



**UNIVERSITÄT PADERBORN**  
*Die Universität der Informationsgesellschaft*

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften  
Fachgebiet Wirtschaftsinformatik  
Universität Paderborn

Ontologiebasierte Strukturierung von Lernobjekten in der  
Domäne Operations Research/Management Science und  
Einbettung in ein hypermediales Lernsystem – Konzeption  
und Implementierung

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grads  
des Doktors der Wirtschaftswissenschaften

(Dr. rer. pol.)

der Universität Paderborn

vorgelegt von

Stephan Kassanke  
Piepenturmweg 6  
33100 Paderborn  
[stephan@kassanke.com](mailto:stephan@kassanke.com)

Tag der mündlichen Prüfung 07.05.2004







## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung .....	1
2	IT gestützte Lernprozesse im Bereich OR/MS – Abgrenzung des Problemfelds.....	6
3	Defizitanalyse und daraus resultierende Ziele der Arbeit .....	60
4	Bausteine für die Gestaltung der Wissensbasis eines hypermedialen Lernsystems für OR/MS.....	66
5	Konzeption und systematische Strukturierung der Wissensbasis .....	105
6	Implementierung eines hypermedialen Lernsystems für OR/MS .....	140
7	Kritische Würdigung und Ausblick.....	191
8	Literaturverzeichnis .....	198
9	Anhang.....	210

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>IT gestützte Lernprozesse im Bereich OR/MS – Abgrenzung des Problemfelds.....</b>	<b>6</b>
2.1	Motivation – Lebenslanges Lernen.....	6
2.2	Lernpsychologische Grundlagen.....	8
2.2.1	Theoretische Fundierung des Lernprozesses - Lerntheorien.....	9
2.2.1.1	Behaviorismus.....	9
2.2.1.2	Kognitivismus.....	11
2.2.1.3	Konstruktivismus.....	12
2.2.1.4	Kritische Würdigung der grundsätzlichen lerntheoretischen Positionen.....	13
2.2.1.5	Situiertes Lernen.....	14
2.2.2	Wissensarten und deren mentale Repräsentation.....	16
2.2.2.1	Daten, Information und Wissen.....	16
2.2.2.2	Kategorisierungsansätze von Wissensarten.....	19
2.2.2.3	Kodierungsprozess zur internen, mentalen Repräsentation von Wissen.....	22
2.3	E-Learning – Prozesse, Objekte, Systeme.....	26
2.3.1	Verständnis von E-Learning als Lernprozess.....	27
2.3.2	Medien und Konzepte zu deren Kombination und Verknüpfung.....	28
2.3.2.1	Medien und deren Funktionen im Lernprozess.....	29
2.3.2.2	Präsentationsform Multimedia.....	30
2.3.2.3	Hypertext zur nicht-linearen Präsentation textueller Informationen.....	32
2.3.2.4	Hypermedia zur nicht-linearen Präsentation multimedialer Informationen.....	34
2.3.3	Hypermediale Lernsysteme.....	34
2.3.3.1	Kategorisierung von E-Learning Systemen.....	35
2.3.3.2	Charakteristika hypermedialer Lernsysteme.....	38
2.3.3.3	Navigationsmethoden in Hypertextbasen.....	40
2.3.3.4	Probleme beim Lernen in hypermedialen Lernsystemen.....	41
2.3.4	Formulierung und Eigenschaften von Lernobjekten.....	45
2.3.5	Ansätze zur Auszeichnung und Strukturierung von Lernobjekten.....	48
2.3.6	Zusammenfassung.....	50
2.4	E-Learning in der Domäne Operations Research/Management Science.....	51
2.4.1	Charakteristika der Domäne.....	51
2.4.2	Domänenspezifische Probleme der Wissensvermittlung und Lösungsansätze.....	52
2.4.3	Lernsysteme im Bereich OR/MS - State of the Art.....	54
2.4.3.1	OR-Welt.....	54
2.4.3.2	Mentor.....	55
2.4.3.3	Trial-Solution.....	56
2.4.3.4	TutOR.....	57
2.4.3.5	Tenor.....	57
2.4.3.6	Andere.....	58
2.5	Zusammenfassung.....	59
<b>3</b>	<b>Defizitanalyse und daraus resultierende Ziele der Arbeit.....</b>	<b>60</b>
3.1	Defizite.....	60
3.2	Ziele der Arbeit.....	62
3.3	Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit.....	63
<b>4</b>	<b>Bausteine für die Gestaltung der Wissensbasis eines hypermedialen Lernsystems für OR/MS.....</b>	<b>66</b>

4.1	Lernobjekte – Wiederbenutzbarkeit und Kodierungsformen .....	66
4.1.1	Relevante Faktoren für Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten .....	66
4.1.2	Kodierungsformen von Lernobjekten .....	69
4.1.2.1	Auszeichnungssprachen auf Basis des Markup-Prinzips – SGML und HTML.....	69
4.1.2.2	Trennung zwischen Inhalt und Struktur – XML und XSL .....	73
4.1.3	Relevante Dokumenttypen für Lernobjekte .....	79
4.1.3.1	Learning Material Markup Language.....	80
4.1.3.2	Mathematical Markup Language.....	81
4.1.3.3	Scalable Vector Graphics .....	81
4.2	Metadatenschemata – Standards für Interoperabilität von Lernobjekten .....	82
4.2.1	Motivation für Lerntechnologiestandards .....	82
4.2.2	Der Begriff der Metadaten .....	83
4.2.3	Standardisierungsprozess und Überblick über relevante Lerntechnologiestandards.....	85
4.2.3.1	Nationale Initiativen.....	86
4.2.3.2	Internationale Initiativen .....	87
4.2.4	Metadatenschemata für Lernobjekte .....	88
4.2.5	Learning Object Metadata .....	89
4.3	Ontologien – Explizierung der Struktur einer Domäne .....	92
4.3.1	Taxonomien als Klassifikationsmechanismen .....	93
4.3.2	Ontologien – eine Begriffsabgrenzung .....	94
4.3.2.1	Einsatzgebiete und Definition von Ontologien .....	95
4.3.2.2	Bestandteile von Ontologien .....	96
4.3.2.3	Entwurf einer Ontologie .....	98
4.4	Notwendige Voraussetzungen für Multilingualität .....	99
4.4.1	Eindeutige Spezifikation von Datums- und Zeitangaben .....	100
4.4.2	Konventionen für Zeichenkodierungen .....	100
4.4.3	Internationalisierung und Lokalisierung .....	103
4.5	Zusammenfassung .....	104
<b>5</b>	<b>Konzeption und systematische Strukturierung der Wissensbasis .....</b>	<b>105</b>
5.1	Semantische Kodierung von Lernobjekten am Beispiel von Fallstudien .....	105
5.1.1	Abbildung generischer Lernobjekttypen mit LMML.....	106
5.1.2	Aufbau von Fallstudien im Bereich OR/MS.....	106
5.1.3	Anpassung des Dokumententyps LMML für Fallstudien.....	107
5.1.4	Umsetzung der Multilingualität für Lernobjekte.....	110
5.2	Systematisierung von Lernobjekten nach dem Prinzip der Granularität.....	111
5.2.1	Granularität als Systematisierungsprinzip – bestehende Ansätze .....	111
5.2.2	Granularitätsstufen für Lernobjekte – Entwicklung einer Systematik .....	113
5.2.2.1	Medienelement.....	114
5.2.2.2	Lernelement.....	115
5.2.2.3	Inhaltsmodul .....	115
5.2.2.4	Kurs .....	115
5.2.2.5	Thematisches Netzwerk .....	115
5.2.3	Komposition von Lernobjekten.....	116
5.2.3.1	Relationstypen zwischen Lernobjekten.....	116
5.2.3.2	Valide Relationen zwischen Lernobjekten verschiedener Granularität .....	117
5.3	Systematisierung von Lernobjekten nach Inhalt - Ontologie für OR/MS .....	119
5.3.1	Bestehende Ansätze zur Klassifikation von OR/MS Inhalten .....	119
5.3.2	Formalisierung einer Kategorisierung von OR/MS am Beispiel MSC 2000.....	122
5.3.3	Technische Realisierung der Formalisierung .....	123
5.4	Individuelle und strukturelle Beschreibung von Lernobjekten durch Metadaten.....	124
5.4.1	Beschreibung von Lernobjekten durch Learning Objects Metadata (LOM) .....	124

5.4.2	Umsetzungsmöglichkeiten von LOM .....	126
5.4.2.1	Speicherung in XML Dokumenten.....	127
5.4.2.2	Speicherung in XML Datenbanken.....	128
5.4.2.3	Speicherung in relationalen Datenbanken.....	129
5.4.3	Relationale Modellierung des LOM Schemas .....	130
5.4.3.1	Abbildung der Hauptgruppen von LOM.....	130
5.4.3.2	Verwaltung sprachspezifischer Texte.....	131
5.4.3.3	Aufteilung in Netzwerke .....	132
5.4.3.4	Ablage von Benutzerdaten.....	132
5.4.3.5	Abbildung von Vokabularen .....	132
5.4.3.6	Abbildung der Klassifikation der Lernobjekte .....	133
5.4.3.7	Vereinfachungen gegenüber LOM.....	134
5.5	Integration zum Gesamtkonzept.....	134
5.6	Kritische Würdigung des Konzepts .....	137
<b>6</b>	<b>Implementierung eines hypermedialen Lernsystems für OR/MS .....</b>	<b>140</b>
6.1	Anforderungen an die Architektur .....	140
6.2	Gesamtarchitektur des Lernsystems .....	142
6.2.1	Überblick über die Architektur .....	142
6.2.2	Persistenzebene.....	144
6.2.3	Anwendungsebene .....	144
6.2.4	Präsentationsebene.....	144
6.3	Lernobjekte.....	145
6.3.1	Erzeugung LMML kodierter Lernobjekte .....	145
6.3.1.1	Erstellung und Editierung von LMML Lernobjekten.....	145
6.3.1.2	Konvertierung bestehender HTML Dokumente nach LMML .....	148
6.3.1.3	Transformation von LMML Lernobjekten .....	148
6.3.1.4	Multilingualität in LMML Lernobjekten.....	149
6.3.2	Interaktive Lernobjekte für OR/MS .....	149
6.3.2.1	Lösen von Optimierungsproblemen - Solver .....	150
6.3.2.2	Simulationen.....	153
6.3.2.3	Animationen (SVG) .....	154
6.4	Metadaten Repository und News Repository .....	155
6.5	Komponente LOM Editor .....	156
6.5.1	Überblick über den LOM Editor .....	156
6.5.2	Regulierung des Zugriffs auf die Metadaten .....	157
6.5.3	Basisfunktionen zur Manipulation der Metadaten .....	157
6.5.4	Merkmale der Benutzungsoberfläche .....	160
6.5.5	Komposition und Wiederbenutzung von Lernobjekten .....	161
6.5.6	Klassifikation von Lernobjekten in der Ontologie .....	167
6.5.7	Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten zwischen Systemen .....	170
6.5.8	Unterstützung von Multilingualität durch den LOM Editor .....	171
6.6	Komponente Portal .....	172
6.6.1	Überblick über das Portal .....	172
6.6.2	Zugriff auf Lernobjekte über die Kursstruktur .....	173
6.6.3	Zugriff auf Lernobjekte über grafische Visualisierungen .....	176
6.6.4	Suche nach Lernobjekten.....	181
6.6.5	Zugriff auf Metadaten.....	183
6.6.6	Technische Betrachtung der Architektur des Portals.....	185
6.6.7	Unterstützung von Multilingualität im Portal .....	188
<b>7</b>	<b>Kritische Würdigung und Ausblick.....</b>	<b>191</b>
7.1	Ergebnisse der Arbeit und deren kritische Würdigung .....	191
7.2	Ausblick.....	194

<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>198</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>210</b>
9.1	Verwendete Software zur Implementierung des Lernsystems .....	210
9.2	Learning Objects Metadata (LOM) .....	210
9.2.1	LOM - Struktur .....	211
9.2.2	LOM – DTD .....	212
9.2.3	LOM - Relationales Datenbankschema .....	214
9.3	LMML DTD .....	214
9.4	Kürzel zur Kennzeichnung von Sprachen (ISO 639) .....	216

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Lernmodell des Behaviorismus (schematisch) (Quelle: vgl. [Baumgartner/Payr 1994]) .....	10
Abbildung 2: Lernmodell des Kognitivismus (schematisch) (Quelle: vgl. [Baumgartner/Payr 1994]) .....	11
Abbildung 3: Lernmodell des Konstruktivismus (schematisch) (Quelle: vgl. [Baumgartner/Payr 1994]) .....	12
Abbildung 4: Daten, Information und Wissen (Quelle: vgl. [Aamodt/Nygård 1995]) .....	18
Abbildung 5: Netzwerkdarstellung einer Proposition (Quelle: Eigene Darstellung) .....	23
Abbildung 6: Kognitives Modell zum multimedialen Lernen (Quelle: vgl. [Mayer 1999]) .....	26
Abbildung 7: Knoten und gerichtete Hyperlinks dazwischen (Quelle: [Tergan 2002]) .....	33
Abbildung 8: Zusammenfassung von Knoten zu einem Chunk (Quelle: vgl. [Tergan 2002]) .....	34
Abbildung 9: Grobe Typologie von Lehrsystemen (Quelle: vgl. [Bodendorf 1993]) .....	37
Abbildung 10: Trial-Solution - Selektion von Buchabschnitten (Quelle: Eigene Darstellung) .....	57
Abbildung 11: Aufbau eines HTML Dokuments (Quelle: Eigene Darstellung) .....	71
Abbildung 12: Kontaktseite von Stephan Kassanke am DS&OR Lab, Universität Paderborn (Quelle: Eigene Darstellung) .....	72
Abbildung 13: Überblick über SGML, HTML, XML und verwandte Technologien (Quelle: vgl. [Behme/Mintert 2000]) .....	77
Abbildung 14: XSL Transformation in HTML Format (Quelle: Eigene Darstellung) .....	78
Abbildung 15: XSL Transformation über FO nach PDF (Quelle: Eigene Darstellung) .....	78
Abbildung 16: LOM - Basisschema (Quelle: vgl. LOM DOC 2002]) .....	90
Abbildung 17: Ontologie – Darstellung einer Taxonomie (Quelle: Eigene Darstellung) .....	97
Abbildung 18: Ontologie – Darstellung einer Taxonomie und weiterer Relationen (Quelle: Eigene Darstellung) .....	97
Abbildung 19: LMML Grundmodell (Quelle: Eigene Darstellung) .....	108
Abbildung 20: LMML-OR – Aufbau Dokumenttyp (Quelle: Eigene Darstellung) .....	109
Abbildung 21: LMML-OR –Verfeinerung der Elemente (Quelle: Eigene Darstellung) .....	109
Abbildung 22: LMML Erweiterung für Fallstudien (Quelle: Eigene Darstellung) .....	110
Abbildung 23: Kontinuum und Einordnung der Granularitäten (Quelle: Eigene Darstellung) .....	114
Abbildung 24: Gliederung von OR/MS für OR-Welt (Quelle vgl. [Blumstengel 1998]) .....	120
Abbildung 25: Teilbereich der MSC 2000 ohne Referenzen (Quelle: Eigene Darstellung) .....	122
Abbildung 26: Teilbereich der Ontologie mit Referenzen (Quelle: Eigene Darstellung) .....	123
Abbildung 27: Auszug aus der LOM DTD (Quelle: Eigene Darstellung) .....	127
Abbildung 28: Auszug aus einer XML LOM Beschreibung (Quelle: Eigene Darstellung) .....	128
Abbildung 29: LOM – Struktur der Gruppe „general“ (Quelle: Eigene Darstellung) .....	130
Abbildung 30: LOM Datenbankschema – Tabellen lom/general (Quelle: Eigene Darstellung) .....	131
Abbildung 31: LOM Datenbankschema – Tabellen lom/network_lom/network (Quelle: Eigene Darstellung) .....	132
Abbildung 32: LOM Datenbankschema – Tabellen network/network_user/user (Quelle: Eigene Darstellung) .....	132
Abbildung 33: LOM Datenbankschema – Tabellen classification/classification_structure/taxon (Quelle: Eigene Darstellung) .....	133

Abbildung 34: LOM Klassifikation - Datenstruktur und Taxonomie (Quelle: Eigene Darstellung).....	134
Abbildung 35: Untypisierte, semantische und ontologische Verknüpfungen (Quelle: Eigene Darstellung).....	136
Abbildung 36: Dreischicht-Architektur: Einbettung der Komponenten (Quelle: Eigene Darstellung).....	143
Abbildung 37: Fallstudien Editor (Quelle: Eigene Darstellung).....	146
Abbildung 38: Transformation von Excel Tabellen nach LMML (Quelle: Eigene Darstellung).....	147
Abbildung 39: Darstellung des Lernobjektes „Red Brand Canners“ und begleitender Metadaten (Quelle: Eigene Darstellung).....	149
Abbildung 40: Optimierungsapplet - Formulierung des Modells (Quelle: Eigene Darstellung).....	151
Abbildung 41: Interaktive Darstellung des Simplex Algorithmus (Quelle: Eigene Darstellung).....	152
Abbildung 42: Optimierungsapplet - Darstellung der Lösung (Quelle: Eigene Darstellung).....	152
Abbildung 43: Interaktive Darstellung des Simplex Algorithmus (Quelle: Eigene Darstellung).....	153
Abbildung 44: Simulation der Platzbelegung eines Flugzeuges (Quelle: Eigene Darstellung).....	154
Abbildung 45: Animation eines Transportproblems durch SVG (Quelle: Eigene Darstellung).....	155
Abbildung 46: LOM Editor - Anmeldung und Auswahl eines Netzwerkes (Quelle: Eigene Darstellung).....	157
Abbildung 47: LOM Editor – Auswahl von Lernobjekten (Quelle: Eigene Darstellung).....	158
Abbildung 48: LOM Editor – Aufbau (Quelle: Eigene Darstellung).....	159
Abbildung 49: LOM Editor - Kategorie Relation (Quelle: Eigene Darstellung).....	161
Abbildung 50: LOM Editor - LOM Graph (Quelle: Eigene Darstellung).....	163
Abbildung 51: LOM Editor - Kontextsensitive Menüs des LOM Graph (Quelle: Eigene Darstellung).....	164
Abbildung 52: LOM Editor - Erzeugen von Relationen im LOM Graph (Quelle: Eigene Darstellung).....	166
Abbildung 53: LOM Editor - LOM Graph Drag&Drop zwischen Netzwerken (Quelle: Eigene Darstellung).....	167
Abbildung 54: LOM Editor – Kategorie Classification (Quelle: Eigene Darstellung).....	168
Abbildung 55: LOM Editor - Auswahl des Taxonomiepfades (Quelle: Eigene Darstellung).....	169
Abbildung 56: LOM Editor – Auswahl des Taxonomiepfades (graphbasiert) (Quelle: Eigene Darstellung).....	169
Abbildung 57: Überblicksdarstellung des OR-World Portals (Quelle: Eigene Darstellung).....	173
Abbildung 58: Portal - Kategorisierte Übersicht über Lernobjekte (Quelle: Eigene Darstellung).....	174
Abbildung 59: Portal - Sequentielle Übersicht über Lernobjekte (Quelle: Eigene Darstellung).....	175
Abbildung 60: Portal – LOM HT (Quelle: Eigene Darstellung).....	176
Abbildung 61: Portal: LOM HT mit ausgeblendeten Granularitäten (Quelle: Eigene Darstellung).....	177
Abbildung 62: Verschiedene Knotenabstände im LOM HT (Quelle: Eigene Darstellung).....	178
Abbildung 63: Portal – LOM HT und kontextsensitive Operationen für Lernobjekte (Quelle: Eigene Darstellung).....	178

Abbildung 64: Portal: LOM Navigator – Darstellung eines Lernnetzwerkes (Quelle: Eigene Darstellung).....	180
Abbildung 65: Portal: Ergebnis einer Suche nach „Optimization“ (Quelle: Eigene Darstellung) .....	182
Abbildung 66: Portal: Erweiterte Suchmaske (Quelle: Eigene Darstellung) .....	182
Abbildung 67: Portal: Ergebnis einer erweiterten Suche (Quelle: Eigene Darstellung) .....	183
Abbildung 68: Portal: Metadaten Darstellung (Quelle: Eigene Darstellung) .....	184
Abbildung 69: Portal: Transformationsprozess durch Cocoon (Quelle: Eigene Darstellung) .....	186
Abbildung 70: Portal: Darstellung der Sektion Aktuelles auf Endgerät Browser, WAP Handy, PDA (Quelle: Eigene Darstellung) .....	187
Abbildung 71: Portal: Multilingualität des Portals (Quelle: Eigene Darstellung).....	188
Abbildung 72: Virtual OR/MS – Kursansicht (Quelle: [VORMS 2003]).....	194
Abbildung 73: Hype-Zyklus von Technologien zur Informationsauswertung (Quelle: vgl. [CZ 20/2002]) .....	196
Abbildung 74: LOM Gesamtstruktur – Teil 1 .....	211
Abbildung 75: LOM Gesamtstruktur – Teil 2 .....	212
Abbildung 76: LOM - relationales Datenbankschema .....	214

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Wissenstransformation (Quelle: vgl. [Nonaka/Takeuchi 1997]) .....	21
Tabelle 2: LMML Elemente und deren Inhalte (Quelle: Eigene Darstellung).....	80
Tabelle 3: Dublin Core Standard für Metadaten (Quelle: vgl. [DCMI ES 2003]) .....	84
Tabelle 4: Standardisierungsgremien (Quelle: Eigene Darstellung) .....	86
Tabelle 5: ISO8859 Familie (Quelle: Eigene Darstellung).....	101
Tabelle 6: Zuordnung der Sektionen einer Fallstudie zu LMML Elementen (Quelle: Eigene Darstellung).....	108
Tabelle 7: Gegenüberstellung Granularitätsstufen, LOM, Wiley (Quelle: Eigene Darstellung) .....	114
Tabelle 8: Mögliche Relationen zwischen Lernobjekten (Quelle: vgl. [Miller 1999]) .....	116
Tabelle 9: Valide Relationen zwischen Lernobjekten (Quelle: Eigene Darstellung).....	118
Tabelle 10: AMS Klassifizierungsschema für OR/MS (Auszug) (Quelle: Eigene Darstellung) .....	121
Tabelle 11: Auszug aus der LOM Spezifikation (Quelle: [LOM DOC 2002]) .....	125
Tabelle 12: ISO 639 Sprachcodes.....	216

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADL	Advanced Distributed Learning
AI	Artificial Intelligence
AICC	Aviation Industry CBT Committee
ANSI	American National Standards Institute
API	Application Programming Interface
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAI	Computer Aided Instruction
CBT	Computer Based Training
CDATA	Character Data
CMI	Computer Managed Instructions
CSS	Cascading Stylesheets
DAML	DARPA Agent Markup Language
DC	Dublin Core
DoD	Department of Defense
DOM	Document Object Model
DTD	Document Type Definition
EDI	Electronic Data Interchange
FOP	Formatting Objects Processor
GML	Generalized Markup Language
GMT	Greenwich Mean Time
HAM	Hypertext Abstract Machine
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMS	Instructional Management System
ISBN	International Standard Book Number
ISO	International Organization for Standardization
IST	Information Societies Technology
ITS	Intelligent Tutoring Systems, Intelligente tutorielle Systeme
JDBC	Java DataBase Connectivity
JRE	JAVA Runtime Environment
JSP	Java Server Pages
KI	Künstliche Intelligenz
LCMS	Learning Content Management System
LMML	Learning Material Markup Language

LMS	Learning Management System
LOM	Learning Object Metadata
LTSC	Learning Technology Standards Committee
MEZ	Mitteleuropäische Zeit
MIME	Multipurpose Internet Mail Extensions
MRDB	Mathematical Reviews Database
NCSA	National Center for Supercomputing Applications
OIL	Ontology Interchnage Language
OR/MS	Operations Research/Management Science
PCDATA	Parsable Character Data
PDA	Personal Digital Assistant
PDF	Portable Document Format (Adobe®)
PS	Postscript
RDF	Ressource Description Framework
SCORM	Sharable Content Object Reference Model
SGML	Standard Generalized Markup Language
SQL	Structured Query Language
SVG	Scalable Vector Graphics
UML	Unified Modeling Language
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Unified Resource Locator
VRML	Virtual Reality Modeling Language
W3C	World Wide Web Consortium
WAP	Wireless Application Protocol
WML	Wireless Markup Language
WWW	World Wide Web
WYSIWYG	What you see is what you get
XHTML	Extensible Hypertext Markup Language
XML	Extensible Markup Language
XSL	Extensible Stylesheet Language
XSL-FO	XSL Formatting Objects
XSLT	XSL Transformations
XSP	Extensible Server Pages



# 1 Einleitung

*Wenn Du ein Schiff bauen willst, fang nicht an, Holz zusammenzutragen, Bretter zu schneiden und Arbeit zu verteilen, sondern wecke in deinen Männern die Sehnsucht nach dem großen, weiten Meer.*

*Antoine de Saint-Exupéry*

Das Ende des 20. und der Beginn des 21. Jahrhunderts ist eine Zeitperiode, die vor allem in den westlichen Postindriegesellschaften von dem Gut Information und dessen effektiver Nutzung geprägt ist. Informationen und Wissen sind für praktisch alle Lebensbereiche zentral geworden. Es handelt sich dabei um ein gesellschaftliches Phänomen, nicht nur einzelne Bereiche, sondern der private als auch der öffentliche Sektor sind von einer effizienten Informationsversorgung und Organisation abhängig (vgl. [Kuhlen 1999, 145]). Die dabei referenzierte Gesellschaftsform wird als „Informationsgesellschaft“ oder „Wissensgesellschaft“ bezeichnet. „Informationsgesellschaft löst ältere Begriffe wie Agrargesellschaft, Industriegesellschaft und Dienstleistungsgesellschaft ab, nicht in dem Sinne, dass nicht mehr Agrarwirtschaft etc. betrieben würde, aber eben dass Informationen das bestimmende Prinzip gegenwärtiger fortgeschrittener Gesellschaften bzw. Volkswirtschaften ist [...]“ [Kuhlen 1999, 143 f.]. Der komplexe Herstellungsprozess moderner Produkte und die Bereitstellung intelligenter Dienstleistungen sind stark abhängig von der Verfügbarkeit und dem Zugriff auf relevante Informationen und daraus resultierender Anwendung von relevantem Wissen. Dieser Sachverhalt ist nicht neu, aber die Bedeutung des Faktors Wissen gegenüber den klassischen Produktionsfaktoren Arbeit, Boden und Kapital nimmt rapide zu. Das Schlagwort „Wissensmanagement“ betont die Bedeutung von Wissen als Ressource, die es gilt effizient nutzbar zu machen. Unternehmen sind gerade in einem globalen Wettbewerb dazu gezwungen, ihre Wissensressourcen effizient zu nutzen, um Wettbewerbsvorteile zu generieren. „Das Wissen determiniert zunehmend den Wert eines Unternehmens“ [Österle 2000].

Technologische Innovationen haben die Art und Weise, wie wir arbeiten, leben und lernen verändert. Der dramatischste Wechsel derzeit wurde und wird durch das Internet und insbesondere durch das World Wide Web (WWW) in allen Lebensbereichen eingeleitet. Diese Entwicklung steht noch am Anfang und hat doch bereits in der relativ kurzen Zeit seit Beginn der 90er Jahre gravierende Umwälzungen initiiert. Das WWW erleichtert den Zugang zu Informationen enorm. Zusätzlich sind die Kosten für Computer und Netzwerke vergleichsweise gering. Damit ist das WWW ein wichtiges Trägermedium, um innerhalb eines weltweiten Netzwerkes auf Informationen zuzugreifen. Diese prinzipiell positiv zu bewertende Entwicklung führt aber mittlerweile zum Problem der Informationsüberflutung.

Die Informationsmenge innerhalb der Wissensgesellschaft steigt kontinuierlich, neue Informationsquellen kommen hinzu. Technisch ist es einfacher geworden, generellen Zugriff auf diese zu erlangen, aber es wird zunehmend schwieriger, aus dieser „Informationsflut“ die relevanten Informationen heraus zu filtern (vgl. [Hasebrook 1995, 13]). Zusätzlich ist davon auszugehen, dass die Halbwertszeit von Wissen zunehmend geringer wird (vgl. [Hitzges et al. 1994]). Dieser Auffassung stehen Autoren wie z. B. [Schulmeister 2001] entgegen, der die pauschale These des steigenden Wachstums von Informationen und geringer werdender Halbwertszeit von Wissen hinterfragt. Valide empirische Daten, die diese These wider- oder belegen stehen derzeit kaum zur Verfügung. Lediglich Indikatoren, wie z. B. die Anzahl wissenschaftlicher Publikationen in Journalen, oder Schätzungen über die Größe des Internets werden herangezogen, um die Wachstumsrate an Informationen zu klassifizieren. [Lyman/Varian 2003] zeigen sogar eine Verlangsamung des Informationswachstums für 2002 auf. Nicht zu bestreiten ist jedoch, dass die Zugriffsmöglichkeiten auf Informationen, z. B. über das WWW als Emissionsmedium im Vergleich zu traditionellen Bibliotheken sehr einfach geworden sind und dass die zur Verfügung stehende Menge an Informationen wächst.

Die Wissensgesellschaft stellt hohe Anforderungen an das Individuum und Lernen ist zu einem zentralen Thema in der Informationsgesellschaft geworden. Das Gut Information avanciert zu einem entscheidenden Faktor in Ausbildung und Beruf. Die Aus- und Weiterbildung wird sowohl für Studenten als auch für Berufstätige zu einer Schlüsselqualifikation, um eine gute Startposition im Berufsleben zu erlangen bzw. zu erhalten. Der erhöhte Aus- und Weiterbildungsbedarf wird durch „lifelong learning“ bzw. das lebenslange Lernen (LLL) charakterisiert. Die Ausbildung durch traditionelle Bildungsträger wie Schulen, Fachhochschulen und Universitäten ist durch Präsenzveranstaltungen charakterisiert, in denen überwiegend im Frontalunterricht in Vorlesungen oder Kursen Wissen vermittelt wird. Auch im beruflichen Sektor werden Weiterbildungen angeboten, in denen Mitarbeiter geschult werden. Präsenzveranstaltungen setzen dabei jeweils die Anwesenheit des Lernenden voraus.

Das lebenslange Lernen stellt neuartige Anforderungen an Lernende und an Lernformen, die von institutionalisierten Bildungsträgern in der derzeitigen Form kaum erfüllt werden können. Die Form des Lernens wechselt tendenziell von der Ausbildung durch Lehrpersonen zum eigenständigen Lernen und Selbststudium. „Wir werden in Zukunft weit stärker als heute schon darauf angewiesen sein, relevantes neues Wissen ohne unmittelbare Betreuung im Selbststudium zu erwerben“ [Schoop/Glowalla 1992, 5 f.]. Computergestützte Lernformen werden den Präsenzunterricht dabei wahrscheinlich nicht substituieren, aber in weiten Bereichen ergänzen. Dies trifft sowohl auf den universitären als auch auf den beruflichen Ausbildungssektor zu. Tra-

ditionelle Lernformen werden durch multimediale Begleitmaterialien ergänzt, die über das WWW zugänglich sind.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wurde im April 2000 eine umfassende Bestandsaufnahme zur Nutzung elektronisch verfügbarer wissenschaftlicher Informationen in der Hochschulausbildung in Deutschland durchgeführt (vgl. [BMBF 2001]). Die flächendeckende Ausstattung mit internetfähigen Rechnern ermöglicht es Lernenden, auf Lerninhalte über das WWW zuzugreifen. Nach der angesprochenen Befragung verfügen 73,1% der Studierenden über einen eigenen Rechner mit Internetanschluss. 22,9% gaben an, lediglich über einen Rechner ohne Internetanschluss zu verfügen. Nur 4% der Studierenden gaben an, über gar keinen eigenen Computer zu verfügen. Auf dem Campus haben sogar 95,1% der Befragten Zugriff auf einen internetfähigen Rechner. Es kann auf Basis dieser Ergebnisse angenommen werden, dass die technischen Voraussetzungen für über das WWW vermittelte Lehrveranstaltungen und darüber hinaus für integrierte Angebote wie virtuelle Universitäten in Deutschland erfüllt sind. Der Großteil der Studierenden besitzt selbst die notwendige Infrastruktur bzw. kann Zugriff über die Hochschule auf diese erhalten. „Allerdings ist in den Augen der Studierenden das größte Hindernis zur effizienten Nutzung elektronischer wissenschaftlicher Informationen ein anderes: Es ist die mangelnde Übersichtlichkeit und Unstrukturiertheit des entsprechenden Angebotes. Die Studierenden halten es daher für besonders wichtig, dass das Angebot übersichtlicher werden sollte“ [BMBF 2001, 14]. Aus dieser Aussage kann ein dringender Bedarf an Systematisierungsmechanismen für Lernangebote aus Sicht der Studierenden abgeleitet werden.

Lehrende würden ebenfalls von einer stärkeren Systematisierung von Lern- und Lehrmaterialien profitieren. Die Vorbereitung und Produktion von Ausbildungsmedien, insbesondere wenn diese qualitativ hochwertige multimediale Komponenten beinhalten, ist aufwändig und folglich teuer. Eine nachhaltige Nutzung und Wiederbenutzung von Lernmaterialien sollte gesichert werden, um die Investitionen in die Produktion solcher Medien zu rechtfertigen. Die einmalige bzw. auf die entwickelnde Institution, respektive den Dozenten begrenzte Nutzung der Medien ist aber heute immer noch zu häufig der Fall. Der Zugriff und die effiziente Nutzung werden durch die Anwendung von Systematisierungen von Lernmaterialien nach inhaltlichen und strukturellen Aspekten gestärkt.

