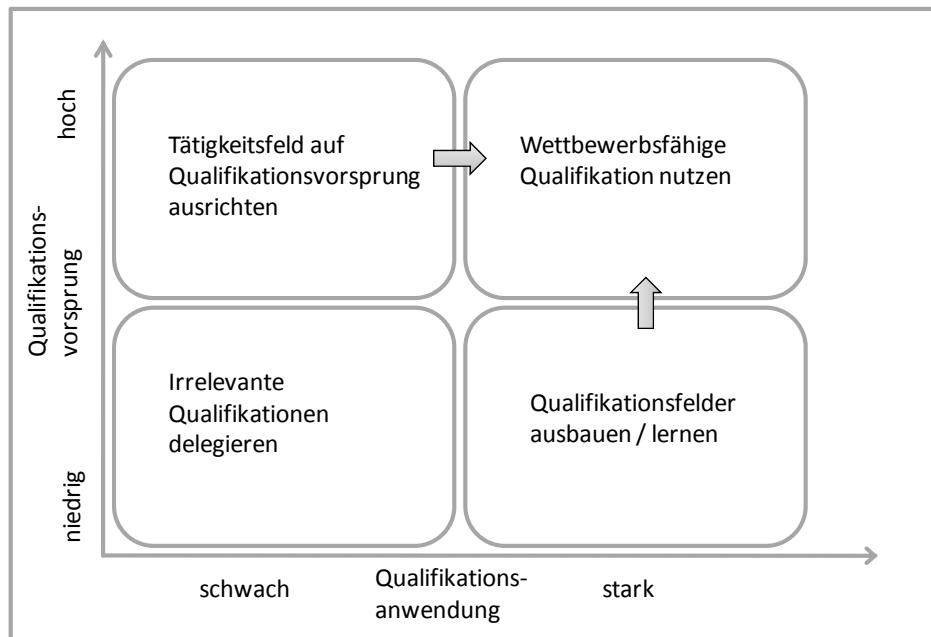


Abbildung 2-12: Wettbewerbs-Qualifikationsportfolio (nach [Rei-08])

Mit Hilfe des *Nachhaltigkeits-Qualifikationsportfolios* kann der langfristige Wert von Qualifikationen bestimmt werden. Der langfristige Erfolg am Arbeitsmarkt erfordert die Weiterentwicklung von relevanten und zukunftsfähigen Qualifikationen. Relevant bedeutet, die Qualifikation in vielen Anwendungen einsetzen zu können, zukunftsfähig beschreibt eine lange Halbwertszeit der Qualifikation [Rei-08]. Qualifikationen mit langer Halbwertszeit sollten identifiziert werden und durch Qualifizierung ausgebaut werden. Qualifikationen niedriger Halbwertszeit und geringer Anwendungsbreite sollten als unrentabel abgeschrieben werden. Bei großer Anwendungsbreite kann der Qualifikationsbereich kurzfristig abgeschöpft werden und gleichzeitig eine Aktualisierung der Qualifikation erfolgen.

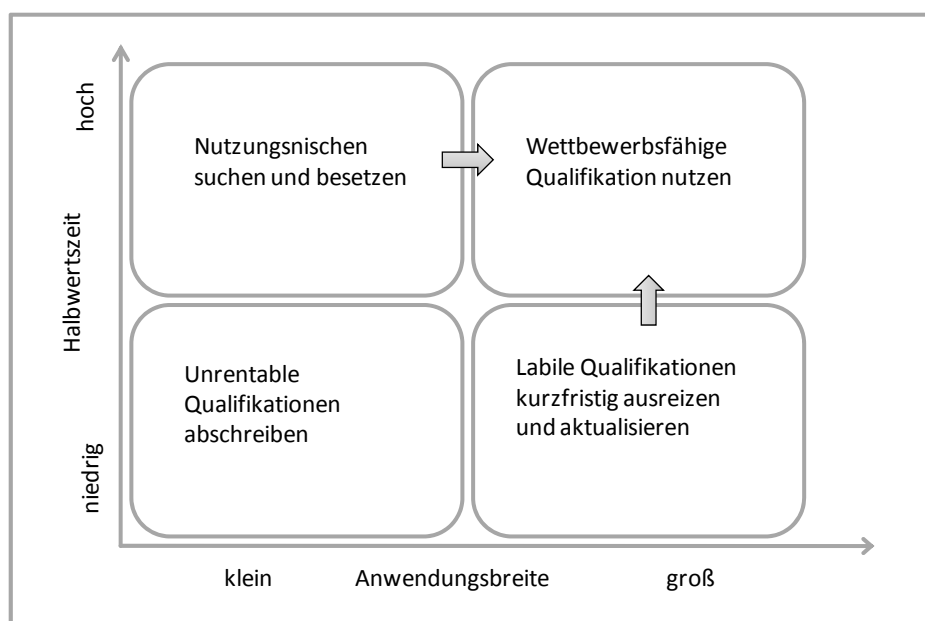


Abbildung 2-13: Nachhaltigkeits-Qualifikationsportfolio (nach [Rei-08])

2.1.7.4 Qualitätsmanagement

In den vergangenen Jahren haben viele Hochschulen sogenannte *Qualitätsmanagementsysteme* aufgebaut. Das heute weltweit am stärksten verbreitete Managementsystem basiert auf der ISO 9000 Normenreihe der „International Organisation for Standardization“ (ISO). ISO 9000 beschreibt Begriffe, die als international verbindliches Vokabular genutzt werden können. Qualität wird dort definiert als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt“ [ISO-9000]. Ein Managementsystem wird als Verbund einzelner Methoden der Führung mit systematisierten Steuerungs- und Kontrollmechanismen beschrieben [ISO-9000]. ISO 9001 beschreibt, welchen Anforderungen das Managementsystem eines Unternehmens genügen muss. Dies beinhaltet z. B. die Dokumentation der unternehmensrelevanten Prozesse. Die Dokumentation des Managementsystems dient sowohl als Grundlage einer kontinuierlichen Verbesserung des Unternehmens als auch zum Nachweis bestimmter Standards gegenüber Dritten. Die Zertifizierung erfolgt durch unabhängige Institutionen [ISO-9001].

Die Kunden stellen Anforderungen in Form von Qualifikationsprofilen an die Hochschule und geben nach Erbringung der Produkt- bzw. Dienstleistung ein Feedback über die Zufriedenheit mit der erhaltenen Leistung. Innerhalb der Hochschule werden in einem Kreislauf die Teilprozesse: Verantwortung der Leitung, Management der Mittel, Produkt- und Dienstleistungsrealisation sowie Messung, Analyse und Verbesserung durchlaufen. Das Qualitätsmanagementsystem und eine kontinuierliche Verbesserung sollen die Qualität und Produktivität des Systems sicher stellen (vgl. Abbildung 2-14).

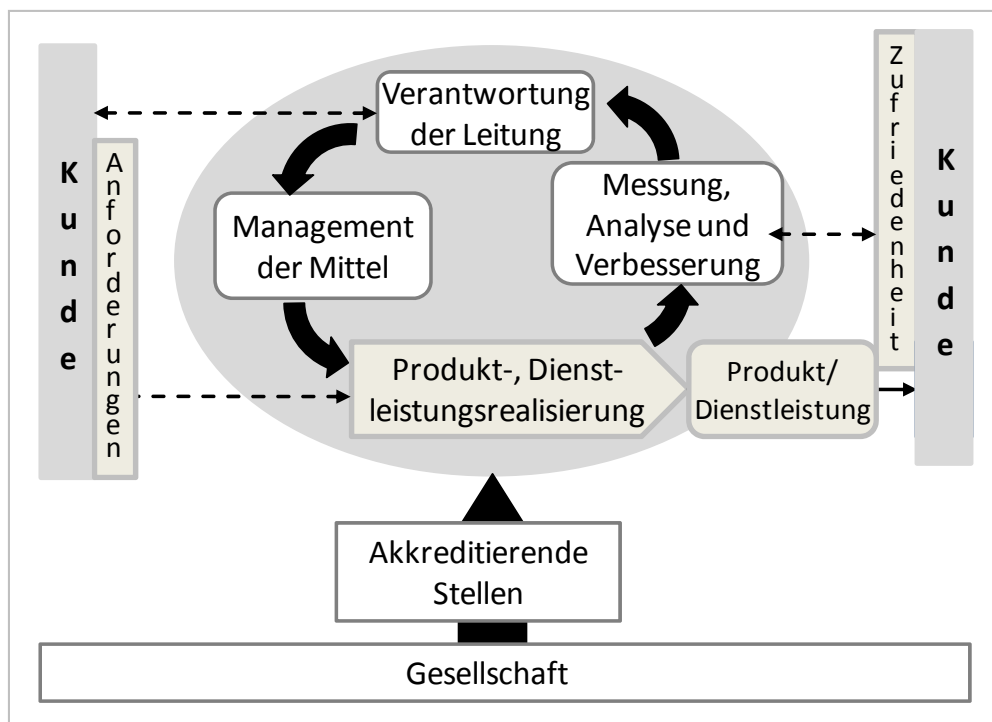


Abbildung 2-14: Prozessmodell formaler Qualifizierung (nach [ISO-9001])

Eine *Akkreditierung* ist eine Qualitätssicherungsmaßnahme, die von einer unabhängigen Agentur durchgeführt wird. Die Agenturen sind in Deutschland durch den zentralen Akkreditierungsrat zertifiziert [Akk-10]. Die Vereinigten Staaten von Amerika (USA) sind das Ursprungsland der Akkreditierung im Bildungsbereich. Dort haben weder die Bundesregierung noch die Regierungen der einzelnen Bundesstaaten die rechtliche Autorität, eine Hochschule oder High School staatlich anzuerkennen, wie dies in Europa üblich ist. Diese Anerkennung wird daher extern durch die für das jeweilige Gebiet des Landes zuständige regionale Akkreditierungsagentur durchgeführt. Diese Art der Akkreditierung, die sogenannte „regional accreditation“, bezieht sich auf die gesamte Bildungsinstitution. Daneben hat sich die sogenannte „national accreditation“ etabliert, durch die Studiengänge von akkreditierten Institutionen zusätzlich akkreditiert werden können [Eat-09].

2.2 Semantik-Web-Technologien

2.2.1 Wissensbasierte Systeme

Software dient zur automatisierten Bearbeitung von Aufgaben. Sie umfasst technologisch die Gesamtheit ausführbarer Programme und die dazugehörigen Daten [Gör-00]. Konventionelle Softwaresysteme basieren auf Wissen, das durch den Programmierer implizit eingebracht wird, bevor das System Aufgaben lösen kann. So beinhaltet zum Beispiel ein Manufacturing Resource Planning (MRP)-System Wissen über Material- und Informationsflüsse, über Kapazitäten und Planungsmethoden des Unternehmens. Das Wissen, welche Verfahren zur Auswahl von Betriebsmitteln verwandt werden oder welche Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung bestehen, befindet sich in den Algorithmen und Datenstrukturen und ist über viele Stellen des Programmcodes verteilt [Bei-08]. Das System beinhaltet erstens das Fachwissen über die Bereichsstruktur, sogenanntes *Domänenwissen*, (engl. *domain knowledge*), also z. B. das Wissen über die Wechselwirkung zwischen Kapazitätsauslastung und Durchlaufzeit, und zweitens das *Problemlösungswissen*, z. B. spezifische Algorithmen zur Abstimmung von Kapazität und Durchlaufzeit. Domänenwissen und Problemlösungswissen bilden in hergebrachten Softwareanwendungen eine Einheit, die nicht voneinander losgelöst betrachtet werden kann. Deswegen muss bei Änderungen des Domänenwissens auch der Programmcode geändert werden [Bei-08]. Wird beispielsweise ein neuer Algorithmus zur auslastungsorientierten Auftragsfreigabe entwickelt, muss ggf. die gesamte Software neu gestaltet werden.

In einem wissensbasierten System erfolgt dagegen eine Trennung von Problemlösungswissen und Domänenwissen. KURBER definiert ein *wissensbasiertes System* als ein Softwaresystem, bei dem das Fachwissen über das Anwendungsgebiet explizit und unabhängig vom allgemeinen Problemlösungswissen dargestellt wird [Kur-92]. Abbildung 2-15 visualisiert dessen Bestandteile.

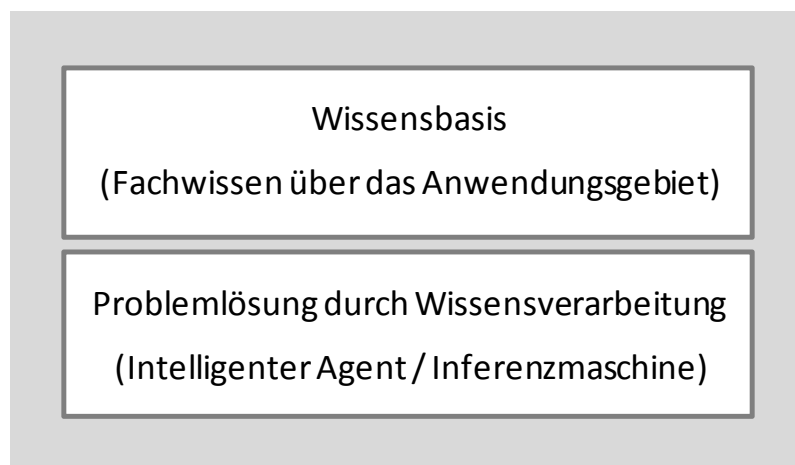


Abbildung 2-15: Basis eines wissensbasierten Systems (in Anlehnung an [Kur-92])

Ein wissensbasiertes System kann synonym auch als *intelligenter* bzw. *rationaler Agent* bezeichnet werden [Gör-00]. Domänenwissen wird in angemessener Repräsentationsform in der *Wissensbank* abgelegt. Die Verarbeitung geschieht in der Problemlösungskomponente, in ihr ist das anwendungsunabhängige Wissen enthalten. Hier werden die Schlussfolgerungen durchgeführt. Die Problemlösungskomponente wird daher auch als *Inferenzmaschine* bezeichnet [Gör-00]. Im Vergleich zu herkömmlichen Softwaresystemen ermöglicht die Trennung von Wissensbank und Problemlösungskomponente die Modularisierung von Softwaresystemen. Über die Wissensbank können unterschiedliche anwendungsspezifische Agenten miteinander interagieren. Die Modularität führt zu erhöhter Flexibilität, dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn unterschiedliche Agenten verteilter Systeme gemeinsam zur Lösung einer komplizierten Aufgabe eingesetzt werden.

Zur Darstellung komplizierten expliziten Wissens und zur Erschließung impliziten Wissens durch Schlussfolgern eignen sich Methoden der *künstlichen Intelligenz*. Die Anfänge der künstlichen Intelligenz liegen in den 1950er Jahren, in denen TURING formulierte, in Zukunft wären Computer in der Lage nicht nur zu rechnen, sondern auch intelligentes Verhalten zu zeigen [Kur-92]. Die Geschichte der künstlichen Intelligenz in der Folgezeit lässt sich in drei Perioden gliedern, die Klassische, die Romantische und die Moderne [Jac-86]. Diese unterscheiden sich hauptsächlich in Ihren Forschungsgegenständen. In der *klassischen Periode* bis Mitte der sechziger Jahre suchte die Forschung insbesondere nach allgemeinen Prinzipien, mit deren Hilfe es möglich wäre, beliebige Probleme zu lösen [Kur-92]. Diese Problemlösungsprinzipien wurden dann vor allem auf einfache Problemstellungen, zum Beispiel „Blocks World“ [Sla-10] oder das Spiel Dame, angewandt. Die Systeme nutzten keine bzw. wenig Informationen über den eigentlichen Anwendungsbereich. Dies stellte sich in komplexen Anwendungssituationen, in denen die Systeme vielfach schwache Ergebnisse erzielten, als große Schwierigkeit heraus [Kur-92]. In der *romantischen Periode* von ca. Mitte der 1960er bis Mitte der 1970er Jahre wurde daher die Idee der Methoden zur allgemeinen Problemlösung durch Methoden mit einer stärkeren Fokussierung auf bereichsspezifische Probleme abgelöst. Hierbei fand eine Konzentration auf Methoden zur Problembeschreibung, Wissensrepräsentation und für Suchverfahren statt. In den 1970er Jahren, der *modernen Periode*, wurde die Integration des problemspezifischen Wissens in den Problemlösungsprozess vorangetrieben. Es wurde erkannt, dass die Lösungsfähigkeit eines Programms weniger von den Lösungsstrategien, sondern vielmehr von dem enthaltenen Wissen über das Anwendungsfeld abhängt. Daher wurden vermehrt spezifische Programme für eng abgegrenzte Problembereiche entwickelt. Es wurden Experten befragt, wie sie Probleme lösen und deren Art der Problemlösung in einer Softwareanwendung abgebildet. Diese Programme verhalten sich in der Lösung realer Probleme ähnlich wie Menschen und werden daher auch *Expertensysteme* genannt [Kur-92].

Die Abbildung von Wissen in wissensbasierten Systemen wird als *Wissensmodellierung* (engl. *knowledge engineering*) bezeichnet [Bei-09]. Darunter wird vielfach die Extraktion und das Herausfiltern von Wissen aus den Köpfen von Experten verstanden [Schre-02]. Vorgehensweisen zur Modellierung von Wissen bestehen grundsätzlich aus den vier Phasen: Erfassung und Strukturierung von Wissen, die sogenannte *Wissensakquise*; das Formalisieren und Abbilden im Computer, die sogenannte *Wissensrepräsentation*; die Verarbeitung zur *Lösung* bestimmter Probleme, z. B. durch eine Inferenzmaschine, und die Darstellung des Wissens, die sogenannte *Informationsvisualisierung* [Kun-05]. Die Überführung von Qualifikationsbeschreibungen aus dem natürlich-sprachlichen Bereich in eine formale Darstellung bildet für diese Arbeit eine besondere Herausforderung. Dieser Aspekt ist der Phase der Wissensrepräsentation zuzuordnen. Sie beschäftigt sich mit der Beschreibung von Objekten, Ereignissen, Handlungs- oder Metawissen, das es anderen ermöglicht, einen Sachverhalt zu analysieren und Ergebnisse zu schlussfolgern, ohne dabei die dargestellten Sachverhalte zu verändern [Kun-05].

Seit Anfang der 1990er Jahre wurde die Entwicklung wissensbasierter Systeme auf ihre Zielerreichung und Praxistauglichkeit überprüft [Mai-95] [Mar-96]. Die von TURING prognostizierten „denkenden Computer“ konnten nicht verwirklicht werden [Schmi-07]. Wissensbasierte Systeme sind, genau wie konventionelle Softwaresysteme, von der Güte ihrer Algorithmen abhängig und konnten bisher nur für begrenzte Ausschnitte der Wirklichkeit zufriedenstellende Ergebnisse erzielen. Nährt sich das System der Grenze des in ihm abgebildeten Wissensgebiets, so fällt die Leistungsfähigkeit rapide ab. Werden Probleme gestellt, die der Systementwickler nicht berücksichtigt hat, versagt es [Schmi-07]. Spezialisierte wissensbasierte Systeme können dennoch bei einer Anwendung durch Nutzer ohne Expertenwissen sehr gute Ergebnisse hinsichtlich schneller und effizienter Entscheidungen mit einer hohen Qualität erzielen [Schmi-07]. Eine Abwägung zwischen Ressourceneinsatz zur Erstellung wissensbasierter Systeme und dem Aufbau entsprechenden Expertenwissens bei den Nutzern ist daher erforderlich. Problematisch können sich Veränderungen des Umfeldes durch neue Informationen bzw. Problemlösungsmethoden auswirken, die die Anwendung von Expertensystemen in einem dynamischen Umfeld mit hoher Innovationsgeschwindigkeit erschweren. Die Forschung zu wissensbasierten Systemen war aufgrund der benannten Beschränkungen seit den 1990er Jahren eher rückläufig [Schmi-07]. Heute erfahren die Methoden der künstlichen Intelligenz durch die Fortschritte der Informations- und Kommunikationstechnologie jedoch eine Renaissance.

2.2.2 Das Semantik-Web

Impulsgeber neuer Forschungsanstrengungen über wissensbasierte Systeme war die Entwicklung des Internetdienstes *World Wide Web* (WWW) und dessen enormes Wachstum seit Mitte der 1990er Jahre. Es wurden Möglichkeiten des Informationsaustausches geschaffen, die für wissensbasierte Systeme neue Perspektiven aufzeigten. Die Potentiale des WWW basieren vor allem auf der Aktualität der Daten und deren allgegenwärtiger Verfügbarkeit. Informationen können mit einfachen Hilfsmitteln jederzeit auf den neuesten Stand gebracht werden und in vernachlässigbarer Übertragungszeit bereitgestellt werden. Diese Informationen können prinzipiell von jedem Ort der Erde aus an einem anderen beliebigen Ort bereitgestellt werden. Dies führte zu einer Marktliberalisierung in der Bereitstellung von Informationen. War die Versorgung mit Information bisher kosten- und zeitaufwändig und daher einem Oligopol von Informationsbereitstellern mit wirtschaftlichen Geschäftsmodellen z. B. Verlagen und Fernsehsendern vorbehalten, so bietet das WWW heute Einzelpersonen die Möglichkeit mit vernachlässigbaren Kosten Informationen zu veröffentlichen [Hit-08]. Gleichzeitig sind eine umfassende Auswahl an neuen Geschäftsmodellen, die das WWW nutzen, hinzugekommen, sodass es heute nur noch wenige Produkte und Dienstleistungen gibt, die nicht zumindest teilweise über das Internet abgewickelt werden können [Hit-08].

Drei technologische Säulen prägen das WWW, das Hypertext Transfer Protocol (http) zum laden von Webseiten in einem Browser, den Uniform-Ressource-Identifizierer (URI) zur Identifizierung von Internetressourcen z. B. Webseiten oder URL-Adressen und die Auszeichnungssprache Hypertext Markup Language (HTML) zur nutzerorientierten Darstellung der Daten [W3C-04a]. Durch Hypertext werden Dokumente miteinander verlinkt, sodass eine Netzstruktur entsteht. Diese Basisstruktur wird häufig auch als *Web 1.0* bezeichnet.

Die Integration interaktiver und kollaborativer Elemente in die bestehende, vielfach sehr statische Seitenstruktur war eine Weiterentwicklung, die zu einer enormen Popularisierung des WWW beigetragen hat. Seit Beginn der 2000er Jahre gewinnt interaktive und kollaborative Internetnutzung weltweit an Bedeutung, deren Höhepunkt heute noch nicht absehbar ist [Pel-06]. 2003 wurde dafür der Begriff *Web 2.0* geprägt [CIO-03]. Revolutionär daran ist, dass die Benutzer unterstützt von Softwareanwendungen, z. B. Wikipedia, Inhalte selbst erstellen, bearbeiten und verteilen. Außerdem können sich Nutzer durch Software, z. B. in Facebook, miteinander vernetzen und, unterstützt durch weitere Anwendungen, z. B. Echtzeit-Bildübertragung, eine quasi-persönliche Gesprächsatmosphäre generieren. Kommunikationskanäle verlagern sich daher vermehrt in das Internet, z. B. durch chats in Skype. Die Vernetzung der Menschen fördert auch die verbesserte Identifikation von

Informationen, z. B. durch Austausch von Webseitenfavoriten, sogenannten Bookmarks, wie etwa auf Delicious, von Webseiten-Empfehlungen auf Twitter und von Geschäftskontakten, z. B. auf LinkedIn. Die Annahme dieser Anwendungen wird in der heutigen Nutzung des Internets deutlich: weltweit nutzen Menschen zwischen 15 Jahren und 40 Jahren vorwiegend das Internet zur Informationsgenerierung und –verteilung [Ago-10].

Die Anzahl der Webseiten hat dabei ein genau bezifferbares Maß überschritten. Schätzungen gehen von mehr als 2,5 Milliarden statischen Webseiten bei einem täglichen Zuwachs von 7 Millionen neuen Seiten aus. Der Umfang webbasierter Datenbanken und dynamischer Webseiten und deren Informationsgehalt wird aber auf bis zu 500mal umfangreicher eingestuft [Kas-08]. Das WWW ist somit zu einem Gebilde mit einer für den Menschen unüberschaubaren Anzahl an Informationen herangewachsen. Die Repräsentation der darin enthaltenen Informationen ist vorwiegend auf den Menschen ausgerichtet. HTML beschreibt, wie Informationen dargestellt werden und wie sie verlinkt sind, nicht jedoch was sie bedeuten. Der Mensch versteht die auf einer Webseite bereitgestellten natürlich-sprachlichen Informationen, eine Maschine dagegen nicht. Wenn der Mensch bestimmte Informationen nicht mehr aus der Fülle der Webseiten filtern kann, ist er aber auf die Hilfe von Maschinen angewiesen. Hierin besteht eine große Herausforderung, denn solange Maschinen die auf den Webseiten hinterlegten Informationen nicht automatisch erfassen können, bleiben große Mengen vorhandener Informationen unerschlossen. Dies betrifft neben den explizit dargestellten Informationen mit zunehmendem Speicherumfang auch implizite Informationen, die sich aus der Kombination unterschiedlicher Informationsaussagen herleiten.

Heutige Suchmaschinen, z. B. Google, bieten durch ausgereifte Algorithmen vielfach sehr gute Möglichkeiten der Informationsidentifikation. Diese Technologien basieren allerdings auf der Suche von Zeichenketten im Text, ohne deren Bedeutung zu identifizieren. Die Suche liefert vielfach irrelevante Ergebnisse, da Homonyme und Bedeutungsunterschiede in unterschiedlichen Kontexten nicht erkannt werden. Beispielsweise liefert eine Suchanfrage zu den Schlagworten „Reise“ und „Ontologie“ neben Informationen zum Thema dieser Dissertation ca. 23.000 Ergebnisse, die sich mit anderen Aspekten, z. B. Ferienreisen, beschäftigen [Goo-10]. Eine bedeutungsorientierte, also semantische Suche zu Ontologien, die als Autor Herrn Reise haben, könnte deutlich genauer fokussieren. Durch sie könnte der Ergebnisraum außerdem um inhaltlich verwandte Aspekte ergänzt werden, die nicht explizit in der Anfrage genannt werden. Eine derartige Suche kann Synonyme des Schlüsselwortes, Übersetzungen in andere Sprachen und Informationen, die nicht explizit gegeben sind, sich aber aus einer Reihe von Informationen folgern lassen, mit einbeziehen. Aus den Informationen, dass Ontologien in intelligenten Agenten Anwendung finden und „Autor Reise“ sich mit der Planung von Qualifizierung beschäftigt, könnte dann gefolgert werden,

dass Dokumente über intelligente Agenten zur Planung von Qualifizierung auch als Suchergebnisse generiert werden.

BERNERS-LEE entwickelte in [Ber-98] die grundlegenden Ideen zur semantischen Suche im WWW. Er schlug vor, Informationen über Webressourcen so mit Daten anzureichern, dass eine Verarbeitung durch Maschinen möglich wird. Außerdem schlug er vor, Methoden der künstlichen Intelligenz und formalen Logik zur Schlussfolgerung von implizit vorhandenen Informationen auf das bestehende Web anzuwenden [Ber-98]. Insbesondere automatische Beweissysteme, die die Prädikatenlogik nutzen, und neuronale Netze, die auf Induktionslogiken basieren, wurden zur Lösung vorgeschlagen. Dieser Ansatz wird als Semantik Web oder auch *Web 3.0* bezeichnet.

Daten sind weltweit verteilt verfügbar und durch oben benannte WWW-Standards strukturiert und verknüpft. Damit sind sie, sofern sie eine Beschreibung über ihre inhaltliche Bedeutung haben, wie in einer Datenbank abrufbar. Die Anreicherung des WWW mit Semantik-Web-Technologien ermöglicht daher die Bereitstellung einer gewaltigen Datenbasis von Wissen (engl. database in the sky). Diese Entwicklung bietet wiederum intelligenten Agenten, deren Möglichkeiten bisher oft aufgrund ungenügender Wissensbasen ungenutzt blieben, die Chance, auf die WWW-Datenbasis zurückzugreifen. Da das WWW Informationen über unterschiedlichste Wissensdomänen in enormem Umfang bereit stellt, vergrößert sich das Anwendungspotential der intelligenten Agenten von spezifischen, aufwändig strukturierten Nischen auf alle Bereiche, in denen lösungsrelevante Informationen veröffentlicht wurden.

Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Datenbank, bei der zuerst die Struktur der Daten definiert wird und dann die Daten eingespeist werden, erlauben Semantik-Web-Datenbanken die kontinuierliche Adaption der Struktur. Derartige Datenbanken werden auch als *Semantik-Web-Wissensbanken* (SWW) (engl. semantic-web-knowledge-bases) bezeichnet, um sie von konventionellen Datenbanken abzugrenzen. SWW lassen im Gegensatz zu relationalen Datenbanksystemen, z. B. MRP-Systemen, die Arbeit mit deutlich ausdrucksstärkeren Metadaten zu. Maschinelles Schlussfolgern wird möglich und Datenstrukturen können kontinuierlich wachsen, ohne eine grundlegende Änderung der Softwarearchitektur erforderlich zu machen [Hit-08].

Wenn Softwareanwendungen auf verteilte Informationen zugreifen, diese miteinander austauschen und in Verhältnis zueinander setzen können, wird dies als *Interoperabilität* bezeichnet [Pel-06]. Softwareanwendungen können die jeweiligen Datensätze nur verarbeiten, wenn Informationen über sie vorliegen, die für eine Anfrage entsprechende Antworten bereitstellen. Diese zusätzlichen Informationen werden als Metadaten bezeichnet. BERNERS-LEE definiert Metadaten als „maschinenverständliche Informationen über Webressourcen“ [Ber-97].

Mit einem *Metadatenframework* wird festgelegt, ob und wie Daten möglichst plattformunabhängig erstellt und in andere Systeme importiert werden können. Ein Metadatenframework umfasst eine gemeinsame Syntax, z. B. XML, und eine definierte Struktur, die die Metadaten haben dürfen. In der Vergangenheit wurden bereits einige Metadatenframeworks geschaffen, dazu gehören z. B. die Auszeichnungssprachen XML oder HTML, mit denen zusätzliche Informationen zur Darstellung von Dokumenten spezifiziert werden können [Pel-06]. Metadatenframeworks, die jeweils mit eigener Semantik behaftet sind, bergen für Softwareentwickler große Herausforderungen in der Überbrückung von Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Softwareanwendungen.

Die durch das *World Wide Web Consortium* (W3C) erarbeiteten Standards zielen auf eine gemeinsame Grundlage für die anderen Metadaten- und Modellierungsformate ab [W3C-10]. Sie wurden entwickelt, um die Anforderungen des Semantik Web hinsichtlich der Modellierung von Graphen, einer hohen Ausdruckstärke und der Entscheidbarkeit durch logische Interferenzen zu erfüllen [W3C-10]. Diese Beschreibungssprachen für Metadaten können genauso deterministisch sein wie Datenbanken, sind allerdings aufgrund der Integration logikbasierter Methoden viel ausdrückstärker als konventionelle Modellierungsmethoden, z. B. Entity-Relationship-Modelle (ERM) [Pol-09]. Bisher wurden die Informationsspezifikationssprachen RDF, RDF(S) und OWL vom W3C als Wissensrepräsentationssprachen definiert, die im Folgenden genauer beschrieben werden.

2.2.2.1 Semantik Web Software Standards

Das *Resource Description Framework* (RDF) ist eine formale Sprache zur Beschreibung von Webressourcen. Im Vergleich zu Auszeichnungssprachen wie HTML geht es nicht um die korrekte Darstellung von Dokumenten, sondern um die Kombination und Weiterverarbeitung der enthaltenen Informationen. RDF wurde im Jahr 1999 vom W3C als Standard veröffentlicht, der ursprünglich für die Darstellung von Metadaten über Web-Ressourcen, z. B. Autoren von Dokumenten oder Lizenzbedingungen, gedacht war [LAS-99]. Mit fortschreitender Forschung zum Semantik Web wurde RDF für die Beschreibung der Beziehung zwischen jeglichen im WWW genutzten Ressourcen ausgelegt [Hit-08]. Dazu werden zwei Knoten durch eine gerichtete Kante verbunden, wodurch ein gerichteter Graph entsteht. Beispielsweise Person Carsten Reise ist Autor der Publikation X (vgl. Abbildung 2-16). Dabei bildet ein Knoten das Subjekt und der andere das Objekt, die durch die Kante, das Prädikat, miteinander verbunden sind. Diese Dreierkombination wird *Tripel*, deren Elemente *Ressourcen* genannt. Die Kombination beliebig vieler Tripel bildet ein Netz. Im Gegensatz zur Auszeichnungssprache XML, die Informationen in Baumstrukturen organisiert, bietet RDF die Möglichkeit, Beziehungen auszudrücken, die keine hierarchische Verbindung haben. Damit können Zusammenhänge, z. B. zwischen dem Autor und seiner Dissertation, ausgedrückt werden. RDF eignet sich daher insbesondere für die Modellierung

von Netzen, z. B. dem WWW, in dem Informationen dezentral verwaltet und gespeichert werden und Informationen zur Weiterverarbeitung aus vielen Quellen kombiniert werden müssen. Beispielsweise zwischen den Web Ressourcen www.mf.tu-berlin/publikationen und www.mf.tu-berlin/mitarbeiter (Abbildung 2-16). Um eine Ressource eindeutig zu kennzeichnen, wird ihr ein *Uniform Resource Identifier* (URI) zugeordnet, um unterschiedliche Ressourcen mit gleichem Namen, z. B. Dissertation, unterscheiden zu können. Um die RDF Graphen maschinenlesbar zu machen, wurde XML als Syntax gewählt, da weitgehend jede gebräuchliche Programmiersprache XML unterstützt [Hit-08]. Der Unterschied zwischen Graphen und Baumstruktur spielt hier keine Rolle, da durch XML lediglich die syntaktische Struktur des Dokuments vorgegeben wird. Ressourcen kann zusätzlich ein Datentyp zugeordnet werden, damit die Maschine Wertebezeichner, z. B. den Autorennamen oder das Erscheinungsjahr der Dissertation, besser interpretieren kann [W3Cd].

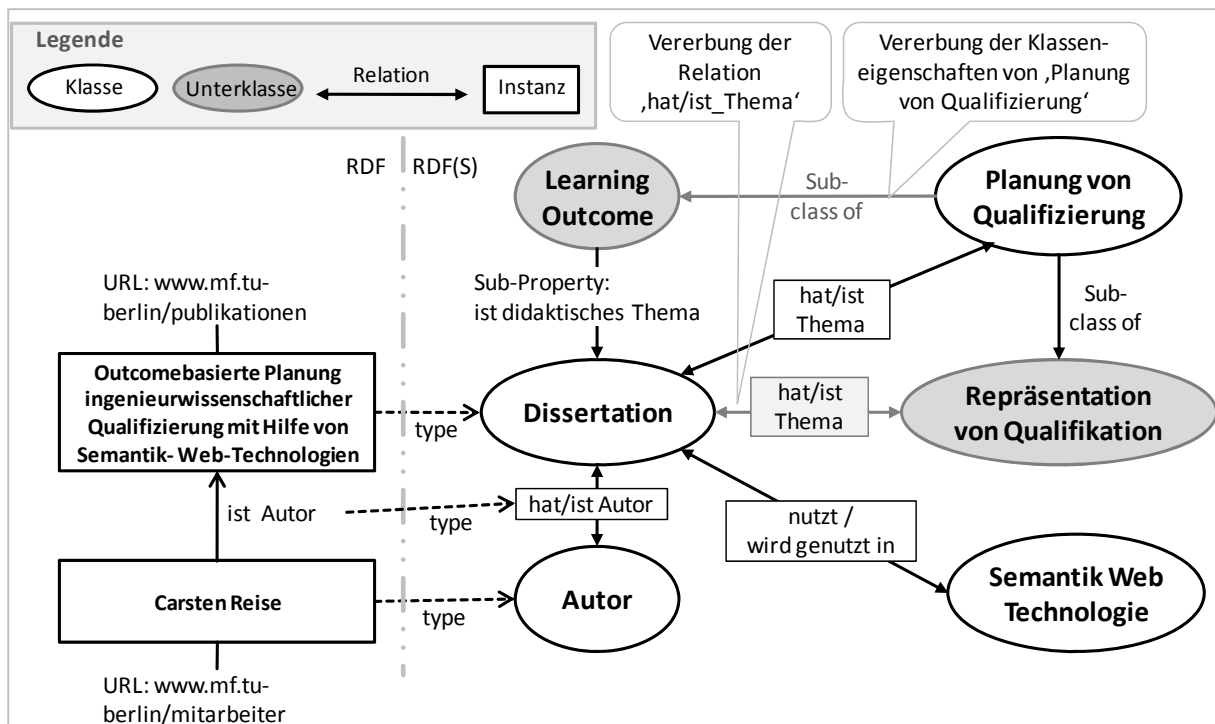


Abbildung 2-16: Darstellung einfacher Strukturen in RDF und RDF(S)

Ressourcen können grundsätzlich aus *Klassen*, z. B. „Autor“, *Instanzen*, z. B. „C.Reise“, und *Relationen*, z. B. „ist_Autor“, bestehen. Klassen sind die abstrakten Mengen aller zu ihr gehörender Instanzen. Softwareanwendungen im Semantik Web, z. B. OWL und Protégé, nutzen zum Teil andere Ausdrücke. Instanzen werden daher teilweise auch als Individuen, Relationen als Rollen oder Slots und Klassen als Konzepte bezeichnet [W3C-04a] [Hor-09]. Eine definierte Menge von Individuen, Klassen und Beziehungen nennt man *Vokabular*. Um für das in RDF modellierte Vokabular semantische Hintergrundinformationen, sogenanntes *terminologisches Wissen*, zu hinterlegen, wurde vom W3C das sogenannte *RDF-Schema*

(RDF(S)) etabliert [W3C-04d]. Dieses erlaubt Wissen über die in einem Vokabular verwendeten Begriffe einer Domäne, z. B. Dissertation und Planung von Qualifizierung, zu spezifizieren. Dadurch können einfache Aussagen über die Bedeutung und den Zusammenhang von Dingen in RDF(S) modelliert werden. Neben einfachen Klassen und Eigenschaften, können in RDF(S) auch Unterklassen, sogenannte *Subclasses*, und Untereigenschaften, sogenannte *Subproperties*, verwandt werden, die vergleichbar mit der objektorientierten Programmierung Eigenschaften erben. Dies eignet sich insbesondere, um hierarchische Beziehungen, z. B. in Form von Lernzieltaxonomien, abzubilden. Abbildung 2-16 zeigt wie die exemplarische Subproperty „hat_didaktisches_Thema“ eine Teilmenge der Themen der „Dissertation Reise“ beschreibt. Gleichzeitig könnte die „Repräsentation von Qualifikation“ eine Unterklasse der „Planung von Qualifizierung“ sein, aus deren Vererbungseigenschaften hervorgeht, dass dies auch Thema der Dissertation ist.

Komplizierte Zusammenhänge übersteigen vielfach die Modellierungsmöglichkeiten mit RDF(S). Es wurde daher die *Web Ontology Language* (OWL) entwickelt. Sie basiert auf der RDF Syntax, Konzepten aus RDF(S) und formal-logischen Notationen der Prädikatenlogik erster Stufe. Dadurch wird die Ausdruckskraft für die Beschreibung von Zusammenhängen verstärkt. Außerdem wird logisches Schlussfolgern und damit die Erschließung von impliziten Informationen ermöglicht. Dabei stellt das Abwägen zwischen effizientem Schlussfolgern und der Ausdrucksstärke der Sprache in Abhängigkeit der Modellierungsaufgabe eine besondere Herausforderung dar. Innerhalb der OWL Sprache wurden deswegen drei Alternativen geschaffen [HIT-08]:

- *OWL-Full* umfasst aus dem Semantik-Web-Bereich alle RDF, RDF(S) und XML Konzepte und aus dem Logikbereich alle Konzepte der Beschreibungslogik. OWL-Full ist die ausdrucksstärkste OWL Variante, jedoch *nicht entscheidbar*. Dies bedeutet, dass Algorithmen zur Schlussfolgerung in OWL-Full gegebenenfalls nicht terminieren, das heißt in endlicher Zeit keine Lösung finden.
- *OWL-DL* verwendet im Gegensatz zu OWL-Full nicht alle Konzepte von RDF(S) und führt die sogenannte Typentrennung ein. Eine Ressource kann dadurch nicht gleichzeitig Klasse, Instanz und/oder Prädikat sein. Damit ist eine Beschreibung der Klassen von Klassen, eine sogenannte Metamodellierung, nicht möglich. Durch die Einschränkungen wird Entscheidbarkeit erreicht. Ein Algorithmus liefert daher in endlicher Zeit ein Ergebnis. Allerdings kann die Berechnungszeit bei komplizierten Lösungswegen enorm ansteigen. OWL-DL wird der Komplexitätsklasse NEXPTIME, also nichtdeterministisch entscheidbaren Sprachen mit exponentiell ansteigender Rechenzeit, zugeordnet.

- *OWL-Lite* ist die simpelste Sprache und eignet sich für Taxonomien und den Gebrauch weniger Axiome. OWL Lite hat die Kategorisierung EXPTIME, ist also deterministisch mit exponentiell ansteigender Rechenzeit entscheidbar.

Im Gegensatz zu RDF(S) können Klassen und Relationen in OWL in komplexe Beziehung miteinander gesetzt werden. Abbildung 2-17 gibt Beispiele für Aussagen, die durch die zugewonnenen Möglichkeiten modelliert werden können.

Beispiel 1:	Learning Outcomes haben entweder eine kognitive, affektive oder psychomotorische Komponente.
Beispiel 2:	Learning Outcomes eines Kurses sind auch Learning Outcomes des Modules und des Studiengangs zu dem der Kurs gehört.
Beispiel 3:	Alle Learning Outcomes haben genau ein Verb, das den Handlungsaspekt des Studierenden beschreibt.
Beispiel 4:	Jede Qualifikationsbeschreibung hat (mindestens) ein Learning Outcome.

Abbildung 2-17: Beispiele von Klassen und Properties mit komplexen Beziehungen

Diese komplexen Beziehungen werden mit Hilfe einer Reihe von sogenannten *Konstruktoren* beschrieben, die aus dem Bereich der formalen Logik übernommen wurden. Mit Konstruktoren wie der Konjunktion, Disjunktion und Negation, das bedeutet mit dem logischen Ausdrücken „und“, „oder“ und „nicht“, können Klassen zu neuen sogenannten komplexen Klassen verknüpft werden. Dies ermöglicht das automatische Schlussfolgern von Individuen zu Klassen, das in RDF(S) eine explizite Zuordnung durch den Ontologie-Entwickler erfordert hätte. Zudem wurden zur Darstellung von komplexen Klassen weitere Klassen und Relationeneinschränkungen definiert. Zwei als *disjunkt* definierte Klassen können z. B. keine gleichen Individuen beinhalten (vgl. Beispiel 1 aus Abbildung 2-17). Relationen können außerdem die Eigenschaften „symmetrisch“, „transitiv“, „funktional“ und „invers“ zugewiesen werden. In Beispiel 2 würde die Festlegung der Relation „hat Learning Outcomes“ als transitiv dazu führen, dass auch das übergeordnete Modul und der Studiengang die selben LO beinhalten. Eine funktionale Beziehung beschreibt, dass der Wertebereich, die sogenannte *Range*, eines Subjekts, der sogenannten *Domain*, nur genau einen Wert annehmen kann (vgl. Beispiel 3). Weiterhin besteht die Möglichkeit, Aussagen über die Art mindestens eines bzw. aller Objekte einer Klasse zu treffen. Alle Qualifikationsbeschreibungen müssen z. B. ein Learning Outcome beinhalten (siehe Beispiel 4). Mit Hilfe der *Kardinalität* können noch komplexere Aussagen über die Menge von Individuen einer Klasse beschrieben werden, d. h. ob eine Anzahl von Instanzen mindestens, maximal oder genau Teil einer Klasse ist.

Die Möglichkeiten der Schlussfolgerungen werden insofern begrenzt, dass in OWL davon ausgegangen wird, dass eine Wissensbasis immer unvollständig ist. Dies wird als sogenannte *Offene-Welt-Annahme* bezeichnet. Herkömmliche Datenbanksystemen bauen dagegen auf der sogenannten *Geschlossenen-Welt-Annahme* auf, bei der angenommen wird, sämtliche relevanten Fakten seien in der Wissensbank enthalten. Da die Entwicklung des WWW einen dynamischen, ständig expandierenden Informationsbereitstellungsprozess darstellt, an den die Struktur von OWL angepasst sein muss, eignet sich die Verarbeitung von Wissen mit der Offenen-Welt-Annahme.

Die annotierten Daten des Internet stehen Semantik-Web-Technologien zur Verfügung, sodass ein sehr umfangreiches Informationsreservoir genutzt werden kann. Wissensbasen erlauben deutlich ausdrucksstärkere Metadaten und ermöglichen eine Änderung ihrer Struktur zu jeder Zeit. Herkömmliche Datenbanken dagegen erfordern die Konzeption der Datenstruktur bevor Daten eingespeist werden. Der Grund besteht darin, dass die Semantik nicht mehr in der gesamten Softwareanwendung verteilt, sondern in der Wissensbank hinterlegt ist. Dadurch greifen intelligente Agenten unabhängig voneinander auf dieselben Daten zu und entscheiden anhand der Metadaten, wie diese Daten zu behandeln sind. Wissensbanken ermöglichen automatisches Schlussfolgern und kontinuierliches Wachstum der Daten, ohne eine Anpassung der intelligenten Agenten erforderlich zu machen. [Pol-09]. Damit begründen Sie die Möglichkeit der umfassenden Interoperabilität von Softwareanwendungen [Kas-08]. Detaillierte Beschreibungen zur Semantik-Webarchitektur und deren Anwendungsmöglichkeiten bieten [HIT-08] [Ant-08] und [Pol-09]. Weiterhin bietet das W3C Informationen unter [W3C-10] zu den Softwarestandards für das Semantik Web.

2.2.2.2 Metadatenschemata

Metadatenschemata sind Vereinbarungen darüber, welche Informationen über eine Webressource mit einem spezifischen Vokabular beschrieben werden. Es werden Begriffe definiert und ggf. durch ein Glossar spezifiziert. Die einheitliche Beschreibung von Ressourcen und deren Austausch ermöglicht die Interoperabilität der Softwareanwendungen, die diesen Standard verwenden. Eines der bekanntesten und am weitesten verbreiteten Schemata ist das ab 1995 entwickelte *Dublin Core* [Dub-10]. Damit werden Dokumente so beschrieben, dass sie von stichwortbasierten Suchmaschinen besser gefunden werden können. Der Standard besteht aus 15 Elementen, die allgemeine Informationen zur Herkunft von Dokumenten geben, u. a. über Ersteller, Thema, Format, Sprache und Rechte des Dokuments, und optional annotiert werden können [Dub-10]. Die allgemeingültige Ausgestaltung der Dublin Core garantiert die Anwendbarkeit auf nahezu alle Webressourcen.

Metadaten schemata zu didaktischen Inhalten existieren für die Informationsbereitstellung über Lernobjekte, z. B. Dokumente oder Videos, und zur Benutzermodellierung in eLearning-Anwendungen. BAUMGARTNER kalkuliert, dass die Herstellung einer eLearning-Anwendung für eine Stunde Unterricht Investitionen zwischen 2.000 und 20.000 Euro erfordert [Bau-02]. Die Wiederverwendung von elektronischen Lernmitteln in unterschiedlichen Lernplattformen und Anwendungsfeldern ist für die Amortisation solcher Anwendungen daher von großer Bedeutung. Die Erstellung von Metadatenstandards führt zu der dafür erforderlichen Interoperabilität. Unterschiedliche Institutionen und Forschungsprojekte haben Standards entwickelt, die den Dublin Core hinsichtlich lernrelevanter Aspekte spezifizieren. Dabei hat sich die einheitliche Verwendung von XML als Datenformat zur Erstellung von Standards etabliert [Bau-02]. Die „Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe“ (ARIADNE) hat 1999 einen Metadatenstandard entwickelt, der Dublin Core hinsichtlich seiner Eignung für didaktisches Material erweiterte und verfeinerte [Ari-04]. Der Metadatenstandard „*Learning Object Metadata*“ (LOM) wurde durch die Arbeitsgruppe „Learning Technology Standards Committee“ (LTSC) des Verbandes „Institute of Electrical and Electronics Engineers“ (IEEE) entwickelt [LOM-98]. Der LOM Standard hat seine Wurzeln in der Entwicklung von ARIADNE und Dublin Core, deren Ergebnisse er aufgreift und weiterentwickelt. Der Standard wurde definiert, um elektronische und nicht elektronische Lernmittel zu beschreiben, die im WWW oder Datenbanksystemen hinterlegt sind. Die Struktur von LOM umfasst neun Kategorien. Die Kategorien General, Meta-Metadaten, Technical, Rights, Relation und Lifecycle beschreiben Aspekte, die auf dem Dublin Core Standard basieren. Zusätzlich wurden die Kategorien Educational, Annotation und Classification eingeführt (vgl. Abbildung 2-18) [LOM-98].

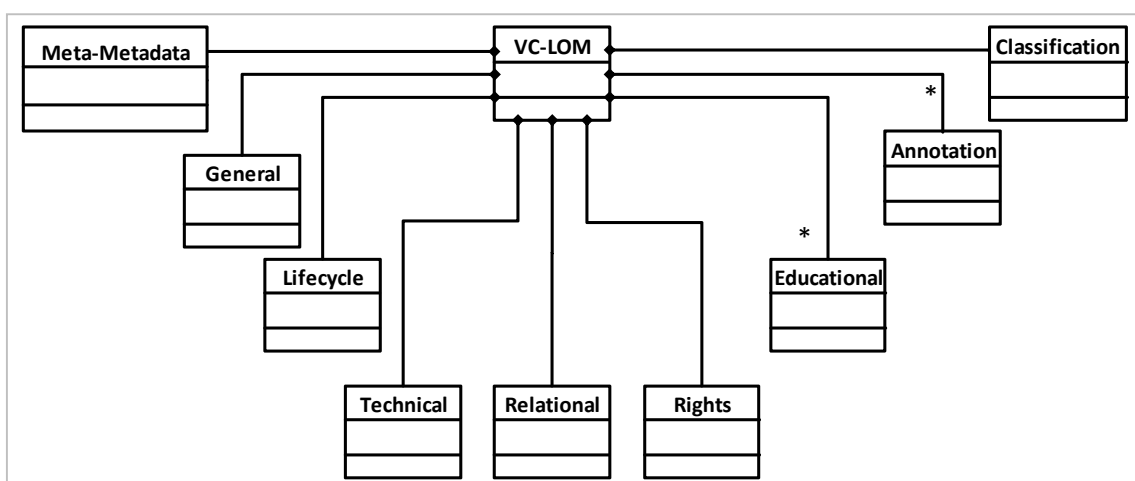


Abbildung 2-18: Übersicht Learning Object Metadata

In der Kategorie Annotation können Informationen über die Entstehung der Annotationen hinterlegt werden. In der Kategorie Educational, können pädagogische Beschreibungen des Lernmittels, z. B. Lehrtyp, Interaktivität, Kontext, Altersgruppe, Lernzeit, Sprache und

Schwierigkeitsgrad gespeichert werden. In der Kategorie Classification können Informationen über Lernmittel hinsichtlich des Lernziels und der Beschreibung der Lernsituation gegeben werden. Diese Informationen werden anhand von Stichworten als Freitext beigefügt.

Die Beschreibung der Lernobjekte hilft dabei, spezifische Lernmittel und Dokumentenformate zu identifizieren und zu beurteilen, ob bestimmte Lernprogramme für die individuellen Lernziele geeignet sind. Die Eignung von Ressourcen für konkrete didaktische Methoden zu bestimmen, ist allerdings nicht möglich, da LOM sich auf die inhaltliche Frage *was* unterrichtet wird und nicht auf das didaktische *wie* konzentriert [All-01]. Es fehlen in LOM daher wesentliche didaktische Attribute [Paw-01]. Der Metadatenstandard des *Instructional Management Systems* (IMS) ist in seiner Terminologie identisch mit LOM, weicht aber in der Struktur der Informationen insofern ab, dass nicht ein Schema für Lernmittel vorgeschlagen wird, sondern fünf unterschiedliche Standards [IMS-99]. Die Lernmitteldefinition wird insgesamt breiter gefasst, sodass dies neben multimedialen Inhalten oder Software-Tools auch Anweisungen oder Lernziele sein können.

Durch die Erfolge in der Schaffung von Interoperabilität rückt die Qualität des Daten- und Informationsaustausches verstärkt in den Fokus der Forschung und Praxis. Dafür haben sich die Begriffe Daten- und Informationsqualität etabliert, die weitgehend synonym verwendet werden [Wür-03]. WÜRTHELE beschreibt vier Kategorien, die die Informationsqualität bestimmen. Die intrinsische Informationsqualität beschreibt die Genauigkeit, Objektivität, Glaubwürdigkeit und Reputation der Informationen und ihrer Autoren. Die kontextuelle Informationsqualität stellt die Relevanz, den Mehrwert für den Nutzer, die Verfügbarkeit, die Vollständigkeit und den Umfang der Information dar. Die repräsentative Informationsqualität ist das Maß für die Interpretierbarkeit, Verständlichkeit, korrekte und konsistente Repräsentation der Informationen. Die vierte Kategorie bildet die Zugreifbarkeit auf die Information [Wür-03]. Die ISO Vereinigung hat entsprechende Datenanforderungen in Teilen der Richtlinie ISO 8000 standardisiert. Die Teile 100 bis 140 beschreiben die Grundsätze der Datenqualität, qualitätsbestimmende Merkmale und Prozesse, die Datenqualität gewährleisten [ISO-8000] [Höh-10].

2.2.3 Ontologien

Die informationstechnische Modellierung eines realen Sachverhaltes erfordert seine Übertragung in eine formale, maschinell verarbeitbare Repräsentation. Natürliche Sprachen verfügen im Gegensatz zu Programmiersprachen über zahlreiche Möglichkeiten die Bedeutung von Konzepten auszudrücken. Dies wird auch als Ausdrucksmächtigkeit bezeichnet. Das Defizit an Ausdrucksmächtigkeit, das viele Programmiersprachen im Gegensatz zur natürlichen Sprache haben, wird als *semantische Lücke* bezeichnet. OWL wurde mit dem Ziel entwickelt, eine informationstechnische Modellierung zu ermöglichen, die

in der Ausdruckstärke an eine natürlichsprachliche Beschreibung heranreicht und dadurch die semantische Lücke schließt. Für die im Rahmen der Entwicklung von Expertensystemen erstellten Modelle etablierte sich der Name *Ontologie* (engl. *Ontology*).

Der Begriff Ontologie wurde erstmals zu Beginn des 17. Jahrhunderts in der Philosophie für die „Untersuchung des Wesens von allem Seienden“ verwendet [Öhr-08]. Durch die fundamentale Bedeutung des Seins für den Menschen in der Welt, haben in der Folgezeit zahlreiche Philosophen eine Ontologie entwickelt. Dabei werden Systeme universeller Kategorien aufgestellt und deren intrinsische Beziehungen erläutert [Öhr-08]. Auch heute werden im Rahmen der Ontologie in der Philosophie weiterhin die grundlegenden Kategorien, also allgemeine Begriffe wie Ding, Eigenschaft oder Ereignis; Begriffe wie Teil und Ganzes, die Attribute bestimmter Entitäten sind, untersucht [Öhr-08].

In der Informations- und Kommunikationstechnik besteht dagegen nicht der Anspruch, die gesamte Welt abzubilden, sondern nur Teilbereiche. Es wird daher auch im Plural von Ontologien gesprochen. Die informationstechnische Ontologie ist definiert als „eine formale, explizite Spezifikation einer gemeinsamen Konzeptualisierung innerhalb einer Wissensdomäne“ [Gru-93]. „Formale Spezifikation“ steht für die Beschreibung eines Konzeptes in einer formalen, also maschinenlesbaren Sprache. Explizit bedeutet, dass das Konzept und die Nebenbedingungen erklärend beschrieben sind, also die Semantik definiert ist. Die gemeinsame Konzeptualisierung bedeutet ein gemeinsames Verständnis eines Anwendungsbereiches, dass von einer Gruppe aus Personen und Maschinen geteilt wird. Die Wissensdomäne bildet den Teilbereich an Konzepten, der abgebildet werden soll, z. B. produktionstechnische Vorlesungsinhalte. Ontologien bilden damit den Kern der Wissensrepräsentation.

Miteinander verknüpfte Ontologien stellen Netzwerke von Konzepten mit logischen Relationen dar, die eine Wissensdomäne beschreiben. Aufgrund der expliziten Struktur entsteht ein gemeinsames Vokabular, auf dem alle Informationen aufbauen. Reale Sachverhalte erhalten durch die Ontologie zusätzlich zur syntaktischen Beschreibung eine Bedeutung in Form eines Konzeptes. Hierbei befinden sich die Akteure in einer Kommunikationssituation, deren Eigenschaften durch das *semiotische Dreieck* beschrieben werden kann [Odg-23].

Um sich mit anderen über reale Dinge auszutauschen, verwenden Menschen Symbole. Ding und Symbol sollten eindeutig zusammengehören. Ein Symbol bezieht sich allerdings nicht unmittelbar auf einen realen Sachverhalt, sondern nur mittelbar durch die Vermittlung eines Konzeptes (vgl. Abbildung 2-19) [Pel-06]. Bei Konzepten handelt es sich um individuelle Wahrnehmungen eines Objektes aufgrund unterschiedlicher Wahrnehmung der Person. Die Auswahl eines Konzeptes aus der Vielzahl von Konzepten, die mit einem Begriff verbunden

sein können, erfolgt durch den Empfänger eines Symbols. Nur bei Deckungsgleichheit der Konzepte von Sender und Empfänger erfolgt ein Verständnis. Ontologien mit menschlich lesbarem Text helfen die Bedeutung der Dinge zu umschreiben und die Interpretation von Konzepten einzuschränken [Pel-06]. Namen von Objekten werden idealerweise mit genau einem Konzept verbunden, das genau ein Ding der zu beschreibenden Welt repräsentiert. Dadurch wird sichergestellt, dass Personen und Maschinen über dasselbe reale Objekt kommunizieren.

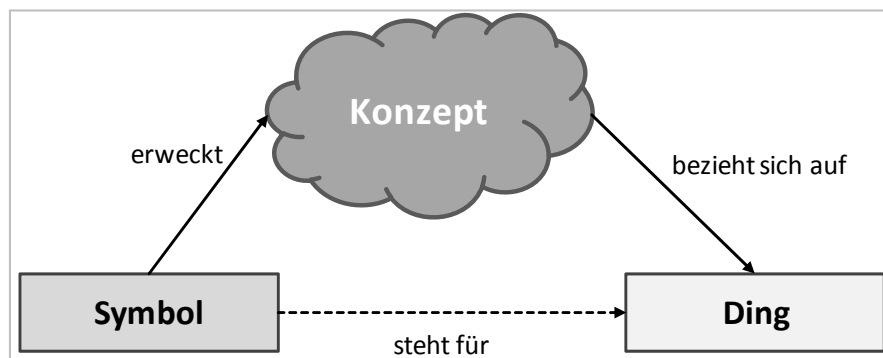


Abbildung 2-19: Nutzen von Ontologien im semiotischen Dreieck

2.2.4 Entwicklungsmethoden

Es bestehen zahlreiche Vorgehensweisen zur Entwicklung von Ontologien (engl. ontology engineering). USCHOLD UND KING gehörten 1995 zu den ersten, die eine Methode zur Entwicklung von Ontologien vorstellten [Ush-95]. Sie gliedern den Entwurfsprozess in vier Phasen. In der ersten Phase werden der Zweck einer Ontologie bestimmt und die beabsichtigten Einsatzmöglichkeiten analysiert. Die zweite Phase bezieht sich auf die konkrete Erstellung der Ontologie und wird in drei Kernaktivitäten unterteilt: Erfassung der wichtigsten Konzepte und Beziehungen, identifizierte Konzepte in eine formale Sprache überführen und Wiederverwendung existierender Ontologien. In der Evaluation wird die Ontologie auf mögliche Fehler und Inkonsistenzen geprüft. Die Dokumentation dient der Beschreibung aller Annahmen bezüglich der Konzepte sowie der formalen Definitionen.

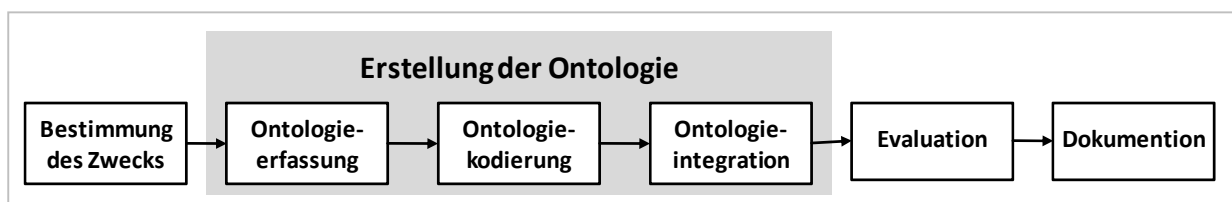


Abbildung 2-20: Vorgehensmodell nach USCHOLD UND KING [Ush-95]

Zur Erfassung der relevanten Konzepte beschreiben USCHOLD UND GRÜNINGER drei unterschiedliche Ansätze [Usc-96]. Im *Bottom-Up-Ansatz* werden stark spezialisierte Konzepte erstellt, die im weiteren Verlauf zu generelleren Konzepten zusammengefasst werden. Der Bottom-Up-Ansatz führt zu einem hohen Detaillierungsgrad, der wiederum den

Entwicklungsaufwand vergrößert, da Konzepte erarbeitet werden, deren Anwendung in der Ontologie nicht gesichert ist. Weiterhin werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den Konzepten schwerer identifiziert, wodurch vermehrt Inkonsistenzen auftreten können. Der *Top-Down-Ansatz* beginnt dagegen mit abstrakten Konzepten, die anschließend in spezialisierte Konzepte überführt werden. Dies führt zu einer besseren Planung des Detaillierungsgrads, kann aber die Erstellung sehr abstrakter Konzepte fördern, die für die zu erstellende Ontologie nicht erforderlich sind. USCHOLD und GRÜNINGER favorisieren daher den *Middle-Out-Ansatz*. Hier werden zuerst die wichtigsten Klassen beschrieben. Diese bilden das Fundament auf dem dann je nach Anwendungsfall spezialisiert oder generalisiert wird. Der Middle-Out-Ansatz führt daher zu einem sehr ausgewogenen Detaillierungsgrad. Es werden nur Konzepte spezialisiert, die auch benötigt werden, wodurch der Modellierungsaufwand reduziert wird [Usc-96].

Die Erfassung der wichtigsten Konzepte und Beziehungen kann einen unterschiedlichen *Formalisierungsgrad* aufweisen. USCHOLD UND GRÜNINGER unterscheiden hinsichtlich des Grades an Formalisierung die umgangssprachliche Formulierung (informal), die Formulierung in einer Fachsprache (semi-informal), Formulierung in einer formalen Sprache (semi-formal) und Formulierung in einer formalen Sprache mit bekannter Semantik (formal). Erfassung und Formalisierung verlaufen parallel, sofern das Konzept gleich in einer formalen Sprache erfolgt [Usc-96].

Zeitgleich entwickelten GRÜNINGER UND FOX [Gru-95] eine Entwurfsmethode. Zu Beginn dieser Methodologie werden Szenarien erstellt, die mögliche Lösungsansätze für bestehende Probleme skizzieren. Die Szenarien liefern die Motivation zur Erstellung der Ontologie und beinhalten gleichzeitig das Fachvokabular, das in der Anwendung benutzt werden soll. Daraufhin werden sogenannte Kompetenzfragen formuliert, die mit Hilfe der Ontologie beantwortbar sein sollen. Diese Fragen sind Grundlage eines Anforderungskatalogs, der zur späteren Evaluation der Ausdrucksstärke der Ontologie herangezogen wird. Daraufhin werden die Terminologie für die Ontologie mit Hilfe einer formalen prädikatenlogischen Sprache festgelegt und die natürlich-sprachlichen Kompetenzfragen formalisiert. Auf Basis der formalen Kompetenzfragen werden Axiome definiert, die die Begriffe der Ontologie spezifizieren und Beschränkungen bezüglich ihrer Interpretation beschreiben. Abschließend werden Bedingungen definiert, unter denen die formalen Kompetenzfragen vollständig beantwortet werden können.