Aus den zuvor genannten Gründen ist die virtuelle Universität selbst in Deutschland aber immer noch die Ausnahme, nicht die Realität. „Die enormen Fortschritte auf dem Sektor der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien bieten zweifelsohne eine hervorragende Grundlage für die Qualitäts- und Effizienzsteigerung der Hochschullehre. Doch die Annahme, die Technik allein könne diese Steigerung bereits garantieren, ist ein Irrtum. Neben technischen

Neuerungen sind neue pädagogische und didaktische Konzepte für die Gestaltung multimedialer Lehr-Lernumgebungen erforderlich, die über einzelne Modeerscheinungen hinaus wirklich Bestand haben“ [BLK 2001, 15]. Da die technischen Voraussetzungen gegeben sind, bleibt nur der Schluss, dass fehlende organisatorische Voraussetzungen, mangelnde Umsetzung von didaktischen Konzepten für das Medium sowie strukturelle Unzulänglichkeiten die breite Verfügbarkeit von Lernangeboten behindern.

Einzelinitiativen von Universitäten bzw. einzelnen Lehrstühlen haben gezeigt, dass eine Entlastung der Präsenzlehre durch computergestützte Lehr- und Lernsysteme möglich ist. Ein Beispiel für ein System dieser Art ist die Lernumgebung „OR-Welt“, die am DS & OR Lab der Universität Paderborn entwickelt wurde (vgl. [OR-Welt 2001]). Innerhalb dieser Lernumgebung werden Grundinhalte des Operations Research und der Management Science (OR/MS) vermittelt. Die Darstellungsweise umfasst neben statischen Texten und Abbildungen interaktive Komponenten wie reaktive Animationen und Simulationen. Das System wurde von den Studenten an der Universität Paderborn gut angenommen und besonders die interaktiven Komponenten werden als besonders hilfreich erachtet (vgl. [Blumstengel 1998]).

Lernumgebungen wie OR-Welt zeigen, dass sie lokal effektiv eingesetzt werden können, um die Lehre zu verbessern. Die gesammelten Erfahrungen bei der Erstellung und beim Einsatz von OR-Welt haben aber auch gezeigt, dass ab einer gewissen Größe eines Systems, Ordnungskriterien eine zunehmende Relevanz für das Management dieses Systems erhalten. Neben der inhaltlichen Ausgestaltung mit interaktiven Komponenten wie Animationen und Simulationen, erhalten damit Klassifizierungsansätze, Systematisierungen und weitere Beschreibungsmechanismen eine zunehmende Bedeutung. OR-Welt integrierte bereits Ansätze zur Granularisierung von Lernobjekten und der Auszeichnung durch noch sehr einfach strukturierte Beschreibungen in Form von Schlagworten. Diese dienen aber nur zur groben Kategorisierung und zur Suche und werden darüber hinaus nicht in OR-Welt verwendet. So müssen die Übersichten, wie z. B. eine grafische Netzwerkansicht der in OR-Welt bereit gestellten Themen manuell erstellt werden. Dieser wachsende Aufwand stellte sich zunehmend als unproduktiv heraus.

Technische Gegebenheiten von OR-Welt (zur Erstellung wurde Asymetrix Toolbook© verwendet) machen eine Nutzung über das WWW nahezu unmöglich. Weitere Unzulänglichkeiten wie komplizierte Updates, fehlende Multilingualität, und die Bindung an eine Betriebssystemplattform ließen die Forderung nach einem Nachfolgesystem laut werden, das die oben angeführten Schwächen nicht aufweist.

Aus den vorgenannten Überlegungen wird an dieser Stelle eine erste Zielsetzung der Arbeit abgeleitet. Es sollen standardisierte Beschreibungsschemata zur inhaltlichen und strukturellen Systematisierung von Lernmaterialien entwickelt werden. In der Arbeit wird an Stelle der Umschreibung Lernmaterial der konkretisierende Begriff Lernobjekt zur Bezeichnung von lernrelevanten Medien benutzt. Für eine genaue Definition von Lernobjekten siehe Abschnitt 2.3.4. Die verwendete Beispieldomäne für die Konzeption ist OR/MS. Die inhaltliche und strukturelle Systematisierung soll in einem Konzept zusammengeführt werden, das eine verbesserte strukturelle Beschreibung und Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten ermöglicht.

Das zweite Ziel der Arbeit ist die Validierung des Konzeptes durch eine informationstechnische Implementierung und Einbettung in ein hypermediales Lernsystem, denn letztlich kann nur anhand von praktischen Erfahrungen evaluiert werden, ob die theoretische Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten auch den Anforderungen der Praxis standhält.

### **Formale Anmerkungen:**

Im Folgenden werden des Öfteren Anglizismen an Stelle eines ins Deutsche übersetzten Begriffs verwendet. Dieses geschieht nicht, um die englische Sprache zu glorifizieren, vielmehr sind nach Auffassung des Autors diese Begriffe gebräuchlicher als entsprechende deutsche Übersetzungen. Wo möglich und angebracht, wird ein deutscher Begriff verwendet. Des Weiteren wird aus Gründen der Lesbarkeit keine besondere Hervorhebung weiblicher Formen verwendet, wie „Studenten und Studentinnen“ oder „StudentInnen“. In einigen Fällen werden grammatikalisch nur männliche Formen verwendet, diese sollen als geschlechtsneutral aufgefasst werden.

Im Literaturverzeichnis wird nicht zwischen Referenzen in die Literatur und Verweisen auf Internetressourcen („links“) unterschieden. Dies wird zwar z. B. von [Dussart 1998] gefordert, macht aber nach Erfahrung des Autors keinen Sinn, da die Grenze zwischen Literatur im klassischen Sinne, d. h. Printmedien, die auf Papier oder Mikrofiche in Bibliotheken zur Verfügung stehen, und elektronischen Dokumenten verschwindet. Dadurch erscheint die Trennung zwischen beiden Formen im Literaturverzeichnis künstlich und wird hier nicht vorgenommen.

## 2 IT gestützte Lernprozesse im Bereich OR/MS – Abgrenzung des Problemfelds

*Tell me and I forget, Teach me and I remember, Involve me and I learn.*

*Benjamin Franklin*

Im Rahmen dieses Kapitels wird das in der Einleitung umrissene Problemfeld detailliert abgegrenzt und fokussiert. Dazu wird zunächst noch einmal die Motivation zur Auseinandersetzung mit dem Thema erläutert (2.1) und hieran anschließend werden wichtige lernpsychologische Grundlagen gelegt (2.2), die für das Verständnis des Problemfelds von entscheidender Bedeutung sind. Die eigentliche Abgrenzung des Problemfelds beginnt in Abschnitt 2.3, in dem E-Learning als Lernprozess und dessen systemtechnische Unterstützung sowie die dabei vermittelten Lernobjekte dargestellt werden. In Abschnitt 2.4 wird das Problemfeld weiter fokussiert, indem ein Überblick über bestehende Lernsysteme im Bereich der spezifischen Anwendungsdomäne des OR/MS gegeben wird. Eine Zusammenfassung beschließt die Konkretisierung des Problemfelds (2.5).

### 2.1 Motivation – Lebenslanges Lernen

Die Wissensgesellschaft verlangt vom Individuum die Bereitschaft zum lebenslangen Lernen. Das Konzept des lebenslangen Lernens hebt die Trennung zwischen schulischer/universitärer und beruflicher Weiterbildung teilweise auf. Lernen wird nicht mehr nur als einmaliger Akt gesehen, der mit der Schul- bzw. Universitätsausbildung abgeschlossen ist, sondern auch danach andauert. Die permanente, lebenslange Weiterbildung des Einzelnen zu vertretbaren Kosten kann kaum mehr nur durch traditionelle Methoden wie Präsenzseminare bzw. ein Vollzeitstudium gewährleistet werden. Computergestützte Methoden unterstützen den Lernprozess bereits heute durch begleitende Maßnahmen, die auf Informations- und Kommunikationstechnologien aufbauen.

Das Lebenslange Lernen (LLL) ist ein zentrales Paradigma des 21. Jahrhunderts. Die Europäische Union definiert lebenslanges Lernen als „... alles Lernen während des gesamten Lebens, das der Verbesserung von Wissen, Qualifikationen und Kompetenzen dient und im Rahmen einer persönlichen, bürgergesellschaftlichen, sozialen bzw. beschäftigungsbezogenen Perspektive erfolgt“ [EU LLL 2001]. Das lebenslange Lernen, oder auch „lifelong learning“ wird als Konzept gesehen, das nicht nur spezifische Aspekte des Lernens, wie Erwachsenenbildung heraushebt, sondern die lebenslange Lernphase von der Ersterziehung bis ins Rentenalter als kontinuierlichen Prozess auffasst.

Neben einer adäquaten Lernkultur, die entsprechende Freiräume schafft, müssen neue Szenarien entwickelt werden, in denen LLL gefördert wird. Neben traditionellen Veranstaltungen bieten sich dazu E-Learning Systeme an, die es erlauben, losgelöst von fixen Veranstaltungen, Lernen zu fördern. Technisch gesehen weist die potenzielle Lerngruppe zumindest an Hochschulen in Deutschland die Voraussetzungen auf, um auf solche Angebote zuzugreifen. Die Erstellung von E-Learning Materialien, sog. Lernobjekten, ist aufwändig und damit teuer und fordert einen entsprechend hohen Aufwand, wenn nicht nur statische Repräsentationen von z. B. Texten und Grafiken, sondern auch interaktive Komponenten bereitgestellt werden sollen. Aus ökonomischer Sicht ist damit eine lang andauernde und nachhaltige Verwendung der E-Learning Materialien wünschenswert.

Strategische Maßnahmen sind somit notwendig, um zielgruppengerechte Bildungsangebote bereit zu stellen, die Motivation zum Lernen zu erhöhen, eine Lernkultur zu schaffen und so den Prozess des lebenslangen Lernens optimal zu unterstützen. Damit ist nicht eine reine Institutionalisierung des Lernens gemeint, vielmehr wird die Selbstverantwortlichkeit und Eigenständigkeit des Individuums in den Vordergrund gestellt, um den individuellen Wissensstand den aktuellen Anforderungen anzupassen. Die Umsetzung bleibt aber bisher hinter den Erwartungen zurück. „The term ‘lifelong learning’ – if used at all – often tends to be a terminological substitute for all kinds of traditional continuing academic education provisions and is connected only very rarely to new concepts of teaching, learning and contents. Thus, the step from continuing education to lifelong learning still needs to be made” [Alesi/Kehm 2000].

Eine Diskussion, welche strategischen Maßnahmen notwendig wären, um das Konzept LLL in die Realität umzusetzen, liegt nicht im Fokus dieser Arbeit. Es ergeben sich jedoch speziell für Hochschulausbildung, Berufsleben und an der Schnittstelle zwischen diesen beiden Bereichen interessante Implikationen. Die Hochschulausbildung soll Absolventen primär fachliche Qualifikationen für das Berufsleben bereitstellen. Dieser eher traditionelle Qualifikationsbegriff hat sich aber im Umfeld der Wissensgesellschaft bereits gewandelt. Neben den fachlichen Kompetenzen werden zunehmend Methodenkompetenz und Sozialkompetenz als relevant erachtet und diese werden auch durch die Unternehmen von den Hochschulen eingefordert (vgl. [Scheubrein 2000, 14]). Methodenkompetenz bezeichnet dabei die Fähigkeit zum Denken in Systemen, Abstraktions-, Problemlösungs- und Entscheidungsfähigkeit. Sozialkompetenz manifestiert sich z. B. in Teamfähigkeit, der Fähigkeit zur Kommunikation und Kooperation. Zusammengefasst bezeichnet [Bühl 2000, 249f.] Methoden-, Fach- und Sozialkompetenz als „Informationsfähigkeit bzw. Medienkompetenz“. Der Informationsfähigkeit wird damit eine große Bedeutung zugemessen, sie wird als eine Schlüsselqualifikation im Berufsleben bewertet und kann als vierte Kulturfähigkeit neben Rechnen, Schreiben und Lesen betrachtet werden.

Diese Schlüsselqualifikation kann und muss durch die Hochschule gefördert werden. Neben der reinen Fachkompetenz, stehen damit die Vermittlung von Fähigkeiten, wie der Motivation zum Lernen, das eigenverantwortliche „Lernen“ des Lernens und die Selbstverantwortlichkeit des Individuums im Vordergrund. Grundlegende Voraussetzung dafür auf Seite des Lernenden ist eine ausreichende Kompetenz im Umgang mit multimedialen, interaktiven Medien. Ist diese nicht vorhanden, kann es im Spannungsfeld zwischen der Explosion des zur Verfügung stehenden Wissens, mangelnder Kommunikationsfähigkeit bzw. Medienkompetenz und mangelnden Orientierungsmöglichkeiten im WWW leicht zu einer Orientierungslosigkeit des Lernenden kommen.

Computergestützte Lernprozesse können neben der Präsenzlehre den Erwerb von Fachkompetenz fördern. Zunehmend wird in der Literatur anerkannt, dass computergestützte Lernformen nicht als Substitut für traditionelle Unterrichtsmethoden, sondern vielmehr ergänzend eingesetzt werden sollten. „Gerade in der betrieblichen Bildungsarbeit wird das computergestützte Lernen inzwischen kaum mehr als grundsätzliche Alternative zu konventionellem Unterricht aufgefasst; es setzt sich vielmehr die Sichtweise durch, dass betriebliche Bildung einer höheren Flexibilität und mehr methodischer Varianten bedarf. Genau dies lösen hybride Lernarrangements ein“ [Kerres 2000, 24]. Zu den hybriden Lernarrangements gehört das sog. Blended Learning.

Blended Learning beschreibt eine curriculare Einbindungsform, bei der E-Learning Bestandteile mit Präsenzteilen kombiniert werden, um einen maximalen Lernerfolg zu erzielen. Blended Learning Arrangements stellen Ausbildungsformen dar, die geeignet erscheinen, der geforderten Vermittlung von Methoden- und Sozialkompetenz zu entsprechen. Gruppenarbeiten oder Kleinprojekte können Erfahrungen für Studenten in der aktiven Auseinandersetzung mit Anderen bereitstellen, die den Erwerb von Sozialkompetenzen fördern. Gleichzeitig bietet sich die Möglichkeit, Grundlagenwissen in einem anwendungsorientierten Kontext zu demonstrieren, um die Transferleistung zu erhöhen und damit Methodenkompetenz aufzubauen. E-Learning stellt somit einen Baustein dar, um das lebenslange Lernen technologisch zu unterstützen.

## **2.2 Lernpsychologische Grundlagen**

Die im Folgenden dargestellten lernpsychologischen Grundlagen sind aus Sicht des Autors für das Verständnis der Abgrenzung des Problemfelds von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund werden diese Aspekte zu Beginn der vorliegenden Arbeit behandelt. Abschnitt 2.2.1 vermittelt einen Überblick über Lerntheorien, die für die theoretische Fundierung von Lernprozessen notwendig sind. Eine Darstellung und Abgrenzung des Wissensbegriffs sowie der mentalen Modelle zu dessen Repräsentation ergänzt die lernpsychologischen Grundlagen (2.2.2).

### 2.2.1 Theoretische Fundierung des Lernprozesses - Lerntheorien

E-Learning Prozesse und deren unterstützende Systeme spiegeln immer, zumindest implizit, eine didaktische Lerntheorie wider. Betrachtet man die Literatur in Bezug auf den Prozess, wie Lernende sich Inhalte aneignen bzw. Wissen generieren, lassen sich prinzipiell drei Auffassungen isolieren. Die dominierenden Paradigmen, chronologisch geordnet, sind der Behaviorismus (2.2.1.1), der Kognitivismus (2.2.1.2) und der Konstruktivismus (2.2.1.3). Diese drei Ansätze werden i. A. aufgrund ihrer extremen Positionen als kontradiktorisch aufgefasst, da die zugrunde liegenden Annahmen zu verschieden sind, um die Ansätze als komplementär aufzufassen. [Kerres 2001] dagegen vertritt die Ansicht, dass sich die im Folgenden diskutierten Lerntheorien im Sinne einer gestaltungsorientierten Mediendidaktik sehr wohl integrieren lassen. „Die gestaltungsorientierte Mediendidaktik will sich dagegen nicht an *eine* bestimmte theoretische Konzeption des Lernens oder Lehrens binden. Sie sieht sowohl in den verschiedenen Aussagentypen und Dimensionierungen der Modelle als auch in den inhaltlichen Aussagen der verschiedenen Paradigmen einen Fundus, der die analytischen Arbeiten des didaktischen Designs strukturiert“ [Kerres 2001, 54]. In einem zwischenzeitlichen Fazit werden die lerntheoretischen Grundpositionen kritisch gewürdigt (2.2.1.4). Ergänzt wird die Darstellung lerntheoretischer Ansätze durch die Beschreibung einer konkreten Anwendung der konstruktivistischen Position, das situierte Lernen (2.2.1.5).

#### 2.2.1.1 Behaviorismus

Der Behaviorismus hat seine Wurzeln in der klassischen Konditionierungstheorie des russischen Psychologen Pawlow. Der Behaviorismus ist nicht an internen Lernprozessen interessiert, lediglich das objektiv beobachtbare Verhalten des Lernenden wird betrachtet. Das Lernen wird nach dieser Theorie allein durch ein Reiz-Reaktionsschema verursacht. Der Behaviorismus betrachtet im Gehirn ablaufende Prozesse als „black box“. Was nach dem Reiz und vor der Reaktion des Lernenden passiert, kann nicht beobachtet werden und demzufolge auch nicht untersucht werden. Der Behaviorismus betont eine objektivistische Sichtweise, es werden nur isolierte Reiz-Reaktionselemente betrachtet, deren Verknüpfung rein mechanistisch gesehen wird.

Maßgebliche Impulse erfuhr der Behaviorismus durch den Psychologen B. F. Skinner in den 60er Jahren. Skinner entwickelte eine Theorie des Lernens, die auf Verstärkung („reinforcement“) von erwünschtem Verhalten beruht. Die Steuerung des Lernens erfolgt dabei durch geeignete Reize und Verstärkungen. Auf einen Reiz hin wird ein bestimmtes Verhalten erzeugt. Die Reaktion auf den Reiz wird durch positive Verstärker (Lob, Belohnung) oder negative Verstärker (Tadel, Bestrafung) belohnt bzw. bestraft. Die Verstärkung gewünschter Reaktionen wird als operantes Konditionieren bezeichnet.

Im Behaviorismus nach Skinner ist die Verstärkung des Verhaltens durch Belohnung von entscheidender Bedeutung. In Abbildung 1 ist das Lernmodell des Behaviorismus schematisch dargestellt. Auf einen Reiz (Input) erfolgt eine bestimmte Reaktion (Output). Auf eine Frage erfolgt durch den Lernenden eine entsprechende Antwort. War die Antwort richtig, wird die Reaktion verstärkt, z. B. durch ein Lob, und ein neuer Reiz wird gegeben. War die Antwort falsch, erfolgt keine Verstärkung bzw. eine negative Verstärkung (Tadel) und die gleiche Frage wird als Reiz noch einmal gegeben.

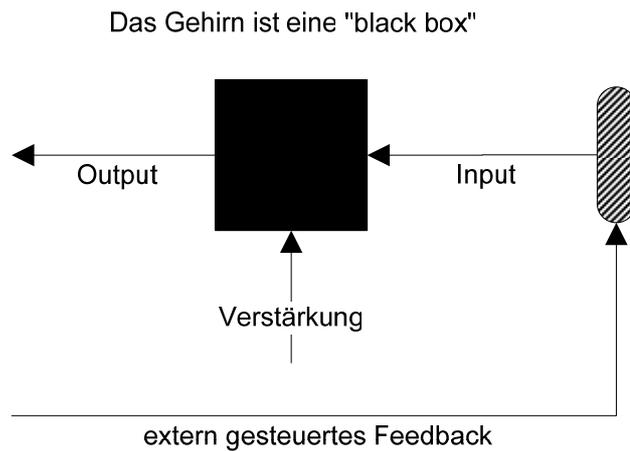


Abbildung 1: Lernmodell des Behaviorismus (schematisch) (Quelle: vgl. [Baumgartner/Payr 1994])

Skinner entwickelte basierend auf diesen Vorstellungen seinen Ansatz des „Programmierten Lernens“ („programmed instruction“). Diese Richtung wird oft auch als „Programmierte Unterweisung“ bezeichnet. Dabei werden Unterrichtsmaterialien so stark in Lerneinheiten gegliedert, dass nach jeder Lerneinheit sofortiges Feedback als Reaktion erfolgen kann („drill & practice“). Auf dieser Basis stattfindender Unterricht wird entsprechend „Programmierter Unterricht“ genannt.

Die Prinzipien des „Programmierten Lernens“ können mit Computern wesentlich konsequenter angewendet werden als in einer traditionellen Unterrichtsform. Daher diente (und dient!) der Behaviorismus als Grundlage vieler computerbasierter Trainingsprogramme (CBT-Lernprogramme) (vgl. [Baumgartner/Payr 1994]), obwohl er heute allgemein abgelehnt wird. Das einfache Reiz-Reaktions-Schema scheint für den menschlichen Lernprozess viel zu einfach strukturiert zu sein und gilt als veraltet. Die Umsetzung des Behaviorismus betont die Auffassung von Wissen als Objekt, das transferiert werden kann und vernachlässigt den Prozess des Wissenserwerbes. In Teilbereichen ist der Behaviorismus trotz aller Kritik eine angemessene Methode, um Wissen zu vermitteln. Gerade bei einfach strukturierten Lernvorgängen kann das „drill & practice“-Prinzip durchaus angebracht sein.

### 2.2.1.2 Kognitivismus

Der Kognitivismus ist historisch als Gegenstück zum Behaviorismus entstanden. Der Kognitivismus konzentriert sich gerade auf die inneren Prozesse des Denkens und Verstehens. Das menschliche Gehirn ist im Kognitivismus keine „black box“ mehr, sondern es wird versucht, ein theoretisches Modell für die im Gehirn ablaufenden Erkenntnisprozesse zu entwickeln. Aus kognitivistischer Sicht wird dem Gehirn eine eigene Verarbeitungs- und Transformationskapazität zugestanden. In Abbildung 2 ist das Modell des Kognitivismus schematisch dargestellt. Dieser Wechsel der Betrachtungsweise erschien so fundamental, dass man in den sechziger Jahren von einer „Kognitiven Wende“ in der Psychologie sprach (siehe [Edelmann 1996, 8]).

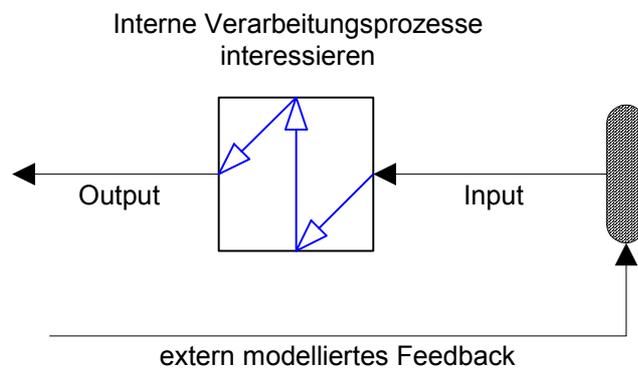


Abbildung 2: Lernmodell des Kognitivismus (schematisch) (Quelle: vgl. [Baumgartner/Payr 1994])

Ein führender Vertreter des Kognitivismus war Piaget. Für Piaget setzt Lernen stets Denken voraus. Jedes Individuum ist mit Grundstrukturen des Denkens, sog. Schemas, ausgestattet. Schemas werden weiterentwickelt, indem man sich aktiv und selbstgesteuert mit seiner Umwelt auseinandersetzt. Lernen stützt sich für Piaget auf zwei elementare Lernprozesse: Assimilation und Akkomodation. Bei der Assimilation werden neue Informationen in bestehende Schemas eingeordnet, während bei der Akkomodation Schemas auf Grund von neuen Informationen umstrukturiert werden. Der Mensch wird nicht mehr als passives Wesen gesehen, das auf äußere Reize reagiert, sondern als aktives Wesen, das sich mit Informationen auseinandersetzt, diese reflektiert und zu Konzepten verarbeitet. Es geht nicht mehr darum, auf einen Reiz die richtige Antwort zu geben (Behaviorismus), sondern Methoden und Verfahren zur Lösung von Problemen zu erlernen, die dann zur Lösung führen. „Das typische Paradigma dieses Ansatzes ist das der Problemlösung“ [Baumgartner/Payr 1994, 105].

Eine populäre Umsetzung der kognitivistischen Lerntheorie ist die Programmiersprache Logo von Papert. Mit Hilfe von Logo sollten Kinder allgemeine logische Denkstrukturen entwickeln, um sie als Schema auf andere Problemstellungen anwenden zu können.

### 2.2.1.3 Konstruktivismus

Der Konstruktivismus wurde nach dem Zweiten Weltkrieg in den USA, aufbauend auf den Arbeiten von Maturana und Varela begründet (vgl. [Maturana/Varela 1987] und [Baumgartner/Payr 1994, 107]). Der Konstruktivismus vertritt die Annahme, dass jeder Mensch die vermeintlich objektiv bestehende Realität nicht objektiv wahrnimmt, sondern individuell für sich konstruiert. Jede Erkenntnis über ein Subjekt wird als eine Konstruktion aufgefasst, die Erkennenden und Subjekt mit einschließt. Der Erwerb von Wissen wird als aktiver, konstruktiver Prozess gesehen. Nach konstruktivistischer Auffassung ist der Lernende ein aktives Wesen, das den Lerninhalt nicht passiv aufnimmt, sondern immer in Bezug auf sein Vorwissen interpretiert. Der Lernende steht zwar im Austausch mit seiner Umwelt, der Austausch findet aber nicht auf informationeller Ebene statt. „Für den Konstruktivismus ist der menschliche Organismus ein informationell geschlossenes System, welches auf zirkulärer Kausalität und Selbstreferentiellität beruht und autonom strukturdeterminiert ist“ [Baumgartner/Payr 1994, 107]. In Abbildung 3 ist eine schematische Darstellung des Konstruktivismus abgebildet.

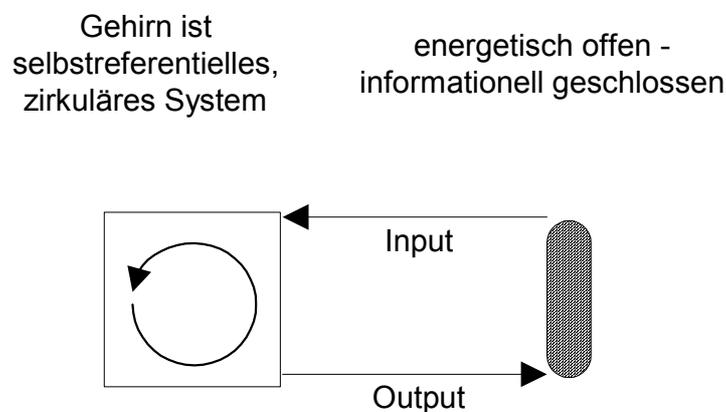


Abbildung 3: Lernmodell des Konstruktivismus (schematisch) (Quelle: vgl. [Baumgartner/Payr 1994])

Im strengen Sinne ist der Konstruktivismus keine einheitliche Position. Die oben erläuterte Auffassung wird als radikaler Konstruktivismus bezeichnet. Sie führt in letzter Konsequenz zu einem Paradox. Wenn die Realität nur von Individuen konstruiert wird und nichts außerhalb dieser Individuen real ist, dann ist auch die radikal konstruktivistische Theorie nicht real.

Lernen sollte nach dem radikalen Konstruktivismus völlig frei gestaltet werden, ohne äußeren Einfluss auf den Lernenden. Der Lernende soll explorativ alle relevanten Zusammenhänge selbst

entdecken, was im Endeffekt sehr zeitaufwändig wäre. Eine moderatere Form des Konstruktivismus erhebt nicht den Anspruch einer Erkenntnistheorie, betont aber ebenfalls die aktive Konstruktion von Wissen. Wissen kann nach dieser Auffassung ebenfalls konstruktiv erworben werden, auch wenn eine äußere Leitung an geeigneten Stellen gegeben wird.

Die aktive, konstruktive Rolle des Lernenden ist fundamental im Konstruktivismus. Lernen ist nicht mehr nur das Finden richtiger Methoden zur Problemlösung, sondern auch die Fähigkeit, Wissen in komplexen Situationen anwenden zu können. Gerade in praktischen Situationen sind Problemstellungen nicht offensichtlich, sondern müssen erst erkannt und isoliert werden. „Im Gegensatz zum Kognitivismus steht nicht das Lösen fertig präsentierter Probleme im Vordergrund, sondern das eigenständige Generieren von Problemen“ [Baumgartner/Payr 1994, 107]. Die Konsequenz aus der radikalen konstruktivistischen Auffassung ist, dass man nichts lehren kann, jedes Individuum konstruiert die Wirklichkeit subjektiv für sich selbst. Wissen kann nicht wie eine Substanz vermittelt werden, sondern muss vom Lernenden „...aktiv in seine vorhandenen mentalen Modelle und Wirklichkeitskonstrukte integriert werden“ [Issing 2002, 154].

#### *2.2.1.4 Kritische Würdigung der grundsätzlichen lerntheoretischen Positionen*

Als Fazit lässt sich festhalten, dass die pädagogische Forschung diverse Modelle des Lernens vom Behaviorismus bis zum Konstruktivismus als extreme Positionen hervorgebracht hat. Der Behaviorismus wird teilweise als überholt angesehen. Das Reiz-Reaktionsschema zur Erklärung des Lernprozesses ist sehr simpel und betont eine mechanistische Sichtweise, bei der Wissen als Objekt übertragen werden kann. Andererseits hat der Behaviorismus zur Erreichung spezifischer Lernziele durchaus seine Berechtigung (z. B. beim Maschinenschreiben oder Vokabellernen). Der Kognitivismus orientiert sich an der zentralen Leitidee der Problemlösung. Lernen wird als vielschichtiger Prozess der Informationsverarbeitung aufgefasst. Lernende setzen sich aktiv mit dem Lernstoff auseinander, Wissenserwerb wird als Resultat des Verstehens und Verarbeitens von Informationen interpretiert. Soziale Aspekte des Lernens werden dabei nicht berücksichtigt, der Kognitivismus fokussiert den individuellen Lerner. Der Konstruktivismus in seiner radikalen Form scheint ebenso wenig als allgemeine Theorie in allen Fällen praktikabel zu sein. Es erscheint nicht effektiv zu sein, Lernende ohne steuernde Instruktionen sich mit Lernstoff auseinander setzen zu lassen. Für praktische Szenarien erscheint es notwendig, eine Balance zwischen Freiheitsgraden explorierenden Lernens und eigener Wissenskonstruktion als auch didaktischer Instruktion zu finden.

In einer moderateren Auffassung des Konstruktivismus können instruktionale Hilfestellungen und Anregungen gegeben werden, um die sinnvolle Konstruktion von Wissen zu unterstützen. Ein relevanter Ansatz dafür ist das sog. situierte Lernen.

#### 2.2.1.5 *Situiertes Lernen*

Der Konstruktivismus dient als theoretische Grundlage für eine Auffassung des Lernens, die als „situiertes Lernen“ bezeichnet wird (vgl. [Mandl/Gruber/Renkl 2002]). Auf der Grundlage der konstruktivistischen Theorie des Lernens wurden bereits konkrete Ansätze zur Gestaltung von Lernumgebungen entwickelt (vgl. [Gerstenmaier/Mandl 1995]).

Kernpunkt der Überlegungen ist es, das zu vermittelnde Wissen in das bestehende Wissen des Lernenden zu integrieren. Je nach Art des Wissenserwerbs unterscheidet man zwischen trägem Wissen („inert knowledge“) und anwendbarem Wissen („useful knowledge“). Besonders das Problem des trägen Wissens wird nach [Gerstenmaier/Mandl 1995] durch konstruktivistische Lernumgebungen gemildert. Träges Wissen bezeichnet Wissen, das in Problemsituationen nicht zur Anwendung kommt, da es nicht in bestehendes Wissen integriert und damit nicht vernetzt, sondern zusammenhangslos gespeichert wird. Der Lernende kann das dargebotene Material einfach auswendig lernen, das erworbene Wissen aber in relevanten Situationen und Zusammenhängen kaum anwenden, da der notwendige Anwendungsbezug fehlt. Dagegen wird verknüpftes und in einem Kontext verstandenes Wissen leicht vom Lernenden auf eine Situation angewendet werden können.

Ein weiteres Problem bei der traditionellen Wissensvermittlung ist der mangelnde Transfer des Wissens auf neue Situationen. Bei mangelndem Transfer ist das Wissen zwar prinzipiell abrufbar, aber nur in dem Kontext, in dem es erlernt wurde. Der Transfer auf ähnliche Situationen, in denen das Wissen angewendet werden könnte, erfolgt nicht.

Zur Lösung dieser Probleme wurde von [Bransford et al. 1990] das Konzept der „Anchored Instruction“ entwickelt. Die zu vermittelnden Wissensinhalte werden in konkrete, realitätsnahe Anwendungsfälle eingebettet. Ein narrativer Anker („anchor“) ermöglicht es, den Lernenden situationsbezogen in eine Thematik einzuführen. In einer ersten Realisierung der Idee werden Schüler anhand eines 15 bis 20minütigen Films auf Bildplatte auf anregende und motivierende Weise durch die Hauptfigur „Jasper Woodbury“ in die Geschichte eingeführt. Am Ende der Episode wird den Schülern ein komplexes Problem gestellt, das sie eigenständig lösen müssen. Die Informationen zur Lösung dieses Problems sind dabei implizit in der Geschichte enthalten und von den Schülern selbst zusammenzustellen. Durch Einbettung der Aufgabe in eine Geschichte mit realistischem Problem können Schüler die relevanten Informationen extrahieren und deren Bedeutung in einem spezifischen Kontext erkennen. In einer Untersuchung konnte nachgewiesen werden, dass Schüler, die nach diesem Ansatz unterrichtet wurden, komplexe Probleme schneller lösen konnten als eine Kontrollgruppe, die sich die Inhalte in klassischen Unterrichtsformen angeeignet hatte (vgl. [Dittler 1996, 158 ff.]). Die Monographie von [Druin/Solomon 1996] enthält eine CD-ROM, die u. a. eine Video-Sequenz der Hauptfigur

„Jasper Woodbury“ enthält. Für weitere Einzelheiten zum Konzept der „Anchored Instruction“ siehe [Bransford et al. 1990].

Charakteristisch für konstruktivistische Lernumgebungen, wie z. B. nach dem „Anchored Instruction Ansatz“ gestaltete Lernumgebungen, sind nach [Gerstenmaier/Mandl 1995] die folgenden Aspekte:

- Authentizität und Situiertheit,
- multiple Kontexte,
- multiple Perspektiven,
- sozialer Kontext.

Eine authentisch gestaltete Lernumgebung versetzt den Lernenden noch während des Lernprozesses in eine komplexe, realistische Situation. Auf diese Weise wird nicht nur ein Kontext für die Anwendung des Wissens gegeben, sondern auch der Transfer des Wissens auf reale Situationen gefördert. Die Situiertheit wird durch Einbettung von Problemen in globalere Kontexte erreicht. Die Probleme und Aufgaben sind nicht sofort erkennbar, sondern müssen erst vom Lernenden extrahiert werden. Ein Beispiel für situierte Anwendungskontexte ist die Darbietung einer offenen Geschichte als narrativer Anker. Diese Möglichkeit wurde beim oben beschriebenen Ansatz der „Anchored Instruction“ gewählt. Wissen wird in der Regel in einem bestimmten Kontext erworben, in dem es angewendet werden kann. Der Kontext über die Anwendbarkeit des neu erworbenen Wissens ist ein wichtiger Bestandteil dieses Wissen. Durch die Gewährung von multiplen Kontexten sollen beim Lernenden kognitive Prozesse aktiviert werden, die eine vielfältige Verknüpfung des neuen Wissens mit bestehendem Wissen sicherstellen. Das Wissen soll nicht auf einen Kontext fixiert bleiben, sondern auch auf andere Situationen angewendet werden können. Durch multiple Perspektiven hat der Lernende die Möglichkeit, ein Problem aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Der Lernende kann verschiedene Sichtweisen erkennen, eigenständig bewerten und die für ihn relevante Perspektive auswählen. Die Einbindung der Lernumgebung in einen sozialen Kontext wird als grundlegend für konstruktivistisch gestaltete Lernumgebungen angesehen (siehe auch [Reinmann-Rothmeier 1994, 48]). Die Kooperation zwischen Lernenden oder das gemeinsame Lösen von Problemen in Arbeitsgruppen in der Lernumgebung fördert die Erkenntnis, dass Wissen auch soziales Wissen bedeutet. Soziale und kommunikative Fähigkeiten werden beim Lernen ebenfalls gefördert und teamorientiertes Lernen wird geübt.

Bezogen auf die in dieser Arbeit betrachtete Domäne OR/MS ist oft festzustellen, dass Lernende sog. träges Wissen entwickeln. Bei der späteren Konzeption des Lernsystems für OR/MS wird

daher dem Ansatz des situierten Lernens gefolgt, um den mit der Entwicklung trägen Wissens einher gehenden Problemen zu begegnen.

### 2.2.2 *Wissensarten und deren mentale Repräsentation*

Im vorliegenden Abschnitt wird zunächst eine grundlegende Charakterisierung und Abgrenzung des Wissensbegriffs geliefert (2.2.2.1). Eine Darstellung verschiedener, in der Literatur zu identifizierender Wissensarten erfolgt im Abschnitt 2.2.2.2. Modelle, die beschreiben, auf welche Arten die Repräsentation von Wissen von Menschen vorgenommen wird, werden in Abschnitt 2.2.2.3 erläutert. Die Kenntnis dieser Modelle ist erforderlich, will man den Lernprozess des Menschen durch die Gestaltung von Lernsystemen unterstützen.

#### 2.2.2.1 *Daten, Information und Wissen*

Im Folgenden wird eine klare Terminologie für Daten, Informationen und Wissen entwickelt, um die Argumentation im weiteren Verlauf der Arbeit nicht durch Missverständnisse bezüglich der verwendeten Begriffe zu trüben. Man kann [Willke 2001, 7] nur beipflichten: „Unendliche Verwirrungen entstehen alleine dadurch, dass geradezu habituell von Wissenstransfer, Wissensaustausch, Dokumentation von Wissen, gespeichertem Wissen und Wissensgenerierung die Rede ist, wenn nicht Wissen, sondern Daten gemeint sind“.

Um dieser Verwirrung Herr zu werden, wird hier im Sinne der Semiotik eine Definition der Basiseinheiten Daten und Informationen gegeben, die nachfolgend zu einer umfassenderen Auffassung von Wissen ausgebaut wird. Dabei wird ein Informationsbegriff nach dem linguistischen Verständnis zugrunde gelegt. Die Linguistik beschäftigt sich mit der Problematik der menschlichen Sprachfähigkeit. Ein Teilbereich der Linguistik ist die Semiotik (auch Semiologie genannt), die Lehre von Zeichen und Symbolen. Die Semiotik beschäftigt sich mit der Konstruktion von Zeichen bzw. Zeichenketten, deren Aufbau und Bedeutung. Die drei relevanten Dimensionen der Semiotik sind dabei Syntax, Semantik und Pragmatik.

Zeichen bzw. der Austausch von Zeichen sind als Grundbausteine der Kommunikation allgegenwärtig. Verbale Sprache, ob mündlich oder schriftlich kommuniziert, gehört genau so zur Semiotik wie die Interpretation von Bildzeichen. Besonders in der theoretischen Informatik spielt die Konstruktion von Grammatiken über Alphabeten eine wichtige Rolle. Zeichen sind die Grundbausteine, um Daten zu formulieren. Sie sind dabei im Sinne der Semiotik zu interpretieren, d. h. es kann sich dabei um beliebige Zeichensysteme handeln. Zeichensysteme umfassen alphanumerische Darstellungen als auch piktoriale Zeichensysteme.

Durch die syntaktische Strukturierung von Zeichen entstehen Daten. In [Duden 2000] werden Daten als Zahlenwerte bzw. Angaben definiert, wobei nichts über den Bezug von Daten zu

Informationen ausgesagt wird. [Heinrich/Roithmayr 1995] definiert Daten spezifischer als Zeichen oder kontinuierliche Funktionen, die aufgrund von bekannten oder unterstellten Abmachungen und vorrangig zum Zweck der Verarbeitung Informationen darstellen. Weiterhin wird ebd. festgestellt: Daten sind dargestellte Information, nicht aber selbst Information. Allgemein werden nicht interpretierte Symbole als Daten bezeichnet. Ein Datum bezeichnet ein nach einer bestimmten Syntax in Form von Symbolen kodiertes Faktum. Ein Datum wird dabei nicht interpretiert, d. h. in einen Kontext gesetzt, sondern kann in einem ersten Schritt lediglich objektiv wahrgenommen werden. Z. B. besteht das Datum „70%“ aus den grundlegenden Zeichen „7“, „0“ und „%“. Diese Zeichenfolge wird als Zahl, genauer als ein Anteil von 70% wahrgenommen.

Daten erhalten erst durch Interpretation, d. h. durch die semantische Einordnung einen Sinn, ohne Interpretation bleiben sie bedeutungslos. [Duden 2000] definiert den Begriff Information als „Auskunft, Nachricht oder Belehrung“. Im Gegensatz zu einem Datum, wird eine Information interpretiert und erhält dadurch einen handlungsvorbereitenden Charakter. Erst die semantische Einordnung des Datums in einen Kontext ergibt diese neue Qualität, man erhält eine Information. Z. B. könnte das oben angesprochene Datum „70%“ im Kontext eines Testergebnisses so interpretiert werden, dass 70% der Punkte erzielt wurden. Durch die semantische Interpretation werden die Daten mit einer Bedeutung versehen und besitzen damit für den Empfänger einen relevanten Aussagegehalt. Diese Interpretation muss je nach Betrachtungswinkel nicht unbedingt eindeutig sein. Je nachdem, ob die 70% die erzielten Punkte angeben oder den Fehleranteil, lassen sich verschiedene Schlüsse daraus ziehen. Die Interpretation von Informationen ist subjektiv.

Auf Informationen aufbauend kann letztendlich durch die Anwendung von Pragmatik Wissen generiert werden. Die Information, dass 70% der Punkte in einem Test erzielt wurden, kann mit bereits bestehendem Wissen und Erfahrungen verknüpft werden. Die Erfahrung aus früheren Klausuren könnte zu der Einschätzung führen, dass das Ergebnis zwar nicht gut, aber ausreichend ist. Insbesondere in der Semiotik wird Wissen als handlungsorientiert aufgefasst. Wissen, das nicht benutzt und angewendet werden kann, wird nach dieser Auffassung letztlich nicht als Wissen verstanden. Die Entscheidung, dass in dem Beispiel gewisse Lücken bzgl. des Prüfungstoffes noch bestehen und ausgeglichen werden sollten, basiert auf der pragmatischen Interpretation der Information und kann zur Entscheidung genutzt werden, dass eine tiefere Beschäftigung mit dem Lernstoff als Aktion notwendig ist. Wissen kann in diesem Sinne nicht losgelöst von einem Kontext betrachtet werden. Das impliziert, dass Wissen generell nicht einfach isoliert, konserviert und transportiert werden kann, wie es z. B. die Auffassung des

Behaviorismus (siehe Abschnitt 2.2.1.1) nahe legt. In Abbildung 4 ist eine Darstellung der Aufwertung von Daten zu Informationen zu Wissen dargestellt.

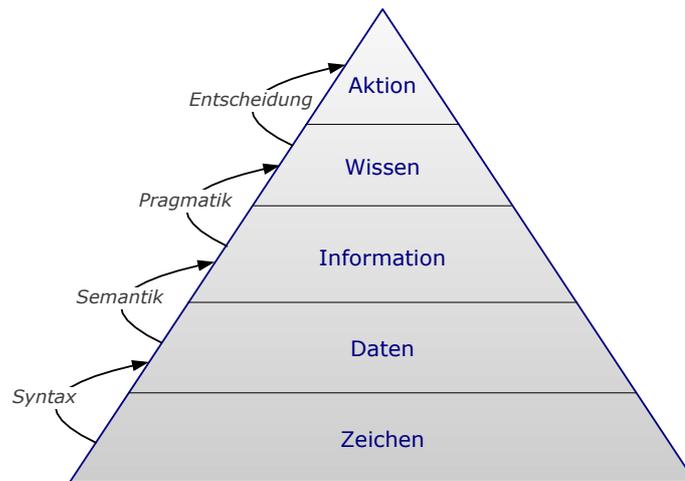


Abbildung 4: Daten, Information und Wissen (Quelle: vgl. [Aamodt/Nygård 1995])

Die oben dargestellte Auffassung von Daten, Information und Wissen ist in der Literatur nicht unumstritten. [Shannon 1948] definiert „Information“ über ein Maß an Entropie einer Nachricht. Nachrichten, die auf einem festen Zeichensatz mit bekannten Auftretenswahrscheinlichkeiten basieren, transportieren nach Shannons Theorie mehr Information, wenn seltene Zeichen, die eine geringere Wahrscheinlichkeit aufweisen, darin auftreten. Im umgekehrten Fall, treten häufige Zeichen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit auf und transportieren demnach weniger Information. Basierend auf einem binären Zeichensatz formalisierte Shannon diese Beziehung. Problematisch ist, dass das zugrunde liegende Modell mit einem kohärenten Zeichenvorrat bei Sender und Empfänger sehr einfach modelliert ist und einer menschlichen Kommunikation nicht mehr gerecht wird. In diesem Sinne ist die „... Theorie Shannons grundsätzlich eine Theorie [...], die sich nur auf der syntaktischen Ebene bewegt [...], aber keine Referenzen zur semantischen [...] und pragmatischen [...] Ebene aufweist“ [Wersig 1996, 221].

Ein Grund scheint daher zu rühren, dass die Disziplinen des Informations- bzw. Wissensmanagements noch relativ jung sind und Impulse aus sehr vielen verschiedenen Disziplinen erhalten, wie der Informatik, Mathematik, Kommunikationswissenschaften etc., die den Terminus Wissen aus verschiedenen Perspektiven definieren (vgl. [Karagiannis/Tesko 2001]). [Soukup 2001] definiert einen komplexen Wissensbegriff, indem er sich von einer „... verdinglichenden Sichtweise von Wissen löst ...“ [Soukup 2001, 198] und auf die Systeme Bewusstsein und Kommunikation als Wissensträger verweist. Wissen wird nicht als fassbare Substanz und darüber hinaus nicht nur an einen Menschen gebunden verstanden.

[Kuhlen 1999, 137] unterscheidet zwischen Daten, Informationen und Wissen und bildet diese wie oben dargestellt auf die „... drei semiotischen Ebenen der Syntax, der Semantik und der Pragmatik ...“ ab. Nach seiner Terminologie „Information ist Wissen in Aktion“, also die Teilmenge von Wissen, die von einer bestimmten Person oder einer Gruppe in einer konkreten Situationen benötigt wird, wird Information als pragmatische Anwendung von Wissen verstanden, was eher der informationswissenschaftlichen Sicht, denn der der klassischen Informatik entspricht (vgl. [Kuhlen 1999, 139]). Information ist in diesem Sinne „aktiv gewordenes Wissen“ und für [Kuhlen 1999] damit im technischen Sinne nicht streng trennbar von Wissen. Information ist nach [Kuhlen 1999] eine Teilmenge von Wissen, aus diesem Grund will er auch „keinen terminologischen Glaubenskrieg“ verfolgen, sondern durch „die pragmatische, also nicht-technische Sicht auf Informationen“ den traditionell eher statischen Wissensbegriff erweitern (vgl. [Kuhlen 1999, 144]). [Karagiannis/Tesko 2001] betonen ebenfalls den aktiven Charakter von Wissen: “Knowledge is reasoning about information and data to actively enable performance, problem-solving, decision making, learning and teaching” [Karagiannis/Tesko 2001, 309].

Für die vorliegende Arbeit wird der pragmatischen Auffassung von [Kuhlen 1999] gefolgt, die die strikte Trennung zwischen Wissen und Information teilweise aufhebt. Daraus abgeleitet werden in dieser Arbeit die Begriffe des Wissensmanagements und des Informationsmanagements synonym verwendet.

#### 2.2.2.2 *Kategorisierungsansätze von Wissensarten*

In diesem Abschnitt werden zwei grundlegende Kategorisierungsansätze von Wissensarten diskutiert, wobei der eine die Perspektive der Wissenspsychologie und der andere die des klassischen Wissensmanagements repräsentiert.

Die Wissenspsychologie unterscheidet drei Formen von Wissen (vgl. [Kerres 2001, 66 ff.]):

- deklaratives Wissen (Wissen über Sachverhalte),
- prozedurales Wissen (Wissen über Fertigkeiten),
- kontextuelles Wissen (situatives, fallbezogenes Wissen).

Dem deklarativen Wissen wird sowohl Faktenwissen als auch das Wissen über komplexere Sachverhalte zugerechnet. Das deklarative Wissen ist ein statisches Wissen, es stellt einen statischen Faktenbestand dar. Faktenwissen kann sehr einfach aufgebaut sein (z. B. „Paderborn liegt in Deutschland“), aber auch komplexere Sachverhalte darstellen (z. B. Gesetzmäßigkeiten der Physik). Deklaratives Wissen kann sprachlich leicht in Form von Aussagen verbalisiert werden. Die Aussagen werden als Proposition bezeichnet. Eine Proposition besteht dabei aus

mindestens zwei Elementen: einer Relation und einem oder mehreren Argumenten. Zur besseren Unterscheidung werden die Argumente der Proposition als Subjekt bzw. Objekt bezeichnet (vgl. [Mandl/Friedrich/Hron 1993]). Ein Beispiel ist die Proposition „Paderborn liegt in Deutschland“. „Paderborn“ als Subjekt ist mit dem Objekt „Deutschland“ durch die Relation „liegt in“ verknüpft.

Prozedurales Wissen bezeichnet Wissen, wie durch einen Handlungsablauf bzw. durch einen Prozess ein Ziel erreicht werden kann. Diese Art von Wissen dient sowohl als Grundlage für psychomotorische Fertigkeiten (z. B. Fahrradfahren) als auch für kognitive Fertigkeiten (z. B. Lösen einer Rechenaufgabe). Prozedurales Wissen wird in Handlungen zum Erreichen einer Zielsetzung angewendet. Die folgenden drei Merkmale sind charakteristisch für prozedurale Verfahrensweisen:

- „Zielgerichtetheit
- Zerlegung des Gesamtzieles in Teilziele
- Wahl und Beschreibung der für die Umsetzung der Teilziele notwendigen Operationen (Handlungen)“ [Baumgartner/Payr 1994, 22].

Prozedurales Wissen ist damit mehr als nur eine Liste von deklarativen Handlungsdirektiven. In prozeduralem Wissen drückt sich durch die Reihenfolge der Handlungsschritte und durch Abhängigkeiten zwischen diesen ein Wissen aus, das in einer kompletten deklarativen Auflistung der Schritte nicht enthalten ist. Prozedurales Wissen hat, im Gegensatz zu deklarativem Wissen, einen dynamischen Charakter. Es kann nur schwer verbalisiert werden.

Das deklarative Wissen („knowing that“) steht im Gegensatz zum prozeduralen Wissen („knowing how“). Beide Wissensformen sind dabei aber nicht isoliert, sondern interdependent zu sehen. Prozedurales Wissen greift auf deklaratives Wissen zurück. Ohne deklaratives Wissen als Grundlage kann prozedurales Wissen nicht eingesetzt werden. Obwohl dem prozeduralen Wissen (Problemlösen) ein höherer Stellenwert zugeordnet wird als dem deklarativem Faktenwissen, darf die Notwendigkeit von Faktenwissen nicht negiert werden (vgl. [Baumgartner/Payr 1994, 24]).

Neben deklarativem und prozeduralem Wissen wird in der Literatur zunehmend ein dritter Typ, das kontextuelle Wissen diskutiert. „Kontextuelles Wissen umfasst Problemlösungsstrategien für bestimmte Kontexte, also auch Standards und Einschätzungen der Angemessenheit bestimmter Prozeduren und wann und wo solches Wissen anzuwenden ist“ [Kerres 2001, 168]. Das kontextuelle Wissen versetzt einen Menschen somit in die Lage, seine gesamte Wissensbasis, deren Umfang durch deklaratives und prozedurales Wissen bestimmt wird, im konkreten

Anwendungskontext nutzbar zu machen. Es determiniert folglich die Art der Organisation und die Zugreifbarkeit der individuellen Wissensbasis in Anwendungssituationen.

Die o. a. Unterscheidung in deklaratives, prozedurales und kontextuelles Wissen ist in der Psychologie und Pädagogik geläufig. Im Wissensmanagement wird i. d. R. eine andere Perspektive auf Wissen gewählt. [Nonaka/Takeuchi 1997] unterscheiden dichotom zwischen implizitem Wissen („tacit knowledge“) und explizitem Wissen („explicit knowledge“). „Implizites Wissen ist individuell, kontextspezifisch und daher schwer zu formalisieren und zu kommunizieren“ [Staab 2002, 198]. Ein Beispiel für implizites Wissen ist die korrekte sprachliche Ausdrucksweise in der Muttersprache ohne die grammatikalischen Regeln, auf denen diese basiert, exakt zu kennen. Explizites Wissen ist bereits kodifiziert, z. B. in Form einer Handlungsanweisung oder eines Dokumentes. Die Transformationsmöglichkeiten zwischen implizitem und explizitem Wissen sind in Tabelle 1 abgebildet.

Tabelle 1: Wissenstransformation (Quelle: vgl. [Nonaka/Takeuchi 1997])

Von\Nach	Implizit	Explizit
Implizit	Sozialisierung	Externalisierung
Explizit	Internalisierung	Kombination

Die Sozialisierung erlaubt den Austausch von implizitem Wissen in Form eines kommunikativen Prozesses. Personen als Wissensträger tauschen hier Erfahrungen und ihr deklaratives, prozedurales und kontextuelles Wissen im Dialog aus, was z. B. in der Bildung eines einheitlichen oder zumindest ähnlichen mentalen Modells bei den beteiligten Personen resultieren kann. Diese Konversionsmöglichkeit ist wohl die effektivste der vier Möglichkeiten. Die Externalisierung bezeichnet den Prozess der Kodifizierung von implizitem Wissen. Bei diesem Prozess wird implizites Wissen in einem Format repräsentiert, das die Speicherung, die Weitergabe und den Austausch ermöglicht. Dazu kann z. B. das Schreiben eines Erfahrungsberichtes in Form eines Dokumentes oder die Darstellung eines Sachverhaltes als Lernmaterial in textueller oder grafischer Form gezählt werden. Häufig werden hier Analogien, Metaphern etc. verwendet, um möglichst viele Hilfestellungen für die eigenen Reflexionen während der Internalisierung des repräsentierten Wissens zu geben. Internalisierung bezeichnet den Prozess, den ein Lernender durchläuft, der den oben angesprochenen Erfahrungsbericht in seine Strukturen übernimmt. Explizites Wissen wird mit dem individuellen Vorwissen verknüpft und im Idealfall internalisiert. Bei der Kombination werden explizit vorliegende Informationsbestände neu kategorisiert, eingeordnet und über Schlussfolgerungen neue Erkenntnisse gezogen.

Die beschriebenen Kategorisierungsansätze schließen sich nicht gegenseitig aus, lediglich der Fokus ist verlagert (vgl. dazu auch [Amelingmeyer 2002, 45 f.]. Deklaratives Wissen ist oft explizit, gerade bei objektivem Wissen wie z. B. in der Mathematik. Prozedurales und kontextuelles Wissen dagegen weisen oft implizite Wissensmerkmale auf, sie sind schwer zu kommunizieren. Dieses zeigt sich z. B. beim Problem des trägen Wissens, das nicht auf praktische Anwendungen übertragen werden kann (siehe 2.2.1.5).

### 2.2.2.3 *Kodierungsprozess zur internen, mentalen Repräsentation von Wissen*

Wenn man den Prozess des Lernens betrachtet, kann man intuitiv erkennen, dass Lernen in einem engen Zusammenhang zu Wissen steht. Neben den eher theoretisch ausgeprägten Unterscheidungen zwischen Daten, Informationen und Wissen, die weiter oben geschildert wurden, kann Wissen als Ziel und Ergebnis von Lernen verstanden werden. Wissen darf dabei aber nicht als statischer, feststehender Bestand betrachtet werden, sondern vielmehr als „... komplexes, vernetztes und dynamisches System ...“ [Baumgartner/Payr 1994, 19]. Die Struktur dieses Systems liefert wichtige Hinweise für die effiziente Gestaltung von Lernprozessen und dient damit auch als Grundlage für die Gestaltung computergestützter Lernsysteme.

Die interne, mentale Repräsentation der vermittelten Informationen wird durch den Prozess der Kodierung geformt. „Kodierung bedeutet jede Art von Bearbeitung des Materials während des Lernens.“ [Edelmann 1996, 6]. Die tatsächliche Form der Kodierung ist bis heute nicht geklärt. In der Literatur werden verschiedene Modelle als Erklärungsansätze dargestellt. Vor allem die interne Darstellungsform von Informationen ist heftig umstritten. Denkbare Alternativen sind visuelle, sprachliche und akustische Kodierungsformen bzw. eine Mischform daraus. Im Folgenden werden vier Ansätze zur Kodierung von Informationen dargestellt: Propositionale Netzwerke, Dual Coding, Mentale Modelle und SOI Modell.

#### *Propositionale Netzwerke*

Die oben erwähnten Propositionen, als Aussagen zur Darstellung deklarativen Wissens, lassen sich grafisch als Netzwerk darstellen (siehe Abbildung 5), wobei neue Fakten in bestehende Netzwerke eingebunden werden können. Man geht davon aus, dass deklaratives Wissen in Form eines semantischen Netzwerkes repräsentiert wird. „Die Kognitionspsychologie stellt sich heute diese Art von Wissen [deklaratives, Anm. d. A.] als eine Struktur von Knoten vor, die durch Verbindungen in bestimmten Relationen zueinander stehen“ [Baumgartner/Payr 1994, 21]. Durch Organisationsprozesse wird neues Wissen in bestehende Netze integriert. Der Lernende „verankert“ neues Wissen in bestehende Strukturen (Assimilation) (vgl. [Edelmann 1996, 6]). Semantisch zusammenhängende Begriffe formen so größere Wissensbasen. Wichtig ist, dass Propositionen auf der internen Ebene nicht konkrete sprachliche Begriffe, sondern kognitive

Sachverhalte darstellen. Es hat bereits eine kognitive Verarbeitung des Wissens durch den Lernenden stattgefunden. Die externen Präsentationen, z. B. in Form von Sprache oder Bildern, wurden entsprechend ihrem Bedeutungsgehalt in eine interne abstrakte Form transformiert. Je nach Verarbeitungstiefe der Bearbeitung kann das neue Wissen mit vorhandenen Strukturen vielfältig oder nur einzeln verbunden sein. Anzustreben für den Lernenden ist eine hohe Verarbeitungstiefe der Information und damit viele Querbezüge zu vorhandenem Wissen, da der Abruf von Wissen (Dekodierung) eng mit der Aneignung verbunden ist.

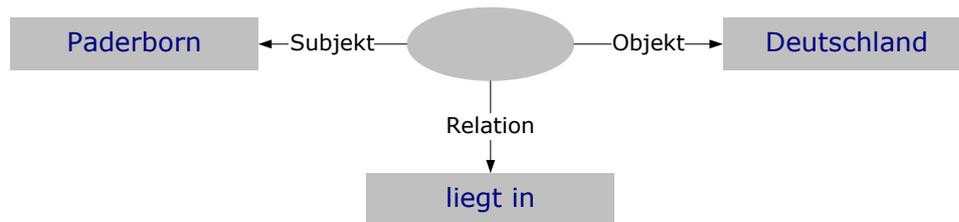


Abbildung 5: Netzwerkdarstellung einer Proposition (Quelle: Eigene Darstellung)

Ein Ansatz zur Modellierung prozeduralen Wissens ist die Vorstellung von Regelwerken in Form von Produktionssystemen. Prozedurales Wissen wird im Rahmen dieser Vorstellung durch eine Reihe aufeinander folgender Produktionsregeln dargestellt, die man als Produktionssystem bezeichnet. Eine Produktionsregel besteht aus einem Bedingungsteil sowie einem Aktionsteil. Die Bedingungen von Produktionen basieren auf den im Gedächtnis aktivierten Propositionen eines semantischen Netzwerkes. Ist die Bedingung einer Produktionsregel erfüllt, wird die entsprechende Aktion eingeleitet und evtl. werden andere Propositionen aktiviert. Dadurch können die Bedingungsteile weiterer Produktionsregeln erfüllt werden, die entsprechend weitere Aktionen einleiten.

### *Dual Coding*

Der im vorhergehenden Absatz erläuterte Ansatz geht davon aus, dass Wissen in abstrakter propositionaler Form kodiert wird und Wissenserwerb damit auf sprachlichem Lernen basiert. Eine alternative Vorstellung der Kodierung von Informationen liegt der „dual coding theory“ zugrunde. Diese Theorie wurde von dem kanadischen Psychologen Paivio vorgeschlagen. Ihr Kernstück ist die Annahme, dass zwei funktionell unabhängige, aber verbundene kognitive Systeme existieren. Im verbalen System werden sprachliche Informationen kodiert, während im imaginalen System bildhafte Informationen kodiert werden. Welches System bei der Informationsverarbeitung und Informationskodierung jeweils primär aktiviert wird, hängt von der Art der Information ab. Sprachliche Aussagen oder Texte werden durch das verbale System, Bilder durch das imaginale System kodiert. Die Repräsentationsformen „propositional“ und „bildlich“ werden in der Literatur auch als „aussagenartig“ und „analog“ bezeichnet (vgl. [Edelmann 1996, 221]). Informationen werden nach der Theorie der dualen Kodierung nicht nur

isoliert in einem System kodiert, sondern auch simultan in beiden Systemen. Vor allem bei konkreten Begriffen und konkreten Bildern (z. B. „Hund“) tritt nach Paivio eine Doppelkodierung auf. Dadurch erklärt Paivio auch das Phänomen, dass konkrete Begriffe besser erinnert werden können als abstrakte, wie z. B. „Treue“ oder „Gerechtigkeit“. Die doppelte Kodierung fördere die Behaltensleistung über assoziative Verknüpfungen zwischen aussagenartiger und analoger Repräsentation. Diese Theorie ist nicht unumstritten. Für eine kritische Betrachtung der Theorie von Paivio siehe z. B. [Bock 1983].

### *Mentale Modelle*

Der Begriff des mentalen Modells ist bis heute recht unklar. Modelle sind vereinfachte und reduzierte Bilder der Realität. Unter mentalen Modellen werden Vorstellungsbilder zusammengefasst, die das Verständnis von einem Sachverhalt prägen, „... mit deren Hilfe wir planen und entscheiden, vorausschauen und erklären, kurz: mit deren Hilfe wir denken“ [Hasebrook 1995, 124]. Mentale Modelle stehen zu Ausschnitten der Realität in einer analogen Beziehung. [Hasebrook 1995, 124] nennt beispielsweise die Analogie eines stromführenden Kabels zu einem Wasserschlauch, die einige Aspekte verständlich macht (z. B. Spannung und Widerstand), andere jedoch nicht analog abbildet (z. B. die Unterbrechung des elektrischen Leiters). Das mentale Modell ist in diesem Fall nicht adäquat. Ein besseres mentales Modell für elektrische Leiter ist die Analogie zu einer Herde Schafe in einer Rohrleitung. Bei enger Leitung (hoher Widerstand) gibt es „größeres Gedränge“ (hohe Spannung); bei großem Rohrdurchschnitt „weniger Gedränge“; ist die Leitung unterbrochen, bleiben die Schafe einfach stehen. Die zweite Analogie der Schafherde beschreibt die Eigenschaften eines elektrischen Leiters besser als die des Wasserschlauches. Ein Experte in einer Wissensdomäne hat in der Regel ein sehr differenziertes mentales Modell zu einem Zusammenhang aufgebaut, während Novizen eher über ein unvollständiges oder unzutreffendes mentales Modell verfügen (vgl. [Weidenmann 1993, 39]). Ein Novize verfeinert und erweitert sein mentales Modell über ein System und dessen Zusammenhänge im Laufe des Lernprozesses; durch Ausarbeitung und Modifikation wird das mentale Modell elaboriert, bis es das System adäquat darstellt. Ein elaboriertes mentales Modell erlaubt Prognosen, wie sich Änderungen an Teilen eines Systems auf andere Systembereiche auswirken.

Mentale Modelle dienen als Ausweg aus dem ungelösten Dilemma der getrennten oder gemeinsamen Verarbeitung von sprachlichen und bildlichen Informationen. Sie sollen eine Verbindung zwischen den vermuteten zwei getrennten Informationsverarbeitungssystemen (verbal, imaginal) schaffen. Der exakte Bedeutungsgehalt ist umstritten, insbesondere auch die mentale Repräsentationsform. Die Vorstellungen über die Repräsentation von mentalen Modellen variieren zwischen vollständig analog, vollständig propositional oder auch einer gemischten Form. [Weidenmann 1993] vermutet eine strukturelle Ähnlichkeit zwischen der Bildhaftigkeit

mentaler Modelle zu Bildern. Er differenziert zwischen internen, mentalen Vorstellungsbildern („image“) und Bildern im Sinne von sichtbaren grafischen Objekten („picture“). Der deutsche Begriff „Bild“ ist für die Unterscheidung zwischen „image“ und „picture“ nicht sensibel. Relativ wahrscheinlich scheint jedoch eine Mischform der Repräsentation, die sowohl propositionale als auch analoge Anteile enthält.

Eine Reihe von Untersuchungen (vgl. [Hasebrook 1995, 129 ff.]) zum Textverstehen, insbesondere im Zusammenhang mit der Bildung von räumlichen, mentalen Modellen, führten zu dem Schluss, dass bei zweideutigen Beschreibungen und niedrigem Verständnisniveau nur eine propositionale Speicherung der Textbasis erfolgt. Die Versuchspersonen konnten den Text durchaus wiedergeben, aber keine weiterführenden Schlussfolgerungen daraus ziehen bzw. den Text nicht in eine Zeichnung umsetzen. Die Bildung eines korrekten Situationsmodells ist notwendig, um Schlussfolgerungen ziehen zu können. Ein Situationsmodell stellt ein mentales Modell dar, in dem alle verwendeten Informationen integriert werden. Ähnliche Effekte lassen sich auch beim Verstehen von Bildern beobachten. Anfänger in einem Gebiet bilden oft mentale Modelle als bildhafte Vorstellung, die nur auf den Oberflächenmerkmalen von Realitätsausschnitten gründen und kausale und strukturelle Merkmale vernachlässigen. Experten verfügen dagegen über mentale Modelle, die sowohl oberflächenorientiert sind als auch imaginationsfähige Strukturen und Kausalzusammenhänge berücksichtigen. Tiefergehende mentale Modelle werden von [Weidenmann 1993] als „deep-level“-Repräsentationen bezeichnet. Die Qualität eines entwickelten mentalen Modells kann nach [Weidenmann 1993] durch die Gestaltung des Unterrichts gefördert werden. Ausgehend von einer hohen Oberflächentreue der Darstellung, sollte diese schrittweise reduziert und die „Strukturtreue“ erhöht werden. Dadurch wird die Verstehensleistung eines Lernenden erhöht, da er schrittweise sein mentales Modell verfeinern und um strukturelle Komponenten erweitern kann.