Von SWARTOUT ET AL. wurde ein Ansatz entwickelt, der eine Basis-Ontologie, bestehend aus einer Vielzahl von Konzepten enthält, als Ausgangspunkt für die zu erstellende Ontologie verwendet [Swa-97]. Die von SWARTOUT et al. entwickelte Basis-Ontologie, die sogenannte SENSUS-Ontologie, beinhaltet Ausdrücke in natürlicher Sprache und ist eine Terminologietaxonomie, die aus mehr als 50.000 Knoten besteht. Der Inhalt von SENSUS

wurde durch Extrahieren und Verbinden von unterschiedlichen elektronischen Datenquellen gewonnen. Bei der Vorgehensweise werden sechs Phasen durchlaufen, in denen aus der SENSUS-Ontologie eine domänenspezifische Ontologie abgeleitet wird.

An der Universität Karlsruhe wurde die Vorgehensweise On-To-Knowledge entwickelt. Sie zielt auf die Entwicklung IT-gestützter Wissensmanagementsysteme in Unternehmen ab [Sta-01]. Im Mittelpunkt steht die Integration von informalem und formalem Wissen des Unternehmens, um die Wiederverwendung von Wissen zu verbessern. Mit diesem Ansatz entwickelte Ontologien sind stark von den definierten Anwendungsszenarien abhängig. Die Methode gliedert sich in die fünf Phasen Machbarkeitsstudie, Ontologie-Kick-off, Verfeinerung, Evaluation und Wartung, die teilweise auch iterativ durchlaufen werden können.

FERNANDEZ ET AL. entwickelten die Ontologieerstellungsmethode Methontology [FER-97]. Diese Vorgehensweise basiert auf dem IEEE Standard for Developing Software Life Cycle Processes [IEE-96]. Dadurch wird eine umfassende Beschreibung aller Prozesse über den Lebenszyklus gewährleistet. Die Prozesse werden in Management-, Entwicklungs- und Unterstützungsprozesse unterteilt. Methontology gibt für die Phasen mit ihren Teilaktivitäten keine festgelegte Reihenfolge vor, sondern definiert einen Ontologielebenszyklus, der eine iterative Abfolge mit vielseitigen Querverbindungen der einzelnen Teilaktivitäten beschreibt (vgl. Abbildung 4-1). Es werden in unterschiedlichen Stadien des Entwicklungsprozesses Ontologieentwürfe, sogenannten Prototypen, erstellt und getestet. Die Entwicklungsaktivitäten können beliebig oft wiederholt werden, um die entstehenden Prototypen zu erweitern oder zu verändern. Die Vorgehensweise hilft dabei, das gesammelte Wissen in einer Art zu strukturieren, die von der Wissensrepräsentationssprache unabhängig ist. Dazu werden sogenannte *semi-informale Strukturtabellen* (engl: intermediate representations) gewählt, die das Wissen, z. B. durch Tabellen und Diagramme, festhalten. Dies ermöglicht, insbesondere die Schnittstellen zwischen dem Domänenexperten und dem Ontologieentwickler so zu gestalten, dass Informationsverluste vermieden werden können. Die Konzeptualisierung bildet in dieser Vorgehensweise den Kern des Verfahrens und zeichnet sich durch eine besondere detaillierte Beschreibung aus.

Die iPROMPT-Methode ist ein Ansatz, der das Zusammenlegen von existierenden Ontologien, das sogenannte Ontology-Merging, unterstützt. Dafür wurde von NOY und MCGUINESS [Noy-01] das Werkzeug iPrompt entwickelt, das den Anwender durch den Mergingprozess führt. Durch das Werkzeug werden Vorschläge im Hinblick darauf unterbreitet, welche Ontologiebestandteile vereinigt werden können. iPrompt ist als kostenfreies Plug-in für das Ontologie-Entwicklungs-Werkzeug Protégé erhältlich.

Die Forschergruppe um GÓMEZ-PÉREZ gibt in [Gom-04] einen umfangreichen Überblick zu bestehenden Vorgehensweisen des Ontologie-Entwurfs.

2.3 Lösungsansätze zur Qualifikationsdarstellung

Die Auswahl der Lösungsansätze erfolgte anhand von zwei Kriterien. Erstens der Darstellung und Speicherung von ingenieurwissenschaftlichen Qualifikationen durch Learning Outcomes und zweitens deren teil- oder vollautomatisierter Planung mit Hilfe von Softwareanwendungen. Im Rahmen der informationstechnischen Lösungsansätze werden klassische Softwareprogramme zur Darstellung von produktionstechnischen Qualifikationen, Metadatenstandards zur Annotierung von Qualifikationsinformationen und Ontologien zur Unterstützung von Planungsprozessen im Bildungsmarkt vorgestellt. Abschließend werden Forschungsansätze zum automatisierten Vergleich von Qualifikationen präsentiert.

2.3.1 Kompetenz- und Qualifikationsmodelle

Im DFG-Schwerpunktprogramm „Kompetenzmodelle“ mit einer Laufzeit von 2007 bis 2013 entwickeln Wissenschaftler Modelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. „Ziel des Schwerpunktprogramms ist es, die kognitionspsychologischen und fachdidaktischen Grundlagen von Kompetenzen besser zu verstehen sowie psychometrische Modelle und konkrete Technologien für ihre Messung zu entwickeln“ [Kli-10]. Die einzelnen Forschungsprojekte befassen sich mit unterschiedlichen Domänen, u. a. auch mathematischen und naturwissenschaftlichen Kompetenzen. Innerhalb des Projektes „Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenz in der Grundschule“ werden in Gruppentests einsetzbare Kompetenz-Messinstrumente entwickelt. Im Projekt Coca werden die Nutzung und Auswirkungen der Kompetenzmessung in mathematischen Lehr-Lern-Prozessen der Sekundarstufe 2 untersucht. Praxisverwertbare Ergebnisse dieser Arbeiten für die Ingenieurausbildung werden am Ende des Forschungsprogramms 2013 erwartet [Kli-10]. Das Programm stellt einen vielversprechenden Ansatz dar, perspektivisch Kompetenzen anstelle von Qualifikationen darstellen und messen zu können. Die Ergebnisse haben derzeit noch nicht den entsprechenden Reifegrad, um praxistauglich in den Ingenieurwissenschaften eingesetzt zu werden.

Das Projekt „QualitätsSicherung Studienprogramme“ (QS²) wurde im Rahmen des Programms „Offensive Wissen durch Lernen“ an der TU Berlin von 2007 bis 2009 durchgeführt. Gemeinsam mit der Leibniz Universität Hannover wurden Methoden einer kompetenzorientierten Studiengangsevaluation erprobt. Ziel des Projektes war es, studiengangsweise Lernziele zu erheben und dadurch die Outcome-Orientierung zu stärken und Impulse für die Studiengangsentwicklung zu setzen [Rau-08]. Dafür wurden die Lehrenden über die intendierten Lernziele der Lehrmodule befragt, die Relevanz der Ziele für die Berufsbefähigung durch Experten analysiert und der Kompetenzerwerb der Studierenden in einer Selbsteinschätzung evaluiert. Die Struktur der Evaluation basierte auf einer an der TU Eindhoven entwickelten Systematik, der sogenannten Academic Competencies and

Quality Assurance (ACQA)-Methode [Mei-05]. Diese gliedert akademische Kompetenzen in sieben Felder (vgl. Abbildung 2-21). Für jedes Kompetenzfeld wurden standardisierte Fragen entwickelt. Mit Hilfe des daraus entstandenen Fragebogens wurden Aussagen von Lehrenden und Studierenden von Bachelor- und Masterprogrammen an der TU Berlin über die sieben Kompetenzfelder aufgenommen. Die Ergebnisse der Evaluationen wurden in den Fakultäten II, IV und V der TU-Berlin u. a. für die Systemakkreditierungen als Teil der Selbstberichte verwendet.

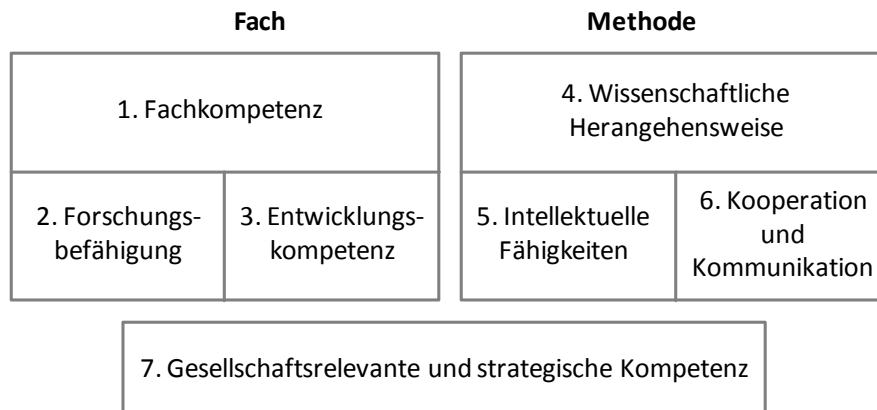


Abbildung 2-21: Akademische Kompetenzfelder (nach [Mei-05])

Die Methode ermittelt das Kompetenzprofil des Studiengangs und erfasst dessen Kompetenzniveau. Die Einschätzung des Kompetenzniveaus erfolgt anhand eines Modells von ROSCHER, das fünf Niveaustufen unterscheidet, denen jeweils Niveauindikatoren zugeordnet werden. Die Leistungsbeschreibung unterscheidet „den Grad der Anforderungen und deren Komplexität sowie das Maß der erforderlichen Verantwortung/Selbständigkeit beim Lernen“ [Ros-99]. Der entstehende QR bildet eine gute allgemeinverbindliche Grundlage für Studiengänge an Hochschulen. Im Vergleich zu QR für die Ingenieurwissenschaft ist der hier vorgestellte jedoch sehr allgemein gehalten und liefert keine detaillierte Auskunft über Leistungsanforderungen von Bachelor- und Masterabsolventen des Ingenieurwesens.

2.3.2 Anrechnung von Qualifikationen

Die „Anrechnung beruflicher Kompetenzen auf Hochschulstudiengänge“ (ANKOM) war eine Initiative des BMBF in dem elf Entwicklungsprojekte von 2005 bis 2009 gefördert wurden. Ziel war es, Methoden zu entwickeln, die geeignet sind, in der beruflichen Weiterbildung erworbene und durch Prüfungen nachgewiesene Qualifikationen als Vorleistungen für Studiengänge zu identifizieren. Dafür wurden Anrechnungsverfahren entwickelt und exemplarisch erprobt. Die Projekte wurden in den Ingenieurwissenschaften, den Informationstechnologien, im Bereich Gesundheit und Soziales, und den Wirtschaftswissenschaften durchgeführt [Ank-10]. Das Projekt „Profis“, das gemeinsam durch das

Institut für Mikrotechnologie der Universität Hannover und das Rektorat der TU Ilmenau bearbeitet wurde, untersuchte Verfahren für die Anrechnung beruflicher Kompetenzen auf ein Maschinenbaustudium. Grundlage des Vergleichs der Lernleistung sind das ECT-System und die Lernergebnisse [Ruf-08]. Es wurden Modulbeschreibungen mit detaillierten Lernergebnissen von Kursen der akademischen und beruflichen Aus- und Weiterbildung erstellt. In einer Datenbank wurden die Lernergebnisse, nach Lernniveaus strukturiert, abgelegt. Experten analysierten die Lernergebnisse gleicher Niveaustufen in einem iterativen Prozess auf ihre Gleichwertigkeit und erstellten einen Äquivalenzkatalog (vgl. Abbildung 2-22).

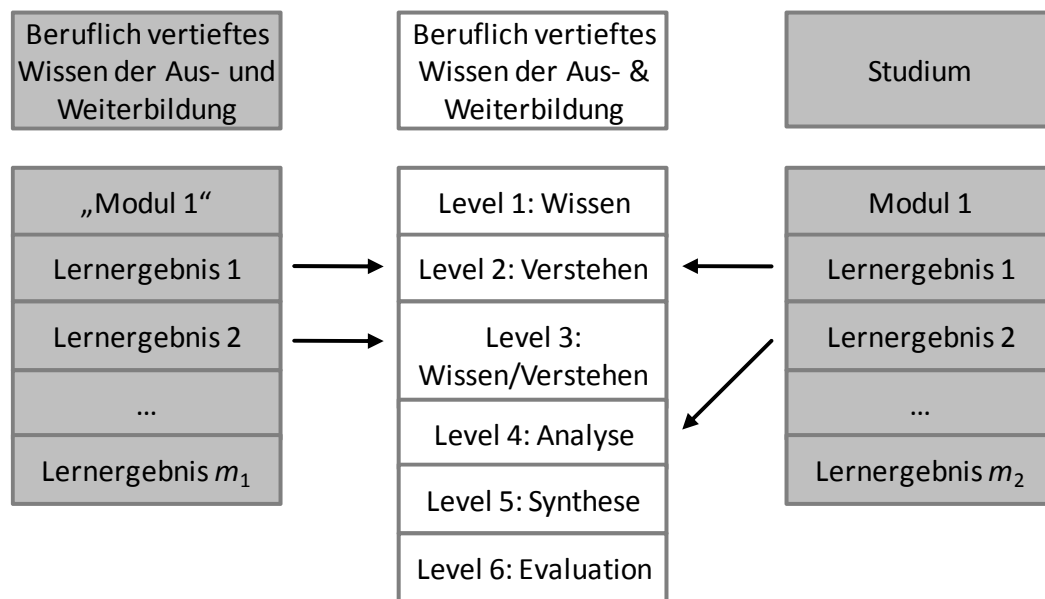


Abbildung 2-22: Vergleich von Lernergebnissen der Aus- und Weiterbildung (nach [Ruf-08])

Dieser Katalog bildet die Grundlage für eine Anrechnung von Qualifikationen durch das Prüfungsamt, ohne zusätzlich Experten in das Anrechnungsverfahren einzubeziehen. Der Äquivalenzkatalog berücksichtigt LO der kognitiven Dimension. Dafür wurde die Lernzieltaxonomie von BLOOM verwendet, ohne neuere Publikationen zu berücksichtigen [Ruf-08]. Der Äquivalenzkatalog bildet ein praxistaugliches Werkzeug, sofern die anzurechnenden Kurse im Vorfeld durch Experten auf ihre Gleichheit überprüft wurden. Das System stößt an seine Grenzen, wenn Kursinhalte sich dynamisch verändern oder die Anzahl der zu untersuchenden Kurse, zum Beispiel durch die Internationalisierung des Bildungsmarktes, ansteigt.

2.3.3 Klassische Datenbanksysteme

„Innovative development of human resources in enterprise and in society“ (Innomet) ist ein europäisches Forschungsprojekt, das in zwei Förderperioden von 2003 bis 2007 durch Forschungsinstitute aus sechs europäischen Staaten bearbeitet wurde. Ziel des Vorhabens war die Erstellung eines Datenbankmodells, um die Qualifizierung von Arbeitnehmern und

die Personalentwicklung von Unternehmen der metallverarbeitenden Industrie und des Maschinen- und Anlagenbaus zu unterstützen [Kje-07]. Dafür wurden sogenannte Kompetenzmodule (engl. competence modules) entwickelt, die Firmen, Studierenden und Lehrenden bei der Planung von Ingenieurqualifizierung als Referenz dienen. Die qualifikationsorientierte Grundlage der Kompetenzmodule bildet ein Repräsentationsschema auf Basis der kognitiven Lernzieltaxonomien von ANDERSON und KRATHWOHL. In diesem Schema werden sechs Kompetenzstufen definiert, die in ihrer Komplexität, angelehnt an die Lernzieltaxonomie, von Niveau 0 bis Niveau 6 ansteigen [Inn-06]. Die Leistungsbewertung erfolgt somit anhand eines eindimensionalen Schemas, das leistungsbezogene Indikatoren nicht berücksichtigt und daher nur begrenzte Aussagekraft aufweist. Das Schema wurde in einem Kompetenzformblatt (engl. competence template) dokumentiert und in Arbeitsprozessen und der beruflichen Weiterbildung prototypisch angewandt. Dafür wurden die für die Prozesse erforderlichen Qualifikationen in Arbeitsbeschreibungen (engl. job descriptions) schriftlich aufgenommen und Lernziele von Bildungsangeboten der beruflichen Weiterbildung in Kursbeschreibungen (engl. course objectives) dokumentiert.

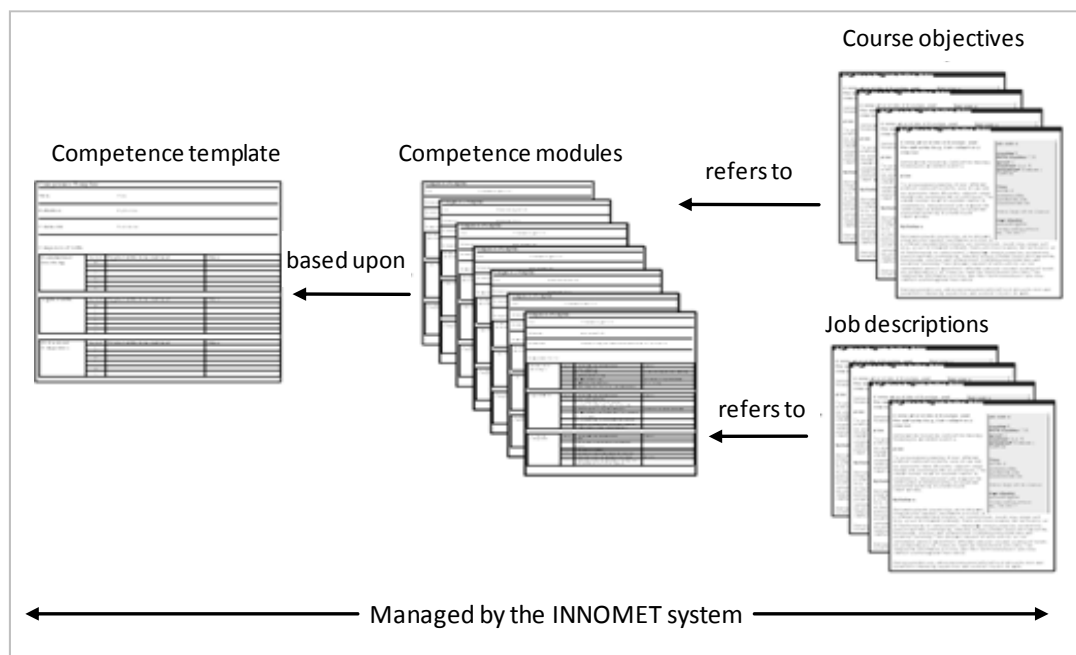


Abbildung 2-23: Innomet-Dokumentenperspektive (nach [Inn-06])

Um die Qualifikationen firmen- und sprachübergreifend zu dokumentieren, wurde ein Glossar entwickelt, das inhaltliche und didaktische Aussagen spezifiziert und eine gemeinsame Kommunikationsgrundlage schafft. Die Beschreibungen und das Glossar wurden in einer Datenbank hinterlegt, wodurch auch softwarebasiert ein gemeinsames Kernvokabular sichergestellt wurde [Inn-10]. Basierend auf dem Glossar wurde eine „Ontology of terms and definitions“ gestaltet, die didaktische Basiskonzepte ausdrückt und von Ihrer Ausdrucksstärke den Lightweight-Ontologien zuzuordnen ist. Der Vergleich zwischen Qualifikationen einer Person und dem Kursangebot der Weiterbildungseinrichtung erfolgt durch die

Softwareanwendung Innomet Advisory System. Diese nutzt die Kompetenzmodule als Referenzrahmen für die jeweiligen Qualifikationen, um Qualifikationsangebote mit Qualifikationsbedarfen aus Arbeitsbeschreibungen zu vergleichen. Innerhalb des Advisory System existiert eine zentrale Datenbank in der die Qualifikationsanforderungen und Ziele hinterlegt werden. In der prototypischen Umsetzung erfolgte die Gestaltung der Datenbank in der SQL Sprache [Rii-07]. Das Innomet-System stößt an Grenzen, sobald sich Änderungen in den hinterlegten Modellen ergeben oder Daten mit anderer Struktur eingebunden werden sollen, was die Interoperabilität mit anderen Softwareprogrammen erschwert. Vergleiche von Qualifikationsprofilen erfolgen auf einem abstrakten Niveau, dessen Aussagekraft sich auf generelle Zielrichtungen der Weiterbildung beschränkt.

2.3.3.1 CELG

MAYER und HERTNAGEL entwickelten ein Modell, das sogenannte „Computer Supported Evaluation of Learning Goals“ (CELG)-Modell, zur computerunterstützten Lernzielüberprüfung für kognitive Lernziele. Es wurde für E-Learning Anwendungen geschaffen und soll den Anwendern helfen, einen Überblick über die intendierten Lernziele ihres eLearning-Programmes zu erhalten. Durch die bessere Transparenz der Vermittlungsprozesse soll die Qualität der Lehre gefördert werden. Beispielsweise kann eine Lernzielüberprüfung durch den CELG und eine darauf aufbauende Analyse helfen, über die Reflektion des Lehrenden Anreize zu setzen, bei der nächsten Ausrichtung einer Lehrveranstaltung mehr als das reine Reproduzieren von Faktenwissen als LO abzufragen [May-09].

Wissensdimensionen	Dimension der kognitiven Prozesses			
	Reproduzieren	Verstehen/ Anwenden	Reflektieren/ Evaluieren	Erschaffen
Faktenwissen				
Konzeptwissen				
Prozedurales Wissen				

Tabelle 2-2: Die CELG-Taxonomietafel (nach [May-10])

Die drei Wissensdimensionen Faktenwissen, Konzeptwissen sowie prozedurales Wissen werden von ANDERSON und KRATHWOHL übernommen, die Kategorie metakognitives Wissen hingegen nicht. Als Dimensionen der kognitiven Prozesse werden die Kategorien Reproduzieren, Verstehen/Anwenden, Reflektieren/Evaluieren und Erschaffen verwendet [May-10]. Das System stellt ein gut verständliches und anwendbares Werkzeug dar. Affektive und psychomotorische Aspekte bleiben jedoch unberücksichtigt. Durch die Darstellung der LO in der Taxonomietafel werden erste Ansatzpunkte für die Einordnung einer Lehrveranstaltung gegeben. Es wird allerdings nicht klar, wie mit Lehrveranstaltungen,

die zahlreiche LO umfassen, verfahren werden soll und wie Aussagen über LO-Bündel getroffen werden können.

2.3.3.2 Differentiator

Der Differentiator ist ein von TOMLINSON entworfenes Softwarewerkzeug, das Anwender dabei unterstützt, LO-Beschreibungen zu erstellen. Ausgangspunkt der Entwicklung war die Idee, unterschiedliche Lernpfade und Lernumgebungen für unterschiedliche Ziele der Lerner zu schaffen [Dif-10b]. Mit dem Differentiator können vom Lehrer unterschiedliche Lernziele für den Unterricht entwickelt werden. Er eignet sich vor allem für die Formulierung operationalisierter Lernergebnisse und wurde für die schulische Ausbildung entworfen. Er unterteilt eine LO-Aussage in folgende Aspekte: kognitive Anforderung, Inhaltsbeschreibung, Klassifizierung der Tiefe, Breite und Komplexität des Inhalts, Lernressource, Prüfungsprodukt und Größe der Lerngruppe.

Students will discuss the big idea of the dilemma of throughput time and capacity utilization using websites to create a powerpoint

Thinking Skill	Content	Resources	Product	Groups
Next, pick a way to differentiate content...				
Depth and Complexity adapted from <i>The Flip Book</i> by Sandra N. Kaplan, Bette Gould & Victoria Siegel. Content Imperatives adapted from <i>The Flip Book, Too</i> by Sandra Kaplan & Bette Gould.				
Depth	Complexity	Imperatives		
Big Idea	Multiple Points Of View	Origin		
Unanswered Questions	Change Over Time	Convergence		
Ethics	Across the Disciplines	Parallels		
Patterns		Paradox		
Rules		Contribution		
Language of the Discipline				
Essential Details				
Trends				

Abbildung 2-24: Screenshot der Eingabeoberfläche des Differentiators [Dif-10a]

Die kognitive Anforderung basiert auf der Lernzieltaxonomie von ANDERSON und KRATHWOHL. Das Prüfungsprodukt behandelt die Darstellung der Lernergebnisse, die bildlich, schriftlich, konstruktiv, mündlich oder multimedial erfolgen kann [DIF-10b]. Abbildung 2-24 zeigt einen Screenshot mit einem beispielhaft gebildeten LO als Ergebnis der Softwareanwendung [Dif-10a]. Die Ergebnisse können nicht direkt in eine Datenbank übernommen werden und eine Kopplung an Modul- oder Kursbeschreibungen besteht nicht.

2.3.4 Metadaten-Standards für Qualifikationsbeschreibungen

BAUMGARTNER stellt fest, dass die Metadatenstandards LOM und IMS technische und inhaltliche Aspekte beschreiben, während didaktische Konzepte nicht ausreichend berücksichtigt werden [Bau-02]. Durch die Anreicherung der Standards mit ergänzenden Schemata wurden Bemühungen unternommen, dieses Defizit zu beheben.

2.3.4.1 IMS Learner Information Package (LIP)

LIP umfasst unterschiedliche Informationen zur Beschreibung von Lernenden und deren Qualifikationen, die in elf Kategorien unterteilt sind (vgl. Tabelle 2-3) [IMS-02a].

Kategorie	Beschreibung
Identification	Basisdaten, demographische Daten
Goal	Lernziele, Karriereplanung, Zielsetzungen
Qualifications, Certifications	Formale Qualifikationen, Zertifizierung und Lizenzen
Activity	Beschreibung von Lernaktivitäten, die absolviert wurden/werden
Transcript	Zeugnis einer Institution
Competency	Kompetenzen, Fähigkeiten, Fertigkeiten, der kognitiven, affektiven oder psychomotorischen Dimension
Affiliation	Mitgliedschaften in Organisationen, Verbänden, etc.
Accessibility	Lernpräferenzen (z. B. Lernstil, Sprache, Input- und Output-Geräte), bevorzugter Zugang zu Lernressourcen
Security Key	Sicherheitsinformationen bez. Lernerinformationen
Relationship	Beziehungen zwischen den einzelnen Kategorien (z. B. Lernziele, verbunden mit Lernaktivitäten und einer Zertifizierung)
Content Type	Metadaten zu der Frage, wann und in welcher Form ein LIP-Datensatz erzeugt wurde (Zeit, Quelle, Sicherheitsinformationen)

Tabelle 2-3: IMS Learner Information Package [IMS-02a]

Als Spezifikation wurde ein qualifikationsorientierter Standard, die „Reusable Definition of Competency or Educational Objective“ (RDCEO), entwickelt, mit der Kompetenzen im Kontext des eLearning beschrieben werden können [IMS-02b]. Kompetenz wird hier sehr allgemein definiert und bezieht Aufgaben, Fertigkeiten, Lernergebnisse und Wissen mit ein. Kompetenzen können sich auf Lehrer, Lerner und Lehrveranstaltungen beziehen. Es können Kompetenzanforderungen für Kurse und der Kompetenzerwerb der Lernenden annotiert werden. Den Kern der RDCEO bildet eine nicht formalisierte Freitext-Definition der jeweiligen Kompetenz, die durch eine URI referenziert wird. Eine Definition der Struktur zur Qualifikationsrepräsentation erfolgt nicht, sondern wird auf die jeweilige eLearning-Anwendung übertragen. Die Richtlinien kommentieren dazu, dass es sich bei dem RDCEO um ein minimalistisches und erweiterbares Modell handelt. Weiterhin wird auf die Vielzahl von Kompetenzdefinitionen verwiesen, die für unterschiedliche Anwendungsbereiche, Lernplattformen und Wissenschaftsdisziplinen existieren. Qualifikationsinformationen müssen daher jeweils durch anwenderspezifische Qualifikationsmodelle ergänzt werden

[IMS-02b]. Auf welcher Basis ein Abgleich von unterschiedlichen Qualifikationsbeschreibungen erfolgen kann, wird nicht dargestellt und die Wissenskomponente von Lernmitteln nicht spezifiziert. Außerdem ist die Qualifikation des Nutzers nur definiert, sofern LO für einen Kurs definiert wurden, über dessen Teilnahme indirekt die Qualifikation des Lernenden abgeleitet werden kann [Schne-04].

2.3.4.2 ISO-Qualifikationsmetadatenstandards

Einen RDCEO-ähnlichen Ansatz verfolgte das IEEE mit den Arbeiten der „Learning Object Metadata Working Group“. Es wurde ein Standard für „pädagogisch relevantes“ Material und persönliche Qualifikationsportfolios entwickelt und als „Personal and Private Information“ (PAPI) bezeichnet [IEE-00]. Er umfasst Informationen über Lernende, untergliedert in sechs Kategorien: persönliche Informationen (engl. personal info), Präferenzinformationen (engl. preference info), verhältnisorientierte Informationen (engl. relations info), leistungsbezogene Informationen (engl. performance info), Sicherheitsinformationen (engl. security info) und Portfolio-Informationen (engl. portfolio info). Persönliche Informationen umfassen die Nutzerdaten. Präferenzinformationen speichern die Interessen und Vorlieben des Lernenden. Leistungsbezogene Informationen werden als Freitext hinterlegt oder als zertifizierte Lernergebnisse in das Portfolio eingetragen [IEE-00].

2002 wurde PAPI durch die ISO in einen verbindlichen Standard überführt. Persönliche Informationen, verhältnisorientierte Informationen, Sicherheitsinformationen und Portfolio-Informationen waren bereits im Rahmen der Entwicklung anderer Standards abgedeckt. Zur Anwendermodellierung in eLearning-Systemen wurden die Präferenzinformationen und die leistungsbezogenen Informationen in einer ISO Richtlinie definiert [ISO-10]. Die Ergebnisse sind mit denen des IMS-Standards vergleichbar und geben keine Struktur für eine verbindliche Qualifikationsbeschreibung vor. Bestehende Metadatenstandards können dabei helfen, Qualifikationsbeschreibungen zu Lernmitteln, Personen und Kursen aus unterschiedlichen Lernplattformen zu identifizieren. Die Analyse der semantischen Bedeutung von Qualifikationsbeschreibungen wird dagegen durch die Standards nicht unterstützt.

2.3.5 Qualifikationsontologien

2.3.5.1 Tele-Learning Operating System (TELOS)

Telos ist eine am Lices Research Center in Kanada entwickelte Lernplattform, die ontologiebasiert arbeitet und als Onlineanwendung zur Verfügung steht. Telos besteht insgesamt aus zehn Werkzeugen, die miteinander in Planung und Durchführung der eLearning Prozesse interagieren [Tel-10]. Das System zeichnet sich durch seine detaillierte Beschreibung von Qualifikationen hinsichtlich prozessualer und leistungsbezogener Aspekte aus. Das Werkzeug Kompetenzbogen (engl. competence sheet) fügt den Wissensentitäten

didaktisch-administrative Aspekte, also z. B. Teilnahmebedingungen für Kurse oder Lernziele, hinzu. Das Werkzeug basiert auf einer Qualifikationsontologie (engl. competency ontology), in der zur Qualifikationsrepräsentation generische Kompetenzen (engl. generic skills), denen definierte Leistungsindikatoren zugeordnet sind (engl. performance indicators), mit Lehrinhalten (engl. knowledge entities) verbunden werden. Die allgemeinen Fähigkeiten werden durch ein Verb definiert, das den vier Klassen „receive“, „reproduce“, „produce/create“ und „self-manage“ zugeordnet wird. Diese Klassifikation wird in zwei weiteren Schritten auf insgesamt 28 Unterklassen in drei Niveaus verfeinert. Die Leistungskennzahlen werden in Frequenz (engl. frequency), Anwendungsfeld (engl. application field), Autonomie (engl. autonomy), Komplexität (engl. complexity) und Kontext (engl. context) unterteilt. Basierend auf den Leistungsindikatoren werden die Leistungsmerkmale algorithmisch zusammengefasst und einer von vier Kompetenzklassen der Ausprägung „A-Awareness“ bis „D-Expertise“ zugeordnet. Die Ontologie deckt viele Aspekte einer didaktisch angemessenen LO-Beschreibung ab. Die Modellierung der drei Aspekte kognitiv, psychomotorisch und affektiv erfolgt innerhalb der Taxonomie generischer Kompetenzen, die die drei Dimensionen integriert [Paq-07]. Dies ist kritisch, da hier unterschiedliche mentale Prozesse wie Planen, Fühlen und Bewegen, in eine taxonomische Ordnung gebracht werden. Diese Prozesse gehören unterschiedlichen Dimensionen an, die sich nicht miteinander hierarchisch gliedern lassen. Außerdem können alle drei beispielhaft genannten Prozesse gemeinsam in einer Aufgabe auftreten.

2.3.5.2 Creating Smart Spaces for Learning – Elena

Die Europäische Kommission förderte von 2002 bis 2005 das Projekt „Creating Smart Spaces for Learning“ (Elena), an dem insgesamt elf Partner aus sechs europäischen Ländern teilnahmen. Ziel des Projektes war die Entwicklung einer Meta-eLearning-Lernplattform, die für den Nutzer die Rolle des Vermittlers zwischen Lernangeboten unterschiedlicher Lernplattformen in sogenannten „intelligenten Lernräumen“ übernimmt [Dol-05]. Die Integration von eLearning-Angeboten unterschiedlicher Informationssysteme vergrößert die Möglichkeiten des Lernenden zwischen Lernangeboten zu wählen und einen individuellen Lernweg zu beschreiten. Elena verknüpft Qualifikationsmanagementsysteme mit Learning Content Management-Systemen in den intelligenten Lernräumen mit Hilfe von Semantik- Web-Technologien. Die intelligenten Lernräume können Angebote unabhängig von der jeweiligen informationstechnischen Struktur der eLearning-Anwendung empfehlen und ausführen. Dadurch kann der Lernende unterschiedliche Learning Content Management-Systeme durchsuchen oder unterschiedliche Videokonferenzsysteme zur Kommunikation nutzen. Im Rahmen der Anwender-Modellierung wurden dynamische Lernprozesse und individuelle Datensicherheit berücksichtigt. Es wurde ein Nutzer-Profil erstellt, das detaillierte Informationen, wie Vorqualifikation und Lernziele, beinhaltet. Ein

darauf aufbauender intelligenter Agent bietet Lernenden entsprechende Lernwege an [Dol-05].

Im Rahmen von Elena wurden Schemadefinitionen für Profile von Lernenden, Lernressourcen und Lernaktivitäten beschrieben, die auch Qualifikationsinformationen enthalten. Die Schemata zur Qualifikation basieren auf dem ISO-Qualifikationsmetadatenstandard. Ontologien bilden den informationstechnischen Kern zur Vermittlung zwischen den intelligenten Lernräumen und externen Systemen [Dol-05]. Die Allgemeingültigkeit des Qualifikationsmodells stellt die Basiskommunikation zwischen unterschiedlichen Qualifikationsmanagementsystemen sicher. Dies erfordert an den Schnittstellen zwischen Lernplattformen die manuelle Modellierung von Übergängen zwischen unterschiedlichen Qualifikationsmodellen durch den Ontologie-Entwickler und einen Didaktiker. Die Interoperabilität geht hier somit zu Lasten der Aussagekraft der Qualifikationsbeschreibung.

2.3.5.3 Kooperatives Wissensmanagement in Engineering Netzwerken (KOWIEN)

Im Rahmen des Förderprogramms „Forschung für die Produktion von morgen“ wurde von 2001 bis 2003 das Verbundprojekt KOWIEN mit dem Ziel durchgeführt, Grundlagen für die Anwendung wissensbasierter Systeme zum Kompetenzmanagement in der betrieblichen Praxis zu schaffen und Potentiale zu identifizieren. Es wurde ein generisches Vorgehensmodell zur unternehmensindividuellen Konstruktion und Anwendung von Kompetenzmanagementsystemen entwickelt. Dafür wurden Kompetenzprofile erstellt und in Ontologien formalisiert. Die Ontologien wurden mit dem Ontologie-Editor OntoEdit umgesetzt. Die Klassifizierung der Kompetenzen erfolgte branchenbezogen (vgl. Abbildung 2-25) [Ala-04].

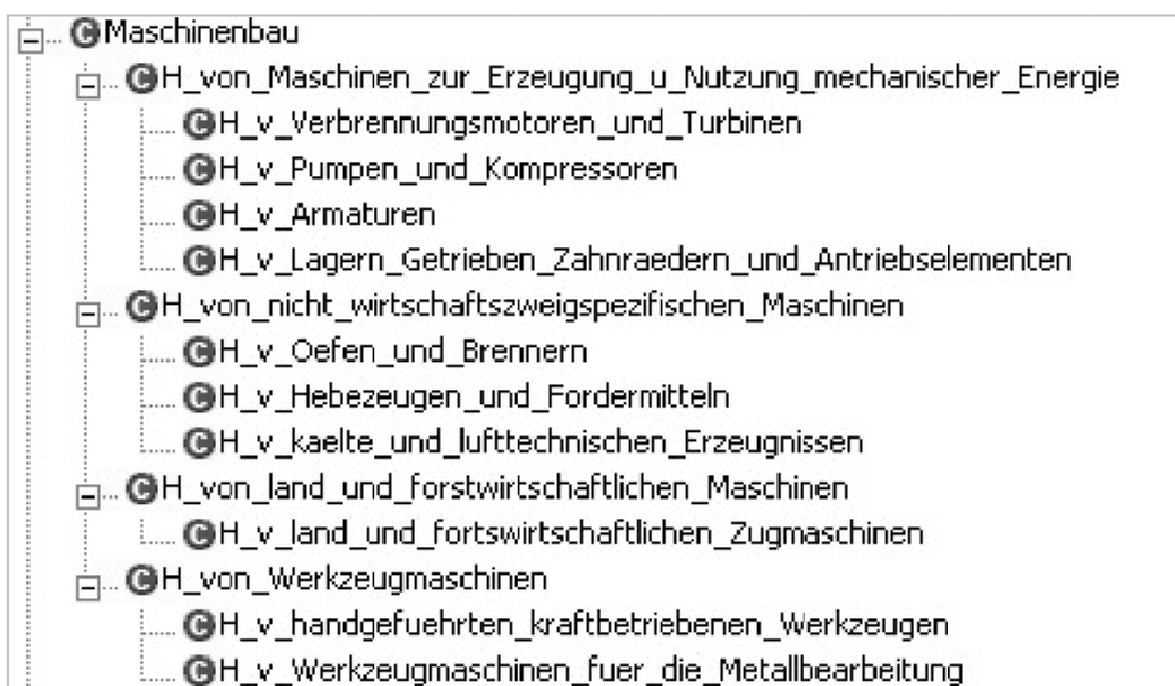


Abbildung 2-25: Screenshot der KOWIEN-Ontologie [Ala-04]

Die Kompetenzen wurden basierend auf [ERP-03] in Fach-, Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenz klassifiziert. Die Fachkompetenz wurde in branchenspezifische Aspekte, z. B. Fahrzeugbau- oder Maschinenbau-Kompetenz, mit weiteren Unterkategorien, z. B. Herstellung von Pumpen-Kompetenz, verfeinert. Mentale Prozesse wurden in der Qualifikationsdarstellung nicht berücksichtigt. Es erfolgte eine eindimensionale Leistungsbeschreibungen der Kompetenzen. Die Handlungsfähigkeit für spezifische Arbeitsprozesse wurde nicht modelliert.

2.3.5.4 H.E.Le.N

H.E.Le.N war ein Gemeinschaftsprojekt von sieben Partnern aus sechs europäischen Staaten, die im Rahmen der Förderung durch das Leonardo da Vinci-Programm von 2005 bis 2007 ein informationstechnisches Modell zum Vergleich der Ausbildungssysteme der EU-Mitgliedstaaten entwickelten. Dafür wurden in der ersten Phase die nationalen Ausbildungssysteme bezüglich ihrer Qualifikationsstandards, Zertifizierungssysteme und Kreditpunktvergabe untersucht. Es wurde ein Modell erstellt, in das die Mitgliedsstaaten der europäischen Union mit ihren unterschiedlichen Ausbildungssystemen eingeordnet wurden. Dieses Modell wurde mit OWL formalisiert und durch Protégé erstellt. Die Ausbildungssysteme von neun europäischen Ländern wurden in der Ontologie abgebildet. Eine Wissensbank wurde erstellt, in der die Weiterbildungsstrukturen der Bildungsmärkte hinterlegt sind [Cub-07].

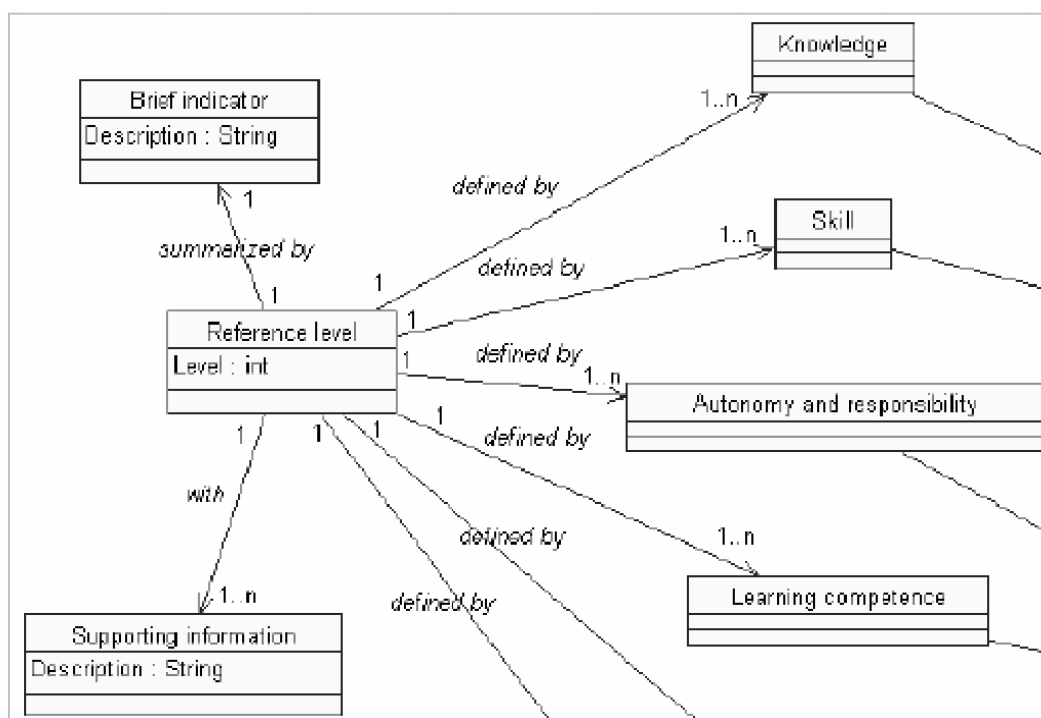


Abbildung 2-26: Screenshot aus dem Metamodell zum Vergleich von Ausbildungssystemen [Dem-07]

Durch die Wissensbank können Vergleiche zwischen den Ausbildungssystemen durchgeführt werden, um zertifizierte Leistungen der Weiterbildung in anderen Ländern der EU anzuerkennen. Konkrete Qualifikationsprofile wurden als Fallstudien genutzt, um die Korrektheit der Ausbildungsmodelle zu prüfen. Die Ontologien erlauben die eindeutige Kommunikation über Aspekte der Systeme und befähigen zum gegenseitigen Verständnis und Vergleich. Außerdem wurde ein Metamodell entwickelt, um das Zusammenführen und die Übersetzung von Qualifikationsprofilen unterschiedlicher Ausbildungssysteme zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang wurde auf den EQRLLL zurückgegriffen, dessen Struktur die Basis der Metamodellierung bildete (vgl. Abbildung 2-26) [Dem-07]. Das Modell definiert LO als Summe von Wissen, Fertigkeiten und Kompetenzen (engl. wider competences), z. B. Lern- und Kommunikationsfähigkeit, Autonomie und Professionalität. Eine Beschreibung der prozessualen und leistungsbezogenen Aspekte zu diesen Qualifikationen erfolgt über Freitext, bzw. indirekt über die Kompetenzen. Der Qualifikationsvergleich bezieht sich ausschließlich auf QR des sekundären Bildungssektors. Welche algorithmische Struktur den Vergleichsverfahren zugrunde liegt und wie ein Vergleich in der Praxis erfolgt, wird nicht beschrieben.

2.3.5.5 STALLER-Ontologie

FELLMAYER gibt in [Fel-09] einen Überblick über die an der TU München entwickelten Ontologien zur Darstellung von Lernzieltaxonomien und Lernzielstrukturen in der Informatik. Die Arbeiten behandeln die ontologiebasierte Kombination von bereichsspezifischem Wissen und Lernzielen, die Modellierung von Lernzielen der theoretischen Informatik sowie die prototypische Umsetzung eines ontologiebasierten Lernmittelangebots. Die Arbeiten von STALLER zur Zusammenführung von Domänenwissen der Informatik mit der auf Learning Outcomes basierenden Task Analysis von SMITH und RAGAN bilden einen reizvollen Ansatz für die Qualifikationsanalyse durch wissensbasierte Systeme. STALLER zeigt anhand der Modellierung von Kursvoraussetzungen für eLearning-Angebote wie Lernzieltaxonomien und Lehrinhalte kombiniert in die Unterrichtsplanung eingebunden werden können.

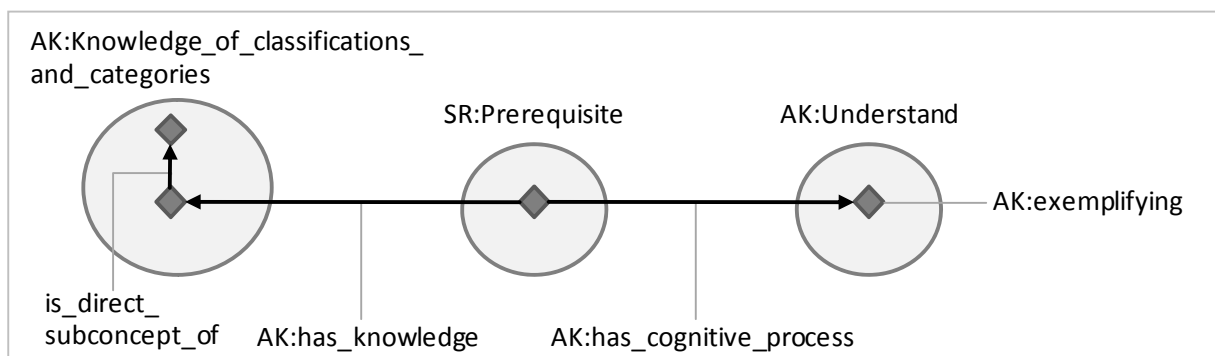


Abbildung 2-27: Modellierung von Lehrinhalten als Wissens Elemente in Lernzielen (nach [Sta-06])

Die Vorbedingung (engl. prerequisite) zur Teilnahme an einem Kurs wird dabei beispielsweise durch die beiden binären Relationen „has_knowledge“ und „has_cognitive_process“ definiert (vgl. Abbildung 2-27). Die jeweilige Range-Instanzen der Relationen basiert auf den Domain-Ontologien zum Lehrinhalt, z. B. „knowledge_of_classifications_and_categories“, und zum mentalen Prozess, z. B. „understand“. Für die Beschreibung des mentalen Prozesses nutzt er die Lernzieltaxonomie von ANDERSON und KRATHWOHL [Sta-06]. Im Bereich der Lerninhalte wird nur domänenspezifisches Wissens modelliert, meta-kognitives Wissen wird nicht berücksichtigt. STALLER sieht die Anwendung seines Modells insbesondere in semantischen eLearning-Systemen, um Lernmittel und Lernziele mit einem verbindlichen Metadatenschema zu annotieren.

2.3.5.6 Defizite bestehender ontologiebasierter Qualifikationsmodelle

Um Softwareanwendungen semantische Informationen über Qualifikationsbeschreibungen zur Verfügung zu stellen, wurden in den vergangenen Jahren vermehrt Ontologien für das eLearning und die Personalwirtschaft entwickelt. Im Bereich des klassischen Bildungsmarktes sind derartigen Lösungsansätze nicht bekannt. Bestehende Qualifikationsmodelle der Personalwirtschaft oder des eLearning nutzen inhaltliche Beschreibungen, also Elemente der disziplinspezifischen Wissensdomäne, zur Qualifikationsbeschreibung. Viele Systeme verwenden außerdem ein eindimensionales Bewertungsschema zur Repräsentation des Leistungsaspektes, beispielsweise „Materialflussplanung, Fortgeschrittener“. Vorteilhaft ist die Kürze der Beschreibung. Ein Nachteil ist, dass dadurch nicht klar wird, welche Eigenschaften mit dem Leistungsniveau „Fortgeschrittener“ verbunden sind. Derartige Leistungsbeschreibungen erfordern daher zusätzliche Beschreibungen. Die Übersetzung der Definition „Fortgeschrittener_in_System_A“ zu „Fortgeschrittener_in_System_B“ ist beispielsweise ohne dokumentierte Spezifikation des Leistungsniveaus „Fortgeschrittener“ nicht möglich. Außerdem wird der mentale Prozess vielfach nicht dargestellt, der die Handlungsfähigkeit aber erst begründet. Für spezifische Lösungen des eLearning oder der Personalwirtschaft mögen die dargestellten Lösungen anwendbar sein, für eine aussagekräftige Qualifikationsbeschreibung im tertiären Bildungsbereich sind die Lösungen allerdings nicht hinreichend. LO-basierte Qualifikationsmodelle lassen weniger Interpretationsspielraum zu, ist allerdings teilweise mit einem hohen Detaillierungsgrad verbunden, um eine hinreichende Aussagenqualität über die nachgewiesene Handlungsfähigkeit zu erzielen. LO-Informationen können dafür aber ohne zusätzliche Dokumentation oder Interpretation durch Menschen und Maschinen ausgetauscht werden und garantieren dadurch eine Interoperabilität über jegliche Schnittstellen hinweg.

2.3.6 Zusammenhänge zwischen Qualifikationen

Mit semantischen Daten angereicherte Qualifikationsprofile ermöglichen die automatisierte Identifikation und Dokumentation von Beziehungen zwischen LO-Elementen. LO können auf Basis einer definierten Struktur von Merkmalen auf Gleichheit oder Teilmengenbeziehungen analysiert werden. Die hierarchische Einordnung von Qualifikationen wird als *Qualifikationssubsumtion* bezeichnet [Schmi-08]. Für den Vergleich von Qualifikationsprofilen ergibt sich durch die taxonomische Struktur von LO eine Vielzahl von Schnittstellen, an denen ein Vergleich ansetzen kann. Semantische Wissensbanken haben die erforderliche Ausdrucksstärke, um Zusammenhänge zwischen den Qualifikationen, z. B. durch Transitivität und Schlussfolgerung, darzustellen. Es können dadurch auch komplizierte Kombinations- und Verwandtschaftsbeziehungen zwischen LO-Beschreibungen hergestellt werden. Abbildung 2-28 zeigt ein einfaches Beispiel von Qualifikationszusammenhängen. Die LO-Beispiele LO UY, LO YZ und LO ZU vereinigen alle untergeordneten LO in sich. Die anderen LO bilden jeweils Teilmengen zu einem oder mehreren LO.

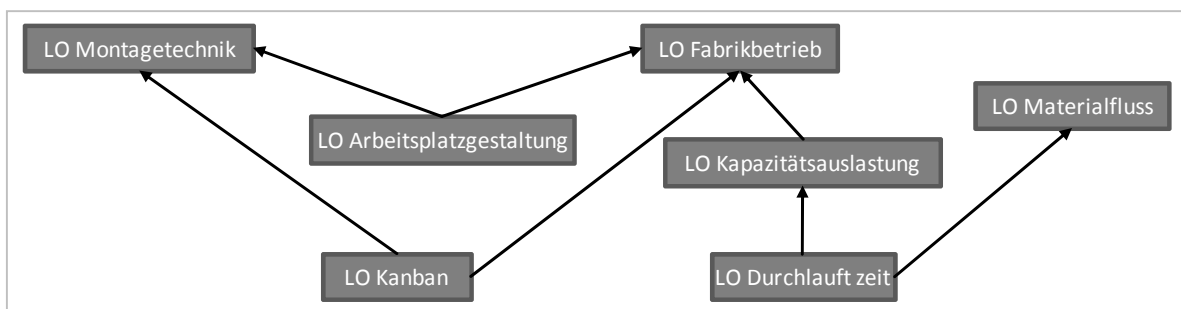


Abbildung 2-28: Hierarchische, LO-basierte Qualifikationszusammenhänge

2.3.6.1 Taxonomische Ähnlichkeit

Eine vielversprechende Methode zum Ähnlichkeitsvergleich von LO-Beschreibungen bildet die sogenannte *taxonomische Ähnlichkeit*. Mit Hilfe einer hierarchischen Struktur von LO oder ihrer Elemente können Qualifikationsbeschreibungen nicht nur auf Ihre exakte Gleichheit getestet, sondern eine Analyse über deren Ähnlichkeit mit Hilfe von Ontologien durchgeführt werden. Dies ermöglicht einen unscharfen Vergleich zwischen Qualifikationsbeschreibungen. Als Ergebnis wird die Entfernung der Entitäten innerhalb eines semantischen Netzes zur Qualifikationsrepräsentation ausgegeben [Schmi-08].

Bei der Daimler AG im Werk Wörth wurde 2006 für die Personalwirtschaft ein Qualifikationsmanagementsystem mit dem Namen *ePeople* eingeführt, in dem Vergleichsverfahren für Qualifikationen prototypisch getestet wurden. Für das System wurden Qualifikationsprofile über Stellen, Mitarbeiter und Schulungsanforderungen definiert. Ein Profil besteht aus einer Menge von Qualifikationen, die durch eine numerische Gewichtung von 1-Grundkenntnisse bis 4-Experte beschrieben werden [Bie-06]. Durch einen ontologiebasierten Qualifikationskatalog können geeignete Mitarbeiter identifiziert werden,

indem ein Vergleich von Stellenanforderungs- und Mitarbeiterqualifikationsprofil vorgenommen wird. Der Vergleichsalgorithmus operiert auf der modellierten Ontologie, dessen Ergebnis zu einem numerischen Gesamtmaß zusammengefasst wird. Das System basiert auf vier Vergleichsarten. Erstens, ein direkter Vergleich, ob beide Qualifikationen gleich sind. Zweitens, ein proportionaler Vergleich, ob Qualifikationen in anderen als Teilmenge enthalten sind. Drittens, ein kompensatorischer Vergleich, in dem Über- und Unterqualifikation ausgeglichen werden. Viertens, ein taxonomischer Vergleich, der ein Ähnlichkeitsmaß von Qualifikationen berechnet. Die Vergleiche beruhen auf einem sehr einfachen Qualifikationsmodell. Es besteht aus den inhaltlichen Bezeichnungen eines Objektes und einer Leistungskennziffer. Abbildung 2-29 verdeutlicht ein Beispiel des taxonomischen Vergleiches zwischen Soll- und Ist-Profil. Durch die Vergleiche wird das System befähigt, automatisch Vorschläge über Bildungsmaßnahmen oder Stellenbesetzungen zu generieren [Bie-06]. Ein bei der Siemens AG in München im Rahmen einer Diplomarbeit entwickeltes Werkzeug nutzt die Arbeiten von BIESALSKI zur Teamplanung mit semantischen Technologien [Ric-09].

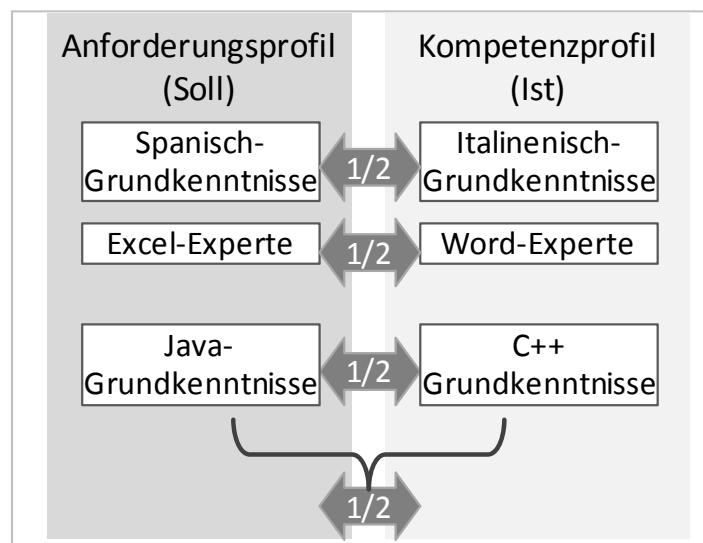


Abbildung 2-29: Vergleich der taxonomischen Ähnlichkeit (nach [Bie-06])

2.3.6.2 Aussagen über LO-Bündel

Neben den Verfahren zur Qualifikationssubsumtion und ähnlichkeitsbasierten Verfahren Systeme können Aussagen über Qualifikationen auch durch Zusammenfassung von LO zu Bündeln gemacht werden. Dabei werden die durchschnittlichen, die Minimal- oder die Maximalwerte der Niveaustufen einzelner Merkmale herangezogen, um Eigenschaften des Bündels zu beschreiben. HOFFMANN schlägt ein Verfahren vor, das auf den Durchschnittswerten der LO-Bündel basiert. Es werden dafür einzelne LO auf ihre mentalen Prozesse der kognitiven Dimension und ihre Wissensdimension analysiert und in die Felder einer Tabelle eingefügt (vgl. Tabelle 2-4). Das Beispiel zeigt, wie einzelne LO in die Lernziel-Matrix von ANDERSON eingeordnet wurden. Die Zahlen in den Matrixfeldern repräsentieren

die Anzahl der LO je spezifischer Verb-Wissenskategorie-Ausprägung. Die Werte p_k und k_p geben jeweils die Schwerpunkte der Spalten und Zeilen wieder. Diese Schwerpunkte werden zu einem durchschnittlichen Wert zusammengefasst.

			Cognitive process dimension						
		P	1	2	3	4	5	6	
	K		remember	understand	apply	analyze	evaluate	create	
Knowledge dimension	1	Factual knowledge	4	2	4	1	1	1	$P_k=3$
	2	Conceptual knowledge	2	4	4	1	1	0	$P_k=3$
	3	Procedural knowledge	2	2	4	1	1	0	$P_k=3$
	4	Meta-cognitive knowledge	1	1	1	0	0	0	$P_k=2$
			$K_p=2$	$K_p=2$	$K_p=2$	$K_p=2$	$K_p=2$	$K_p=1$	$(k,p)=(3,2)$

Tabelle 2-4: Zusammenfassung von LO zu LO-Bündeln (nach [Hof-08a])

Aus den Ergebnissen der Zeilen- und Spaltenwerten wird dann wiederum ein Durchschnittswert errechnet, der die allgemeine Aussage über das LO-Bündel basierend auf ANDERSONS Lernzieltaxonomie darstellt. Für das Beispiel ergibt sich, dass das Qualifikationsbündel im Bereich anwenden von konzeptionellem Wissen verortet ist [Hof-08a]. Die Aussagekraft derartiger Bündel hängt von der Zusammensetzung und Anzahl der enthaltenen LO ab, und kann nur schlaglichthafte Erkenntnisse über die Lehraktivitäten generieren. Dennoch können damit Anhaltspunkte erstellt werden, die in die Analyse von Lehrveranstaltungen einfließen. Beispielsweise kann das Verfahren in der Qualitätsprüfung angewendet werden, um einen zusammenfassenden Überblick über die Vermittlungsaktivitäten einer Lehrveranstaltung zu erhalten.

2.3.6.3 Zusammenfassende Analyse

Die vorgestellten Ansätze erschließen in ihren Anwendungsgebieten vielversprechende Potentiale zur Verbesserung der Planung produktionstechnischer Qualifizierung. Es fehlt jedoch ein integrierender Ansatz, in dem die Potentiale der Qualifikationsrepräsentation über ingenieurwissenschaftliche Handlungsbefähigung mit informationstechnischen Möglichkeiten des Semantik-Web zusammengeführt werden, um eine gemeinsame Wissensbank für die Planung von Qualifizierung im Bildungsmarkt zu etablieren, mit deren Hilfe intelligente Agenten Qualifikationsbeschreibungen dokumentieren, analysieren und synthetisieren können. Tabelle 2-5 gibt einen Überblick über die Bewertung der vorgestellten Lösungsansätze hinsichtlich ihres Fokusses und Beitrags zur Planung von Qualifizierung im Bildungsmarkt.

Inhalte und Ergebnisse		Qualifikations- repräsentation		Ontologie	Informations- technische Werkzeuge	
		Repräsentation didaktischer Aspekte in Bezug auf die Ingenieurbildung	Repräsentation inhaltlicher Aspekte in Bezug auf die Ingenieurbildung	Formalisierte explizite Spezifikation der Qualifikationsrepräsentation	(Teil-)Automatisierte Identifikation und Dokumentation der Qualifikationsbeschreibung	(Teil-)Automatisierte Analyse und Vergleich von Qualifikationsprofilen
1	Kompetenzmodelle	Kompetenzmodelle und Technologien für ihre Messung entwickeln				
2	QS2	Kompetenzorientierte Studiengangsevaluation durch Learning Outcomes				
3	ANKOM	Anrechnung von Ingenieurqualifikationen der beruflichen Weiterbildung auf ein Hochschulstudium				
4	INNOMET	Planung von Lernwegen basierend auf Berufsanforderungen und bestehendem Lehrveranstaltungsangebot				
5	CELG	Analyse von Lernzielen hinsichtlich ihres Anforderungsniveaus in der kognitiven Dimension				
6	The Differentiator	Werkzeug zur didaktisch adäquaten Gestaltung von operationalisierten Lernzielen kognitiver Dimension				
7	IMS LIP / IEEE PAPI	Metadatenstandards zur Darstellung von Nutzer-Profilen in eLearning-Anwendungen				
8	Telos	Lernplattform, die eine Qualifikationsontologie zur Lernweg- und Lehrmittelauswahl und administrativen Gestaltung nutzt				
9	Elena	Ontologiebasiertes Vermittlungswerkzeug zwischen unterschiedlichen Lernplattformen				
10	KOWIEN	Kompetenzontologie für die Personalwirtschaft, die Fachgebietswissen unterscheidet				
11	H.E.Le.N	Ontologiebasierte Modellierung von nationalen Bildungssystemen und Qualifikationsrahmen				
12	Staller	Kombination von inhaltlichen und didaktischen Aspekten von Lernzielen in einer Ontologie für Qualifikationen der Informatik				
13	ePeople	Ontologiebasierter Vergleich von Qualifikationsprofilen anhand taxonomischer Ähnlichkeit				
14	Hoffmann	Aussagen über LO-Bündel anhand deren durchschnittlicher Niveaustufe				
		Gegeben				
		Teilweise gegeben				
		Nicht gegeben				

Tabelle 2-5: Bewertung der Ansätze zur Planung produktionstechnischer Qualifikation

3 Handlungsbedarf

Die Dynamik der Märkte erfordert von Bildungsinstitutionen und Ingenieuren die kontinuierliche Anpassung ihres Qualifikationsprofils an die sich wandelnden Umfeldbedingungen. Ein zielgerichteter Veränderungsprozess bedarf der umfassenden Planung von Marktangebot und –nachfrage. Dezentrale Planungsprozesse begünstigen eine schnelle und flexible Anpassung an Veränderungen, sind allerdings für die Einzelperson vielfach sehr aufwändig.

Für die Planung von Qualifizierung und die Verhandlung von Bildungsleistungen sind die *Bestimmung von Qualifikationen* erforderlich. Qualifikationen werden zu Bündeln zusammengefasst, die das Angebots- und Nachfrageprofil bilden. Die Eigenschaften der Qualifikationsprofile werden untersucht, um beispielsweise extern erbrachte Leistungen auf eine zertifizierte Bildungsleistung anzurechnen und damit die vertikale und horizontale Durchlässigkeit von Bildungssystemen und die Mobilität in Bildungsräumen zu gewährleisten. Der Lernende kann in der Planung von Lernwegen, der Lehrende in der Konzeption von Curricula unterstützt werden. Das Qualitätsmanagement erhält durch Qualifikationsbeschreibungen Kennzahlen zur Analyse der Qualität und Produktivität der Bildungseinrichtung. Die Darstellung des Angebotsprofils erfolgt durch Qualifikationsrahmen, Modul-, Kurs- oder Unterrichtsbeschreibungen. Das Nachfrageprofil wird durch Berufsanforderungen in Form von Tätigkeitsbeschreibungen und durch Lernzielprofile der Studierenden bestimmt.