[Hasebrook 1995] nimmt an, dass mentale Modelle sowohl analoge als auch propositionale Elemente besitzen. „In diesem Sinne kann man sich mentale Modelle als eigene, integrierte Wissensdarstellungen vorstellen, die jedoch bei Bedarf um propositionale oder analoge Informationsanteile ergänzt werden“ [Hasebrook 1995, 146]. Aufbauend auf dieser Annahme entwickelt er ein Rahmenmodell zum Verständnis der Informationsverarbeitung, in dem mentale Modelle eine wichtige Rolle spielen. „Ein mentales Modell ist nach dieser Auffassung eine eigenständige, neben sprachlichen und analogen Repräsentationen bestehende Repräsentationsform, die zwischen den Inhalten propositionaler und analoger Wissensrepräsentation vermitteln kann“ [Hasebrook 1995, 144].

Wendet man das Rahmenmodell auf Lernprozesse an, so kann man daraus ableiten, dass der Einsatz mehrerer Medien die Bildung von konsistenten mentalen Modellen beim Lernenden

fördern kann. Der Einsatz der Medien kann aber nur dann erfolgreich sein, wenn sie sich widerspruchsfrei zu einem konsistenten Gesamtbild ergänzen. Diese Hypothese wird durch das SOI Modell von [Mayer 1999] gestützt.

### SOI Modell

Der Name SOI setzt sich aus den kognitiven Operationen Selektion, Organisation und Integration von Informationseinheiten im Lernkontext zusammen. Dem SOI Modell liegt die Annahme zugrunde, dass sowohl verbale als auch auditive Informationen zuerst in getrennten Arbeitsgedächtnissen verarbeitet werden. Deren Kapazität ist beschränkt, dadurch müssen relevante Informationen zuerst selektiert und dann durch Organisation in ein kohärentes mentales Modell überführt werden, bevor sie in das Langzeitgedächtnis unter Bezug auf vorhandenes Vorwissen integriert werden können. Die folgende Abbildung 6 stellt den beschriebenen Sachverhalt grafisch dar.

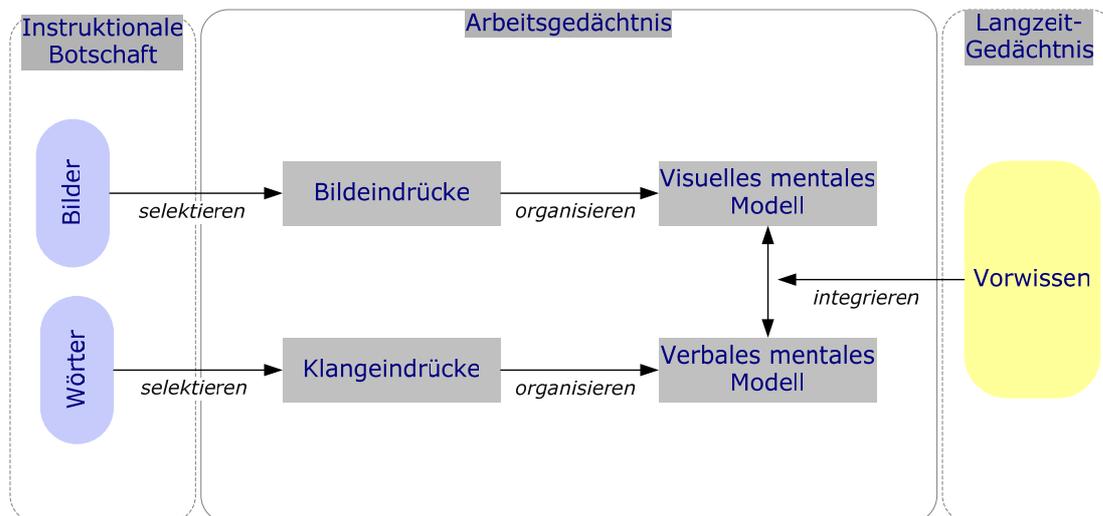


Abbildung 6: Kognitives Modell zum multimedialen Lernen (Quelle: vgl. [Mayer 1999])

Die vorgestellten Modelle lassen wichtige Rückschlüsse darüber zu, wie der Lernprozess und damit die dynamische Modifikation und Erweiterung der menschlichen Wissensbasis zu verstehen ist. Grundlegende Kenntnisse dieser Abläufe sind unabdingbar, wenn man den Lernprozess mit Hilfe von Informationstechnologie in geeigneter Weise unterstützen will. Betrachtet man z. B. das zuletzt vorgestellte SOI Modell, so lassen sich hieraus direkte Rückschlüsse auf den Einsatz verschiedenartiger Medien ziehen. Die Kenntnis der vorgenannten Modelle wird bei der späteren Gestaltung des Lernsystems für OR/MS Berücksichtigung finden.

## 2.3 E-Learning – Prozesse, Objekte, Systeme

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt die lernpsychologischen Grundlagen erörtert wurden, die für das Verständnis des Problemfelds von großer Relevanz sind, wird im Rahmen der folgen-

den Ausführungen nun das eigentliche Problemfeld der vorliegenden Arbeit herausgearbeitet. Dabei erfolgt im Abschnitt 2.3.1 zunächst eine Schärfung des Begriffs E-Learning, wobei grundlegend dem Verständnis von E-Learning als Lernprozess gefolgt wird. Im Abschnitt 2.3.2 werden dann Medien und Konzepte zu deren Kombination und Verknüpfung skizziert. Die Beschreibung und systematische Einordnung hypermedialer Lernsysteme, die die vorgenannten Konzepte aufgreifen, sind Inhalt des Abschnitts 2.3.3. Die bisherigen Abschnitte heben auf die Art der Wissensvermittlung im Rahmen eines computergestützten Lernprozesses ab. Die Ausführungen der weiteren Abschnitte beschäftigen sich nun mit der Aufbereitung der Inhalte, die innerhalb dieses Lernprozesses vermittelt werden sollen. Abschnitt 2.3.4 widmet sich der Formulierung von Lernobjekten, die die Kernelemente der Wissensbasis darstellen, die durch den Einsatz von hypermedialen Lernsystemen zugänglich gemacht werden sollen. Die Möglichkeit zum gezielten und effizienten Arrangement von E-Learning Angeboten erfordert eine adäquate Systematisierung und Strukturierung der Lernobjekte. Ansätze für derartige ordnende Strukturen für Lernobjekte sind Gegenstand des Abschnitts 2.3.5. Die Abgrenzung des Problemfelds wird im Abschnitt 2.3.6 resümiert.

### *2.3.1 Verständnis von E-Learning als Lernprozess*

Die vielfältigen Versionen der Schreibweise des Begriffs „E-Learning“ (auch „eLearning“, „e-Learning“ etc.) spiegeln bereits die Unsicherheit im Umgang mit diesem Begriff in der Literatur wider. Die Vielfalt der teilweise synonym verwendeten Bezeichnungen für den Bereich des computerunterstützten Lernen und Lehrens ist auf den ersten Blick noch verwirrender. Die Spannbreite reicht von CAI („computer aided instruction“, „computer assisted instruction“) über CAL („computer aided learning“, „computer assisted learning“), CBT („computer based training“) bis zu CUL („computerunterstütztes Lernen“). In der Literatur Anfang der 90er Jahre wurden je nachdem, ob die Betonung auf Lernen oder Lehren steht, Substantive wie „Learning“, „Training“ oder „Instruction“ durch die Adjektive „Computer Based“ bzw. „Computer Assisted“ oder „Computer Aided“ ergänzt (vgl. [Fickert 1992, 34]). Diese Bezeichnungen wurden teilweise ins Deutsche übertragen, wodurch Bezeichnungen wie „computerunterstützter Unterricht“ (CUU) oder „computerbasiertes Lernen“ (CBL) entstanden. Für [Fickert 1992, 35] können die Begriffe CAI, CAL, CBL, CBT, etc. „... im wesentlichen gleichbedeutend nebeneinander verwendet werden“. Auch [Bodendorf 1990, 37] erscheint es „... nicht sinnvoll, hier Bedeutungsunterschiede herauszuarbeiten oder gar definieren zu wollen.“

E-Learning hat sich als Sammelbegriff etabliert (vgl. [Baumgartner/Häfele 2002]). [Dichanz/Ernst 2001, 4 ff.] unterscheiden zwischen einer „technologisch-organisatorischen“ und einer „etymologisch-psychologischen“ Interpretation des Verständnisses von E-Learning. Technologisch-organisatorisch bezeichnet E-Learning Lernangebote, die auf elektronischem

Wege (Online oder CD-ROM) distribuiert werden und unabhängig von Zeit und Ort verfügbar sind. Die etymologisch-psychologische Interpretation geht vom Begriff selbst aus, aus dieser Sicht sind Deutungen wie „elaborated learning“, „electronic learning“ etc. möglich. [Dichanz/Ernst 2001, 7] plädieren dafür, den Begriff ES-Learning („electronically supported learning“) an Stelle von E-Learning zu verwenden, um Lernprozesse zu bezeichnen, die mit Hilfe elektronischer Medien gestaltet sind. [Reinmann-Rothmeier 2002, 6] definiert pragmatisch „E-Learning heisst zunächst einmal nichts anderes als «electronic learning», also ein Lernen mit neuen Medien.“ Neue Medien sind dabei durch Multimedialität, Interaktivität und Vernetzung gekennzeichnet (siehe dazu auch 2.3.3.1). Diese Definition ist immer noch vage, beinhaltet aber essentielle Bestandteile von E-Learning: Multimediale Medien, die die Möglichkeit zur Interaktion bieten und durch vernetzte Kommunikationsformen losgelöst von Orts- und Zeitrestriktionen in einem Lernprozess eingesetzt werden.

„Distributed learning“ beschränkt sich nicht auf die Unterscheidungsmerkmale web basiert bzw. online oder offline, sondern berücksichtigt die verteilte Natur des Lernens. Zur weiteren Ausdifferenzierung von E-Learning werden Bezüge auf die Medialität des Lernens mit vermerkt, wie z. B. „web based learning“, die den Distributionskanal mit einbeziehen. Allerdings kann diese Art von Lernen auch ausschließlich mit traditionellen Medien stattfinden. Modebegriffe wie „web based learning“ bezeichnen letztendlich doch eher die Medialität (siehe 2.3.2.1) des Lernens, denn eine wirklich neue Qualität. Ob der Lernprozess nun web basiert oder von einer CD gespeist erfolgt, spielt keine Rolle für die Differenzierung vom traditionellen Lernprozess. So verführerisch die Klassifizierung nach technologischen Merkmalen auch sein mag, für den Lernenden ändert sich an der Art und Weise des Lernens wenig.

Für die vorliegende Arbeit wird der Begriff E-Learning zur Bezeichnung eines Lernprozesses verwendet, der durch die Unterstützung mit multimedialen, interaktiven Bestandteilen, und die mögliche Asynchronität von Ort und Zeit gekennzeichnet ist.

### *2.3.2 Medien und Konzepte zu deren Kombination und Verknüpfung*

Wie aus der obigen Definition für E-Learning hervorgeht, spielen Medien bei der Gestaltung des E-Learning Prozesses eine wesentliche Rolle. Der Abschnitt 2.3.2.1 beschreibt Medien und deren Funktionen im Lernprozess. Die Präsentationsform Multimedia (2.3.2.2) besitzt im Kontext der vorliegenden Arbeit ebenso eine besondere Bedeutung wie das Hypertextkonzept zur nicht-linearen Präsentation textueller Informationen (2.3.2.3). Eine Integration von Multimedia und Hypertext wird im Hypermediakonzept realisiert, das im Abschnitt 2.3.2.4 erläutert wird.

### 2.3.2.1 *Medien und deren Funktionen im Lernprozess*

[Kerres 2001] führt treffend aus: „Lehren ist zwar ohne Hilfsmittel, aber nicht ohne Medien möglich“ [Kerres 2001, 19]. Medien dienen damit als Vermittlungshilfe während des Lernprozesses. Traditionelle Medien sind z. B. Texte, Grafiken, Bilder etc., die in der Regel in gedruckter Form papierbasiert zugänglich sind. Der Begriff Medium beinhaltet eine Doppeldeutigkeit: Er kann erstens das Medium an sich, d. h. den Träger der Information bezeichnen, als auch zweitens inhaltlich die medial zwischen Sender und Empfänger aufbereitete Information (vgl. [Kerres 2001, 19]). Da im Kontext dieser Arbeit insbesondere digital verfügbare Medien (sog. neue Medien) relevant sind, erfolgt an dieser Stelle keine detaillierte Betrachtung traditioneller Medien. Aus dem gleichen Grund wird auf eine Betrachtung der Unterschiede zwischen traditionellen und neuen Medien verzichtet.

Nach [Kerres 2001, 94] hat das Medium drei Funktionen im Lehr-Lernprozess, auf die im Folgenden näher eingegangen wird:

1. Wissens(re)präsentation: Darstellung und Organisation von Wissen
2. Wissensvermittlung: Steuerung und Regelung des Lernprozesses
3. Wissenswerkzeug: Konstruktion und Kommunikation von Wissen

Die Hauptaufgabe eines Mediums liegt in der Wissenspräsentation bzw. Wissensrepräsentation. Durch eine symbolische Kodierung in Form von Text, Grafik, Video etc. wird ein mediales Abbild eines Gegenstands oder Konzepts der Realität angefertigt. Der Abstraktionsgrad des Mediums variiert dabei je nach Form des Mediums. [Kerres 2001] unterscheidet zwischen der realen Form (ein unmittelbarer Ausschnitt der Realität), der modellhaften Form (Nachbildung der Realität, z. B. in Form eines Modells), der bildhaften Form (Abbilder, schematisierte Darstellungen) und der symbolischen Form (Abstraktion von der Realität, z. B. in sprachlicher, textueller Form).

Die Wissensvermittlung ist eine weitere Aufgabe eines Mediums. Es ist besonders im Zusammenhang mit multimedialem Lernen interessant, sich mit der Wissensvermittlung anhand von Bildern aus psychologischer Sicht zu beschäftigen. Bilder werden in Lehr-/Lernsituationen eingesetzt, um bildhaft kodierte Informationen zu vermitteln. Die Intention des Bildautors ist es, dass der Rezipient die kodierte Botschaft möglichst eindeutig und vollständig erfasst. Diese Art von Bildern soll als „informierende Bilder“ bezeichnet werden (vgl. [Weidenmann 1993]). Stellt der Bildinhalt ein real zu beobachtendes Objekt dar, spricht man von „Abbildern“. Ist der Inhalt in der Realität nicht zu beobachten, wie z. B. bei der Visualisierung zwischen qualitativen und quantitativen Merkmalen eines Sachverhalts, spricht man von „logischen Bildern“ (vgl. [Schnotz 1993, 66]). Im Englischen ist die Unterscheidung zwischen Bild und Abbild deutlicher; dort wird

zwischen „picture“ für Bild und „image“ für Abbild unterschieden (vgl. [Sottong/Müller 1998, 65 ff.]).

Informierende Bilder übermitteln einen Inhalt als „visuelles Argument“ (vgl. [Weidenmann 1993, 12]). Dabei sind verschiedene Kodierungen für ein visuelles Argument denkbar, die die gleiche Funktionalität besitzen. Verschiedene Formen können das Argument angemessen visualisieren und optimal auf den Rezipienten abgestimmt sein. [Weidenmann 1993] unterscheidet zwischen Darstellungs- und Steuerungscode. Darstellungscode sind bildgestalterische Möglichkeiten zur angemessenen Visualisierung eines Arguments; Steuerungscode dienen dazu, die Extraktion des Arguments durch den Rezipienten zu lenken. Typische Darstellungscode für Abbilder sind Kontur, Schattierung, Farbgebung und Perspektiven. Ein Abbild muss nicht immer realistisch wie eine Fotografie aufgebaut sein: Proportionen werden nicht eingehalten, Kontraste sind übertrieben oder Bildelemente werden farblich hervorgehoben. Die Darstellungscode werden variiert, um didaktisch wichtige Argumente im Bildkontext zu akzentuieren. In diesem Fall spricht man von „impliziten Steuerungscode“, die die Beobachtung des Rezipienten auf wichtige Bildelemente lenken. Werden zur Steuerung zusätzliche grafische Hinweiszeichen eingesetzt, werden diese „explizite Steuerungscode“ genannt. Der Einsatz von Bildern ist förderlich für die Bildung von mentalen Modellen, die im Abschnitt 2.2.2.3 erläutert wurden. Besonders bildliche Analogien können dazu einen wertvollen Beitrag leisten (vgl. [Issing 1993, 152]).

Schließlich können Medien als Werkzeuge zur „Erarbeitung, Sammlung, Aufbereitung und Kommunikation von Wissen“ aufgefasst werden (vgl. [Kerres 2001, 97]). In diesem Sinne spielt die Präsentationsform Multimedia eine besondere Rolle.

#### 2.3.2.2 *Präsentationsform Multimedia*

In der Literatur wird Multimedia häufig ausschließlich als Kombination verschiedener Medien definiert (Beispiele liefert [Schulmeister 1997, 19 ff.]). Multimedia ist demnach nicht mehr als eine Zusammenstellung und Integration von Text, Grafik, Pixelbildern, Video und Ton. Andere Autoren unterscheiden noch zwischen statischen Medien (Grafik, Text) und dynamischen Medien (Video, Audio), die einen Zeitbezug haben.

[Steinmetz/Rückert/Racke 1990] kommen für ein multimediales System zu der Definition: Ein Multimediasystem ist durch die rechnergesteuerte integrierte Verarbeitung, Speicherung, Darstellung, Kommunikation, Erzeugung und Manipulation von unabhängigen Informationen mehrerer zeitabhängiger und zeitunabhängiger Medien gekennzeichnet. In dieser Definition wird die Unabhängigkeit zwischen verschiedenen Informationsdarstellungen und der Integration mehrerer Medien in ein System betont, wobei die Integration nur rechnergestützt realisiert werden kann. Weiterhin wird verlangt, dass wenigstens ein zeitabhängiges Medium auftritt. Der

Computer als vermittelndes und steuerndes Element zwischen verschiedenen Medien scheint ein zentrales Element von Multimedia zu sein. Die Forderung nach mindestens einem zeitabhängigen Medium grenzt dabei die Kombination von Text und Grafik, die z. B. auch in Textverarbeitungen möglich ist, von multimedialen Anwendungen ab. Die technische Seite von Multimedia wird in dieser Definition treffend charakterisiert. Aus psychologischer und didaktischer Sicht ist sie aber noch ungenau und inkonsistent, da sie die notwendige Unterscheidung zwischen Medium und Symbolsystem vernachlässigt.

Dies kritisiert auch [Weidenmann 2002], indem er herausstellt, dass Multimedia nur aus der technischen Sicht betrachtet und dabei der „kommunikative Inhalt“ nicht einbezogen wird. Er differenziert zwischen „Medien“ und einem „medialen Angebot“ (vgl. [Weidenmann 2002, 46 f.]). Medien sind für ihn Objekte, technische Geräte oder Konfigurationen, mit denen sich Botschaften speichern und kommunizieren lassen. Mediale Angebote sind Medien, die um eine inhaltliche Botschaft erweitert sind. In medialen Angeboten werden strukturierte, absichtsvoll kodierte Botschaften in Medien abgelegt, die ein Lernender rezipieren soll.

Die Kodierung der Botschaft kann in mehreren Formen (Symbolsystemen) erfolgen. In der westlichen Kultur werden das verbale System (Sprache, Text), das piktoriale System (Grafik) und das Zahlensystem verwendet. Die Botschaft kann jetzt monocodal oder multicodal kodiert sein. Wird eine Botschaft in mehreren Codes dargestellt, z. B. durch eine Grafik mit erläuterndem Text, so wird die Kodierung als multicodal bezeichnet. Ein Beispiel für eine monocodale Botschaft ist ein isolierter Text bzw. auch ein gesprochener Kommentar. Die Dimension der Multicodalität bezeichnet einen Aspekt von Multimedia, der aus rein technischer Sicht irrelevant ist, in Bezug auf das Lernen mit einem multimedialen Angebot aber doch eine große Bedeutung hat. Als letzte Dimension fügt [Weidenmann 2002] die Multimodalität zu Multimedia hinzu.

Der Begriff Multimodalität bezeichnet die Informationsaufnahme über mehrere Sinne. Ein Beispiel dafür ist das Rezipieren eines Videofilms mit gesprochenem Kommentar, bei dem sowohl visuelle als auch auditive Sinne parallel angesprochen werden. Eine Buchseite mit Text und Abbildung spricht nur die visuellen Sinne an und wird deshalb als monomodal charakterisiert. Die oben angeführte technische Definition von Multimedia als Integration von Text, Grafik, Video und Ton ist in dieser Sichtweise inkonsistent und unsystematisch. Sie benutzt simultan die Kategorien Kodierung, d. h. das Symbolsystem mit Text und Grafik, Medium (Video-Technologie) und Modalität (Ton).

Eine Definition von Multimedia aus psychologischer Sicht könnte wie folgt lauten: Multimedia ist eine Präsentationsform von Informationen, die multicodal und/oder multimodal aufgebaut ist

und erst durch die computergestützte Integration möglich wird. Diese Definition ist für die Zwecke dieser Arbeit ausreichend differenziert und wird im Folgenden verwendet.

### 2.3.2.3 *Hypertext zur nicht-linearen Präsentation textueller Informationen*

Die Idee, Informationen nicht-linear miteinander zu verknüpfen, ist bereits recht alt und geht auf Arbeiten von Vannevar Bush zurück. [Bush 1945] stellt in einem Artikel seine Vision einer verknüpften Sammlung von Dokumenten im Memex System dar, die sich aber aus technischen Gründen zur damaligen Zeit nicht realisieren ließ. Das Ziel bestand darin, Texte mehrfach zu verknüpfen, damit ihre Linearität aufzubrechen und Informationen auf unterschiedlichen eigenen Pfaden erschließen zu können. Ein weiterer Pionier, Ted Nelson, prägte den Begriff „Hypertext“ für das Hypertextsystem Xanadu. Xanadu hat das Ziel, sämtliche Literatur der Welt auf einer Client-Server Konzeption zu vernetzen, was bis heute nicht realisiert worden ist. Für weitere geschichtliche Einzelheiten siehe [Kuhlen 1991], [Nielsen 1995] und [Schulmeister 1997]. Eine exzellente Übersicht über Hypertext und insbesondere über historische Hypertextsysteme liefert [Rada 1991].

Das Konzept von Hypertext ist relativ einfach. Der Grundgedanke von Hypertext besteht darin, Texte untereinander nicht-linear zu verknüpfen. Die Verknüpfung ermöglicht es dem Benutzer, zusätzliche Informationen einzusehen, indem er die Verknüpfung benutzt (ähnlich dem Nachschlagen von Querverweisen zu einem Begriff in einem Lexikon). Die verknüpften Informationsteile werden als Knoten („node“) bezeichnet, die Verbindung zwischen zwei Knoten nennt man Verknüpfung („link“) oder auch Hyperlink. Hyperlinks sind dabei in der Regel unidirektional gerichtet, sie gehen von einem sog. Ankerknoten aus und verweisen auf einen Zielknoten. Die Verknüpfung von Knoten A nach Knoten B kann nur in dieser Richtung (A nach B), aber nicht zurückverfolgt werden. Bidirektionale Verknüpfungen bestehen dagegen in beide Richtungen. Multidirektionale Verknüpfungen weisen von einem Knoten zu zwei oder mehr Knoten.

Ein Ausgangspunkt der Verknüpfung kann z. B. ein Wort, eine Schaltfläche oder eine Grafik sein. Der Knoteninhalt wird dem Benutzer auf dem Bildschirm angezeigt. Durch eine Aktion des Benutzers, wie z. B. ein Mausklick auf ein Wort, wird die Verknüpfung verfolgt und der entsprechende Zielknoten angezeigt. Der Unterschied zwischen dem Nachschlagen eines Querverweises in einem Lexikon und der Verfolgung eines Hyperlinks ist die computergestützte Realisierung. Das Nachschlagen des Querverweises ist keine Unterbrechung des Leseflusses mehr, der verknüpfte Knoten ist augenblicklich verfügbar. Dadurch wird ein flexibler Zugriff auf beliebige Informationsknoten in nicht-linearer, beliebiger Reihenfolge möglich. In Abbildung 7 sind verschiedene Verknüpfungsarten dargestellt.

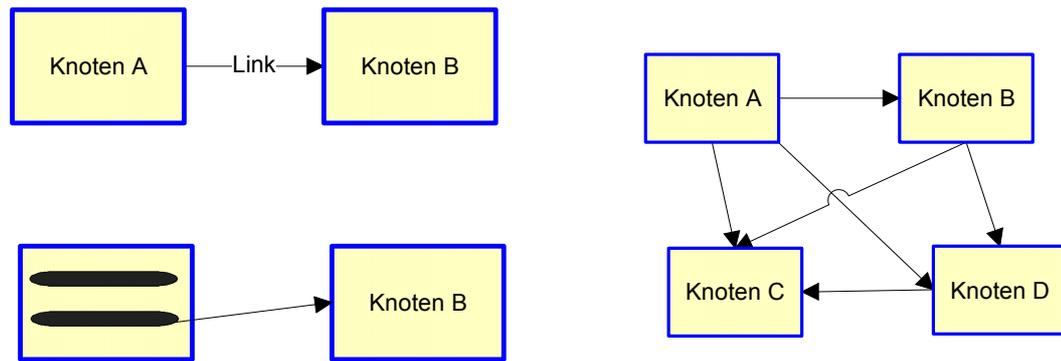


Abbildung 7: Knoten und gerichtete Hyperlinks dazwischen (Quelle: [Tergan 2002])

Die Knoten und die zwischen den Knoten bestehenden Verknüpfungen bilden ein Netzwerk, das als Hypertextbasis bezeichnet wird (vgl. [Kuhlen 1991, 17]). Beim Lesen eines Hypertextes sieht der Benutzer zum Zeitpunkt der Betrachtung nicht das gesamte Netzwerk, sondern nur den aktuellen Knoten.

Der Informationsgehalt der Knoten einer Hypertextbasis kann dabei variieren. Knoten können ganze Dokumente oder auch nur einzelne Sätze repräsentieren. Die Aufteilung der gesamten Informationsmenge der Hypertextbasis auf die Knoten wird durch die Granularität der Hypertextbasis gekennzeichnet. Bei kleiner Granularität ist der Inhalt auf viele Knoten aufgeteilt, die Hypertextbasis ist stark atomisiert. Bei großer Granularität stellen die Knoteninhalte ganze Dokumente dar.

Eine Hypertextbasis sollte einen Mittelweg zwischen beiden Extremen darstellen. Die Granularität darf einerseits nicht zu groß gewählt werden, ansonsten wird die typische Nicht-Linearität von Hypertext aufgegeben. Auf der anderen Seite werden bei sehr kleiner Knotengröße nur noch einzelne Wörter als kleinste Einheit dargestellt, die u. U. nicht mehr in einen Kontext eingebettet sind. Knoten können weiterhin zu semantisch höherwertigen „chunks“ zusammengefasst werden. In einem Chunk sind semantisch zusammengehörende Knoten zu einem übergeordneten Knoten zusammengefasst. Abbildung 8 stellt ein Beispiel für die Zusammenfassung von Knoten zu Chunks dar. Die Hypertextbasis wird durch dieses Konstrukt in inhaltlicher Hinsicht strukturiert und unterteilt.

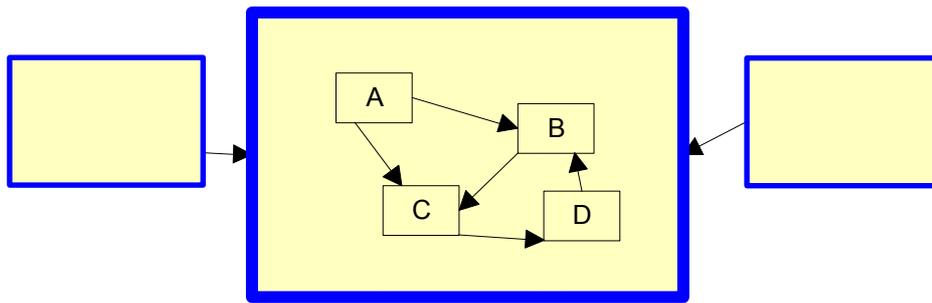


Abbildung 8: Zusammenfassung von Knoten zu einem Chunk (Quelle: vgl. [Tergan 2002])

Weiterführende Aspekte des Hypertextkonzepts, wie Trennung zwischen Benutzeroberfläche und Hypertext Abstract Machine (HAM), zentrale Speicherung der Hypertextbasis in einer Datenbank etc., sind im Rahmen dieser Arbeit zu spezifisch und werden hier nicht weiter ausgeführt. Dafür sei auf die weiterführende Literatur, wie z. B. [Kuhlen 1991], [Nielsen 1995] oder [Schnupp 1992] verwiesen.

#### 2.3.2.4 *Hypermedia zur nicht-linearen Präsentation multimedialer Informationen*

Hypermedia ist eine Wortschöpfung, die aus den Silben „Hyper“ (Hypertext) und „media“ (Multimedia) zusammengesetzt ist. Hypermedia stellt eine Erweiterung des Hypertextkonzepts dar, bei dem in den Knoten eines Hypertexts nicht nur textuelle Informationen gehalten werden. Vielmehr treten neben Text auch andere Medientypen wie Grafik, Video und Audio auf. Hypermedia bezeichnet die Anreicherung der Knoteninhalte eines Hypertexts durch multimediale Datentypen. Ein Hypertext kann nicht nur Text enthalten, sondern auch Bilder, Tabellen, Tondaten und Video.

Ein Hypertextdokument, das nicht nur Text, sondern viele Medien umfasst, wird als Hypermediadokument bezeichnet (vgl. [Hasebrook 1995, 194]). Diese Trennung zwischen Hypertext und Hypermedia ist für [Nielsen 1995] nicht nötig, da sie das Hypertextkonzept nicht wesentlich erweitert. Er verwendet beide Begriffe synonym, mit einer Präferenz für Hypertext. „Personally, I would like to keep using the traditional term ‘hypertext’ for all systems since there does not seem to be any reason to reserve a special term for text-only systems“ [Nielsen 1995, 5]. In dieser Arbeit wird eine Hypertextstruktur mit multimedialen Knoteninhalten weiterhin mit dem Begriff Hypermedia bezeichnet, da diese Bezeichnung in der Literatur gebräuchlicher ist und den multimedialen Aspekt eines Hypertexts betont.

#### 2.3.3 *Hypermediale Lernsysteme*

Im Rahmen des vorliegenden Abschnitts wird zunächst eine Kategorisierung von E-Learning Systemen vorgenommen (2.3.3.1), ehe auf die sog. hypermedialen Lernsysteme fokussiert wird, deren Charakteristika in Abschnitt 2.3.3.2 beschrieben werden. Da die Navigation ein wesent-

liches Element hypermedialer Lernsysteme darstellt, befasst sich der Abschnitt 2.3.3.3 mit Navigationsmethoden in Hypertextbasen. Der Abschnitt wird durch eine Darstellung der Probleme beim Lernen in hypermedialen Lernsystemen vervollständigt (2.3.3.4).

#### *2.3.3.1 Kategorisierung von E-Learning Systemen*

Der Begriff der Lernsoftware bzw. des Lernsystems wird für Programme verwendet, die explizit zu Lernzwecken konzipiert wurden. Der Begriff „Lernumgebung“ ist i. A. weiter gefasst als Lernsoftware. Er schließt die Einbettung in einen curricularen Gesamtrahmen mit ein. Die Bezeichnung CBT sollte vermieden werden, da sie behavioristisch geprägt ist und eine implizit enthaltene Lerntheorie andeutet.

Die Terminologie für die Lernsoftware selbst ist recht einheitlich. [Bodendorf 1990] bezeichnet konkrete Unterrichts Anwendungen als „courseware“. Im Deutschen werden Lernsoftware und Lernprogramme als „Interaktive Lernprogramme“ oder nur als „Lernprogramme“ bezeichnet (vgl. [Fickert 1992]). [Baumgartner 2002, 434 f.] unterscheidet bei Lernprogrammen noch zwischen „Lernsoftware“ und „Bildungssoftware“. Lernsoftware ist dabei speziell für das Lernen selbst konzipiert. Dagegen stellt Bildungssoftware eine Nutzungsart des jeweiligen Programms dar, sie bezeichnet nicht den Typ der Software. Ein elektronisches Lexikon z. B. ist keine Lernsoftware, da nicht die Software lehrt, sondern der Lernende das Lexikon in einem globalen Kontext benutzt. Das Lexikon ist „... quasi nur ein Baustein in einer komplexen Lernumgebung“ [Baumgartner 2002, 435]. Auch Tabellenkalkulationen sind nicht für Lehrzwecke entwickelt worden, können aber in geeignet gestalteten Situationen pädagogisch sinnvoll eingesetzt werden und gehören damit zur Kategorie der Bildungssoftware. Im Bereich Operations Research trifft dieses im Besonderen zu, da sie hier zu den authentischen Werkzeugen gezählt werden können. Tabellenkalkulationen werden auch im Berufsleben z. B. als Simulationswerkzeug oder zur What-If Analyse eingesetzt.

In der Literatur werden die folgenden idealtypischen Ausprägungen von computerunterstützter Lernsoftware (CUL) unterschieden (vgl. [Bodendorf 1993], [Niegemann 1995]).

- Hilfesysteme
- Tutorielle Systeme
- Übungs- und Testsysteme
- Simulationen und Spielsysteme
- Hypertext- und Hypermediasysteme

Hilfesysteme stellen die einfachste Form von CUL dar. Bei passiven Hilfesystemen muss der Benutzer das Hilfesystem selbst aktivieren. Aktive Hilfesysteme können Probleme beim Benutzer diagnostizieren und sich autonom mit Hinweisen in den Dialog mit dem Benutzer einschalten. Hilfesysteme werden oft in Verbindung mit Software-Produkten benutzt und liefern eine Beschreibung der Funktionalität und Bedienung der Software in elektronischer Form.