Die Ingenieurwissenschaften wenden theoretisch fundierte und empirisch gesicherte, Erkenntnisse und Methoden an, um technische Systeme für Mensch und Umwelt förderlich zu gestalten [VDI-3780]. In der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung und praktischen Anwendung können Qualifikationen als Lösungsfähigkeit einer anwendungsorientierten und praxisrelevanten Problemstellung qualitativ und quantitativ nachgewiesen werden. Die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme gestaltet und betrieben werden, eignet sich daher im Vergleich zu geisteswissenschaftlichen Disziplinen besonders gut für eine outcomeorientierte Darstellung.

Es bestehen zahlreiche *Qualifikationsmodelle*, die in der Praxis zur Repräsentation von Qualifikation genutzt werden. Die Mehrheit der Modelle hat allgemeinen Charakter und gibt die besonderen Merkmale ingenieurwissenschaftlicher Lernprozesse nicht wieder. Bestehende Qualifikationsbeschreibungen umfassen vielfach inhaltliche Angaben über den Lerngegenstand. Aspekte des mentalen Prozesses mit dem eine Handlungsfähigkeit nachgewiesen wird, sind selten berücksichtigt oder beschränken sich auf die kognitive Dimension. Leistungsaspekte zur Beschreibung der Aufgabe und der Handlungsfähigkeit

werden vielfach in eindimensionalen Bewertungsschemata mit numerischen Kennziffern dargestellt. Dies lässt nur ungenaue Aussagen zu und erfordert zusätzliche Dokumentation.

Mangelhafte Leistungsbeschreibungen erschweren es dem Kunden, die Qualität von Bildungsangeboten zu bewerten und tragen dadurch zu intransparenten Strukturen am Bildungsmarkt bei. Soll nicht vorwiegend anhand des Marken- oder Imagewerts einer Person oder Institution auf deren Vermittlungsleistung geschlossen werden, ist eine individuelle und transparentere Repräsentation der Merkmale eines Qualifizierungsprozesses erforderlich. Der Informationsgehalt bestehender Qualifikationsmodelle im Hinblick auf die Beschreibung der erbrachten Leistung ist für effiziente und effektive Planungsprozesse ingenieurwissenschaftlicher Qualifikation nicht hinreichend.

- Ein *Modell* ist zu entwickeln, dass Qualifikationen in natürlichsprachlicher Form hinsichtlich *inhaltlicher, prozessualer und leistungsspezifischer Aspekte* beschreiben kann, um ein einheitliches Verständnis von Lernzielen, Lernaktivitäten und nachgewiesenen Lernergebnissen für alle Akteure am Bildungsmarkt zu erzielen. Praxiserprobte, outcomeorientierte Ansätze zur Qualifikationsrepräsentation im tertiären Sektor sollten dafür auf die formale und informelle Ingenieurausbildung angepasst und zu einem *integrativen Modell der Qualifikationsrepräsentation* zusammengefasst werden.

Im englischsprachigen Raum wurden an einigen Hochschulen standardisierte Formate in Form von Learning Outcomes als Grundlage der Qualifikationsbeschreibung eingeführt. Die Fortschritte in der Etablierung von Standards zur outcomeorientierten Qualifikationsbeschreibung sind im europäischen Hochschulraum allerdings noch gering. Unterschiedliche Ursachen wurden hierfür angeführt, u. a. die Diskussion, ob Lehrveranstaltungen als reguläre Serviceangebote mit vergleichbaren Produkteigenschaften betrachtet werden können, das mangelnde Wissen der Lehrenden über die Anwendung von LO und die Komplexität und Datenvielfalt in der Darstellung von LO.

Werden Lernergebnisse als Mindeststandards der menschlichen Handlungsfähigkeit am Ende eines Lehrprozesses definiert, können sie als verbindliche Produkteigenschaften aufgefasst werden. Dies ermöglicht innerhalb eines Bildungsmarktes, der sich auf ein gemeinsames Konzept zur Qualifikationsrepräsentation stützt, verlässliche Vergleichsmöglichkeiten.

- Ein Konzept zur Beschreibung von Handlungsfähigkeit sollte als *Maßeinheit zur Darstellung ingenieurwissenschaftlicher Qualifikation* dienen, das *Mindestniveau bestehender Qualifikation* repräsentieren und langfristig Aspekte der *Kompetenzforschung integrieren* können.

Bildungsinstitutionen sind gefordert, gemeinsam mit den Stakeholdern des Bildungsmarktes, Standards in der Darstellung von Learning Outcomes umzusetzen. Diese Entwicklung kann durch eine marktorientierte Gestaltung des Bildungssystems gefördert werden. Außerdem kann die Formulierung von Learning Outcomes leicht erlernt werden.

- Softwareanwendungen haben das Potential, Ersteller von Qualifikationsprofilen in der *Formulierung von Learning Outcomes* zu unterstützen. Eine Software, die LO in einer semi-formalen Struktur abbildet, ist zu entwickeln.

Planungsprozesse ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung umfassen die Identifikation, Analyse und Synthese der Qualifikationsprofile von Individuen, Bildungsinstitutionen und Tätigkeitsprofilen. Allein die TU Berlin bietet innerhalb eines Jahres ca. 10.000 Kurse an. Der europäische Hochschulraum umfasst ca. 4.000 Hochschulen mit 17 Millionen Studierenden. Daraus ergeben sich nach groben Schätzungen 6 Millionen Kursangebote pro Jahr, ohne die Kurse der beruflichen Weiterbildung zu berücksichtigen. Für den gesamten Bildungsmarkt des tertiären Sektors führt dies zu einer unüberschaubaren Anzahl von Dokumenten in Form von Qualifikationsziel-, Anforderungs-, Lernergebnis- und Bildungsstandardprofilen. Diese Profile bestehen jeweils aus einer Menge von Einzelqualifikationen, die in horizontalem oder vertikalem Zusammenhang stehen. Ein hoher Detaillierungs- und Operationalisierungsgrad der Qualifikationsbeschreibung vergrößert den Datenumfang zusätzlich. Der dadurch geschaffene Informationsumfang kann von Menschen ohne die Unterstützung von Maschinen nicht gehandhabt werden.

- *Softwareanwendungen* sind erforderlich, die Prozesse der *Identifikation, Analyse und Synthese von Qualifikationen* automatisiert durchführen und dadurch die Marktteilnehmer in ihren Planungsaufgaben unterstützen.

Die Qualifikationsprofile sind in verteilten Datenbanken veröffentlicht. Die unterschiedlichen Qualifikationsmodelle erschweren einen Vergleich der Profile noch zusätzlich. Konventionelle Datenbanksysteme weisen Defizite in der Verarbeitung verteilter Datensätze mit unterschiedlichen Strukturen auf. Semantik-Web-Technologien haben dagegen das Potential, verteilte Qualifikationsbeschreibungen und unterschiedliche Qualifikationsdarstellungen zu verarbeiten. Mit Hilfe von Ontologien sind Web-Inhalte, z. B. Modulbeschreibungen und persönliche Qualifikationsprofile, für Maschinen les- und verarbeitbar. Dies ermöglicht es Stakeholdern des Bildungsmarktes, intelligente Agenten einzusetzen, um Informationen zu Qualifizierungsprozessen teilautomatisiert analysieren und synthetisieren zu können.

- Dafür ist die *formale, explizite Spezifikation des Qualifikationsmodells* durch Wissensrepräsentationssprachen erforderlich. Sie machen die Qualifikations-

beschreibungen maschinenverarbeitbar und setzen Informationen strukturiert zueinander in Beziehung.

Die Vielzahl der Dokumente zu persönlichen Qualifikationsprofilen, Lehrveranstaltungen und Tätigkeitsbeschreibungen bewirkt, dass sich innerhalb der Datensätze eine enorme Menge an implizitem Wissen verbirgt. Dies betrifft z. B. die Kombination berufsspezifischer Qualifikationsanforderungen, die aus verteilten Anforderungsprofilen geschlossen werden kann oder die Identifikation von ähnlichen Qualifikationen für unterschiedliche Problemstellungen. Herkömmliche Datenbanken ermöglichen kein automatisches Schlussfolgern und daher keine Transformation von impliziten in explizites Wissen. Semantik-Web-Wissensbanken stoßen in diese Nische, indem sie mit Hilfe formaler Logiken Schlussfolgerungen ziehen. Dadurch können LO analysiert und persönliche Qualifikationsprofile, Lehrveranstaltungen und Qualifikationsrahmen miteinander verglichen und aufeinander abgestimmt werden.

- Es ist dafür eine *Semantik-Web-Wissensbank* erforderlich, die mit Hilfe von Ontologien und Methoden der formalen Logik, Schlussfolgerungen über implizites Wissen durchführt. Die Semantik-Web-Wissensbank erfordert zur Funktionsfähigkeit die Formalisierung des strukturellen Wissens didaktischer und disziplinspezifischer Wissensdomänen. Innerhalb dieser Strukturen ist das Wissen über die Objekte der realen Welt zu hinterlegen.

Zur automatisierten Generierung des Instanzenwissens ist die Kennzeichnung der Bedeutung von WWW-Dokumenten erforderlich. Die Anreicherung von Qualifikationsbeschreibungen mit semantischen Annotationen eröffnet den Stakeholdern erst das enorme Informationsreservoir zur Identifikation von Qualifikationsbeschreibungen. Dafür können manuelle und automatisierte Verfahren angewendet werden, die den Gehalt der WWW-Dokumente maschinenlesbar machen. Automatisierte Verfahren zeichnen sich gegenüber manuellen Verfahren durch ihre hohe Effektivität bei guter Effizienz aus. Lösungsansätze zur automatischen LO-Annotation existieren derzeit nicht.

- Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des Annotationsprozesses von WWW-Dokumenten ist daher die Entwicklung eines *automatisierten Software-Werkzeuges zur Metadaten-Generierung* erforderlich.

4 Konzeptentwicklung

Für die Unterstützung der Planung von produktionstechnischer Qualifizierung wird das Konzept einer ontologiebasierten Semantik-Web-Wissensbank vorgestellt. Bestehende Vorgehensweisen der Ontologieentwicklung werden analysiert und bewertet und die wissensintensiven Planungsprozesse der Stakeholder im Bildungsmarkt identifiziert. Ziele bei der Nutzung der Wissensbank durch Software-Anwendungen in unterschiedlichen Anwendungsfeldern werden spezifiziert. In der Konzeptionsphase erfolgt die Erstellung einer Syntax zur inhaltlichen, prozessualen und leistungsbezogenen LO-Repräsentation in Qualifikationsprofilen. Die Zusammenhänge zwischen LO, QR, Wissensinhalten und Lernzieltaxonomien werden durch Relationen, Axiome und Regeln abgebildet. Um eine Wiederverwendung der Ontologie durch andere Personen sicherzustellen, erfolgt die Dokumentation der Ergebnisse in einer semi-informalen Notation. Die Ergebnisse werden in Semantik-Web-Sprachen formalisiert und die Ontologie zur teilautomatisierten „Planung mit Learning OuIcomes im Ingenieurwesen“ (Plotin) präsentiert. Sie bildet die terminologische und strukturelle Grundlage einer Wissensbank die Qualifikationen speichert, durch Schlussfolgern zusätzliche Information generiert und diese zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stellt.

4.1 Auswahl einer Methodik

Vorgehensweisen für den Entwurf von Ontologien dienen unterschiedlichen Zielen und setzen daher auch unterschiedliche Schwerpunkte in Ihrer Methodik. In diesem Kapitel wird eine *Anforderungsliste* an die Vorgehensweise zur Entwicklung der Plotin-Ontologie entwickelt. Dafür werden die Vorarbeiten von [Gom-04] und [Bos-05] genutzt, um die relevanten Vorgehensweisen zur Ontologieentwicklung zu analysieren und ihre Eignung bezüglich der Plotin-Anforderungsliste zu bewerten. Die Bewertungskriterien gliedern sich dabei in prozessbezogene und produktbezogene Aspekte.

Prozessbezogene Kriterien beschreiben, inwiefern die Vorgehensweise erforderliche Schritte der Ontologie-Erstellung, z. B. bezüglich der Vollständigkeit und des Detaillierungsgrads, behandelt. Produktbezogene Kriterien charakterisieren die Methoden, etwa hinsichtlich ihrer Sprachabhängigkeit oder Wiederverwendbarkeit. Tabelle 4-1 zeigt die Kriterien und gibt deren Ausprägungsstufen an. Die hervorgehobenen Ausprägungen sind die aus den identifizierten Anforderungen abgeleiteten qualitativen Wertausprägungen. Im Folgenden wird die Wahl der Ausprägungen begründet.

Zur Abdeckung aller Aktivitäten in der Ontologieerstellung sollte die Vorgehensweise eine *hohe Vollständigkeit* aufweisen. Die Erstellung der Plotin-Ontologie erfordert die

vorhergehende Untersuchung der Planungsaktivitäten und eine Umgebungsstudie, um ggf. gegensätzliche Zielsetzungen der einzelnen Akteure am Bildungsmarkt identifizieren zu können. Ein hoher Dokumentationsgrad ist erforderlich, um anderen die Bewertung der terminologischen Konzepte und die Weiterentwicklung der Ontologie zu ermöglichen.

Kriterium		Ausprägung
Prozess- bezogene Kriterien	Vollständigkeit	hoch – mittel – gering
	Abfolge der Entwicklungsaktivitäten	Prototypen-Ansatz , inkrementeller Ansatz,
	Ansatz zur Konzeptionalisierung	Top-Down-, Middle-Out -, Bottom-Up-Ansatz
	Detaillierungsgrad der Beschreibung zur Vorgehensweise	hohes, durchschnittliches , geringes Maß
Produktbezogene Kriterien	Werkzeuge zur Unterstützung der Vorgehensweise	erforderlich, nicht erforderlich ,
	Anwendungsabhängigkeit	nicht-, semi -,voll-anwendungsabhängig
	Sprachabhängigkeit	abhängig, unabhängig
	Wiederverwendbarkeit bestehender Ontologien	sehr gute, gute , ausreichende, mangelhafte
	Wiederverwendbarkeit der entwickelten Ontologie	sehr gute, gute , ausreichende, mangelhafte

Tabelle 4-1: Übersicht über die Anforderungen an eine Vorgehensweise zur Ontologieentwicklung

Das Kriterium *Abfolge der Entwicklungsaktivitäten* definiert, ob ein Ansatz eine bestimmte Reihenfolge der einzelnen Entwicklungsschritte definiert. Für die Plotin-Ontologie soll ein Konzept gewählt werden, das Modifikationen jederzeit erlaubt, ohne den gesamten Ontologieentwicklungsprozess vollständig durchlaufen und eine neue Ontologieversion definieren zu müssen. Hierbei wird von einem sogenannten *Prototypen-Ansatz* gesprochen [Gom-04]. Dem steht der Ansatz des inkrementellen Lebenszyklusses entgegen, in dem eine definierte Abfolge jeweils vollständig durchlaufen wird, und nur die vorher geplanten Änderungen vorgenommen werden. Ersteres Vorgehen hat den Vorteil, dass in gleichen Versionen Änderungen vorgenommen werden können. Dies ermöglicht verkürzte Entwicklungszeiten durch simultane Bearbeitung von unterschiedlichen Entwicklern.

Das Kriterium *Ansatz zur Konzeptionalisierung* beschreibt die Überführung des gesammelten Wissens und der entsprechenden Terminologie in eine strukturierte Darstellung. In dieser Arbeit wurde der *Middle-Out-Ansatz* von USCHOLD und KING präferiert. Dieses Vorgehen zeichnet sich durch seine Balance bezüglich des Detaillierungs- und Abstraktionsgrades aus, der die Ontologie stabilisiert.

Der *Detaillierungsgrad der Beschreibung zur Vorgehensweise* sollte ein *durchschnittliches Maß* aufweisen. Ein zu geringer Detaillierungsgrad birgt die Gefahr, dass wichtige Aspekte nicht genügend berücksichtigt werden. Ein hoher Detaillierungsgrad ist aufgrund der

Vorarbeiten am Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb der TU Berlin und dem damit einhergehenden Kenntnisstand der Ontologieentwickler nicht erforderlich.

Werkzeuge zur Unterstützung der Vorgehensweise können den Anwender durch die in der Methode beschriebene Vorgehensweise leiten. Es wird dadurch garantiert, dass eine Methode konsequent durchgeführt und dem Anwender die Umsetzung erleichtert wird. Derartige Werkzeuge wurden aufgrund der entstehenden Beschaffungskosten bzw. der guten schriftlichen Dokumentation vieler Vorgehensweisen als *nicht erforderlich* eingestuft.

Die zu entwickelnde Ontologie soll aufgrund ihrer Zielsetzung als Qualifikationsrepräsentation für unterschiedliche Anwendungsfälle und Nutzergruppen *semi-anwendungsabhängig* sein. Mögliche Szenarien der Ontologienutzung werden in der Phase der Spezifikation festgelegt. Geringe *Anwendungsabhängigkeit* der Methode ist vorteilhaft, um die Ontologie auch in nicht absehbaren Szenarien, z. B. die Einbindung der Plotin-Ontologie in interoperable eLearning-Plattformen, einsetzen zu können.

Einige Vorgehensweisen schreiben die Verwendung einer Wissensrepräsentationssprache vor, es besteht dann eine *Sprachabhängigkeit*. Die Sprachen unterscheiden sich unter anderem in Ihrer Ausdrucksmächtigkeit und Skalierbarkeit. Zum Zeitpunkt der Methodenauswahl können diese Faktoren noch nicht abgeschätzt werden, sodass eine *unabhängige* Vorgehensweise erforderlich ist.

Die thematische Nähe zu einigen schon bestehenden Metadatenstandards und Kompetenzontologien erfordert die *Wiederverwendbarkeit bestehender Ontologien*. Eine *gute bis sehr gute* Wiederverwendbarkeit ermöglicht es, bereits modelliertes Wissen innerhalb der eigenen Wissensrepräsentation zu nutzen und dadurch den Entwicklungsprozess zu vereinfachen. Einige Vorgehensweisen propagieren, als Ausgangspunkt der Entwicklung eine bestehende Ontologie zu verwenden, um diese in die gewünschte Zielontologie zu transformieren. In diesem Zusammenhang wird von der *Wiederverwendung einer Kernontologie* gesprochen. Aufgrund des neuartigen Charakters der LO-Ontologie wurde die Wiederverwendbarkeit einer bestehenden Kernontologie als nicht zielführend erachtet, da die damit verbundene Transformation mit hoher Wahrscheinlichkeit größeren Aufwand als eine Neugestaltung verursacht hätte.

Die Entwicklung der Plotin-Ontologie muss berücksichtigen, dass neue Anwendungsgebiete, z. B. Planungsprozesse im Arbeitsmarkt, *die gute Wiederverwendbarkeit der Ontologie* erfordern. Dafür sollte die Vorgehensweise erstens eine Evaluation der Ontologie vorsehen und zweitens eine umfassende Dokumentation einfordern.

Kriterium [Gom-04] [Bos-05]	Uschold & King [Usc-96]	Grüninger & Fox [Gru-95]	SENSUS [Swa-97]	On-To-Knowledge [Sta-01]	Methontology [Fer-97]	iPROMPT [Noy-01]
Vollständigkeit bzgl. des Ontologieentwicklungsprozesses	durchschnittlich ✓	durchschnittlich ✓	gering ⚡	umfassend ✓	umfassend ✓	gering ⚡
Lebenszyklus	einmaliger durchlauf ⚡	entstehende Prototypen oder inkrementeller Lebenszyklus ✓	einmaliger Durchlauf mit Rückkopplung ⚡	entstehende Prototypen oder inkrementeller Lebenszyklus ✓	entstehende Prototypen ✓	zyklischer Durchlauf ⚡
Konzeptionalisierungsansatz	middle-out ✓	middle-out ✓	bottom-up und top-down ⚡	bottom-up, top-down und middle-out ✓	middle-out ✓	nicht angegeben ⚡
Detaillierungsgrad der Beschreibung	durchschnittlich ✓	hoch ✓	niedrig ⚡	hoch ✓	hoch ✓	hoch ✓
Werkzeugunterstützung	kein spezifisches Werkzeug ✓	kein spezifisches Werkzeug ✓	kein spezifisches Werkzeug ✓	OntoEdit mit unterschiedlichen Plug-ins ✓	ODE und WebODE ✓	PROMPT-plugin-in für Protégé ✓
Anwendungsabhängigkeit	nicht anwendungsabhängig ✓	Semi-anwendungsabhängig ✓	Semi-anwendungsabhängig ✓	anwendungsabhängig ⚡	nicht anwendungsabhängig ✓	nicht anwendungsabhängig ✓
Sprachabhängigkeit	unabhängig ✓	abhängig ⚡	unabhängig ✓	unabhängig ✓	unabhängig ✓	abhängig ⚡
Wiederverwendung (WV) von bestehenden Ontologien	vorgeschlagen ⚡	vorgeschlagen ⚡	WV einer Kernontologie ⚡	gute WV ✓	sehr gute WV ✓	gute WV ✓
Erleichterte Wiederverwendbarkeit der erstellten Ontologie	durchschnittlich ⚡	durchschnittlich ⚡	gering ⚡	durchschnittlich ⚡	gut ✓	gering ⚡
✓ = Anforderung erfüllt ⚡ = Anforderung nicht erfüllt						

Tabelle 4-2: Bewertungsmatrix zur Auswahl einer Vorgehensweise für die Ontologierstellung

Die Kriterien *Häufigkeit der Anwendung* von [Gom-04] und spezifische Kenntnisse von [Bos-05] werden in der Auswahl nicht berücksichtigt. Die Erfassung der Häufigkeit kann aufgrund der Vielzahl inzwischen erstellter Ontologien nicht verlässlich erfolgen. Zudem sind Rückschlüsse von der Ontologie auf die in der Entwicklung verwendete Vorgehensweise vielfach nicht ersichtlich. Das Kriterium spezifischer Kenntnisse [Bos-05] ist hier obsolet, da ausreichende Kenntnisse in der Entwicklergruppe bestehen.

Tabelle 4-2 zeigt die Bewertung der Vorgehensweisen anhand der Anforderungen der Plotin-Ontologie. Das Symbol ✓ repräsentiert Kriterien, die durch die jeweilige Vorgehensweise erfüllt, das Symbol ✗ Kriterien, die nicht erfüllt werden. Die Aufstellung der Kriterien und Zuordnung der Werte zu den Vorgehensweisen erfolgte anhand der Arbeiten von [Gom-04] [Bos-05].

Die Methontology-Methode von Fernandez et. al. [Fer-97] erfüllt die Anforderungen an die Vorgehensweise am besten und wurde daher zur Erstellung der Plotin-Ontologie ausgewählt.

4.2 Planung der Durchführung

Die Aktivitäten der Methontology-Vorgehensweise werden in die drei Kategorien Projektmanagement, Entwicklungsaktivitäten und Unterstützungsaktivitäten unterteilt. Das Projektmanagement setzt sich aus Planung, Kontrolle und Qualitätssicherung zusammen. Entwicklungsorientierte Aktivitäten schließen die Phasen Spezifikation, Konzeptionalisierung, Formalisierung, Implementierung und Wartung ein. Begleitende Aktivitäten laufen zeitgleich zu den Entwicklungstätigkeiten ab und umfassen Wissensidentifikation, Integration, Evaluation, Dokumentation und Konfigurationsmanagement (vgl. Abbildung 4-1).

In der Erstellung der Ontologie wurden die Phasen parallel und iterativ durchlaufen. Die Dokumentation der Phasen erfolgt hier zur besseren Übersichtlichkeit sequentiell. Nach einer kurzen Darstellung der Managementaktivitäten werden die entwicklungsorientierten und unterstützenden Aktivitäten dargestellt. In der Spezifikationsphase wird analysiert, welche Aufgaben in der Planung von Qualifizierung existieren und wie sie durch wissensbasierte Systeme unterstützt werden können. Es werden Prozesse der Planung und Durchführung von Qualifizierung, die beteiligten Akteure und die Methoden und Werkzeuge, die in den Prozessen verwendet werden, vorgestellt. (Kapitel 4.3). Anschließend erfolgt die Konzeptionalisierung, in der ein semi-informales Modell zur Qualifikationsrepräsentation gestaltet wird (Kapitel 4.4). In der Formalisierung wird die Wissensrepräsentationssprache und das Ontologieerstellungswerkzeug ausgewählt und das semi-informale Modell in ein formales übertragen (Kapitel 4.5). Die Evaluation und Wartung der Ontologie erfolgt in Kapitel 5 innerhalb der prototypisch entwickelten Plotin-Wissensbank.

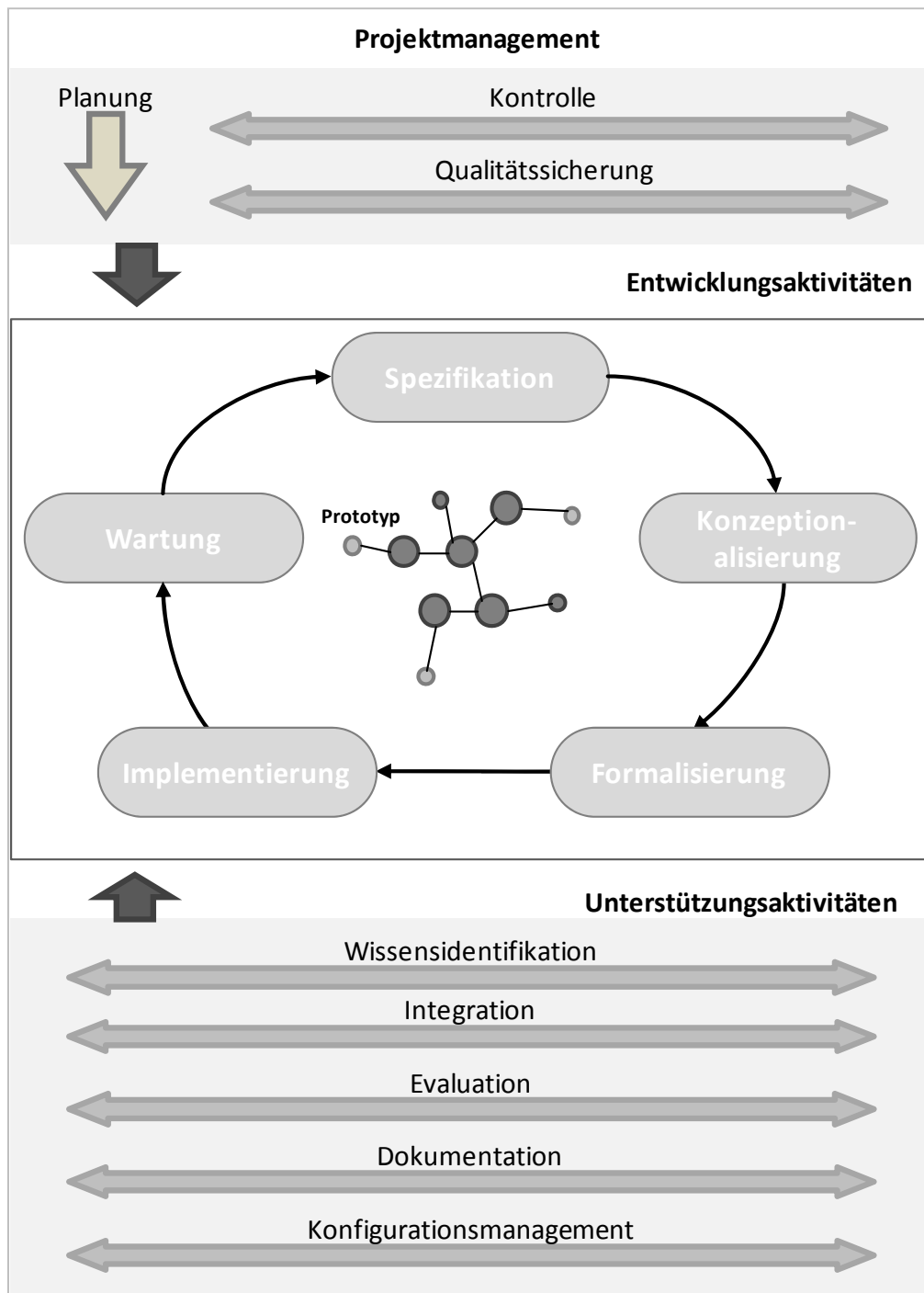


Abbildung 4-1: Methontology-Architektur

4.2.1.1 Qualitätssicherung und Kontrolle

Zur Qualitätssicherung wurden Ingenieure, Didaktiker und Informatiker in die Ontologie-Erstellung eingebunden. Aspekte der Arbeiten wurden auf internationalen Konferenzen, u. a. auf der CIRP-CIMEC-Konferenz 2008 [Sel-08], der EDULearn-Konferenz 2009 [Rei-09], der GCSM 2009 [Sel-09] und GCSM 2010 [Abd-10] und der IGIP-SEFI-Konferenz 2010 [Rei-10] präsentiert und zur Diskussion gestellt.

4.2.1.2 Wissensidentifikation und Integration bestehender Ontologien

Im Rahmen der Wissensidentifikation werden Informationsquellen darauf untersucht, inwiefern sie in natürlicher Sprache Strukturen beschreiben, die in die Ontologie einfließen können. Das Suchfeld wurde nach dem Stand der Technik eingegrenzt und wichtige Begriffe beschrieben. In der Konzeption werden die identifizierten Quellen dargestellt.

Die im Stand der Technik vorgestellten Qualifikationsontologien wurden auf Ihre Wiederverwendbarkeit untersucht. Die Suche in den gängigen Ontologiebibliotheken OpenCyc [Ope-10], DAML-Ontology-Library [dam-10], OntoLingua [Ont-10], Protégé Ontologies Library [Pro-10], RosettaNet [Ros-10], DMOZ [DMO-10] bzw. auf den Webseiten der Projekte lieferte keine verwertbaren Resultate. Für die „Learner Ontology“ aus dem Elena-Projekt wurde ein Verweis auf deren Veröffentlichung gefunden. Auf den entsprechenden Server konnte aber nicht zugegriffen werden. Die Wiederverwendung beschränkte sich auf die Übernahme von geeigneten Konzepten aus den in Konferenzberichten oder Journalen veröffentlichten Teilbereichen der jeweiligen Ontologien.

4.2.1.3 Dokumentation

Die Dokumentation der Plotin-Ontologie erfolgte durch diese Arbeit. Nach FERNANDEZ sollte eine schriftliche Dokumentation folgende Dokumente enthalten [Fer-97]: Zielsetzung (Kapitel 3), Entwurfsrichtlinien (Kapitel 4.1), Nutzungsszenarien, Endnutzer (Kapitel 4.3), Auflistung der Wissensressourcen (Kapitel 8) und einen Glossar (Anhang). Für eine erhöhte Verständlichkeit und Evaluierbarkeit der Konzepte wurden in der Konzeptualisierung eine semi-informale Notation und bei der Formalisierung das Werkzeug OWLViz für die graphische Darstellung von Teilen der Ontologie eingesetzt [OWLViz-10]. Die Plotin-Qualifikationsontologien wurden in der Protégé Ontologies Library unter [Pro-10] veröffentlicht. Anwender weltweit können das konzeptionelle Wissen der Ontologien nutzen und weiterentwickeln. Für die Ontologien wurden jeweils individuelle URIs vergeben, die sie im WWW eindeutig kennzeichnen.

4.2.1.4 Konfigurationsmanagement

Ein iteratives Vorgehen in der Ontologieerstellung erfordert eine genaue Versionskontrolle. Grundsätzlich werden konzeptionelle und erklärende Änderungen unterschieden, die beide zu Inkompatibilitäten der Wissensbank führen können. Falls die geänderte Ontologie Basis für weitere Ontologien ist, müssen alte Schlussfolgerungen erhalten bleiben. Es ist dann sicherzustellen, dass Abfragen an alte Version der Plotin-Ontologie gestellt werden und nicht automatisch an neue Versionen ergehen. Eine erklärende Änderung bei einer Ontologie bewirkt eine neue Spezifikation bei gleichbleibender Konzeptionalisierung. Hier kann die neue Version die alte vollständig ersetzen.

4.3 Spezifikation des Anwendungsfeldes

Der Bildungsmarkt ist aufgrund einer Vielzahl an Bildungsangeboten mit ungenügenden Produktbeschreibungen wenig transparent [Asi-08]. Diese Problematik betrifft alle Stakeholder des Bildungsmarkts. Bei den Stakeholdern der Anbieterseite handelt es sich um Lehrende, Curriculumplaner und die Administration. Auf der Kundenseite werden auch drei Gruppen unterschieden. Die *Lernenden* empfangen das Produkt. Sie erwarten eine hohe Lehrqualität der Bildungsinstitution und wollen eine hohe Lernproduktivität erzielen. Die *Finanzmittelgeber* bezahlen das Produkt. Finanzmittelgeber sind u. a. Eltern, Hochschulträger oder der Staat. Sie erwarten eine hohe Vermittlungsproduktivität. Die dritte Gruppe sind diejenigen, die ein Interesse an der Verwertung der Qualifikation haben, die *Arbeitgeber* bzw. die *Gesellschaft*. Sie erwarten eine hohe Verwertungsqualität der Qualifikation. Die letztgenannte Gruppe wird vielfach nicht direkt, sondern über Intermediäre, z. B. Akkreditierer oder Fachverbände, vertreten (vgl. Abbildung 4-2).

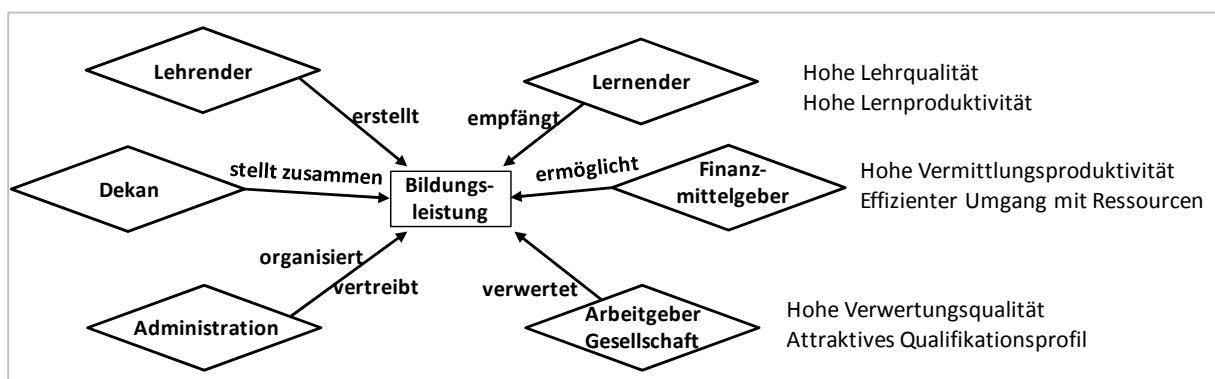


Abbildung 4-2: Teilnehmer des Bildungsmarktes und ihre Interessen

Die Stakeholder des Arbeitsmarktes führen hinsichtlich ihrer Ziele und Aufgaben unterschiedliche Planungsaufgaben durch. Der *Lernende* plant, welche Qualifizierungsmaßnahmen er im Rahmen seines Lernweges wählt. Der *Lehrende* gestaltet die Lehrveranstaltung. Im Rahmen der Curriculumplanung werden durch den *Dekan* Lehrveranstaltungen zu Modulen und Curricula zusammen gefasst. Die Administration gliedert sich in Aufgaben des Prüfungsamtes, des Bildungsmarketings und des Qualitätsmanagements. Das *Prüfungsamt* prüft die Anerkennung extern erbrachter Qualifikationen. Außerdem vergleicht es das Qualifikationsprofil des Lernenden mit den Anforderungen für eine Zertifizierung. Das *Bildungsmarketing* plant den Vertrieb der Bildungsleistung. Im Rahmen der Qualitätssicherung prüft das *Qualitätsmanagement* der Bildungseinrichtung intern die Lehr- und Verwertungsqualität von Bildungsprogrammen und -institutionen. Außerdem kann die Qualität durch externe Institutionen, z. B. Akkreditierungsagenturen, evaluiert werden (vgl. Abbildung 4-3).



Abbildung 4-3: Stakeholder-Perspektive auf die Planung von Qualifizierung

Die Planung der Prozesse basiert auf Qualifikationen, die von den Stakeholdern erlangt, vermittelt, zusammengefasst, angerechnet oder gemessen werden. Eine ungenaue Beschreibung der Qualifikation führt zu einer ungenauen Planung der Qualifizierungsprozesse. Die Problematik ungenügender Leistungsbeschreibungen von Bildungsangeboten kann durch die Anbieter behoben werden. Dies wird durch den Übergang des Bildungsmarktes von einer heute eher planwirtschaftlichen geprägten Struktur zu einer eher marktwirtschaftlichen Struktur unterstützt. Denn nicht nur Nachfrager nach Bildungsprodukten, sondern auch die Anbieter qualitativ hochwertiger Bildungsangebote wünschen *Transparenz*, um ein Funktionieren des Marktes zu gewährleisten. Eine genaue Beschreibung von Qualifikation ist eine notwendige aber noch keine hinreichende Bedingung für die effiziente und effektive Planung von Qualifizierung. Es sind außerdem Werkzeuge erforderlich, die die Menge an LO-Informationen verarbeiten können.

Zur Identifikation von Qualifikationsbeschreibungen aus einer durch den Menschen nicht mehr handhabbaren Menge von Kursangeboten bieten *Semantik-Web-Technologien* hervorragende Potentiale. Vorbedingung ist die Veröffentlichung von Produktbeschreibungen in Netzwerken, insbesondere im WWW, und deren Aussagekraft hinsichtlich didaktischer und inhaltlicher Merkmale. Abbildung 4-4 verdeutlicht die Struktur des Plotin-Konzeptes zur verbesserten Planung von Qualifizierung aus der informationstechnischen Perspektive.

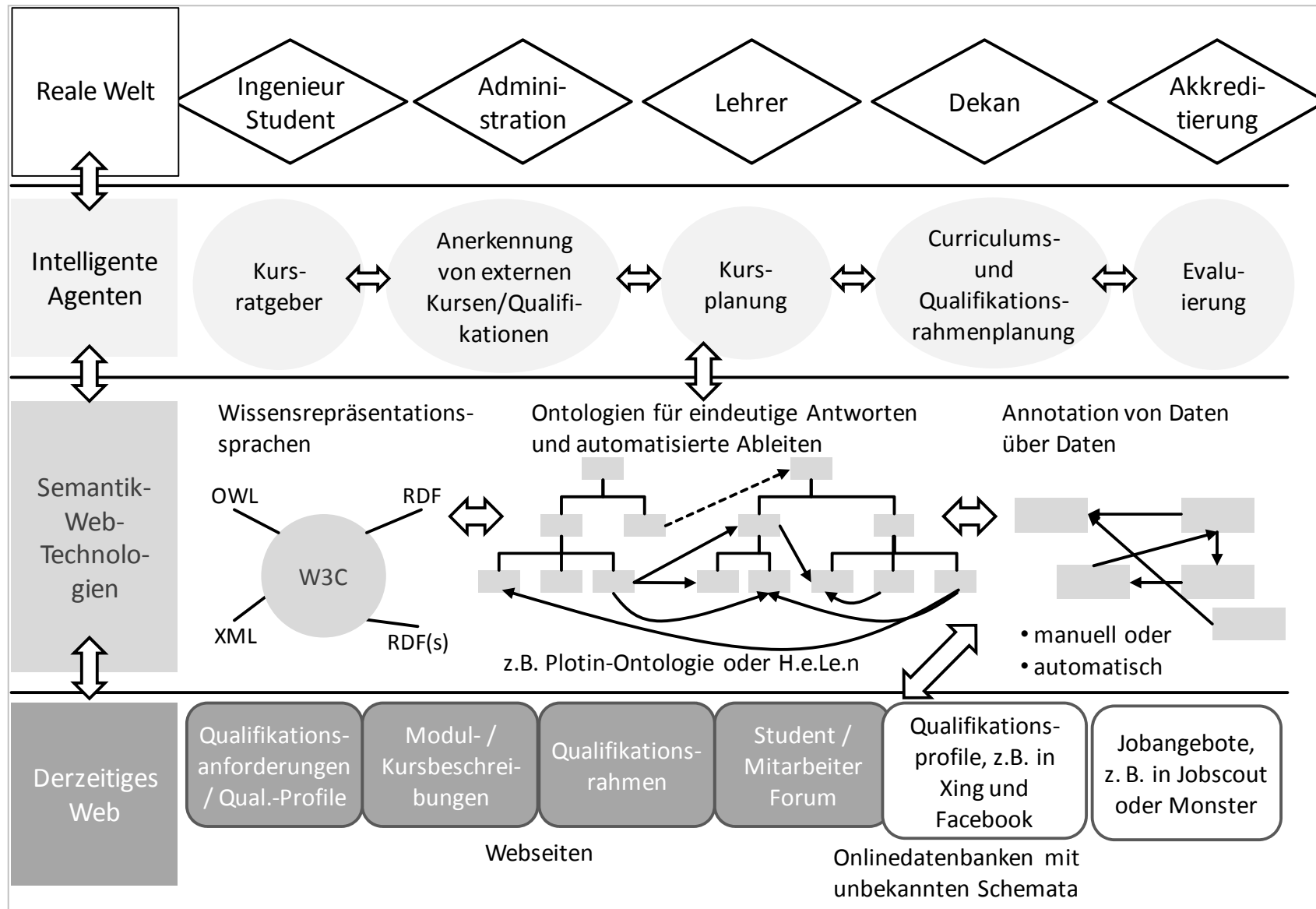


Abbildung 4-4: Informationstechnologische Perspektive des PLOTIN-Konzeptes (in Anlehnung an [Gom-04])

Die Stakeholder des Marktes identifizierten und bearbeiteten bisher selbstständig in Netzwerken veröffentlichte Dokumente. Die Planung von Qualifizierung erfolgt auf der Grundlage von dokumentierten Qualifikationsbeschreibungen. Dabei handelt es sich um Leistungsprofile von Lehrveranstaltungen und Bildungsprogrammen, Leistungsstandards von Interessenverbänden, Berufsanforderungen von Arbeitgebern und um persönliche Qualifikationsprofile. Diese Informationen sind u. a. auf WWW-Seiten von Universitäten, Arbeitgebern, Interessenverbänden, Stakeholder-Foren oder persönlichen Internetseiten frei zugänglich. Außerdem existieren Online-Datenbanken z. B. für Qualifikationsprofile, wie Xing [Xin-10], und Job-Börsen, z. B. Jobscout [Job-10], die Qualifikationsbeschreibungen sammeln und mit einer intern definierten Struktur veröffentlichen.

Die manuelle Identifikation und Weiterverarbeitung von in Netzwerken veröffentlichten Informationen ist für Personen sehr aufwändig. Sie kann durch eine automatisierte Informationsbereitstellung ergänzt werden, indem die bestehende Internetarchitektur um zwei informationstechnische Schichten – die Semantik-Web-Technologien und darauf basierende intelligente Agenten – ergänzt wird. Mit Hilfe einer manuellen oder automatischen Metadatenannotierung werden die WWW-Qualifikationsbeschreibungen von Maschinen verarbeitbar. Die Wissensrepräsentationssprachen des W3C stellen die formalen Standards bereit, damit Menschen und Maschinen auf Informationen zugreifen und deren Struktur modellieren können. Die Plotin-Ontologie bringt die annotierten Informationen in einen Zusammenhang. Die Semantik-Web-Wissensbank nutzt die Wissensrepräsentationssprachen des W3C-Konsortiums und die Plotin-Ontologie zur Speicherung expliziten Wissens. Dadurch können intelligente Agenten WWW-Dokumente zu spezifischen Anfragen durchsuchen, relevante Informationen identifizieren und bereitstellen. Zusätzlich kann durch formale Logik implizites Wissen geschlussfolgert werden. Intelligente Agenten sind für zahlreiche Anwendungen zur Unterstützung der Stakeholder in der Planung von Qualifizierungsprozessen denkbar. Dazu gehören die Empfehlung von Kursen für Lernende, die Anrechnung von extern erbrachten Leistungen der Lernenden durch die Administration, die Evaluation von Bildungsleistungen durch das Qualitätsmanagement, das Benchmarking von Lehrveranstaltungen, die Gestaltung von Kursen oder die Abstimmung von Curricula durch den Lehrer und den Studiendekan.

Im Folgenden wird ein Überblick über die Anforderungen an wissensbasierte Systeme aus den Perspektiven der einzelnen Stakeholder des Bildungsmarktes gegeben. Der Überblick umfasst die Perspektiven Lernwegplanung, Lehrveranstaltungsplanung, Abstimmung des Curriculums, Produktvermarktung, Qualifikationsanrechnung und Qualitätsplanung.

Eine Qualifikationsontologie sollte allen Stakeholder- und Prozessperspektiven in der Darstellung der Qualifikationen gerecht werden, um die Ontologie einem breiten Anwendungsspektrum zu öffnen. Auf der anderen Seite ist eine Fokussierung auf die

Ingenieurqualifikation basierend auf LO-Beschreibungen anzustreben, um eine hohe Ausdrucksstärke und damit eine gute Informationsqualität in der Wissensbank zu erzielen. Wodurch wiederum die Ergebnisse der intelligenten Agenten positiv beeinflusst werden. Um Praxisnähe zu gewährleisten, basieren die Anwendungsszenarien auf Erfahrungen im internationalen Masterstudiengang Global Production Engineering (GPE) der TU Berlin. Es werden Problemstellungen dargestellt, aus denen heraus Anforderungen an wissensbasierte Systeme formuliert werden.

4.3.1 Lernwegplanung (Lernende)

Personen identifizieren Anforderungen an sich selbst, um entsprechend ihren Bedürfnissen in ihrer Umwelt zu bestehen. Diese Anforderungen bilden das Zielsystem anhand dessen sie ihre Qualifizierung planen. Die Planung bedarf eines Abgleichs der vorhandenen Qualifikationen mit den erforderlichen Qualifikationsanforderungen für beabsichtigte Tätigkeitsfelder. Hier kann z. B. auf die Methode des Qualifikationsportfolios zurückgegriffen werden, bei dem aufgrund von Merkmalen, wie der Halbwertszeit von Qualifikationen und der Anwendungsbreite sowie persönlicher Merkmale wie dem Qualifikationsvorsprung und der Qualifikationsanwendung, Entscheidungen über Bildungsinvestitionen getroffen werden. Die Summe dieser Entscheidungen bildet das *Lernziel-Profil*. Die in diesem Prozess stattfindenden Analysen können durch eine Wissensbank, die Tätigkeitsprofile mit Qualifikationsbeschreibungen bereithält, unterstützt werden. In Abhängigkeit vom Lernziel-Profil können passende Lernmodule automatisiert identifiziert und der Lernende in der Bewertung der Lernmodule unterstützt werden.

Je unabhängiger von starren Bildungsvorgaben und reglementierten Curricula der Lernende seinen Lernweg gestalten kann, desto stärker ist die Bedeutung der Produktbewertung und –auswahl. Die Gestaltung des Qualifikationsprofils anhand von individuellen beruflichen und gesellschaftlichen Zielen verbessert die Produktivität des Lernens. Die Auswahl des geeigneten Produktes ist jedoch durch Unsicherheit aufgrund von fehlender Markttransparenz geprägt. Die Intransparenz beruht erstens auf der *Vielzahl an Kursen*, die für Wissensbereiche angeboten werden und zweitens auf einer vielfach *ungenügenden Produktbeschreibung*. Es existieren in Europa schätzungsweise mehr als 1.000 Kurse der Aus- und Weiterbildung, die Aspekte von „Lean Management“ vermitteln. Diese Kurse zeichnen sich durch unterschiedliche qualifikatorische Anforderungen hinsichtlich Vorwissen, kognitivem Anforderungsgrad, Lehrmethoden, Kontext, Theorie- oder Praxisorientierung aus. Eine eigenständige Identifikation und Bewertung der am Markt verfügbaren und relevanten Kurse übersteigt die Ressourcenverfügbarkeit der Mehrheit der Interessenten. Herkömmliche Suchmaschinen können hier unterstützen, liefern aber unpräzise Antworten, da weder Homonyme noch Synonyme berücksichtigt werden.

Die Lernenden können Bildungsangebote unterschiedlichen Arbeitsaufwands auswählen. Die erste berufsbefähigende Ausbildung umfasst dabei vielfach ein Ausbildungsprogramm an einer Bildungsinstitution mit einer mehrjährigen Dauer. Dies hat durch eine übergreifende Zertifizierung von Lehrangeboten und deren inhaltlichem Abgleich durch den Bildungsanbieter durchaus Vorteile. Auf der anderen Seite legt es den Lernenden auf eine spezifische Disziplin und Bildungsinstitution fest. Die Anpassung an Veränderungen seines Lernzielprofils kann nur eingeschränkt erfolgen, ein Wechsel der Bildungseinrichtung bedingt *Wiederholungsaufwand durch Nichtanrechnung* von Qualifikationen und *Zusatzqualifikationen durch Inkompatibilitäten* zwischen den Qualifikationsrahmen der Bildungsprogramme. Eine Flexibilisierung zwischen Bildungsprogrammen, die es dem Lernenden erlaubt, individuell seinen Lernweg durch die Belegung von institutionsunabhängigen Lehrmodulen zu planen, wäre hier vorteilhaft.

Im der späteren berufsbegleitenden Ausbildung bestehen umfangreiche Angebote zu kurzzeitigen Bildungsprogrammen. Es etablieren sich zudem Programme, bei denen die berufliche Tätigkeit für ein Jahr ruht und diese Zeit zur Qualifizierung genutzt wird. Die Modularisierung der Angebote ist aber vielfach mangelhaft. Eine zusammenfassende Zertifizierung von Kursen unterschiedlicher Bildungsanbieter wird Lernenden von zertifizierenden Stellen vielfach verwehrt. Die Anrechnung scheitert hier oft an formalen Kriterien und unklaren Qualifikationsanforderungen, obwohl in Qualifikationsrahmen definierte Bildungsstandards erreicht wurden, die eine Zertifizierung rechtfertigen.

Modul- und Kursbeschreibungen haben neben der Außenwirkung auch eine Innenwirkung. Sie bilden ein *gegenseitiges Vertragsverhältnis zwischen Lehrer und Lernendem*. Der Verantwortliche verpflichtet sich mit der Modulbeschreibung, Produktspezifikationen hinsichtlich Inhalt, Ablauf, Prüfungsform, Anforderungsniveau und Umfang des Lernmoduls einzuhalten. Der Studierende hat ein Anrecht auf Einhaltung dieses Vertrages und sollte dies im Rahmen einer Evaluation zur Qualitätssicherung nach Erbringung der Lehrleistung bewerten können.

Für Lernende können daraus folgende Anforderungen abgeleitet werden:

Qualifikationsrahmen müssen erstens die erforderlichen *Qualifikationsanforderungen für beabsichtigte Tätigkeitsfelder darstellen* und zweitens *verbindliche Standards zur Zertifizierung von Qualifikationsprofilen definieren*. Es ist Aufgabe der entsprechenden gesellschaftlichen Anspruchsgruppen wie Politik, Unternehmen, Interessenvertretungen, Universitäten und Akkreditierungsagenturen für die erforderliche Transparenz und Standardisierung zu sorgen.

Übergreifende Qualifikationsprofile sind erforderlich, um *unabhängig* von einer Bildungsinstitution Qualifikationen zu dokumentieren und mit Qualifikationsrahmen zu

vergleichen. Dadurch gelingt die flexible Gestaltung von Lernwegen hinsichtlich Ihrer inhaltlichen Orientierung und zeitlichen Struktur. Eine informationstechnische Speicherung und Verarbeitung der Profile kann deren Organisation vereinfachen.

Maschinenverarbeitbare Informationen zu Qualifizierungsalternativen erleichtern die Identifikation und Auswahl von Modulen und die Planung von Qualifizierungswegen durch intelligente Agenten.

Modul- und Kursbeschreibungen sollten eine *klare Anforderungsspezifikation in Form von LO* aufweisen, um als Basis von Verträgen zwischen Lehrer und Lernendem zu dienen.

4.3.2 Produktvermarktung (Bildungsmarketing)

Elektronische und papierbasierte Medien bieten zahlreiche Informationsquellen über Qualifizierungsangebote. Bildungsanbieter entscheiden, welche Informationskanäle sie nutzen wollen und platzieren in diesen Medien, oftmals gegen Entgelt, Ihre Bildungsangebote. Kundengruppen fragen neben den Produktbeschreibungen weitere Informationen über die Güte der Qualifizierungsangebote nach. Diese zusätzlichen Informationen umfassen Imagebroschüren oder Modulbeschreibungen, Bewertungen von externen Instituten, Qualitätssiegel von Akkreditierungsagenturen und persönliche Empfehlungen durch Alumni, Hochschulpersonal oder Unternehmensvertreter.

Ursache für die Nachfrage von zusätzlichen Informationen ist die *Unsicherheit über die Lehr- und Verwertungsqualität*. Diese lässt sich durch die transparente Darstellung von Qualifizierungsprozessen mindern. Leistungsbeschreibungen und QR können *Mindest- oder Durchschnittsstandards* festlegen, die den Lernenden Anhaltspunkte für Ihre Entwicklung geben. Kompetenzbasierte Entwicklungs- und Verbleibstudien von Lernenden und Alumni tragen auch dazu bei, die Effektivität des Lernprozesses und die Effizienz der Qualifizierungsmaßnahme zu verdeutlichen.

Für derartige Standards und Evaluationen ist eine Sprache zur einheitlichen Qualifikationsrepräsentation erforderlich. Wissensbasierte Systeme unterstützen die Gestaltung von Standards und die Durchführung von Evaluationen. Durch die semantische Suche von Lehrangeboten erübrigen sich entgeldpflichtige Intermediäre zur Vermarktung von Lehrmodulen. Intelligente Agenten finden durch Metadaten die Angebote der Bildungsinstitution über deren Webseiten. Damit können Institutionen Angebote *direkt und global kommunizieren*. Webseiten können jederzeit einfach aktualisiert werden, Transaktionskosten entfallen und durch eine mit IT handhabbare LO-Sprache wird Qualität sichtbar.

4.3.3 Lehrveranstaltungsplanung (Lehrende)

Bildungsangebote werden durch Lehrende in Form von Lehraktivitäten, Kursen oder Modulen erstellt. Lehrende stehen dabei inner- und außerhalb der Bildungsinstitution im gegenseitigen Wettbewerb und bieten vielfach vergleichbare Leistungen an. Eine erfolgreiche Produktvermarktung innerhalb und außerhalb der Bildungsinstitution liegt im Eigeninteresse des Lehrenden. Sie erfolgt über die persönlichen Eigenschaften der Lehrenden, über Infrastrukturmerkmale und über Modul- und Kursbeschreibungen. Der Vergleich der eigenen Lehrveranstaltung mit Wettbewerbsprodukten fördert die markt- und outcomeorientierte Ausrichtung. Die Identifikation von inhaltlich oder didaktisch vergleichbaren Kursen durch wissensbasierte Systeme kann den Lehrenden in einer *Wettbewerbsstudie* unterstützen.

Lernzielformulierungen bilden ein wichtiges Planungsinstrument für die Gestaltung der Lehrveranstaltung. Lehrveranstaltungen werden durch Umfeldbedingungen wie Qualifikationsprofile des Arbeitsmarktes, übergeordnete Qualifikationsrahmen und persönliche Fähigkeiten des Lehrers und der Lernenden beeinflusst. Der Lehrende erstellt eine Modulbeschreibung, in der er relevante Daten zur Organisation und Durchführung des Moduls hinterlegt und die ihm helfen kann, Methoden der Vermittlung besser zu analysieren und einzusetzen. Außerdem bilden LO in Modulbeschreibungen einen Vertrag, mit dem *Mindeststandards an Lernverpflichtungen* des Lernenden definiert werden können. Damit verringert der Lehrende das Risiko von Kommunikationsproblemen mit Lernenden hinsichtlich der Erwartungen an eine Lehrveranstaltung.

Softwareanwendungen können helfen, eine didaktisch und inhaltlich angemessene Darstellung von Lehrzielen, LO sowie Lehr- und Prüfungsformen zu beschreiben. Damit werden Lernziele besser plan- und durchführbar und Lehrveranstaltungen besser vermarktbar. Wettbewerbskurse können einfacher identifiziert werden.

4.3.4 Curriculumplanung (Dekan)

Lehrinhalte innerhalb eines Bildungsprogramms müssen aufeinander abgestimmt sein, um die wiederholte Vermittlung gleicher Qualifikationen zu vermeiden. Am Beispiel der Universität bedeutet dies, innerhalb von Fakultäten, Studiengängen, Lehrmodulen und Kursen Inhalte und didaktische Methoden zu analysieren und zusammen zuführen. Dies erfordert die Koordination auf unterschiedlichen Ebenen der Bildungsinstitution durch die jeweiligen verantwortlichen Experten wie Präsidenten, Studiendekane, Modul- oder Kursverantwortliche. Diese müssen zur Abstimmung der horizontalen und vertikalen Schnittstellen von Bildungsangeboten die Lehrziele der einzelnen Elemente kennen und an übergeordneten Lernzielen aus Qualifikationsrahmenwerken orientieren. Die Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme der TU Berlin bietet jährlich beispielsweise ca. 1.500

Kurse an. *Projektorientierte Curricula*, in denen Studierendengruppen individuell Qualifikationen erwerben, die je nach Semester oder Projekt inhaltlich differieren, komplizieren die Struktur zusätzlich. Ob übergeordnete Bildungsstandards erfüllt wurden, müsste für den Einzelfall zeitaufwändig geprüft werden. Hier können automatisierte Werkzeuge helfen, Lehrinhalte nach inhaltlichen und didaktischen Überlegungen für die Planer aufzubereiten. Die Auswertung der Lehrmodule ermöglicht den Entwicklern von Curricula, Module aufeinander und auf übergeordnete Qualifikationsziele abzustimmen.

4.3.5 Qualifikationsanerkennung (Prüfungsamt)

Eine Anrechnung von Qualifikationen auf eine Qualifizierungsmaßnahme erfolgt durch den Vergleich der Qualifikationsstandards des Bildungsprogramms mit dem Qualifikationsprofil des Lernenden. Der Vergleich erfolgt durch die Administration der anerkennenden Institution, vielfach anhand formaler Kriterien wie dem ECTS. Eine Prüfung, die prozessuale und anforderungsspezifische Aspekte der Qualifikation berücksichtigt, würde für die betreffende Institution einen enormen zusätzlichen Aufwand darstellen, da die Qualifikationsprofile auf LO-Ebene verglichen werden müssten. Dies kann nur durch die Fachprüfer selbst oder eine detaillierte Beschreibung der Prüfungsleistung erfolgen.

Zweitens muss das Prüfungsamt sicherstellen, dass die innerhalb der Bildungsinstitution erworbenen Qualifikationen die Mindeststandards des Studiengangs erfüllen. Wahlfreiheit des Studierenden birgt das Risiko in sich, dass Standards durch den Lernenden nicht erreicht werden. Das Risiko besteht insbesondere in projektorientierten Curricula, in denen der Studierende ggf. in einem Einzelgebiet eine enorme Tiefe erlangt, ohne die Anforderungen an die Breite seines Studiums zu berücksichtigen. Für den Vergleich von Qualifikationsprofilen eignet sich eine LO-basierte Qualifikationsrepräsentation. Lösungen zum automatisierten Vergleich von Qualifikationsprofilen mit bildungsprogrammspezifischen Mindeststandards können den Aufwand des Vergleichs reduzieren.

4.3.6 Qualitätsplanung (Qualifikationsmanagement/Akkreditierung)

Die Qualitätsplanung umfasst die Kontrolle der Produktgüte von Lehrveranstaltungen in Bezug auf Merkmale, wie Kundenzufriedenheit und Produktivität des Lernenden, die Qualität des Lehrprozesses und die Produktivität der Administration.

Lernergebnisorientierte Qualifikationsbeschreibungen geben Anhaltspunkte, die im Rahmen einer Qualitätsprüfung genutzt werden können. Beispielsweise kann in einer kompetenzorientierten Evaluation die *Lernproduktivität* gemessen werden. Dafür geben Studierende vor, im Verlauf und nach ihrem Studium eine Selbsteinschätzung über ihre Handlungsfähigkeit. Die auf Selbsteinschätzungen beruhenden Qualifikationsprofile können anhand nachgewiesener LO um die Fremdeinschätzungen der Prüfer ergänzt werden. Der

Qualifikationsstand einer Personen kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten verglichen und damit der Lernzuwachs ermittelt werden.

Außerdem kann die *Lehrqualität* durch didaktische und inhaltliche Auswertung der Kurse z. B. im Rahmen einer Akkreditierung untersucht werden. Studierende bewerten, ob der Lehr-/Lernvertrag hinsichtlich vereinbarter Merkmale eingehalten und Kundenzufriedenheit erzielt wurde. Diese Evaluation kann für jeden Kurs durchgeführt werden.

Die Integration von modul- und kursspezifischen Lernergebnissen in Evaluationsbögen ist aufgrund der Individualität jedes Kurses mit hohem Aufwand verbunden. Die Automatisierung dieses Prozesses kann dazu beitragen, den Aufwand zur Erstellung LO-basierter Evaluationsbögen zu verringern. Dafür ist ein Softwaresystem erforderlich, das LO-Beschreibungen aus Modul-/Kursbeschreibungen automatisch erkennt und diese LO zur Selbsteinschätzung im Evaluationsbogen darstellen kann. Neben der vereinfachten Durchführung der Evaluation besteht ein enormes Potential in der Analyse der Ergebnisse durch automatisierte Werkzeuge. Erkenntnisse darüber zu gewinnen, ob Lehrziele erreicht wurden und wie effektiv Lernprozesse waren, ist mit einem Ressourcenaufwand verbunden, der heute in vielen Qualitätsmanagementabteilungen nicht durchzuführen ist. Eine automatisierte Analyse und Verarbeitung kann die Analyse individueller und damit zielgenauer machen und den Ressourcenaufwand zur Auswertung handhabbar gestalten.

4.3.7 Anforderungen an Planungswerkzeuge

Die Anforderungen der Marktteilnehmer geben Beispiele für Anwendungsfälle, in denen durch Semantik-Web-Technologien Potentiale zur verbesserten Aufgabenausführung auf der Basis von LO erschlossen werden können. Tabelle 4-3 gibt einen Überblick über die Stakeholder-Perspektiven und deren Anforderungen.

Perspektiven zur Planung von Qualifizierung mit Hilfe einer LO Sprache in Semantik-Web-Anwendungen	
Lerner: Anforderungen an eine verbesserte Lernwegplanung:	Darstellung von Tätigkeitsfeldern und deren Qualifikationsprofilen
	Standards zur Zertifizierung von Qualifikationsprofilen hinsichtlich ihres Umfangs, Anforderungsniveaus und Inhalts
	Spezifikation von Leistungsbeschreibungen durch LO-Generierung in Modulbeschreibungen
	Übergreifende bildungsinstitutionsunabhängige Qualifikationsprofile zur Dokumentation aller Lernleistungen
	Aufdecken von Qualifikations-Defiziten durch automatisierten Vergleich der Ist- und Zielprofilen von Qualifikationen
	Automatisierte Identifikation von Kursen und Bewertung auf ihre Zielerreichung
Marketing: Anforderungen an eine verbesserte Produktvermarktung:	Verringerte Kommunikationskosten
	Vermehrte Kommunikationskanäle durch intelligente Agenten
	Transparente Qualitätskennziffern durch qualifikationsbasierte
	• Mindest- oder Durchschnittsstandards • Langzeitevaluationen
Lehrer: Anforderungen an eine verbesserte Lehrveranstaltungsplanung:	Wettbewerbsstudie durch Identifikation vergleichbarer Kurse
	Lernzielformulierung als Planungsinstrument
	Lehrvertrag zur verbesserten Kommunikation von Leistungsanforderungen
Studiendekan: Anforderungen an eine verbesserte Curriculumplanung:	Werkzeuge zur Abstimmung der inhaltlichen und didaktischen Lehrveranstaltungsaspekte innerhalb eines Bildungsprogramms
Prüfungsamt: Anforderungen an einen outcomeorientierten Anrechnungsprozess extern erbrachter Leistungen:	Transparenz von extern und intern erworbenen Qualifikationen durch LO-Generierung in Modulbeschreibungen
	Werkzeuge zum automatisierten Vergleich von Qualifikationsprofilen mit Mindeststandards
Qualitätsmanagement:- Anforderungen an eine verbesserte Prüfung von Lernproduktivität und Lehrqualität:	Qualifikationsorientierte Kursevaluation zur Lehrqualität
	Qualifikationsorientierte Studierendenevaluation zur Lehr- und Verwertungsqualität
	Werkzeuge zur automatisierten Durchführung und Analyse der Evaluation

Tabelle 4-3: Potentiale zur verbesserten Aufgabenausführung im Bildungsmarkt

Losgelöst von der individuellen Stakeholder-Perspektive lassen sich die Potentiale für Semantik-Web-Technologien zur Planung von Qualifizierung zusammenfassen in:

- die *Darstellung* von inhaltlichen, prozessualen und leistungsspezifischen Aspekten einer nachgewiesenen Handlungsfähigkeit und die *Speicherung* von Qualifikationsprofilen im Hinblick auf Lehrveranstaltungen, Personen und berufliche und gesellschaftliche Anforderungen,
- die *Identifikation* von Qualifikationsprofilen, insbesondere von Lehrveranstaltungen, in Abhängigkeit von Lernzielprofilen und Qualifikationsrahmen,

- die *Analyse* und der Vergleich von Qualifikationsprofilen hinsichtlich inhaltlicher, prozessualer und leistungsspezifischer Aspekte einer nachgewiesenen Handlungsfähigkeit,
- die *Synthese* von LO zu Qualifikationsprofilen.

Werkzeuge zur Darstellung von Learning Outcomes und zur automatisierten Metadaten-Annotation von Qualifikationsbeschreibungen werden als *Learning Outcomes Generatoren* bezeichnet. Zur Speicherung dienen *Semantik-Web-Wissensbanken*. Werkzeuge zur Identifikation von geeigneten Lehrveranstaltungen werden unter dem Begriff *Course Finder*, Werkzeuge zur Analyse und Synthese von Qualifikationsprofilen unter der Bezeichnung *Evaluations-Tools* zusammen gefasst.

Die dezentrale Veröffentlichung von Dokumenten durch die jeweiligen Bildungsinstitutionen und die Verwendung unterschiedlicher Datenstrukturen erschweren die Verarbeitung detaillierter Qualifikationsinformationen für den Bildungsmarkt. Innerhalb von festgelegten Anwendungsbereichen, wie dem eLearning gibt es erste Anwendungen, die Qualifikation automatisiert beschreiben, analysieren und synthetisieren können. Dies erfolgt für eingeschränkte Qualifikationsaussagen, z. B. zur Repräsentation analytischer Qualifikation, in abgeschlossenen Datenbanken. Durch den offenen Charakter der Semantik-Web-Technologien hinsichtlich der Veränderbarkeit von Datenstrukturen und der Integration von Daten, können verteilte Datensätze analysiert und der Abgleich von individuellen Qualifikationszielen mit Qualifikationsprofilen unterstützt werden. Der Vergleich des Bildungsangebots und des Qualifikationsprofils des Lernenden mit persönlichen Interessen hinsichtlich Qualifikation, Studienabschluss oder Berufsfeld werden durch semantische Softwareanwendungen möglich. Modulkombinationen können durch den Lernenden bezüglich der Qualifikationsziele simuliert und entsprechende inhaltlich und didaktisch angemessene Lehrveranstaltungen durch intelligente Agenten empfohlen werden.

4.3.8 Ergebnisse der Spezifikation

Zielsetzung und Zweck der Ontologie ist die Repräsentation der in Prüfungen nachgewiesenen Handlungsbefähigung von Menschen. Es werden inhaltliche, prozessuale und leistungsbezogene Aspekte der Handlungsbefähigung gemeinsam in Form von LO dargestellt. Diese Beschreibungen können in Qualifikationsprofilen zu Lehrveranstaltungen, Tätigkeitsfeldern oder Personen zu Bündeln zusammengefasst werden. Die Ontologie stellt die Zusammenhänge zwischen Qualifikationen oder Qualifikationsprofilen über die inhaltlichen, prozessualen und leistungsbezogenen Aspekte der Beschreibung her und stellt dieses Wissen in maschinenlesbarer Form zur Verfügung.

Nutzer der Wissensbank sind wissensbasierte Systeme. Sie stellen Lernenden, Personen die auf die Lernentscheidung Einfluss nehmen, Lehrerenden sowie der Administration Informationen für eine verbesserte Planung zur Verfügung.

In *Einsatzszenarien* ergibt sich ein komplexes Zusammenspiel zwischen dem Bildungs- und Arbeitsmarkt und ihren Marktteilnehmern, den Dokumenten zur Qualifikationsplanung und deren Erstellern sowie den informationstechnischen Werkzeugen, die zur automatisierten Verarbeitung beitragen (vgl. Abbildung 4-5). Die Qualifikationsbeschreibungen dienen zahlreichen Prozessen auf dem Bildungs- und Arbeitsmarkt, u. a. dem Definieren, Handeln und Auswählen von Qualifizierungsprozessen. Im Mittelpunkt stehen die durch übergeordnete QR definierten Zielsysteme. Sie bilden den Anfang der Planung und umfassen Ziele und Standards, die oberhalb der Bildungsprogrammebene erstellt werden. Sie werden von der Gesellschaft, stellvertretend durch die Politik, Interessenverbände, Unternehmen, Universitäten und Akkreditierungsagenturen, definiert. Diese Gruppen orientieren sich an den aktuellen Anforderungen des Arbeitsmarktes und künftiger Anforderungsszenarien für Ingenieure. QR dienen dem Vergleich mit Qualifikationsprofilen von Personen und Bildungsangeboten. Deren Soll- und Ist-Profile können auf Ihre Kompatibilität mit den gesellschaftlichen Zielvorgaben untersucht werden.

Bildungsinstitutionen stellen zur Produktbeschreibung *Modulkataloge* bereit, die ein Leistungsangebot abbilden. Sie repräsentieren die Produktinformationen anhand deren Lernende eine Einschätzung von Bildungsprogrammen vornehmen. Der Modulkatalog umfasst Modulbeschreibungen, die sich wiederum aus Kursbeschreibungen zusammensetzen. Lehrer bieten Bildungsinstitutionen Module, Kurse oder Lehraktivitäten als Teil ihres Bildungsangebots an. Im Fall einer Übereinkunft zwischen Lehrendem und Bildungseinrichtung werden sie in den Modulkatalog aufgenommen.

Mit LO können dem Kunden detaillierte Leistungsbeschreibungen über Bildungseinrichtungen, Studiengänge, Module, Kurse oder Lehraktivitäten zur Verfügung gestellt werden. Die Vermarktbarkeit der Studiengänge hängt von der Kompatibilität der Angebote mit den übergeordneten Qualifikationsrahmen und dem Lernzielprofil der Personen ab. Im Rahmen der Planung von Lehrveranstaltungen gleicht der Dekan die Curriculumsziele mit den übergeordneten Qualifikationsrahmen ab und passt Lehrziele auf Studiengangs- oder Modulebene an. Von Nachfrageseite erfolgt für die Erstellung des eigenen Lernzielprofils auch eine Orientierung an übergeordneten QR. In Abhängigkeit vom *Lernzielprofil* werden Bildungsangebote aus dem Modulkatalog ausgewählt.

Der Vergleich von übergeordneten QR, Modulbeschreibungen und persönlichen Qualifikationsprofilen erfolgt auf Basis einer gemeinsamen Qualifikationsrepräsentationssprache. Diese Sprache wurde auch für den Learning Outcomes Generator genutzt. Er unterstützt die Erstellung syntaktisch adäquater LO-Beschreibungen und annotiert diese, sodass LO-Informationen automatisch in die Plotin-Wissensbank übernommen werden können, die dasselbe Schema nutzt. Durch die Semantik-Web-Wissensbank werden die LO-Beschreibungen der übergeordneten Qualifikationsrahmen, Leistungsbeschreibungen und persönlichen Qualifikationsprofile identifiziert und gespeichert. *Werkzeuge zur Analyse und Synthese von LO-Informationen* nutzen die Plotin-Wissensbank als gemeinsame Datenquelle. Es handelt sich dabei zum einen um eine Evaluationssoftware, die die Qualifikationsprofile von Bildungsleistungen und Personen mit übergeordneten QR abgleicht, um Empfehlungen für eine Entwicklung der jeweiligen Qualifikationsportfolios zu erstellen, zum anderen um einen Course Finder für die Auswahl von Modulen aus einem Bildungsprogramm entsprechend den persönlichen Lernzielen. Weitere Softwareanwendungen, die auf der Wissensbank aufbauen, werden auch in der weiteren Konzeption berücksichtigt, entfalten aber erst in einem langfristigeren Fokus ihr Potential, da ihre Einsatzmöglichkeiten von der Struktur des Bildungssystems abhängen.

4.4 Konzeptionalisierung der Ontologien

Im Folgenden wird der definierte Anwendungsbereich strukturiert. Das Ergebnis bildet ein Modell, das die im Stand der Technik und der Wissensakquise identifizierten Begriffe vervollständigt, im Detail beschreibt, klassifiziert und miteinander in Zusammenhang setzt. Das konzeptuelle Modell wird nicht in einer formalen Sprache, sondern in einer Übergangsnotation mit Hilfe von semi-informalen Strukturtabellen erstellt. Die Auswahl der Wissensrepräsentationssprache erfolgt in einer späteren Phase und basiert auf den Ergebnissen der Konzeptionalisierung, bezüglich der identifizierten Kompliziertheit der abgebildeten Sachverhalte und der dafür erforderlichen Ausdruckstärke. Die Entscheidbarkeit und die Skalierbarkeit der Sprache beeinflussen die Konzeptionalisierung daher nicht. Außerdem ist die Nutzung einer semi-informalen Notation sinnvoll, um einen fachlichen Diskurs zwischen Domänenexperten und Ontologieentwicklern zu ermöglichen, da formale Notation nur durch erfahrene Ontologieentwickler les- und verarbeitbar ist.

Für die Konzeptionalisierung wird der *Middle-Out-Ansatz* gewählt. Es werden sieben Schritte iterativ durchlaufen. Sie umfassen den Aufbau eines Term-Glossars; einer Konzepttaxonomie; von binären Relationen; eines Konzeptwörterbuchs; der detaillierten Beschreibung von Relationen, Instanz- und Klassenattributen, und Konstanten; der Beschreibung der Axiome und Regeln sowie abschließend der Instanzen (vgl. Abbildung 4-6).

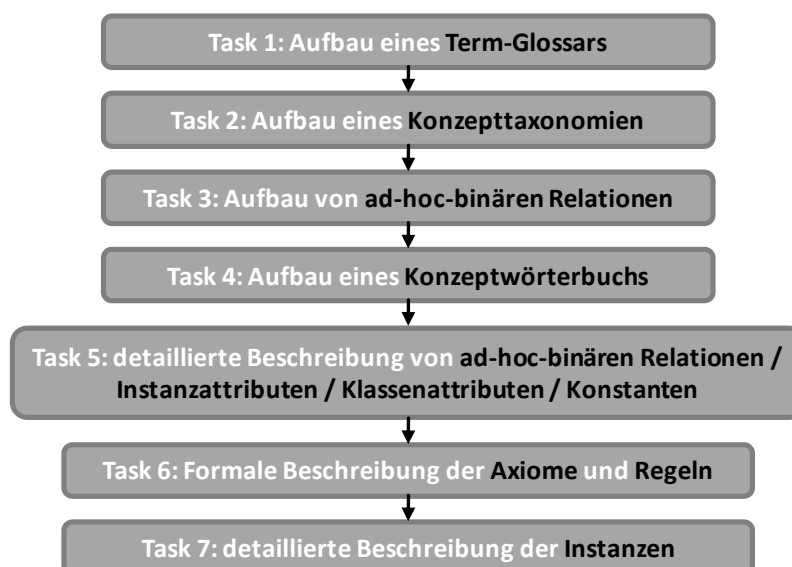


Abbildung 4-6: Aufgaben der Konzeptionalisierung im Middle-Out-Ansatz (nach [Fer-99])

4.4.1 Glossar

Das Glossar enthält die für die Domänenontologien sowie für die Ontologieentwicklung relevanten Begriffe und ihre Beschreibungen und ist im Anhang dargestellt.

4.4.2 Didaktische Konzepttaxonomien

Innerhalb dieses Kapitels werden hierarchische Konzepte identifiziert, die das Grundgerüst der Ontologie bilden. Die hierarchischen Konzepte, sogenannte Taxonomien, werden zu *Konzeptklassifikationsbäumen* (engl. concept classification trees) verbunden. Strukturen zur Klassifikation von Qualifikationsdimensionen, QR, LO und Wissensinhalten der Ingenieurwissenschaften werden analysiert und bewertet. Einzelne Taxonomien werden durch Relationen zwischen Klassen und Instanzen der Klassifikationsbäume erweitert. Diese Relationen beziehen sich beispielsweise auf die grammatikalische Form von LO, die Struktur von QR mit unterschiedlichen Niveauindikatoren und –stufen und die Einordnung von QR und Leistungsanforderungen in die politisch-organisationalen Ebenen eines Bildungssystems.

4.4.2.1 Qualifikationsdimensionen

Es werden zwei grundlegende Klassifikationsschemata zur Einteilung von Qualifikation unterschieden. Beide sind durch unterschiedliche Perspektiven in der Betrachtung von Qualifikation entstanden. Das von ROTH entwickelte Modell orientiert sich eher am Anwendungsfeld, in dem die Qualifikation gebraucht wird [Rot-71]. Es wird daher als *Anwendungsmodell* bezeichnet. Das zweite Modell beschreibt Qualifikation aus seinem Ursprung als mentalen Prozess [Blo-56] und wird *Mentalmodell* benannt. Beide Modelle haben sich der jeweiligen Problemstellung entsprechend in unterschiedlichen Praxisfeldern etabliert. Das Anwendungsmodell wird vielfach in organisatorischen Prozessen genutzt. Dies betrifft z. B. das Qualifikationsmanagement im Arbeitsmarkt und das Marketing und Qualitätsmanagement im Bildungsmarkt. Das Mentalmodell wird vorwiegend in didaktisch geprägten Aufgabenstellungen genutzt, z. B. wenn Lehrziele entwickelt, Lehrveranstaltungen durchgeführt und Qualifikationen überprüft und verglichen werden.

Das Anwendungsmodell unterschied ursprünglich die drei Dimensionen Sachkompetenz, Sozialkompetenz und Selbstkompetenz. ERPENBECK entwickelte das Modell weiter und ergänzte die Dimension der Aktivitäts- und Handlungskompetenz. Das Mentalmodell von BLOOM unterscheidet die drei Bereiche [Blo-56] kognitive Dimension, affektive Dimension und psychomotorische Dimension. Tabelle 4-4 gibt einen Überblick über die Dimensionen der Modelle und gibt Beispiele.

Im Anwendungsmodell umfasst personale Kompetenz z. B. ethische Fragen wie Einstellungen und Menschenbild, sowie die Selbstreflexion, also den bedachten und kritischen Umgang mit dem eigenen Verhalten. Sozial-kommunikative Kompetenz beschreibt die Fähigkeit, anderen die eigene Anschauung mitteilen zu können. Dies beinhaltet bspw. die Gesprächsführung in Konfliktgesprächen oder die Vermittlung von Wissen an andere. Aktivitäts- und Handlungskompetenz beschreibt die Disposition der eigenen Energie, bspw.

im Hinblick auf Engagement, Initiative, Neugier, Entscheidungsfreude oder kreative Unruhe. Methoden- und Fachkompetenz beschreibt Wissen und Können [Rot-71] [Erp-03].

Anwendungsmodell			Mentalmodell	
Roth [Rot-71]	Erpenbeck [Erp-03]	Beispielausprägung [ERP-03]	Bloom [Blo-56]	Beispielausprägung [Blo-56]
Sachkompetenz	Fach- und Methodenkompetenz	Ein Problem durch Wissen und Denken lösen	kognitive Dimension,	Ein Problem durch Wissen und Denken lösen
Sozialkompetenz	sozial-kommunikative Kompetenz	die eigene Anschauung anderen mitteilen	affektive Dimension	eine Wertung von ökologischen und sozialen Aspekten vornehmen
Selbstkompetenz	personale Kompetenz	Bedachter und kritischer Umgang mit seinem eigenen Verhalten	psychomotorische Dimension	eine koordinierte Bewegung ausführen, eine ruhige Hand haben,
	Aktivitäts- und Handlungskompetenz	Disposition über die Verwendung der eigenen Energie		

Tabelle 4-4: Qualifikationsdimensionen

Im Mentalmodell bezieht sich der kognitive Bereich auf Wissen und intellektuelle Fertigkeiten, z. B. das Problemlösen. Die affektive Dimension umfasst Interessen, Einstellungen und Werthaltungen. Die individuelle Wertschätzung ökologischer und sozialer Aspekte beeinflusst beispielsweise die Einstellung gegenüber der technischen Entwicklung von Waffensystemen oder Windparkanlagen. Die psychomotorische Dimension beschreibt Handlungen, die neuromuskuläre Koordination erfordern, beispielsweise eine koordinierte Bewegung auszuführen oder eine ruhige Hand zu haben.

Persönliche Qualifikationsprofile und QR sind oft anhand des Anwendungsmodells aufgebaut. Leistungsbeschreibungen von Lehrveranstaltungen nutzen vielfach das Mentalmodell. Der Vergleich von QR mit Leistungsbeschreibungen erfordert daher vielfach die Übersetzung der affektiven, kognitiven oder psychomotorischen LO in die im QR definierten Dimensionen. Da beide Modelle für sich in Anspruch nehmen, alle Qualifikationsaspekte vollständig abzudecken, wird die Offene-Welt-Annahme in der Modellierung der Dimensionen negiert und beide Dimensionen als abgeschlossene Klassen definiert. Abbildung 4-7 visualisiert die Dimensionen und das Verhältnis beider Modelle zueinander.

Die affektive Dimension enthält Elemente aus den Dimensionen „persönliche Fähigkeit“, „sozial-kommunikative Fähigkeit“, und „Aktivitäts- und Handlungsfähigkeit“. Die Elemente „sozial-kommunikativer Fähigkeit“ sind auch Elemente „kognitiver Lernzieldimension“. Elemente „fachlich methodischer Fähigkeit“ können dem „kognitiven“ oder dem „psychomotorischen Bereich“ zugeordnet werden.

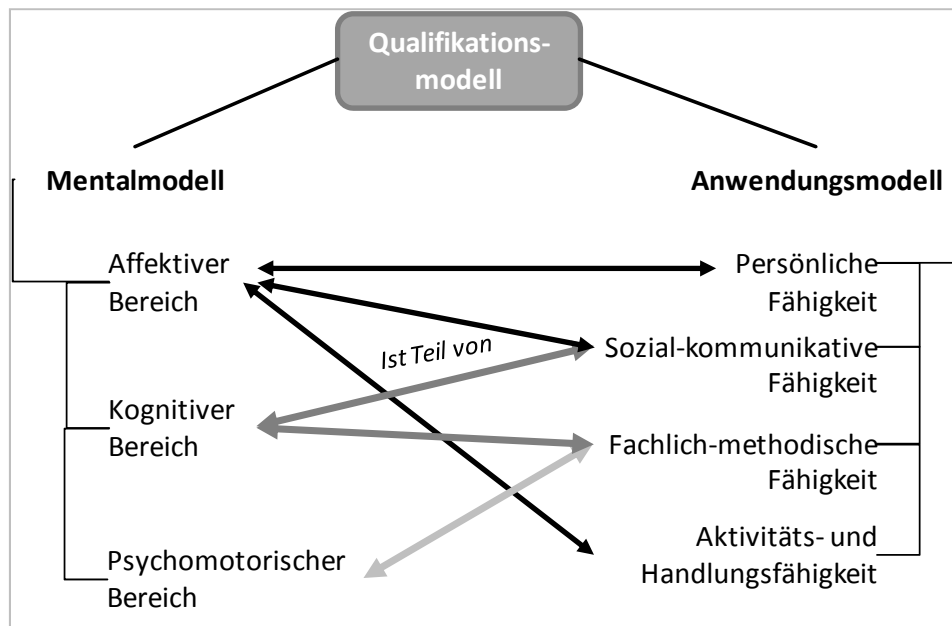


Abbildung 4-7: Klassifikation unterschiedlicher Qualifikationsdimensionen

4.4.2.2 LO-Struktur

Qualifikationsbeschreibungen durch LO bestehen aus der *Art des mentalen Prozesses*, der *Leistungsanforderung*, die der Lernende in einer Prüfungssituation nachweist und der *inhaltlichen Komponente*, die das Objekt und den Kontext des Lerngegenstands beschreibt.

4.4.2.2.1 Mentale Prozesse

Die im Rahmen einer Handlung ausgelösten mentalen Prozesse können durch sogenannte Lernzieltaxonomien klassifiziert werden. Eine Lernzieltaxonomie ist ein formales Analyseinstrument, mit dem LO auf einer Skala von Internalisierungs- oder Komplexitätsgraden eingeordnet werden können. Dabei nimmt der Grad der Komplexität bzw. Internalisierung bei höheren Lernzielklassen zu. Der taxonomische Aufbau bedeutet, dass die höhere Stufe die jeweils niedrigere beinhaltet. Die Unterscheidung in kognitive, affektive und psychomotorische Dimensionen hat vorwiegend analytischen Charakter, da bei der Bestimmung eines LO grundsätzlich Aspekte unterschiedlicher Dimensionen eine Rolle spielen. Beispielsweise beeinflussen bei jeder Handlung affektive Aspekte unser Verhalten, auch wenn es sich um eine vorwiegend kognitive Tätigkeit handelt. Innerhalb der LO-Bestimmung wird eine der drei Dimensionen als besonders prägnant gewichtet. STANGL schlägt daher vor, von einem kognitiv, affektiv oder psychomotorisch akzentuierten LO zu sprechen [Sta-09]. Einen umfassenden Überblick über bestehende Ansätze, Qualifikationen mit Hilfe von Lernzieltaxonomien zu klassifizieren, gibt MOSELEY in [Mos-04].

4.4.2.2.1.1 Kognitive Dimension

Kognitive LO beschreiben nachgewiesene Kenntnisse und Fertigkeiten vom einfachen Aufsagen eines gelernten Stoffes bis zu innovativen Wegen, Ideen und Objekte zu

kombinieren und neue Artefakte zu schaffen. BLOOM entwickelte eine Klassifikation von kognitiven Lernzielen für College- und Universitätsprüfungen [Blo-56]. Sein Ansatz umfasst die Klassifikation der Lernziele in die Kategorien Wissen, Verstehen, Anwendung, Analyse, Synthese und Bewertung. Kritisch an dieser Klassifikation ist die Verwendung des Begriffs Wissen als unterste Kategorie. Diese Definition schränkt das Wissen stark ein und ist nicht mit allgemeinen Definitionen von Wissen (vgl. Kapitel 2) vereinbar. ANDERSON und KRATHWOHL überarbeiteten daher die Taxonomie. Sie wandelten die substantivischen Kategorien in aktive Verben um und ersetzten die untere Kategorie *Wissen* durch die Kategorie *erinnern*. Außerdem fügten Sie mit Wissensarten eine zusätzliche Dimension hinzu. Diese unterscheidet Faktenwissen sowie konzeptuelles, prozedurales und meta-kognitives Wissen (vgl. Abbildung 4-9) [And-01].

Bloom [Blo-56]	Anderson [And-01]	Feisel [Fei-86]	Beispiel [Fei-86]
Wissen (Knowledge)	erinnern (remember)	definieren (define)	Der Student gibt Definitionen zum Konzept wieder oder ist in der Lage, Konzepte qualitativ und quantitativ zu beschreiben.
Verstehen (Under- standing)	verstehen (understand)	ausführen (compute)	Der Student folgt Regeln und Vorgehensweisen (Mengenangaben korrekt in Gleichungen ersetzen und das richtige Resultat ausrechnen)
Anwendung (Application)	anwenden (apply)	erklären (explain)	Der Student kann Ergebnisse und Konzepte mit seinen eigenen Worten wiedergeben.
Analyse (Analysis)	analysieren (analyse)	lösen (solve)	Ein System durch Bezeichnen, Analysieren und Zusammensetzen modellieren
Synthese (Synthesis)	bewerten (evaluate)	urteilen (judge)	Der Student kann unterschiedliche Lösungen kritisch bewerten und die beste Lösung auswählen.
Bewertung (Evaluation)	synthetisieren (synthesize)		

Tabelle 4-5: Ansätze zur Beschreibung kognitiver Dimensionen

Die FEISEL-Taxonomie passte die Taxonomien der kognitiven Dimension von BLOOM und ANDERSON an Lernprozesse in technischen Systemen an. Die Kategorien *erklären* und *ausführen* sind hierarchisch umgekehrt angeordnet. FEISEL begründet dies damit, dass technische Anwendungen vielfach kein Verständnis der Aufgabe erfordern, um ihre Anforderungen zu erfüllen. Auswendig erlernte Vorgehensweisen können ausreichen, um das erforderliche Resultat zu erzielen. Tabelle 4-5 stellt die Ansätze nebeneinander und gibt Beispiele für die Dimensionen nach [Fei-86].

4.4.2.2.1.2 Affektive Dimension

Die Beschaffenheit von technischen Objekten hängt von menschlichen Zielsetzungen, Entscheidungen und Handlungen ab, in denen Werte zum Ausdruck kommen. Durch das Wertsystem werden Präferenzen geschaffen, die auf individuellen Dispositionen beruhen [VDI-3780]. Um technische Systeme für Mensch und Umwelt förderlich zu gestalten, müssen Ingenieure über ein Wertsystem verfügen, das sie entsprechende Dispositionen treffen lässt. Für eine nachhaltige Entwicklung bildet daher die Vermittlung von ökologischen und sozialen Werten einen wichtigen Aspekt der Ingenieurausbildung [Sel-08].

KRATHWOHL et. al. entwarfen eine Taxonomie für den affektiven Bereich, um Lehrziele durch Zuordnung zu entsprechenden Verhaltenskategorien vergleichbar zu machen. Die hierarchische Struktur basiert auf dem Kriterium der Verinnerlichung von Werten und Normen, der sogenannten *Internalisierung*. Die Taxonomie beschreibt somit das innere Wachstum der Persönlichkeit. Zum Bereich der affektiven Lernziele werden Interessen, Haltungen, Einstellungen, Wertschätzungen sowie Stellungnahmen gerechnet, die unterschiedliche Grade der Zustimmung oder Ablehnung ausdrücken. Die Skala der Verhaltensweisen im affektiven Bereich reicht vom einfachen Beachten eines Phänomens bis zu komplexen Verhaltensweisen. Als höchste Stufe schließt es mit der Entwicklung und Anpassung einer eigenen, konsistenten Lebensphilosophie ab (vgl. Tabelle 4-6) [Mey-74].

1.	aufnehmen (receiving)	auf ein Verhalten aufmerksam werden
2.	reagieren (responding)	Bereitschaft, sich mit einem bestimmten Verhalten aktiv auseinanderzusetzen
3.	werten (valuing)	ein an einen Wert gekoppeltes Verhalten zeigen und sich daran binden
4.	organisieren (organising)	Begreifen und Einordnen eines Wertes in die eigene Wertvorstellung
5.	charakterisieren (characterisation)	Bilden einer konsistenten Weltanschauung

Tabelle 4-6: Lernzieltaxonomie für den affektiven Bereich (nach [Kra-75])

Es handelt sich in den höheren Bereichen der Taxonomie um langfristige Prozesse, die zum Teil Jahre benötigen, um sich zu verändern. Im Rahmen der Planung von einzelnen Lehrveranstaltungen ist daher eher die Formulierung von LO bis Stufe drei pragmatisch. Dagegen können übergeordnete Qualifikationsrahmenwerke auch langfristig erreichbare affektive Ziele beinhalten.

4.4.2.2.1.3 Psychomotorische Dimension

In der psychomotorischen Dimension werden Lernziele muskulärer oder motorischer Fertigkeiten beschrieben. Dazu gehören der Umgang mit Material oder Gegenständen, die neuromuskuläre Koordination erfordern. Besondere Bedeutung hat die Darstellung von LO

des psychomotorischen Bereichs in praxisorientierten Lehrveranstaltungen im Labor, bei Unternehmenspraktika und in der beruflichen Aus- und Weiterbildung.

Es wurden unterschiedliche Modelle entwickelt, deren Orientierung sich zum Teil auf spezifische motorische Aspekte, z. B. Handschrift und Sprache, auf sportliche Aktivitäten oder auf handwerkliche und technische Kurse bezieht (vgl. Tabelle 4-7). Das von DAVE vorgestellte Modell zeichnet sich durch seine gute Anwendbarkeit auf experimentelles Lernen aus [Dav-75]. Es deckt allerdings eher informell erworbene Fertigkeiten ab. Dennoch sind dieses Modell und insbesondere die Niveaustufen 3 bis 5 für formale Lernprozesse gut anwendbar. Das von SIMPSON dargestellte Modell vereint affektive und psychomotorische Aspekte innerhalb einer Dimension [Sim-72]. Dies eignet sich, um die Überwindung von Lernbarrieren im psychomotorischen Bereich darzustellen. Gleichzeitig führt dies aber zu einer Komplizierung der Darstellungsweise, ohne zusätzliche Ausdrucksstärke zu gewinnen. FERRIS UND AZIZ greifen in [Fer-05] die bestehenden Ansätze auf und entwickelte eine Taxonomie, die sich speziell an Lernprozesse für Ingenieure richtet. Es werden Stufen der Erkennung, Handhabung, Planung und Bewertung von Werkzeugen und Materialien beschrieben.

Autor		Dave 1975 [Dav-75]	Simpson 1972 [Sim-72]	Ferris Aziz [Fer-05]
Ordnungskriterium		Grad der Koordination	Grad der Bereitschaft, Koordination und Innovation	Grad der Koordination und Planung
Niveaustufen	1	Imitation (Nachahmen)	Bewegungswahrnehmung	Erkennen von Werkzeugen und Materialien
	2	Manipulation (Nachmachen)	Bewegungsbereitschaft	Handhabung von Werkzeugen und Materialien
	3	Präzision (selbstständig, präzise ausführen)	Geleitetes Nachahmen	Basisanwendung von Werkzeugen
	4	Handlungsgliederung (Koordination versch. Handlungen)	Routinisierung	Kompetente Anwendung von Werkzeugen
	5	Naturalisierung (automatisches Ausführen)	Komplexe offene Reaktion	Anwendung von Werkzeugen auf Expertenniveau
	6		Adaptierung	Planung von Arbeitsverfahren
	7		Neuschöpfung	Bewertung des Ergebnisses und der Planungsweise

Tabelle 4-7: Übersicht über Taxonomien im psychomotorischen Bereich

4.4.2.2.1.4 Plotin-Lernzieltaxonomie

Für die Modellierung der LO-Ontologie wurde im Bereich der kognitiven Lernmodelle auf das *Lernzyklusmodell* von HOFFMANN zurückgegriffen [Hof-05]. Die Lernzieltaxonomien von ANDERSON und FEISEL wurden an das Lernzyklusmodell im Ingenieurwesen (vgl. Abbildung 2-4) angepasst und in einer Taxonomie vereinigt. Für die affektive Dimension wurde auf KRATHWOHL zurückgegriffen, da diese Lernzieltaxonomie gute Potentiale bietet, Wertsysteme von Ingenieuren abzubilden. HOFFMANNs Ansatz, die sieben Stufen von FERRIS

im Bereich der Ingenieurausbildung auf vier Stufen zusammenzufassen [Hof-08a], wird übernommen, da die Ausdruckstärke dadurch wenig gemindert und die Handhabbarkeit der Taxonomie verbessert wird (vgl. Tabelle 4-8).

Domäne	Kognitiv	Affektiv	Psychomotorisch
niedrige Kategorie hohe	Erinnern	Empfangen	Anerkennen
	Anwenden	Antworten	Grundlegende Bedienung
	Verstehen	Wertschätzen	Einfache Bedienung
	Analysieren	Organisieren	Handwerkliches Können
	Evaluieren	Werte internalisieren	
	Erschaffen		
Quellen	Feisel [Fei-86], Anderson [And-01]	Krathwohl [Kra-75]	Hoffmann [Hof-08a], Ferris und Aziz, [Fer-05]

Tabelle 4-8: Struktur der Lernzieltaxonomien in der kognitiven, affektiven und psychomotorischen Dimension

Den taxonomischen Kategorien werden im Folgenden repräsentative Verben zugeordnet, die in einer Analyse von LO Aufschluss über das jeweilige Lernniveau bieten können. Die Liste der entsprechenden Verben ist im Anhang beigefügt.

4.4.2.2.2 Leistungsindikatoren

Lernzieltaxonomien, die durch Verben prozessuale Aspekte der Handlungsfähigkeit kategorisieren, z. B. „aufsagen“ gegenüber „bewerten“, sind oft nicht hinreichend, um detaillierte Aussagen über die didaktische Struktur von Lernzielen zu treffen. Die Handlungsfähigkeit eines Lernenden lässt sich beispielsweise durch das LO beschreiben: „Der Studierende kann einen Werkstoff zur Fertigung eines Maschinenteils auswählen.“ Dies gehört innerhalb der kognitiven Dimension zur Kategorie evaluieren. Die Auswahl eines Werkstoffes zur Fertigung eines Maschinenteils kann aber anhand einer Vielzahl von Kriterien erfolgen. Ein Konstruktionstechniker wird möglicherweise nur zwischen zwei Werkstoffklassen die geeignete auswählen können. Ein Werkstoffkundler kann dagegen trotz eines anspruchsvollen Anforderungskatalogs aus einzelnen Werkstoffen die geeignete Auswahl treffen. Um eine aussagekräftige Darstellung zu erzielen, ist daher eine detailliertere LO-Beschreibung als nur durch ein Verb in Verbindung mit einem Objekt und dessen Kontext erforderlich. Es wurden daher in zahlreichen Modellen zur LO-Beschreibung zusätzliche Attribute eingeführt. Bestehende Beschreibungsmodelle weichen in Anzahl und Fokus der Attribute stark voneinander ab. Der SEEC-Qualifikationsrahmen definiert beispielsweise 21, das Telos-System dagegen nur fünf zusätzliche Attribute [Moo-05] [Paq-07].

Für die Planung produktionstechnischer Qualifikation wurden zwei Klassen mit insgesamt sieben LO-Attributen definiert. Die Gruppen gliedern sich nach der Schwierigkeit, die

geforderte Handlungsfähigkeit zu erreichen und der Leistung, mit der die Handlungsfähigkeit nachgewiesen wird. Die *Schwierigkeit, Handlungsfähigkeit herzustellen*, berücksichtigt die Kompliziertheit des Lerngegenstandes, die Breite und Tiefe des Lerngegenstandes in Bezug auf sein Anwendungsfeld und den Abdeckungsgrad des Aufgabenbereichs. Der *Grad der Kompliziertheit* definiert, wie schwierig es ist, Wissen und Fertigkeiten so miteinander zu verknüpfen, dass eine zufriedenstellende Lösung erreicht wird. Die *Breite des Lerngegenstandes* wird bestimmt durch das Wissen und die Fertigkeiten, die sich aus technischen, ökonomischen, ökologischen, sozialen und kommunikativen Inhalten zusammensetzen und zur Lösung einer Aufgabenstellung erforderlich sind [EIM-08] [Peo-08]. Die *Tiefe des Lerngegenstandes* ist definiert durch die Elemente einer Disziplin, die über das grundlegende Wissen hinausgehen und den Lernenden befähigen, sehr spezifische Operationen durchzuführen [EIM-08] [Peo-08]. Der *Abdeckungsgrad* beschreibt den Kontext in dem der Lernende die Handlungsfähigkeit nachweisen kann. Er kann die Aufgabe entweder in exemplarischen Fällen, für die gängigen Anwendungsfälle oder in jeglichen Kontexten durchführen.

Leistungsdimensionen	Schwierigkeit, Handlungsfähigkeit herzustellen	Tiefe des Aufgabe	Grundlagen der Disziplin/ vertiefende Kenntnisse/ hochspezifische Kenntnisse
		Breite der Aufgabe	Eigene Domäne/ Schnittstellenwissen zu anderen Domänen/ grundlegendes/umfassendes interdisziplinäres Wissen
		Kompliziertheit	gering / mittel / hohe Kompliziertheit der Aufgabe
		Abdeckungsgrad	in einigen / in den gebräuchlichen / in allen Anwendungsfällen
	Leistung, mit der die Handlungsfähigkeit nachgewiesen wird	Lerntransfer	bekannte / semi-bekannte / unbekannte Problemsituation
		Erfüllungshäufigkeit	in manchen / meisten / allen Übungsaufgaben
		Selbstständigkeit	andauernde Anleitung, gelegentliche Anleitung, weitgehend selbstständig, vollkommen selbstständig

Tabelle 4-9: Leistungsdimensionen

Die *Leistung des Lernziels* stellt dar, wie der Lernende die Prüfungssituation bewältigt hat. Der *Lerntransfer* beschreibt, ob der Lernende in der Prüfungssituation mit einer bekannten Aufgabenstellung konfrontiert ist oder seine Fähigkeiten auf einen unbekannten Gegenstand übertragen muss. Die *Selbstständigkeit* des Schülers im Handlungsprozess beschreibt, ob die gestellte Aufgabe mit oder ohne Hilfestellung durchgeführt wurde. Die *Erfüllungshäufigkeit* der Leistung ist abhängig von der relativen Häufigkeit der nachgewiesenen Handlungsfähigkeit für eine Aufgabe.

Fünf der sieben Kriterien lassen sich nicht direkt aus der domänenspezifischen Wissensontologie schlussfolgern, und müssen durch den Lehrer in der LO-Beschreibung hinterlegt werden. Die Breite und Tiefe des gelernten Wissens kann jedoch aus dem

Domänenwissen geschlossen werden. Zentrale Knoten einer Ontologie stellen diejenigen Elemente der Domäne dar, die häufig in LO referenziert werden [Cha-07]. Abbildung 4-8 zeigt ein semantisches Netz, in dem unterschiedliche Aufgaben bzw. LO durch Lernwege verbunden sind. Zur Erfüllung einer Aufgabe werden vielfach gleiche oder ähnliche LO durchlaufen. Die Reihenfolge, in der Aufgaben durchlaufen werden, kann jedoch bei den Lernwegen unterschiedlich ausfallen. Knoten, die oft durchlaufen werden, stellen allgemeines Wissen dar und sind durch einen großen Knoten dargestellt (vgl. LO1 in Abbildung 4-8). Andere Aufgaben werden nur selten behandelt. Sie sind als kleine Knoten dargestellt und repräsentieren spezialisiertes Wissen, z. B. LO 3.

Die größte Tiefe wird in Bereichen des Netzes erreicht, die nur selten als LO eines Problemlösungsprozesses durchlaufen werden, z. B. LO 3. Dort wo Elemente der einen Domäne mit Elementen einer anderen Domäne verbunden sind, kann von Anwendungsbreite gesprochen werden. Die Breite ist durch die Anzahl und Unterschiedlichkeit der Wissensdomänen definiert. Die Breite und Tiefe eines Qualifikationsprofils kann somit durch die Analyse der LO-Bündel erfolgen. Dabei wird untersucht, welche Wissensdomänen durch LO vernetzt sind, und die Häufigkeit bewertet, mit der LO in Aufgabenlösungsprozessen vertreten sind.



Abbildung 4-8: Häufigkeit von Aufgaben in einem semantischen Netz

4.4.2.3 Wissensarten

KERRES [Ker-01] unterscheidet drei Arten des Wissens. Wissen, das eine Filterung und Reproduktion von Informationen als mentale Leistung erfordert, nennt er *deklaratives* Wissen. Wissen, das zur Anwendung befähigt, bezeichnet er als *prozedurales* Wissen. Wissen, das dazu befähigt, Aufgaben in einem unbekannten Kontext auszuführen, wird als *kontextuelles* Wissen definiert. Die Vernetzung des erforderlichen Wissens nimmt dabei vom

deklarativen zum kontextuellen Niveau zu. Diese Unterscheidung deckt sich weitgehend mit der von QUINN et al. [Qui-98] vorgeschlagenen Unterteilung in

1. *know-what* ~ deklaratives Wissen
2. *know-how* ~ prozedurales Wissen
3. *know-why* ~ kontextuelles Wissen

Auch ANDERSON ET AL. [And-01] folgen dieser Aufteilung, ergänzen sie jedoch um das *meta-kognitive* Wissen. Es handelt sich dabei um Wissen über den Wissenserwerb, also um den „*know-about-knowing*“ Aspekt. Dies umfasst Strategien der Analyse bestehenden Wissens, die Planung des Wissenserwerbes und die Kontrolle des Lernfortschritts. HOFFMANN lehnt seine Definition der Wissensarten an ANDERSONS-Modell an, nimmt aber zusätzlich eine Unterteilung der Kategorie meta-kognitives Wissen in die Kategorien kanonisches Wissen und strategisches Wissen vor.

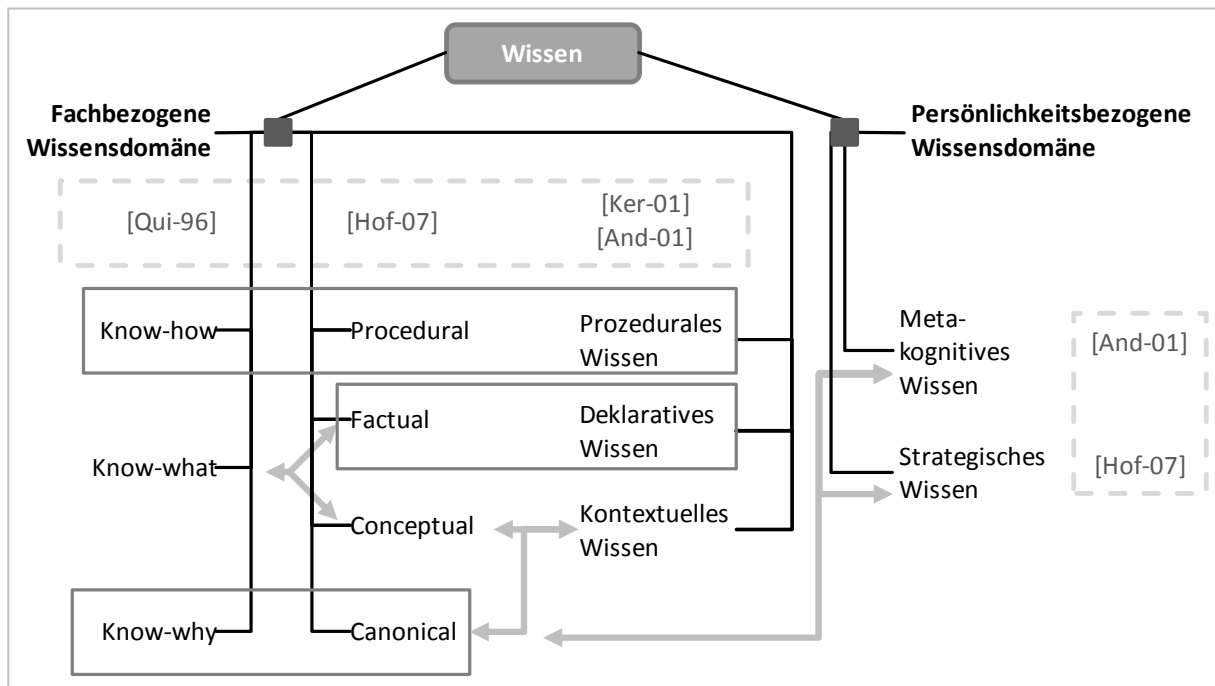


Abbildung 4-9: Beziehungen zwischen den Wissensarten

Um die Interoperabilität der Wissensbeschreibungen zu erzielen, wurden die zwischen den einzelnen Wissensdimensionen bestehenden Beziehungen modelliert (vgl. Abbildung 4-9). Dabei wurden alle Wissensarten zuerst der fachbezogenen oder der persönlichkeitsbezogenen Wissensdomäne zugeordnet. Persönlichkeitsbezogene Wissensarten repräsentieren Wissen über das eigene Verhalten, also z. B. über Lernstrategien oder Motivationsfaktoren. Die einzelnen Taxonomien der Wissensarten bilden jeweils disjunkte und abgeschlossene Klassen. Die Beziehungen zwischen den Taxonomien sind als Offene-Welt-Annahme modelliert, da aufgrund definitorischer Unterschiede zusätzliche Beziehungen erforderlich sein können. Die Kategorie Know-what fasst die

Bereiche Faktenwissen und Konzeptwissen zusammen. Das kontextuelle Wissen vereinigt Konzeptwissen und kanonisches Wissen in eine Dimension. Kanonisches Wissen ist wiederum mit der Kategorie Know-why gleichzusetzen. Die Brücke zwischen fachlichen und persönlichkeitsbezogenen Wissensaspekten schlägt das meta-kognitive Wissen. Es setzt sich aus den Bereichen strategisches Wissen und kanonisches Wissen zusammen.

4.4.2.4 Politisch-organisatorische Bildungsebenen

Qualifikationsbeschreibungen in Qualifikationsrahmenwerken weisen unterschiedliche Niveaus der Granularität und Operationalisierung auf. Zur Einordnung und Skalierung der Qualifikationsbeschreibungen wurde eine Klassifikation der Bildungsebenen nach politisch-organisatorischen Kriterien vorgenommen (vgl. Abbildung 4-10). Es werden die politisch-ministeriale, die fachlich-institutionelle und die curriculare Ebene unterschieden.

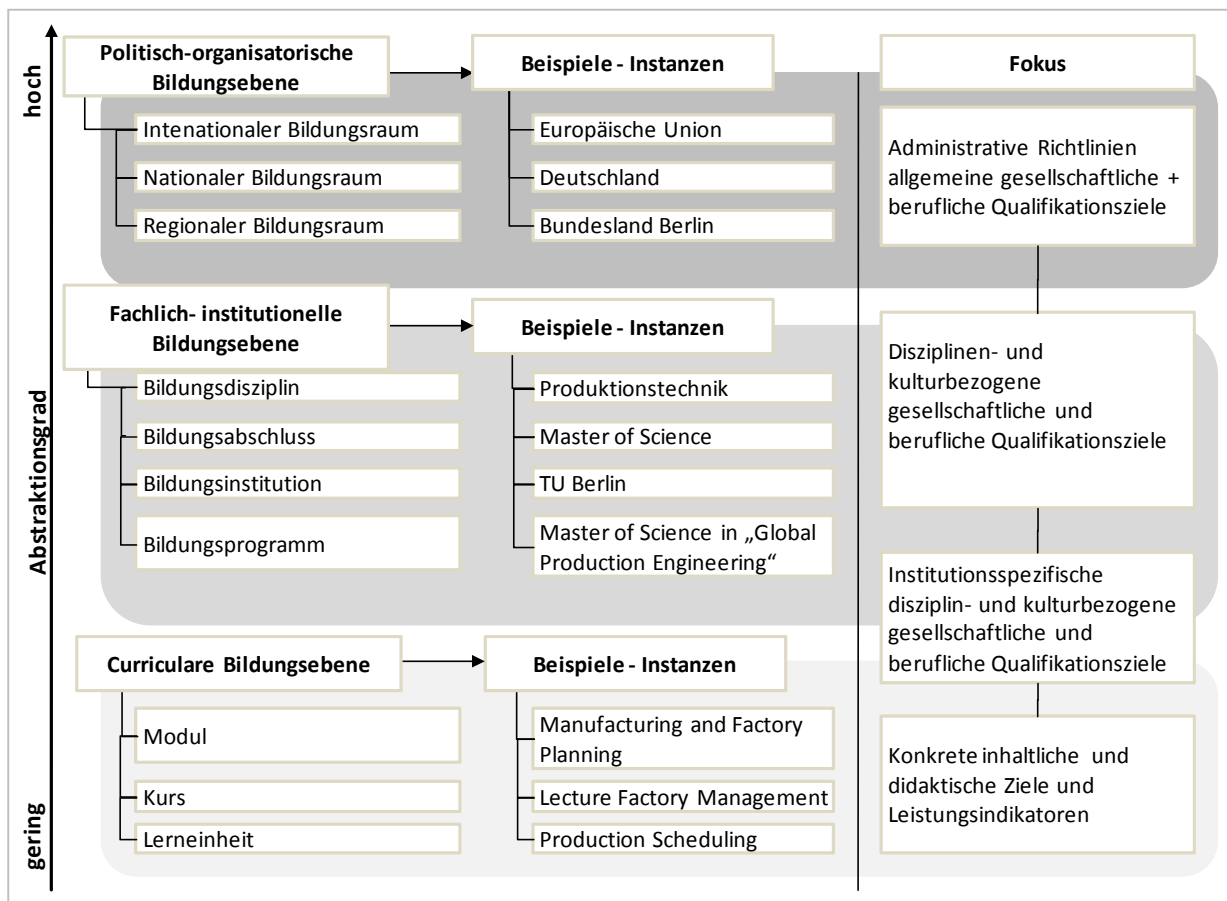


Abbildung 4-10: Politisch-organisatorische Bildungsebenen

Politisch ministeriale Vorgaben z. B. der EQR bilden das Dach unter dem Qualifikationsvorgaben sukzessive über politische, wissenschaftsdisziplinarische, institutionelle und programmspezifische Einflussbereiche bis zu einem verbindlichen, intendierten Lernergebnis für eine einzelne Lernaktivität verfeinert werden. Die politisch-ministeriale Ebene umfasst Standards, die auf internationaler, nationaler oder regionaler Ebene durch politische Gremien definiert werden. Grundsätzlich weisen diese

Qualifikationsbeschreibungen ein hohes Abstraktionsniveau auf und sind nicht operationalisiert. Sie beinhalten vorwiegend administrative Vorgaben zur Durchführung und Zertifizierung einer Bildungsleistung und beschreiben allgemeine Ausprägungen von Leistungsindikatoren für berufliche und gesellschaftliche Qualifikationsanforderungen.

Fachlich-institutionelle Qualifikationsrahmen vertiefen die Vorgaben zur inhaltlichen Ausgestaltung einer Bildungsleistung. Um ein verbindliches Maß an inhaltlicher Übereinstimmung innerhalb einer Disziplin und Bildungsorganisation zu erzielen, werden disziplinen- und kulturspezifische, gesellschaftliche und berufliche Ziele für die darunter zertifizierten Bildungsprogramme definiert.

Auf curricularer Ebene werden die inhaltlichen Vorgaben auf das spezifische Profil der Institution übertragen. Hier erfolgt die konkrete Ausgestaltung der Bildungsziele mit operationalisierten Lernzielen, bei der neben den inhaltlichen insbesondere didaktische Aspekte an Bedeutung gewinnen. Auf curricularer Ebene empfiehlt sich grundsätzlich eine abgestimmte Top-Down- und Bottom-Up-Erstellung und –Anpassung von Leistungsbeschreibungen, die die Stärken der Lehrenden und die Interessen und Vorkenntnisse der Lernenden in den Zielvereinbarungsprozess auf Modulebene integriert.

4.4.2.5 Qualifikationsrahmen

Ein Qualifikationsrahmen besteht aus einer Anzahl von Niveaustufen und Niveauindikatoren, die gemeinsam eine Matrix aufspannen. Innerhalb der Felder der Matrix werden unterschiedlich stark definierte Kataloge von Niveaudekriptoren hinterlegt [EU-06]. Der *Europäische Qualifikationsrahmen* (EQR) bildet das übergreifende und verbindende Referenzsystem für die nationalen Qualifikationsrahmen. Der EQR ermöglicht den standardisierten Vergleich von Qualifikationsportfolios über nationale Grenzen hinweg. Die jeweiligen Einzelqualifikationen und Qualifikationsprofile werden auf einen nationalen Qualifikationsrahmen referenziert und darüber mit dem europäischen Qualifikationsrahmen abgeglichen (vgl. Abbildung 4-11).

Auf europäischer Ebene besteht als Anrechnungsrahmen für Qualifikationen der Qualifikationsrahmen für Lebenslanges Lernen (EQRLLL) als allgemeingültiges Instrument und der Qualifikationsrahmen für den europäischen Hochschulraum (EQRH). Der EQRH wurde 2005 durch die europäischen Bildungsminister beschlossen und gilt für 46 Staaten. Er geht zurück auf die Arbeiten einer informellen Arbeitsgruppe, der sogenannten Joint Quality Initiative, die von 2000 bis 2002 den ersten umfassenden europäischen Ansatz einer übergeordneten Qualifikationsbeschreibung für Hochschulabsolventen entwickelte. Referenzierend auf den Ort an dem sie der Öffentlichkeit vorgestellt wurden, wurden sie Dublin-Deskriptoren benannt. Sie definieren auf einem hohen Abstraktionsniveau Qualifikationsanforderungen und –unterschiede in Form von LO-basierten Deskriptoren. Der

EQRH hat eine vierstufige Struktur, bestehend aus den Studiencyklen Kurzstudiengang, Bachelor, Master und Doktorat.

Der EQRLLL wurde 2008 von den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union ratifiziert. Es werden die Indikatoren Wissen, Fertigkeiten und Kompetenzen unterschieden. Die Deskriptoren wurden gegenüber den Dublin Deskriptoren leicht modifiziert und um die Qualifikationsstufen unterhalb der Hochschulebene und um Aspekte der beruflichen Bildung auf Hochschulniveau erweitert. Der EQRLLL enthält acht Bildungsstufen und deckt damit alle drei Bildungssektoren von der Primarstufe bis zum Doktorat ab. Die Stufen sechs bis acht entsprechen den Studiencyklen Bachelor, Master und Doktorat. Lernergebnisse umfassen zusätzliche Kriterien der Berufspraxis, wie beispielsweise die Übernahme von Verantwortung.

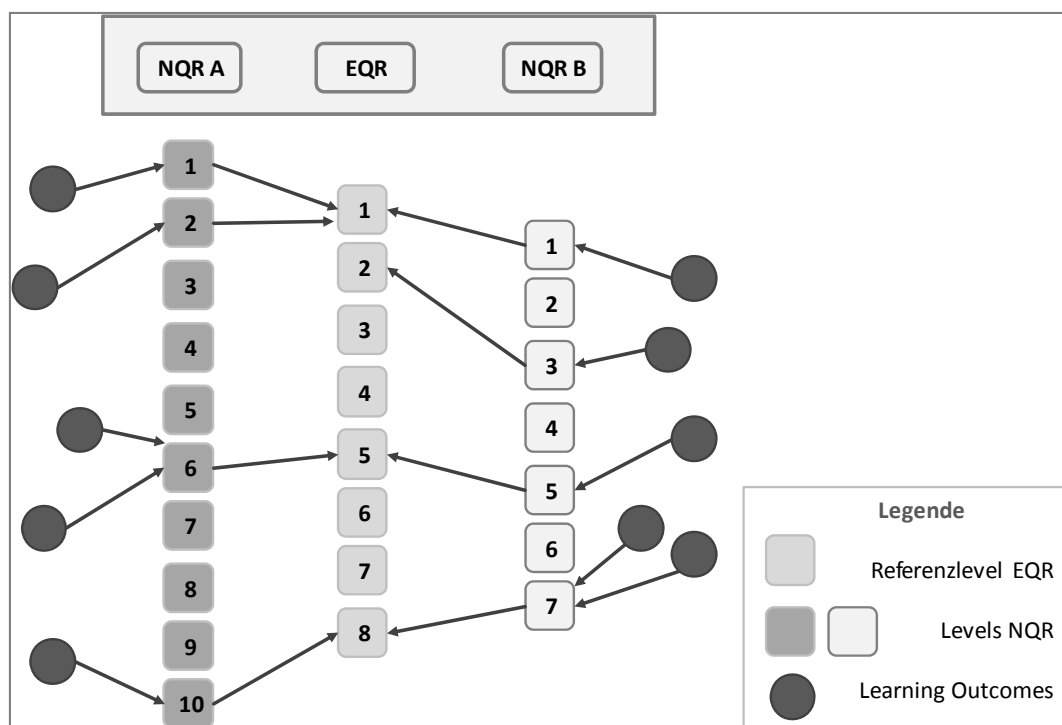


Abbildung 4-11: Der EQR als Referenzrahmen von Qualifikationsprofilen

Auf einem Treffen in Bergen im Jahr 2005 verpflichteten sich die europäischen Bildungsminister bis 2012 *nationale Qualifikationsrahmen* (NQR) zu entwickeln, die mit dem EQRLLL kompatibel sind. Im englischsprachigen Raum wurden erste nationale Qualifikationsrahmen seit Mitte der 1980er Jahre entwickelt. [You-03]. Treibendes Motiv war zunächst der offene Zugang zum Erwerb beruflicher Qualifikationen. In dieser Arbeit wurde exemplarisch der „Southern England Consortium for Credit Accumulation and Transfer“ (SEEC)-QR als Referenz modelliert. Über 50 Universitäten waren seit Mitte der 1990er Jahre an der Entstehung dieses Bildungsstandards beteiligt. Das Rahmenwerk wird kontinuierlich aktualisiert und dient zahlreichen Hochschulen als Planungsgrundlage ihres Qualifikationsangebots. Zusätzlich existiert in Großbritannien der „Higher Education Qualifications

Framework“. Umfassende Informationen darüber und ein Vergleich beider QR finden sich in [Moo-05].

Seit 2005 existiert der *Deutsche Qualifikationsrahmen für Hochschulabschlüsse* (DQRH), der von der Hochschulrektorenkonferenz, der Kultusministerkonferenz und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung gemeinsam entwickelt wurde. Der DQRH gilt als kompatibel zum EQRH. 2009 wurde der *deutsche Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen* (DQRLLL) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung veröffentlicht. Dieser wählt nach Ansicht einiger Experten nichtkompatible Niveauindikatoren und wird kontrovers diskutiert [Hof-09, 4Ing-08]. Außerdem erarbeiteten unterschiedliche Interessenvertretungen in den letzten Jahren Vorschläge zu Fachqualifikationsrahmen für die Ingenieurausbildung. Drei Ansätze sind als besonders relevant in die Modellierung der Arbeit eingegangen. Erstens ist dies der „Fachqualifikationsrahmen für Ingenieure und Informatiker“ des Zusammenschlusses der vier deutschen Fakultätentage Bauingenieurwesen und Geodäsie, Elektro- und Informationstechnik, Informatik sowie Maschinenbau und Verfahrenstechnik (4ING). Der 4Ing-QR definiert Indikatoren für den Bachelor und Masterabschluss und unterscheidet zwischen stärker forschungsorientierten und anwendungsorientierten Studiengangsprofilen. Inhaltlich werden allgemeine fachliche und methodische Qualifikationen beschrieben, aber auch die ethische Verantwortung sowie Kenntnisse zur Technikfolgenabschätzung als Standards definiert [Hof-08b]. Vom „Verein Deutscher Ingenieure“ (VDI) wurden der „Fachqualifikationsrahmen für Studiengänge der Verfahrenstechnik, des Bio- und Chemieingenieurwesens an Universitäten und Fachhochschulen“ und die „Bildungsstandards Technik“ entwickelt. Die VDI-QR haben folgende Indikatoren: Wissen und Verstehen, Ingenieurwissenschaftliche Methodik, Ingenieurmäßiges Entwickeln und Konstruieren, Untersuchen und Bewerten, Ingenieurpraxis und Schlüsselqualifikationen [VDI-08a] [VDI-08b]. Diese Indikatoren sind für diese Arbeit besonders gut geeignet, da sie speziell für die Darstellung von Ingenieurqualifikationen entwickelt wurden.

Außerdem existieren QR von Akkreditierungsagenturen. Der Pionier in der Einführung einer outcomeorientierten Akkreditierung war im Jahr 2000 die US-amerikanische Akkreditierungsagentur Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) durch die Veröffentlichung der sogenannten Accreditation Criteria. Die LO-basierten Standards (engl. graduate attributes and professional competency profiles) stellen eine generelle, nicht auf einzelne Ingenieurfachrichtungen bezogene Beschreibung von erforderlichen Lernergebnissen der Ausbildung zum Bachelor- und Master-Abschluss und Qualifikationen für den zertifizierten Grad des berufserfahrenen Ingenieurs (engl. professional engineer) dar [Abe-10].

Im Rahmen des von der Europäischen Kommission geförderten Projektes „European Accredited Engineering“ (EUR-ACE) wurden durch einen Verbund europäischer Akkreditier-

ungsagenturen gemeinsame Outcome-Standards für Bachelor- und Masterabsolventen europäischer Ingenieurstudiengänge formuliert. Sie bilden den Meta-Rahmen, um weltweit zertifizierte Bildungsstandards von Akkreditierungsagenturen zu vergleichen [Aze-09]. Das Rahmenwerk ist in seiner Struktur dem VDI-QR sehr ähnlich [Eur-10]. Tabelle 4-10 stellt die Indikatorstrukturen der QR auf unterschiedlichen politisch-organisatorischen Bildungsebenen nebeneinander.

Europäische Bildungsebene	Europäische Bildungsebene	Nationale Bildungsebene	Nationale Bildungsebene	Disziplinen-Bildungsebene
EQRLLL	EQRH	DQRLLL	SEEC	4Ing
Kenntnisse	Knowledge and understanding (k&u)	Fachkompetenz	Development of Knowledge and Understanding (subject specific)	Kenntnisse
Fertigkeiten	Applying k & u	Methodenkompetenz	Cognitive/Intellectual skills (generic)	Fertigkeiten
Kompetenzen	Making judgements	Sozialkompetenz	Key/transferable skills (generic)	Kompetenzen
	Communication	Personalkompetenz	Practical skills (subject specific)	
	Learn to learn		Special subject descriptors	

Disziplinen-Bildungsebene	Europäische Bildungsebene	Fachbereichsbildungsebene	Universitätsbildungsebene
ABET	EUR-ACE	VDI Verfahrenstechnik	Windsor, Canada
Academic Education	Wissen und Verständnis	Wissen und Verstehen	the acquisition, application and integration of knowledge
Problem Analysis, Design / Development of solutions	Ingenieurwissenschaftliche Analyse	Ingenieurwissenschaftliche Methodik	research skills, including the ability to define problems and access, retrieve and evaluate information
Knowledge of engineering sciences	Technische Problemlösung und Konstruktion	Ingenieurmäßiges Entwickeln und Konstruieren	critical thinking and problem solving skills
length of study	Recherche	Untersuchen und Bewerten	literacy and numeracy skills
Environment and sustainability	Ingenieurwissenschaftliche Praxis	Ingenieurpraxis	responsible behavior to self, others and society
Modern tools, individual and teamwork	Schlüsselqualifikationen	Schlüsselqualifikationen	interpersonal and communications skills
Project management and finance			teamwork, and personal and group leadership skills
The engineer and society			creativity and aesthetic appreciation
Investigation			the ability and desire for continuous learning
Communication			
Ethics			
Life-long learning			

Tabelle 4-10: Niveauindikatoren in Qualifikationsrahmen mit Bezug zu produktionstechnischer Qualifizierung.

Die Abstimmung der Qualifikationsbeschreibungen von allgemeinen Bildungszielen mit konkreten Leistungsanforderungen von Lehrveranstaltungen kann nur erfolgen, wenn eine konsistente Skalierung der Qualifikationsbeschreibungen von der höchsten Stufe, z. B. des europäischen Bildungsraums, bis zur Lehrveranstaltungsebene durchgeführt werden kann. Die Schaffung von Kompatibilität zwischen QR unterschiedlicher Ebenen bildet durch die Vielzahl von Begrifflichkeiten und politisch beeinflussten Definitionen jedoch eine große Herausforderung. Dennoch können grundlegende Gemeinsamkeiten identifiziert und Relationen zwischen Niveauindikatoren und Deskriptoren hergestellt werden. Für die Ingenieurausbildung wurde der EQRLLL als Bezugssystem für den europäischen Bildungsraum, der SEEC-QR für den Hochschulbereich und der VDI-QR für Studiengänge der Ingenieurwissenschaften analysiert. Dabei wurden zahlreiche Relationen zwischen den Qualifikationsklassifizierungen identifiziert. Unterschiedliche semantische Auslegung der Bildungsstandards und neue Qualifikationsanforderungen erfordern die flexible Gestaltung mit Hilfe der Offenen-Welt-Annahme, durch die künftig weitere Beziehungen integriert werden können.