Tutorielle Systeme simulieren einen Dialog zwischen Lerner und Lehrer. Die Wissensdarbietung erfolgt anhand von Beispielen, am Ende einer Lektion wird der Kenntnisstand des Lernenden überprüft und dementsprechend in weitere Lernabschnitte verzweigt bzw. die Lektion wiederholt. Intelligente tutorielle Systeme (ITS) bauen auf tutoriellen Systemen auf. Sie verfügen über ein Wissensmodell, das die Wissensdomäne definiert. Zusätzlich konstruieren sie ein Modell des Lernenden. Auf diesem Modell aufbauend verhält sich das ITS adaptiv und generativ, d. h. Dialoge und Lernelemente werden nach vorgegebenen Regeln für jeden Benutzer speziell zusammengestellt. Mit Methoden der künstlichen Intelligenz wird ein Benutzerprofil erstellt, nach dem das ITS auf jeden Benutzer individuell reagiert. Je nach Diagnose des Lernfortschritts werden leichte oder schwierigere Aufgaben zur Übung angeboten. Zu näheren Ausführungen zu ITS vgl. [Schulmeister 1997, 177 ff.].

In Übungs- und Textsystemen wird nach dem behavioristischen „drill & practice“-Prinzip Wissen abgefragt. Das System stellt eine Frage, auf die bei Beantwortung ein unmittelbares Feedback erfolgt. Bei richtiger Beantwortung erfolgt eine kurze Bestätigung, bei falscher Antwort eine Korrektur. Die Reihenfolge der Aufgaben ist dabei in der Regel linear festgelegt.

Simulationen stellen einen abstrahierten und auf das Wesentliche reduzierten Ausschnitt der Realität dar. Ein reales System wird mit seinen Beziehungen in einem Modell dargestellt. Der Lernende hat die Möglichkeit, Parameter der Simulation zu verändern, und so die Auswirkungen seiner Änderungen auf das Gesamtsystem zu beobachten. [Bodendorf 1993, 73 ff.] unterscheidet zwischen Objekt- und Prozessmodellen. Objektmodelle stellen einen Gegenstand oder ein Phänomen abstrahiert dar. Bei Prozessmodellen steht die Darstellung von Abläufen zwischen Elementen des modellierten Systems im Vordergrund. Ein Beispiel eines Prozessmodells ist die Darstellung betriebs- oder volkswirtschaftlicher Prozesse, wie z. B. die Beeinflussung der Preisbildung durch Angebot und Nachfrage. Zu der Gruppe der Simulationen gehören auch die sog. Mikrowelten und Spielsysteme wie Unternehmensplanspiele (vgl. [Bodendorf 1993, 77 ff.]). Auf diese Formen wird hier nicht weiter eingegangen, da sie für die vorliegende Arbeit nicht relevant sind.

Hypermediale Lernsysteme werden im Wesentlichen dadurch charakterisiert, dass sie das Hypermediakonzept aufgreifen und durchgängig zur Wissenspräsentation verwenden. Eine detaillierte Erläuterung hypermedialer Lernsysteme erfolgt in Abschnitt 2.3.3.2.

[Bodendorf 1993, 64] führt eine Einteilung von Lernsoftware nach den Kriterien „Lernerinitiative“ und „Systemflexibilität“ ein. Im Kontext dieser Einteilung unterscheidet [Bodendorf 1993] die drei Interaktionsstile systemgesteuerter, lernergesteuerter und gemischt-initiativer Dialog. Nach dieser Einteilung wird bei Hypertextsystemen eine hohe Eigeninitiative des Lernenden vorausgesetzt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der freien Navigation in der Hypertextbasis. [Bodendorf 1993, 67] bezeichnet diese Form des Lernens als „entdeckend“ bzw. „explorativ“. Das zweite Kriterium der Systemflexibilität bezeichnet die Fähigkeit eines Systems, sich adaptiv auf einen Benutzer einzustellen und individuelle Dialog- und Interaktionsformen bereitzustellen. Passive Hilfesysteme, die vorgefertigte Hilfetexte präsentieren, sind extrem unflexibel. ITS arbeiten dagegen mit Benutzermodellen auf Basis der künstlichen Intelligenz und können dementsprechend adaptiv auf Benutzer eingehen. ITS zeichnen sich durch eine hohe Systemflexibilität aus. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Einteilung der Lernsysteme.

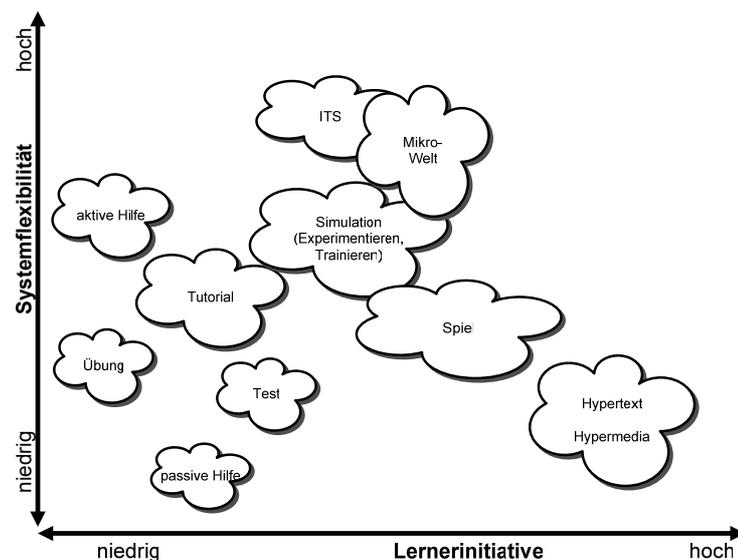


Abbildung 9: Grobe Typologie von Lehrsystemen (Quelle: vgl. [Bodendorf 1993])

Die Einteilung von Lernsoftware in Kategorien bezieht sich auf die Softwaretypen in Extremform. Im Bereich des E-Learnings werden Komponenten teilweise kombiniert. So ist es möglich und sinnvoll, z. B. Simulationselemente in eine hypermediale Struktur der Lerninhalte einzubinden. Die Basisstruktur ist damit ein Hypertext, in dessen Knoten der Benutzer die Möglichkeit hat, auf Simulationen zuzugreifen. Eine weitere Kombination sind ITS-Systeme, die durch Hypertextstrukturen erweitert werden (vgl. [Schulmeister 1997, 263 ff.]). Auf diese Weise können Vorteile beider Systeme integriert werden. Im folgenden Abschnitt werden die Eigenschaften

hypermedialer Lernsysteme dargestellt, weil sie als besonders geeignet erachtet werden, um die konstruktivistische Idee umzusetzen. Der rasche, nicht-lineare Zugriff auf Informationen, die multimediale Darstellung mit Interaktionsmöglichkeiten und die Möglichkeiten der simultanen Darstellung von Informationen mit Hilfe von Fenstertechnik prädestinieren hypermediale Anwendungen für diese Aufgabe.

### 2.3.3.2 *Charakteristika hypermedialer Lernsysteme*

In jeder Lernsoftware spiegelt sich (vom Autor beabsichtigt oder nicht) ein implementiertes Lernparadigma wieder. Traditionelle CBT-Lernsoftware, die im Extremfall einen starren, linearen Programmablauf aufweist, Antworten des Lernenden nur als „falsch“ oder „richtig“ bewertet und zur nächsten Frage übergeht, orientiert sich z. B. stark am behavioristischen Lernmodell (vgl. [Schulmeister 1997, 103 ff.]). Der Lernende hat kaum bzw. gar keinen Einfluss auf den Ablauf des Programms, seine Möglichkeiten zur Initiative und Interaktion sind stark eingeschränkt. In Hypertexten werden die Lehrinhalte gemäß dem Hypertextparadigma (siehe 2.3.2.3) in einzelne Knoten zerlegt. Die Knoten sind durch Hyperlinks miteinander verknüpft. Dadurch entsteht eine vernetzte Wissensbasis, durch die der Benutzer gemäß seinen Präferenzen navigieren kann. Er ist dabei in seiner Entscheidung „frei“ und wird nicht durch das System gezwungen, einen festgelegten, linearen Pfad durch die Lehrinhalte zu wählen. Die Kontrolle des Systems über den Lernenden ist gering, der Lernende muss vielmehr aktiv werden, um Lösungen zu entdecken. „Unlike most information systems, hypermedia users must be mentally active while interacting with the information“ [Jonassen/Grabinger 1990, 7].

[Kuhlen 1991, 181] spricht dem Einsatz von Hypertext eine lernfördernde Wirkung aufgrund der „Flexibilität im Zugriff auf Wissen“ zu. Er führt weiter aus: „Und weiterhin werden zweifellos Lernerfolge begünstigt, wenn Lernende Eigeninitiativen entfalten, d. h. wenn sie Lernmaterialien, wie es bei Hypertext bei gutem Design möglich ist, erkunden können und nicht nur, wie in der Regel bei bisherigen Formen der programmierten Unterweisung, vorgegebene Pfade nachvollziehen müssen“ [Kuhlen 1991, 181]. Der Zusatz „... bei gutem Design ...“ deutet schon an, dass die bloße lineare Umsetzung der Lehrinhalte eines Buchs in elektronische Form und Implementierung in hypermediale Lernsoftware nicht einen Lernerfolg implizieren muss. Die Darstellung von Wissensgebieten in einem Hypertext entbindet den Autor nicht von einer didaktischen Strukturierung des Stoffs. [Schulmeister 1997] versteht unter Strukturierung in diesem Zusammenhang nicht die Aufteilung in Kapitel und Unterpunkte, sondern die Anreicherung des Hypertexts durch didaktisch orientierte Hilfsmittel. „Als Didaktiker kann ich Hypertext nur in der Weise ‘didaktisieren’, indem ich das vorliegende Material durch didaktisch-methodische Tips von Lehrenden (Verknüpfungen, Kommentare, Verweise, Hinweise, Fragen, Aufgaben,

Übungen, Evaluation) oder durch Annotationen von Lernenden anreichere“ [Schulmeister 1997, 266 f.].

Die in Hypermediasystemen auftretenden Netzstrukturen gleichen neueren psychologischen Modellen der Speicherung von Informationen im menschlichen Gedächtnis (propositionale Repräsentation, siehe 2.2.2.3). Es wird eine Korrespondenz zwischen der Organisation einer Hypertextbasis mit Knoten und Kanten und der mentalen Repräsentation von Wissen in semantischen Netzen angenommen. Die Annahme, dass ein Lernender eine netzwerkartige Repräsentation von Wissen eher in seine kognitiven Strukturen integrieren kann, wird als kognitive Plausibilität bezeichnet. „Hypertext scheint unter der Annahme kognitiv plausibel zu sein, dass Wissen, dessen Erwerb allgemeines Ziel von Lernen ist, im menschlichen Gehirn in vernetzten, topologischen, nicht-linearen Strukturen organisiert sei“ [Kuhlen 1991, 182]. Auch [Jonassen/Grabinger 1990] vermuten, dass der Erwerb von neuem Wissen als Erweiterung bereits vorhandener Wissensstrukturen über die Strukturähnlichkeit von semantischen Netzwerken und Hypertext unterstützt wird. „Structured networks, like hypermedia, are composed of nodes and ordered, labelled relationships (links) connecting them. These networks describe what a learner knows, which provides the foundations for learning new ideas, that is, expanding the learner’s semantic network“ [Jonassen/Grabinger 1990, 10]. Die Ähnlichkeit zwischen der Organisation eines Hypertexts und der mentalen Repräsentation von Wissen in netzwerkartigen Strukturen als Ursache für einen Lernerfolg zu bewerten, ist aber verfrüht, es fehlen schlüssige empirische Belege für diese Hypothese. Die kognitive Plausibilität ist damit nicht unumstritten.

Nach [Kuhlen 1991] kann die nicht-lineare Darstellungsform von Wissen Lernerfolge begünstigen, „... zumindest aber das Entstehen (erwünschten) multiperspektivischen flexiblen Denkens fördern“ [Kuhlen 1991, 188]. [Schulmeister 1997, 271] kommt zu dem pragmatischen Schluss, dass die Plausibilitätshypothese zweifelhaft zu sein scheint, jedoch „... Hypertext dem Lernenden eine komplexe Lernumgebung präsentiert, die es ihm ermöglicht, sich natürlich zu verhalten“. Unter „natürlich“ versteht er erstens, dass die Materialien in einem Hypertextsystem eine Umgebung repräsentieren, die der Lernende auch in einer Bibliothek vorfindet. Bücher, Bilder, evtl. auch Filme sind auch in einer Bibliothek verfügbar und durch „lose Fäden“, wie z. B. Literaturverweise, untereinander verknüpft. Zweitens kann sich der Lernende in dieser Umgebung ebenso verhalten, wie er es sonst gewohnt ist. Er kann z. B. linear oder assoziativ vorgehen, herumstöbern oder gezielt suchen. „Hypertext ist offen und zugänglich für alle möglichen individuellen Lernstile und Lernangewohnheiten“ [Schulmeister 1997, 271]. Auch [Pohl 1995, 153] sieht den Vorteil, „... dass durch das Offenhalten der Abarbeitungssequenz des Wissensstoffes jeder Lerner seinem subjektiven Lernstil folgen und sich dadurch individuelle Lernvorteile gegenüber dem Lernen nach einem festen Lernmodell verschaffen kann.“

Der geringe Grad an Lernersteuerung durch ein hypermediales System gibt Lernenden die Möglichkeit, sich in komplexe Themengebiete selbständig einzuarbeiten. Dadurch, dass keine explizite Führung vorhanden ist, kann der Lernende eigene Sichtweisen auf den behandelten Gegenstand entwickeln. Er kann eine Art entdeckendes Lernen praktizieren. Gerade für schlecht strukturierbare Themengebiete, die keine klaren Grenzen aufweisen und eine Informationsdarstellung aus verschiedenen Perspektiven verlangen, wird eine Darstellung in hypermedialer Form als adäquat angesehen (vgl. [Tergan 2002, 105]). Innerhalb der Cognitive Flexibility Theory nehmen [Spiro/Jehng 1990, 165 ff.] eine Einschränkung auf fortgeschrittenes Lernen in schlecht strukturierten Wissensbereichen vor. Auch bei häufiger Aktualisierungsfrequenz erscheinen Hypertexte als probate Methode, eine „... Adaption von Inhalt und Struktur der Hypertextbasis zu ermöglichen“ [Tergan 2002, 105].

Die effektive Nutzung von Hypermedia steht dabei noch am Anfang. Das Hypermedia Konzept erlaubt eine effiziente Verknüpfung von Ressourcen. Durch die Kombination mit Konzepten des Wissensmanagements ist es möglich, typisierte Verknüpfungen zu verwenden, um so eine Wissensbasis zu schaffen, die sowohl auf Lernzwecke ausgerichtet ist als auch die Verwendung als Wissensbasis unterstützt.

### *2.3.3.3 Navigationsmethoden in Hypertextbasen*

Der Informationszugriff erfolgt in Hypertexten durch Ausnutzung der bestehenden Verknüpfungen zwischen Knoten einer Hypertextbasis. Benutzer können viele Wege durch einen Hypertext wählen, es ist nicht vorherbestimmt, welche Knoten in welcher Reihenfolge aufgesucht werden. Die Freiheit des Benutzers, beim Lesen eines Hypertextes frei über Hyperlinks die Hypertextbasis zu traversieren, wird oft mit der Metapher der Navigation beschrieben (vgl. [Hasebrook 1995, 194]).

Andere Autoren bezeichnen den Zugriff auf einen Hypertext als Browsing (vgl. [Schnupp 1992], [Gloor 1990]). Der Begriff des Browsing kennzeichnet aber bereits eine spezifische Zugriffsstrategie. In der Regel wenden Benutzer je nach Zielsetzung verschiedene Strategien des Informationszugriffs an. In der Literatur wird zwischen mehreren grundsätzlichen Strategien unterschieden. [McAleese 1989] und [Schoop 1995] unterscheiden fünf grundsätzliche Navigationsmethoden:

- Scanning,
- Browsing,
- Searching,
- Exploring und

- Wandering.

Beim Scanning wird ein breites Themengebiet aufgenommen, ohne sehr in die Tiefe zu gehen. Scanning beschreibt ein überblickendes Sichten der Inhalte, ohne den Inhalt voll aufzunehmen. Eine analoge Vorgehensweise ist die grobe thematische Einordnung eines gedruckten Artikels durch Lesen der Überschriften.

Browsing ist die typischste Form des Informationszugriffs. Browsing bezeichnet ein „Stöbern“ in der Hypertextbasis. Der Benutzer lässt sich treiben, er verfolgt für ihn interessante Verknüpfungen immer so weit, bis sein Interesse geweckt wird. An diesem Punkt forscht er dann detaillierter weiter. [McAleese 1989, 6] sieht die Möglichkeit des Browsing als zentral für die Effektivität von Hypertextsystemen.

Im Falle des Searching wird eine bestimmte Information in der Hypertextbasis gezielt gesucht. Auf eine bestimmte, vorgegebene Frage wird eine Antwort gesucht. Diese gezielte, systematische Suche kann auch in einem ersten Schritt indexgestützt über Volltextsuche erfolgen, um die Menge der relevanten Knoten einzuschränken.

Beim Exploring versucht der Benutzer das Ausmaß der gebotenen Informationen auszuloten. Dabei kann der Fall eintreten, dass sich ein „Serendipity“-Effekt einstellt (vgl. [Kuhlen 1991, 129]). Der Benutzer wollte ursprünglich eine bestimmte Information suchen, hat aber über einen interessanten Knoteninhalte und dessen Exploring das ursprüngliche Ziel vergessen. [Kuhlen 1991, 129] spricht bei solchem Verhalten von gerichtetem Browsing mit „Serendipity“-Effekt.

Wandering bezeichnet ein Benutzerverhalten, bei dem Hypertextbasen ohne festes Ziel und konkrete Frage, höchstens aus allgemeinem Interesse gesichtet werden. Knoten werden nicht systematisch durchlaufen, wobei Knoten in der Regel auch mehrfach angesteuert werden. [Kuhlen 1991, 129] bezeichnet dieses Verhalten als ungerichtetes Browsing.

Einige der vorgenannten Navigationsmethoden bergen Potenziale für Probleme, die beim Lernen in hypermedialen Systemen entstehen können. Ein selektiver, aber charakteristischer Querschnitt dieser Probleme wird im folgenden Abschnitt behandelt.

#### *2.3.3.4 Probleme beim Lernen in hypermedialen Lernsystemen*

Browsing und „Serendipity“-Effekte führen den Benutzer über thematisch verwandte Verweise durch die Hypertextbasis. Für Browsing ist typisch, dass der Benutzer nicht mehr gezielt nach Informationen sucht, sondern sich vielmehr treiben lässt und weiteren assoziativen Verknüpfungen folgt, bis kein weiterer Anreiz mehr besteht, Verknüpfungen zu verfolgen. Besonders in großen Hypertextbasen kann an dieser Stelle das Gefühl des „lost in hyperspace“ auftreten. Dieses,

schon bereits klassisch zu nennende Problem, wurde erstmals von [Conklin 1987, 38] beschrieben. Der Begriff „lost in hyperspace“ beschreibt ein Gefühl der Desorientierung und bezieht sich auf die kognitive Orientierung in einer Hypertextbasis. Der Benutzer ist unsicher über seine aktuelle Position in der Hypertextbasis, ferner ist er unsicher darüber, wie er zu einem bereits besuchten Knoten zurückkehren kann. Desorientierung nimmt dann zu, wenn der Benutzer keine klare Vorstellung über die jeweilige Organisationsstruktur der Hypertextbasis hat. Ansätze zur Abhilfe der Desorientierung werden im Folgenden erläutert.

[Kuhlen 1991, 136 ff.] unterscheidet zwei Gruppen von Orientierungs- und Navigationsmitteln. Zum einen betrachtet er Metainformationen aus traditionellen Medien, wie Inhaltsverzeichnisse, Register und Glossare; auf der anderen Seite stehen hypertextspezifische Orientierungs- und Navigationsmittel. Konventionelle Metainformationen sind Übertragungen der bekannten Hilfsmittel in Printmedien, wie z. B. Inhaltsverzeichnis, Register (oder auch Index) und Glossar, auf eine elektronische Ebene. In einem Inhaltsverzeichnis können die Inhalte der Hypertextbasis gegliedert dargestellt werden, wobei der Zugriff auf den Inhalt über eine Verknüpfung und nicht über die Seitenzahl erfolgt. In einem Register werden Stichworte und beschreibende Begriffe zusammengefasst, die den Inhalt eines Knoten treffend charakterisieren. Durch Auswahl eines Begriffs wird die entsprechende Seite angezeigt. Zu diesem Hilfsmittel gehört auch volltextbasiertes Suchen in einer Hypertextbasis. Alle auftretenden Wörter einer Hypertextbasis werden dabei indiziert, so dass zu einem Suchbegriff die Knoten mit einem „Treffer“ angezeigt werden können. Für [Kuhlen 1991, 140] macht es wenig Sinn, ein alphabetisch sortiertes Register für eine Hypertextbasis anzulegen, „... es entspricht kaum den Prinzipien des ‘Browsing’ von Hypertext ...“. Im Kontext von Hypertext verdienen Glossare eine besondere Beachtung. In Printmedien sind diese in der Regel dem Text nachgestellt, so dass der Leser beim Nachschlagen eines Begriffs im Glossar seinen jeweiligen Kontext verlassen muss. In Hypertextsystemen fügt sich ein Glossar dynamisch ein. Es kann durch Fenstertechnik parallel zum Knoteninhalte angezeigt werden, wodurch dem Leser das Wechseln zwischen Text und Glossar erspart bleibt. Der Glossareintrag kann im Kontext der dargestellten Information gelesen werden.

Die aufgezeigten Metainformationen werden durch hypertextspezifische Orientierungs- und Navigationsmittel ergänzt, die im Folgenden zunächst aufgelistet und im Anschluss näher erläutert werden. Die Auflistung der Hilfsmittel orientiert sich an [Kuhlen 1991, 142 ff.]. Im Einzelnen sind dies:

- grafische Übersichten („Browser“) und vernetzte Ansichten („web views“),
- autorendefinierte Übersichtsmittel,
- Pfade („paths/trails“) und geführte Unterweisungen („guided tours“),

- „Backtrack“-Funktionen, Dialoghistorien und retrospektive grafische (individuelle) Übersichten,
- leserdefinierte Fixpunkte („bookmarks“) und autorendefinierte Wegweiser („thumb tabs“),
- Markierungen gelesener Bereiche („bread crumbs“).

Die Netzstruktur einer Hypertextbasis wird in grafischen Übersichten durch die Abbildung einer Netz- bzw. Baumstruktur visualisiert. Dabei unterscheidet man noch zwischen globalen und lokalen Übersichten, die jeweils die gesamte bzw. nur einen Ausschnitt der Hypertextbasis zeigen. Für weiterführende Beispiele siehe [Kuhlen 1991, 142 ff.] und [Nielsen 1995, 247]. Das Konzept der vernetzten Ansicht ist sehr speziell auf das Hypertextsystem Intermedia zugeschnitten, hierzu sei auf [Kuhlen 1991, 144 ff.] verwiesen.

Gerade bei großen Hypertextbasen wird die Möglichkeit der automatischen Generierbarkeit von Übersichten angezweifelt (vgl. [Kuhlen 1991, 143 ff.]). Autorendefinierte Übersichtsmittel bieten einen Ausweg aus diesem Dilemma. Der Autor des Hypertexts kann manuell eine grafische Übersicht erstellen und diese als Browser einsetzen. Der Vorteil dieser Methode ist, dass wertvolle Hinweise zur Navigation mit aufgenommen werden können. Das implizite Wissen über Zusammenhänge kann an dieser Stelle vom Autor explizit gemacht werden. Der Nachteil besteht darin, dass Änderungen in der zugrunde liegenden Hypertextbasis manuell in die Übersicht aufgenommen werden und Inkonsistenzen auftreten können. Damit ist dieses Hilfsmittel weder für sehr änderungsintensive Hypertextbasen empfehlenswert, noch für solche, in denen Leser selbst Knoten erstellen dürfen.

Pfade bzw. Guided Tours schränken die Freiheit des Benutzers beim Navigieren bewusst ein. Bei einer kontrollierten Unterweisung wird der Benutzer durch die Hypertextbasis geführt. Auf diese Weise können Knoteninhalte zu größeren kohärenten Einheiten zusammengefasst werden. Im Kontext mit Lernsoftware könnten semantisch zusammenhängende Themenbereiche zu einer Guided Tour zusammengefasst werden. Der Grad der Kontrolle entscheidet dabei letztlich über die Nutzbarkeit einer Guided Tour. Hat der Benutzer nur noch die Wahl zwischen dem nächsten Knoten und dem vorhergehenden der Guided Tour, so wird die Flexibilität von Hypertext aufgegeben. In diesem Fall wird Hypertext zu einem „elektronischen Buch“ degradiert, das jeweils nur noch umgeblättert wird. Der nicht-lineare Charakter des Hypertexts geht vollständig verloren.

Die erläuterten inhärenten Navigationsprobleme von Hypertext treten natürlich auch beim Lernen mit Hypertexten auf. Den Navigationshilfen kommt in diesem Kontext eine besondere Bedeutung zu. [Schoop 1995, 152] stellt die folgende These auf: „Selbstgesteuerte Navigation in Lernsystemen setzt gute Benutzerkenntnisse von Wissensstruktur und Softwarefunktionalität

voraus. Daher müssen Neulinge in den ersten Lernsitzen zwingend linear geföhrt werden.“ [Witt 1995] plädiert ebenfalls für die Notwendigkeit von Guided tours, obwohl deren Einführung bedeuten kann „... gerade das preiszugeben, was den Witz von Hypermedia ausmacht“ [Witt 1995, 161]. Ein Anfänger auf einem Lerngebiet sollte geföhrt werden, um den Lernstoff Schritt für Schritt zu begreifen. Eine gezielte Einführung kann das ziel- und ergebnislose Herumsuchen eines Anfängers in den Lerninhalten vermeiden und dabei helfen Frustrationen zu ersparen. Führung und Anleitung kann hilfreich, muss aber deshalb nicht gleich zwingend sein. „Die guided tour sollte deshalb als Forderung des Lernenden an das System, nicht als Forderung des Systems an den Nutzer betrachtet werden“ [Witt 1995, 161]. Für Witt kommt es auf die Unterscheidung zwischen „Option und Obligation“ an.

Backtrack-Mechanismen geben dem Benutzer die Möglichkeit zum vorhergehenden Knoten zurückzukehren. Das ist vor allem dann von Vorteil, wenn Verknüpfungen nicht bidirektional, sondern nur unidirektional gerichtet sind. Der Backtrack-Mechanismus kann weiter ausgestaltet werden, um nicht nur den zuletzt besuchten Knoten zu berücksichtigen. Die bereits besuchten Knoten werden (evtl. mit Metainformationen oder grafischen Miniaturbildern der Knoteninhalte) in einer Liste gespeichert, so dass eine „Geschichte“ der zuletzt besuchten Knoten entsteht. Aus diesem Grund werden die entstehenden Listen auch „History“ genannt. Der Benutzer hat nun die Möglichkeit aus der History einen Knoten auszuwählen. Gerade die Darstellung mit grafischen Mitteln ist besonders hervorzuheben, da Metainformationen, wie Überschriften und Inhaltsangaben, dem Benutzer im konkreten Fall nicht weiterhelfen, er sich aber an das visuelle Erscheinungsbild des Knoteninhalts erinnern kann (vgl. [Nielsen 1995]).

Mit leserdefinierten Fixpunkten hat der Benutzer die Möglichkeit, die Hypertextbasis übersichtlicher zu gestalten und nach eigenen Kriterien zu strukturieren. Zu diesen Hilfsmitteln gehören „bookmarks“ und „Annotationen“. Bookmarks bezeichnen eine Art Lesezeichen. Der Benutzer hat die Möglichkeit im Hypertext Knoten zu markieren, um dadurch später direkt bei evtl. Orientierungsverlust dorthin springen zu können. Mit Annotationen kann sich der Benutzer Notizen zu einem Knoten machen. Dadurch kann die Hypertextbasis inhaltlich vom Leser erweitert werden. Fixpunkte können auch schon vom Autor vorgesehen werden. Der Autor eines Hypertextes kann Mechanismen vorsehen, die in jedem Knoten auftauchen und es dem Benutzer ermöglichen, auf eine zentrale Übersichtsseite zu springen.

Bereits gelesene Seiten sollten gekennzeichnet werden, um das unfreiwillige nochmalige Ansteuern durch den Benutzer zu vermeiden. Diese Mechanismen werden von [Kuhlen 1991, 158] „bread crumbs“ genannt, [Nielsen 1995] bezeichnet sie als „footprint“. Im Folgenden wird die Bezeichnung „footprint“ verwendet, weil sie gebräuchlicher ist und die Metapher des automati-

schen Setzens in sich birgt. Die Markierung sollte automatisch erfolgen und nicht vom Benutzer gesteuert werden müssen.

Das zweite von [Conklin 1987] identifizierte Problem ist das der kognitiven Überlast („cognitive overload“). Gerade beim Lernen mit der Hilfe von Hypertextbasen kommt es darauf an, bereits besuchte Knoten und deren Inhalt im Gedächtnis zu behalten. Ferner muss behalten werden, welche Knoten als nächstes aufgesucht werden sollten, auf welchem Wege man dorthin gelangt, welche Hilfsmittel zur Navigation zur Verfügung stehen, welche Funktionen einzelne Navigationshilfen erfüllen usw. (vgl. [Tergan 2002, 109]). Der Benutzer muss seine Aufmerksamkeit, neben der eigentlichen Informationsaufnahme des Knoteninhalts, auf die Entscheidung über sein weiteres Vorgehen und die Analyse seiner Navigationsmöglichkeiten richten. [Kuhlen 1991, 125 ff.] stellt fest, dass die Aufnahme der relevanten Information durch den zusätzlichen Aufwand durchaus beeinträchtigt werden kann.

#### *2.3.4 Formulierung und Eigenschaften von Lernobjekten*

Innerhalb der vorangegangenen Abschnitte (2.3.1 bis 2.3.3) stand die Art und Weise der Wissensvermittlung und Wissensaufnahme innerhalb eines E-Learning Prozesses im Vordergrund und es wurde dargestellt, wie der Lernende durch hypermediale Systeme in seinem Lernprozess unterstützt werden kann und welche Probleme dabei zu berücksichtigen sind. Die folgenden Ausführungen (Abschnitte 2.3.4 und 2.3.5) fokussieren nun die Aufbereitung und Strukturierung der Lernmaterialien, die in ihrer Gesamtheit die Wissensbasis darstellen, die im Rahmen des Lernprozesses vermittelt werden soll.

Dabei gilt es sich zunächst mit den Kernelementen der Wissensbasis zu befassen, den sog. Lernobjekten oder „learning objects“: wieder verwendbare Objekte, die in verschiedenen Lernkontexten eingesetzt werden können. Die Definition eines Lernobjekts variiert dabei in der Literatur je nach Ausrichtung der Autoren mit eher technischem oder pädagogisch/didaktischem Schwerpunkt. Der IEEE Learning Object Metadata Standard (LOM) definiert ein Lernobjekt wie folgt: „Learning Objects are defined here as any entity, digital or non-digital, which can be used, re-used or referenced during technology supported learning. Examples of technology supported learning include computer-based training systems, interactive learning environments, intelligent computer-aided instruction systems, distance learning systems, and collaborative learning environments. Examples of Learning Objects include multimedia content, instructional content, learning objectives, instructional software and software tools, and persons, organizations, or events referenced during technology supported learning“ ([LOM 2003, 1]).

Diese Definition ist so allgemein gehalten, dass alles, was in einem Lernprozess eingesetzt werden kann, als Lernobjekt gilt. Von einem einzelnen Medienfragment, wie einem Bild bis hin zu einem

gesamten Kurs wird alles als Lernobjekt bezeichnet. Ein Lernobjekt muss dabei nicht digital sein; ein Buch in einer Bibliothek würde nach der LOM Definition ebenfalls als Lernobjekt aufgefasst werden. Alle abweichenden Definitionen werden dabei ebenfalls von der IEEE Ansicht umfasst, da prinzipiell alle „Lernobjekte“ in einem Lernumfeld eingesetzt werden können.

[Wiley 2001, 6] führt eine Definition für Lernobjekte ein, die auf der [LOM DOC 2002] Definition aufbaut, diese aber enger fasst und auf digital vorliegende Elemente einschränkt („... any digital resource that can be reused to support learning ...“). Weitere Unterschiede zur LOM Definition bestehen darin, dass Lernobjekte nur als eigene Entität aufgefasst werden, wenn sie wieder benutzt werden können (an Stelle eines einmaligen Einsatzes) und wenn sie unterstützend im Lernprozess eingesetzt werden können (an Stelle eines lediglich begleitenden Einsatzes). Durch die Einschränkung der Definition auf digital vorliegende Entitäten kann die Einschränkung der LOM Definition auf „technology supported learning“ entfallen, da sie implizit enthalten ist (vgl. [Wiley 2001, 7]).

Es erscheint im Rahmen dieser Arbeit sinnvoll, die Definition von Lernobjekten auf digital verfügbare Einheiten zu beschränken. Ein Zugriff zu jeder Zeit, von jedem Ort auf Lernobjekte ist nur auf digitalem Wege möglich. Die explizite Einbeziehung traditioneller Printmedien (zumindest in dieser Medialität) in die Definition von Lernobjekten erscheint anachronistisch. Damit soll die Bedeutung von Büchern oder Artikeln für den Lernprozess nicht geschmälert werden. Diese behalten weiterhin ihren Platz in der Ausbildung und können als Lernobjekt in Form einer digitalen Ressource oder als Literaturangabe referenziert werden.

Damit ist ein Lernobjekt zusammenfassend als Objekt mit folgenden wesentlichen Eigenschaften gekennzeichnet:

- Digitale Verfügbarkeit,
- Wiederbenutzbarkeit,
- Direkte Unterstützung des Lernprozesses.

Die digitale Verfügbarkeit eines Lernobjekts bezeichnet die Eigenschaft, auf dieses Lernobjekt über ein geeignetes digitales Trägermedium zugreifen zu können. Das Lernobjekt selbst ist in einer digitalen Kodierung als Text, Grafik, Video etc. bzw. als Kombination aus diesen Medientypen abgelegt und kann abgerufen werden (zur Kodierung von Lernobjekten siehe Abschnitt 4.1.2). Das Trägermedium kann ein persistenter Datenspeicher sein, auf dem das Lernobjekt abgelegt ist.