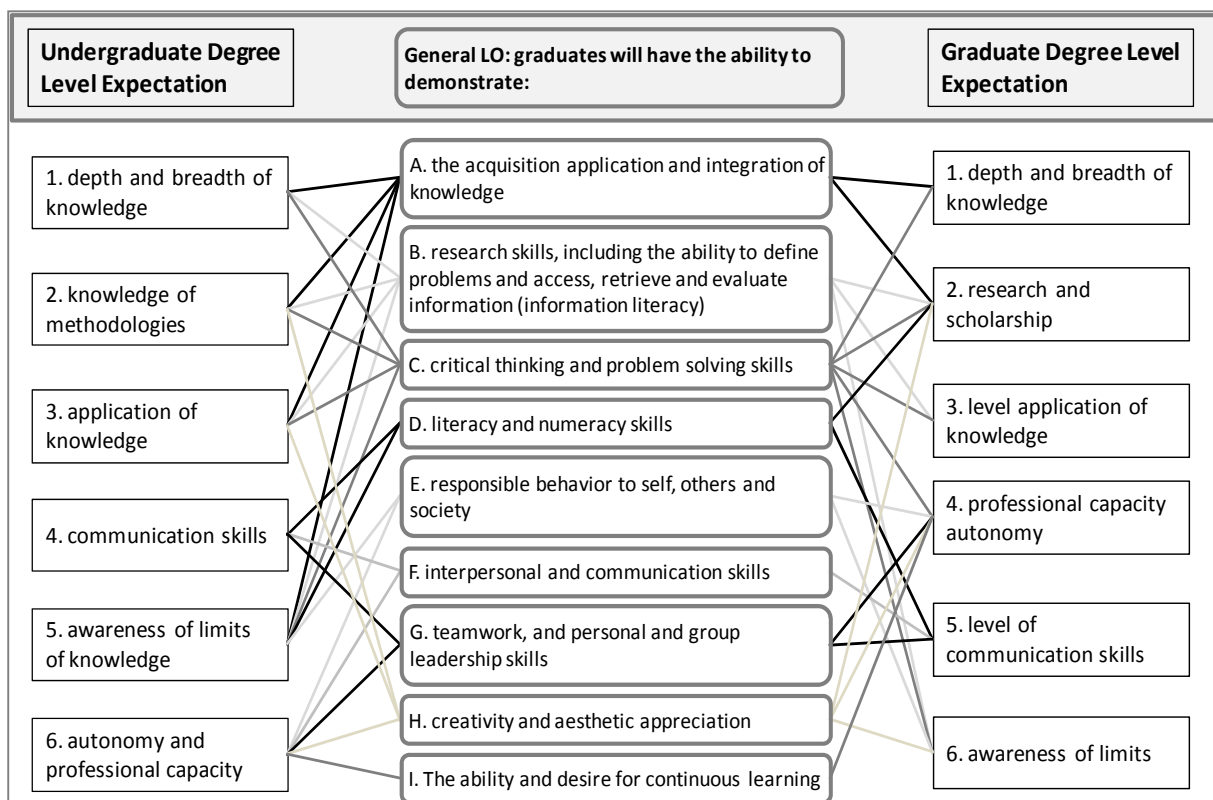


Tabelle 4-11: Relationen zwischen LO und Niveauindikatoren von QR unterschiedlicher Bildungsebenen

Auf fachlich-institutioneller Ebene stellen die QR der University of Ontario in Kanada einen Benchmark für die durchgängige Beschreibung von Bildungsstandards über unterschiedliche Bildungsebenen dar. Niveauindikatoren und LO wurden auf Universitäts-, Master und Bachelorebene definiert und die bestehenden Relationen zwischen den LO und Indikatoren

abgebildet. Neun allgemeine LO beschreiben Merkmale, die ein Absolvent der Universität grundsätzlich aufweisen muss (vgl. Tabelle 4-11). Außerdem wurden auf Bachelor- und Masterebene jeweils sechs Indikatoren definiert, denen LO-Deskriptoren zugeordnet sind, die die Anforderungen zusätzlich spezifizieren. Die insgesamt zwölf Niveauindikatoren der Bachelor- und Masterebene bilden Teilmengen der neun LO der Universitätsebene [EIM-08]. Die von der Hochschule definierten Beziehungen wurden in den semi-informalen Strukturtabellen modelliert und stehen als Referenzsystem zur Verfügung. Dadurch wurde ein Skalierungsschema geschaffen, mit dem allgemeine LO von Absolventen der Hochschule mit spezifischeren LO von Hochschulabschlüssen und allgemeinen LO von übergeordneten QR in Verhältnis gesetzt werden können.

4.4.2.6 Zusammenfassung

Durch LO können Qualifikationsbeschreibungen sowohl sehr abstrakt als auch sehr detailliert natürlichsprachlich dargestellt werden. Ein LO besteht aus einer Aussage über den Lerngegenstand, über den mentalen Prozess der Handlung und über die Leistung mit der die Lern- und Prüfungsaufgabe erfüllt wurde. Diese Qualifikationsbeschreibungen eignen sich zur Darstellung von persönlichen Qualifikationsprofilen der Bildungsnachfrager, von Leistungsbeschreibungen der Bildungsanbieter und von Berufsanforderungen bzw. Zertifizierungsstandards der Zielsystemgeber des Bildungsmarktes.

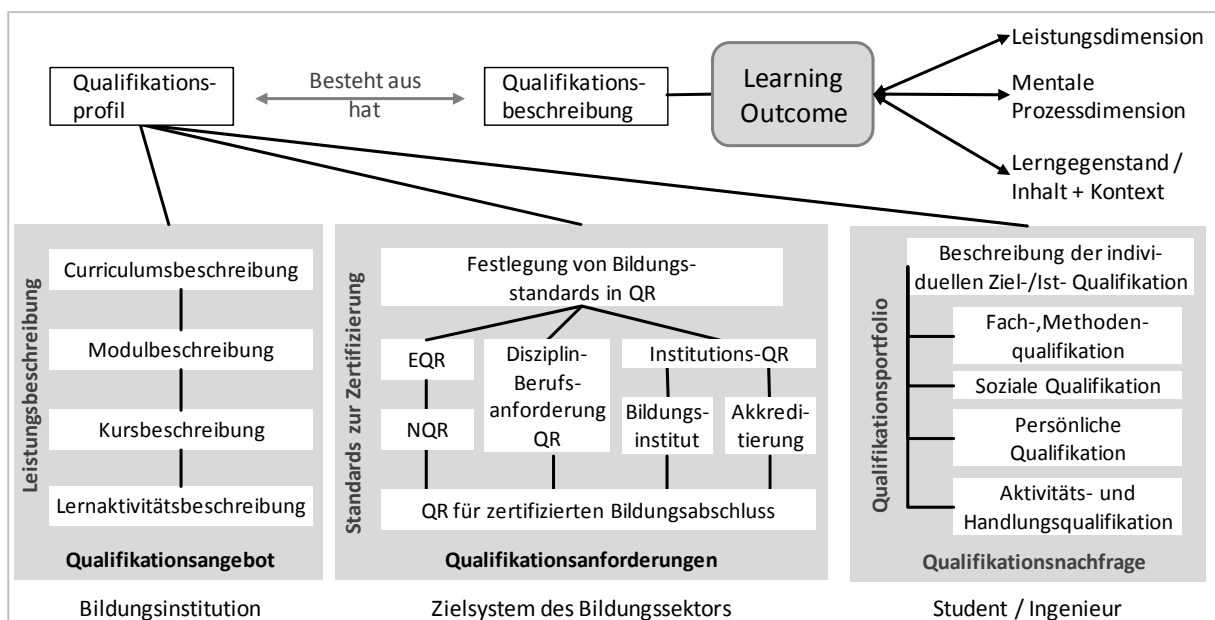


Abbildung 4-12: Architektur der Qualifikationsprofile

Die Leistungsbeschreibung der Bildungsinstitution kann auf unterschiedlichen Ebenen zwischen Curriculum und Lehraktivität erfolgen. Zur Beschreibung persönlicher Qualifikationsprofile werden u. a. die Qualifikationsdimensionen von ERPENBECK genutzt. Übergeordnete Qualifikationsrahmen geben Ziele für LO von zertifizierten Bildungsabschlüssen vor. Es werden übergeordnete QR der Politik, z. B. der EQR und der

NQR, disziplinen- oder berufsspezifische QR der Arbeitgeber- und Interessenverbände und institutionsspezifische QR von Bildungsinstitutionen und Akkreditierungsagenturen unterschieden. Über LO-basierte Qualifikationsbeschreibungen werden die unterschiedlichen Qualifikationsprofile miteinander verglichen und aufeinander abgestimmt (vgl. Abbildung 4-12).

4.4.3 Klassifikation ingenieurwissenschaftlicher Lehrinhalte

Die hierarchisch oberste Struktur der ingenieurwissenschaftlichen Wissensdomäne wurde nach SPUR anhand der Wirkbereiche der Technikwissenschaften klassifiziert [SPU-03]. Die Technikwissenschaften werden dabei in Urtechnik, Bautechnik, Produktionstechnik, Netztechnik und Soziotechnik unterschieden. Die Inhalte der Produktionstechnik sind anhand eines Modells zur industriellen Wertschöpfung nach SELIGER strukturiert. Das Modell klassifiziert die fünf Wertschöpfungsfaktoren Produkt, Prozess, Mensch, Betriebsmittel und Organisation deren Zusammenwirken ein Wertschöpfungsmodul darstellt. [Sel-07]. Die Struktur der einzelnen Wertschöpfungsfaktoren wurde in zehn Klassifikationsbäumen verfeinert. Die Konzeptklassifikationsbäume behandeln Aspekte des Fabrikbetriebs anhand entsprechender Normen, Richtlinien und der Fachliteratur der Ingenieurwissenschaften. Daraufhin wurden konkrete Lehrinhalte exemplarischer Lehrveranstaltungen zur Produktionstechnik an der TU Berlin modelliert. Dafür wurden die am Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb vermittelten Lehrinhalte analysiert. Die Identifikation der Lehrinhalte erfolgte anhand der Vorlesungsstruktur und einer stichwortartigen, hierarchischen Wissenssammlung, die das am Fachgebiet vorhandene inhaltliche Wissen dokumentiert. Letztere war im Rahmen der Umstrukturierung der Lehre in Lehrmodule für die Bachelor- und Masterausbildung erstellt worden. Sie beschreibt Lehrinhalte in einer taxonomischen Struktur. Mit den Klassen Lehrmodul, Inhaltsblock, Kernelemente und Unterelemente werden Ebenen unterschiedlichen Wissensumfangs geschaffen, wobei ein Lehrmodul die umfangreichste Einheit darstellt, der mehrere Inhaltsblöcke zugeordnet sind. Die Vorlesungsstruktur ist semi-informal in Excel-Tabellen beschrieben, deren Begriffe das Vokabular der produktionstechnischen Wissensdomäne bilden. Insgesamt entsteht eine taxonomische Struktur von sechs Hierarchieebenen mit insgesamt ca. 200 Klassen, in denen über 1.000 Instanzen hinterlegt sind. Auszüge aus der Wissensdomäne „MF-Grundlagen des Fabrikbetriebs“ sind in formaler und semi-informaler Notation im Anhang hinterlegt.

4.4.4 Aufbau von binären Relationen

Während des Aufbaus von Konzepttaxonomien wurden bereits zahlreiche binäre Relationen innerhalb der Konzeptklassifikationen abgebildet. Die binären Relationen zwischen thematisch unterschiedlichen Konzeptklassifikationsbäumen werden in dieser Phase hinzugefügt. Abbildung 4-13 zeigt beispielhaft ausgewählte Relationen, um den

Wertebereich und das Vokabular von LO festzulegen. In diesem Fall handelt es sich um inverse Relationen, die durch einen in beide Richtungen gerichteten Pfeil dargestellt werden. Die Kardinalität in den Relationen „ist/hat_Prädikat“, „ist/hat_Objekt“ und „ist/hat_Kontext“ beträgt jeweils 1:n, da jedes LO nur jeweils ein Prädikat, ein Objekt und eine Kontextbeschreibung beinhalten kann. Diese Merkmale können dagegen Elemente vieler LO sein. Im Bereich der Attribute besteht eine 0:n Kardinalität, da ein LO kein Attribut zur Leistungsbeschreibung haben muss, die Attributbeschreibungen aber in zahlreichen LO verwendet werden. Bis zu fünf Attribute können in LO vorkommen. Dies wird durch die Weiterrestriktion „hat_Leistungsindikator max 5“ definiert.

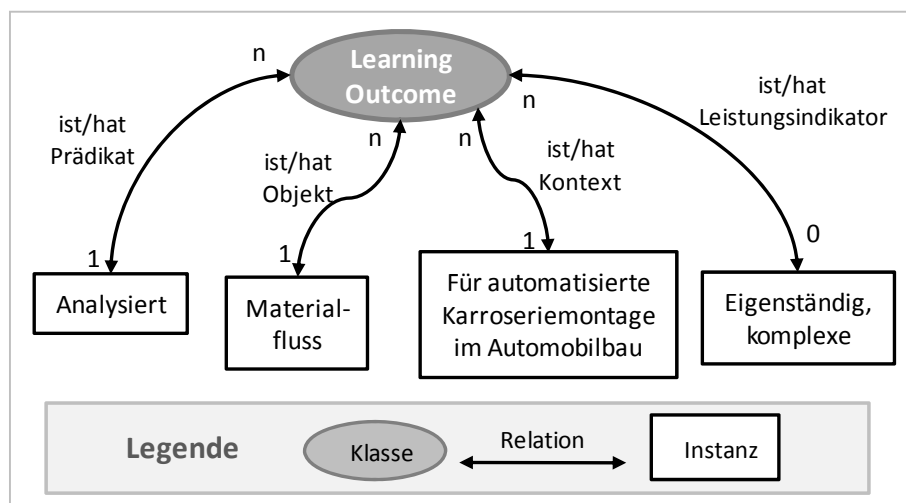


Abbildung 4-13: Binäre Relationen zwischen den Klassifikationsbäumen mentaler Prozess, Wissen und Leistungsindikator

Im zweiten Beispiel erfolgt die Zuordnung von LO zu QR. Vorgaben von QR sollten innerhalb der Hierarchie politisch-organisatorischer Bildungsebenen konsistent sein. Ist dies gegeben, kann ein LO unterschiedlichen, übergeordneten Qualifikationsrahmen als Teilmenge zugeordnet werden. Es ergibt sich eine Unterklassenbeziehung in der durch Transitivität theoretisch alle LO grundsätzlich dem EQR auf unterschiedlichen Niveaustufen zugeordnet werden können, da er das Klassifikationsschema für das gesamte Bildungssystem darstellt. Außerdem können LO mit einem hohen Operationalisierungsgrad auch QR unterschiedlicher Bildungsebenen zugeordnet werden. Abbildung 4-14 zeigt Relationen zwischen QR unterschiedlicher politisch-organisatorischen Bildungsebenen, ihren Niveauindikatoren und einem GPE-LO. Eine Aussage über die Konsistenz des SEEC-QR mit dem VDI-QR für Ingenieure und dem EQR kann durch die Relation „entspricht_Vorgaben“ beschrieben werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, LO über die Relationen „hat_Niveauindikator“ und „gehört_zu_QR“ Niveauindikatoren und damit auch QR zuzuordnen. Aufgrund der verzweigten Relationenstruktur, die die Elemente auf unterschiedlichen Wegen miteinander in Verbindung setzt, kann die Wissensbank anhand unterschiedlicher Informationskonstellationen Schlussfolgerungen über Fragestellungen treffen. Dadurch wird die

automatisierte Einordnung von LO in Qualifikationsprofile ermöglicht. Beispielsweise kann geprüft werden, ob ein GPE-LO die Vorgaben eines übergeordneten QR erfüllt oder welche inhaltlichen Überschneidung zwischen den Niveauindikatoren „SEEC-practical skills“ und „VDI-Ingenieurpraxis“ bestehen. Die in der Plotin-Wissensbank dabei stattfindenden Prozesse werden in Kapitel 5 beschrieben.

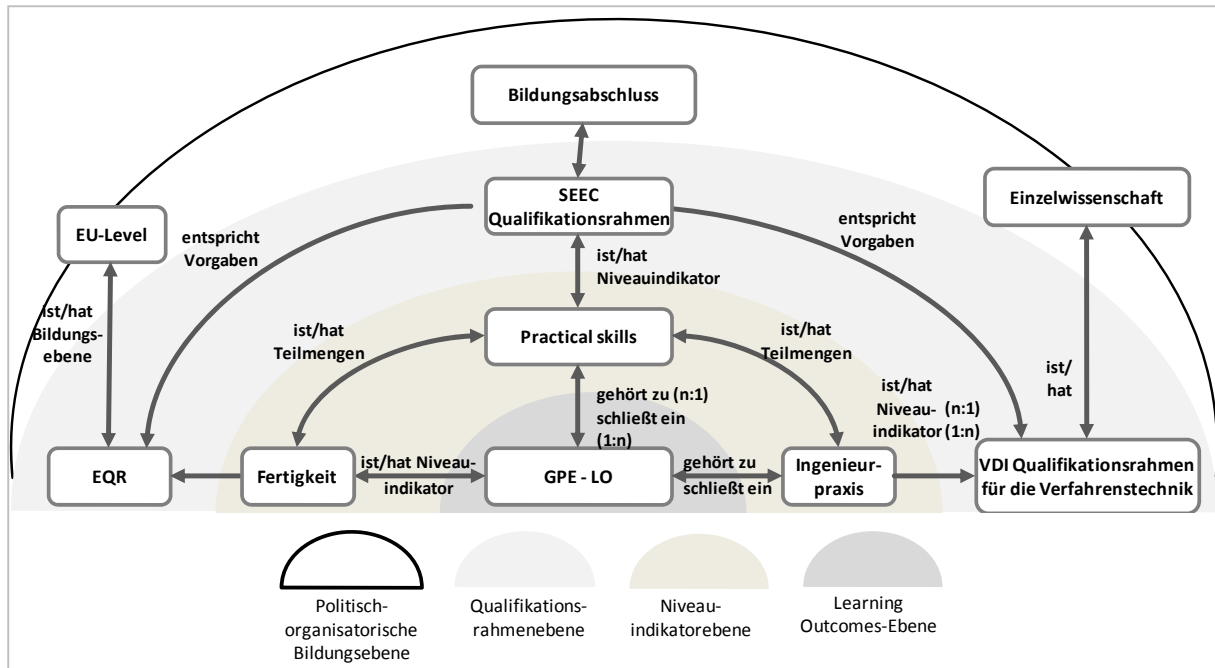


Abbildung 4-14: Binäre Relationen zwischen LO-Ontologie und QR-Ontologie

4.4.5 Konzeptwörterbuch

Um Transparenz in der Entwicklung zu garantieren, werden die Elemente der jeweiligen Konzepte, also Klassen, unäre und binäre Relationen sowie die Instanzen in einem Konzeptwörterbuch festgehalten. Es enthält zu jedem Konzept eine natürlichsprachliche Beschreibung, eine Liste der Attribute und Instanzen. Nachdem die grundlegenden Strukturen durch die Konzeptklassifikationsbäume und die Relationen festgelegt und das Vokabular der Ontologie definiert wurde, wird die Struktur der Konzepte sukzessive verfeinert. Konzeptbeziehungen werden anhand von Beziehungstabellen beschrieben. Diese umfassen, die Domain und Range, Informationen über Inversität, Transitivität und Funktionalität. Außerdem werden Instanzen, Klassen und Attribute u. a. bezüglich ihres Wertebereichs und ihrer Kardinalität spezifiziert. Die Tabellen und Graphiken dienen der Bewertung der Ontologie auf Vollständigkeit, Anwendbarkeit und Nutzen, sie bilden einen Teil der semi-informalen Strukturtabellen.

4.4.6 Beschreibung der Axiome und Regeln

Axiome und Regeln dienen der Abbildung von Grundannahmen, die ohne Junktoren schwer modellierbar wären. Axiome sind logische Aussagen, die immer auf Objekte der

Wissensbank zutreffen. Sie werden vorwiegend eingesetzt, um Einschränkungen innerhalb der Ontologien zu definieren. Die erforderlichen formalen Axiome wurden identifiziert und in den Strukturtabellen dokumentiert. Die Tabellen umfassen fünf Merkmale: den Axiom-Namen, eine Beschreibung des Axioms in natürlicher Sprache und als prädikatenlogischen Ausdruck, die Konzepte, Attribute und binären Ad-hoc-Beziehungen, auf die sich das Axiom bezieht und die Variablen, die im prädikatenlogischen Ausdruck verwendet werden. Axiome werden vielfach eingesetzt, um theoretische Konstellationen auszuschließen. Dadurch kann beispielsweise ausgeschlossen werden, dass LO zwei Niveaustufen, die keine Teilmengenbeziehung haben, zugeordnet werden, bzw. dies als Inkonsistenz dargestellt wird. Ein GPE-LO „Materialflussanalyse“ kann dann nicht gleichzeitig Instanz der Klasse „EQR Bachelorniveau“ und „VDI-QR Masterniveau“ sein, da die beiden Dimensionen keine Teilmengen bilden dürfen. Dies hat den Vorteil, dass im Abgleich der QR weiterhin mit der Offenen-Welt-Annahme gearbeitet werden kann und Inkonsistenzen zwischen QR dennoch identifiziert werden.

1	Wenn <i>LO_Materialflussanalyse</i> , Mitglied von <i>kognitive Dimension</i> ist und die Attribute <i>eigenständig</i> und <i>Anwendung auf unbekannte Problemsituation</i> enthält, dann <i>EQR Fertigkeit, Masterniveau</i> .
2	Wenn <i>LO_Materialflussanalyse</i> und <i>LO_Grundlagen der Simulation</i> in Qualifikationsportfolio, dann als gleich zu <i>LO_Wertstromplanung</i> in <i>QR-VDI</i> dokumentieren.
3	Wenn <i>LO_Wertstromplanung</i> in Portfolio, dann verfügt der Studierende auch über <i>LO_Materialflussanalyse</i> und <i>LO_Grundlagen der Simulation</i> .
4	Wenn <i>LO_Wertstromplanung</i> [und ...] gegeben, dann Voraussetzungen für Kursteilnahme <i>Grundlagen der Wertstromplanung</i> gegeben.
5	Wenn Kurs <i>Grundlagen der Wertstromplanung</i> mehr als 70 % LO mit Leistungsniveau <i>mittlere Kompliziertheit</i> und für <i>gebräuchliche Anwendungsfälle</i> beinhaltet [und ...], dann <i>EQR Fertigkeit, Bachelorniveau</i> .

Tabelle 4-12: Beispiele von Regeln der Plotin-Ontologie

Im Gegensatz zu Axiomen werden Regeln in einer Ontologie vorwiegend verwendet, um durch abstrakte Klassen zusätzliches Wissen zu generieren. Die Tabellenstruktur, welche die Regeln einer Ontologie definiert, ist mit der Axiom-Tabellenstruktur identisch. Der formale Ausdruck einer solchen Regel hat den Aufbau einer Wenn-dann-Konklusion. Die Beispiele in Tabelle 4-12 zeigen, wie durch Regeln komplexe Zusammenhänge zwischen zahlreichen Elementen modelliert werden können. Da Zusammenhänge von allgemeinen und spezifischen LO vielfach nicht durch Über- bzw. Unterklassenbeziehungen dargestellt

werden können, bieten Regeln attraktive Möglichkeiten der Modellierung von Zugehörigkeiten von LO zu übergeordneten Qualifikationsprofilen.

4.4.7 Beschreibung der Instanzen

Im letzten Schritt der Konzeptionalisierung werden Instanzen definiert. Hierfür werden für jede Instanz die Tabelleneinträge Name der Instanz, Name des zugehörigen Konzepts und die konkreten Werte der Klassen- und Instanzattribute aufgelistet. Beispielsweise wurde eine Liste von Verben erstellt, die den Handlungsprozess in LO beschreiben. Anhang 9.1.2 zeigt die ca. 400 identifizierten Verben als Instanzen der unterschiedlichen taxonomischen Klassen des mentalen Prozesses einer Handlung. Außerdem wurden die Wertebereiche der Leistungsindikatoren von LO hierarchisch beschrieben.

Die Erfahrungen in der Ontologieentwicklung zeigen, dass die Konzeptionalisierung mehrere Durchläufe der einzelnen Phasen erfordert, um das Wissen der Domänen zu organisieren und zu strukturieren. Eine Ontologie kann nur ein statisches Bild des Augenblicks gewähren, in dem sie erstellt wurde und bedarf der kontinuierlichen Anpassung und Veränderung. Mit Abschluss der Konzeptionalisierung stehen in den semi-informalen Strukturtabellen alle erforderlichen Informationen zur Verfügung, um einer breiten Nutzergruppe die Möglichkeit zu geben, den kontinuierlichen Anpassungsprozess aktiv mitzugestalten.

4.5 Formalisierung

In der Phase der Formalisierung werden die Ergebnisse der Konzeptionalisierung in eine maschinenverständliche, auf formaler Logik basierende Sprache übertragen. Mit Hilfe der informationstechnischen Werkzeuge müssen die in der Spezifikationsphase erstellten Anforderungen erfüllbar sein. Die in der Konzeptionalisierungsphase definierten Beziehungen in Form von Relationen, Wertebeschränkungen, Axiomen und Regeln erfordern eine auf formaler Logik basierende Wissensrepräsentationssprache, die die Ausdrucksfähigkeit hat, eine entsprechende SWW ohne semantische Lücke modellieren zu können. Außerdem sollte in der Sprachauswahl berücksichtigt werden, dass die Wiederverwendbarkeit der Ontologien für andere Anwendungsfelder sichergestellt wird. Es werden die Aussagenlogik, Prädikatenlogik erster Ordnung (engl. first order logic) und die Beschreibungslogiken (engl. description logics), sowie deren Ausprägungen als Semantik-Web-Sprachen in OWL-Notation auf ihre Eignung untersucht. Die Integration von Regelwissen stellt eine besondere technische Herausforderung dar, deren Modellierungsalternativen zusätzlich geprüft werden. Anhand der Analyse werden eine Wissensrepräsentationssprache und geeignete Software-Werkzeuge zur Erstellung und zum Betrieb der Wissensbank ausgewählt

4.5.1 Formale Semantik

Wissensrepräsentationssprachen basieren auf unterschiedlichen Kombinationen logischer Konstruktoren. Diese bestimmen die Ausdrucksstärke und das Verhalten wissensbasierter Systeme hinsichtlich des Ressourcenbedarfs bei steigenden Eingabemengen, der sogenannten Skalierbarkeit. Hohe Ausdruckstärke führt zu erhöhtem Aufwand für automatisierte Schlussfolgerungsalgorithmen. Dies kann bei umfangreichen Wissensbanken und komplizierten Schlussfolgerungsalgorithmen zu langen Rechenzeiten führen kann [Hit-08].

4.5.1.1 Aussagenlogik

In der *Aussagenlogik* werden Aussagen gebildet, miteinander verknüpft und einem Wahrheitswert zugeordnet. Aussagen sind beschreibende Sätze wie folgendes Beispiel:

„Materialflussanalyse ist Wissensbereich im Fabrikbetrieb“.

Diese Sätze werden Elementaraussagen genannt. Ihnen kann ein Wahrheitswert „wahr“ oder „falsch“ zugeordnet werden. Elementaraussagen können durch aussagenlogische Verknüpfungen zu umfangreichen Aussagengebilden zusammengesetzt werden, um spezifische Sachverhalte darstellen zu können. Diese aussagenlogischen Verknüpfungen umfassen die sogenannten *Junktoren* „Negation“ ($\neg$) (umgsp. „nicht“), „Konjunktion“ ($\wedge$)

(umgsp. „und“), „Disjunktion“ ($\vee$) (umgsp. „oder“), „Implikation“ ($\rightarrow$) (umgsp. „wenn..., dann...“) und „Äquivalenz“ ($\leftrightarrow$) (umgsp. „genau dann..., wenn ...“).

Als Beispiel wird eine zusammengesetzte Aussage normalsprachlich und in Aussagenlogik dargestellt:

Wenn die Materialflussanalyse Wissensbereich im Fabrikbetrieb ist	(a)	(1)
und	($\wedge$)	
Materialflussanalyse nicht von Student X im Lehrprojekt	(-b),	
Fabrikanalyse durchgeführt wird		
dann	($\rightarrow$)	
muss Student X Lehrveranstaltung Wertstromplanung belegen.	(c)	

$$(a \wedge \neg b) \rightarrow c \quad \mathbf{(2)}$$

Syntaktische Konstruktionsregeln legen fest, ob eine Aussage formal korrekt, d. h. wohlgeformt ist. Die Bedeutung der Formel, also die Semantik, wird durch die Bestimmung des Wahrheitswertes der Formel hergestellt. Die Aussagenlogik ist entscheidbar, liefert aber die Elementaraussagen als unstrukturierte Einheit. Aus der Interpretation resultiert, ob eine Aussage „wahr“ oder „falsch“ ist. Eine Differenzierung dieser Aussagen in eine grammatikalische Subjekt-Prädikat-Struktur ist nicht möglich. Eine Unterteilung der Aussage „Materialflussanalyse ist Wissensbereich im Fabrikbetrieb“ in das Subjekt „Materialflussanalyse“ und das Prädikat „gehört zum Wissensbereich im Fabrikbetrieb“ ist beispielsweise nicht möglich. Dadurch kann über die Menge von Dingen, die z. B. Wissensbereiche im Fabrikbetrieb sind, keine Aussage gemacht werden. Zudem können Aussagen über Relationen bezüglich ihrer Transitivität, Symmetrie und Reflexivität nicht ausgedrückt werden. Für die Ableitung von Wissen aus der Wissensbank ist es erforderlich, Aussagen über Klassen und Instanzen machen zu können. Beispielsweise könnte sonst nur aufwändig festgelegt werden, dass alle Wissensbereiche im Fabrikbetrieb auch Wissensbereiche des VDI-QR sind.

4.5.1.2 Prädikatenlogik

In der Prädikatenlogik können Aussagen über die Eigenschaft von Klassen und Instanzen gemacht werden. Beispielsweise kann gesagt werden, dass es Instanzen gibt, die zum Wissensbereich im Fabrikbetrieb gehören. Aussagen über die Prädikate werden mit Hilfe von sogenannten *Quantoren* gemacht. Man unterscheidet den Allquantor „ $\forall$ “ und den Existenzquantor „ $\exists$ “. Damit kann z. B. folgende Aussage getroffen werden:

Für alle	($\forall$)	(3)
Qualifikationsrahmen gilt,	(d)	
es gibt mindestens ein	($\exists$)	
LO,	(e)	
dass zu einem QR gehört.	(Fde)	
$\forall d \exists e (Fde)$		(4)

F stellt die binäre Relation „hat ein“ bzw. invers „gehört zu“ dar.

In der *Prädikatenlogik erster Ordnung* können ausschließlich Aussagen über die Subjekte, z. B. „Materialflussanalyse“, gemacht werden, die zu einer Aussage, dem sogenannten Prädikat, z. B. über Wissensinhalte, gehören. Die Aussagekraft lässt sich dadurch steigern, dass auch Aussagen über das Prädikat selbst definiert werden können. Dies wird als *Prädikatenlogik zweiter Ordnung* bezeichnet, in der Aussagen über Prädikate formuliert werden können [Baa-03]. Beispielsweise, dass ein Prädikat existiert, das auf „Materialflussanalyse“ zutrifft.

Die Prädikatenlogik zweiter Ordnung ist mit schlechteren Eigenschaften in der Entscheidbarkeit und Performanz verbunden. Die Aussagefähigkeit der Prädikatenlogik erster Ordnung reicht aus, um komplexe Axiome und Regeln zur Modellierung der Sachverhalte des Plotin-Konzeptes darstellen zu können. Aber auch sie ist nicht entscheidbar und komplexe Schlussfolgerungen großer Wissensbanken bedürfen langer Berechnungszeiten [Hit-08]. Um in der Abfrage von Wissen aus Wissensbanken mit verlässlicheren Eigenschaften arbeiten zu können, wurden Logiken entwickelt, deren Ausdrucksstärke derart verringert wurde, dass sie noch entscheidbar sind. Diese Logiken, die sogenannten *Beschreibungslogiken*, greifen auf viele Aspekte der Prädikatenlogik, wie z. B. die Quantoren, zurück und bilden weitgehend eine Untermenge der Prädikatenlogik erster Ordnung. Innerhalb der Beschreibungslogiken werden unterschiedliche Kombinationen von logischen Konstruktoren unterschieden, deren Struktur sich auf ihre Ausdrucksmächtigkeit und ihrer Skalierbarkeit.

Der Ursprung der Beschreibungslogiken lässt sich neben der Prädikatenlogik auf die auf Frames basierenden Logiksprachen und die semantischen Netze zurückführen, deren Strukturen als Teile in den Beschreibungslogiken aufgegangen sind [Baa-03]. Die grundlegende Kombination von Operatoren bildet die *Beschreibungslogik $\mathcal{ALC}$* , die alle $\mathcal{AL}$ Operatoren und das Komplement von Mengen mit einbezieht (vgl. Tabelle 4-13). Die vom W3C standardisierte Ontologiesprache OWL-Lite umfasst sowohl $\mathcal{AL}$ und Frame-Logiken sowie inverse Beziehung, funktionale Rollen und Datentypen [May-06]. Basierend auf der

Kombination der Sprachbezeichner wird die zugrundeliegende Beschreibungslogik von OWL-Lite als $\mathcal{SHJF}(\mathcal{D})$ bezeichnet.

Beschreibungslogik	Operator /Konstruktor	Syntax	Legende der Sprachbezeichner
$\mathcal{FL}$	Konjunktion	$A \sqcap B$	$\mathcal{AL}$: Attributive Language $\mathcal{FL}$: Frame Logik C : Complement S : $\mathcal{ALC}$ + Rollen-transitivität $\mathcal{H}$: Subrollen-beziehungen O : abgeschlossene Klassen I : Inverse Rollen $\mathcal{N}$: Zahlenrestriktionen $\mathcal{Q}$: Qualifizierende Zahlenrestriktionen $(\mathcal{D})$: Datentypen $\mathcal{F}$: Funktionale Rollen
	Wertrestriktion	$\forall R.C$	
	Existenzquantor	$\exists R$	
$\mathcal{AL}^*$	Top (allgemeinstes Konzept)	$\top$	
	Bottom (speziellstes Konzept)	$\perp$	
	Negation	$\neg A$	
	Disjunktion	$C \sqcup D$	
	Existenzielle Restriktion	$\exists R.C$	
	Zahlenrestriktionen ($\mathcal{N}$)	$(\leq n R) (\geq n R)$	
	Menge v. Individuen (O)	$\{a_1, \dots, a_n\}$	
$\mathcal{H}$	Beziehungshierarchie	$R \subseteq S$	
I	Inverse Beziehungen	R^{-1}	
$\mathcal{Q}$	Qualifizierte Zahlenrestriktion	$(\leq n R.C) (\geq n R.C)$	

Tabelle 4-13: Beschreibungslogiken und ihre Sprachkonstrukte (nach [Baa-03])

Die Sprache OWL DL umfasst dieselben Elemente wie OWL-Lite, es können aber zusätzlich abgeschlossene Klassen und Zahlenrestriktionen modelliert werden. Die Sprache beruht damit auf der sogenannten $\mathcal{SHOIN}(\mathcal{D})$ Beschreibungslogik, die eine höhere Ausdruckstärke bietet und dennoch entscheidbar ist [Hit-08]. Zur Modellierung von Anforderungen des Plotin-Konzeptes ist OWL-DL aufgrund von zwei Kriterien die geeignete Lösung. Erstens können Zahlenrestriktionen verwendet werden, um z. B. die Mindestanzahl von LO zu definieren. Zweitens können abgeschlossene Klassen definiert werden, um z. B. Mindeststandards an Leistungsanforderungen in Qualifikationsrahmen festzulegen. $\mathcal{SHOIN}(\mathcal{D})$ erfüllt damit die beiden Kriterien: Erstens, Ausdrucksfähigkeit aller identifizierten Konzepte und Zusammenhänge und zweitens, Entscheidbarkeit. Es eignet sich daher in besonderer Weise für die Plotin-Modellierung. Ein weiterer Vorteil, der sich aus der Wahl von OWL-DL ergibt, ist das umfassende Angebot von Softwarewerkzeugen, die diese Notation unterstützen. Als Risiko ist zu berücksichtigen, dass OWL-DL zur Komplexitätsklasse $NEXPTIME$ gehört. Im schlechtesten Fall liegt deren Berechnungsaufwand durch eine nichtdeterministische Turingmaschine bei $O(2^{p(n)})$. Berechnungszeiten steigen somit bei zunehmender Größe der Wissensbank stark an, sodass das Schlussfolgern von implizitem Wissen ab einer kritischen Größe nicht mehr praxistauglich ist [May-06]. Es überwiegen allerdings die Chancen, die sich durch die zusätzlichen Möglichkeiten zur Qualifikationsrepräsentation ergeben. Zusätzlich lassen Innovationen der IKT künftig verringerte Berechnungszeiten durch Soft- und Hardwareinnovationen erwarten. Eine

umfassende Dokumentation zum Sprachumfang von OWL [W3C-04b] und der formalen Semantik von OWL [W3C-04c] ist mit den W3C-Standards veröffentlicht worden.

4.5.2 Abfrage von implizitem Wissen

Es existieren unterschiedliche Alternativen, um implizites Wissen aus einer Wissensbank abzufragen. Um zielgerichtet Ergebnisse aus der Wissensbank zu generieren, eignet sich eine Suchfunktion, die diverse Aspekte eines Sachverhaltes in einer Fragestellung vereinigt. Im Folgenden sind die Möglichkeiten der Datenabfrage mit Hilfe von logischen Konstruktoren und konjunktiven Anfragen dargestellt. Die Formalisierung erfolgt durch OWL-DL am Beispiel der identifizierten Axiome und Regeln der Plotin-Ontologie.

4.5.2.1 Komplexe Klassen

In einfachen Ontologien werden durch einen Klassenbezeichner definierte Klassen, sogenannte atomare Klassen, durch Relationen miteinander verbunden. Die Anwendung von Konstruktoren der Aussagen- und Prädikatenlogik für OWL-DL ermöglicht nun zusätzliche Aussagen zu komplexem Wissen. Durch die Verwendung der Konstruktoren, z. B. der Konjunktion, Disjunktion und Negation, können atomare Klassen zu sogenannten abstrakten Klassen zusammengefasst werden, die eine neue Menge von Instanzen beschreiben, beispielsweise alle LO die prozedurales Wissen des Fabrikbetriebs vermitteln. Zusätzlich stehen Konstruktoren zur Gestaltung von komplexen Klassen zur Verfügung, die unter der Bezeichnung *Rollenrestriktionen* zusammengefasst werden. Diese unterteilen sich in:

- *Werterestriktionen*, die die Menge aller Objekte als eine Klasse definieren, für die die Range einer Relation einen Wert aus einer vorgegebenen Klasse einnimmt [Hit-08], z. B. über die Eigenständigkeit mit der Handlungsfähigkeit nachgewiesen wird und
- *Kardinalitätsrestriktionen*, mit denen Aussagen über die Anzahl von Instanzen in einer Menge angegeben werden [W3C-04b].

Die Werterestriktion umfasst die Konstruktoren „allValuesFrom“ und „someValuesFrom“. Durch den *Allquantor* „allValuesFrom“ werden für den Wertebereich einer Relation alle in Frage kommenden Instanzen festgelegt. Dadurch kann beispielsweise die inhaltliche Ausrichtung einer Lehrveranstaltung festgelegt werden, indem der Relation „ist_Wissensbereich_des_LO“ der Wertebereich „Fabrikbetrieb“ zugeordnet wird. Die damit entstehende Klasse umfasst alle Instanzen, die Wissen über den Fabrikbetrieb beinhalten können. Die folgenden beiden Beispiele zeigen, die jeweilige Notation in Form der Beschreibungslogik:

$$\text{Inhalt_der_MFP_Lehrveranstaltung} \quad (5)$$

$$\sqsubseteq \forall \text{ist_Wissensbereich_des_LO. Fabrikbetrieb}$$

und der Prädikatenlogik:

$$(\forall x)(\text{Inhalt_der_MFP_Lehrveranstaltung}(x) \quad (6)$$

$$\rightarrow (\forall y)(\text{ist_Wissensbereich_des_LO}(x, y) \wedge \text{Fabrikbetrieb}(y)))$$

Eine Modellierung, bei der es mindestens ein Objekt mit einer bestimmten Relation und einem definierten Wertebereich gibt, kann durch die Restriktion „someValuesFrom“ erfolgen. Beispielsweise kann ausgedrückt werden, dass die Inhalte einer Lehrveranstaltung mindestens ein LO aus dem Wissensgebiet „Fabrikbetrieb“ haben müssen. Die erfolgt in Beschreibungslogik-Notation durch:

$$\text{Inhalt_der_MFP_Lehrveranstaltung} \quad (7)$$

$$\sqsubseteq \exists \text{ist_Wissensbereich_des_LO. Fabrikbetrieb}$$

bzw. in Prädikatenlogik-Notation durch:

$$(\forall x)(\text{Inhalt_der_MFP_Lehrveranstaltung}(x) \quad (8)$$

$$\rightarrow (\exists y)(\text{ist_Wissensbereich_des_LO}(x, y) \wedge \text{Fabrikbetrieb}(y)))$$

Kardinalitätsrestriktionen werden durch „minCardinality“ und „maxCardinality“ beschrieben. Damit kann beispielsweise angegeben werden, dass eine Klasse von Kursen der GPE-Modulbeschreibung gebildet wird, die mindestens „Niveaustufe 7 des EQRLLL“ (Master-Niveau) und maximal „6 ECTS-Leistungspunkte“ aufweisen. Die Notation dieser Bedingung wäre:

$$\text{Kurs_GPE}(x) \rightarrow ((x)\text{hat_EQRLLL_Stufe min7 Niveaustufe} \quad (9)$$

$$\wedge (x)\text{hat_Creditpoint max6 ECTS_Leistungspunkte})$$

Durch Kardinalitätsrestriktionen kann aufgrund der Offenen-Welt-Annahme kein implizites Wissen geschlussfolgert werden, da die Wissensbasis grundsätzlich als unvollständig angenommen wird [Hit-08]. Für das Beispiel bedeutet dies, dass mit der Offenen-Welt-Annahme davon ausgegangen wird, dass es LO in GPE gibt, die die Restriktionen erfüllen, aber nicht in der Wissensbank dokumentiert sind. Erst wenn eine Klasse, wie die der LO in GPE als abgeschlossene Klasse definiert worden ist, greifen in Semantik-Web-Technologien die Schlussfolgerungsalgorithmen für die Identifikation impliziten Wissens.

Vielfach existieren LO und Wissensinhalte einer Lehrveranstaltung, die nicht in formalisiert einer Wissensbank hinterlegt wurden, da z. B. Lernwege individuell angepasst oder nicht dokumentiert wurden. Der Datenvielfalt und Unvollständigkeit von Qualifikationsprofilen wird daher die Offenen-Welt-Annahme besser gerecht als die Geschlossene-Welt-Annahme, die ggf. unkorrekte Schlüsse aus einer scheinbar begrenzten Menge von Instanzen zieht. Dies

eignet sich insbesondere in der Modellierung von sich dynamisch verändernden Wissensinhalten und Qualifikationsanforderungen.

4.5.2.2 Konjunktive Anfragen

Für Anfragen in denen Wertepaare ausgegeben werden sollen, sind die bisher vorgestellten Konstruktoren nicht ausreichend. Diese ausdrucksstärkere Form kann durch sogenannte *konjunktive Anfragen* erreicht werden, deren Syntax sich an der Prädikatenlogik anlehnt. Durch Verknüpfung diverser Fragestellungen ermöglichen konjunktive Anfragen eine neue Qualität von Wissensextraktion. Konjunktive Aussagen werden durch Beschreibung atomarer Klassen durch Rollen, Klassen, Individuen und Variablen gebildet, die durch Konjunktionen miteinander verknüpft sind [May-06]. Beispielsweise kann eine konjunktive Anfrage ermitteln, welche LO Wissensinhalte des Fabrikbetriebs haben und welche GPE-Kurse diese Lernziele beinhalten.

$$LO(x) \wedge \text{hat_Wissensinhalt}(\text{Fabrikbetrieb}, X) \wedge \text{ist_Lernziel_in_GPE_Kurs}(x, y) \quad (10)$$

Die Anfrage liefert eine Aufstellung aller gültigen Paare von „LO (x)“ und „GPE-Kursen (y)“, die in der Wissensbank hinterlegt sind. Mit Hilfe der Quantoren kann außerdem dargestellt werden, dass es LO geben muss, die fabrikbetriebliche Wissensinhalte haben und LO eines GPE Kurses sind.

$$\begin{aligned} \exists(x) \rightarrow LO(x) \wedge (\text{hat_Wissensinhalt}(\text{Fabrikbetrieb}, x) \\ \wedge \text{ist_Lernziel_in_GPE_Kurs}(x, y)) \end{aligned} \quad (11)$$

Die konjunktiven Klassen und komplexen Anfragen werden in einer Wissensbank abgelegt, die OWL-DL verwendet, das wiederum auf der *SHOIN(D)*-Beschreibungslogik basiert. Die Ausdrucksstärke dieser Sprache ist ausreichend, um alle erforderlichen Wissensidentifikations- und –generierungsaufgaben für die Planung von Qualifizierung im Bildungsmarkt durchzuführen. Die Integration von Planungsaufgaben des Arbeitsmarktes ist möglich, da die Sprache das Modellierungspotential hat, um eine Erweiterung der Spezifikation durchzuführen.

4.5.3 Werkzeuge

4.5.3.1 Ontologieeditor

Die Formalisierung kann durch Werkzeuge, sogenannten *Ontologieeditoren*, unterstützt werden. Sie generieren den Ontologiecode automatisch in der jeweiligen Wissensrepräsentationssprache, bieten vielfach eine Anzahl zusätzlicher Dienste an und zeichnen sie sich durch eine gute Schnittstellenstruktur zur Ontologieerweiterung aus [Sur-02]. Ab 1995 wurden erste Ontologieeditoren entwickelt. Aktuelle Produkte sind Protégé-2000, WebODE und OntoEdit [Cor-05]. Zur Auswahl des geeigneten Werkzeugs wurde,

basierend auf Vorarbeiten von ZIEGLER, ein Bewertungsschema entwickelt [Zie-08]. Es wurden folgende Auswahlkriterien definiert: Zugriff über Web-Browser, kollaborative Unterstützung, intuitive Bearbeitung, Bereitstellung von Übersichtsfunktionen, Inferenzmaschine, unterstützte Ontologiesprache und Erweiterbarkeit [Zie-08]. Tabelle 4-14 gibt einen Überblick über die für die Plotin-Ontologie erstellten Anforderungen und die Bewertung einzelner Editoren.

Kriterium	Plotin-Anforderung	Protégé [STA-09].	Onto-Edit	WebOde	Ontolingua
Zugriff über Web-Browser	Web-Browser (W)	Stand alone	Client Server	Web-Browser	Web-Browser
kollaborative Bearbeitung	ausreichend (W) ✓	mangelhaft	ausreichend ✓	ausreichend ✓	ausreichend ✓
Intuitive Bearbeitung	ausreichend (M) ✓	gut ✓	ausreichend ✓	ausreichend ✓	ausreichend ✓
Bereitstellung von Übersichtsfunktionen	ausreichend (M) ✓	gut ✓	ausreichend ✓	ausreichend ✓	ausreichend ✓
Inferenzmaschine	ja (F) ✓	ja ✓	ja ✓	ja ✓	ja ✓
unterstützte Ontologiesprache	RDF(S) u. OWL (W) ✓	ja ✓	ja ✓	nein ⚡	nein ⚡
Erweiterbarkeit durch Plug-ins	ja (F) ✓	ja ✓	ja ✓	nein ⚡	nein ⚡
Anforderungsarten: (F) Fest, (W) Wunsch, (M) Mindestforderung, Bewertungsstufen: gut – ausreichend – mangelhaft ✓ erfüllt ⚡ nicht erfüllt					

Tabelle 4-14: Bewertung von Ontologieeditoren

Die Bewertung ergab, dass der Ontologieeditor Protégé besonders geeignet ist. Vor allem das intuitive Bedienen vieler Funktionen hatte in der Entscheidung besonderes Gewicht, um auch informationstechnisch Ungeübten die Modellierung von Wissensbereichen zu ermöglichen. Zudem war die Bereitstellung von Übersichtsfunktionen durch das Plug-in OWL-Viz zur Kommunikation von Ergebnissen ein wichtiges Auswahlkriterium für Protégé. Drittens ist Protégé kostenfrei verwendbar.

Protégé bietet eine Oberfläche zur Definition von Klassen, Relationen, Eigenschaften und Instanzen, die mit der OWL-DL-Notation beschrieben werden [STA-09]. Es können prädikatenlogische Konstruktoren und Rolleneigenschaften wie Transitivität, Funktionalität und Kardinalität modelliert werden. Für die Entwicklung intelligenter Agenten können Regeln durch ein entsprechendes Plug-in in der SWRL-Sprache umgesetzt werden [Con-09]. Inferenzmaschinen wie Pellet und FACT++ werden direkt unterstützt und können zur Validierung der Ontologie genutzt werden [Sta-10].

4.5.3.2 Reasoner

Es stehen unterschiedliche Reasoner zur Schlussfolgerung von implizitem Wissen in OWL-DL zur Verfügung. Marktübliche Werkzeuge sind Jena, Pellet, RacePro, Fact ++ oder Kaon2 [Schil-07]. Besonders leistungsfähige Lösungen zur Implementierung konjunktiver Anfragen von OWL-DL bieten derzeit KAON2 und PELLET [Hit-08]. KAON2 kann Anfragen ohne unbestimmte Variablen bearbeiten und eingeschränkte Negationen sind zulässig. Pellet kann auch konjunktive Anfragen mit unbestimmten Variablen bearbeiten. In Anlehnung an [Schil-07] gibt Tabelle 4-14 einen Überblick über die Charakteristika der Reasoner.

Kriterium	Jena	Pellet	RacerPro	Fact++	Kaon2
Unterstützung von OWL DL	eingeschränkt	ja, inkl. OWL 1.1	eingeschränkt	ja	eingeschränkt
Schnittstellen	API (Java)	API (Java), OWL-API, Jena, DIG	API (Java, Lisp, TCP), DIG	API (Java, C++), OWL-AP, DIG	API (Java), DIG
SPARQL-Unterstützung	nein	ja, unvollständig	zukünftig	nein	ja
Benutzer-definierte Regeln	ja	ja (DL-safe-SRWL)	ja (SWRL-Syntax-basiert)	nein	nein
Effizienz	schlecht	mäßig	sehr gut	sehr gut	sehr gut

Tabelle 4-15: Vergleich von Reasonern (nach [Schil-07])

Für diese Arbeit wurden folgende Anforderungen definiert. Die Unterstützung aller OWL-DL Funktionalitäten musste gewährleistet sein. API-Schnittstellen sollten vorhanden sein und die Schlussfolgerung über Benutzer definierte Regeln möglich sein. Eine SPARQL-Unterstützung sowie die Effizienz spielten keine Rolle, da derartige Anfragen nicht erfolgten und die Effizienz aufgrund des verhältnismäßig geringen Umfangs der Wissensbank noch keinen bedeutenden Einfluss auf die Rechenzeit hatte. Die Reasoner Pellet und FACT++ sind automatisch in den Ontologie-Editor Protégé integriert. Dadurch kann über eine in Protégé erstellte Wissensbank direkt geschlussfolgert werden. Das automatische Schlussfolgern erfolgt mit Pellet.

4.6 Implementierung

Die semi-informalen Modelle der Konzeptionalisierungsphase werden mit Hilfe der Wissensrepräsentationssprache OWL-DL und dem Ontologie-Editor Protégé in maschinenlesbare Notation überführt. Alle LO-Informationen werden in der Plotin-Wissensbank abgespeichert. Die Wissensbank kann grundsätzlich in zwei Bereiche unterschieden werden, die unterschiedliche Aufgaben der Datenspeicherung übernehmen. Die sogenannte T-Box bildet den Bereich, in dem das terminologische Schemawissen gespeichert wird. In der sogenannten A-Box wird das assertionale Instanzwissen hinterlegt. Die T-Box umfasst die Aussagen über die Konzepte einer Domäne, also deren Klassen, Attribute, Eigenschaften und Relationen. Die in den Ontologien beschriebenen Strukturen sind hier hinterlegt. Die A-Box umfasst die Aussagen über Individuen, die in die Wissensbank eingetragen oder auf Basis der bestehenden Ontologiestruktur durch Inferenzmaschinen erschlossen werden. Die Generierung von Instanzenwissen erfolgt manuell über die Eingabe von LO aus Qualifikationsrahmen und Modul- und Kursbeschreibungen.

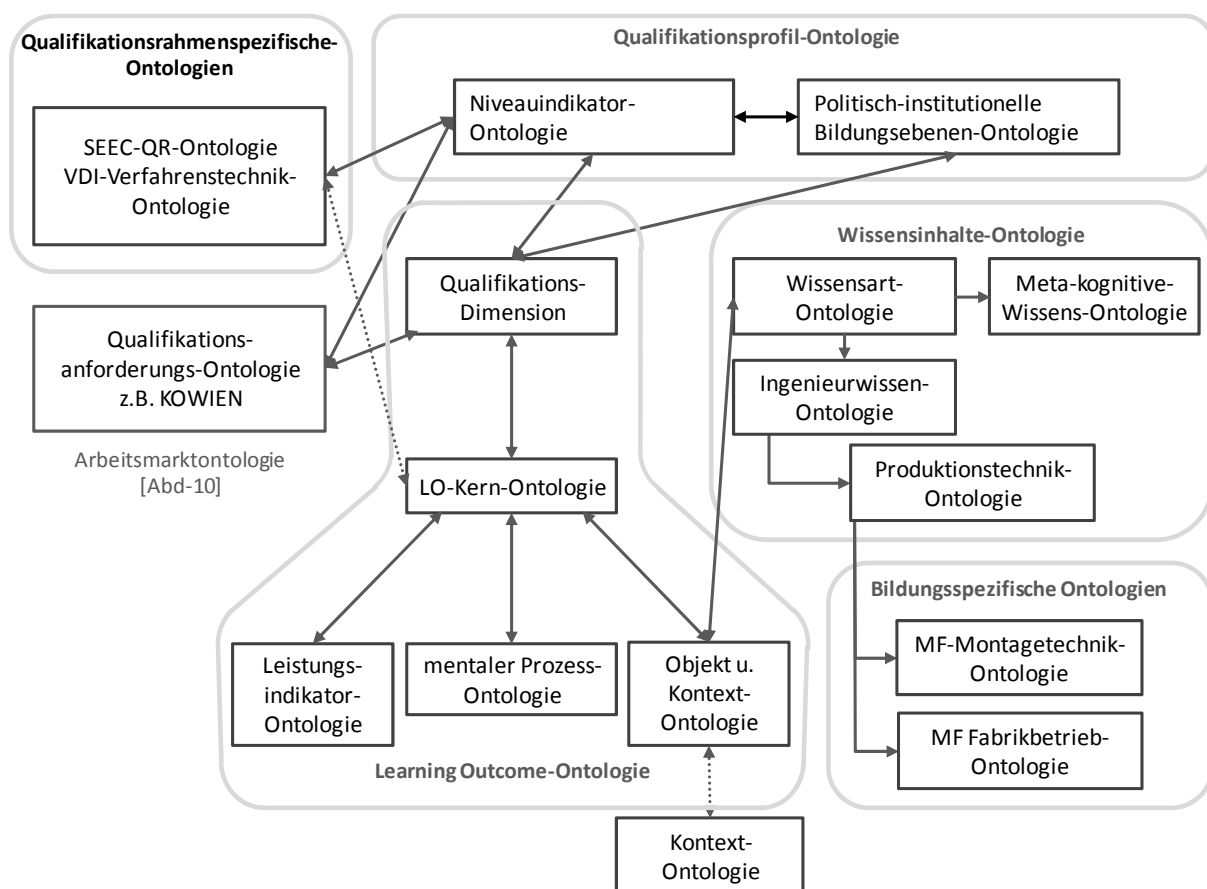


Abbildung 4-15: PLOTIN-Ontologiearchitektur

Für die Planung von Qualifizierung im Bildungsbereich wurden fünf Ontologiebereiche modelliert. Die „LO-Ontologie“, die „Wissensinhalt-Ontologie“ und die „Qualifikationsprofil-

Ontologie“ bilden allgemeingültige Aspekte des Bildungsmarkts ab. Sie werden durch institutionsspezifische Ontologien über QR und Lehrveranstaltungsinhalte ergänzt. Abbildung 4-15 visualisiert die Struktur und Zusammenhänge der Ontologien.

4.6.1 LO-Ontologie

Die *LO-Ontologie* legt die Struktur der Qualifikationsbeschreibungen fest und bildet den Mittelpunkt der Plotin-Ontologie-Architektur. Die LO-Kernontologie umfasst folgende fünf Teilontologien: die „LO-Kern-Ontologie“, die „mentaler-Prozess-Ontologie“, die „Leistungsindikator-Ontologie“, die „Wissensobjekt+Kontext-Ontologie“ und die „Qualifikationsdimensions-Ontologie“. Durch die Ontologien und ihre Relationen wird definiert, welche Merkmale ein LO zwingend oder optional aufweisen muss. Außerdem können im Rahmen der Offenen-Welt-Annahme zusätzliche Informationen, die ein LO spezifizieren in den Ontologien jedoch nicht berücksichtigt wurden, nachträglich integriert werden. Die „Wissensobjekt u. Kontext-Ontologie“ schlägt die Brücke zur „Wissensinhalte-Ontologie“, in der die inhaltlichen Aspekte der LO modelliert werden. Objekt und Kontext des LO werden als Instanz der institutionsspezifischen Wissensdomänen modelliert (vgl. Abbildung 4-16).

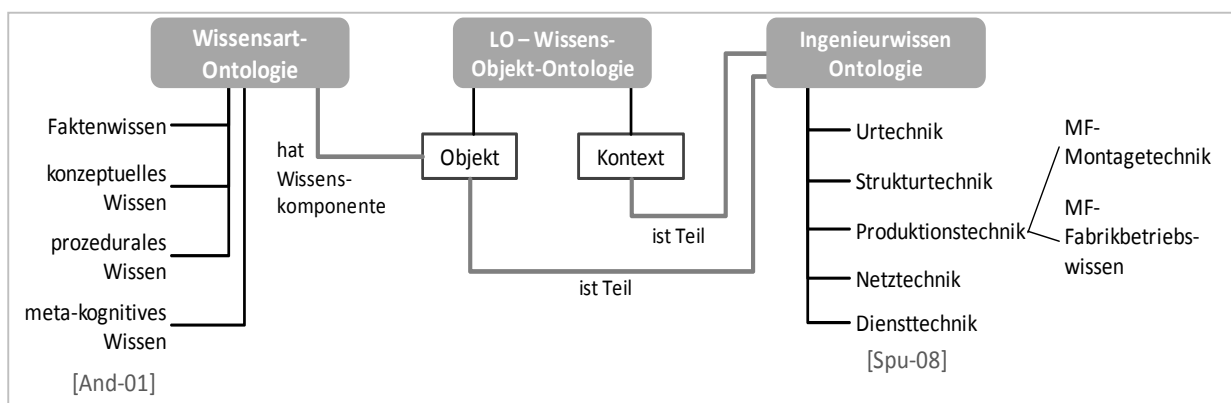


Abbildung 4-16: Relationen zwischen LO-Ontologie und Wissensontologie

Um LO automatisiert zu verarbeiten, ist die Einteilung der Wissensinhalte in Wissensarten hilfreich. Dadurch kann bspw. eine Überführung von LO in entsprechende Niveauindikatoren der Qualifikationsrahmen unterstützt werden. Dem Objekt und Kontext des LO kann daher durch entsprechende Annotation ein *Wissenstyp* zugeordnet werden.

4.6.2 Wissensinhalte-Ontologie

Durch die Kombination der „Wissensinhalte-Ontologie“ mit der „LO-Ontologie“ lassen sich perspektivisch zahlreiche Leistungsaspekte eines LO automatisiert schlussfolgern. Dazu gehören *Informationen über die Disziplin* und deren Unterdisziplinen und über die *Breite und Tiefe* des Wissensgegenstandes, der für das Lösen einer Aufgabe erforderlich ist. Die Informationen leiten sich aus der taxonomischen Struktur der Wissensinhalte-Ontologie ab. Dafür ist eine umfassende *Wissensbank über Wissensinhalte* erforderlich, die durch

entsprechende Eingaben von Personen und Maschinen langfristig auf ein Maß anwachsen kann, das das Wissen von Experten übersteigt. Die derzeit nicht automatisch generierbaren Aspekte der Breite und Tiefe werden übergangsweise in der *Performance-Indikator-Ontologie* beschrieben.

Um das Plotin-System arbeitsfähig zu machen, wurden Teilaspekte der ingenieurwissenschaftlichen Wissensontologie erstellt. Hierbei handelt es sich um ein Basiskonzept, das sukzessive erweitert und spezifiziert werden muss. Zur Modellierung wurde ein Middle-Out-Ansatz gewählt, bei dem Fachliteratur und Normen zur Konzeptionalisierung der Domäne dienten. Diese können in einem dynamischen Innovationsmarkt schnell veralten. Hier ist die Betrachtung von Bottom-Up-Ansätzen zur Modellierung von Änderungen erfolgversprechend. Durch ein Ontologie Merging von allgemeinen und institutionsspezifischen Wissensdomänen kann die Vollständigkeit und Aktualität gefördert werden. Die aktuellen Lehrinhalte von Veranstaltungen werden dabei mit allgemeinen Wissenskonzepten verglichen und Inhalte ggf. ergänzt. Hierbei ist das Risiko abzuwägen, klare taxonomische Strukturen der Domäne zu verwässern. Die Strukturen exemplarischer Wissensbereiche, wie der GPE-Lehrveranstaltung „Fabrikbetrieb“ wurden im Plotin-Konzept strukturiert. Meta-kognitive Wissensbereiche wurden in einer von der Domänenstruktur der Fachdisziplinen separaten Teilontologie modelliert. Dies ermöglicht Wissen über den Umgang und Gebrauch des Wissens innerhalb der Fachdomänen darzustellen.

4.6.3 Qualifikationsprofil-Ontologie

Die LO dienen der Erstellung von Qualifikationsprofilen und deren Vergleich im Bildungs- und Arbeitsmarkt. Die Darstellung der Profile basiert auf unterschiedlichen Klassifizierungen der Niveauindikatoren. Die „Qualifikationsprofil-Ontologie“ übernimmt die Mittlerfunktion im Vergleich der Profile. Für den Bildungsmarkt wurde dafür eine allgemeingültige Struktur von übergeordneten Qualifikationsrahmen und Leistungsbeschreibungen erstellt. Es wurden Niveauindikatoren und Niveaustufen für unterschiedliche politisch-organisatorische Bildungsebenen modelliert und die jeweiligen Instanzen in der „Niveauindikatoren-Ontologie“ zueinander in Beziehung gesetzt. Dafür wurde ein Katalog von disjunkten, LO-basierten Basiselemente-Klassen für die Niveauindikatoren definiert. Kombinationen von Basiselementen bilden je Niveaustufe die qualifikationsbezogenen Anforderungen des QR.

Die „politisch-institutionelle Bildungsebenen-Ontologie“ modelliert das Wissen über die Ebenen, in denen QR erstellt werden. Dadurch werden die Zuordnung von LO zu über- und untergeordneten QR unterstützt und unterschiedliche Spezifikationsgrade der LO auf den organisatorischen Bildungsebenen berücksichtigt. Auf den operativen Ebenen eines Studiengangs weisen LO einen hohen Operationalisierungsgrad auf, da sie an reale

Prüfungssituationen gebunden sind. Dagegen weisen LO oberhalb der Studiengangsebene vielfach sehr abstrakte LO-Aussagen auf. LO mit hohem Operationalisierungsgrad umfassen didaktische und inhaltliche Elemente, deren Granularität verringert werden muss, um sie mit Niveauindikatoren übergeordneter Qualifikationsprofile zu vergleichen. Soll die Zuordnung von Inhalt und Didaktik automatisiert unterstützt werden, bedarf es des Rückgriffs auf Wissen über Struktur und Beziehung der Instanzen. Dieses Wissen ist in der „LO-Ontologie“ und der „Wissensinhalte-Ontologie“ hinterlegt. Für eine automatische Zuordnung von LO zu Qualifikationsrahmen auf Ebenen oberhalb des Studiengangs, wurden konjunktive Abfragen erstellt, die einen automatischen Abgleich unterstützen.

4.6.4 Bildungsinstitutionenspezifische Wissensontologien

Die Erstellung und Anpassung von Ontologien zu spezifischen Qualifikationsprofilen sollte im Idealfall durch die jeweiligen Verantwortlichen erfolgen. Bei bekannter Struktur der Niveauindikatoren können diese Qualifikationsprofile von der Plotin-Wissensbank analysiert und weiterverarbeitet werden. Qualifikationsprofile unterschiedlicher politisch-organisationaler Bildungsebenen werden über die „Bildungsebenen-Ontologie“ identifiziert. Dadurch kann eine Analyse z. B. über den Deckungsgrad der Qualifikationsziele innerhalb von Bildungseinrichtungen oder im Vergleich mit übergeordneten Bildungsstandards, durchgeführt werden.