Das WWW wird häufig als Distributionsmedium für Lernobjekte benutzt. Unabhängig von der Kodierung der Lernobjekte können Lernende über den standardisierten Weg eines Browsers zumindest auf die Lernobjekte zugreifen. Gegenüber anderen Distributionsformen wie z. B. per CD-ROM kann die Aktualität über das WWW schnell und effizient sichergestellt werden. Das WWW hat sich als universeller Datenspeicher etabliert und erfreut sich einer hohen Akzeptanz. Standardisierte Protokolle und Identifikatoren für Ressourcen des WWW erlauben einen einfachen Zugriff auf diese verteilten Ressourcen. Das WWW erlaubt einen nicht restringierten Zugriff auf Ressourcen im Sinne von zeitlichen und örtlichen Restriktionen.

Die Möglichkeit zur eindeutigen Adressierung von Ressourcen im WWW ist eine zentrale Voraussetzung, um verknüpfte Dienste aufbauen zu können. Zu diesem Zweck wurde vom W3C das Konstrukt des Uniform Resource Identifiers (URI) eingeführt. Neben diesem generischen Ansatz existieren noch weitere Varianten bzw. Untermengen davon, wie Uniform Resource Locator (URL) und Uniform Resource Name (URN), die teilweise fälschlicherweise synonym verwendet werden. "A URI can be further classified as a locator, a name, or both. The term "Uniform Resource Locator" (URL) refers to the subset of URI that identify resources via a representation of their primary access mechanism (e.g., their network "location"), rather than identifying the resource by name or by some other attribute(s) of that resource. The term "Uniform Resource Name" (URN) refers to the subset of URI that are required to remain globally unique and persistent even when the resource ceases to exist or becomes unavailable" [RFC 2396].

Der bekannteste und populärste Bezeichner für Ressourcen im WWW ist der URL, der die Netzwerkadresse einer Ressource spezifiziert (in der Form: `http://Servername.Domain/Ressourcenname`). Neben dem „http“-Protokoll existieren noch weitere Dienste wie ftp, mail etc. und nicht-elektronische Adressschemata wie z. B. ISBN. Um diese in einer konsistenten Systematik zu vereinen, wurde vom W3C das Konzept der URI Schemata (engl.: *schemes*) eingeführt (für detaillierte Ausführungen hierzu siehe [URI 2001]). Berners-Lee führt aus, dass er im Gegensatz zu einer URL, „... die allgemeine Bezeichnung URI (verwendet), um die Wichtigkeit der Universalität und der Dauerhaftigkeit von Informationen hervorzuheben“ [Berners-Lee 1999, 99].

Das WWW weist damit einen Identifikationsmechanismus über URI auf, mit dem Lernobjekte eindeutig referenziert werden können. Damit bietet sich das WWW als Emissionsmedium an, um die digitale Verfügbarkeit von Lernobjekten sicherzustellen. Lernobjekte können über das WWW unabhängig von Ort und Zeit abgerufen werden.

Die Eigenschaft der Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten wird im Rahmen der konzeptionellen Bausteine für das zu entwickelnde integrative, hypermediale Lernsystem umfassend

diskutiert (siehe Abschnitt 4.1.1). Der Aspekt der direkten Unterstützung des Lernprozesses durch Lernobjekte wird nicht detaillierter erläutert, da es sich hierbei um eine notwendige Bedingung zur Wahrnehmung eines Lernmaterials als Lernobjekt handelt.

### *2.3.5 Ansätze zur Auszeichnung und Strukturierung von Lernobjekten*

Lernobjekte sind per Definition Bestandteile einer digitalen Wissensbasis, die neben reinen Lernobjekten auch unbegrenzt andere Informationen enthalten kann, die keinen Lernzweck besitzen, oder zum Lernen nicht geeignet sind. Eine vorhandene Wissensbasis kann allerdings nur dann effizient zum Lernen genutzt werden, wenn sie systematische Strukturen aufweist, die das Lernen unterstützen. Auf Seite des Lernenden wird der Zugriff auf die Lerninhalte jedoch häufig durch mangelnde Auszeichnung und Strukturierung der Lernobjekte erschwert.

Es wird keine Unterscheidung zwischen Dokumenten getroffen, die für die Anwendung in der Lehre konzipiert wurden und Dokumenten, die anderen Verwendungszwecken gewidmet sind. Versucht man beispielsweise Lerninhalte zu einem bestimmten Thema mit einer universellen Suchmaschine (Google, Yahoo, Altavista etc.) zu finden, wird die Auswahl durch die immense Anzahl der gefundenen Seiten erschwert. Der Lernende ertrinkt geradezu in der Flut relevanten und in der Mehrzahl weniger relevanten Materials. Eine reine Stichwortsuche liefert in der Regel zu ungenauen Ergebnissen. Heutige Suchmaschinen indizieren in einem brute-force Ansatz Millionen von WWW-Seiten, und obwohl sie viele Ergebnisse liefern, sind diese prinzipbedingt von mangelhafter Qualität. Der Benutzer der Suchmaschine ist gezwungen, eine Ergebnisliste von mehreren Hundert Treffern zu überprüfen, ob der gesuchte Inhalt wirklich anhand der Suchkriterien gefunden wurde oder nicht. In der Regel gehen die relevanten Dokumente in den resultierenden Ergebnismengen von Suchmaschinen unter. Es ergibt sich also die Forderung nach Mechanismen, die das effektive Suchen nach Dokumenten mit Ausbildungsinhalten adäquat unterstützen.

Nicht adäquate Suchergebnisse sind prinzipiell bedingt, da die benötigten Informationen, um Abschnitte in einen Kontext einzuordnen, schlicht nicht oder nur unzureichend zum Indizierungszeitpunkt vorhanden sind. In der Regel werden Daten indiziert, wobei diese Daten nicht ausreichen, um ein effektives Suchergebnis zu erzielen. Volltextsuche kann nicht einen Kontext generieren, z. B. werden in der Regel synonyme Begriffe nicht in Betracht gezogen.

Metadaten, d. h. Daten über Daten sind ein erster Ansatz aus dem Dilemma der mangelnden Auszeichnung von Lernobjekten. Allgemeine zusätzliche Informationen, die einen Dokumentinhalt näher kennzeichnen, wie z. B. Autor, Schlüsselwörter etc. können bereits heute in Dokumenten integriert werden. Zusätzliche Angaben zu Dokumenten werden dabei als Metadaten bezeichnet. Diese Metaangaben sind aber so allgemein gehalten, dass sie zwar bereits eine Ver-

besserung gegenüber dem bisherigen Zustand darstellen, aber keine neue Qualität bedeuten. Die Metaangaben sind nicht erweiterbar und demzufolge nur für allgemeine Angaben zu benutzen. Besonders für spezielle Anwendungsgebiete wie das computergestützte Lernen sind sehr spezifische Metadaten wünschenswert, wie z. B. pädagogische Attribute, Grad der Interaktivität etc. Auf Basis einer solchen soliden Datengrundlage ließen sich zahlreiche Aufgaben, wie das Erstellen von Übersichten, Indizierungen etc. wesentlich vereinfachen und automatisieren. Manuell erstellte Seitenübersichten sind sehr aufwändig und fehleranfällig.

Aufgrund der Menge des relevanten Wissens werden im E-Learning neben didaktischen Strukturen auf der Mikroebene, ordnende Strukturen auf der Makroebene immer wichtiger, um dieses Wissen überhaupt lokalisieren zu können. Mit der strukturellen Ordnung von Wissensbeständen, oder besser Informationsbeständen, beschäftigt sich das Wissensmanagement, das als zunehmend wichtiger für den Erfolg unternehmerischer Aktivitäten erachtet wird (vgl. [Gemmerich/Stratmann 1998]).

Wissensmanagement bezeichnet systematische Prozesse, die die Sammlung, Katalogisierung, Nutzung, Bewertung und Verteilung von Wissen in einer Organisation steuern. Unter Organisation werden in diesem Zusammenhang in der Regel wirtschaftliche Organisationen, also Unternehmen verstanden. Wissensmanagement ist aber nicht nur im wirtschaftlichen Sektor relevant, im universitären Bereich spielt es eine ebenso große Rolle. Literatur, Skripte, Materialsammlungen müssen gesammelt, verknüpft und effizient durchsucht werden können, um einen maximalen Nutzen daraus erzielen zu können. Wissensmanagement in diesem Kontext wird sowohl von Lernenden als auch Lehrenden praktiziert. Beide Gruppen wenden implizit Methoden des Wissensmanagements an, indem sie Materialien kategorisieren.

Wissensmanagement versucht „... Lösungsansätze für ökonomische, aber auch gesellschaftliche Phänomene zu finden wie Informationsflut, wachsende Geschwindigkeit von Informationsgenerierung und -verbreitung, steigende Vernetztheit und Komplexität von Wissen“ [Reinmann-Rothmeier 2002, 3]. Der Aspekt der Effizienz der oben genannten Prozesse steht dabei im Mittelpunkt der Betrachtung. Und um diese realisieren zu können, sind Strukturen erforderlich, die eine Systematisierung der Wissensbausteine innerhalb einer Wissensbasis ermöglichen. Zur Errichtung dieser Strukturen bieten sich sachlogische und größentechnische Prinzipien an, die im Folgenden kurz skizziert werden sollen.

Lernobjekte lassen sich einerseits anhand der Inhalte, die durch sie repräsentiert werden, kategorisieren. Wissensdomänen werden typischerweise durch Taxonomien, bzw. Ontologien inhaltlich strukturiert (für die ausführliche Darstellung siehe Abschnitt 4.3). Die konsequente Anwendung derartiger Ordnungen zur Systematisierung von Lernobjekten findet in heute

existierenden Wissensbasen von E-Learning Systemen nicht konsequent statt. Stattdessen wird meistens auf proprietäre Strukturen zurückgegriffen, was erhebliche negative Konsequenzen für die Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten mit sich bringt.

Andererseits weisen Lernobjekte auch größenspezifische Merkmale auf, die Aussagen über ihre Beziehungen untereinander zulassen. So kann eine Videosequenz als Lernobjekt Bestandteil einer größeren Lerneinheit, z. B. einer Lehrveranstaltung sein, die für sich genommen wiederum ein Lernobjekt darstellt. Die größentechnische Kategorisierung anhand des Merkmals der Granularität bietet sich an, um Rückschlüsse auf die Kombinierbarkeit von Lernobjekten zu erhalten (siehe für die ausführliche Darstellung Abschnitt 5.2). Auch hier ist festzustellen, dass die heutigen Lernsysteme standardisierte Granularitätsskalen für die größentechnische Kategorisierung von Lernobjekten weitgehend vermissen lassen.

Abschließend sei erwähnt, dass die beiden skizzierten Prinzipien zur systematischen Strukturierung von Lernobjekten sich nicht gegenseitig ausschließen, sondern sich vielmehr ergänzen. Folgendes einfaches Beispiel soll dies verdeutlichen: Die Einbindung einer Videosequenz zu einem physikalischen Experiment in eine Lehrveranstaltung zum Simplex Algorithmus wäre aus Sicht der Granularität zulässig, würde jedoch aus sachlogischer Sicht keinerlei Sinn ergeben, da physikalische Experimente in einer Ontologie zu OR/MS nicht vorhanden sind.

### *2.3.6 Zusammenfassung*

Im vorliegenden Abschnitt 2.3 wurde die grundlegende Abgrenzung des Problemfelds vorgenommen, indem zunächst das Verständnis von E-Learning als Lernprozess entwickelt wurde (2.3.1). Die Beschreibung von Medien und ihrer Verknüpfung durch das Konzept des Hypermedia (2.3.2) sowie die Darstellung von auf Hypermedia basierenden Lernsystemen rundeten den Teil des Problemfelds ab, der die Art der Wissensvermittlung fokussiert. Anschließend wurde auf grundlegende Gestaltungsmerkmale der zu vermittelnden Wissensbasis abgehoben, indem die Formulierung von Lernobjekten (2.3.4) und Ansätze zur Auszeichnung und Strukturierung der Lernobjekte (2.3.5) behandelt wurden. Das abgegrenzte Problemfeld wird folglich durch die drei Eckpfeiler des Lernprozesses, der die Art der Wissensvermittlung determiniert, der vom Lernenden zu erschließenden Wissensbasis, die aus untereinander systematisierten Lernobjekten besteht, und des Lernsystems, das den Lernenden bei der Erschließung der Wissensbasis im Rahmen des Lernprozesses unterstützt, aufgespannt.

Das bis hierher abgegrenzte Problemfeld wird im nächsten Abschnitt weiter fokussiert, indem es auf die Anwendungsdomäne des OR/MS herunter gebrochen wird. Für diese konkrete Domäne erfolgt soweit möglich die Analyse des state of the art für alle drei oben genannten Eckpfeiler des Problemfelds.

## 2.4 E-Learning in der Domäne Operations Research/Management Science

Im Rahmen dieses Abschnitts wird zunächst das Problemfeld noch detaillierter spezifiziert, indem wesentliche Charakteristika der Anwendungsdomäne OR/MS erläutert werden (2.4.1). Der Abschnitt 2.4.2 greift dann die Probleme auf, die bei der Vermittlung des domänenspezifischen Wissens bestehen können und zeigt Lösungsansätze für diese Probleme auf. Im Abschnitt 2.4.3 wird dann ein Überblick über den state of the art bestehender Lernsysteme für die Domäne OR/MS gegeben. Neben einer Beschreibung der jeweiligen systemtechnischen Merkmale werden dabei auch Aussagen über die Formulierung und Systematisierung der Lernobjekte gemacht, die durch die jeweiligen Systeme vermittelt werden.

### 2.4.1 Charakteristika der Domäne

Unter OR/MS in wirtschaftswissenschaftlichen Fakultäten wird die Nutzung von quantitativen Methoden, beispielsweise der mathematischen Optimierung und der Simulation, zur Lösung betriebswirtschaftlicher Problemstellungen verstanden. Solche Fragestellungen sind insbesondere in den Bereichen Produktion, Logistik, Finanz- und Personalplanung häufig sehr komplex und erfordern die Nutzung von Informationstechnik in Form integrierter, verteilter Anwendungssysteme. [Runzheimer 1995, 14] definiert Operations Research als „... die Anwendung von wissenschaftlichen Erkenntnissen auf das Problem der Entscheidungsfindung in der Unsicherheits- oder Risikosituation, mit dem Ziel, den Entscheidungsträgern bei der Suche nach optimalen Lösungen eine quantitative Basis zu liefern. Dabei können grundsätzlich Erkenntnisse aus allen wissenschaftlichen Disziplinen herangezogen werden.“ [Dürr/Kleibohm 1992, 17 f.] führen weitere Definitionsansätze für den Bereich OR/MS auf. Der typische Ablauf einer OR/MS-Untersuchung besteht in der Modellierung der realen Situation, Lösung des resultierenden mathematischen Modells mit einem geeigneten Lösungsverfahren (meist IT unterstützt) und einer Interpretation der Ergebnisse sowie Ableiten einer Entscheidung. Die Interpretation der Ergebnisse kann auch zu einer Modellmodifikation und anschließender Iteration des Ablaufs führen (vgl. [Dürr/Kleibohm 1992, 18 f.]). OR/MS hat eine große Bedeutung in der Praxis und kann als ein Anwendungsgebiet der Wirtschaftsinformatik gesehen werden. Obwohl OR/MS durch den hohen Grad an Interdisziplinarität ein sehr komplexes Gebiet umfasst, ist es relativ wohlstrukturiert.

Ein Hauptziel bei der Vermittlung von OR-Methoden für Studenten wirtschaftswissenschaftlicher Studiengänge ist aus Sicht des Autors der Erwerb von Problemlösungskompetenz, d. h. die Fähigkeit, beim Auftreten realer betrieblicher Aufgabenstellungen geeignete Lösungsansätze aus dem Bereich des OR zu wählen und ggf. zu adaptieren. Der sichere Umgang mit Informationstechnik und den entsprechenden Tools ist sehr wichtig im Hinblick auf die Berufsfähigkeit der

Studierenden. Dieses Ziel wird häufig nicht erreicht, weil die universitäre Grundlagenausbildung in diesem Bereich überwiegend durch theorielastigen Frontalunterricht gekennzeichnet ist.

Die stark mathematische und algorithmische Ausrichtung grundlegender OR-Methoden sowie die mangelnde Anschaulichkeit herkömmlicher Darstellungsformen (z. B. für die Vermittlung von Netzwerkalgorithmen) macht OR für viele Studierende zu einem schwierigen und durch Selbststudium von Fachliteratur schwer erschließbaren Gebiet.

Die große Zahl von Studierenden in den Grundlagenveranstaltungen sowie die sehr unterschiedlichen Vorkenntnisse und Erwartungen machen es praktisch unmöglich, im Frontalunterricht zufrieden stellende Ergebnisse im Hinblick auf die Problemlösungskompetenz zu erzielen. Beispielsweise haben Studierende der Studiengänge Wirtschaftswissenschaften, Wirtschaftsingenieurwesen und Informatik teilweise sehr unterschiedliche Mathematik-Grundlagenveranstaltungen besucht und damit unterschiedliche Voraussetzungen zum Verständnis des Lehrstoffs.

#### *2.4.2 Domänenspezifische Probleme der Wissensvermittlung und Lösungsansätze*

OR ist eine anwendungsorientierte Wissenschaft. Neben der theoretischen Fundierung der Methoden, stehen daher insbesondere praktische Anwendungen im Vordergrund, die häufig Größenordnungen aufweisen, die mit den klassischen Algorithmen nicht oder nicht in polynomineller Zeit berechnet und gelöst werden können.

Ein Problem für Studenten besteht darin, das erworbene Wissen über Methoden des OR auf reale Problemstellungen zu übertragen. Sie haben träges Wissen generiert, das nicht kontextuell verankert ist. Die Thematik des trägen Wissens wurde bereits in Abschnitt 2.2.1.5 behandelt. Im Bereich OR/MS tritt das Problem offen zu Tage. So zeigt sich in der Lehre immer wieder, dass bei Textaufgaben, in denen eine Problemstellung klar definiert ist, Studenten das erworbene Wissen anwenden und die Aufgabe lösen können. Bei einer realen Problemstellung hingegen, bei der erst die Klasse des Problems isoliert und erkannt werden muss, um die Lösung zu finden scheitern viele Studierende. [Niegemann et al. 2000] schildern gute Erfolge bei der fallbasierten Vermittlung von strukturellem Wissen im Bereich der Kostenrechnung. „Dieses strukturelle Wissen ist jedoch erforderlich, wenn die Auszubildenden befähigt werden sollen (a) wichtige betriebswirtschaftliche Entscheidungen zu verstehen und (b) später selbst entsprechende Entscheidungen zu treffen“ [Niegemann et al. 2000, 3].

Der Autor ist der Meinung, dass sich diese Erfahrungen durchaus auf die Domäne des OR/MS übertragen lassen. So besteht ein Ansatz in der Lehre darin, die grundlegenden Methoden des OR/MS in einen Kontext zu setzen und mit Hilfe von Fallstudien („case studies“) zu vermitteln.

Auf diese Weise werden keine isolierten Methoden erlernt, sondern die Methoden werden in einen Kontext gesetzt. So können verschiedene Sichten auf die Thematik generiert werden. Einerseits werden fundamentale Methoden und Algorithmen in eine Situation eingebettet und verankert. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Sichtweisen konstruieren. Studenten lernen nicht nur die Anwendung einer Methode kennen, sondern sie können auch charakteristische Merkmale einer Situation memorieren, in der diese Methode Anwendung findet.

“Case-based teaching” versucht Lerninhalte in der Form von fallbasierten Geschichten zu vermitteln. Der Ansatz geht von der Erfahrung aus, dass Expertenwissen nicht nur theoretisch fundiert ist, sondern auch in Form von Fallbeispielen vorliegt. Informationen, die für das Lösen einer Aufgabe essentiell sind, werden dem Lernenden graduell zur Verfügung gestellt. Der Strukturierungsgrad der Informationen bzgl. der Relevanz für die Aufgabenlösung kann dabei variiert werden. Der Lernende hat somit die Möglichkeit, aus unstrukturierten Informationen die relevanten zu filtern und irrelevante Fakten zu ignorieren. Der Transferprozess auf reale Situation wird somit gefördert. Dieser Ansatz stammt nicht originär von [Schank/Cleary 1995], sondern wird auch bei sog. Fallstudien im OR/MS Bereich praktiziert.

Fallstudien bieten eine hervorragende Möglichkeit praxisrelevantes Wissen zu vermitteln. Darüber hinaus bieten fallbasierte Darstellungen die Möglichkeit, die Grenzen der praktischen Anwendung von Methoden aufzuzeigen. In der Präsenzlehre werden sie im Bereich OR/MS aus diesem Grund oft eingesetzt. Durch die Präsenz eines Lehrenden, der auf Fragen reagieren kann, entsteht auf diese Weise eine hochinteraktive Diskussion zwischen Lernenden und Lehrenden. Die Rolle des Lehrers wird besser durch die eines Moderators beschrieben. Es existiert in einer Fallstudie gewöhnlich nicht eine Musterlösung, sondern viele Wege können zu einer Lösung führen. Als Moderator kann der Lehrende auf Fragen bzw. Ideen der Lernenden reagieren und kann Hilfestellung bei der Lösung des Problems geben. Der Lernende wird aus einer passiven Rezipierhaltung, wie sie in einer traditionellen Vorlesung üblich ist, in eine aktive Position gebracht, in der er seine eigenen Ideen einbringen muss. Diese Position ist für viele Studenten zuerst ungewohnt und die Diskussion verläuft aus diesem Grund zu Beginn schleppend, diese Anfangsschwierigkeiten werden aber in der Regel schnell überwunden.

In einer rein computergestützten Umgebung entfällt der interaktive Part des Moderators, da dieser nicht präsent ist. Die Frage ist jetzt, ob Fallstudien dadurch ihre eigentliche Qualität, wie oben ausgeführt, in einer solchen Umgebung entfalten können. Interaktivität stellt ohne Zweifel einen wesentlichen Bestandteil von Fallstudien dar. In diesem Sinne fließen in einer solchen Fallstudie bzw. deren computergestützten Umsetzung die Architekturen von [Schank/Cleary 1995] zusammen. Durch die Einbettung von Simulationen werden dem Lernenden kognitive Hilfsmittel an die Hand gegeben, mit denen praktische, fallbasierte Problemstellungen exploriert

werden können. Durch die Einbindung interaktiver Komponenten kann der Lernende aktiv die Fallstudie erkunden. [Haehling von Lanzanauer/Trela 2003] stellen Möglichkeiten zur Interaktion in Fallstudien im E-Learning dar.

### *2.4.3 Lernsysteme im Bereich OR/MS - State of the Art*

Es existieren bereits Lernsysteme, die speziell auf die Domäne OR/MS ausgerichtet sind. Diese werden im Folgenden kurz dargestellt und im Hinblick auf das Problemfeld dieser Arbeit betrachtet (2.4.3.1 bis 2.4.3.6). Man kann die vorgestellten Systeme dabei nicht in allen Aspekten miteinander vergleichen, da sie sehr unterschiedlich geartet sind. OR-Welt (2.4.3.1) und Mentor (2.4.3.2) stellen umfassende Lernumgebungen dar, wohingegen TutOR (2.4.3.4) nur wenige, ausgewählte Teilbereiche behandelt. Trial-Solution (2.4.3.3) ist explizit auf die Konvertierung von Printmedien in elektronische Form ausgerichtet. Tenor (2.4.3.5) stellt nur die Werkzeuge, um interaktiv Problemstellungen bearbeiten zu können. OR-Objects und Animal dienen vorrangig als Autorenwerkzeug zur Erstellung begleitender Materialien, sie bieten keine Funktionalität über die Erstellung isolierter Komponenten hinaus (2.4.3.6).

#### *2.4.3.1 OR-Welt*

OR-Welt ist eine hypermediale Lernumgebung, deren Inhalte einen großen Teil des an der Universität Paderborn gelehrteten Stoffes im Fachgebiet Operations Research abdecken. Die Inhalte liegen in Deutscher Sprache vor. OR-Welt wurde von 1996 bis 2000 an der Universität Paderborn entwickelt (vgl. [Blumstengel 1998]). Ziel ist es, Studenten dabei zu unterstützen, die Grundlagen des OR zu erlernen. OR-Welt wird als zusätzliches Hilfsmittel zur Unterstützung des Selbststudiums einzelner Studenten oder von Arbeitsgruppen zur Verfügung gestellt. Das System kann sowohl von Anfängern, die sich zum ersten Mal mit der Materie beschäftigen, als auch von Studenten, die mit dem Stoff schon Bekanntschaft gemacht haben, sinnvoll eingesetzt werden (z. B. als Nachschlagewerk oder zur Prüfungsvorbereitung).

In der derzeitigen Fassung bietet OR-Welt eine umfassende Wissensbasis über Methoden des OR sowie Fallstudien. Semantisch zusammenhängende Konzepte werden dabei in einer Buchmetapher auf linear folgenden Seiten zusammengefasst. Die Bücher können als Objekte aufgefasst werden, die aus Objekten kleinerer Granularität zusammengesetzt werden. Die Seiten werden über Hyperlinks nicht-linear verknüpft. Die Granularität der Lernobjekte ist hier durch systemtechnische Bedingungen und nicht semantisch determiniert. Die grundlegende Organisationsform der Wissensbasis ist damit hierarchisch, wird aber durch Hypertextlinks angereichert.

Das System bietet Orientierungshilfen in Form von grafischen Übersichten. Als Navigationshilfsmittel für komplexe Hypermedia-Lernsysteme werden diese Übersichten alleine jedoch als nicht ausreichend bewertet. Guided Tours sollen Orientierungsschwierigkeiten vor allem bei

unerfahrenen Benutzern entgegenwirken. Eine Reihe sinnvoller Touren kann vorgegeben werden, es können jedoch auch zusätzliche Touren vom Benutzer selbst eingerichtet werden. Außerdem wird für die gezielte Suche nach einzelnen Konzepten ein Glossar zusammen mit einer umfangreichen Volltext- und Schlüsselwortsuche angeboten.

Bei vielen typischen Lehrinhalten bieten neue Darstellungsformen, wie z. B. Animationen und interaktive Grafiken, Vorteile bzgl. der Anschaulichkeit und Verständlichkeit der Darstellung. Haupteinsatzgebiet für Animationen in OR-Welt ist die Visualisierung von Abläufen und Algorithmen. Das Framework von OR-Welt wurde auch auf erweiterte Inhalte angewandt. So entstand der Prototyp Winfo-Welt, der Inhalte der Wirtschaftsinformatik darstellt. Durch Winfo-Welt wird die Übertragbarkeit des Entwicklungsmodells auch auf andere Inhalte demonstriert. OR-Welt ist auf Windows Systemen lauffähig und wurde mit dem Autorensystem Asymetrix Toolbook erstellt.

Dem Verfasser dieser Arbeit ist OR-Welt auch aus Entwicklerperspektive gut bekannt, da er an der Entwicklung beteiligt war. OR-Welt weist eine Struktur auf, die die Betrachtung grundlegender semantischer Einheiten als Lernobjekte erlaubt. In diesem Sinne können Lernobjekte verschiedener Granularität und deren Komposition in OR-Welt identifiziert werden. Die Kohäsion des Systems ist jedoch relativ stark ausgeprägt, so dass die Lernobjekte stark mit dem grundlegenden System verwoben sind. Daraus ergeben sich zwei Folgerungen: Erstens lassen sich durch die starke Kohäsion die Lernobjekte in OR-Welt nicht einfach isolieren und in andere Kontexte einsetzen. Selbst aus der Perspektive eines Entwicklers ist dieser Wiederverbenutzungsprozess nicht trivial, da umfangreiche manuelle Änderungen an dem jeweiligen Lernobjekt vorgenommen werden müssen, um es wieder in das Gesamtsystem zu integrieren. Zweitens ist OR-Welt nur als Gesamtsystem lauffähig, d. h. einzelne Lernobjekte können aufgrund der Architektur von OR-Welt nicht herausgelöst werden und z. B. über das WWW verfügbar gemacht werden.

#### 2.4.3.2 *Mentor*

[Mentor 2001] ist eine computergestützte Lernumgebung, die neben einem zentralen Steuerprogramm die Einbindung von sog. Modulen erlaubt. Entwickelt wurde Mentor an der University of Strathclyde, Glasgow. Die Inhalte sowie die Steuerung sind in englischer Sprache abgefasst. Für Mentor sind separate Module zu den Themengebieten Konfliktanalyse, dynamische Programmierung, Forecasting, heuristische Suche, ganzzahlige Programmierung, Einführung in OR, lineare Programmierung, Stochastik und System sowie OR-Methodologie erhältlich.

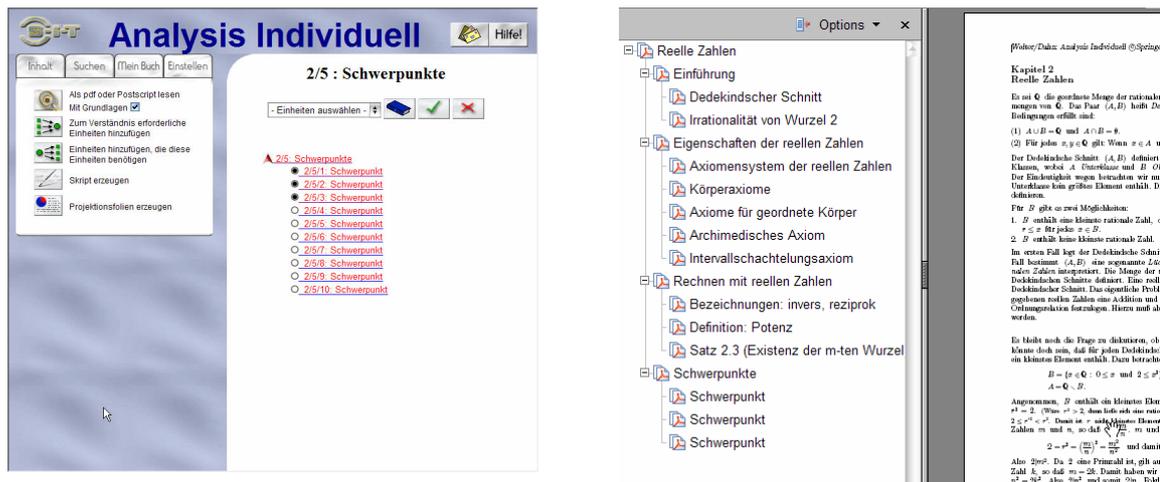
Damit wird OR/MS relativ umfassend abgedeckt. Die Module bestehen aus einer Sammlung von Medien (Texte, Grafiken, Animationen etc.), die in einer seriellen Gliederung vorbereitet sind. Die einzelnen Themen eines Moduls sind teilweise als Hypertexte verbunden und werden jeweils in einem eigenen Fenster dargestellt. Die Führung des Lernenden erfolgt ähnlich zu OR-Welt über eine Buchmetapher.

Auch bei Mentor ist die Isolierung von inhaltlichen Komponenten als Lernobjekte anwendbar. Ähnlich wie bei OR-Welt wird ein steuerndes System um inhaltliche Komponenten erweitert. Diese inhaltlichen Komponenten oder Lernobjekte präsentieren sich als monolithischer Block, es kann mangels Kenntnis der internen Strukturen von Mentor keine Aussage über Isolierung und Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten gemacht werden.

#### 2.4.3.3 *Trial-Solution*

Das EU Projekt Trial-Solution (kurz für: Tools for Reusable, Integrated, Adaptable Learning - Systems/Standards for Open Learning Using Tested, Interoperable Objects and Networking) wurde im 5. Rahmenprogramm der EU initiiert (vgl. dazu auch [Trial-Solution 2003]). Innerhalb dieses Projekts wurde die Slicing Book Technologie entwickelt, mit der Buchtexte in semantische Einheiten zerlegt, teilweise automatisiert durch Metadaten beschrieben und als elektronische Texte über das WWW verfügbar gemacht werden. Fokussiert werden dabei mathematisch orientierte Texte, die mit LaTeX erstellt wurden (vgl. [LaTeX 2003]). Das Pilotprojekt war [Wolter/Dahn 2000], an dem die Slicing Book Technologie erprobt wurde.

Lernende können über das Inhaltsverzeichnis eines Buchs navigieren, spezifische Inhalte selektieren und diese dann als Foliensatz oder PDF Volltext generieren. Darüber hinaus können Lernende sich individuell Einheiten in eigenen Selektionen zusammenstellen. In Abbildung 10 ist die Selektion von Abschnitten und die daraus generierte PDF Präsentation abgebildet.



a) Inhaltsverzeichnis eines Trial-Solution Buchs

b) Generierter PDF Volltext aus der Selektion

Abbildung 10: Trial-Solution - Selektion von Buchabschnitten (Quelle: Eigene Darstellung)

Trial-Solution setzt bereits eine explizite Aufteilung von Lernmaterialien in Lernobjekte um. Dabei beschränkt sich Trial-Solution auf die Zerlegung existierender, naturgemäß statischer Manuskripte. Da nur statische Texte zur Aufteilung betrachtet werden, ist die derzeitige Anwendung von Trial-Solution für E-Learning Zwecke nicht der primäre Fokus. [Dahn 2001] erkennt aber bereits an: „Given sliced books and modular computer based training systems, a fruitful symbiosis may be possible in the future“.

#### 2.4.3.4 TutOR

[TutOR 1999] ist eine Sammlung von Inhalten zu den Themenbereichen Lineare Algebra, Lineare Programmierung, ganzzahlige Programmierung, dynamische Programmierung sowie anderen Teilbereichen. Die Module sind dabei relativ isoliert, weisen keine bzw. sehr wenige Verknüpfungen untereinander auf und werden über eine WWW Seite in Form einer Liste präsentiert. Die Inhalte liegen in englischer Sprache vor.