4.6.5 Schnittstelle zum Arbeitsmarkt und Zusammenfassung

Die „Qualifikationsdimensions-Ontologie“ schließt die Schnittstelle zwischen der Darstellung didaktischer, entwicklungsorientierter LO und personalplanungsorientierter Qualifikationsanforderungen durch den Aufbau entsprechender Relationen zwischen den jeweiligen Qualifikationsdimensionen (vgl. Abbildung 4-7). Die outcomebasierte Strukturierung der *LO-Ontologie* ermöglicht grundsätzlich den Einsatz der Plotin-Ontologien im Arbeits- und Bildungsmarkt. Die Anbindung von beruflichen Profilen in die Plotin-Struktur ist Gegenstand von Forschungsarbeiten [Abd-10]. Hier sind Schnittstellen zur „LO-Ontologie“ für die Qualifikationsbeschreibung sowie zur „Qualifikationsprofil-Ontologie“ für den Abgleich von Qualifikationsprofilen auf unterschiedlichen organisatorischen Bildungsebenen angedacht.

Die Wissensbank beinhaltet zwei Ontologiebereiche. Dies ist erstens ein durch die Relationen zwischen LO entstandenes semantisches Netz. In ihm sind die mentalen Prozesse und die damit verbundenen Leistungsindikatoren hinterlegt. Das darin gespeicherte Wissen gibt Aufschluss über allgemeine ingenieurwissenschaftliche Lernprozesse. Beispielsweise die Lernprozess-Abfolge vom geleiteten Anwenden über das eigenständige Ausprobieren zum innovativen Gestalten. Zweitens entsteht ein Netz zur Repräsentation der Zusammenhänge produktionstechnischer Wissensinhalte. Darin ist das Wissen über Wertschöpfungsfaktoren und ihr Zusammenspiel hinterlegt.

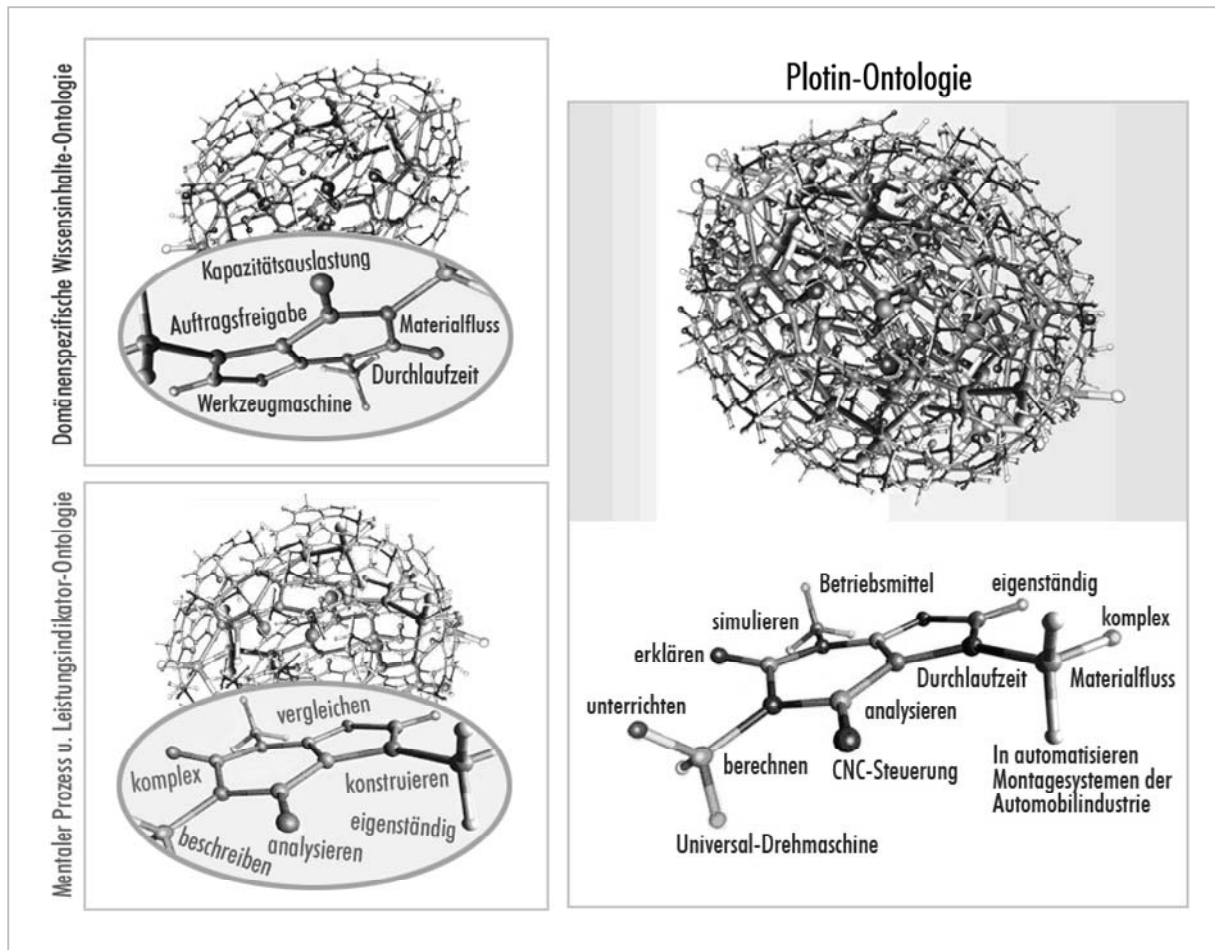


Abbildung 4-17: Semantisches, LO-basiertes Qualifikationsnetz

Durch die Kombination der didaktischen und produktionstechnischen Netze in der Plotin-Architektur entsteht ein semantisches Netz, das beide Aspekte vereint (vgl. Abbildung 4-17). Es eignet sich für die multiperspektivische Darstellung, Analyse und Synthese von Qualifizierungsprozessen. Beispielsweise können Qualifikationsprofile dargestellt werden, denen konkrete Lernergebnisse hinterlegt sind. Innerhalb des Netzes können gängige Lernwege visualisiert oder Qualifikationsanforderungen an Lernwege gekoppelt werden. Lernenden können nach Lerneinheiten benachbarte thematisch und didaktisch angrenzende Lernaktivitäten empfohlen werden.

5 Umsetzung und Verifikation

In diesem Kapitel wird die prototypische Umsetzung der SWW und der darauf basierenden Softwareanwendungen vorgestellt. Es werden manuelle und automatische Verfahren zur Speicherung des assertionalen Instanzenwissens präsentiert und implizites Wissen aus der Wissensbank geschlussfolgert. Eine Softwareanwendung zur automatischen Annotation von LO-Informationen in Qualifikationsprofilen wird entwickelt und die Nutzung der Wissensbank zur Evaluation von Lehrveranstaltungen und Lernpfaden der GPE-Studierenden dargestellt. Der Masterstudiengang GPE bildet das Anwendungsfeld des Konzepts [GPE-10]. Als exemplarische Lehrveranstaltungen wurde das Lehrmodul „Manufacturing and Factory Planning“ vom Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb der TU Berlin [MF-10] ausgewählt. Es vermittelt grundlegendes produktionstechnisches Wissen. Der Abgleich der Lernziele erfolgte mit dem SEEC-QR, der seine Praxistauglichkeit an britischen Hochschulen über Jahre nachgewiesen hat und sich durch Vollständigkeit, Relevanz und konsequente LO-Orientierung auszeichnet [Moo-05]. Die Ergebnisse der prototypischen Verifikation der Softwareanwendungen sind weitgehend für den Hochschulbereich generalisierbar und können auf Qualifizierungsangebote anderer Bildungsangebote, einschließlich der informellen beruflichen Bildung, angewendet werden.

5.1 Beschreibung des Anwendungsfeldes

Internationale Kooperationen zwischen Unternehmen fordern interkulturelles und multidisziplinäres Wissen von Absolventen technischer Fachrichtungen. Ziel des GPE-Programms ist es, Absolventen dazu zu befähigen, im Grenzbereich von Technik und Wirtschaft führende Positionen einzunehmen und erfolgreich in internationalen Wertschöpfungsketten zu agieren. GPE wird als Vollzeitstudium über vier Semester an der TU Berlin angeboten. Der Studiengang wendet sich an hervorragende internationale Bachelor-Absolventen, die eine Verbesserung ihres Kompetenzportfolios in den Bereichen Management und Technologie anstreben und bereits einschlägige Berufserfahrung nachweisen können. Besonderes Merkmal des Programms ist die starke internationale Orientierung mit 95% internationalen Studierenden aus mehr als 40 Staaten.

Die Modularisierung des Lehrangebots in GPE garantiert vielfältige Wahlmöglichkeiten aus den Modulgruppen Production, Engineering Sciences, Management, Intercultural Communication und Special Profile. Sie beinhaltet für die Studierenden die Chance und Verantwortung, ihr Curriculum individuell zu gestalten. GPE baut die Anrechnung von Studienleistungen auf dem ECTS auf. 90 LP werden individuell aus Vorlesungen, Übungen und Projekten innerhalb der fünf Modulgruppen gewählt. Hiervon werden 48 Leistungspunkte

(LP) als Wahlpflichtmodule und 42 LP als Wahlmodule belegt. 18 LP werden für Praktika vergeben. Durch den Nachweis der Fähigkeit zum selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten in Form einer Masterarbeit wird das Studium abgeschlossen. Mit der Master-Urkunde wird ein Diploma Supplement ausgegeben, das Arbeitgeber über Strukturen des deutschen Hochschulsystems, die Ausbildung in GPE und die vom Studierenden gewählte Kurse und seine Lernergebnisse informiert.

Die administrativen Prozesse werden durch ein datenbankbasiertes Softwaresystem, das sogenannte GPE-Informationssystem, unterstützt. Studierende, Alumni, Bewerber und Lehrende haben damit weltweiten Zugriff auf studiengangsspezifische Informationen. Mit dem System können sie u. a. Prüfungen anmelden, Prüfungsergebnisse eingeben bzw. erfahren, Informationen zu Fächern abrufen, Kontakt zu Studierenden, Betreuern und Alumni aufbauen, das persönliche Curriculum planen sowie aktuelle Ereignisse recherchieren. Alumni nutzen die Software als Datenbank und Kommunikationsforum zur Gestaltung ihres persönlichen Netzwerks.

5.2 Aufbau der Plotin-Wissensbank

Abbildung 5-1 zeigt die Struktur mit der ein intelligenter Agent von der Wissensbank Informationen abfragt. Die Informationen stammen aus WWW-Dokumenten, z. B. Modul- oder Kursbeschreibungen mit semantischer Annotation, die dem Agenten, z. B. einem Course Finder, zur Verfügung gestellt werden. Änderungen am LO-Qualifikationsmodell durch neue Forschungserkenntnisse oder Umfeldänderungen können im Rahmen der Ontologiewartung auf die Ontologie übertragen werden. In Kapitel 4 wurden die Strukturen und Zusammenhänge des Plotin-Konzeptes dargestellt, die in der T-Box als formalisiertes LO-Qualifikationsmodell hinterlegt wurden. Das formalisierte Modell wurde mit Hilfe des Ontologie-Editors Protégé erstellt. Die Funktionsfähigkeit der Wissensbank erfordert die Anreicherung der A-Box mit assertionalem Instanzwissen. Dies erfolgt entweder durch manuelle Eingabe von LO über die Protégé Oberfläche oder durch das Auslesen von annotierten Onlinedokumenten. Dies erfordert eine vorherige manuelle oder automatisierte Annotation der Qualifikationsbeschreibungen. Die manuelle Annotation von LO ist aufwändig. Für die automatisierte Einspeisung von Qualifikationsbeschreibungen wurde daher eine Annotations-Software, der sogenannte Learning-Outcome-Generator (LOG), entwickelt. Mit Hilfe des LOG werden die natürlichsprachlichen LO-Beschreibungen automatisch in die formale Notation der Wissensrepräsentationssprache OWL übersetzt. Das Informationsreservoir der A-Box speist sich aus den annotierten Qualifikationsbeschreibungen und aus den Schlussfolgerungen über Klassen, Relationen und Instanzen, mit denen die Plotin-Wissensbank implizites Wissen explizit macht.

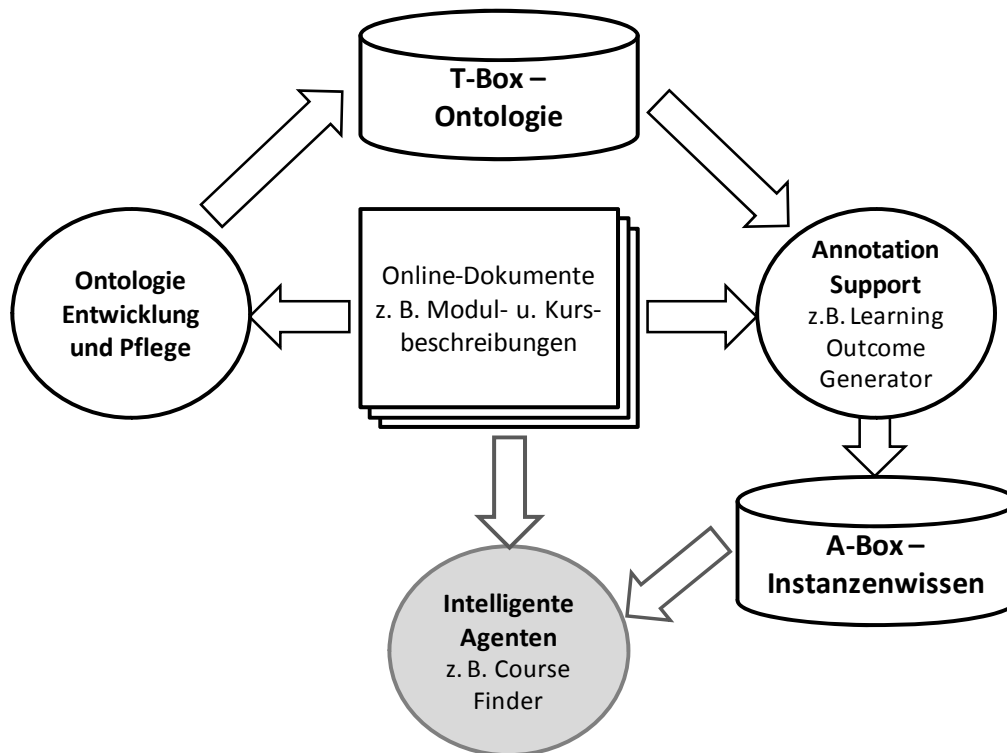


Abbildung 5-1: Plotin Software-Framework

Die Plotin-Ontologie-Architektur kann zusätzlich externe Ontologien integrieren, um spezifische Abfragen durchführen zu können. Beispielsweise können die im Rahmen des Forschungsprojektes H.E.Le.N entwickelten institutionsspezifischen Ontologien zur Beschreibung von Bildungssystemen eingebunden werden. Die Vernetzung des WWW erlaubt es den Agenten, dafür auf verteilte Wissensbanken zuzugreifen.

Qualifikationsprofile z. B. GPE-Modul- und Kursbeschreibungen werden auf Basis des LO-Qualifikationsmodells erstellt und im WWW veröffentlicht. LO und Wissens Elemente der Lehrveranstaltung „Manufacturing and Factory Planning“ (MFP) und der „Produktionstechnischen Projektübung“ wurden mit Hilfe von Protégé manuell in die A-Box eingespeist. Außerdem wurden die Niveaudekriptoren aus übergeordneten QR, wie dem SEEC aus dem britischen Hochschulwesen und dem 4ING-QR, in den entsprechenden Niveaustufen hinterlegt. Abbildung 5-2 zeigt die Protégé-Eingabeoberfläche. Auf der linken oberen Seite ist die Klassenstruktur dargestellt, die die Konzeptklassifikationsbäume der LO und Qualifikationsprofile beschreibt. Darunter sind die Relationen aufgelistet, die die Zusammenhänge der Klassen und Instanzen beschreiben. Auf der rechten Seite werden die Relationen von „has_Verb“ mit der Domain „Learning Outcomes“, den GPE-LO Instanzen, und der Range „Verb“, den Verben des kognitiven, affektiven und psychomotorischen Bereichs, angezeigt.

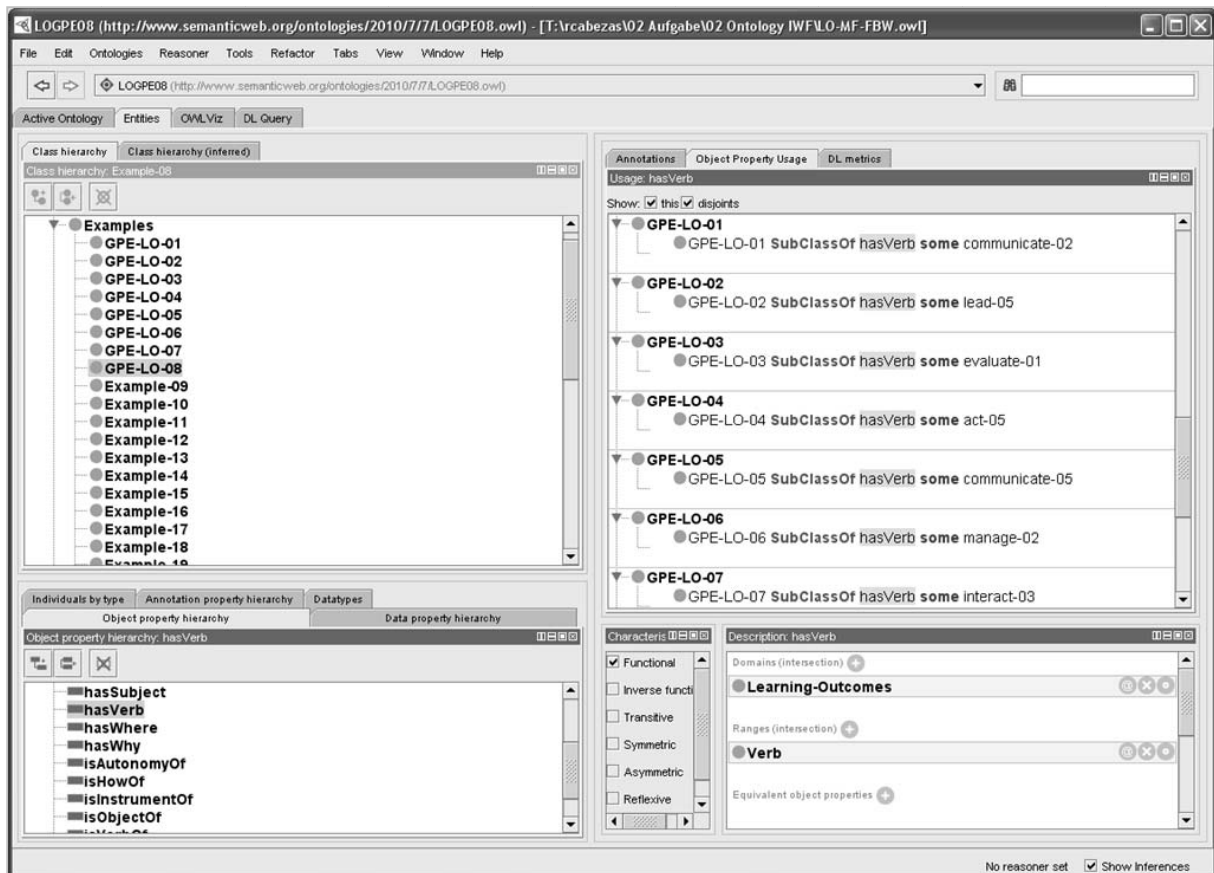


Abbildung 5-2: Screenshot der Protégé-Eingabeoberfläche

5.2.1 Schlussfolgern

Zunehmende Mengen an Qualifikationsinformationen führen innerhalb der Wissensbank zu größeren Mengen implizit vorhandenen Wissens. Die automatische Identifikation dieses Wissens stellt einen wichtigen Aspekt der Wissensbank dar, um die Planung von Qualifizierung zu unterstützen. Dies erfolgt mit Hilfe von komplexen Klassen und konjunktiven Anfragen. Dadurch können beispielsweise Curriculumsbeschreibungen in QR eingeordnet und LO anhand inhaltlicher, prozessualer und leistungsbezogener Kriterien miteinander verglichen werden.

LO können als gleich, ähnlich, über- oder untergeordnet zu anderen LO interpretiert werden, sofern sie auf einem gemeinsamen Modell basieren, das Eigenschaften vergleichbar macht. Wie ein automatisches Schlussfolgern erfolgen kann, wird am Beispiel eines simplen Vergleichsverfahrens der zwei LO, „SEEC-01“ und „GPE-LO-02“, dargestellt.

SEEC -01: Der Studierende kann unter Anleitung einfache exemplarische
Materialflüsse in industriellen Fertigungssystemen skizzieren. (12)

GPE-LO-02: Der Studierende kann eigenständig den Weg der Zylinderköpfe in
einem Montagesystem für 4-Zylinder-Otto-Verbrennungskraftmaschinen
analysieren. (13)

Bei SEEC-01 handelt es sich um eine Beschreibung, die in allen Elementen eine Teilmenge bzw. gleiche Menge des GPE-LO-02 darstellt. Der Lerngegenstand „den_Weg_der_Zylinderköpfe“ stellt einen „exemplarischen_Materialfluss“ und der Kontext „Montage_von_4-Zylinder-Otto-Verbrennungskraftmaschinen“ ein „industrielles-Fertigungssystem“ dar. Diese Zusammenhänge werden über die domänenspezifische Wissensontologie hergestellt. Diese kann um spezifische Kontextontologien erweitert werden. Der mentale Prozess „skizzieren“ wird der kognitiven Dimension „verstehen“ zugeordnet, der der Dimension „analysieren“ taxonomisch untergeordnet ist. Der Leistungsindikator „unter_Anleitung“ stellt eine geringere Leistungsanforderung als „selbstständige“ Aufgabenbearbeitung dar. Wird GPE-LO-02 als Bildungsstandard und GPE-LO-02 als Leistungsbeschreibung eines Kurses aufgefasst, schließt das System automatisch, dass der jeweilige Standard erfüllt ist.

5.2.2 Einordnung von Qualifikationen in Anforderungsprofile

Die Prüfung, ob Qualifikationen Anforderungsprofile erfüllen und wo Leistungsbeschreibungen in QR eingeordnet werden können, wird durch automatisches Schlussfolgern mit der GPE-Wissensbank unterstützt. Aus der Plotin-Wissensbank wird exemplarisch das Qualifikationsprofil des Moduls MFP auf seinen Beitrag zum SEEC-QR untersucht. Einzelne LO der Kurse werden auf Ihre Subsumtion mit LO-Anforderungen des QR verglichen. Dafür wurden zum einen die Niveaudekriptoren des SEEC-QR als Qualifikationsanforderungen in Form von komplexen Klassen modelliert. Zum anderen wurden LO aus dem Modulkatalog von GPE in der Wissensbank hinterlegt.

Ein ähnlicher Operationalisierungsgrad, ein definiertes Vokabular und Wissen über die Zusammenhänge der Entitäten sind zum Vergleich der LO erforderlich. Die unterschiedliche Granularität in den Qualifikationsprofilen und die Vielfalt des natürlichsprachlichen Vokabulars der LO-Aussagen im Hinblick auf den mentalen Prozess, das Objekt, den Kontext und die Leistungsindikatoren erschweren den Vergleich. Zusätzlich ist die Dokumentation der zahlreichen Zusammenhänge zwischen Entitäten einer Wissensdomäne erforderlich, die einen beachtlichen Modellierungsaufwand darstellt. Für die Tests wurden die LO-Beschreibungen von GPE und des SEEC-QR daher partiell angepasst, um das Funktionieren der Wissensbank zu gewährleisten. Abbildung 5-3 zeigt, wie einzelne MFP-LO Anforderungen des SEEC-QR automatisch zugeordnet werden. Damit kann dem Planer der Lehrveranstaltung während der Erstellung oder Änderung seines Moduls beispielsweise angezeigt werden, welche Aspekte übergeordneter Qualifikationsvorgaben seine Lehrveranstaltung bedient. Er kann damit prüfen, ob die intendierten oder nachgewiesenen LO die Anforderungen für eine zertifizierte Leistung erfüllen.

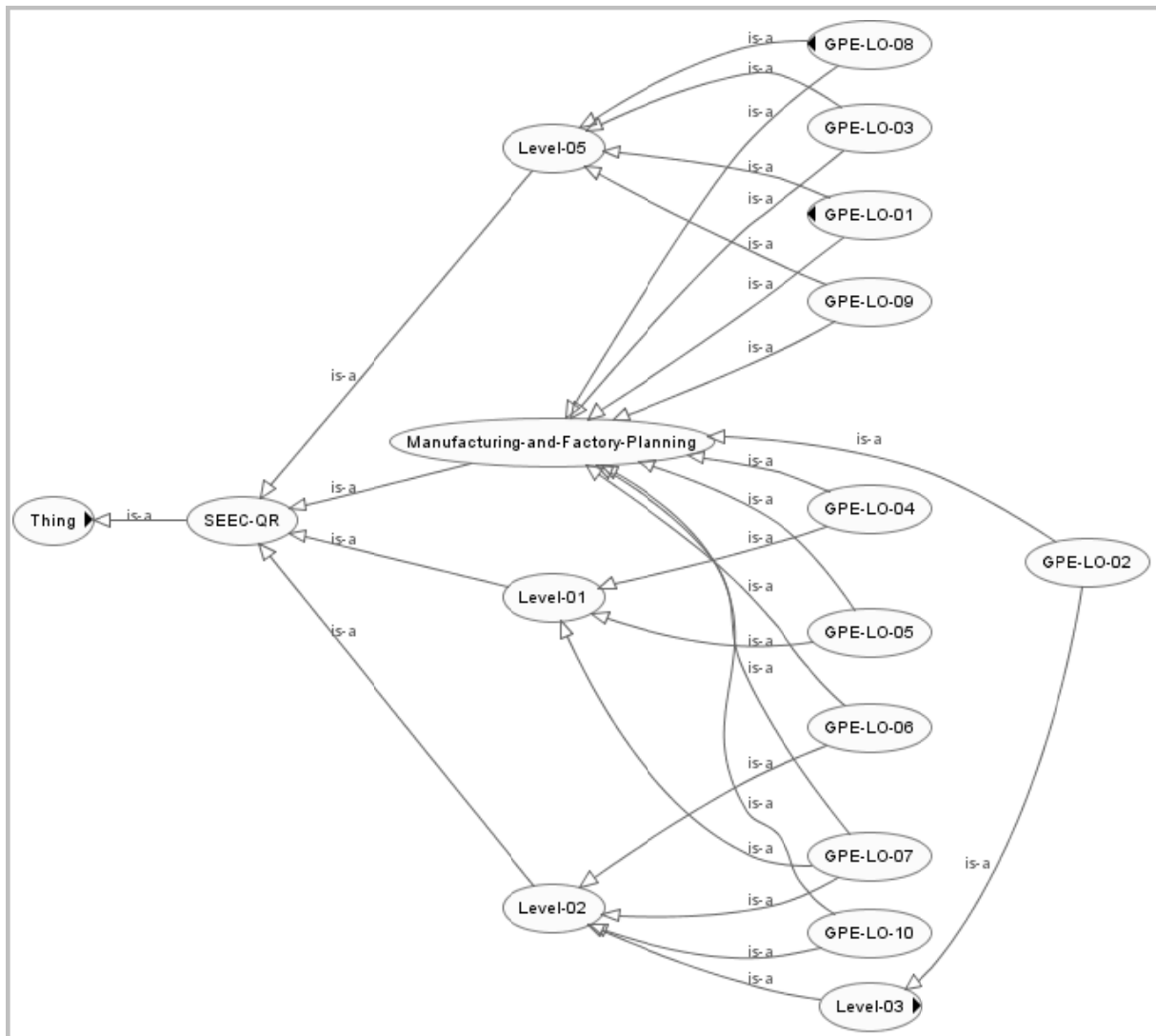


Abbildung 5-3: Screenshot über die automatisierte Schlussfolgerung von MFP-LO zum SEEC-QR

Auf der linken Seite der Abbildung ist die hierarchische Struktur des SEEC-QR mit seinen Niveaus dargestellt. Der SEEC-QR hat fünf Niveaustufen, wobei „Level 1“ das Fähigkeitsniveau eines Bachelor nach dem ersten Jahr und „Level 5“ das Fähigkeitsniveau eines Doktoranden mit Abschluss seiner Promotion darstellt. Den Niveaus sind fünf bis zwanzig Indikatoren in Form von Qualifikationsmindestanforderungen hinterlegt. Das Bild zeigt auf der rechten Seite die GPE-LO 01 bis 10 die die Lernergebnisse des Kurses „Exercise Manufacturing und Factory Planning“ repräsentieren. Die Relationen zwischen den GPE-LO und den unterschiedlichen Niveauindikatoren wurden von der Wissensbank automatisch geschlussfolgert. Die Zuordnung erfolgt durch den Abgleich der Niveaudekriptoren mit den entsprechenden Leistungskennzahlen der LO auf Basis der Informationen zum mentalen Prozess und den Leistungsindikatoren. Die Struktur der Wissensbank erlaubt neben der eindeutigen Zuordnung, z. B. GPE-LO-01 zu Level-05, auch die zu mehreren Anforderungsniveaus, z. B. GPE-LO-07 zu Level-01 und Level-02. Eine mehrfache Zuordnung sollte aufgrund der taxonomischen Struktur der Wissensbank sogar

der Normalfall sein, da einfachere Niveauanforderungen im Rahmen von schwierigen Aufgaben grundsätzlich auch erfüllt werden. Bei einer mehrfachen Zuordnung von LO zu Niveaus gilt daher jeweils das höchste als Anforderungsmaßstab. Eine mehrfache Zuordnung kann aber z. B. auch aufgrund von Inkonsistenzen in den Beschreibungen von QR-Anforderungen und Überschneidungsbereichen von Niveauindikatoren und LO erfolgen. Dies zeigt, dass auch „ungenaue“ Aussagen, z. B. über LO die an Grenzbereichen von Qualifikationsdimensionen angesiedelt sind, innerhalb der Wissensbank getroffen werden können, ohne zwangsläufig Inkonsistenzen zu erzeugen. Dadurch können beispielsweise auch abstrakt formulierte Qualifikationsanforderungen höherer Bildungsebenen dennoch referenziert werden.

5.3 Learning Outcomes Generator (LOG)

Der LOG funktioniert als eigenständige Anwendung in den Eingabemasken der Modul- und Kursbeschreibung im GPE-Informationssystem und kann über Standard-Webbrowser ausgeführt werden. Die Anwendung wurde modular ausgelegt, um eine separate Weiterentwicklung des Tools und eine plattformunabhängige Verwendung zu ermöglichen. Der LOG verfügt über drei Eingabeebenen mit unterschiedlichen Rechten für den Nutzer. Auf der *Programmierungs-/Masterebene* können alle Funktionalitäten des LOG bearbeitet, die Struktur der Eingabemasken angepasst und die Datenbankeinträge definiert werden. Auf dieser Ebene werden die grundlegenden didaktischen und informationstechnischen Entscheidungen getroffen. Auf der *LOG-Betreuerebene* werden die inhaltlichen Details der LO, z. B. das Vokabular, die taxonomische Struktur und die Wertbereiche der Attribute durch einen didaktisch erfahrenen Administrator bearbeitet. Er entscheidet über inhaltliche Vorschläge der Benutzer und pflegt neue Forschungs- und Testergebnisse ein. Auf der *Anwender Ebene* erstellen die Lehrenden die LO für die Leistungsbeschreibungen. Anwender können inhaltliche Ergänzungen vorschlagen, die direkt in den LOG übernommen oder an den Administrator für die Freigabeentscheidung weitergeleitet werden.

5.3.1 Softwarearchitektur

Modul- und Kursbeschreibungen werden durch eine Softwareanwendung im GPE-Informationssystem generiert und veröffentlicht. GPE-Lehrende bearbeiten online die Modul- und Kursbeschreibungen. Zur LO-Beschreibung wird der LOG über ein Eingabefeld in der Leistungsbeschreibung aufgerufen (vgl. Abbildung 5-4). Die Anwendung wird in einem separaten Eingabefenster geöffnet. In einer Übergangszeit ist es zusätzlich möglich, die LO ohne LOG als Freitext in der Leistungsbeschreibung einzugeben.

Die LO-Beschreibung wird anhand des LO-Qualifikationsmodells mit Hilfe einer Eingabemaske aus fünf Fenstern erstellt. Am Schluss der LO-Erstellung werden die Daten in

SQL-Notation in der GPE-Datenbank gespeichert. Geänderte Leistungsbeschreibungen werden in neuen Versionen hinterlegt, um Abfragen zu ermöglichen, die ältere Versionen der Beschreibung, beispielsweise für Lernwegevaluationen, erfordern. Außerdem wird in der Datenbank hinterlegt, zu welchen Lehrveranstaltungen ein LO gehört und wer die Eingabe durchgeführt hat.

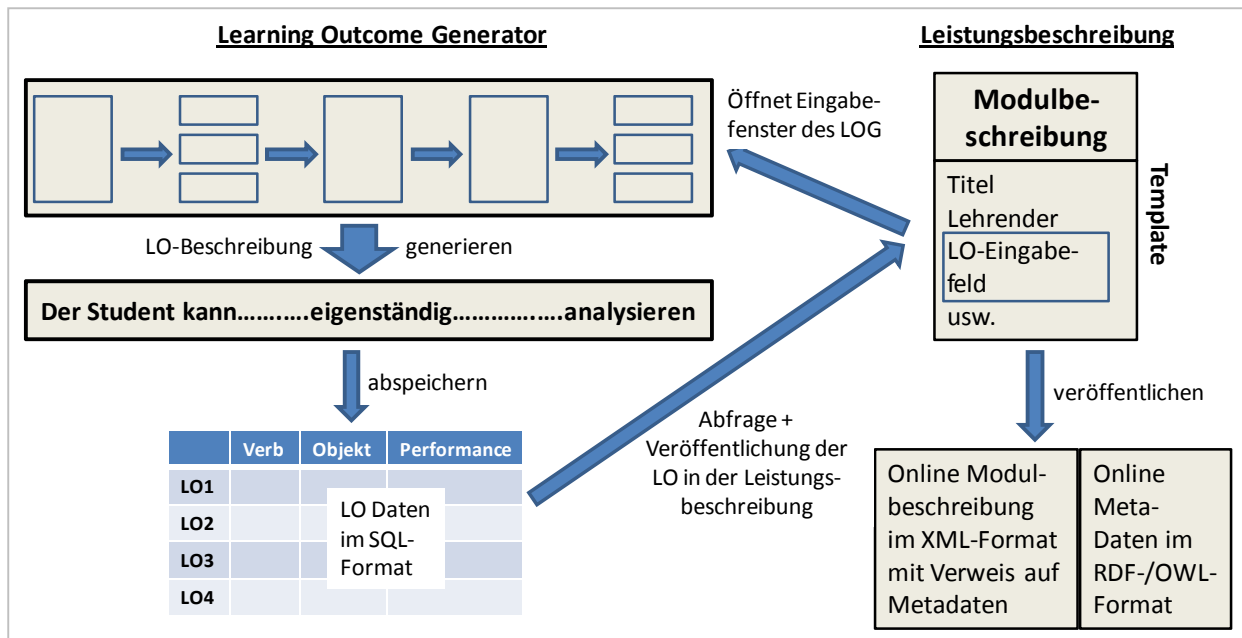


Abbildung 5-4: LOG-Architektur

Die GPE-Webseite fragt die LO aus der GPE-Datenbank ab und veröffentlicht sie im Internet als Teil von Leistungsbeschreibungen. Zusätzlich werden Metadaten in RDF- bzw. OWL-Notation zu den LO generiert. Die Metadaten werden in einem separaten Webdokument veröffentlicht und dadurch die Interoperabilität der Daten mit Softwareagenten außerhalb des GPE-Informationssystems sichergestellt (vgl. Abbildung 5-4).

5.3.2 LO-Generierung

Die Softwareanwendung ermöglicht einen weitgehend intuitiven Umgang. Erste Tests ergaben, dass sich Anwender in der LO-Erstellung gut zurechtfinden und zielgerichtet Hilfe und Erklärungen durch das Programm erhalten. Eine gute Übersichtlichkeit ermöglicht es dem geübten Anwender, rasch einzelne LO-Sätze zu bearbeiten. Außerdem können viele Eingaben anstelle von Texteingabe durch das Anklicken vorgegebener Felder erfolgen. Ein Fortschrittsbalken informiert während der Eingabe, welche Position des Eingabeprozesses erreicht ist.

Auf der zentralen Bearbeitungsseite können bereits erstellte LO sortiert, bearbeitet oder gelöscht werden. Die LO können durch Veränderung der Reihenfolge und Einfügen von Überschriften strukturiert werden. Der LOG gibt eine definierte Struktur vor, die je LO aus zwei Sätzen besteht. Der erste Satz umfasst den mentalen Prozess, das Objekt und seinen

Kontext und Angaben über die Komplexität der Aufgabe und die Autonomie des Lernenden. Satz zwei beschreibt die Attribute Erfüllungsgrad, Anwendungsgrad und Lerntransfer des LO.

Der erste Eingabeschritt erfolgt auf der zentralen Bearbeitungsseite. Der Anwender wählt, ob er ein affektiv, kognitiv oder psychomotorisch akzentuiertes LO erstellen will. Eine Kurzbeschreibung zu den jeweiligen Dimensionen unterstützt den ungeübten Nutzer. Für LO der kognitiven Dimension wird in Eingabemaske 1 ein Verb ausgewählt, das den mentalen Prozess spezifiziert. Es werden Kategorien von Lernzieltaxonomien mit Verben angezeigt, die besondere Relevanz für die jeweilige Kategorie haben. Der Anwender wählt per Computermouse ein Verb aus oder kann sich alternative Verben in einem separaten Fenster anzeigen lassen. Außerdem kann er dem Administrator Vorschläge für Verben unterbreiten, die nicht in der Auswahl enthalten sind (vgl. Abbildung 5-5).

GLOBAL PRODUCT ENGINEERING
The masters program of the TU-Berlin

logout

Master Data Management

LOG

The students can analyze under supervision a material flow with low complexity in automated systems of the automotive industry. In familiar situations he fulfills in most cases the task for common applications.

Verb					
Knowing	Applying	Understanding	Analysis	Evaluation	Synthesis
list	apply	clarify	analyze	compare	construct
outline	calculate	classify	categorize	conclude	create
quote	demonstrate	describe	diagnose	evaluate	develop
recall	operate	differentiate	differentiate	judge	hypothesize
recite	solve	illustrate	elucidate	measure	integrate
reproduce	use	locate	examine	prioritize	organize
arrange	verify	summarize	identify	question	plan
collect	perform	understand	investigate	rate	predict

Admin

back

Schritt 1 von 8

next →

Abbildung 5-5: Screenshot der LOG-Eingabemaske

Der Benutzer wechselt nach der Verbauswahl zur Eingabeseite 2 in der die LO-Beschreibung durch Freitexteingabe des Objektes und des Kontextes und durch Attribute zum Komplexitätsgrad der Aufgabe und zur Autonomie der Aufgabenerfüllung verfeinert wird. Der Anwender sieht den Satz während der Erstellung im oberen Feld des Fensters. Er kann dadurch unterschiedliche Formulierungen testen. Die Attribute des LO werden wie die Verben per Button aus einer vorgegebenen Menge ausgewählt. Der Anwender kann außerdem ein nicht in der Auswahl befindliches Attribut neu definieren oder auf die Eingabe

eines Attributes verzichten. Das Objekt und der Kontext des Satzes werden als Freitext in ein separates Feld eingegeben. Perspektivisch wird die Objekt- und Kontexteingabe mit Wissensontologien verbunden. Dadurch kann die Wissensbank mit dem Anwender in einen Diskurs über Begriffe und Strukturen der Wissensdomänen eintreten.

Nach Durchlaufen der Eingabemaske 2 ist der erste Satz abgeschlossen und in Maske 3 der zweite Satz des LO mit den Attributen Kenntnis der Verhältnisse, Erfüllungsgrad und Anwendungsfeld definiert. Der Satz zwei ist optional und hängt vom intendierten Operationalisierungsgrad des LO ab. Beide Sätze bilden gemeinsam einen Datensatz. Am Ende der Eingabe eines LO wird der Anwender wieder auf die Hauptseite geführt.

Die Eingabe der affektiven und psychomotorischen Dimensionen erfolgt in der gleichen Logik in einer in Teilen abgewandelten Satzstruktur.

5.4 LO-basierte Evaluation

Durch individualisierte, LO-basierte Verfahren können quantitative Aspekte der Lehrqualität und Lernproduktivität in eine Evaluation einfließen. Erste Tests mit LO-basierten Evaluationen wurden im Jahr 2008 in GPE durchgeführt. Sie ermöglichen aussagekräftigere Analysen von Qualifizierungsprozessen [Rei-09]. Mit den Evaluationen wurde die Messung von zwei Kennziffern angestrebt: die Lernproduktivität und die Verwertungsqualität.

Die Analyse der Lernproduktivität basiert auf *Kursevaluationen* anhand eines standardisierten Fragebogens. Es werden u. a. Aspekte wie Aufwand, Motivation, Zufriedenheit mit Lehrmethoden und –mitteln durch die Studierenden bewertet. Außerdem wird überprüft, ob die Lehraktivitäten mit der Modulbeschreibung übereinstimmen. Die Resultate geben einen Überblick über die Kundenzufriedenheit und liefern Indikatoren für das Qualitätsmanagement und für die kritische Analyse einer Veranstaltung durch den Lehrenden.

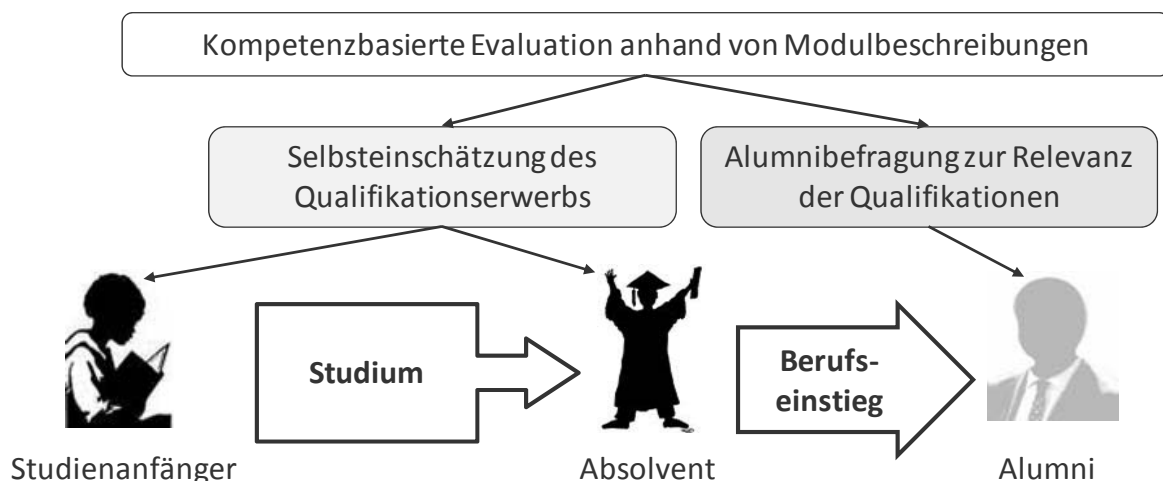


Abbildung 5-6: Evaluation von Kundengruppen am Beispiel des internationalen Masterstudiengangs GPE

Zweitens wird die Verwertungsqualität durch *Langzeitevaluationen* gemessen. Hierfür werden Studierende vor Beginn des Studiums, am Ende des Studiums und nach vier oder mehr Berufsjahren als Alumni befragt (vgl. Abbildung 5-6). Die Methode erfolgt auf Basis von LO, deren individueller Erwerb und berufsbezogene Relevanz durch die GPE Studierenden und Alumni eingeschätzt wird.

Der Fragebogen umfasst einleitend Fragen zur Person und zur Bewertung der Attraktivität von Modulgruppen. Den zweiten Teil bildet eine Selbsteinschätzung des Qualifikationsprofils, der auf abstrahierten LO des Modulkatalogs basiert. Fragen beziehen sich auf allgemeine Qualifikationen und modulspezifische LO. Zum allgemeinen Teil gehören Fragen über die erworbenen Qualifikationen zu grundlegenden fachlichen und methodischen Problemstellungen der Ingenieurwissenschaften, zu wissenschaftlichem Arbeiten, zu persönlichen, sozialen, metakognitiven und strategischen Qualifikationen [Rei-09]. Im modulspezifischen Teil werden Grundaussagen der Modulbeschreibungen aufgegriffen und als LO-Aussage z. B. in der folgenden Form dargestellt:

I can optimize material and manufacturing flow within companies.

Die LO-Aussagen wurden durch manuelle Extraktion aus den Modulbeschreibungen gewonnen. Eine Automatisierung war aufgrund unstrukturierter Modulbeschreibungen ohne verbindliches Qualifikationsmodell und fehlender Hinterlegung der LO in einer maschinenlesbaren Form zu damaligem Zeitpunkt nicht möglich.

Dies war einer der Gründe für die Einführung des Software-Werkzeugs *Unizensus* zur Unterstützung der GPE-Evaluationsprozesse im Jahr 2008. Das System ermöglicht einen hohen Automatisierungsgrad in der Erstellung und Auswertung von Evaluationsbögen, die papierbasiert oder online durch die Studierenden ausgefüllt werden [Blu-10]. Die Organisation der Befragung und das Weitermelden der Ergebnisse erfolgt durch die Studiengangsadministration. Die online- oder papierbasiert ausgefüllten Bögen werden online eingelesen und durch das Unizensus System verarbeitet. Dies umfasst u. a. die Zusammenführung der Ergebnisse nach statistischen Methoden auf Kurs-, Modul- oder Studiengangsebene (vgl. Abbildung 5-7).

Die Erstellung der Evaluationsbögen kann mit Unizensus *manuell oder automatisiert* erfolgen. Die manuelle Erstellung LO-basierter Kurs-Evaluationen bedarf eines Personalaufwands, der den Zugewinn an Aussagequalität in GPE bisher nicht rechtfertigte. Durch eine maschinenlesbare LO-Darstellung ist dagegen eine *automatische Integration von LO-basierten Fragestellungen* in der Kursevaluation möglich. Das Unizensus-System hat die Funktionalität, die durch den LOG annotierten LO-Beschreibungen auszulesen und weiterzuverarbeiten. Dadurch können LO-basierte Fragebögen erstellt werden, mit denen

beispielsweise der Erreichungsgrad der angestrebten LO in Selbsteinschätzung gemessen werden kann.

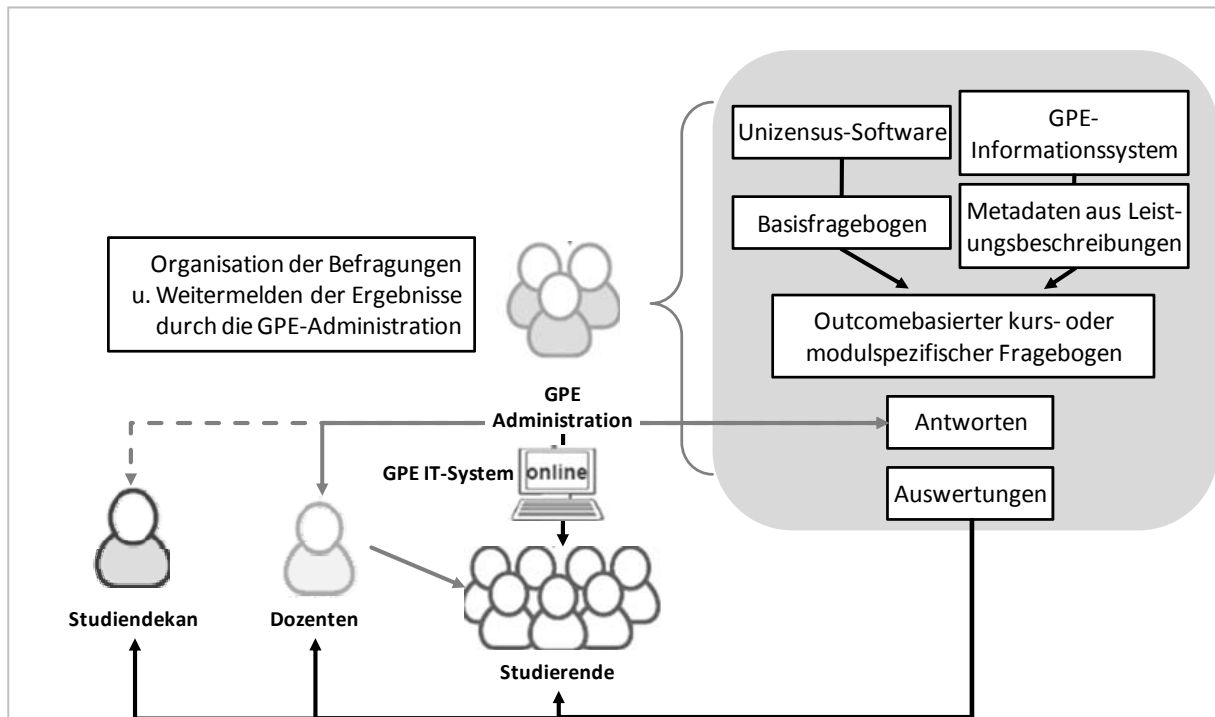


Abbildung 5-7: Semi-automatisierter GPE-Evaluationsprozess mit Unizensus-Software (in Anlehnung an [Her-09])

Eine Schwierigkeit stellte bisher die fehlende Interoperabilität des Systems mit der GPE-Softwarearchitektur dar. Im Rahmen einer grundlegenden Neugestaltung des GPE-Informationssystems werden derzeit die erforderlichen Schnittstellen erstellt, damit das Unizensus-System auf die annotierten LO-Beschreibungen des GPE-Informationssystems zugreifen kann. Dadurch kann künftig ein Basisfragebogen mit LO-Informationen angereichert werden. Derzeit werden automatisierte Methoden zur Generierung von LO-basierten Evaluationsbögen mit dem GPE System, u. a. im Rahmen einer Bachelorarbeit, untersucht. Erste prototypische Tests einer Kombination aus mit dem LOG erstellten LO-basierten Modulbeschreibungen und dem Unizensus-System werden nach Fertigstellung des GPE Systems im April 2011 erwartet.

6 Kritische Würdigung und Zukunftsperspektiven

6.1 Nutzen und Risiken

„Nicht alles, das man zählen kann, zählt. Und nicht alles, was zählt, kann man zählen“
Dieses Zitat von EINSTEIN trifft auch auf Qualifikationen zu. Die in einem Qualifikationsprofil hinterlegten LO geben keine hinreichenden Informationen, ob eine Person die ihr gestellte Aufgabe bewältigen wird. Gleichzeitig kann selbst ein sehr detailliertes und umfangreiches Qualifikationsprofil die Fähigkeiten eines Menschen nicht gänzlich erfassen. Was der Lernende als persönliche Outcomes einer Lehrveranstaltung erzielt, ergibt sich erst aus seiner Interaktion mit dem Lernmittel. Das Hidden Curriculum kann qualitativ und quantitativ hochwertiger sein, als die intendierten Lernergebnisse. LO-Aussagen bergen daher die Gefahr der Scheingenauigkeit. Ihre Aussagekraft beschränkt sich auf einen Teil der Lehrveranstaltung.

LO bieten aber eine hervorragende Möglichkeit, die wichtigsten Aspekte einer Lehrveranstaltung zu beschreiben und definieren einen Mindeststandard, der dazu beiträgt, eine Verbindlichkeit in Produktivität und Qualität zu etablieren. Denn erst die Festlegung einer Maßeinheit ermöglicht eine quantitative Aussage über Qualifizierungsprozesse. Wie das Wortspiel „Miss es oder vergiss es“ beschreibt, werden im Unternehmenscontrolling gerade die quantitativen Messgrößen zur Bewertung von Produkten und Prozessen herangezogen. Die Darstellung der LO bildet daher aussagenlogisch eine notwendige Bedingung für eine aussagekräftige Leistungsbewertung von Qualifizierungsprozessen.

Im Gegensatz zu klassischen Softwareanwendungen können mit Hilfe der Semantik-Web-Technologien Informationen aus allen Bereichen der Planung und Durchführung von Bildungsleistungen *gesammelt* und maschinenlesbar *abgespeichert* werden. Durch Relationen und Regeln wird Wissen über Zusammenhänge hinterlegt und für zukünftige Problemstellungen verfügbar gemacht. Dies ermöglicht einer globalen Gemeinschaft ingenieurwissenschaftliche Qualifikationen und deren Strukturen zu beschreiben.

Die Dynamik des Bildungsmarktes erfordert die kontinuierliche Anpassung von Qualifikationsprofilen. Die Offene-Welt-Annahme ermöglicht das Einbringen von neuen Strukturen in Form von Klassen, Relationen, Instanzen, Axiomen oder Regeln, ohne Inkonsistenzen in der bestehenden Struktur hervorzurufen. Dennoch auftretende Inkonsistenzen, z. B. aufgrund von widersprüchlichen Aussagen durch Axiome und abgeschlossene Klassen, werden durch Inferenzmaschinen erkannt. Veraltetes Wissen kann gelöscht werden, ohne die Funktionsfähigkeit der Wissensbank zu gefährden. Die Semantik-

Web-Wissensbank ist in ihrer Aufnahmekapazität grundsätzlich nicht eingeschränkt und kann im globalen Maßstab als Datenbank zur Qualifikationsrepräsentation dienen.

Semantik-Web-Technologien bieten Lösungen für eine erhöhte Markttransparenz, die die Akzeptanz der Stakeholder des Bildungsmarktes zur Einführung neuer Standards und Werkzeuge erfordern. Das informationstechnische Können junger Menschen, der „Digital Natives“, wird die Idee des Semantik-Web befördern und damit dazu beitragen, dass sich auch im Bildungsmarkt Werkzeuge für die verbesserte Planung von Qualifizierungsprozessen etablieren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die LO-basierte Darstellung von Qualifikationen die Entwicklung des Bildungsmarktes zu mehr Transparenz fördert. Der Aufbau einer SWW unterstützt diesen Prozess durch gezielte Informationsbereitstellung. Es ergeben sich dadurch Potentiale für intelligente Softwareagenten, die Stakeholdern des Bildungsmarktes spezifische, qualitativ hochwertige Informationen über Qualifizierungsprozesse zur Verfügung stellen und dadurch die Ressourcenproduktivität und Verwertungsqualität des Bildungsmarktes steigern.

6.2 Verwertungsperspektiven

In einem planwirtschaftlich geprägten Bildungssystem hat eine dezentrale Verhandlung zwischen Angebot und Nachfrage wenig Bedeutung. Der Markt für die Gestaltung des eigenen Lernzielprofils, für die Abstimmung von Curricula und für die Anrechnung von externen und internen Prüfungsleistungen ist daher zur Zeit in Deutschland zu gering, um die Entwicklung intelligenter Softwareanwendungen voranzutreiben. Erst durch eine tiefgreifende Leistungs- und Kundenorientierung der mehrheitlich staatlichen Bildungsanbieter können derartige Werkzeuge Marktreife erlangen.

Im Jahr 2007 studierten weltweit 153 Millionen Menschen im tertiären Bildungsbereich [Une-10]. Auf die europäische Union entfielen 19 Millionen und auf Deutschland 2,25 Millionen Studierende [Epp-10]. Die jährlichen Ausgaben für öffentliche und private Hochschulen pro Studierendem lag 2007 in Deutschland bei ca. 12.500 Euro, in Europa bei ca. 9.100 Euro [Epp-10]. Für Deutschland ergibt dies ein finanzielles Volumen von ca. 28 Mrd. Euro und für die EU von 173 Mrd. Euro. 2008 gab es weltweit ca. 1,6 Millionen internationale Studierende, deren Studiengebühren ca. 27 Mrd. US-Dollar betrugen [Pat-08]. Rund 16 Milliarden Euro wendeten Unternehmen in Deutschland im Jahr 2008 für die berufliche Weiterbildung auf, wovon ca. sieben Milliarden Euro auf den freien Weiterbildungsmarkt entfielen [BMBF-10]. Acht Milliarden Euro investierte die Bundesagentur für Arbeit [Bun-08]. Anbieter intelligenter Agenten können hier selbst bei geringen Produktivitätssteigerungen erhebliche Umsatzpotentiale generieren.

Die größten Potentiale für intelligente Agenten liegen derzeit in der Messung von Bildungsproduktivität und in der Identifikation von Bildungsleistungen des Weiterbildungsmarktes über das Internet. In den vergangenen Jahren sind u. a. mit dem PISA-Vergleich, dem CHE-Hochschul-Ranking und dem „World University Ranking“ der University of Cambridge zahlreiche Projekte zur Bewertung der Bildungsleistung entstanden, die große öffentliche und institutionelle Beachtung fanden. Die TU Berlin gibt beispielsweise auf ihren Webseiten einen Überblick über ihre Position in 36 unterschiedlichen Rankings [TUB-10]. Die vielfach rückläufige finanzielle Unterstützung von staatlicher Seite und die demographische Entwicklung stärken die Rolle des Hochschulmarketing. Mit den Informationen der Plotin-Wissensbank können outcomeorientierte Leistungsbewertungen sowie Spezifikationen von Universitätsrankings vorgenommen werden. Die HU Berlin nutzt für die Analyse von statistischen Administrationsaufgaben die Organisations- und Auswertungssoftware SAS, die speziell für Hochschulen konzipiert worden ist. Die Firma SAS ist ein US-amerikanischer Softwareanbieter aus North Carolina mit einem weltweiten Umsatz im Jahr 2009 von 2,3 Mrd. US-Dollar. Die Plotin-Wissensbank hat das Potential diese oder andere Software-Anwendungen mit quantitativen Daten über Qualifizierungsprozesse zu versorgen.

Der Markt für Weiterbildungsangebote ist schon heute durch einen intensiven Wettbewerb gekennzeichnet. Es existieren zahlreiche entgeltpflichtige Vermarktungsagenturen, z. B. Online-Kursfinder und Magazine über berufliche Themen, die den Kommunikationskanal zum Kunden herstellen. Durch intelligente Suchprogramme finden Interessenten die Angebote direkt über die Webseiten der Bildungsinstitution ohne Intermediäre einzuschalten. Damit können Institutionen ohne zusätzliche Kosten Angebote direkt und global kommunizieren.

Am konkretesten sind die Verwertungsperspektiven des LOG, der als Plug-in für unterschiedliche Benutzersysteme und Anwendungen vermarktet werden kann. Im deutschsprachigen Raum nutzen heute alle der ca. 400 Hochschulen elektronische Hochschul-Administrationssysteme (HAS), deren Einführung eine größere Hochschule bis zu 2 Millionen Euro kostet [Gri-10]. Marktführer in Deutschland ist die Hochschul-Informationssystem (HIS) GmbH, die 2009 22 Millionen Euro Umsatz erwirtschaftete [HIS-09]. Weitere führende Anbieter sind die Datenlotsen und CAS. Die Datenlotsensoftware Campusnet ist eine angepasste Version von bestehenden Enterprise-Resource-Planning-Systemen der Firmen IBM und Microsoft. Die Lizenzgebühr für Campusnet beträgt jährlich bis zu 80.000 Euro, für die webbasierte HIS-Software HISinOne bis zu 50.000 Euro [Cam-10] [His-10]. Das Unternehmen Datenlotsen erzielte 2009 einen zweistelligen Euro-Millionenbetrag [Gri-10]. Die Softwarefirma CAS bietet auch ein HAS für Hochschulen an und konnte einen Großteil ihres Umsatzes von 33 Millionen Euro in der Bildungssparte generieren [Gri-10]. Auch die Firma SAP ist in diesem Markt aktiv und zählt u. a. die FU Berlin zu ihren Kunden. Viele

Hochschulen nutzen ergänzend oder alternativ spezifische Anwendungen von internen oder externen Softwareentwicklern. Innerhalb von HAS erstellt der LOG Leistungsbeschreibungen und legt sie in Datenbanken ab. Das Beispiel der universitätsspezifischen Software UNIGRAZonline der Universität Graz verdeutlicht die existierende Nische. Der Screenshot zeigt die Eingabeoberfläche zur Erstellung von Modulbeschreibungen, in die Informationen zu intendierten Lernzielen und erwarteten LO derzeit als Freitext eingetragen werden (vgl. Abbildung 5-5). Der LOG kann hier die Erstellung von konsistenten und ausdrucksstarken Leistungsbeschreibungen unterstützen und als Plug-in mit geringem informationstechnischen Aufwand in die bestehende Softwarearchitektur eingefügt werden.

Allgemeine Angaben

Titel

Untertitel

Nummer

Art

Semesterstunden

Angeboten im Semester

Angaben zur Abhaltung

Inhalt

3500 Zeichen frei

Inhaltliche Voraussetzungen (erwartete Kenntnisse)

1000 Zeichen frei

Ziel (erwartete Lernergebnisse und erworbene Kompetenzen)

3500 Zeichen frei

Musterbeschreibung

Unterricht-/Lehrsprachen

• Deutsch

...

Speichern

Lernergebnisse werden hier eingetragen

Abbildung 6-1: Darstellung der Modulbeschreibung von UNIGRAZonline (nach [GRA-10])

Erste Präsentationen und Tests mit Hochschulvertretern und Didaktikern verliefen vielversprechend, sodass angestrebt wird, den LOG in 2011 in GPE und einer weiteren deutschen Hochschulfakultät zu etablieren. Langfristig kann eine Ausweitung des Vermarktungsbereichs auf den eLearning-Sektor erfolgen. Eine Studie des Essener MMB-Instituts für Medien- und Kompetenzforschung ergab einen Gesamtumsatz der deutschen eLearning-Wirtschaft von 237 Millionen Euro im Jahr 2008. 43 Millionen des Umsatzes entfielen auf den Verkauf und die Vermietung von eLearning- und Wissensmanagement-Werkzeugen [MMB-09]. Dazu gehören u. a. Content-Management-Plattformen und Lernplattformen, die den LOG integrieren können.

6.3 Forschungsperspektiven

Bestehende *Metadatenstandards* zur Qualifikationsbeschreibung können um eine LO-basierte Darstellung ergänzt werden. Ein LO-Metadatenstandard wäre nicht nur auf Nutzerprofile und Lernobjekte von eLearning-Plattformen anwendbar, sondern auch auf die Qualifizierungsplanung im Bildungs- und Arbeitsmarkt. Damit wäre die Interoperabilität von Softwareanwendungen auf einem hohen LO-Darstellungsniveau verbunden. Auch die Anrechnung von unabhängigen eLearning- und Blended-Learning-Lehrveranstaltungen auf klassische Präsenzbildungsprogramme würde dadurch erleichtert.

Im Qualitätsmanagement erfolgt heute bereits die Darstellung von Prozessanforderungen an Arbeitnehmer anhand einer LO-ähnlichen Struktur. Auch in der Personalwirtschaft bestehen Ansätze LO-basierter Qualifikationsmodelle. Wenn es gelingt, Prozessbeschreibungen des Qualitätsmanagements und Qualifikationsprofile der Personalwirtschaft und des Bildungsmarktes durch Beschreibung der Handlungsfähigkeit zu interoperabilisieren, können sukzessive aus Wertschöpfungsprozessen Arbeitsanforderungen, aus diesen Qualifikationsanforderungen und daraus Lernziele abgeleitet werden. Hierfür bedarf es der Abstimmung der unterschiedlichen Märkte und ihrer Qualifikationsprofile. Die Semantik-Web-Technologien bieten hier nicht zuletzt durch Ontology-Merging große Potentiale, verteilte Daten unterschiedlicher Struktur zusammen zu führen.

Das natürlichsprachliche Vokabular zur Beschreibung von LO ontologisch zu modellieren, stellt einen großen Aufwand dar. Teilautomatisierte Systeme, wie der LOG, können durch Datengenerierung den Eingabeaufwand für die A-Box, nicht jedoch den Modellierungsaufwand für die T-Box verringern. Methoden des Ontology-Learning zum automatischen Erkennen von Strukturen hier stellen potentielle Lösungen dar.