Aufgrund der Lösung von proprietären Formaten und Fokussierung auf WWW Technologien lassen sich bei TutOR bereits potenzielle Lernobjekte identifizieren. Es scheint allerdings keine steuernde Anwendung für die Aufbereitung der Lernobjekte verantwortlich zu sein, vielmehr macht Tenor den Eindruck, dass hier durch manuelle Verknüpfungen Ressourcen zusammengefügt wurden. Die strukturellen Zusammenhänge sind damit nur implizit vorhanden und können nicht systematisch für eine Wiederbenutzung von Lernobjekten genutzt werden.

#### 2.4.3.5 Tenor

Tenor (Tutorial Environment for Operations Research) stellt im Sinne dieser Arbeit keine Lernumgebung bereit, sondern vielmehr Einzelkomponenten, die in sich geschlossen sind und als aus-

föhrbare Programme auf Windows Rechnern benutzt werden können. Das Ziel der Autoren ist es, hochinteraktive Komponenten bereitzustellen, die es dem Lernenden ermöglichen „... Verfahren schrittweise mit verschiedenen Detaillierungsstufen ablaufen zu lassen und Zwischenergebnisse zu betrachten. Außerdem soll die Möglichkeit bestehen in den Verfahrensablauf einzugreifen, um Auswirkungen von Änderungen in der Verfahrensspezifikation zu untersuchen“ [Tenor 2003].

Die folgenden Komponenten stehen zur Verfügung:

- BABE: Branch- and Bound-Verfahren
- GRAPPA: Graphentheorie
- LINO: Lineare Optimierung
- TABS: Tabu Search
- TSP: Heuristiken zum Traveling Salesman Problem
- WASI: Warteschlangentheorie und Simulation

Tenor legt den Schwerpunkt auf die Bereitstellung interaktiver Komponenten. Bei Tenor können einzelne Lernobjekte klar identifiziert werden. Diese sind allerdings nur als einzeln stehende Werkzeuge verfügbar, die keinen integrierenden Rahmen aufweisen.

#### 2.4.3.6 *Andere*

Neben den oben angeführten Systemen und Werkzeugen existieren noch weitere Systeme, die im Bereich OR eingesetzt werden. Hier seien exemplarisch nur einige Systeme aufgeführt.

[Informs RP 2003] bietet eine umfangreiche Sammlung von Verknüpfungen zu weiterführenden Quellen. Es handelt sich hierbei allerdings um eine Auflistung OR relevanter Ressource aus allen Bereichen, also mehr um eine allgemeine Sammlung von Links, denn um spezielle Lernmaterialien.

[OR-Objects 2003] ist eine Sammlung von Programmklassen, die speziell auf die Erstellung von Programmen für den Bereich OR/MS ausgerichtet sind. Die Klassen liegen in der Sprache JAVA vor und decken u. a. die Bereiche lineare Programmierung, Graphprobleme, Regressionen etc. ab. Damit ist OR-Objects eher als Baukasten zur Erstellung von Programmen geeignet, denn als Lernsoftware.

In die gleiche Kategorie fällt das Paket [Animal 2001]. Animal ist ein allgemeines Visualisierungswerkzeug mit dem Fokus auf Visualisierung von Algorithmen. [Animal Opt 2001] zeigt dabei einige Beispiele für Visualisierungen aus dem Bereich OR/MS. Der Schwerpunkt der Beispiele liegt

auf dem Branch- and Bound-Algorithmus. Auch Animal ist vorrangig zur Erstellung von Animationen geeignet, die in einen größeren Kontext eingebettet werden müssen.

## 2.5 Zusammenfassung

Ziel dieses Kapitels war es, das Problemfeld der vorliegenden Arbeit abzugrenzen und im Rahmen der Abgrenzung einen Überblick über den state of the art im Forschungsfokus der Arbeit zu geben. Motivationsmoment für die Arbeit ist das lebenslange Lernen (2.1), das mit der Notwendigkeit zu einer effizienten Unterstützung durch IT einhergeht. Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Ausführungen wurden zunächst einige wichtige lernpsychologische Grundlagen gelegt (2.2). Die eigentliche Abgrenzung und Analyse des Problemfelds erfolgte danach in zwei Schritten. Im ersten Schritt wurde der Begriff des E-Learning systematisiert (2.3), wobei als wesentliche Eckpfeiler der Lernprozess zur Wissensvermittlung (2.3.1), die hypermedialen Lernsysteme zur IT-Unterstützung des Lernprozesses (2.3.3) sowie die Lernobjekte als Bestandteile der zu vermittelnden Wissensbasis (2.3.4 und 2.3.5) herausgearbeitet wurden. Im zweiten Schritt wurde dann Bezug nehmend auf diese Eckpfeiler das Problemfeld auf die in der Arbeit betrachtete Anwendungsdomäne des OR/MS fokussiert (2.4). Dabei wurde insbesondere der state of the art im abgegrenzten Problemfeld dargestellt, indem bestehende Lernsysteme für OR/MS und deren Konzeptionen vergleichend gegenübergestellt wurden. Die dabei identifizierten Defizite werden im folgenden Abschnitt nochmals pointiert zusammengefasst und dienen als Basis für die Konkretisierung der Zielsetzung der vorliegenden Forschungsarbeit.

## 3 Defizitanalyse und daraus resultierende Ziele der Arbeit

*Inmitten von Schwierigkeiten liegen günstige Gelegenheiten.*

*Albert Einstein*

Die Abgrenzung der Problemstellung in Kapitel 2 hat bereits die Vielschichtigkeit der relevanten Aspekte des Problemfelds aufgezeigt. Bei der Beschreibung der einzelnen Aspekte wurden die jeweiligen Defizite herausgearbeitet. In diesem Kapitel werden die bestehenden Defizite von Lernsystemen im Bereich OR/MS nochmals zusammengefasst und konkretisiert (3.1). Aus der Analyse der Defizite werden dann im Abschnitt 3.2 systematisch die Ziele der Arbeit entwickelt. Die Vorgehensweise zur Umsetzung der Ziele und der Aufbau der Arbeit schließen sich an (3.3).

### 3.1 Defizite

Die Lernsysteme, die zurzeit im Bereich OR/MS zur Verfügung stehen (siehe 2.4.2) basieren zum Großteil auf proprietären Formaten, die eng an bestimmte Technologien gekoppelt sind. Die Spannbreite reicht dabei von proprietären Formaten wie Asymetrix Toolbook, über HTML Seiten bis hin zu plattformgebundenen Anwendungen. Nur wenige Lernsysteme bieten eine umfassende Integration von Inhalten in ein Rahmensystem, andere bieten nur punktuelle Angebote ohne begleitende Einbettung. In den gesichteten Lernsystemen werden Lernmaterialien verschiedener Medialitäten in variierenden technischen Formaten präsentiert. Medial aufbereitete Inhalte werden dem Lernenden zur Verfügung gestellt, allerdings stets beschränkt auf das jeweilige System. Die Begründung dafür liegt darin, dass die Systeme nicht WWW-basiert sind (Ausnahme TutOR) und so keine etablierten Verknüpfungsmechanismen außerhalb des Systems selbst zur Verfügung stehen. Selbst bei den WWW-basierten Systemen wie Tutor (siehe 2.4.3.4) sind nur untypisierte, unidirektionale Verweise möglich, die die Sprache HTML bietet. Die Vielzahl vorzufindender sprachlicher Dialekte, die zur Kodierung von Lernobjekten verwendet werden, sowie die große Anzahl verschiedener technischer Formate, mit Hilfe derer die Verwaltung von Lernobjekten erfolgt, stellt somit einen ersten wesentlichen Hinderungsgrund für die mangelnde Interoperabilität und die fehlende Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten dar.

Wendet man sich von der technischen Sichtweise ab hin zu strukturellen Aspekten, so ist festzustellen, dass die betrachteten Lernsysteme für OR/MS erhebliche Mängel hinsichtlich der Strukturierung und Systematisierung der in ihnen enthaltenen Lernobjekte aufweisen. Betrachtet man dabei die Ebene des einzelnen Lernobjekts, so stellt sich zuerst die Frage danach, welche Entitäten überhaupt Lernobjekte darstellen. Lernelemente in den verschiedenen Systemen weisen

unterschiedliche Umfänge, Größen und mediale Formate auf, die sich nicht ohne weiteres in eine selbsterklärende Struktur einordnen lassen. Um strukturelle Beziehungen zwischen Lernobjekten festlegen zu können und damit eindeutige Regeln für die Komposition und Dekomposition von Lernobjekten determinieren zu können, ist eine größenspezifische Strukturierung von Lernobjekten unabdingbar.

Die gerade beschriebenen Defizite sind in erster Linie auf der Ebene einzelner Lernobjekte anzusiedeln. Eine Systematisierung von Lernobjekten und deren Beziehungen untereinander nach größenspezifischen Gesichtspunkten ist domänenunabhängig anwendbar, d. h. nicht direkt abhängig von den Inhalten der verwendeten Domäne.

Für eine Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten wären jedoch auch inhaltliche und sachlogische Systematisierungsaspekte erforderlich. Für den Bereich OR/MS bestehen bereits Klassifizierungsansätze, diese weisen jedoch das Manko auf, dass sie größtenteils rein hierarchisch organisiert und darüber hinaus einer direkten Nutzung für Lernobjekte nicht zugänglich sind. Um eine optimale Wiederverwendbarkeit zu gewährleisten, ist eine formalisierte Strukturierung der Domäne und eine Zuordnung der Lernobjekte zu dieser Struktur notwendig. Betrachtet man die bestehenden Lernsysteme für OR/MS unter diesem Gesichtspunkt, so kann man konstatieren, dass einheitliche sachlogische Strukturierungen nicht existent sind, respektive Verwendung finden.

Um die Strukturierung von Lernobjekten sowohl nach größenspezifischen als auch sachlogischen Aspekten abbilden zu können, ohne dabei die Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit aus dem Blick zu verlieren, sind standardisierte Beschreibungsschemata erforderlich. Die Analyse der bestehenden Lernsysteme hat ergeben, dass hier nur rudimentäre Ansätze existieren (Verschlagwortung bei OR-Welt), die diesen Anforderungen jedoch nicht gewachsen sind. Zusammengefasst stellt der Mangel an standardisierten Beschreibungen von Lernobjekten ein erhebliches Defizit für die Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten dar. Alle Beteiligten innerhalb eines E-Learning Systems - Entwickler, Lehrende und Lernende - würden von einer Standardisierung von Lernobjekten profitieren. Für Entwickler ergeben sich durch die Standardisierung kürzere Entwicklungszyklen, die Entwicklung von Lernobjekten wird einfacher. Lehrende können zur Erstellung von Lerneinheiten auf einen Baukasten von Lernobjekten zurückgreifen. Lernende können systematisch und effizient Lernobjekte nach Themengebieten durchsuchen. Die Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten ist also aus mehreren Gesichtspunkten wünschenswert, wobei primär der ökonomische Aspekt zu nennen ist.

Die mangelnde standardisierte Beschreibung von Lernobjekten geht direkt mit der fehlenden Unterstützung von Multilingualität einher. Multilingualität bezeichnet die Eigenschaft von

Systemen, Inhalte in mehreren Sprachen zu transportieren. Lerninhalte sind typischerweise lokalisiert, d. h. sie werden in einer spezifischen Sprache verfasst. Die Sprache wird entsprechend dem avisierten Publikum gewählt. Die Implementierung der Sprache für Lernobjekte und deren Beschreibungen ist oft inflexibel und nicht auswechselbar. In einem globalen Bildungsmarkt ist diese Vorgehensweise als nicht mehr adäquat zu bezeichnen. Typischerweise sollte gerade die Beschreibung multilingual gewählt werden können, um Lernobjekte einem möglichst breiten Publikum zugänglich zu machen. Die betrachteten Systeme weisen keine bzw. nur wenige Mechanismen auf, um multilinguale Lernobjekte handhabbar zu machen.

Die in diesem Abschnitt dargestellten Defizite machen deutlich, dass standardisierte Schemata für die Beschreibung von Lernobjekten erhebliche positive Implikationen auf die Interoperabilität, die Wiederverwendbarkeit und damit die Kosten-Nutzenrelationen bei der Erstellung und Verwendung von Lernobjekten hätten. Aus diesem Defizit wird im kommenden Abschnitt systematisch die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit entwickelt.

### **3.2 Ziele der Arbeit**

Eine erste Definition für das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit wurde bereits im Kapitel 1 gegeben. Die im vorherigen Abschnitt herausgearbeiteten Defizite berücksichtigend, wird das Ziel nun wie folgt konkretisiert: Im Rahmen der Arbeit soll ein Beschreibungsschema für die Strukturierung von Lernobjekten in der Domäne OR/MS konzipiert werden, das sowohl größen-spezifische als auch sachlogische Zusammenhänge berücksichtigt. Zur Validierung des entwickelten Konzepts soll dieses informationstechnisch realisiert und in ein hypermediales Lernsystem eingebettet werden.

Bei der Entwicklung des Konzepts ist sicherzustellen, dass die verwendeten Technologien der geforderten Interoperabilität von Lernobjekten nicht im Wege stehen, sondern diese unterstützen. Lernobjekte bilden als einzelne Entitäten in ihrer Gesamtheit die Wissensbasis, die im Rahmen eines Lernprozesses vom Lernenden durchsucht und verarbeitet wird. Strukturelle Orientierungshilfen sind dabei von entscheidender Bedeutung, um der Gefahr der Informationsüberflutung und Desorientierung von vornherein entgegen zu treten. Das Konzept soll dabei einerseits größen-spezifische, im Sinne granularer Ordnungsaspekte sowie sachlogische, im Sinne ontologischer Ordnungsaspekte berücksichtigen. Zur weiteren Gewährleistung der Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit sind darüber hinaus hohe Ansprüche an die Kodierung der Lernobjekte zu stellen. Einerseits ist dabei sicherzustellen, dass bestehende technologische Standards berücksichtigt werden, andererseits ist die Fähigkeit der semantischen Auszeichnung bei der Kodierung unabdingbar. Um die beschriebenen Defizite im Bereich der Multilingualität

zu kompensieren, muss das gewählte Beschreibungsschema die Möglichkeit zur Beschreibung der Lernobjekte in mehreren Sprachen explizit vorsehen.

Das zu entwickelnde Konzept hat naturgemäß einen abstrakten Charakter. Zur Validierung dieses Konzepts soll es daher informationstechnisch realisiert und in ein hypermediales Lernsystem eingebettet werden. Die Entwicklung des Lernsystems selbst folgt dabei dem state of the art, wie er in Abschnitt 2.4.3 beschrieben wurde. Um die Wirkweise des entwickelten Konzepts fassbar zu machen, muss das Lernsystem über Komponenten verfügen, die die Manipulation der Wissensbasis aus Sicht des Lehrenden und das effiziente Durchsuchen der Wissensbasis aus Sicht des Lernenden demonstrieren. Spezifische Gesichtspunkte, die sich aus der betrachteten Domäne des OR/MS ableiten lassen, sollen auch bei der Entwicklung dieser Komponenten berücksichtigt werden. Hierbei handelt es sich insbesondere um Elemente, die die in Abschnitt 2.4.2 dargestellten Probleme bei der Wissensvermittlung in dieser Domäne reduzieren.

Im folgenden Abschnitt wird das Vorgehen dargestellt, mit dem systematisch diese vorformulierten Ziele der vorliegenden Arbeit erreicht werden sollen.

### **3.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit**

Zur Erreichung der gestellten Ziele dieser Arbeit werden in einem ersten Schritt die relevanten Bausteine für die Gestaltung der Wissensbasis eines hypermedialen Lernsystems für OR/MS identifiziert und näher betrachtet (Kapitel 4). Lernobjekte transportieren die Inhalte der Wissensbasis und werden unter dem Aspekt der Wiederverwendbarkeit insbesondere mit Bezug auf mögliche Kodierungsformen analysiert (Abschnitt 4.1). Die strukturelle und inhaltliche Beschreibung von Lernobjekten kann mit Metadaten erfolgen. Um die Interoperabilität von Lernobjekten zu gewährleisten, muss das Metadatenschema in der Lage sein, inhaltliche Ausprägungen spezifisch für Lernobjekte abzubilden. In Abschnitt 4.2 werden bestehende Metadatenschemata für Lernobjekte gesichtet und ein probates Metadatenschema selektiert. Die Abbildung der sachlogischen Struktur von Lernobjekten ist stark domänenabhängig und erfordert eine explizite Modellierung einer Wissensdomäne. Ontologien werden in der Literatur als geeignete Methode angesehen, die Struktur einer Domäne zu explizieren. Die grundlegenden Konstrukte einer Ontologie werden in Abschnitt 4.3 dargestellt. Die Unterstützung von Multilingualität sowohl für Lernobjekte als auch für die beschreibenden Metadaten ist ausdrücklich Bestandteil der Ziele. Die relevanten Mechanismen, um Multilingualität zu ermöglichen werden in Abschnitt 4.4 analysiert.

Aufbauend auf den Bausteinen für die Gestaltung der Wissensbasis werden diese im zweiten Schritt zu einem integrativen Konzept kombiniert (Kapitel 5). Dieses Kapitel stellt den theoretischen Hauptteil der Forschungsarbeit dar. Die konkrete Ausgestaltung der semantischen Kodierung von Lernobjekten wird mit Bezug auf die spezifischen Anforderungen der Domäne

OR/MS analysiert und anhand des Beispiels von Fallstudien deutlich gemacht (Abschnitt 5.1). Zur Systematisierung von Lernobjekten in der größenspezifischen Dimension werden granulare Ordnungsaspekte aufgestellt. Die daraus abgeleitete Klassifizierung von Lernobjekten in Granularitäten wird mit Bezugnahme auf die Wiederverwendbarkeit analysiert und durch die Definition valider Kompositionsregeln für Lernobjekte verfeinert (Abschnitt 5.2). Die resultierende Systematik der Granularitäten und valider Kombinationsmöglichkeiten von Lernobjekten liefert den Bezugsrahmen für deren spätere Wiederverwendung. Die Systematisierung von Lernobjekten in sachlogischer Dimension erfolgt in Abschnitt 5.3. Hier wird spezifisch für die relevante Domäne OR/MS eine Abbildung der Wissensstrukturen der Domäne modelliert und in expliziter Form einer Ontologie abgebildet. Die Zuordnung sowohl in granularer als auch sachlogischer Dimension von Lernobjekten wird in Metadaten zu diesen notiert. Metadaten führen beide Systematisierungsmerkmale kombiniert mit einer detaillierten, multilingualen Beschreibung der Lernobjekte zusammen und dienen damit als zentrale Informationsquelle über die Wissensbasis. In Abschnitt 5.4 wird das selektierte konzeptionelle Metadatenschema für die spätere Umsetzung des Konzepts operationalisiert. Die Integration der bisher entwickelten Einzelkonzepte Kodierung, granulare und sachlogische Systematisierung und die Beschreibung von Lernobjekten durch Metadaten zu einem Gesamtkonzept erfolgt in Abschnitt 5.5. Das resultierende Ergebnis ist ein integratives Konzept, das als theoretische Grundlage für die Implementierung eines hypermedialen Lernsystems zu OR/MS dient.

Das entwickelte Konzept wird in einem dritten Schritt informationstechnisch umgesetzt (Kapitel 6). Die Implementierung des hypermedialen Lernsystems für OR/MS stellt den praktischen Hauptteil der Arbeit dar und soll die abstrakte Konzeption greifbar umsetzen. Die Formulierung konkreter Anforderungen an das System ist Voraussetzung für eine systematische Implementierung (Abschnitt 6.1). Eine Implementierung muss notwendigerweise die relevanten Objekte der Wissensbasis, Werkzeuge für die Manipulation der Wissensbasis sowie Werkzeuge für die Präsentation der Wissensbasis bereitstellen. In Abschnitt 6.2 wird ein Architekturreferenzmodell betrachtet, in das die Werkzeuge anforderungsgerecht zu einer Gesamtarchitektur eingeordnet werden. Ausgehend von der Gesamtarchitektur werden die relevanten Objekte und die Werkzeuge näher betrachtet. Da Lernobjekte die Wissensbasis formen, stellen sie relevante Objekte dar. Die Erstellung semantisch kodierter Lernobjekte sowie repräsentative Beispiele für Lernobjekte werden in Abschnitt 6.3 vorgestellt. Die Systematisierung und Beschreibung der Lernobjekte erfolgt gemäß dem Konzept mit Hilfe von Metadaten. Die persistente Ablage der Metadaten und damit der Beschreibung der Wissensbasis wird in Abschnitt 6.4 erläutert. Das Werkzeug zur Manipulation der Metadaten muss die abstrakte Wissensbasis greifbar machen. Die Konstruktion von Lernobjekten und insbesondere die dabei entstehenden Strukturen müssen Lehrenden möglichst plastisch vor Augen geführt werden, um eine hohen Wiederverwendungs-

grad von Lernobjekten zu erzielen. Zur Erfüllung dieses Ziels werden textuelle und grafische Manipulations- und Navigationsmethoden der Wissensbasis in Abschnitt 6.5 eingeführt. Aus Sicht des Lernenden ist eine entsprechende Visualisierung ebenso notwendig, um einer Desorientierung innerhalb der Wissensbasis vorzubeugen. Neben grafischen Navigationskomponenten werden darüber hinaus effiziente Suchmechanismen und variable Darstellungsformen semantisch kodierter Lernobjekte in Abschnitt 6.6 entwickelt.

In Kapitel 7 wird abschließend eine kritische Würdigung der Ergebnisse der Arbeit gegeben.

## 4 Bausteine für die Gestaltung der Wissensbasis eines hypermedialen Lernsystems für OR/MS

*Eine Reise von tausend Meilen beginnt mit dem ersten Schritt.*

*Laotse*

In diesem Kapitel werden die Bausteine für die Gestaltung der Wissensbasis eines integrativen, hypermedialen Lernsystems für OR/MS gelegt. Aufbauend auf dem Konzept von Lernobjekten, werden Aspekte zu deren Wiederbenutzbarkeit und Kodierung diskutiert (4.1). Ein weiterer wichtiger Aspekt von Lernobjekten stellt deren Interoperabilität dar. In Abschnitt 4.2 werden Metadatenschemata, also konkrete Spezifikationen über den Aufbau von Metadaten eingeführt, die einen wichtigen Beitrag zu diesem Aspekt leisten. Um die sachlogische Strukturierung von Lernobjekten zu ermöglichen, wird in der vorliegenden Arbeit auf das Konzept der Ontologien zurückgegriffen, das in Abschnitt 4.3 erläutert wird. Letztendlich ist die Möglichkeit zur multilingualen Darstellung multimedialer Inhalte in Lernobjekten und Metadaten an gewisse Voraussetzungen gebunden, die in Abschnitt 4.4 behandelt werden. Die wesentlichen konzeptionellen Bausteine werden danach noch einmal kurz resümiert (4.5).

### 4.1 Lernobjekte – Wiederbenutzbarkeit und Kodierungsformen

In diesem Abschnitt werden zunächst relevante Faktoren für die Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten betrachtet (4.1.1) und diese Überlegungen auf die möglichen Kodierungsformen von Lernobjekten übertragen (4.1.2). Ziel ist es dabei, Kodierungsformen für Lernobjekte zu finden, die eine hohe Wiederbenutzbarkeit sicherstellen. Abschnitt 4.1.3 beschreibt die für die betrachtete Domäne relevanten Dokumenttypen, die auf den grundlegenden Kodierungsformen basieren und Lernobjekt repräsentieren.

#### 4.1.1 *Relevante Faktoren für Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten*

Die Erfahrung von [McClelland 2003] wird auf viele Lehrkräfte zutreffen: “Each semester I create Web-based learning experiences for my students by weaving together digital educational resources or learning objects such as videos, images, assessments, simulations, or tutorials. Often I use previously created material, if only I could find it” [McClelland 2003, 107]. Lehrende stellen oft begleitend zu einer Veranstaltung digital vorliegende Materialien, ggf. aus früheren Veranstaltungen neu zusammen. Dabei werden die Materialien neu geordnet, teilweise aktualisiert und durch neue Materialien ergänzt. Diese Tätigkeiten werden i. d. R. manuell ausgeführt, was in einem erheblichen Aufwand resultiert. Darüber hinaus ist die Sammlung an Material in den meisten

Fällen begrenzt auf die, die dem jeweiligen Autor zur Verfügung stehen. Es findet keine gemeinsame Benutzung, kein Teilen von Materialien zwischen mehreren Autoren statt.

Das Wissen über die Inhalte, Ablage und Verknüpfungsmöglichkeiten von Materialien ist i. d. R. implizit vorhanden. Aufgrund der fehlenden expliziten Strukturierung findet keine Unterstützung des Lehrenden bei dieser Tätigkeit durch ein Werkzeug statt. An dieser Stelle setzt die Idee von Lernobjekten an. Lernobjekte sollen zur Lösung dieser Problematik beitragen, indem sie von der konkreten Ausprägung abstrahieren und alle relevanten Materialien als Lernobjekt subsumieren. Basierend auf der Definition eines Lernobjektes aus Abschnitt 2.3.4 werden im Kontext dieser Arbeit nur digitale Entitäten, die über das WWW adressierbar sind betrachtet. Der Nutzen einer Wiederverwendung von Lernobjekten liegt dabei auf der Hand.

Lehrende können bei wiederbenutzbaren Lernobjekten Lerneinheiten bedarfsgruppenspezifisch zusammenstellen. Im Idealfall werden sie dabei durch ein System unterstützt, das Vorschläge für eine Komposition basierend auf den Angaben des Autors unterbreitet. Die Abstraktion von technischen Spezifika befreit einen i. d. R. Fachexperten davon, sich dieses technische Wissen aneignen zu müssen. Die Erstellung von Lernobjekten ist erstmals mit mehr Aufwand behaftet, da auch Beschreibungen dieser angefertigt werden müssen. Das Teilen und die gemeinsame Verwendung von Lernobjekten führen aber ab einer kritischen Größe zu einem Skaleneffekt, so dass durch die Wiederverwendung die Erstellung von z. B. Kursen bei geringeren Kosten möglich ist. Lernende profitieren ebenfalls von wiederbenutzbaren Lernobjekten. Die erforderliche Beschreibung von Lernobjekten erlaubt eine effektive Suche nach relevanten Lernobjekten. Die Komposition zu Lerneinheiten kann neben Lernenden auch automatisiert von einem System vorgenommen werden. Dabei können spezifische Bedürfnisse des jeweils Lernenden adaptiv berücksichtigt werden. Die erforderliche Vereinheitlichung von Lernobjekten im Sinne einer Abstraktion kommt letztendlich der Entwicklung von Lernobjekten selbst zu Gute. Standardisierte Kodierungsformen für Lernobjekte bieten eine hohe Investitionssicherheit, da unabhängig von spezifischen Produkten Inhalte erstellt werden können, die für eine Vielzahl von Hard- und Softwareplattformen geeignet sind.

Wiederbenutzbarkeit steht bei der Definition von Lernobjekten im Vordergrund. Lernobjekte verursachen einen erhöhten Aufwand, da neben der eigentlichen Erstellung des Lernobjektes dieses noch durch zusätzliche Informationen beschrieben werden muss. Dieser Aufwand ist nur gerechtfertigt, wenn das Lernobjekt potenziell wieder benutzt werden kann.

Die Wiederbenutzbarkeit unterliegt allerdings Einschränkungen durch verschiedene Faktoren. [Hiddink 2000, 4] führt in dem FORMULA-M Modell drei globale Hauptinflussfaktoren bzgl. der Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten ein:

- Zugänglichkeit („accessability“),
- Generizität („genericity“) und
- Gelegenheit („opportunities“).

Die Zugänglichkeit von Lernobjekten ist entscheidend für deren Wiederverwendbarkeit. Voraussetzung für Wiederverwendung ist, dass potenzielle Lernobjekte überhaupt gefunden werden können. Die Möglichkeit Lernobjekte nach spezifischen Merkmalen durchsuchen zu können, kann durch eine adäquate Beschreibung sichergestellt werden. Dabei sollte das Schema, nach dem Merkmale für Lernobjekte erfasst sind, zugänglich und leicht verständlich sein. Metadaten sind ein Weg, um eine solche Beschreibung zu ermöglichen (siehe Abschnitt 4.2). Weiterhin kann die Sprache der Beschreibung relevant für die Zugänglichkeit sein. Unabhängig von der Sprache des Lernobjekts ist generell eine Beschreibung in möglichst vielen Sprachen wünschenswert, um eine hohe Zugänglichkeit zu erreichen (siehe auch Abschnitt 4.4).

Generizität ist ein nicht direkt übersetzbarer Begriff, der aus dem Umfeld objektorientierter Programmiersprachen stammt. Die Idee von Generizität ist es, allgemeine Funktionen zu implementieren, die erst bei der Kompilierung mit passenden Typzuweisungen versehen werden und so generisch anwendbar sind. Übertragen auf Lernobjekte weisen diese eine hohe Generizität auf, wenn der jeweilige Inhalt in anderen Kontexten wieder verwendbar ist. Inhalte, die in verschiedenen Kontexten oder mit unterschiedlichen Schwerpunkten verwendet werden sind wahrscheinlicher wieder benutzbar als solche, die sehr spezifische Sachverhalte behandeln. Bei sehr speziell zugeschnittenen Inhalten kann der Fall auftreten, dass Lerninhalte zu speziell auf einen Kontext, z. B. eine Vorlesung angepasst sind und ohne zusätzliche Erläuterungen eines Lehrenden nicht autark nutzbar sind. Weiterhin sollten Verweise in Lernobjekten auf lokale Institutionen etc. vermieden werden. Dies trifft auch auf die grafische Gestaltung von Lernobjekten zu. Die Verwendung von zahlreichen Logos sowie spezifischen Farbschemata, die die Corporate Identity der Institution darstellen, schränken die Generizität eines Lernobjekts ein. Im Idealfall können diese optischen Gestaltungselemente variabel für das Lernobjekt ausgetauscht werden, ohne Änderungen am Lernobjekt selbst vornehmen zu müssen.

Legale Aspekte können ebenfalls einschränkend wirken. Produzenten von Lernmaterialien haben natürlich ein vitales Interesse daran, die Nutzer dieser an den Herstellungskosten partizipieren zu lassen. Die Wiederbenutzbarkeit würde dabei durch leicht in Anwendungen zu integrierende Abrechnungsmethoden gefördert werden. [Hiddink 2001] konstatiert: „Currently, e-commerce technology is not sufficiently integrated into everyday online life to permit institutions to easily pay for reused materials; this makes it more difficult to reuse non-free materials“ [Hiddink 2001, 300]. Selbst bei frei zugänglichen Ressourcen tritt das Problem der Verknüpfung auf (das „Kopieren“ fremder Ressourcen sollte selbstverständlich keine Option sein). Durch die fehlende

Kontrolle über das Ziel des Links kann letztlich nicht sichergestellt werden, dass die Verfügbarkeit bzw. die Integrität der verlinkten Komponente gewahrt bleibt.

Letztlich stößt die Wiederbenutzbarkeit auch auf technische Hindernisse. Um ein Lernobjekt überhaupt wiederbenutzen zu können, muss dessen Existenz erst bekannt sein. Autoren, die Lernobjekte wiederbenutzen möchten, haben diese nicht notwendigerweise selbst verfasst und damit Kenntnis von diesen. Die Suchmöglichkeiten im WWW heute überfluten den Benutzer geradezu mit irrelevanten Ergebnissen. Darüber hinaus sind heutige Suchmaschinen hauptsächlich in der Lage, textbasierte Dokumente zu indizieren; multimediales Material ist davon in der Regel ausgeschlossen. Bilder, Simulationen, Audiodateien, deren Datenformate nicht indiziert werden können, werden von Suchmaschinen nicht erfasst. Metadaten bieten einen Ausweg aus diesem Dilemma.

Lernobjekte sind prinzipiell in beliebiger Form kodierbar, d. h. die Betrachtungsweise als Lernobjekt abstrahiert von der konkreten Instantiierung in einem spezifischen Format. Unabhängig davon, ob proprietäre Technologien, wie z. B. Asymetrix Toolbook, Macromedia Director etc. oder plattformunabhängige Technologien wie z. B. HTML, XML oder JAVA eingesetzt werden, werden die resultierenden Lernmaterialien als Lernobjekt betrachtet.

#### *4.1.2 Kodierungsformen von Lernobjekten*

In dieser Arbeit werden Lernobjekte betrachtet, die über das WWW als Emissionsmedium übertragen werden. Die genuine Kodierung von Dokumenten im WWW ist HTML, der nahe liegende Weg zur Formulierung von Lernobjekten mit hoher Integration in den Browser scheint die Verwendung von HTML zu sein. Diese Kodierung führt jedoch einige Nachteile mit sich, die noch näher erläutert werden. Im Folgenden wird eine Systematisierung der sog. Auszeichnungssprachen vorgenommen, indem zunächst das Markup-Prinzip anhand der Metasprache SGML und HTML als einer ihrer Anwendungen erläutert wird (4.1.2.1). Neben HTML hat sich besonders XML als formatunabhängige Metasprache in der WWW basierten Kodierung von Lernobjekten etabliert. Die explizite Kodierung von Strukturen in Lernobjekten wird von XML besser unterstützt, als es HTML möglich ist. Bei XML handelt es sich um eine Weiterentwicklung von SGML, die die strikte Trennung zwischen Inhalt und Struktur vorsieht. Durch die strikte Trennung können prinzipiell beliebige Darstellungsformen von XML Lernobjekten generiert werden. Die dazu notwendigen Transformationen werden durch den begleitenden Standard XSL definiert (4.1.2.2).

##### *4.1.2.1 Auszeichnungssprachen auf Basis des Markup-Prinzips – SGML und HTML*

Der Begriff Markup bezeichnet den Prozess des expliziten Anreicherns des Inhalts von Dokumenten um den Strukturanteil. Die Geschichte reicht dabei bis in die 60er Jahre des 20.