Intelligente Agenten für die produktionstechnische Aus- und Weiterbildung erfordern dokumentiertes Expertenwissen in Form von *produktionstechnischen Wissensnetzen*. Bestehende informale Modelle bedürfen des Transfers in formale Wissensrepräsentationssprachen. Zum Teil bestehen bereits Klassifikationen und Ontologien, die einzelne Perspektiven technologischer, ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte der industriellen Fertigung darstellen und in ein gemeinsames Modell zu integrieren sind.

Das Semantik-Web und LO-Beschreibungen stellen die erforderliche Grundstruktur bereit, Qualifikationsprofile aller Art zu vergleichen. In der Praxis ist ein auf Ähnlichkeit und Subsumption prüfender LO-Vergleich jedoch sehr aufwändig, da die entsprechenden Qualifikationszusammenhänge durch Experten manuell modelliert werden müssen. Eine Automatisierung stellt hohe Anforderungen an den Vergleichsprozess. Vergleichsverfahren, die auf der taxonomischen Ähnlichkeit basieren, bergen große Potentiale, LO-Eigenschaften mit Hilfe semantischer Technologien zu vergleichen. Es muss aber vereinbart werden,

welche Algorithmen angewendet werden sollen und welche Wertabweichung für die Bestimmung von Gleichheit und Ähnlichkeit zulässig ist.

7 Zusammenfassung

Der damalige Herausgeber der Zeitung New York Times RUTHERFORD kommentierte das Dilemma der Informationsbeschaffung mit den Worten: „Wir ertrinken in Informationen – aber wir hungern nach Wissen“ [Rut-88]. Semantik-Web-Technologien haben das Potential, diesen Missstand zu beseitigen, indem sie die Bedeutung von Informationen für Maschinen verarbeitbar machen. Dadurch schafft sich der Mensch die erforderliche maschinelle Unterstützung, die ihn die Informationsflut überschauen lässt und ihm kontextrelevantes, implizites Wissen zur Verfügung stellt.

Diese Arbeit stellt einen Ansatz dar, das Semantik-Web-Potential für die wissensintensiven Aufgaben in der Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung zu nutzen. Dafür wurde das sogenannte Plotin-Konzept zur Repräsentation und Verarbeitung von Qualifikationsinformationen mit Hilfe von Learning Outcomes erstellt. Die Planungsprozesse des Bildungsmarktes wurden aus unterschiedlichen Perspektiven analysiert und wissensintensive Aufgaben identifiziert. Die Zusammenhänge zwischen den von Stakeholdern des Bildungsmarktes veröffentlichten Qualifikationsprofilen, den unterschiedlichen Prozessen der Planung und den Methoden zu deren informationstechnischer Unterstützung wurden beschrieben und in einem Referenzmodell visualisiert (vgl. Abbildung 4-5). Ein stakeholderspezifischer Anforderungskatalog an die Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifikation wurde entwickelt und verbindliche Merkmale des Plotin-Konzepts abgeleitet. Diese umfassen:

- die *Darstellung* von inhaltlichen, prozessualen und leistungsspezifischen Aspekten einer nachgewiesenen Handlungsfähigkeit und die *Speicherung* von Qualifikationsprofilen über Lehrveranstaltungen, Personen und über berufliche und gesellschaftliche Anforderungen,
- die *Identifikation* von Qualifikationsprofilen, insbesondere von Lehrveranstaltungen in Abhängigkeit von Lernziel-Profilen und Qualifikationsrahmen,
- die *Analyse* und den Vergleich von Einzelqualifikationen und Qualifikationsbündeln bezüglich inhaltlicher, prozessualer und leistungsspezifischer Aspekte,
- die *Synthese* von Einzelqualifikationen zur Gestaltung von Qualifikationsbündeln und zum Abgleich mit übergeordneten Qualifikationsprofilen.

Zur Erstellung von Qualifikationsprofilen wurde ein Modell entwickelt, das ein einheitliches Verständnis von Lernzielen und Lernergebnissen für alle Akteure am Bildungsmarkt erzeugt. Die Qualifizierungsleistung wird durch sogenannte *Learning Outcomes* (LO) definiert. Sie weisen eine Subjekt-Prädikat-Objekt-Struktur auf, der Leistungsindikatoren in Form von

Attributen zugeordnet sind. LO stellen die nachgewiesene Handlungsfähigkeit am Ende einer Lernaktivität dar und zeichnen sich durch hohe Ausdrucksstärke in einer auf natürlicher Sprache basierenden Struktur aus. LO erfüllen damit Grundvoraussetzungen für die Interoperabilität zwischen Menschen und Maschinen in der Planung von Qualifizierung.

Zur Identifizierung und Speicherung verteilter LO-Informationen wurde eine *Semantik-Web-Wissensbank* entwickelt, die auf dem Plotin-Konzept basiert. Sie dient der Bereitstellung von Qualifikationsinformationen einer hohen Datenqualität für softwarebasierte Planungswerkzeuge, die Qualifikationsprofile von Personen, Lehrveranstaltungen und beruflichen und gesellschaftlichen Anforderungen analysieren und synthetisieren. Den Kern der Wissensbank bildet eine Ontologie, in der das strukturelle Wissen über die didaktische und produktionstechnische Wissensdomäne maschinenverständlich hinterlegt ist. Zur Entwicklung der Plotin-Ontologie wurde ein Anforderungskatalog entwickelt, auf dessen Grundlage die Vorgehensweise Methontology ausgewählt wurde (Tabelle 4-2). Die Konzeption und Dokumentation der modellierten didaktischen und produktionstechnischen Wissensdomänen erfolgte mit Hilfe von Strukturtabellen in einer semi-informalen Notation, die auch durch Nichtinformatiker gelesen werden können. Für die Formalisierung des Konzepts wurden unterschiedliche Wissensrepräsentationssprachen und Ontologie-Editoren analysiert, und daraufhin OWL-DL und Protégé ausgewählt. Durch das automatische Schlussfolgern wird implizit vorhandenes Wissen der Wissensbank explizit gemacht. Als Inferenzmaschine wurde Pellet ausgewählt. Die Wissensbank stellt dadurch direkt und indirekt generierte LO-Informationen aus verteilten Qualifikationsprofilen zur Verfügung.

Mit Metadaten annotierte Qualifikationsprofile bilden das Datenfundament der Wissensbank. Die Güte intelligenter Agenten hängt maßgeblich von der Qualität der Informationen ab, die durch die Wissensbank bereitgestellt werden. Die Identifikation von Informationen aus verteilten WWW-Dokumenten mit unterschiedlicher Datenstruktur stellt hierbei eine große Herausforderung dar. Mit der Software-Anwendung LOG wurde ein Werkzeug entwickelt, um LO-Beschreibungen zu erstellen und automatisch zu annotieren. Der LOG unterstützt den Lehrenden, didaktisch angemessene und durch Mensch und Maschinen lesbare Qualifikationsprofile zu erstellen, die im WWW veröffentlicht werden. Er wurde getestet und in das GPE-Informationssystem integriert.

Intelligente Agenten nutzen das WWW-Informationsreservoir der Wissensbank zur Analyse und Synthese von Qualifikationsprofilen. Die Funktion der Semantik-Web-Wissensbank konnte in Tests prototypisch durch das Schlussfolgern impliziten Wissens über die Subsumtion von LO und durch die automatisierte Einordnung von GPE-Leistungsbeschreibungen in übergeordnete Qualifikationsprofile nachgewiesen werden. Die outcomeorientierte Evaluation der Vermittlungsqualität im GPE Studium wurde beschrieben und die Integration von Softwarewerkzeugen dargestellt. Mit Abschluss der Neugestaltung

des GPE-Informationssystems erfolgt die Anwendung von intelligenten Agenten in der GPE-Evaluation, die den nächsten Meilenstein in der Planung von Qualifizierung mit Hilfe der Plotin-Wissensbank bildet.

Mit den Praxistests in GPE konnten erste Nachweise erbracht werden, dass intelligente Agenten das Potential haben, die Transparenz in der Planung von Produkten und Prozessen des Bildungsmarkts durch gezielte Informationsbereitstellung deutlich zu erhöhen. Allein der europäische Hochschulmarkt hat jährliche Ausgaben in Höhe von ca. 175 Milliarden Euro. Schon durch geringe Steigerungsraten der Effizienz und Effektivität von Lernwegen und Lehrprozessen ergeben sich hier enorme finanzielle Potentiale für entsprechende Werkzeuge. Die Verbreitung der Semantik-Web-Technologien wird intelligente Agenten künftig befähigen, die Mobilität der Lernenden zu fördern, die Modularität der Ausbildung zu stärken, Bildungssysteme horizontal und vertikal durchlässiger zu gestalten, die Planung von Qualifikationsprozessen zu unterstützen und Lehrveranstaltungen ergebnisorientiert vergleichbar zu machen.

8 Literaturverzeichnis

- [4Ing-08] 4Ing: Der Europäische Qualifikationsrahmen EQR und seine Auswirkungen auf Akkreditierungsprozesse im Bereich der Ingenieurwissenschaften und Informatik. In: ASIIN Newsletter, Nr. 2, 2008, Bonn.
- [Abd-10] Abd-Elall, S., Reise, C., Seliger, G.: A semantic web approach for matching qualification profiles of engineering graduates and employment demand. In: Proceedings 8th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Abu Dhabi, VAE, 2010.
- [Abe-10] Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET), Engineering Self-Study Questionnaire, 2010. URL: http://www.abet.org/forms.shtml#For_Engineering_Programs_Only (Aufruf am 16.10.10).
- [Ago-10] Arbeitsgemeinschaft Online Forschung e.V. [Hrsg.]: Berichtsband zur internet facts 2010-II, Frankfurt, 2010.
- [Ake-70] Akerlof, G. A.: The Market for Lemons: Qualitative Uncertainty and the Market Mechanism. In: Quarterly Journal of Economics, Vol. 84, 1970.
- [Akk-10] Akkreditierungsrat, Stiftung zur Akkreditierung von Studiengängen in Deutschland: Aufgabe des Akkreditierungsrates. URL: www.akkreditierungsrat.de. (Abruf am 16.10.10).
- [Ala-04] Alan, Y.: Konstruktion der KOWIEN-Ontologie. Kowien-Projektbericht 2/2003, Univ. Essen-Duisburg, Duisburg, 2004.
- [Ala-96] Allan, J.: Learning Outcomes in Higher Education. In: Studies in Higher Education, Vol. 21 (1), 1996.
- [All-01] Allert, H., Qu, C., Nejdil, W.: Theoretischer Ansatz zur Rolle der Didaktik in Metadaten Standards, Learning Lab Lower Saxony [Hrsg.], Hannover, 2001.
- [And-01] Anderson, L. W., Krathwohl, D. R.: A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of educational objectives. Longman, New York, 2001.
- [Ank-10] Anrechnung beruflicher Kompetenzen auf Hochschulstudiengänge (Ankom). Webseite der Forschungsprojektes, URL: <http://ankom.his.de/> (Aufruf am 10.10.10).
- [Ant-08] Antoniou, G., van Harmelen, F.: A Semantic Web Primer. The MIT Press, 2008.

- [Ari-04] Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe: Ariadne Metadata Scheme. 2004. URL: <http://www.ariadne-eu.org/en/developingTools/aws/documentation/metadata.html> (Aufruf am 16.08.10).
- [Asi-08] Akkreditierungsagentur für Studiengänge der Ingenieurwissenschaften, der Informatik, der Naturwissenschaften und der Mathematik e.V.: Anforderungen und Verfahrensgrundsätze für die Akkreditierung und Reakkreditierung von Bachelor- und Masterstudiengängen in den Ingenieurwissenschaften, der Architektur, der Informatik, den Naturwissenschaften und der Mathematik. Düsseldorf, 2008. URL: <http://www.asiin-ev.de/pages/de/asiin-e.-v/programmakkreditierung/anforderungen-und-verfahrensgrundsätze.php> (Aufruf am 10.01.10) .
- [Aze-09] Feyo de Azevedo, S.: High Level Qualifications Frameworks and the EUR-ACE Framework Standards – do they fit together? Workshop on Overarching and Sectoral Frameworks. ENAEE (European Network for Accreditation of Engineering Education), Brussels, Fondation Universitaire, 2009.
- [Baa-03] Baader, F. et al.: The Description Logic Handbook. Cambridge, 2003.
- [Ban-77] Bandura, A.: Social learning theory. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1977.
- [Bau-02] Baumgartner, P., Häfele, H., Maier-Häfele, K.: E-Learning Standards aus didaktischer Perspektive. In: Bachmann, G., Haefeli, O., Kindt, M. [Hrsg.]: Campus 2002: Die virtuelle Hochschule in der Konsolidierungsphase, Waxmann, Münster, 2002.
- [Bau-07] Baumgartner, P.: E-Learning Impulse: Blended Learning ist sauteuer – aber es wirkt. Vortrag, Wien, 2007.
- [Bei-08] Beierle, C., Kern-Isberner, G.: Methoden wissensbasierter Systeme – Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen. Vieweg und Teubner, Wiesbaden, 2008.
- [Ber-03] Berlin-Kommuniqué: Den europäischen Hochschulraum verwirklichen. Kommuniqué der Konferenz der Europäischen Hochschulministerinnen und –minister, Berlin, 2003. URL: http://www.bologna-berlin2003.de/pdf/Communique_dt.pdf (Aufruf am 01.03.2010).
- [Ber-97] Berners-Lee, T.: Axioms of Web Architecture: Metadata Architecture. 2007. URL: <http://www.w3.org/DesignIssues/Metadata.html> (Aufruf am 16.10.10).
- [Ber-98] Berners-Lee, T.: Semantic Web Road map. URL: <http://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html> (Aufruf am 01.10.2008).

- [Bie-06] Biesalski, E., Abecker, A.: Integrierte ontologiebasierte Personalentwicklung. In: Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2006 (MKWI06), Universität Passau, 2006. URL: http://publications.andreas.schmidt.name/SchmidtKunzmannBiesalski_FT_Kompetenzmanagement06.pdf (Aufruf am 12.07.10).
- [Big-03] Biggs, J.: Aligning Teaching and Assessing to Course Objectives. In: Proceedings of the Teaching and Learning in Higher Education Conference: New Trends and Innovations, University of Aveiro, 2003.
- [Big-05] Biggs, J.: Teaching for Quality Learning at University: Open University Press, Wiltshire, 2005.
- [Blo-56] Bloom, B., Krathwohl, D.: Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals, by a committee of college and university examiners. In: Handbook 1: Cognitive domain, Longmans, New York, 1956.
- [Blu-10] Blubbsoft, Referenzen und Praxisberichte. URL: <http://www.blubbsoft.de/?Unternehmen> (Aufruf am 16.10.10).
- [BMBF-10] Bundesministerium für Bildung und Forschung. URL: <http://www.bmbf.de/de/8425.php> (Aufruf am 16.10.10).
- [Bod-97] Bode, J.: Der Informationsbegriff in der Betriebswirtschaftslehre. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 49. Jg., Nr. 5. Verlagsgruppe Handelsblatt, Düsseldorf, 1997.
- [Bol-99] Bologna Declaration: The European Higher Education Area. Joint Declaration of the European Ministers of Education Convened in Bologna, 1999. URL: http://europa.eu.int/comm/education/bologna_en.html (Aufruf am 12.05.10).
- [Bos-05] Bos, F.: Evaluation von Methoden und Methodologien zur Entwicklung von Ontologien und Entwurf einer Ontologie für den Lehrveranstaltungsbereich. Universität Zürich, Zürich, 2005.
- [Bro-06] Brown, G. M.: Degrees of Doubt: Legitimate, real and fake qualifications in a global market. In: Journal of Higher Education Policy and Management, 1469-9508, Volume 28, No. 1, 2006.
- [Cam-10] Datenlotsen Softwarename XX. URL: <http://www.datenlotsen.de/de/produkte/campusnet/Seiten/CampusNet.aspx> (Aufruf am 01.09.2010).
- [CDI-07] Östlund, S., Edström, K.: Integrated Curriculum Design. Präsentation, KTH, Royal Institute of Technology, Schweden, und Massachusetts Institute of Technology, USA, 2007. URL: www.evtek.fi/n/markkutk/ECTS/CDIO.ppt (Aufruf am 10.10.10).
- [Cha-07] Chandra, A.: Fizix Power – Interactive Discovery, Exploration and Application of Physics. Actus Potentia, Ames, Iowa, USA, 2007.

- [CIO-03] Knorr, E.: The Year of Web Services. In: CIO – The resource for Information Executives: Fast Forward 2010 – The Fate of IT, Special Edition, 2003.
- [Con-09] O'Connor, M.: SWRL-Tab. URL: <http://protege.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?SWRLTab> (Aufruf am: 17.12.2009).
- [Cor-05] Corcho, O., Fernández-López, M., Gómez-Pérez A., López- Cima, A.: Building legal ontologies with WIE and WebODE, Law and the Semantic Web. Legal Ontologies, Methodologies, Legal Information Retrieval, and Applications. Springer-Verlag, 2005.
- [Cub-07] Cubillos, C., Lamberti, F., Demartini, C.: Integrating European Qualification Systems with OWL Ontologies. In: Proceedings of the IEEE Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA 2007, 2007.
- [Dam-10] DAML Ontology Library. URL: www.daml.org/ontologies (Aufruf am 01.06.10).
- [Dav-75] Dave, R. H., Armstrong, R. J. [Hrsg.]: Developing and writing behavioural objectives. Educational Innovators Press, Tucson, Arizona, 1975.
- [Dem-07] Demartini et al.: H.E.LE.N. the European Learning Network – DOMAINS Collection. Project Report, 2007.
- [DIF-10a] Differentiator: Online-Softwareanwendung. URL: <http://www.byrdseed.com/differentiator> (Aufruf am: 16.10.08).
- [DIF-10b] Differentiator: Forum Beschreibung. URL: <http://www.byrdseed.com/the-differentiator> (Aufruf am: 16.10.08).
- [DMO-10] Open Directory Project. URL: www.dmoz.org (Aufruf am: 16.10.08).
- [Dol-05] Dolog, P., Nejdí, W., Olmedilla, D.: Elena – Creating Smart Spaces for Learning. Final Distribution, Evaluation Report, Hannover, 2005.
- [Dru-75] Drucker, P.: Management: Tasks, Responsibilities, Practices. Harper & Row, New York, 1974.
- [Dub-10] Dublin Core Metadata Initiative. URL: <http://dublincore.org> (Aufruf am 20.10.10).
- [Eat-09]. Eaton, J. S.: An Overview of U.S. Accreditation. The Council for Higher Education Accreditation [Hrsg.], Washington DC, 2009.
- [Ege-04] Eger, A. O., Lutters, D., van Houten, F. J. A. M.: Create The Future – An environment for excellence in teaching future-oriented industrial design engineering. In: Proceedings of the International Engineering And Product Design Education Conference, Delft, Niederlande, 2004.
- [EIM-08] ElMaraghy, W. H.: Engineering education attributes, breadth and depth, and outcomes. In: Proceedings of CIMEC 2008, CIRP International Manufacturing Engineering Education Conference, Nantes, France, 2008.

- [Epp-10a] Eurostat: Studenten im Tertiärbereich. URL:
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=de&pcode=tps00062> (Aufruf am 12.10.10).
- [Epp-10b] Eurostat: Jährliche Ausgaben für öffentliche und private Bildungseinrichtungen pro Schüler/Studierenden. URL:
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tps00067&language=de> (Aufruf am 12.10.10).
- [Erp-03] Erpenbeck, J., Rosenstiel, L. v.: Handbuch Kompetenzmessung. Schäffer-Pöschel Verlag Stuttgart, Stuttgart, 2003.
- [EU-02] Europäischer Rat: Entwurf einer Entschließung des Rates zur Förderung einer verstärkten europäischen Zusammenarbeit bei der beruflichen Bildung. 2002. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2003:013:0002:0004:DE:PDF> (Aufruf am 05.10.10).
- [EU-04] Europäische Kommission, Generaldirektion Bildung und Kultur: ECTS Users' Guide. Brüssel, 2005. URL:
http://ec.europa.eu/education/programmes/socrates/ects/doc/guide_en.pdf (Aufruf am 02.04.10).
- [EU-06] Commission of the European Communities: Implementing the Community, Lisbon Programme. Proposal for a Recommendation of the European Parliament and of the Council on the establishment of the European Qualifications Framework for lifelong learning. Brussels, 2006. URL:
http://ec.europa.eu/education/policies/educ/eqf/com_2006_0479_en.pdf (Aufruf am 05.09.10).
- [EU-08] Commission of the European Communities: Recommendation of the European Parliament and of the Council on the establishment of the European Qualifications Framework for lifelong learning, Brüssel, 2008. URL:
http://ec.europa.eu/education/policies/educ/eqf/rec08_en.pdf (Aufruf am 01.04.10).
- [EU-10] Europäische Kommission, Generaldirektion Bildung und Kultur: Das Europäische Leistungspunktesystem für die Berufsausbildung. URL:
http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-policy/doc50_de.htm (Aufruf am 03.04.10).
- [Eur-10] European Accreditation of Engineering Programmes: EUR-ACE – Framework Standards for the Accreditation of Engineering Programmes. URL:
http://www.enaee.eu/pdf/EUR-ACE_Framework_Standards_20110209.pdf (Aufruf am 16.09.10).
- [Fei-86] Feisel, L. D.: Teaching Students to Continue their Education. In: Proceedings of the Frontiers in Education Conference, Arlington, 1986.

- [Fel-09] Fellermayr, L.: Ontologien für Lernzieltaxonomien und Lernzielstrukturen aus der Informatik – Überblick, Weiterentwicklung und Ausarbeitung eines Anwendungsbeispiels. TU München, München, 2009.
- [Fer-05] Ferris, T. L., Aziz, S.: A psychomotor skills extension to Bloom's taxonomy of education objectives for engineering education. In: Proceedings of the Int. Conf. on Engineering Education and Research: Exploring Innovation in Education and Research (iCEER), 2005.
- [Fer-97] Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., Juristo, N.: Methontology: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. Spring Symposium on Ontological Engineering of AAAI, Stanford University, California, 1997.
- [Fer-99] Fernandez, M.: Overview of Methodologies for Building Ontologies. In: Proceedings of IJCA1999's Workshop on Ontologies and Problem Solving Methods: Lessons Learned and Future Trends, 1999.
- [Fle-96] Flehsig, K.-H.: Kleines Handbuch didaktischer Modelle. Neuland, Eichenzell, 1996.
- [Gag-74] Gagne, R., Briggs, L., Wager, W.: Principles of Instructional Design. TX, HBJ College Publishers, Fort Worth, 1974.
- [Gom-04] Gomez-Perez, A.: Ontology Evaluation. In: Staab, S., Studer, R. [Hrsg.]: Handbook on Ontologies, Berlin, 2004.
- [Goo-10] Google Suche nach „Reise+Ontologie“. URL: http://www.google.de/#sclient=psy&hl=de&q=reise+ontologie&aq=f&aql=&aql=&oq=&gs_rfai=&pbx=1&fp=d11203eb09cce9f0 (Aufruf am 20.10.10).
- [Gör-00] Görz, G., Rollinger, C., Schneeberger, J.: Handbuch der künstlichen Intelligenz. Oldenbourg, 2000.
- [Gos-01] Gosling, D., Moon, J.: How to Write Learning Outcomes and Assessment Criteria. SEEC Office, University of East, London, 2001.
- [GPE-10] Global Production Engineering (GPE). URL: www.gpe.tu-berlin.de (Aufruf am 01.05.10).
- [Gra-10] UNI Graz online. URL: http://www.uni-graz.at/evp3www/evp3www_lehrservice/evp3www_curriculaentwicklung/evp3www_lernergebnisse.htm (Aufruf am 11.07.10).
- [Gri-10] Grimm, K.: Hochschule digital. In: Impulse, Hamburg, Mai 2010, URL: <http://www.impulse.de/unternehmen/mittelstand/:Elektronische-Verwaltung-Hochschule-digital/1013563.html?p=2> (Aufruf am 01.05.10).
- [Gru-93] Gruber, T.: Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In: International Journal of Human-Computer Studies, Kluwer Academic Publishers, Vol. 43, 1993.

- [Gru-95] Grüninger, M., Fox, M. S.: Methodology for the design and evaluation of ontologies. In: Skuce, D. [Hrsg.]: IJCAI95 – Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, 1995.
- [Gün-07] Günther, A. et al.: Vermittlung und Entwicklung von Kompetenzen. In: Schriften zu Kooperations und Mediensystemen, Eul Verlag, Köln, 2007.
- [Her-09] Herrmann, N., Kubath, S.: Evaluation von Lehrveranstaltungen durch Studierendenbefragungen. Projektbericht, TU Berlin, Berlin, 2009.
- [HIS-09] HIS (Hochschul-Informationen-System): HIS Jahresbericht 2009. ISSN 1611-4612, 2010. URL: <http://www.his.de/pdf/Jahresbericht2009.pdf> (Aufruf am 23.09.10).
- [His-10] HisInOne. URL: <http://www.hisinone.de/> (Aufruf am 01.06.10).
- [Hit-08] Hitzler, P., Krötzsch, M., Rudolph, S., Sure, Y.: Semantic Web. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008.
- [Höh-10] Höhn & Partner: Informations- und Datenqualität – ISO 8000: erste Schritte zur Standardisierung. In: Weckenmann, A.: Qualitätsmanagement II – SS 2010, VE 06, Präsentation, Erlangen, 10.06.2010.
- [Hof-05] Hoffmann, M. H.: An engineering model of learning. In: Proceedings of Frontiers in Education, FIE '05, Atlanta, USA, 2005.
- [Hof-08a] Hoffmann, M. H. W.: Using Bloom's Taxonomy of Learning to Make Engineering Courses Comparable. In: Proceedings EAEEIE Annual Conference 2008, Tallinn, 2008.
- [Hof-08b] Hoffmann, M. H. W., Grünberg, J., Hampe, M. J., Heiß, H.-J., Schmitt, H.: Der Europäische Qualifikationsrahmen EQR und seine Auswirkungen auf Akkreditierungsprozesse im Bereich der Ingenieurwissenschaften und Informatik. In: ASIIN-Newsletter Nr. 2, 2008. URL: http://www.asiin.de/deutsch/download/ASIIN-Newsletter_02_Mai_2008.pdf (Aufruf am 3.6.10).
- [Hof-09] Hoffmann, M.: Lernergebnisse als Voraussetzung für Mobilität von Studierenden und Absolventen. Tagung: Nationale und europäische Qualifikationsrahmen, Vortrag ASIIN Jahrestagung 2009, 2009.
- [Hor-03] Horn, R. A.: Developing a Critical Awareness of the Hidden Curriculum through Media Literacy. In: The Clearing House, v. 76 no. 6, 2003.
- [Hor-09] Horridge, M.: A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using Protégé 4 and CO-ODE Tools, Edition 1.2, The University Of Manchester, Manchester, 2009.
- [IEE-00] IEEE [Hrsg.]: Draft Standard for Learning Technology — Public and Private Information (PAPI) for Learners (PAPI Learner), 2000. URL: http://ltsc.ieee.org/wg2/papi_learner_07_main.pdf (Aufruf am 15.7.10).

- [IEE-08] IEEE [Hrsg.]: Learning Technology Standards Committee (LTSC) - Learner Model Working Group, 2008. URL: <http://ltsc.ieee.org/wg2/> (Aufruf am 6.5.10).
- [IEE-93] IEEE [Hrsg.]: IEEE Standard for Developing Software Life Cycle Processes, IEEE Std. 1074-1991. In: IEEE Standards Collection Software Engineering, IEEE 1993 Edition, New York, 1993.
- [IMS-02a] IMS Global Learning Consortium [Hrsg.]: IMS Enterprise Best Practice and Implementation Guide. Version 1.1: Public Draft Specification, 2002. URL: <http://www.imsglobal.org/profiles/lipinfo01.html#1> (Aufruf am 8.6.10).
- [IMS-02b] IMS Global Learning Consortium [Hrsg.]: IMS Reusable Definition of Competency or Educational Objective - Information Model, 2002. URL: http://www.imsglobal.org/competencies/rdceov1p0/imsrdceo_infov1p0.html (Aufruf am 05.04.10).
- [IMS-99] IMS Project [Hrsg.]: IMS Meta-Data Specification Draft. 1999. URL: <http://www.imsproject.org/metadata.html> (Aufruf am 16.8.10).
- [Inn-06] INNOMET [Hrsg.]: The INNOMET Taxonomy of Competences and Skills- Project Report 2006, 2006, URL: http://www.innomet.ee/innomet/Reports/Report_WP1.pdf (Aufruf am 10.2.09).
- [INN-10] INNOMET [Hrsg.]: INNOMET Glossary, URL: <http://www.innomet.ee/innomet/glossary.html> (Aufruf am 16.8.10).
- [ISO-10] International Organization for Standardization [Hrsg.]: Information technology for learning, education and training - Learner information. In: JTC 1/SC 36/WG 3. URL: http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=45392 (Aufruf am 10.06.10).
- [ISO-8000] ISO 8000: Data quality — Part 110: Master data: Exchange of characteristic data: Syntax, semantic encoding, and conformance to data specification, URL: www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51653 (Aufruf am 10.06.10).
- [ISO-9000] DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- [ISO-9001] DIN EN ISO 9001, Ausgabe: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001:2000-09). Berlin Wien Zürich, 2000.
- [Jac-86] Jackson, P.: Introduction to Expert Systems. Addison-Wesley, Reading, MA, 1986.
- [Job-10] Jobscout24. URL: <http://www.jobscout24.de> (Aufruf am 18.8.10).
- [Kas-08] Kashyap, V., Bussler, C., Moran, M.: The Semantic Web. Springer, 2008.

- [Ken-07] Kennedy, D.: Writing and Using Learning Outcomes – A Practical Guide. Quality Promotion Unit, University College Cork, 2007.
- [Ken-08] Kennedy, D.: Transnational Mobility in Bachelor and Master Programmes. In: Tagung des DAAD, Präsentation, Berlin, 2008. URL: <http://eu.daad.de/imperia/md/content/eu/bologna/2008/kennedy.pdf> (Aufruf am 23.7.10).
- [Ker-01] Kerres, M.: Multimediale und telemediale Lernumgebungen - Konzeption und Entwicklung. Oldenbourg Verlag, München, 2001.
- [Kje-07] Kjellberg, T.: Industry information systems development trends in the XXI Century. In: Riives, J., Otto, T. [Hrsg.]: Innovative development of human resources in enterprise and in society - Project Report, UT Press, Tallinn, 2007.
- [Kli-01] Klieme, E. et al.: Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz? Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. Zeitschrift für Pädagogik, 2001.
- [Kli-09] Klieme, E.: DFG Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen, 2009. URL: <http://www.kompetenzmodelle.dipf.de> (Aufruf am 6.9.10).
- [Kol-84] Kolb, D. A.: Experiential Learning. Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey, 1984.
- [Kön-00] Königswieser, R., Exner, A.: Systemische Intervention. Architekturen und Designs für Berater und Veränderungsmanager, Beratergruppe Neuwaldegg, Klett-Cotta, 2000.
- [Kra-73] Krathwohl, D. R., Bloom, B. S., Masia, B. B.: Taxonomie von Lernzielen im affektiven Bereich. In: D.R. Krathwohl, D. R., Bloom, B. S., Masia, B. B. [Hrsg.]: Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals, Handbook II: Affective domain, McKay, Beltz, Weinheim Basel, 1973.
- [Kuh-01] Kuhlmann, E., Stauss, B.: Markttransparenz. In: Diller, H. [Hrsg.]: Vahlens großes Marketinglexikon, München, 2001.
- [Kun-05] Kunz, C.: Ein integrierter Ansatz zur wissensbasierten Informationsrecherche. Dissertation, Stuttgart, 2005.
- [Kur-92] Kurbel, K.: Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen – Eine anwendungsorientierte Einführung in wissensbasierte Systeme. Springer-Verlag, Berlin et al, 1992.
- [Las-99] Lassila, O., Swick, R.: Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification. In: W3C Recommendation, 1999. URL: <http://www.w3.org/TR/REC-rdf-syntax> (Aufruf am 3.8.10).

- [Lav-91] Lave, J., Wenger, E.: Situated learning: Legitimate peripheral participation. Cambridge University Press, New York, 1991.
- [LOM-98] IEEE: Learning Technology Standards Committee (LTSC), Learning Object Metadata (LOM). 1998. URL: http://ltsc.ieee.org/doc/wg12/LOMdoc2_1.html (Aufruf am 23.09.10).
- [Mai-95] Mainzer, K.: Computer – Neue Flügel des Geistes? Die Evolution computergestützter Technik, Wissenschaft, Kultur und Philosophie. Walter De Gruyter Inc., 1995.
- [Mar-96] Martin, B., Subramanian, G. H., Yaverbaum, G. J.: Benefits from expert systems: An exploratory investigation. In: Expert Systems with Applications, Nr. 1, 1996.
- [May-06] Mayer, H. O.: Reasoning im und für das Semantik Web. In: Pellegrini, T. [Hrsg.]: Semantik Web – Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft, Springer, Berlin Heidelberg, 2006.
- [May-09] Mayer, H. O. et al.: Lernzielüberprüfung im eLearning. Oldenbourg, 2009.
- [May-10] Mayer, H. O., Weber, H.: Lernzielüberprüfung mit der CELG-Taxonomietafel. In: eBologna 2010 und darüber hinaus: Kompetenzorientierung – Studierendenzentrierung – Open Content und Standards, 18. fnm-austria Tagung, Wirtschaftsuniversität Wien, Wien, 2010.
- [Mei-05] Meijers, A. W. M., van Overveld, C. W. A. M., Perrenet et. al.: Criteria for academic Bachelor's and Master's Curricula. Univ. Twente, Enschede, 2005.
- [Mey-06] Meyer, M. P.: Management von Ingenieurkompetenzen im Spannungsfeld beruflicher Arbeitsteilung. Dissertation, Berlin, 2006.
- [Mey-74] Meyer, H.: Trainingsprogramm zur Lernzielanalyse. Athenäum Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt, 1974.
- [MF-10] Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF): Montagetechnik und Fabrikbetrieb. URL: <http://www.mf.tu-berlin.de> (Aufruf am 3.7.10).
- [MMB-09] MMB-Branchenmonitor II/2009 [Hrsg.]: Die E-Learning-Wirtschaft trotz der Krise, Ergebnisse der Branchenerhebung MMB. In: E-Learning-Wirtschaftsrating 2009, 2009. URL: https://www.mmb-institut.de/monitore/branchenmonitor/MMB-Branchenmonitor_2009_II.pdf (Aufruf am 9.8.10).
- [Moo-05] Moon, J.: Linking Levels, Learning Outcomes and Assessment Criteria – EHEA version. University of Bournemouth, 2006.
- [Mos-04] Moseley, D. et al.: Thinking skill frameworks for post-16 learners: an evaluation – A research report for the Learning and Skills Research Centre. University of Newcastle, 2004.

- [Nor-05] North, K., Reinhardt, K.: Kompetenzmanagement in der Praxis. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2005.
- [Nor-99] North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung: Wertschöpfung durch Wissen. Gabler, Wiesbaden, 1999.
- [Noy-01] Noy, N. F., McGuinness, D. L.: Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford University, 2001.
- [ODG-23] Odgen, C. K.: The meaning of meaning: A study of the influence of language upon thought and of the science of symbolism. Routledge & Kegan Paul Ltd., London, 1923.
- [Öhr-08] Øhrstrøm, P.: Jakob Lorhards Ontology: A 17th Century Hypertext on the Reality and Temporality of the World of Intelligibles. In: Eklund, P., Haemmerlé, O. [Hrsg.]: 16th International Conference on Conceptual Structures (ICCS) 2008, Toulouse, Springer, Berlin Heidelberg, 2008.
- [Ont-10] Ontolingua. URL: <http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua> (Aufruf am 28.6.10).
- [Ope-10] OpenCyc. URL: <http://www.opencyc.org> (Aufruf am 30.7.10).
- [OWLViz-10] OWLViz [Hrsg.]: A armonization plugin for the Protégé OWL Plugin. Manchester, 2010. URL: <http://www.co-ode.org/downloads/owlviz/> (Aufruf am 20.05.10).
- [Paq-07] Paquette, G.: An Ontology and a Software Framework for Competency Modeling and Management. In: Educational Technology & Society, 2007.
- [Pat-08] Patrinos, H., A.: The role of the private sector in the global market for education. The World Bank, Washington DC, 2008.
- [Paw-01] Pawlowski, J. M.: Das Essener Lern-Modell: Eine Vorgehensweise zur Entwicklung computergestützter Lernumgebungen. Dissertation, Essen, 2001.
- [Pel-06] Pellegrini, T., Blumauer, A.: Semantic Web – Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft. Springer, Berlin Heidelberg, 2006.
- [PEO-08] Professional Engineers Ontario. URL: <http://www.peo.on.ca/> (Aufruf am 24.09.2009).
- [Pol-09] Pollock J. T.: Semantic Web for Dummies. Wiley Publishing Inc., 2009.
- [Pol-66] Polanyi, M.: The Tacit Dimension. The University of Chicago Press, Chicago, 1966.
- [Pra-02] Prange, C.: Organisationales Lernen und Wissensmanagement. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2002.

- [Pro-10] Protégé Ontologies Library. URL: http://protegewiki.stanford.edu/wiki/Protege_Ontology_Library#OWL_ontologies (Aufruf am 26.10.10).
- [Pro-98] Probst, G. J. B., Büchel, B. S. T.: Organisationales Lernen - Wettbewerbsvorteil der Zukunft. Wiesbaden, 1998.
- [Qui-98] Quinn, J. B., Anderson, P., Finkelstein, S.: Managing Professional Intellect, Making the Most of the Best. In: Harvard Business Review on Knowledge Management [Hrsg.], Harvard Business School Press, Boston, 1998.
- [Rau-08] Raue, C.: Analyse akademischer Kompetenzziele – Ergebnisbericht für die Fakultät V. TU Berlin, Berlin, 2008.
- [Reh-96] Rehäuser, J., Krcmar, H.: Wissensmanagement in Unternehmen. In: Schreyögg, G., Conrad, P. [Hrsg.]: Managementforschung, Berlin New York, 1996.
- [Rei-00] Reinmann-Rothmeier, G., Mandl, H.: Individuelles Wissensmanagement. Huber, Bern, 2000.
- [Rei-08] Reinmann, G., Eppler, M.: Wissenswege, Methoden für das persönliche Wissensmanagement. Huber, Bern, 2008.
- [Rei-09] Reise, C., Seliger, G.: Assessment Of Competence Development – Experiences in the International Master Program “Global Production Engineering”. In: Proceedings, EDUlearn Conference, Presentation, Spain, 2009.
- [Rei-10] Reise, C., Seliger, G.: Knowledge Based Systems for Planning Learning Outcomes in Manufacturing Engineering. In: Proceedings, Joint International IGIP- SEFI Annual Conference 2010, Slovakia, 2010.
- [Res-02] Rese, M., Gräfe, G.: Erhöhte Markttransparenz durch das Internet? Eine informationsökonomische Analyse des Anbieterverhaltens bei der Bereitstellung von Informationen. In: Die Unternehmung, Vol. 56, 2002.
- [Ric-09] Richter, S.: Teamplanung mit semantischen Webtechnologien. Diplomarbeit, FU Berlin, 2009. URL: <http://www.zib.de/gottwald/dokumente/DiplomarbeitSG.pdf> (Aufruf am 2.8.10).
- [Rii-07] Riives, J., Otto, T.: Innovative development of human resources in enterprise and in society. Project Report, TUT Press, Tallinn, 2007.
- [Ros-03] Von Rosenstiel, L.: Grundlagen der Organisationspsychologie. Schaeffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2003.
- [Ros-10] Rosetta-Net. URL: <http://www.rosettanel.org> (Aufruf am 19.7.10).
- [Ros-99] Roscher, F., Sachs, A.: Credit-Rahmenwerk für die Fachhochschulen in Baden-Württemberg. In: Schriftenreihe REPORT – Band 37, Hannover, 1999.

- [Rot-71] Roth, H.: Pädagogische Anthropologie, Band II: Entwicklung und Erziehung. Schroedel, Hannover, 1971.
- [Ruf-08] Ruffert, C., Pape, F., Gatzert, H. H.: ANKOM-Projekt "ProfIS" – Professional Improvement by Study in Engineering Sciences. In: Stamm-Riemer, I., Löffel, C., Minks, K.-H. [Hrsg.]: Die Entwicklung von Anrechnungsmodellen, HIS: Forum Hochschule, Nr. 13, 2008.
- [Rut-88] Rutheford, D. R.: New York Times, 25.02.1988.
- [Sau-04] Sauter, A. et al.: Effiziente Integration von E-Learning und Präsenztraining. Luchterhand, München, 2004.
- [Schie-07] Schiersmann, C.: Berufliche Weiterbildung. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2007.
- [Schil-07] Schill, A.: Analyse logisch-basierter Reasoner zur Ableitung von Kontextinformationen in mobilen Szenarien, Großer Beleg. TU Dresden, 2007. URL: http://www.rn.inf.tu-dresden.de/uploads/Studentische_Arbeiten/Beleg_Eichhorn_n.pdf (Aufruf am 15.7.10).
- [Schmi-07] Schmidt, S.: Produktberatung mittels Informationsextraktion aus dem Internet. Dissertation, Erlangen, 2007.
- [Schmi-08] Schmidt, A., Kunzmann, C., Biesalski, E.: Systematische Personalentwicklung mit ontologiebasierten Kompetenzkatalogen: Konzepte, Erfahrungen und Visionen. Präsentation, 2008. URL: http://www.christine-kunzmann.de/pdf/schmidt_kunzmann_biesalski_FTKompetenzmanagement_folie_n.pdf (Aufruf am 2.8.10).
- [Schne-04] Schneider, A.: IMS Learning Design als Grundlage für die Gestaltung von e-Learning Systemen. Diplomarbeit, Goethe-Universität Frankfurt, Frankfurt, 2004.
- [Schoe-04] Schoenheit, I.: Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Verbraucherinformation. Landeszentrale für politische Bildung, Verbraucherzentrale Bundesverband [Hrsg.]: Politikfeld Verbraucherschutz, Potsdam Berlin, 2004.
- [Schre-02] Schreiber, G. et al.: Knowledge Engineering and Management, MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, 2002.
- [See-00] Seeber, S.: Stand und Perspektiven von Bildungscontrolling. In: Seeber, S., Krekel, E. M. van Buer, J. [Hrsg.]: Bildungscontrolling, Ansätze und kritische Diskussion zur Effizienzsteigerung von Bildungsarbeit, Lang, Frankfurt a.M., 2000.
- [Sel-04] Seliger, G. et al.: Global Product Development (GPD) – Best Practice in Modern Engineering Education. In: Proceedings of the Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering 2004, Uni-Edition, Berlin, 2004.

- [Sel-07] Seliger, G., Weinert, N., Zettl, M.: Module Configurator for the Development of Products for Ease of Remanufacturing. Proceedings of 14th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Tokyo, Japan, 2007.
- [Sel-08] Seliger, G., Reise, C.: Design of an Engineering Curriculum for Sustainable Development – Experiences from the International Master Program “Global Production Engineering”. In: Proceedings, CIRP CIMEC Conference, Nantes, Frankreich, 2008.
- [Sel-09] Seliger, G., Reise, C., McFarland, R.: Outcome-oriented Learning Environment or Sustainable Engineering Education. In: Proceedings 7th Global Conference on Sustainable Manufacturing, IIT Madras, Indien, 2009.
- [Shu-86] Shuell, T. J.: Cognitive Conceptions of Learning. In: Review of Educational Research, 1986.
- [Sim-72] Simpson, E.: The Psychomotor Domain. Gryphon House, Washington DC, 1972.
- [Ski-63] Skinner, B. F.: Operant behavior, American Psychologist, 18, 1963.
- [Sla-10] Slaney, J., Thiébaux, S.: Blocks world. URL: <http://users.cecs.anu.edu.au/~jks/bw.html> (Aufruf am 19.02.10).
- [Smi-99] Smith, P., Ragan, T.: Instructional design. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
- [Sor-98] Sorbonne-Deklaration 1998: Sorbonne joint declaration: Joint declaration on armonization of the architecture of the European higher education system. 2008. URL: http://www.bologna-berlin2003.de/pdf/Sorbonne_declaration.pdf (Aufruf am 31.1.10).
- [Spu-03] Spur, G.: Technologische Innovationen – ein wissenschaftstheoretischer Ansatz. In: Nachhaltiges Wachstum durch Innovation, acatech Tagungsband, 2003.
- [Spu-07] Spur, G.: Produktion. In: Czichos, H., Hennecke, M. [Hrsg.]: Hütte. Das Ingenieurwissen, Springer-Verlag, 2007.
- [Sta-01] Staab, S., Schnurr, H.P., Studer, R., Sure, Y.: Knowledge Processes and Ontologies. IEEE Intelligent Systems, 2001.
- [Sta-06] Staller, A.: Merging domain knowledge and task analysis in an ontology. In: Méndez-Vilas, A., Solano Martin, J., Mesa González, J. A., Mesa González, A. [Hrsg.]: Current Developments in Technology-Assisted Education, 2006.
- [Sta-09] Stangl, W.: Stangls Arbeitsblätter. URL: <http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/LERNZIELE/> (Aufruf 19.11.09).
- [Sta-10] Stanford Center for Biomedical Informatics Research [Hrsg.]: The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System. URL: <http://protege.stanford.edu/> (Aufruf am 20.7.10).

- [Ste-10] Stephan, M. et al.: 25 Jahre ressourcen- und kompetenzorientierte Forschung. Gabler, Wiesbaden, 2010.
- [StS-10] Studienseminar Koblenz: Das Lehr-Lern-Modell in den naturwissenschaftlichen Fachseminaren. URL: <http://www.leisen.studienseminar-koblenz.de/uploads2/02%20Der%20Kompetenzfermenter%20-%20Ein%20Lehr-Lern-Modell/1%20Ein%20Lehr-Lern-Modell%20fuer%20den%20kompetenzorientierten%20Unterricht.pdf> (Aufruf am: 06.08.10).
- [Sur-02] Sure, Y., Staab, S., Studer, R.: On-To-Knowledge Methodology (OTKM). In: Handbook on Ontologies, International Handbooks on Information Systems, Springer, 2003.
- [Swa-97] Swartout, B., Ramesh, P., Knight, K., Russ, T.: Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies. In: Farquhar, A., Gruninger, M., Gómez-Pérez, A., Uschold, M., van der Vet, P. [Hrsg.]: AAAI'97 Spring Symposium on Ontological Engineering, Stanford University, California, 1997.
- [Tel-10] TELOS Operation System. URL: <http://www.cogigraph.com/Produits/TELOSOOperatingSystem/tabid/1001/language/en-US/Default.aspx> (Aufruf am 22.03.10).
- [Tse-10] Gesellschaft für Technologieberatung und Systementwicklung: HR Kompetenzmanagement. URL: <http://www.tse.de/kontakt/>, (Aufruf am 20.10.10).
- [TUB-10] TU Berlin: Hochschulrankings. URL: <http://www.tu-berlin.de/index.php?id=1574> (aufruf am 22.10.10).
- [Une-10] Unesco: Tabelle 20A - Reginal sum of enrolment by ISCED level. URL: stats.uis.unesco.org/unesco/TableView/tableView.aspx (Aufruf am 6.10.10).
- [Une-97] Unesco [Hrsg.]: International Standard Classification of Education (ISCED). Paris, 1997. URL: http://www.unesco.org/education/information/nfsunesco/doc/isced_1997.htm (Aufruf am 20.10.10).
- [Usc-96] Uschold, M., Grüninger, M.: Ontologies: Principles, Methods and Applications. In: Knowledge Engineering Review, 1996.
- [Ush-95] Uschold, M., King, M.: Towards a Methodology for Building Ontologies. In: Skuce, D. [Hrsg.]: IJCAI'95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Montreal, Canada, 1995.
- [VDI-08a] VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (VDI-GVC): Qualifikationsrahmen und Curricula für Studiengänge der Verfahrenstechnik, des Bio- und des Chemieingenieurwesens an Universitäten und Fachhochschulen. 2008.

- [VDI-08b] VDI: Kompetenzen und Standards im Technischen und Textilen Gestalten. Vortrag, Bern, Schweiz, 2008. URL: http://www.dgtb.de/fileadmin/user_upload/Materialien/Didaktik/Vortrag-PHBern-End.pdf (Aufruf am 24.09.10).
- [VDI-09] VDI: Qualitätsdialog: Lehre und Lernen in der Ingenieurausbildung. 2009. URL: http://www.stifterverband.info/veranstaltungen/archiv/2009/2009_09_14_qualitaetsdialog_ingenieurausbildung/index.html (Aufruf am 24.09.10).
- [VDI-3780] VDI: VDI-Richtlinie 3780: Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin, 1991.
- [W3C-04a] World Wide Web Consortium (W3C): Architecture of the World Wide Web – Volume One. W3C Recommendation, 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/webarch/>, (Aufruf am 15.09.10).
- [W3C-04b] World Wide Web Consortium (W3C): OWL Web Ontology Language Reference. W3C Recommendation, 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/owl-ref/> (Aufruf am 15.09.10).
- [W3C-04c] World Wide Web Consortium (W3C): OWL Web Ontology Language Semantics and Abstract Syntax. W3C Recommendation, 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/owl-semantics/> (Aufruf am 15.09.10).
- [W3C-04d] World Wide Web Consortium (W3C): Resource Description Framework (RDF). W3C Recommendation, 2004. URL: <http://www.w3.org/RDF/> (Aufruf am 15.09.10).
- [W3C-10] World Wide Web Consortium (W3C): Standards. URL: <http://www.w3.org/standards/> (Aufruf am 15.09.10).
- [Wag-04] Wagner, B.: Verifikation von Qualifikationen in einem LPS. Hannover, 2004. URL: http://www4.tu-ilmenau.de/lps/hannover/ap2_102002.pdf (Aufruf am 15.09.10).
- [Wec-09] Weckenmann, A., Werner, T.: Quality Management for Sustainability in Manufacturing. In: Proceedings 7th Global Conference on Sustainable Manufacturing, IIT Madras, Indien, 2009.
- [Wöh-08] Wöhe, G., Döring, U.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Franz Vahlen, München, 2008.
- [Wür-03] Volker Würthele, Datenqualitätsmetrik für Informationsprozesse, Department of Computer Sciences, Abteilung Informationssysteme, Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich, Dissertation, Verlag Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2003.
- [Xin-10] Business networking for professionals on XING. URL: www.XING.com (Aufruf am 15.09.10).

- [You-03] Young, M. F. D.: National Qualifications Frameworks as a global phenomenon: a comparative perspective. *Journal of Education and Work*, 2003.
- [Zie-08] Ziegler, J.: Interaktive Aspekte kollaborativer Ontologieentwicklung. In: *Interaktive Systeme und Interaktionsdesign*, Universität Duisburg-Essen, 2008. URL: http://buell.izbi.uni-leipzig.de/gridworkshop/presentations/Ziegler_Interaktive%20Aspekte.pdf (Aufruf am 15.09.10).

9 Anhang

9.1 Plotin-Wissensbank

9.1.1 Semi-informale Strukturtabelle

Die folgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt der Klassen, Instanzen, binären und unären Relationen, die im Rahmen der Arbeiten erstellt wurden.

Konzept/Klasse	Unterklasse	Instanz	Beziehung/Property	Attributes/Performance Indicators
Objekt-MF Fabrikbetriebswissen	Technikbewertung	e.g. DIN3780	istTeilVon hatObjekt	
	Organisation	e.g. Ablauforganisation		
	Investition & Kostenrechnung	e.g. Deckungsbeitrag II		
	Prozesse, Produkte, Betriebsmittel	e.g. Simultaneous-Engineering		
	Beschreibungsmittel, Optimierungsverfahren, Modellierungsverfahren	e.g. Nutzwertanalyse		
	Nachhaltige Industrielle Wertschöpfungsnetze	e.g. Social-Corporate-Responsibility		
Verb-Kognitiv	Apply	e.g. calculate	hatVerb	
	Analyze	e.g. diagnose		
	Synthesize	e.g. conclude		
	Evaluate	e.g. appraise		
Verb-Affektiv	Receive	e.g. choose		
	Respond	e.g. assist		
	Value	e.g. increase proficiency		
	Internalize	e.g. teach		
Performance Indicator Attribute	Autonomy	e.g. full guidance	hatAutonomie (some)	
		e.g. minimal guidance		
		e.g. autonomously		
	Scope	e.g. full scope	hatScope (some)	
		e.g. partial scope		
	Context	e.g. why?	hatContext (some)	
		e.g. where?		
		e.g. how?		
	Frequency	e.g. with instrument?	hatFrequency (some)	
		e.g. every time		
Level-Descriptors (LO)	Complexity	e.g. in some cases	hatComplexity (some)	
		e.g. high		
		e.g. middle		
		e.g. low		
LO-core	Level-01	e.g. Level-01	hatLevel-Descriptor	
	Level-02			
	Level-03			
	Level-04			
	Level-05			
LO-core	Object	e.g. MF-Fabrikbetriebswissen	istTeilVon hatObjekt hatVerb	Klasse' Performance Indicator
	Verb	e.g. Verb-Kognitiv		

Tabelle 9-1: Auszug aus der semi-informalen Strukturtabelle

9.1.2 Semi-informale Verbenliste

Den Klassen der Lernzieltaxonomien im affektiven und kognitiven Bereich wurden ca. 400 Verben zugeordnet. Verben können teilweise mehreren Klassen angehören, daher können die Konzeptklassifikationsbäume nicht mit disjunkter Struktur modelliert werden. Es wurde eine Analyse der gängigen Verben vorgenommen. Es handelt sich dabei um die Verben in den grau hinterlegten Feldern. Sie werden auf der ersten Auswahlseite des LOG dargestellt. Die Verben in den weiß hinterlegten Feldern, werden auf einer Unterseite des LOG dargestellt, die über einen „show more“ Button angewählt werden kann. Für den psychomotorischen Bereich erfolgt die Klassifikation der Handlungsfähigkeit über die Leistungsindikatoren und nicht über die Verben. Es wurde daher in dieser Dimension keine Taxonomie der Verben erstellt.

Affective	Receive	willingness to receive information			total= 30
		Accept	Challenge	Describe	Give
		Appreciate	Choose	Differentiate	Hold
		Ask	Combine	Display	Identify
		Assist	Complete	Dispute	Integrate
		Attempt	Defend	Embrace	Listen
		Attend	Demonstrate	Follow	Locate
					Use
	Respond	action participation in own learning			total= 25
		Acclaim	Assist	Follow	Perform
		Aid	Comply	Greet	Practice
		Answer	Conform	Help	Present
		Applaud	Commend	Label	Read
		Approve	Discuss	Participate	Recite
					Write
	Value	commit to a value			total= 28
		Assist	Differentiate	Invite	Read
		Complete	Explain	Join	Relinquish
		Debate	Follow	Judge	Report
		Demonstrate a belief in	Form	Justify	Select
		Defend	Increase proficiency	Propose	Share
		Deny	Initiate	Protest	Study
	Organize	compare, relate, synthesize values			total= 23
		Accommodate	Combine	Examine	Integrate
		Adhere	Compare	Explain	Modify
		Alter	Complete	Formulate	Order
		Arrange	Defend	Generalize	Organize
		Balance	Discuss	Identify	Prepare
	Internalize Values	aim integration of beliefs, ideas and attitudes			total= 26
		Act	Interpret	Practice	Resist
		Avoid	Listen	Propose	Resolve
		Discriminate	Maintain objectivity	Qualify	Respect
		Display	Manage	Question	Revise
		Evidence	Modify	Rate	Serve
		Influence	Perform	Require	Solve

Tabelle 9-2: Liste von Verben der affektiven Dimension

Cognitive					
	Remember				total= 38
		Arrange	Find	Name	Recognize
		Collect	Identify	Order	Recollect
		Describe	Label	Organize	Record
		Draw	List	Outline	Recount
		Duplicate	Locate	Present	Relate
		Enumerate	Match	Quote	Repeat
		Examine	Measure	Recall	Reproduce
		Extract	Memorize	Recite	Select
	Apply				total= 41
		Apply	Demonstrate	Explain	Practice
		Arrange	Develop	Find	Predict
		Calculate	Discover	Illustrate	Prepare
		Change	Dramatize	Interpret	Produce
		Choose	Draw	Make	Relate
		Classify	Employ	Manipulate	Schedule
		Complete	Examine	Modify	Select
		Compute	Exemplify	Operate	Show
		Construct	Experiment	Perform	Sketch
	Understand				total= 51
		Associate	Define	Extend	Locate
		Change	Demonstrate	Find	Name
		Clarify	Describe	Formulate	Paraphrase
		Classify	Differentiate	Generalize	Perform
		Compare	Discriminate	Identify	Predict
		Comprehend	Discuss	Illustrate	Present
		Construct	Distinguish	Indicate	Recognize
		Contrast	Estimate	Infer	Report
		Convert	Exemplify	Interpret	Represent
		Decode	Explain	Judge	Restate
		Defend	Express	Justify	Review
	Analyse				total= 41
		Advertise	Connect	Discriminate	Infer
		Analyze	Contrast	Distinguish	Inspect
		Appraise	Criticize	Divide	Investigate
		Breakdown	Debate	Elucidate	Justify
		Calculate	Deduce	Examine	Order
		Categorize	Determine	Experiment	Outline
		Classify	Devote	Explain	Point out
		Compare	Diagnose	Identify	Question
		Conclude	Differentiate	Illustrate	Recognize
	Evaluate				total= 42
		Appraise	Convince	Discuss	Prioritize
		Argue	Criticize	Estimate	Question
		Ascertain	Debate	Evaluate	Rate
		Assess	Decide	Explain	Recommend
		Attach	Defend	Interpret	Relate
		Choose	Defend	Judge	Resolve
		Compare	Describe	Justify	Revise
		Conclude	Determine	Measure	Score
		Contrast	Discriminate	Predict	Select
	Synthesise				total= 62
		Account	Construct	Generate	Predict
		Add to	Create	Hypothesize	Prepare
		Alter	Derive	Imagine	Present
		Argue	Design	Integrate	Propose
		Arrange	Develop	Invent	Put together
		Assemble	Devise	Make	Rearrange
		Buildup	Engender	Manage	Rearrange
		Categorize	Enlarge	Modify	reconstruct
		Collect	Establish	Order	Relate
		Combine	Explain	Organize	Reorganize
		Compile	Forecast	Originate	Report
		Compose	Formulate	Plan	Restate
		Conclude	Generalize	Precise	Revise

Tabelle 9-3: Liste von Verben der kognitiven Dimension

9.1.3 Semi-informale Vorlesungsinhaltetabelle

Es wurden insgesamt zehn Konzeptklassifikationsbäume erstellt, die auf vier bis sechs taxonomischen Ebenen Wissensinhalte des Fabrikbetriebs strukturieren. Im Folgenden sind Auszüge der Strukturtabellen für die Wissensdomänen Technologiebewertung und Produktionssteuerung exemplarisch dargestellt.

Wissensdomäne	besteht aus Inhaltsblöcken	besteht aus Inhaltsblöcken	besteht aus Inhaltsblöcken
Technologiebewertung	DIN 3780 - Technikbewertung	Definition "Technikbewertung"	
		Zielsetzung, Zielgruppe	
		Begriffsbestimmung (Ziele, Zielarten, Mittel, Interesse, Werte, Wertsysteme u.a.)	
		Bedeutung von Wertsystemen für die Technik	
		Werte im technischen Handeln) (Funktionsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit, Wohlstand, Sicherheit, Gesundheit, Umweltqualität und Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität)	
		Methoden der Technikbewertung	Typen von Technikbewertung (probleminduziert vs. technikinduziert; innovativ vs. reaktiv)
			Phasen der Technikbewertung - Definition und Strukturierung des Problems - Folgenabschätzung - Bewertung - Entscheidung
		Instrumente/ Werkzeuge	Stoffstromanalyse
			Ökobilanz (ISO 14040, 14044) (Life Cycle Assessment)
			Trendexploration
			Historische Analogiebildung
			Brainstorming
			Delphi-Expertenbefragungen
			Morphologische Klassifikation
			Relevanzbaumanalyse
			Risikoanalyse
			Verflechtungsmatrixanalyse (Cross Impact Analysis)
			Modellsimulation
			Szenariogestaltung
			Kosten-Nutzen-Analyse
			Nutzwertanalyse
			Technologieportfolio

Tabelle 9-4: Screenshot der Wissensdomäne Technologiebewertung

Wissensdomäne	besteht aus Inhaltsblöcken	besteht aus Inhaltsblöcken	besteht aus Inhaltsblöcken	besteht aus Inhaltsblöcken
Produktionsplanung	Fabrikplanung	Gebäudeplanung		
		Produktionsanlagenplanung		
		Anlagenlayoutplanung		
		Personalplanung		
		Produktionssysteme	Toyota Produktionssysteme	
			Volvoismus	
			Taylorismus	
			Fordismus	
			Ganzheitliche Produktionssysteme	
	Produktionsprogrammplanung	Finanzierung und Investition		
		Produktplanung		
		Mengenplanung		
	Materialbedarfsplanung	Stücklisten	Strukturstückliste	
			Baukastenstückliste	
			Variantenstückliste	
			Dispositionsstückliste	
			Mengenübersichtsstückliste	
		Arbeitspläne	Aufbau von Arbeitsplänen	
			Ermittlung von Arbeitszeit	
			Ermittlung von Arbeitskosten	
		Beschaffungsmanagement	Make-or-Buy	Herstellkosten
				Transaktionskosten
			Primär, Sekundär, Tertiärbedarfe	ABC-Analyse
				XYZ-Analyse
				Wertanalyse
				Materialflussanalyse
		Losgrößenplanung	Modelle zur Bestimmung optimaler Losgröße	
			Klassifizierung von Losgrößen	
			Ermittlung der optimalen Losgröße	
		Durchlauf- und	Vorwärtsterminierung	Netzplantechnik etc.
			Rückwärtsterminierung	
			Kapazitätsplanung	Vergabe des Auftrags an Externe
				Zeitliche Verlagerung
				Technische Verlagerung
				Technische und zeitliche
		Reihenfolgeplanung und Feinterminierung	Produktionssteuerung	
	Informationstechnische Unterstützung der Materialbedarfs- und Produktionsprozessplanung	MRP I		
		MRP II		
		ERP	SAP, BAAN, Oracle	
	Betrieb von Produktionssystemen	Organisation der Arbeit	Klare Verantwortlichkeiten	Gruppenarbeit
			Beteiligung der Mitarbeiter / Übertragung von Kompetenz und Verantwortung	Führung / Zielvereinbarungen
				Prozessbeschreibung
				Mitarbeiterrotation
		Professionelle Arbeitsroutinen	Standardisierte Methoden und	
			Visuelles Management	Andon-Tafel
				Informationsbereiche
				Mitarbeiterkommunikation
			Ergonomie	MTM / Refa
		Robuste Prozesse	Prozessorganisation	Statistische Prozesskontrolle
			Dezentralisierung	Qualitätsregelkreise
			präventives Qualitätsmanagement	Andon - Tafeln
				Prozess-FMEA
				Qualitätsalarm
		Logistik	Produktionsglättung	FIFO

Tabelle 9-5: Screenshot der Wissensdomäne Produktionsplanung

9.1.4 Auszüge aus dem OWL-Sourcecode

Alle Ontologien wurden in OWL-DL erstellt. Der hier dargestellte Auszug aus der Plotin-Ontologie beschreibt die Oberklasse Wissensinhalte MF-Fabrikbetrieb. Als Unterklassen sind die vier Inhaltsblöcke „Beschreibungsmittel, Modellierungsverfahren, Optimierungsverfahren“, „Kostenrechnung, Bilanzierung, Finanzierung und Investition“, „Nachhaltige industrielle Wertschöpfungsnetze“ und „Organisation“ dargestellt. Jeder Klasse ist eine URI als individueller Bezeichner zugeordnet. Die Plotin-Ontologien sind in der Protégé Ontologies Library unter [Pro-10] veröffentlicht.

```
- <owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012008825211584">
  <rdfs:label>MF-Fabrikbetriebswissen</rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_01281174663168327000"/>
</owl:Class>
- <!--
  http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012029417245487
-->
- <owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012029417245487">
  <rdfs:label>
    Beschreibungsmittel-Modellierungsverfahren-Optimierungsverfahren
  </rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012008825211584"/>
</owl:Class>
- <!--
  http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012451140076182
-->
- <owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012451140076182">
  <rdfs:label>
    Kostenrechnung-Bilanzierung-Finanzierung-Und-Investition
  </rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012008825211584"/>
</owl:Class>
- <!--
  http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012451142247687
-->
- <owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012451142247687">
  <rdfs:label>Nachhaltige-Industrielle-Wertschoepfungsnetze</rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012008825211584"/>
</owl:Class>
- <!--
  http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012451144294875
-->
- <owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012451144294875">
  <rdfs:label>Organisation</rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/7/LOGPE08.owl#OWLClass_00000012008825211584"/>
</owl:Class>
```

Abbildung 9-1: Screenshot des OWL-Sourcecodes der Plotin-Ontologie

9.1.5 Protégé-Screenshots

9.1.5.1 LO-Kernontologie

Der Screenshot zeigt auf der linken Seite die Konzeptklassifikationsbäume der LO, der Inhaltsobjekte, der Leistungsindikatoren und der Verben. Auf der rechten Seite sind die binären Relationen der Domain LO exemplarisch dargestellt. Zur Range gehören die Klassen der unterschiedlichen Leistungsindikatoren, der Wissensobjekte und der Verben.

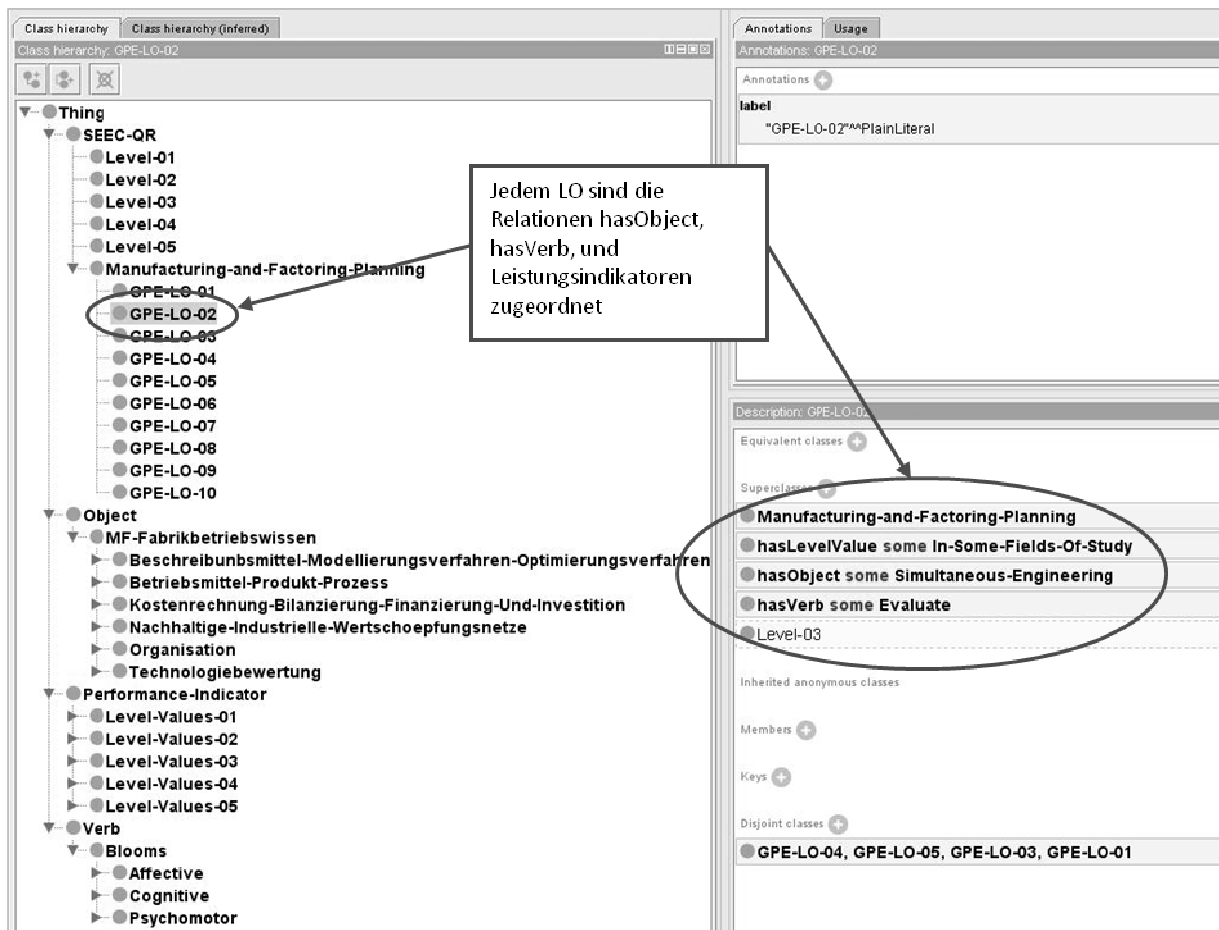


Abbildung 9-2: Screenshot der LO-Kernontologie

9.1.5.2 Wissensinhalte-Ontologie MF-Fabrikbetrieb

Der Screenshot der Protégé Eingabemaske zeigt die Konzeptklassifikationen des MF-Fabrikbetriebswissens mit Ausschnitten der insgesamt sechs Hierarchieebenen mit ca. 200 Unterklassen und 1.000 hinterlegten Instanzen.



Abbildung 9-3: Screenshot der Wissensobjektontologie Manufacturing and Factory Planning

9.2 LOG

9.2.1.1 Start-Eingabemaske

Beim Start des LOG über die Modulbeschreibung erscheint die Start-Eingabemaske.

GLOBAL PRODUCT ENGINEERING
The masters program of the TU-Berlin

logout

Master Data Management

LOG

The students can analyze under supervision a material flow with low complexity in automated systems of the automotive industry. In familiar situations they fulfill in most cases the task for common applications.

The students can calculate the throughput time of middle complex systems by means of net-plan-technique.

The students can describe autonomously the relation between throughput-time and capacity utilization using diagrams.

+ Cognitive Ebene

Hier ein Infotext zu der
Cognitiven Ebene Hier ein
Infotext zu der Cognitiven
Ebene Hier ein Infotext zu
der Cognitiven Ebene

+ Affektive Ebene

Hier ein Infotext zu der
Affektiven Ebene Hier ein
Infotext zu der Affektiven
Ebene Hier ein Infotext zu
der Affektiven Ebene

+ Psychomotorische Ebene

Hier ein Infotext zu der
Psychomotorischen Ebene
Hier ein Infotext zu der
Psychomotorischen Ebene
Hier ein Infotext zu der
Psychomotorischen Ebene

markierten Satz löschen

markierten Satz bearbeiten

Freitext eingeben

LOG beenden und Text in die Hauptmaske übernehmen

LOG beenden

LOG Text drucken

Abbildung 9-4: Screenshot der LOG-Eingabemaske Startseite

9.2.1.2 Verben-Liste

Die Verben-Liste gibt in der ersten Ebene 48 Alternativen. Zu jeder kognitiven Ebene können durch den Button „show more“ weitere Verben ausgewählt oder neue Verben zugefügt werden.

GLOBAL PRODUCTION ENGINEERING
The masters program of the TU-Berlin

[x logout](#)

Master Data Management

LOG

The students can analyze

Verb					
Knowing	Applying	Understanding	Analysis	Evaluation	Synthesis
list	apply	clarify	analyze	compare	construct
outline	calculate	classify	categorize	conclude	create
quote	demonstrate	describe	diagnose	evaluate	develop
recall	operate	differentiate	differentiate	judge	hypothesize
recite	solve	illustrate	elucidate	measure	integrate
reproduce	use	locate	examine	prioritize	organize
arrange	verify	summarize	identify	question	plan
collect	perform	understand	investigate	rate	predict
show more...	show more...	show more...	show more...	show more...	show more...

[Admin](#) [back](#) Schritt 1 von 8 [next →](#)

Abbildung 9-5: Screenshot der LOG-Eingabemaske Verbenauswahl

9.2.1.3 Attribute-Struktur

Als Beispiel für eine der Attribute, wird hier die Eingabemaske für den Leistungsindikator Autonomie / Verantwortung dargestellt.

The screenshot shows a web interface for 'GLOBAL PRODUCTION ENGINEERING' (GPE) at TU-Berlin. The page title is 'Master Data Management'. A 'logout' button is visible in the top right. The main content area is titled 'LOG' and contains a description: 'The students can calculate with minimum guidance the throughput time of a low complex System using net-plan-technique'. Below this, a table titled 'Attribut/Autonomy/Responsibility' lists various levels of autonomy and responsibility. The table has a header 'List' and contains eight rows. The third row, 'with minimum guidance', is highlighted. On the left side of the table, there are buttons for 'Admin' and 'back'. At the bottom, there are navigation buttons: 'prev', 'Schritt 2 von 8', and 'next'.

Attribut/Autonomy/Responsibility
List
under guidance
with minimum guidance
autonomously
without responsibility
self-responsible
with limited responsibility
with limited autonomy

Abbildung 9-6: Screenshot der LOG-Eingabemaske Leistungsindikatoreauswahl

9.3 Glossar

A-Box	Die A-Box umfasst das assertionale Instanzwissen einer Datenbank. Die A-Box beinhaltet die Aussagen über Individuen, die in die Wissensbank eingetragen oder auf Basis der bestehenden Ontologiestruktur durch Inferenzmaschinen erschlossen werden [Hit-08].
Akkreditierung	Eine Akkreditierung ist eine Qualitätssicherungsmaßnahme für Bildungsinstitutionen, die von einer unabhängigen Agentur durchgeführt wird. Teilweise wird durch die Akkreditierung das Recht erworben, entsprechende Zertifizierungen durchzuführen.
Ausdrucks-mächtigkeit	Natürliche Sprachen verfügen im Gegensatz zu Programmiersprachen über zahlreiche Möglichkeiten, die Bedeutung von Konzepten auszudrücken. Der Grad, mit dem eine formale Sprache Sachverhalte darstellen kann, wird als Ausdrucksmächtigkeit bezeichnet.
Aussagenlogik	In der Aussagenlogik werden Aussagen gebildet, miteinander verknüpft und einem Wahrheitswert zugeordnet. Aussagen sind beschreibende Sätze, die in der Aussagenlogik mit Hilfe von Prädikatssymbolen, aussagenlogischen Variablen sowie Junktoren wie Negation ($\neg$), Konjunktion ($\wedge$), Disjunktion ($\vee$), Implikation ($\rightarrow$) und Äquivalenz ($\leftrightarrow$) gebildet werden.
Axiom	Axiome sind logische Aussagen, die immer auf Objekte der Wissensbank zutreffen und auch ohne Herleitung wahr sind. Sie werden vorwiegend eingesetzt, um Einschränkungen innerhalb der Ontologien zu definieren.
Beschreibungslogik	Beschreibungslogiken sind eine Familie von Sprachen zur Wissensrepräsentation, die größtenteils eine Untermenge der Prädikatenlogik erster Stufe bilden, im Gegensatz hierzu aber entscheidbar sind.
Bildungs-Institution	Unter Bildungsinstitutionen werden die Gesamtheit der Institutionen verstanden, die Bildungsleistungen anbieten.
Bildungs-Programm	Bildungsprogramme umfassen die Gesamtheit aller Qualifizierungsaktivitäten, die durch einen zertifizierten Nachweis abgeschlossen werden.
Bologna-Prozess	Der Bologna-Prozess bezeichnet eine bildungspolitische Initiative zur Schaffung eines einheitlichen europäischen Hochschulwesens. Sie geht auf eine Erklärung europäischer Bildungsminister aus dem Jahr 1998 an der Sorbonne Universität in Paris zurück. Darin wurde vereinbart, im Ausland erbrachte Leistungen in einem gemeinsamen Hochschulraum unbürokratisch anerkennen zu lassen, die studentische Mobilität zu fördern und ein Kreditpunktesystem zu erarbeiten [Sor-98].
Brügge-Kopenhagen-Prozess	Für den Bereich der beruflichen Aus- und Weiterbildung wurde in Brügge 2001 und in Kopenhagen 2002 vom Rat der Bildungsminister eine „Entschließung zur Förderung einer verstärkten Zusammenarbeit bei der beruflichen Bildung“ entwickelt, die den sogenannten Brügge-Kopenhagen-Prozess begründet [EU-02]. Als Ziele wurden die Einordnung der beruflichen Bildung in das europäische Bildungssystem, die Anerkennung und Transparenz von Qualifikationen und die Schaffung von Instrumenten der Qualitätssicherung festgelegt.

Curriculum	Die Kombination von Lehrmodulen bildet ein Curriculum.
Domänenwissen	Das Domänenwissen bezeichnet die Gesamtheit der in einer bestimmten Wissensdomäne, z. B. Montagetechnik, abbildbaren Konzepte, Relationen, Axiome und Regeln.
European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS)	ECTS definiert den Erwerb von Leistungspunkten (engl. credit points), die während des Studiums durch Leistungsnachweise erworben werden. Die Leistungspunkte regeln Anrechnungs- und Zertifizierungsverfahren. Sie beschreiben den geschätzten Arbeitsaufwand des Lernenden in Stunden, die erforderlich sind, definierte Leistungsanforderungen zu erzielen. Ein Leistungspunkt soll dabei 25 bis 30 Arbeitsstunden entsprechen [EU-04].
European Credit Transfer System for Vocational Education and Training (ECVET)	Das ECVET-System soll die Anerkennung von Qualifikationen erleichtern, die in der beruflichen Bildung erworben werden. Das ECVET-System schlägt vor, lediglich die Lernergebnisse zu betrachten, die durch Qualifikationen erworben werden [EU-10].
Evaluation	Evaluation umfasst die Beschreibung, Analyse und Bewertung von Bildungsangeboten. Für eine Evaluation werden Daten methodisch organisiert erhoben und systematisch dokumentiert, um die Untersuchung, das Vorgehen und die Ergebnisse nachvollziehbar und überprüfbar zu machen.
Experten-system	Expertensysteme nutzen für die Lösung von realen Problemen rechnergestützt das Wissen von Experten, die vorher zu dieser Fragestellung befragt worden sind. Das Expertenwissen ist in Datenbanken abgelegt.
Extensible Markup Language (XML)	XML ist eine Auszeichnungssprache zur Darstellung hierarchisch strukturierter Daten in Form von Textdaten. XML wird u. a. für den plattformunabhängigen Austausch von Daten im Internet eingesetzt.
Frame-Logik (F-Logik)	Frame-Logik ist ein Formalismus, der Schlussfolgerungen aufgrund von Objekt- oder Frame-basierten Daten erlaubt.
Hidden Curriculum	Das Hidden Curriculum beschreibt die Menge an Fähigkeiten, die gelernt wurden, ohne explizit in Lernzielen beschrieben oder durch den Lehrer absichtlich vermittelt worden zu sein [Hor-03]. Die Anzahl und der Nutzen der nicht beabsichtigten Qualifikationen variiert je nach Lehrveranstaltung und Lernenden. Sie sind Teil der Lehrveranstaltung, entziehen sich aber der Messung.
Inferenz	Eine Inferenz ist ein logischer Schluss, der unter Nutzung von Informationen, welche bereits in einer Wissensbank zur Verfügung stehen, mit Hilfe einer Inferenzmaschine gezogen wird. Dafür kommen deterministische und nichtdeterministische Algorithmen zum Einsatz.
Inferenz-maschinen	Mit Inferenzmaschinen können implizit vorliegende Informationen in explizite Informationen transformiert werden. Inferenzmaschinen erkennen Inkonsistenzen, die bspw. Aufgrund von widersprüchlichen Aussagen durch Axiome und abgeschlossene Klassen entstehen.

Instanz	Instanzen sind Mitglied mindestens einer Klasse und bezeichnen ein konkretes Individuum einer Domäne [Hit-08]. Instanzen werden teilweise auch als Individuen bezeichnet.
Intelligenter Agent	Ein wissensbasiertes System kann synonym auch als intelligenter bzw. rationaler Agent bezeichnet werden [Gör-00].
Klasse	Klassen sind die abstrakten Mengen aller zu ihr gehörender Instanzen. Softwareanwendungen im Semantik Web, z. B. OWL und Protégé, nutzen zum Teil andere Ausdrücke. Klassen werden z. B. auch als Konzepte bezeichnet.
Learning Outcomes (LO)	LO beschreiben, was ein Lernender bei Abschluss eines Lernprozesses weiß, versteht und in der Lage ist zu tun. Sie werden beschrieben in Form von Wissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten [Gos-01].
Lehrmodul	Lehrmodule sind Lehrveranstaltungen, die aus mehreren unabhängigen Teilen, sogenannten Kursen, bestehen.
Lehrqualität	Die Lehrqualität beschreibt, wie viele Teilnehmer einer Lehrveranstaltung im Rahmen eines definierten zeitlichen Aufwands die Leistungsanforderungen erfüllen.
Lernproduktivität	Die Lernproduktivität misst, wie viel Aufwand ein Lernender benötigt, um die Leistungsanforderungen zu erfüllen
Life-Long-Learning	Die kontinuierliche Anpassung des eigenen Qualifikationsportfolios an aktuelle berufliche und gesellschaftliche Anforderungen wird auch als Life-Long-Learning beschrieben. Es beinhaltet die eigenständige Analyse des Qualifikationsprofils und den Abgleich mit heutigen und künftigen Anforderungsprofilen des Arbeitsmarktes.
Markttransparenz	Kuhlmann definiert Markttransparenz als den „Grad der Informiertheit von Wirtschaftssubjekten über relevante Aspekte der Marktstruktur und der Marktprozesse“ [Kuh-01].
Middle-Out-Vorgehen	Beim Middle-Out-Vorgehen werden zuerst die wichtigsten Klassen beschrieben, die dann das Fundament bilden, auf dem je nach Anwendungsfall spezialisiert oder generalisiert wird. Durch dieses Vorgehen wird ein ausgewogener Detaillierungsgrad erreicht, da nur benötigte Konzepte spezialisiert werden und somit der Modellierungsaufwand reduziert wird.
Modul- und Kursbeschreibung	Modul- und Kursbeschreibungen bilden ein gegenseitiges Vertragsverhältnis zwischen Lehrer und Lernendem. Der Modulverantwortliche verpflichtet sich mit der Modulbeschreibung, Produktspezifikationen hinsichtlich Inhalt, Ablauf, Prüfungsform, Anforderungsniveau und Umfang des Lernmoduls einzuhalten. Für den Lernenden bedeuten Modulbeschreibungen den Mindeststandard an Leistungserbringung.
Offene-Welt-Annahme	Offene-Welt-Annahme bezeichnet die Annahme, dass die in der Wissensbank hinterlegte Datenbasis für Schlussfolgerungen als unvollständig betrachtet wird. Dazu im Gegensatz steht die Geschlossene-Welt-Annahme, die davon ausgeht, dass alles relevante Wissen bereits in der Datenbank vorliegt.

Ontologie	Ontologien stellen ein Netzwerk von Informationen mit logischen Relationen dar, die nicht in einem hierarchischen Zusammenhang stehen müssen. Aufgrund ihrer Spezialisierung auf ein bestimmtes Themengebiet ist die Existenz von mehreren Ontologien möglich. Ursprünglich stammt der Begriff aus der Philosophie und versucht, Begriffe klar einzuordnen und definiert voneinander abzugrenzen.
Outcome	Die in der praktischen Tätigkeit erfolgreich durchgeführte Handlung definiert das Outcome. Erst dabei stellt sich heraus, ob der Lernende fähig ist, die erlangte Qualifikation auf eine unbekannte Situation zu transferieren und selbstständig in einem neuartigen Umfeld zu handeln [See-00].
Plotin	Das Konzept zur Planung mit Learning Outcomes im Ingenieurwesen (Plotin) umfasst eine Wissensbank mit webbasierter Inferenzmaschine und einer Annotationssoftware. Ziel des Frameworks ist die outcomeorientierte Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierung mithilfe von Semantik-Web-Technologien.
Prädikatenlogik	Die Prädikatenlogik dient der Wissensrepräsentation. In der Prädikatenlogik können Aussagen über die Eigenschaft von Klassen und Instanzen mit Hilfe von Quantoren gemacht werden. Prädikatenlogik erster Ordnung beinhaltet ausschließlich Informationen über das Subjekt, mit der Prädikatenlogik zweiter Ordnung lassen sich auch Aussagen über das Prädikat formulieren.
Qualifikation	Qualifikationen sind Darstellungen von in Prüfungssituationen nachgewiesener kontextbezogener Handlungsfähigkeit durch den Lernenden. Qualifikationen bilden „Wissens- und Fertigkeitspositionen“ ab [Erp-03]. Sie stellen Fähigkeiten dar, welche durch Kennzahlen prüfbar und durch gezielte Qualifizierungsprozesse verbesserbar sind.
Qualifikationsmanagement (QM)	Im Bereich der Unternehmensführung umfasst QM eher strategische Funktionen, wie den systematischen, an den übergeordneten Unternehmenszielen orientierten Umgang mit der Qualifikation des Unternehmens [Nor-05]. Die Personalwirtschaft definiert QM eher operativ als die Bedarfsermittlung von Wissen und Fähigkeiten, die Ableitung von Fähigkeitsprofilen, den Abgleich zwischen Anforderungsprofilen und Ist-Profilen und die gezielte Minimierung der Defizite durch Qualifizierung [Gün-07]. QM ermöglicht durch den Abgleich von Soll- und Ist-Profilen neben der Identifikation von Weiterbildungsbedarf die gezielte Auswahl und den Einsatz der Personen, die über die gesuchten Qualifikationen verfügen [Gün-07].
Qualifikationsmodell	Qualifikationsmodelle beschreiben Qualifikationsdimensionen und deren Eigenschaften. Zur Erklärung von Teilbereichen der Qualifikationen werden erstens Strukturen, sogenannte Niveauindikatoren, definiert und zweitens unterschiedliche Niveaustufen je Niveauindikator beschrieben. Die Definition von Niveaustufen erfolgt durch sogenannte Deskriptoren. Sie beschreiben die konkrete situative Handlungsfähigkeit, die Individuen bei einer bestimmten Ausprägung einer Qualifikation ausführen können [Kli-09].
Qualifikationsportfolio	Im Qualifikationsportfolio werden Qualifikationen auf Ihre aktuelle und künftige Marktattraktivität analysiert. Gegenstand können einzelne LO und umfassende Qualifikationsprofile sein.

Qualifikationsprofil	Zu Bündeln zusammengefasste Qualifikationen werden als Qualifikationsprofil bezeichnet. Innerhalb eines Qualifikationsprofils können beispielsweise Anforderungsniveaus für Tätigkeiten, die Qualifikationen einer Person oder die Leistung einer Lehrveranstaltung beschrieben werden.
Qualifikationsrahmen (QR)	Ein Qualifikationsmodell eines spezifischen Anwendungsbereichs, das Deskriptoren für alle Qualifikationsindikatoren und deren Niveaus enthält, wird als QR bezeichnet. Ein QR kann allgemeine Lernergebnisse und Lernwege umfassen oder auf eine bestimmte Bildungsebene, Disziplin oder Bildungsinstitution bezogen sein.
Qualifizierung	Qualifizierung beschreibt einen Prozess, dessen Ziel es ist, eine Person zu befähigen, eine bestimmte Aufgabe ausführen zu können. Der Begriff schließt die Planung, Durchführung und Überprüfung von Lehr- und Lernprozessen ein.
RDF-Schema (RDF(S))	Das RDF(S) wurden vom W3C etabliert, um für das in RDF modellierte Vokabular semantische Hintergrundinformationen, sogenanntes terminologisches Wissen, zu hinterlegen [W3C-04d]. Dieses erlaubt, Wissen über die in einem Vokabular verwendeten Begriffe einer Domäne zu spezifizieren. Dadurch können einfache Aussagen über die Bedeutung und den Zusammenhang von Dingen in RDF(S) modelliert werden.
Reasoner	Siehe: Inferenzmaschine.
Relation	Eine Relation gibt die Verhältnisse zwischen zwei Subjekten wieder. Sie wird teilweise auch als binäres Prädikat, Rolle oder Slot bezeichnet.
Resource Description Framework (RDF)	Das RDF ist eine formale Sprache zur Beschreibung von Webressourcen und Informationen als Standard des W3C. Im Vergleich zu Auszeichnungssprachen wie HTML geht es nicht um die korrekte Darstellung von Dokumenten, sondern um die Kombination und Weiterverarbeitung der enthaltenen Informationen (Metadaten). RDF ist eine Kernkomponente des Semantischen Webs, durch deren formale Repräsentation Wissen von Maschinen verarbeitbar gemacht wird.
Semantik-Web-Wissensbanken (SWW)	Die SWW beinhaltet das Wissen einer speziellen Domäne und besteht aus einer T-Box und einer A-Box. Wissensbanken erlauben im Gegensatz zu statischen Datenbanken die kontinuierliche Adaption der Struktur der Daten, da sie mit deutlich ausdrucksstärkeren Metadaten arbeiten.
Semantische Lücke	Das Defizit an Ausdrucksmächtigkeit, das viele Programmiersprachen im Gegensatz zur natürlichen Sprache haben, wird als semantische Lücke bezeichnet.
T-Box	Die T-Box ist Teil der Wissensbank und bildet den Bereich, in dem das terminologische Schemawissen gespeichert wird. In der T-Box werden Klassen, Relationen, Axiome und Eigenschaften definiert.
Uniform Resource Identifier (URI)	Die URI (engl.: einheitlicher Bezeichner für Ressourcen) ist eine Zeichenfolge, die der eindeutigen Identifizierung von Internetressourcen, wie z. B. Webseiten, Dateien oder URL-Adressen, dient.

Vermittlungsproduktivität	Die Vermittlungsproduktivität wird durch das Verhältnis zwischen dem Output und dem dafür benötigten Input bestimmt. Der Output beschreibt die Summe der messbaren und intendierten Lernergebnisse. Der Input beschreibt den mengenmäßigen Einsatz von materiellen und immateriellen Mitteln und Leistungen, die für den Qualifizierungsprozess eingesetzt wurden. Vermittlungsproduktivität ist ein Maß für die Anwendung der richtigen Methoden und Werkzeuge, um Qualifikationen zu generieren.
Verwertungsqualität	Die Verwertungsqualität definiert das Verhältnis zwischen Outcome und Output. Sie ist ein Beleg für die Wirksamkeit der Qualifizierungsmaßnahme und beschreibt, ob Lernende Qualifikationen in der Praxis anwenden können.
Web 1.0	Als Web 1.0 wird das ursprüngliche WWW bezeichnet, das durch die HTML-Programmierung und statische Verlinkungen geprägt ist.
Web 2.0	Als Web 2.0 bezeichnet eine Weiterentwicklung des traditionellen WWW, das sich durch seine Interaktionsmöglichkeiten auszeichnet. Die Inhalte können durch die Benutzer auf webbasierten Eingabeportalen eigenständig erstellt werden, z. B. in Wikipedia oder Facebook.
Web 3.0	Web 3.0 bezeichnet das Semantik Web, das als nächste Generation des Web 2.0 zu verstehen ist. Die Webseiten werden mit Meta-Daten angereichert, so dass die Informationen von Maschinen interpretierbar sind.
Web Ontology Language (OWL)	OWL ist eine Wissensrepräsentationssprache. Sie basiert auf der RDF Syntax, Konzepten aus RDF(S) und formal-logischen Notationen der Prädikatenlogik erster Stufe. Dadurch wird die Ausdruckskraft für die Beschreibung von Zusammenhängen verstärkt. Außerdem wird logisches Schlussfolgern und damit die Erschließung von impliziten Informationen ermöglicht. Es existieren 3 Abstufungen: OWL-Full (ausdrucksstärkste Formulierung, aber nicht entscheidbar), OWL-DL (Meta-Modellierung nicht möglich, nicht immer entscheidbar) und OWL-Lite (geringe Ausdrucksmächtigkeit, entscheidbar).
Wissensbasiertes System	In einem wissensbasierten System erfolgt eine Trennung von Problemlösungswissen und Domänenwissen. Ein wissensbasiertes System ist ein Softwaresystem, bei dem das Fachwissen über das Anwendungsgebiet explizit und unabhängig vom allgemeinen Problemlösungswissen dargestellt wird [Kur-92]. Ein wissensbasiertes System kann synonym auch als intelligenter bzw. rationaler Agent bezeichnet werden [Gör-00].
Wissensdomäne	Eine Wissensdomäne beinhaltet das Wissen aus einem bestimmten, klar definierten Wissensbereich, z. B. der Produktionstechnik.
Wissensintensive Aufgabe	Eine wissensintensive Aufgabe umfasst Problemstellungen, für deren Lösung die Zusammenführung unterschiedlicher Informationsquellen mit teilweise komplizierten Zusammenhängen erforderlich ist. Wissensintensive Aufgaben erfordern Expertenwissen. Softwareanwendungen benötigen eine umfassende Wissensbank, um derartige Aufgaben lösen zu können.
Wissensrepräsentationssprache	Wissensrepräsentationssprachen dienen der Modellierung von Wissen in wissensbasierten Systemen. Sie basieren auf einer formalen Notation.

World Wide Web	Das WWW wurde 1991 zur weltweiten allgemeinen Benutzung freigegeben, in dem über das Internet elektronische Dokumente, die durch Hyperlinks mit einander verknüpft sind, abgerufen werden können.
World Wide Web Consortium (W3C)	Das W3C ist ein Gremium, das sich seit 1994 für die Standardisierung von WWW-Technologien einsetzt und mit den Sprachen XML, RDF, RDF(S) und OWL bereits gängige Standards verabschiedet hat.

Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin

Wissensbasierte Diagnose technischer Systeme mit konnektionistischen Modellen

Hartwig Weber. 201 Seiten, 46 Abbildungen, 7 Tabellen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4496-6

Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten industrieller Qualitätstechniken im Dienstleistungsbereich

Alexander Gogoll. 173 Seiten, 71 Abbildungen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4498-2

Perforierschneiden mit Nd:YAG-Festkörper hoher Impulsenergien

Jürgen Betz. 167 Seiten, 97 Abbildungen, 5 Tabellen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4499-0

Analyse der Werkstückhaltekräfte am Dreibackenfutter im Rahmen einer Maschinen- und Prozeßüberwachung

Rolf Thiel. 130 Seiten, 69 Abbildungen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4495-8

Gestaltung von Entscheidungsstrukturen zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen

Florian Golm. 173 Seiten, 83 Abbildungen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4497-4

Fehlersensitive Produktgestaltung in integrierten Systemarchitekturen

Michael Stephan. 164 Seiten, 58 Abbildungen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4512-1

Wirtschaftliche Einführung der rechnerintegrierten Produktion in kleinen Unternehmen mit komplexer Produktionsstruktur

Wolfgang Bilger. 174 Seiten, 42 Abbildungen, 1 Tabelle. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4511-3

Beitrag zur Organisation von Demontagesystemen

Claudia Hentschel. 160 Seiten, 54 Abbildungen, 16 Tabellen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4513-X

Entwicklung eines Modells für eine rechnerunterstützte Qualitätswissensbasis

Jörg-Peter Brauer. 150 Seiten, 40 Bilder, 2 Tabellen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4520-2

Kühlschmierung beim Schleifen keramischer Werkstoffe

Thomas Brücher. 330 Seiten, 124 Abbildungen, 17 Tabellen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4523-7

Einführen und Umsetzen von Total Quality Management

Christian Malorny. 310 Seiten, 68 Abbildungen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4524-5

Qualitätsmanagement für die Einführung bestandsarmer Produktionskonzepte

Torsten Walter. 143 Seiten, 37 Abbildungen, 13 Tabellen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4525-3

Virtuelle Tonmodellierung zur skizzierenden Formgestaltung im Industriedesign

Jörg Lüddemann. 166 Seiten, 76 Abbildungen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4519-9

Konzept zur Steigerung der Effektivität von Produktionsanlagen

Mehdi Al-Radhi, 165 Seiten, 45 Abbildungen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4528-8

Produktionsstrukturierung auf der Basis strategischer Eigenfertigungskomponenten

Olaf Sauer, 144 Seiten, 62 Abbildungen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4532-6

Auswahl und Konditionierung von Werkzeugen für das Außenrund-Profil schleifen technischer Keramiken

Ingo Liebe, 170 Seiten, 79 Abbildungen, 16 Tabellen. 1996. Kartoniert. ISBN 3-8167-4509-1

Automatisiertes Nähen von Zuschnitten ungleicher Kontur

Thomas Gottschalk, 140 Seiten, 70 Abbildungen. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4531-8

Featureintegrierte Fertigungsplanung

Armin Ulbrich, 209 Seiten, 93 Abbildungen. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4529-6

Aufgabenbezogene Anordnung und Programmierung von Laserscannern für die 2D-Geometrieinspektion

Heinrich Schuler, 148 Seiten, 81 Abbildungen. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4530-X

Arbeitsgestaltung zur Fehlervermeidung bei der SMD-Elektronikmontage

Stephan Krüger, 173 Seiten, 51 Abbildungen, 22 Tabellen. 1996. Kartonierte. ISBN 3-8167-4540-7

Modell der zyklischen Prozeßrestrukturierung als Teil des Total Quality Managements

Timo Füermann, 176 Seiten, 79 Abbildungen, 10 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4545-8

Analyse der Rentabilität von Qualitätstechniken

Philipp Theden, 158 Seiten, 50 Abbildungen, 10 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4544-X

Thermisch beschichtete CFK-Wellen im Maschinenbau

Andreas Kranz, 148 Seiten, 76 Abbildungen, 12 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4547-4

Integrativer Produktentwicklungsarbeitsplatz mit Multimedia- und Breitbandkommunikationstechnik

Thomas Kieseewetter, 169 Seiten, 60 Abbildungen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4548-2

Verbesserung der Planung von Produktionsprozessen im Werkzeugbau durch Qualitätsplanung mittels Quality Function Deployment (QFD)

Manfred Zoschke, 140 Seiten, 14 Abbildungen, 7 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4546-6

Flexibel anpaßbare Softwaresysteme zur rechnerunterstützten Fertigungssteuerung

Harald Krause, 148 Seiten, 89 Abbildungen, 27 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4551-2

Anpassung des Qualitätswesens bei Total Quality Management

Frank Krämer, 262 Seiten, 75 Abbildungen, 40 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4558-X

Integration von Qualitäts- und Umweltmanagementsystemen und ihre betriebliche Umsetzung

Detlev Butterbrodt, 240 Seiten, 60 Abbildungen, 12 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4559-8

Die Entwicklung des deutschen Werkzeugmaschinenbaus in der Zeit von 1930 bis 1960

René Haak, 225 Seiten, 30 Abbildungen, 9 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4556-3

Fertigungsintegrierte Instandhaltung

Ralf Jagodejkin, 195 Seiten, 55 Abbildungen, 21 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4557-1

Analyse der Prozeßkette Pulverspritzgießen

Peter Merz, 165 Seiten, 78 Abbildungen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4629-2

Bearbeitung von metallischen Gasturbinenwerkstoffen durch Tiefschleifen und Drahterodieren

Achim Meier, 220 Seiten, 80 Abbildungen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4627-6

Drehzahlsynchronisation der Wirkpartner beim Abrichten und Schleifen

Holger Eichhorn, 200 Seiten, 86 Abbildungen, 13 Tabellen. 1997. Kartonierte. ISBN 3-8167-4630-6

Läppen von einkristallinem Silicium

Hendrik Engel, 200 Seiten, 85 Abbildungen, 13 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4631-4

Verschleißverhalten von polykristallinem Diamant bei instationärer Beanspruchung

Uwe Lachmund, 210 Seiten, 100 Abbildungen, 15 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4632-2

Feature-basierte Meßplanung für Koordinatenmeßmaschinen

Michael Ciesla, 162 Seiten, 79 Abbildungen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4613-6

Informationssystem für heterogen verteilte Qualitätsinformationen

Volker Kleinhans, 150 Seiten, 67 Abbildungen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4612-8

Untersuchung und Interpretation der beim Schleifen der Nickelbasislegierung IN 738 LC induzierten Gefügeänderungen in der Randzone

Pengxi Li, 147 Seiten, 135 Abbildungen, 19 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4634-9

Thermische Stabilisierung von Werkzeugmaschinen-Spindelkästen durch Carbonfaserverbundkunststoffe

Matthias Liebetrau, 200 Seiten, 122 Abbildungen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4638-1

Kooperationsentwicklung mit Zulieferern in der Automobilindustrie Indonesien

Ida-Bagus Kesawa Narayana, 214 Seiten, 95 Abbildungen, 11 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4642-X

Flexible On-line-Prozeßoptimierung mit integrierten adaptiven Modellen

Martin Bauer, 160 Seiten, 55 Abbildungen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4622-5

Einsatz eines Mobilrobotersystems in der Endmontage des Schiffsstahlkörperbaus

Henning Müller, 170 Seiten, 62 Abbildungen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4552-0

Prozeßmodell für die Kraftübertragung durch neue Wirkflächen zur Entwicklung geometrietoleranter Demontagewerkzeuge

Martin Wagner, 170 Seiten, 100 Abbildungen, 12 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5130-X

Honen keramischer Werkstoffe

Uwe-Peter Weigmann, 250 Seiten, 103 Abbildungen, 15 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4639-X

Modellierung und Vermessung linearer Gelenkbewegungen bei Industrierobotern

Michael Grethlein, 154 Seiten, 56 Abbildungen, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4644-6

Globalisierungspotentiale im Maschinenbau

Jens Nackmayr, 174 Seiten, 68 Abbildungen, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5132-6

Entwicklung und praktische Erprobung eines Kennzahlensystems für das Total Quality Management

Olaf Wolter, 190 Seiten, 52 Abbildungen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5136-9

Prozeßorientierte Techniken zur systematischen Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes

Ulrich Tammler, 185 Seiten, 72 Abbildungen, 25 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5134-2

Eine Methode zur automatischen Strukturinterpretation in digitalisierten technischen Zeichnungen

Nailja Luth, 150 Seiten, 76 Abbildungen, 10 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4646-2

Ganzheitliches Modell zur Umsetzung von Total Quality Management

Philipp Radtke, 180 Seiten, 50 Abbildungen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5148-2

Ein methodischer Ansatz zum Strukturvergleich technischer Objekte

Matthias Müller, 245 Seiten, 54 Abbildungen, 11 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5160-1

Prozeßparameter beim Scherschneiden von Karosserieblechteilen

Andreas Pöllmann, 154 Seiten, 80 Abbildungen, 11 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5150-4

Biologisch basierte Verfahren zur Objekterkennung und Texturanalyse

Javier Ruiz-del-Solar, 145 Seiten, 98 Abbildungen, 8 Tabellen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-4647-0

Methodisches Konstruieren als Mittel zur systematischen Gestaltung von Dienstleistungen

Wolfgang Schwarz, 130 Seiten, 80 Abbildungen. 1997. Kartoniert. ISBN 3-8167-5140-7

Techniken zur Entwicklung von Führungsqualität im Total Quality Management

Claudia Kostka, 200 Seiten, 30 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5165-2

Metamodellierung als Instrument der Verknüpfung von Unternehmensmodellen

Wolfgang Müller, 170 Seiten, 61 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5164-4

Entwicklung und Realisierung einer Methode für die flexible Auswertung von Profillinien

Lorenz Voit, 145 Seiten, 75 Abbildungen, 20 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5174-1

Gewichts- und Lärminderung von Laufrädern für Schienenfahrzeuge durch Einsatz von Faserverbundwerkstoffen

Frank Warmuth, 130 Seiten, 110 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5173-3

Prozeß-Benchmarking – Methode zum branchenunabhängigen Vergleich von Prozessen

Gunnar Siebert, 130 Seiten, 45 Abbildungen, 21 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5182-2

Modellierungsvorgehen zur Planung von Geschäftsprozessen

Martin Schwermer, 160 Seiten, 54 Abbildungen, 6 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5163-6

Bewertung und Verkürzung von Anlaufprozessen für Betriebsmittel

Ronald Fritsche, 135 Seiten, 71 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5169-5

Analyse des Drehens duktiler Werkstoffe mit der Finite-Elemente-Methode

Steffen Gerloff, 272 Seiten, 116 Abbildungen, 7 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5161-X

Prozeßorientierte Auswahl von PPS-Systemen

Georg Neubauer, 146 Seiten, 85 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5184-9

Featurebasiertes Gestalten von Produkten mit Freiformgeometrien

Christiane Stiel, 153 Seiten, 50 Abbildungen, 1 Tabelle. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5170-9

Entwicklung und Verifizierung eines Prozeßmodells für das Einzelpunktlöten in der Elektronikfertigung

Jörg Niemeier, 120 Seiten, 75 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5177-6

Beschleunigte Evolutionsstrategie zur Optimierung von Fertigungsprozessen

Jürgen H. Bremer, 125 Seiten, 38 Abbildungen, 23 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5183-0

Konfigurierbares, multimediales Fernbetreuungssystem für rechnergesteuerte Fertigungseinrichtungen

Zaharya Menevidis, 155 Seiten, 51 Abbildungen, 9 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5171-7

Funkenerosive Bearbeitung von polykristallinem Diamant

Steffen Appel, 150 Seiten, 62 Abbildungen, 10 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5162-8

Analyse und Simulation des Laserstrahlschneidens von Faserverbundkunststoffen

Stefan Liebelt, 180 Seiten, 70 Abbildungen, 12 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5190-3

Flexible Spannbacken für die Drehbearbeitung

Udo Bahrke, 168 Seiten, 120 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5193-8

Controlling des Fabrikbetriebes auf der Basis des Total Quality Managements (TQM)

Dirk Wilmes, 195 Seiten, 51 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5194-6

Ein Modell zur Reduzierung der Variantenvielfalt in Produktionsunternehmen

Sven-Norman Gembrys, 120 Seiten, 48 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5199-7

Konzept eines Modells zur Produktentwicklung

Hanno Weber, 160 Seiten, 85 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5205-5

**Entwicklung einer handlungsorientierten Interaktionsmethode zur Benutzung
produktionstechnischer Datenbanken**

Regine Gernert, 168 Seiten, 40 Abbildungen, 15 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5213-6

Modell zur Gestaltung und Auswahl von CAQ-Lösungen

Thomas Konert, 172 Seiten, 68 Abbildungen, 5 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5207-1

Globales Produktdatenmanagement zur Verbesserung der Produktentwicklung

Matthias Doblies, 139 Seiten, 49 Abbildungen, 21 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5224-1

Designintegrierte Produktplanung und Produktkonzeption

Timm Kehler, 158 Seiten, 78 Abbildungen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5237-3

Verkürzung der Produktentwicklungszeit durch Parallelverarbeitung

Haygazun Hayka, 175 Seiten, 46 Abbildungen, 13 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5228-4

**Analyse der Schnitt- und Kerbgeometrie sowie des Strahls beim
Abrasivwasserstrahlschneiden**

Bernhard Axmann, 199 Seiten, 100 Abbildungen, 20 Tabellen. 1998. Kartoniert. ISBN 3-8167-5236-5

Anwendung neuronaler Netze zur Werkzeugverschleißerkennung beim Fräsen

Edgar Fries, 200 Seiten, 106 Abbildungen, 14 Tabellen. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5244-6

**Konzept zur lebenszyklusorientierten Verbesserung der Effektivität von
Produktionseinrichtungen**

Ulf Perlewitz, 162 Seiten, 75 Abbildungen, 6 Tabellen. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5260-8

Methoden zur Verbesserung der Fehlererkennung an Antriebsstrecken

Jörg Krüger, 170 Seiten, 101 Abbildungen, 21 Tabellen. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5268-3

Beitrag zur Entwicklung eines modularen TQM-Modells für das Krankenhauswesen

Bettina Hahne, 180 Seiten, 50 Abbildungen, 5 Tabellen. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5290-X

Steuerungintegriertes Prozeßüberwachungssystem für Drehmaschinen

Ireneus Suwalski, 167 Seiten, 106 Abbildungen, 13 Tabellen. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5286-1

Montagesystemplanung und -steuerung für die variantenreiche Serienmontage

Kuo-Wen Chang, 148 Seiten, 59 Abbildungen. 1999. Kartoniert. ISBN 3-8167-5294-2

Werkstückspannsysteme aus faserverstärkten Kunststoffen für die Hochgeschwindigkeitsdrehbearbeitung

Uwe Mette, 227 Seiten, 106 Abbildungen, 27 Tabellen. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5271-3

Bildanalysesystem zur robusten Erkennung von Kennzeichen an Fahrzeugen

Lutz Lohmann, 184 Seiten, 81 Abbildungen, 18 Tabellen. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5534-8

Planung und marktorientierter Betrieb von Demontagefabriken

Holger Perlewitz, 180 Seiten, 72 Abbildungen, 53 Tabellen. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5538-0

Simulation von Produktentwicklungsprozessen

Hans-Christoph Raupach, 150 Seiten, 60 Abbildungen, 4 Tabellen. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5544-5

Induktive Wegsensoren zur Überwachung und Regelung des Blecheinzugs beim Tiefziehen

Ute Forstmann, 110 Seiten, 59 Abbildungen, 2 Tabellen. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5547-X

Konstruktive Berechnungsmodelle auf Basis Neuronaler Netze

Alexander Carl, 135 Seiten, 53 Abbildungen, 2 Tabellen. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5568-2

Konzeption eines webbasierten Beratungs-Unterstützungs-Systems am Fallbeispiel einer PDM-Systemauswahl

Toralf Kahlert, 140 Seiten, 50 Abbildungen, 4 Tabellen. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5569-0

Ein Ansatz zum Konstruieren mit Lösungsräumen

Petrik Ziebel, 155 Seiten, 44 Abbildungen, 6 Tabellen. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5577-1

Rapid Styling Validation - Berechnung und Simulation in der Konzeptphase der Produktentwicklung

Yasmina Bock, 150 Seiten, 57 Abbildungen, 5 Tabellen. 2000. Kartoniert. ISBN 3-8167-5592-5

Einfluss der Relativbewegung auf den Prozess und das Arbeitsergebnis beim Planschleifen mit Planetenkinematik

Thomas Ardelt, 200 Seiten, 102 Abbildungen, 19 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5609-3

Beitrag zum Greifen von Textilien

Jörg Stephan, 140 Seiten, 100 Abbildungen, 20 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5622-0

Integrierte Unternehmensplanung auf der Basis von Unternehmensmodellen

Roland Jochem, 170 Seiten, 77 Abbildungen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5623-9

Wege zur Steigerung der Nutzenproduktivität von Ressourcen

Katrin Müller, 177 Seiten, 45 Abbildungen, 46 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5884-3

Business-Exzellenz als qualitätsorientierter Entwicklungsansatz für Gründungsaktivitäten

Gunter Busch, 199 Seiten, 46 Abbildungen, 4 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6045-7

Nutzung von Felddaten in der qualitätsgetriebenen Produktentwicklung und im Service

Andreas Edler, 131 Seiten, 64 Abbildungen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5902-5

Package-Features für die Kommunikation in den frühen Phasen der Automobilentwicklung

Karsten Gessner, 154 Seiten, 39 Abbildungen, 6 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5636-0

System zur sicherheitsgerechten Konstruktion von Werkzeugmaschinen

Michael Ising, 200 Seiten, 101 Abbildungen, 5 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5890-8

Verteilte Simulation des Materialversorgungsprozesses in Produktionsverbünden
Dirk Krützfeld, 141 Seiten, 78 Abbildungen, 13 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6035-X

Integration eines visuellen Lageregelungssystems für sechs Freiheitsgrade in Industrieroboter
Yong-Uk Kwon, 161 Seiten, 63 Abbildungen, 9 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6044-9

Magnetische Flüssigkeiten als Schmierstoff in hydrodynamischen Gleitlagern
Reiner Patzwald, 176 Seiten, 148 Abbildungen, 27 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5892-4

Beitrag zum flexiblen Greifen in der Demontage
Alexander Stenzel, 129 Seiten, 66 Abbildungen, 6 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5885-1

Strategische Unternehmensprozessgestaltung mit der Methode des Target Processing
Florian Weymar. 170 Seiten, 59 Abbildungen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-5898-3

Beitrag zur Innovationsentwicklung in indonesischen Unternehmen durch kompetenzorientierte Netzwerkbildung
Agung Budi Utomo Halim. 206 Seiten, 73 Abbildungen, 53 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6065-1

Fehlerbeseitigungsmanagement unter Berücksichtigung der Plattformstrategie am Beispiel der Automobilindustrie
Daniel Schukraft. 137 Seiten, 87 Abbildungen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6079-1

Auslegung magnetumgeformter Verbindungen durch Simulation
Stefan Mehnert. 141 Seiten, 118 Abbildungen, 17 Tabellen. 2001. Kartoniert. ISBN 3-8167-6086-4

Statistische Prozessregelung bei administrativen Prozessen im Rahmen eines ganzheitlichen Prozesscontrollings
Thomas Gerboth. 123 Seiten, 46 Abbildungen, 12 Tabellen, 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6080-5

Sichere synchrone Telekooperation zur Optimierung der verteilten Produktentstehung
Ralf Schultz. 150 Seiten, 61 Abbildungen, 4 Tabellen. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6088-0

Verbesserte Anpassungsfähigkeit des Änderungsmanagements durch komplementäre Selbstorganisation
Ralf Brunken. 134 Seiten, 52 Abbildungen, 2 Tabellen. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6144-5

Durchlaufzeitreduzierung durch Harmonisierung von Belegungszeiten und Einführung flexibler Prozeßteams
Reiner Friedland. 170 Seiten, 47 Abbildungen, 13 Tabellen. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6139-9

Beitrag zur Steigerung der Nutzenproduktivität von Ressourcen durch eine Life Cycle Unit
Waldemar Grudzien. 170 Seiten, 75 Abbildungen, 33 Tabellen. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6174-7

Beitrag zum Variantenmanagement und zur Prozessoptimierung im Wagenkastenbau von Schienenfahrzeugen
Holger Schmidt. 170 Seiten, 84 Abbildungen, 10 Tabellen. 2002. Kartoniert. ISBN 3-8167-6178-X

Modellierung von Layout und Steuerungsregeln für die Materialfluss-Simulation
Markus Rabe. 222 Seiten, 135 Abbildungen. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6262-X

CVD-Diamant als Schneidstoff
Marcus Brücher. 187 Seiten, 87 Abbildungen, 18 Tabellen. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6280-8

Berechnungsmodell zur Ermittlung von Spannkraften bei Backenfuttern

Pingfa Feng. 213 Seiten, 203 Abbildungen, 17 Tabellen. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6371-5

Beitrag zur Entwicklung modularer Demontagewerkzeuge

Uwe Rebafka. 138 Seiten, 78 Abbildungen, 28 Tabellen. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6381-2

Beitrag zur voxelbasierten Simulation des fünfachsigen NC-Fräsens

Zengxuan Hou. 160 Seiten, 80 Abbildungen, 3 Tabellen. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6401-0

Aufbau hierarchiärer Produktionsnetzwerke –

Technologiestrategische Option und organisatorische Gestaltungsaufgabe

Carsten S. Schröder, 210 Seiten, 59 Abbildungen, 1 Tabelle. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6398-7

Sprache zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen

Roland Heimann, 158 Seiten, 55 Abbildungen, 6 Tabellen. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6456-8

Beitrag zur dynamischen Prozessplanung und Generierung von Steuerungssequenzen für flexible Demontagesysteme

Hyung-Ju Kim. 164 Seiten, 75 Abbildungen, 19 Tabellen. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6559-9

Öko-Effizienz durch Nutzenverkauf am Beispiel der Automobilindustrie

Gitta Vischer. 193 Seiten, 62 Abbildungen, 42 Tabellen. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6561-0

Applications of Subdivision Techniques in Product Development

Nele Gross. 136 Seiten, 51 Abbildungen. 2003. Kartoniert. ISBN 3-8167-6576-9

Werkzeuge zum impuls-magnetischen Warmfügen von Profilen aus Aluminium- und Magnesiumlegierungen

Robert Hahn. 209 Seiten, 95 Abbildungen, 18 Tabellen. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6642-0

Ultraschallunterstütztes Quer-Seiten-Schleifen

Nikolai-Alexander Daus. 145 Seiten, 78 Abbildungen, 5 Tabellen. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6657-9

Beitrag zur Steigerung der Nutzenproduktivität von Ressourcen durch Anpassen von Mobiltelefonen

Bahadır Basdere. 208 Seiten, 77 Abbildungen, 26 Tabellen. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6662-5

Informationstechnische Integration hybrider Demontagesysteme

Thomas Keil. 183 Seiten, 79 Abbildungen, 15 Tabellen. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6688-9

Soft Data Fusion for Computer Vision

Aureli Soria-Frisch. 242 Seiten, 118 Abbildungen, 7 Tabellen. 2004. Kartoniert. ISBN 3-8167-6689-7

Trennende Schutzeinrichtungen für Werkzeugmaschinen zur Hochgeschwindigkeitsbearbeitung

Jörg Bold. 220 Seiten, 99 Abbildungen, 39 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6697-8

Auslegung dünner Hartstoffschichten für Zerspanwerkzeuge

Karsten Klein. 172 Seiten, 88 Abbildungen, 17 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6700-1

Methode zur Komplexitätsreduzierung der Auftragssteuerung in der Elektronikmontage

Dietrich Fischer. 202 Seiten, 97 Abbildungen, 6 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6729-X

Sicherheitszentrierte Architektur für Internet-basierte Dienste im Maschinen- und Anlagenbau

Ralf Berger. 120 Seiten, 70 Abbildungen, 16 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6777-X

Methodische Entwicklung von modularen IT-Dienstleistungen

Klaus Herbst. 219 Seiten, 63 Abbildungen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6778-8

Flexible Integration von Rapid Prototyping Prozessketten in die Produktentwicklung

Stefan Dreher. 139 Seiten, 54 Abbildungen, 10 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6843-1

Risikominimierung bei der Beschaffung investiver Dienstleistungen durch den Einsatz von Methoden des Qualitätsmanagements

Marc Bockschecker. 195 Seiten, 36 Abbildungen, 6 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6900-4

Verfahren zum Einzelpunktlöten von elektrischen Anschlusskontakten mit getrennter Erwärmung von Lötstelle und Lot

Andreas Frenzke. 140 Seiten, 69 Abbildungen, 17 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6919-5

Adaptive Modellierung und Simulation von Produktentwicklungsprozessen

Johannes Voigtsberger. 174 Seiten, 58 Abbildungen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6929-2

Konditionieren von Diamantschleifscheiben

Frank Sroka. 229 Seiten, 111 Abbildungen, 7 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6937-3

Zustandsorientierte Instandhaltung von Standardkomponenten mit Life Cycle Units

Alexander Buchholz. 200 Seiten, 99 Abbildungen, 9 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6938-1

Beitrag zur Gestaltung horizontaler Innovationskooperationen in Klein- und Mittelbetrieben am Beispiel Schienengüterverkehr

Ulrich Kroß. 166 Seiten, 56 Abbildungen, 11 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6962-4

Verfahren und Systeme zur Demontage komplexer technischer Gebrauchsgüter

Jens-Peter Härtwig. 242 Seiten, 108 Abbildungen, 19 Tabellen. 2005. Kartoniert. ISBN 3-8167-6963-2

Neue Einsatzmöglichkeiten von Ferrofluiden in technischen Systemen mit relativ zueinander bewegten Komponenten

Nayim Bayat. 175 Seiten, 113 Abbildungen, 19 Tabellen. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7014-2

Wissensbilanzen für mittelständische Organisationen

Kay Alwert. 181 Seiten, 65 Abbildungen, 25 Tabellen. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7033-9

Entwicklung eines lernfähigen Bildverarbeitungssystems unter Einsatz von Verfahren des Soft Computing

Mario Köppen. 158 Seiten, 56 Abbildungen, 7 Tabellen. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7056-8

Hochleistungsfräsen von Superlegierungen

Eric Wiemann. 239 Seiten, 124 Abbildungen, 34 Tabellen. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7082-7

Beitrag zur Steigerung der Nutzenproduktivität durch Anpassungsprogrammplanung

Carsten Franke. 220 Seiten, 82 Abbildungen, 34 Tabellen. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7095-9

Beitrag zur simulationsgestützten Planung von Demontagefabriken für Elektro- und Elektronikaltgeräte

Markus Ciupek. 179 Seiten, 77 Abbildungen, 26 Tabellen. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7112-2

Management von Ingenieurkompetenzen im Spannungsfeld beruflicher Arbeitsteilung

Matthias Patrick Meyer. 180 Seiten, 31 Abbildungen, 7 Tabellen. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7127-0

Approach of Integrated Order Scheduling and Flexible Resource Planning for Mass Customization

Ingo Lümke. 193 Seiten, 38 Abbildungen, 10 Tabellen. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7223-4

Entwicklung von Hartmetallwerkzeugen für die Mikrozerspanung mit definierter Schneide

Kai Schauer. 178 Seiten, 107 Abbildungen, 15 Tabellen. 2006. Kartoniert. ISBN 3-8167-7245-5

Informationssystemische Prozessorganisation mit sozioorientierter Transformation

Dieter Schacher. 163 Seiten, 65 Abbildungen. 2007. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7285-9

Eigenschaften und Einsatzverhalten CVD-diamantbeschichteter Hartmetallwerkzeuge

Rouven Kott. 166 Seiten, 84 Abbildungen, 7 Tabellen. 2007. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7323-8

Grundlagen und Prozessstrategien der Mikrofunktenerosion für die Bearbeitung von Rotationsbauteilen

Sascha Piltz. 266 Seiten, 139 Abbildungen, 27 Tabellen. 2007. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7345-0

Verfahrensgrundlagen und Technologie des Hubschleifens mit viskosen Schleifmedien

Hubert Szulczynski. 175 Seiten, 87 Abbildungen, 13 Tabellen. 2007. Kartoniert.
ISBN 978-3-8167-7379-5

Modellierung und Analyse verteilter Entwicklungsprozesse für mechatronische Systeme

Chris Biantoro. 174 Seiten, 102 Abbildungen. 2007. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7406-8

Beitrag zum Vereinzeln flächiger biegeschlaffer Bauteile

Frank Szimmat. 177 Seiten, 106 Abbildungen, 19 Tabellen. 2007. Kartoniert.
ISBN 978-3-8167-7424-2

Kompetenzabhängiges Simulationsverfahren zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen

Matthias Strebel. 132 Seiten, 33 Abbildungen, 1 Tabelle. 2007. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7432-7

Integriertes Benchmarking für kleine und mittlere Unternehmen

Holger Kohl. 166 Seiten, 41 Abbildungen, 19 Tabellen. 2007. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7439-6

Informationsmanagement zur Planung und Verfolgung von Produktlebenszyklen

Holger Jungk. 147 Seiten, 72 Abbildungen, 5 Tabellen. 2007. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7461-7

Beitrag zum wirtschaftlichen Betrieb von Recyclingnetzwerken

Monica Vanegas. 174 Seiten, 65 Abbildungen, 41 Tabellen. 2007. Kartoniert.
ISBN 978-3-8167-7558-4

Eine Ontologie-basierte Methode zur Entscheidungsunterstützung in der Produktentwicklung

Hauke Arndt. 193 Seiten, 59 Abbildungen. 2008. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7641-3

Analyse der Effekte beim Trockeneisstrahlen

Mark Claudius Krieg. 144 Seiten, 60 Abbildungen, 27 Tabellen. 2008. Kartoniert.
ISBN 978-3-8167-7625-3

Optimierte Zulieferintegration in der Produktentwicklung durch Ad-hoc-Kooperationswerkzeuge

Hendrik Gärtner. 166 Seiten, 61 Abbildungen. 2008. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7655-0

Zerspanungssimulationen für die Werkzeugkonstruktion und Prozessauslegung beim Fräsen

Alexander Marc Mattes. 169 Seiten, 79 Abbildungen, 20 Tabellen. 2008. Kartoniert.
ISBN 978-3-8167-7847-9

Aerodynamische Trenn- und Förderprozesse zur Steigerung der Demontageflexibilität bei Automobilkomponenten

Stefano Consiglio. 154 Seiten, 71 Abbildungen, 13 Tabellen. 2009. Kartoniert.
ISBN 978-3-8167-7955-1

Planung der Wiederverwendung von Elektro(nik)altgeräten

Sebastian Kernbaum. 236 Seiten, 87 Abbildungen, 19 Tabellen. 2009. Kartoniert.
ISBN 978-3-8167-7966-7

Verfahren zur ad hoc-Modellierung und -Simulation räumlicher Feder-Masse-Systeme für den Einsatz in Virtual Reality-basierten Handhabungssimulationen

Jens Neumann. 226 Seiten, 106 Abbildungen, 27 Tabellen. 2009. Kartoniert.
ISBN 978-3-8167-7955-1

Beeinflussung des Vorbehandlungszustandes der Substratrandzone durch Trockeneisstrahlen am Beispiel von Klebverbindungen

Adil El Mernissi. 157 Seiten, 72 Abbildungen, 21 Tabellen. 2009. Kartoniert.
ISBN 978-3-8167-7980-3

Beitrag zur Steigerung der Nutzenproduktivität durch Modularisierung von Produkten

Marco Zettl. 236 Seiten, 65 Abbildungen, 18 Tabellen. 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8167-7986-5

Herstellung und Einsatz CVD-diamantbeschichteter Bohrgewindefräser

Jens König. 188 Seiten, 65 Abbildungen, 18 Tabellen. 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0025-2

Akzeptanzförderung bei der Einführung von Wissensmanagement - Ein Methodenbaukasten für kleine und mittlere Unternehmen

Ina Kohl. 178 Seiten, 30 Abbildungen, 13 Tabellen, 2009. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0050-4

Technisch-wirtschaftliche Bewertung von Flexibilität in Rohbaunebenlinien

Arne Lambertz. 240 Seiten, 164 Abbildungen, 10 Tabellen, 2010. Kartoniert.
ISBN 978-3-8396-0117-4

Charakterisierung und Auslegung der Grenzschicht PVD-beschichteter Schneidkeramiken.

Tom Hühns. 179 Seiten, 72 Abbildungen, 11 Tabellen. 2010. Kartoniert. ISBN 978-3-8396-0132-7

Virtuelle Rekonstruktion von Innenräumen basierend auf Messdaten von Tiefenkameras

Alexander Sabov. 174 Seiten, 86 Abbildungen und 10 Tabellen. 2010. Kartoniert.
ISBN 978-3-8396-0144-0

Ermittlung, Berechnung und Optimierung des strukturmechanischen Verhaltens am Beispiel von Fräsmaschinen

Carsten Mense. 169 Seiten, 58 Abbildungen und 11 Tabellen. 2010. Kartoniert.
ISBN 978-3-8396-0156-3

Beitrag zur nachhaltigen industriellen Wertschöpfung durch multiattributive Bewertung von Montageanlagen

Timo Fleschutz. 193 Seiten, 62 Abbildungen und 8 Tabellen. 2010. Kartoniert.
ISBN 978-3-8396-0171-6

Vorgehensweise für Planung und Betrieb energieeffizienter Produktionssysteme

Nils Weinert. 174 Seiten, 52 Abbildungen und 16 Tabellen. 2010. Kartoniert.

ISBN 978-3-8396-0173-0

Semantic-Web-Wissensbank für Planungsprozesse bei der Wiederverwendung von Produktionsanlagen

Robert Harms. 210 Seiten, 93 Abbildungen und 11 Tabellen. 2010. Kartoniert.

ISBN 978-3-8396-0180-8

Einsatzverhalten genuteter CBN-Schleifscheiben mit keramischer Bindung beim Außenrund-Einsteichschleifen

Mathias Kirchgatter. 173 Seiten, 85 Abbildungen und 19 Tabellen. 2011. Kartoniert.

ISBN 978-3-8396-0211-9

Herr Dr. Reise arbeitete von 2005 bis 2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der Technischen Universität Berlin. Hier koordinierte er u.a. den internationalen Masterstudiengang Global Production Engineering (GPE) aus der sich die wissenschaftliche Fragestellung dieser Arbeit ergab.

Die Planung ingenieurwissenschaftlicher Qualifizierungsprozesse erfolgt heute in einem dynamischen Umfeld und beinhaltet zahlreiche wissensintensive Aufgaben. Ziel der Arbeit war es, die Qualität der Qualifizierungsentscheidungen durch die Bereitstellung von hochwertigen Qualifikationsinformationen für alle Stakeholder des Bildungsmarktes zu verbessern. Es wurde der Ansatz verfolgt, sogenannte Learning Outcomes zur Qualifikationsrepräsentation und Semantik-Web-Technologien für die Verarbeitung der Qualifikationsinformationen zu nutzen.

Die Arbeit zeigt Wege, Qualifikationsprofile zu erstellen und zu speichern. Mit Hilfe von intelligenten Agenten die auf das WWW-Informationsreservoir zurückgreifen, können diese Profile identifiziert, analysiert und synthetisiert werden. In exemplarischen Anwendungen wurde nachgewiesen, dass intelligente Agenten dadurch die Transparenz in der Planung von Produkten und Prozessen des Bildungsmarkts maßgeblich erhöhen können.

ISBN 978-3-8396-0217-1



9 783839 602171