Jahrhunderts zurück. William Tunnicliffe machte 1967 den Vorschlag, eine Trennung zwischen Layout und dem eigentlichen Inhalt eines Dokuments zu vollziehen. Stanley Rice stellte etwa zur gleichen Zeit die Idee eines universellen Katalogs logischer Strukturmarken (sog. „tags“) vor, mit denen Manuskripte markiert werden konnten, um spätere Änderungen des Layouts zu erleichtern. Aufbauend auf diesen grundlegenden Ideen entwickelte Charles Goldfarb für IBM 1969 die „Generalized Markup Language“ (GML), welche syntaktische und semantische Elemente zur formalen Beschreibung von Auszeichnungssprachen bereitstellte.

GML basierte auf den Ideen von Rice und Tunnicliffe, wies allerdings einen wichtigen Unterschied auf: Anstatt die Idee eines einzigen Tag-Schemas weiterzuverfolgen, setzte GML auf das Konzept eines vorher definierbaren Dokumententyps und einer explizit eingebetteten Elementstruktur. Darauf aufbauend wurde in Abstimmung mit der International Organization for Standardization (ISO) ein Entwurf von Standardized General Markup Language (SGML) entwickelt, der 1986 als [ISO8879 1986] veröffentlicht wurde.

### *SGML*

SGML stellt Mechanismen bereit, mit denen die Struktur von Dokumenten beschrieben werden kann. Ein Dokument wird dabei nicht typographisch, sondern rein strukturell definiert, so dass es unabhängig von der weiteren Verwendung und Darstellung durch die verschiedenen Textelemente charakterisiert wird. Die Strukturdefinition eines Dokumententyps erfolgt in einer „Document Type Definition“ (DTD), welche Informationen über den Aufbau eines Dokuments eines spezifischen Typs enthält. In der DTD wird festgelegt, welche Elemente ein solches Dokument enthalten darf bzw. muss und in welcher Reihenfolge diese erscheinen dürfen. Ein konkretes Dokument wird dabei als Instanz bezeichnet. Es besteht zum einen aus den in der jeweiligen DTD definierten Strukturelementen und zum anderen aus dem eigentlichen Inhalt. Die Elemente beschreiben dabei nur, um welche Art von Information es sich handelt und nicht, wie diese darzustellen ist. Damit ist SGML eine Metasprache, mit der spezifische Anwendungen definiert werden können. Die wohl bekannteste konkrete Anwendung von SGML ist HTML. Alle bisherigen HTML-Versionen wurden in SGML definiert. Der Mächtigkeit und Funktionsvielfalt von SGML steht deren Komplexität gegenüber, welche die Erstellung von darauf basierenden Anwendungen kompliziert und teuer macht. SGML hat sich als Anwendung auf breiter Basis nie durchsetzen können. Aus diesem Grund wird SGML hier nicht näher behandelt. Dennoch wurde SGML zur Spezifikation von HTML und von der Funktionalität gesehen als Vorlage für XML verwendet.

## HTML

Der Erfolg des WWW beruht weitestgehend auf der Tatsache, dass die beschreibende Sprache HTML sehr einfach strukturiert ist. Jeder ist eigentlich in der Lage, HTML kodierte Dokumente für das WWW zu erstellen. Dokumente werden mit einem fest definierten Satz von Tags beschrieben. Die einzelnen Elemente eines Dokuments werden durch die Tags spezifiziert, wobei jedes Element durch ein <Anfang Tag> begonnen und durch ein </Ende Tag> abgeschlossen wird. Dieser Prozess der Anreicherung eines Dokuments durch Tags wird als Markup bezeichnet.

<i>Document Type Definition</i>	<code>&lt;!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.0 //EN"&gt;</code>
<i>Beginn HTML</i>	<code>&lt;html&gt;</code>
<i>Head: Dokument- informationen</i>	<code>&lt;head&gt;   &lt;title&gt;Kontakt: Stephan Kassanke&lt;/title&gt;   &lt;meta name="author" content="Stephan Kassanke"&gt; &lt;/head&gt;</code>
<i>Body: Eigentliches Dokument</i>	<code>&lt;body&gt;   &lt;h1&gt;Operations Research&lt;/h1&gt;   &lt;p&gt;Eine Einführung in OR ...&lt;/p&gt;   &lt;p&gt;...&lt;/p&gt; &lt;/body&gt;</code>
<i>Ende HTML</i>	<code>&lt;/html&gt;</code>

Abbildung 11: Aufbau eines HTML Dokuments (Quelle: Eigene Darstellung)

HTML ist als Sprache zwar vom World Wide Web Konsortium (W3C) syntaktisch standardisiert ist, hinkt aber in der Praxis auf Grund der geschichtlichen Entwicklung diesem Anspruch weit hinterher. Die Mehrzahl der HTML Dokumente, die im WWW verfügbar sind, sind nicht vollständig syntaktisch korrekt.

Mit der ersten Fokussierung auf der Publikation von wissenschaftlichen Dokumenten in den ersten Versionen von HTML erfolgte eine zunehmende Ausweitung auf andere Verwendungen. Besonders im kommerziellen Bereich lag und liegt der Fokus eher auf darstellerischen Elementen, d. h. Aspekte wie farbliche Darstellung, genaue Positionierung von Elementen etc. treten in den Vordergrund. Proprietäre Erweiterungen wurden von Microsoft und Netscape eingeführt, die jeweils nur von den eigenen Browsern Internet Explorer bzw. Netscape Navigator interpretiert werden. HTML war ursprünglich dazu ausgelegt, nur die Struktur von Dokumenten zu beschreiben. Im Gegensatz zu dieser Grundintention wird HTML heute hauptsächlich dazu benutzt, den Satz eines Dokuments, d. h. wie das Dokument dargestellt wird, festzulegen. „However, the markup language that is used to build these pages, HTML, has become very layout-oriented since its inception“ [Hiddink 2001, 304]. Die Fokussierung auf darstellende Elemente weicht erheblich von der Grundkonzeption der Sprache ab, die die Struktur von Dokumenten spezifizieren sollte und gerade nicht Einfluss auf das Layout nehmen sollte. HTML

ist sehr stark auf rein darstellende Merkmale ausgerichtet und stellt zu wenige Mechanismen bereit, die die semantischen Eigenschaften von Dokumenten beschreiben.

Die Folge ist, dass Suchmaschinen lediglich in der Lage sind, die Volltexte von Dokumenten bzw. Lernobjekten zu indexieren. Benutzer ertrinken geradezu in der Informationsflut bzw. sind nicht in der Lage, alle im WWW bereit gestellten Informationen zu nutzen. [Rusch-Feja 1997] führt aus, dass eine Recherche mit Suchmaschinen eine sehr große Anzahl an Treffern liefern kann. Die Anzahl der Dokumente, die davon aber „... für den Zweck der wissenschaftlichen Suche und in dem Niveau des gewünschten Informationsgehaltes ...“ geeignet sind, eher gering ist. Bei sehr spezifischen Fragen kann dieses Verhältnis nach [Rusch-Feja 1997] lediglich 5% bis hin zu 0,005% der gesamten Menge an Dokumenten betragen.

Eine wichtige Implikation dieser Entwicklung ist, dass HTML nicht oder wenn, dann nur sehr beschränkt dazu geeignet ist, die Semantik von Dokumenten abzubilden. Dieses Problem ist prinzipiell bedingt, da HTML nicht erweiterbar ist und damit nur einen Dokumenttyp darstellen kann. Durch die fest definierte Menge an Tags können keine anwendungsspezifischen Informationen deklariert werden. Lediglich die vorgegebenen Strukturierungsmöglichkeiten von HTML können benutzt werden, um Inhalte mit Semantik zu versehen. Im folgenden Beispiel wird die beschreibende Seite des Autors mit Kontaktinformationen am Lehrstuhl DS & OR Lab der Universität Paderborn verwendet.

The screenshot shows a web page for Stephan Kassanke. The header includes 'DS & OR Home' and 'Mitarbeiter Ehemalige'. The main content area displays 'Stephan Kassanke' with a link to 'Seite im Frame anzeigen'. Below this is 'Dipl. Wirt. Inform. Stephan Kassanke' and 'Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl DS&OR'. A photo of Stephan Kassanke is shown next to his contact information: 'Sprechstunde: n.v.', 'Raum: N5.125', 'Telefon: (+49) 5251 60 24 16', 'Fax: (+49) 5251 60 3542', 'Email: [skassank@notes.upb.de](mailto:skassank@notes.upb.de)', and 'Anschrift: DS&OR Lab, Universität Paderborn, Warburger Str. 100, 33098 Paderborn'. The 'Homepage' is listed as <http://www.kassanke.de>. A sidebar on the left contains navigation buttons for 'Menschen', 'Aktuelles', 'Forschung', 'Lehre', 'Kooperationen', 'PR', and 'Material'. The footer shows 'Stand: 27.08.2001' and a search box.

Abbildung 12: Kontaktseite von Stephan Kassanke am DS&OR Lab, Universität Paderborn (Quelle: Eigene Darstellung)

Dieses noch recht allgemeine Beispiel macht bereits deutlich, dass die Informationsrepräsentation spezifischer Anwendungen durch HTML nur unvollständig gewährleistet werden kann. Die

Informationen können von HTML nur unter Informationsverlusten kodiert werden. So ist aus dem resultierenden HTML Dokument z. B. die Telefonnummer nicht mehr eindeutig zu rekonstruieren. Durch die begleitende Beschriftung ist die Identifikation der Telefonnummer für einen Menschen noch möglich, ein Softwareagent oder eine Suchmaschine kann diese Erkennung aber nur unter erheblichem Aufwand oder gar nicht leisten. Die Information der Telefonnummer ist nicht in eindeutig maschinenlesbarer Form hinterlegt.

Diese Unzulänglichkeit von HTML, semantische Strukturen in Dokumenten eindeutig zu spezifizieren, wird bei semi-strukturierten Dokumenten noch deutlicher. Zu diesen werden z. B. Verbunddokumente und damit auch Lernobjekte gezählt. Sie weisen stark variierende Strukturen auf, die aber einem groben Rahmenmuster folgen. Der Zugriff auf einen großen Dokumentenpool wird kaum durch automatisierte Verfahren gestützt. Dieser Ansatz ist ab einer kritischen Menge von Lernobjekten nicht mehr praktikabel. Dabei ist es unerheblich, ob sich der Suchraum aus dem gesamten WWW oder einer begrenzten Anzahl von Seiten innerhalb eines Intranets zusammensetzt. Aufgrund der mangelnden Datenbasis können Suchmaschinen nur einen Volltextindizierungsansatz verfolgen und nur vergleichsweise unbefriedigende Ergebnisse liefern.

Durch die Orientierung auf Präsentationselemente werden die Wiederbenutzungsmöglichkeiten eingeschränkt: "This presents a major limitation to reuse: a teacher may like the contents of a particular web page, but dislike the layout of it" [Hiddink 2001, 304]. HTML bietet zwar Ansätze zur Trennung zwischen Inhalt und Layout durch sog. „cascading stylesheets“ (CSS). Ein CSS definiert die Formatierung von HTML Tags getrennt von dem HTML Dokument. CSS sind hauptsächlich für darstellendes (prozedurales) Markup konzipiert, d. h. die optische Angabe von Schriftgrößen, Farben etc. kann damit gesteuert werden. Auf der semantischen Ebene sind kaum Operationen möglich. Aus diesem Grund ist CSS für die reine Darstellungssteuerung gut geeignet, weniger für Zugriffe auf die semantische Struktur. Ein in HTML kodiertes Dokument kann durch die Kombination mit verschiedenen CSS jeweils mit einer variierenden Formatierung angezeigt werden, ohne selbst geändert werden zu müssen. Die Trennung zwischen Struktur und Inhalt wird damit zwar vollzogen, aber lediglich auf einer darstellenden Ebene, d. h. die Farbe oder Formatierung eines Tags kann geändert werden, die benutzerspezifische Generierung inkl. der Auslassung von Sektionen, Umordnungen etc. kann durch CSS nicht geleistet werden.

#### *4.1.2.2 Trennung zwischen Inhalt und Struktur – XML und XSL*

Lernobjekte bestehen aus einer inhaltlichen Komponente und einer zugehörigen strukturellen Komponente, die die Inhalte ordnet. Die strukturelle Komponente, d. h. der Aufbau eines Lernobjekts ist semantisch ausgerichtet, also mit einer Bedeutung belegt. Überschriften gliedern Sektionen, spezielle Sektionen sind als Beispiel gekennzeichnet etc. Die semantische Bedeutung von Strukturelementen kann explizit oder implizit kodiert sein. Z. B. sind bei Texten die Über-

schriften i. d. R. durch eine vom Haupttext abweichende Formatierung gekennzeichnet. Diese Kennzeichnung ist implizit, lediglich die informelle Konvention, dass Überschriften durch eine spezielle Formatierung gekennzeichnet sind, ermöglicht das Erkennen der Struktur.

Für eine Maschine ist es nicht eindeutig aus einer einzelnen Textzeile, die fett und größer formatiert ist, abzuleiten, dass es sich hierbei um die Überschrift eines Kapitels handelt. Für einen Menschen ist dieses möglich, da wir in der Lage sind, die schriftliche Auszeichnung in einen Kontext zu setzen und diese zu interpretieren. Diese Leistung kann von einer Maschine wenn überhaupt, nur rudimentär und nur unter sehr großem Aufwand erzielt werden.

Bei expliziter Strukturdarstellung, wird von der Formatierung abstrahiert, lediglich eine semantische Kennzeichnung erfolgt. Die Trennung zwischen diesen Komponenten ist wünschenswert, in der realen Umsetzung werden die Bestandteile eines Lernobjekts aber oft vermischt und nicht klar separiert. Hinzu kommt, dass die Trennung teilweise in der Auszeichnung des Dokuments selbst nicht möglich ist, da sie nicht vollständig unterstützt wird. In HTML ist es z. B. möglich, Formatierungsanweisungen direkt im Dokument zu hinterlegen. Dadurch wird die semantische Auszeichnung durchbrochen, die erst die durchgängige Verarbeitung von Maschinen ermöglicht. Die klare Trennung wird erst dann möglich, wenn

- Inhalt,
- Struktur, und
- Formatierung

im Dokument erfasst und eindeutig separiert werden (vgl. [Downes 2001]). Die explizite Kennzeichnung ermöglicht eine konsequente Trennung eines Lernobjekts in Inhalt, Struktur und Formatierung. Zur Darstellung in einem Zielformat müssen Formatierungsanweisungen hinzugefügt werden, die definieren, wie Inhalt und Struktur eines Lernobjekts dargestellt werden sollen.

Die Abstraktion in diese drei Komponenten bietet erhebliche Vorteile gegenüber einem rein prozeduralen Markup. So können basierend aus dem semantisch ausgezeichneten Lernobjekt variierende Darstellungsformen generiert werden. Im Hinblick auf variierende Endgeräte, mit denen Benutzer auf Lernobjekte zugreifen, ist diese Option sehr wünschenswert, um den Aufwand zu minimieren, der notwendig ist, um die jeweiligen Spezifika der Endgeräte zu berücksichtigen. Erst durch die präsentationsunabhängige Formulierung von Lernobjekten lassen sich diese für verschiedene Endgeräte aufbereiten und so auch über einen längeren Zeitraum nutzen. Die Entkopplung von der Darstellungsform befreit in diesem Sinne auch von dem Zwang, die technische Evolution von Anzeigegeräten in den Kodierungen der Lernobjekte selbst

nachzuvollziehen. Die Anpassung einer großen Anzahl von Lernobjekten an ein neues Ausgabe-gerät ist dagegen mit erheblichem Aufwand verbunden.

Neben den möglichen Zielformaten im Hinblick auf technische Umsetzung lassen sich durch geeignete Formatierungsanweisungen adaptierte Versionen eines Dokuments generieren. Z. B. ist es denkbar, aus einem Ursprungsdokument, das neben Testfragen auch die dazugehörigen Antworten enthält, eine Variante für Lernende nur mit den Fragen und für Tutoren eine weitere Variante inkl. der Antworten/Lösungshinweise zu generieren. Eine strikte Trennung der oben angesprochenen Komponenten Struktur, Formatierungen und Inhalt bietet die Extensible Markup Language (XML)

### *XML*

XML ist eine Basistechnologie, um strukturierte Information unter Beibehaltung eben dieser Struktur zu speichern. Im Folgenden werden nur die grundlegenden Eigenschaften von XML erläutert. Für weitergehende Ausführungen sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (siehe [Behme/Mintert 2000], [Harold 1999], [Maruyama et al. 1999], [Simpson 2001]). Auch [Rothfuss/Ried 2001, Kapitel 6] geben einen kompakten Überblick über die Technologie und die flankierenden Standards.

XML stellt eine echte Teilmenge von SGML dar und ist wie SGML eine Sprache, die Mechanismen bereitstellt, um Dokumenttypen formal zu definieren. XML ist per Definition erweiterbar („extensible“), d. h. kann durch Strukturen erweitert werden. In diesem Sinne ist XML keine Markupsprache, sondern eine Metasprache. XML wurde aufbauend auf den Erfahrungen des W3C mit SGML für den Einsatz im Internet optimiert spezifiziert. Dazu gehört der explizite Verzicht auf Eigenschaften von SGML, die sich als zu kompliziert in der Handhabung bzw. als überflüssig erweisen hatten. Als Metasprache kann XML benutzt werden, um Markupsprachen und damit Grammatiken für spezifische Problemstellungen zu entwickeln. Diese Grammatiken legen die Struktur eines Dokuments fest. Dabei werden wie bei SGML Document Type Definitionen oder alternativ sog. XML Schemata als Definitionsmittel benutzt (vgl. auch [XML Schema 2003]).

Es ist irrelevant, ob die Dokumente Textelemente, stark strukturierte Auszüge in tabellarischer Form oder semi-strukturierte Elemente enthalten. Im Gegensatz zu relationalen Schemata, die eher schlecht geeignet sind, um hierarchische Beziehungen abzubilden, ist XML in der Lage, beliebige Strukturen abzubilden. Die gesamte Spanne von Strukturierungsgraden kann durch XML verlustfrei abgebildet werden. Dabei werden keine besonderen technologischen Fundamente wie z. B. Datenbanken benötigt. XML Dokumente sind wie HTML Dokumente reine Textdokumente, d. h. sie werden nicht in speziellen binären Format gespeichert. Der fundamentale

Vorteil gegenüber proprietären Formaten liegt darin, dass grundsätzlich keine speziellen Werkzeuge nötig sind, um XML Dokumente zu erstellen. Ein Texteditor ist prinzipiell ausreichend für diese Aufgabe.

Technisch gesehen besteht ein XML Dokument aus einem Prolog und genau einem Hauptelement („root element“). Nach [XML 2000] ist der Aufbau eines XML Dokumentes festgelegt durch einen Prolog, genau ein Hauptelement sowie ggf. Kommentare und weitere steuernde Anweisungen:

**document ::= prolog element Misc\***

Ein wohlgeformtes Dokument beginnt mit einem Prolog, der das Dokument kennzeichnet. Zusätzlich können hier Angaben über die verwendete Zeichenkodierung vermerkt werden.

**<?xml version="1.0" encoding="UTF-8">**

Es existiert genau ein Hauptelement, das in keinem anderen Element enthalten ist. Zusätzlich müssen Tags korrekt ineinander verschachtelt werden, Überlappungen zwischen Start- und Ende-Tags dürfen nicht auftreten. Wenn ein XML Dokument syntaktisch korrekt ist, bezeichnet man es als wohlgeformt („well-formed“). Neben der Wohlgeformtheit gibt es ein darüber hinausgehendes Qualitätskriterium: Die Gültigkeit oder Validität („validity“). Die Wohlgeformtheit stellt nur syntaktische Korrektheit sicher, semantische Korrektheit wird damit nicht festgestellt. Die semantische Korrektheit, also ob ein Lernobjekt einem in einer DTD festgelegten Aufbau entspricht, kann maschinell überprüft werden. Ein Softwarewerkzeug, ein sog. „Parser“ wird damit in die Lage versetzt, ein XML Dokument auf seine Gültigkeit in Bezug auf ein Schema zu überprüfen, d. h. festzustellen, ob das Dokument den formulierten Anforderungen genügt. Wenn das der Fall ist, wird das Dokument als valide („valid“) bezeichnet.

Die interne Struktur eines Lernobjekts wird durch die Aufteilung in Einheiten und Definition der Beziehungen zwischen diesen Einheiten festgelegt. Die Zerlegung in Einheiten ist dabei stark vom Anwendungsbereich und dem jeweiligen Verwendungszweck abhängig. Durch die explizite, maschinenverarbeitbare Modellierung der Dokumentenstruktur lässt sich eine automatisierte Verarbeitung erzielen. Die Erstellung eines Inhaltsverzeichnisses für ein allgemeines Dokument, das Sektionen, Untersektionen und Textblöcke aufweist, ist ein Beispiel dafür. Für Lernobjekte lassen sich ähnliche Strukturen finden und festlegen.

Durch die Darstellung als Text können die Dokumente sowohl von Maschinen als auch von Menschen gelesen werden. Das Format erlaubt weiterhin eine Abkopplung von der Applikation, mit der das Dokument erstellt wurde. Da Textkodierungen, wie z. B. ASCII nur einen festgelegten Satz an Zeichen haben und damit keine weitergehenden Zeichen, wie Umlaute,

Währungssymbole etc. erlauben, ist die Ablage in Form von Unicode explizit im Standard vorgesehen (siehe 4.4.2).

XML stellt lediglich die Struktur eines Lernobjekts dar, es werden keine Aussagen über die Darstellung bzw. Formatierung gemacht. Damit sind XML basierte Lernobjekte präsentationsneutral. Zur Darstellung in einem Zielformat wie HTML, müssen die Lernobjekte mit Hilfe von Transformationsvorschriften in dieses Format überführt werden. Eine Sprache für Transformationsregeln ist die Extensible Stylesheet Language (XSL).

### XSL

XSL ist genau genommen eine Familie von Standards, die aus den Teilbereichen XSL Transformationen (XSLT), XML Path Language (XPath) und XSL Formatting Objects (XSL-FO) besteht. Die Transformation von XML Dokumenten wird über XSLT vorgenommen. Zielformate können dabei darstellungsorientierte Formate wie HTML oder auch andere XML Strukturen sein. XSLT stellt Möglichkeiten und Methoden dar, um Transformationen von XML Dokumenten zu spezifizieren. Die Darstellung von XML kann zwar auch von CSS ähnlich wie bei HTML übernommen werden, XSLT ist aber ausdrucksstärker als CSS und bietet mehr Kontrolle über den Transformationsprozess. In Abbildung 13 ist der Zusammenhang zwischen Metasprachen wie SGML und XML, deren konkreten Applikationen, den Auszeichnungssprachen wie HTML/xHTML, DocBook, LOM und den Transformationssprachen wie CSS und XSL nochmals illustriert.

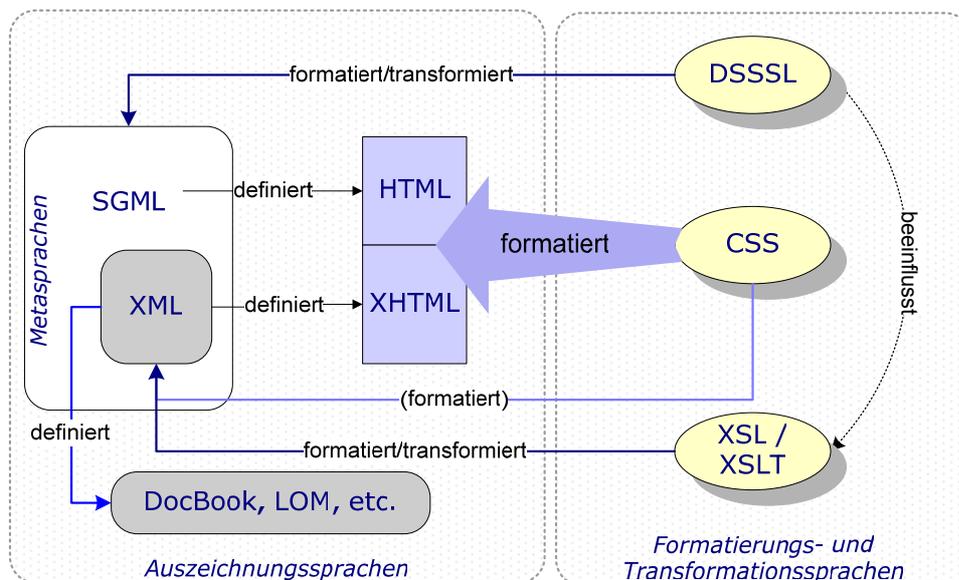


Abbildung 13: Überblick über SGML, HTML, XML und verwandte Technologien (Quelle: vgl. [Behme/Mintert 2000])

Während der Transformation wendet ein Stylesheet Prozessor ein XSLT Stylesheet auf ein XML Dokument an. Das XSLT Stylesheet selbst ist dabei wieder in Form eines XML Dokuments angelegt, d. h. die Gültigkeitsregeln von XML gelten auch für XSLT. Im Stylesheet werden Muster („templates“) vorgegeben, die den Transformationsablauf steuern. Die einzelnen Muster adressieren durch XPath-Ausdrücke Teile des XML Dokuments und spezifizieren, wie diese transformiert werden sollen. Dadurch kann dieses XML Dokument direkt in ein serialisiertes Ausgabeformat wie HTML überführt werden. Dieser Prozess ist in Abbildung 14 skizziert.

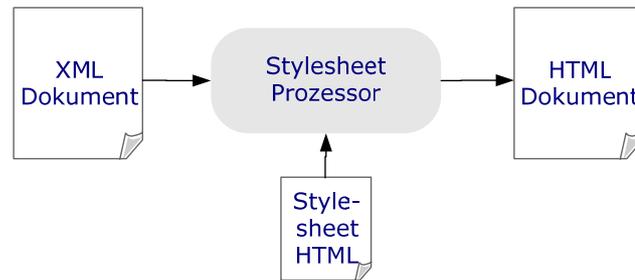


Abbildung 14: XSL Transformation in HTML Format (Quelle: Eigene Darstellung)

Im Falle eines binären Ausgabeformats, wie PDF, muss noch ein Zwischenschritt eingefügt werden. In diesem Fall erzeugt der Stylesheet Prozessor ein intermediäres Ausgabeformat (XSL Formatting Objects – XSL-FO). Diese werden in einem nachgeschalteten Prozess durch einen FO Prozessor in PDF überführt. Dieser Prozess ist in Abbildung 15 abgebildet.

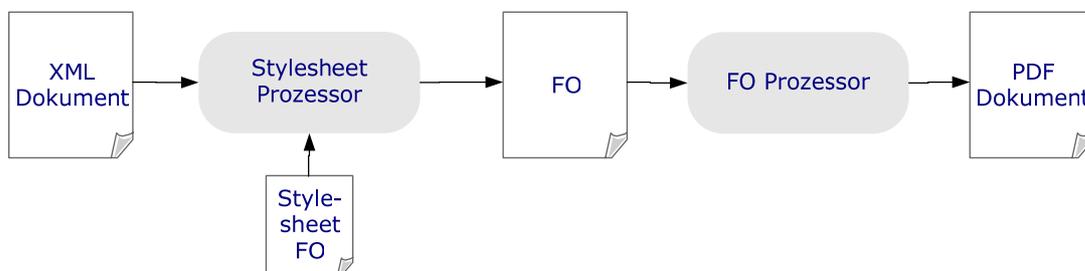


Abbildung 15: XSL Transformation über FO nach PDF (Quelle: Eigene Darstellung)

Für weitere Einzelheiten zu XSL und FO siehe [Kay 2001]. Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Vorteile für eine XML basierte Kodierung von Lernobjekten: Die Lernobjekte sind unabhängig von derzeitigen bzw. auch zukünftigen Ausgabeformaten. Durch die Modifikation bzw. Erstellung eines Stylesheets können alle Lernobjekte in dieses Ausgabeformat transformiert werden. Die Transformierung durch ein zentrales Stylesheet erzeugt konsistente Darstellungen, die Erwartungskonformität des Lernenden bzgl. typografischen Layouts wird erfüllt. Die Werkzeuge zur Erstellung der Lernobjekte sind aufgrund der Kodierung als Textdatei freigestellt, es wird eine Abhängigkeit von proprietären Technologien vermieden.

Diesen Vorteilen stehen allerdings Nachteile einer direkten Kodierung in HTML gegenüber: Die Anfangsaufwände sind in jedem Fall höher. Die Stylesheets müssen ebenso wie die DTD initial erstellt werden. Es existieren allerdings bereits einige Dokumenttypen, die für Lernobjekte relevant sind und auf die zurückgegriffen werden kann.

#### 4.1.3 *Relevante Dokumenttypen für Lernobjekte*

XML bietet Mechanismen, um Dokumenttypen zu spezifizieren. Für diverse Anwendungsgebiete existieren bereits Dokumenttypen, so dass es oftmals ökonomischer ist, bereits existierende Strukturen zu sichten, ob sie einen speziellen Anwendungsfall abdecken, als „das Rad neu zu erfinden“. Auch im Anwendungskontext von Lernobjekten finden sich bereits Ansätze, die in der Lage sind, typische Strukturen semantisch abzubilden. Die Verfügbarkeit von Dokumenttypen deckt dabei unterschiedlichste Granularitätsstufen von Lernobjekten ab. Neben Dokumenttypen für komplette Dokumente, existieren ebenfalls Typen, die auf kleinere Objekte, wie mathematische Formeln oder Grafiken spezialisiert sind.

Im Dokumentbereich ist DocBook bekannt. DocBook definiert ein Schema, das an die Struktur eines Buchs angelehnt ist und spezielle Bedürfnisse von technischen Dokumentationen erfüllt (vgl. [Walsh/Muellner 1999]). Neben dem Buchschema existieren Varianten für Artikel, Hilfeseiten, Referenzen etc., die entsprechend adaptiert sind. Das DocBookschema steht sowohl in einer SGML als auch in einer XML Implementierung zur Verfügung. Transformationsvorschriften stehen für verschiedene Formate zur Verfügung. So werden z. B. HTML, PDF, HTML Help und weitere angeboten. DocBook ist allerdings sehr dokumentorientiert und berücksichtigt nicht umfassend die Bedürfnisse von Lernobjekten.

Die Educational Modelling Language (EML) ist eine Entwicklung der Open University Netherland. Sie dient zur Auszeichnung von Lernobjekten u. a. auch mit Metadaten, die auf pädagogische Bedürfnisse ausgerichtet sind (vgl. [EML 2003]). EML steht als XML Binding zur Verfügung. Ähnlich ausgerichtet ist die Learning Material Markup Language (LMML), eine Entwicklung der Universität Passau (4.1.3.1). LMML gegenüber EML weist noch die Besonderheit auf, dass lediglich ein Kern in einem generischen Grundmodell definiert ist. LMML kann basierend auf diesem Kern weiter an spezifische Anwendungen angepasst werden. Die Auswahl von LMML für die Kodierung der Lernobjekte ist relativ willkürlich und wurde aufgrund der Möglichkeit zur Erweiterung getroffen. Zusätzlich werden kurz Mathematical Markup Language (MathML) für die Formulierung von mathematischen Formeln (4.1.3.2) sowie Scalable Vector Graphics (SVG) für Formulierung von Grafiken (4.1.3.3) vorgestellt.

#### 4.1.3.1 *Learning Material Markup Language*

Die LMML ist ein generisches Rahmenwerk, das einfach um weitere Strukturen erweitert werden kann. Die Grundfunktionalität von LMML deckt bereits wichtige Strukturen von Lernobjekten ab. Aus diesem Grund wird im Folgenden eine Darstellung des Kerns von LMML gegeben, bevor auf die Erweiterungen eingegangen wird (vgl. [Süß 2000]).

LMML ist eine Auszeichnungssprache für Lehr- bzw. Lerninhalte, die sich bereits im Passauer Teachware Modell bewährt hat. LMML ist XML basiert und ist in der Lage, Lernmaterialien modular aufzubauen, die Lerninhalte bestehen aus einzelnen Modulen, die selbst wieder andere Module enthalten können. Die Fähigkeit zur physischen Modularisierung kommt der Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten sehr entgegen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Elemente von LMML und deren minimaler Inhalt kurz dargelegt.

Tabelle 2: LMML Elemente und deren Inhalte (Quelle: Eigene Darstellung)

Elementname	Minimaler Inhalt
Lmml	section   collection   glossary   bibliography
Section	section   collection   glossary   bibliography   motivation   conclusion   definition   paragraph   remark   example   exercise   illustration   proposition   theorem   proof   algorithm   formular
Collection	section   collection   glossary   bibliography   motivation   conclusion   definition   paragraph   remark   example   exercise   illustration   proposition   theorem   proof   algorithm   formular
Bibliography	(bibitem)*
Glossary	(definition)*

Strukturelemente wie „section“ oder „collection“ können neben Inhaltselementen wie „motivation“, „conclusion“ etc. selbst wieder Strukturelemente enthalten. Strukturelemente bilden die größten Einheiten der Modellierung. Inhaltsmodule können neben statischen Inhalten, wie Text, Grafiken etc. auch multimediale Inhalte wie Animationen, Audio etc. aufnehmen. Die Verwendung von XML basierten Datenformaten, wie SVG oder der MathML ist dabei problemlos möglich.

LMML ist dabei rein semantisch orientiert, d. h. es erfolgt eine strikte Trennung zwischen Inhalt und dessen Darstellung. Über Metadaten, die in die Dokumente eingebettet sind, können darüber hinaus den einzelnen Elementen von LMML zusätzliche Informationen zugewiesen werden. Das LMML-Framework bietet hierfür als Ausgangsbasis allgemeine (Autor, Titel, Stichworte etc.), zeitbezogene (Erstellungs-, Modifikations-, Freigabe-, Verfallsdatum etc.) und pädagogische Metadaten (Schwierigkeitsgrad, Abstraktionsgrad, Praxisbezug etc.).

Die herausragende Eigenschaft von LMML ist aber, dass der Kern der Sprache um eigene Elemente erweitert werden kann. So ist es möglich, eine individuelle Lösung für eigene Dokumententypen zu erstellen, die auf der ursprünglichen LMML aufsetzt, diese erweitert, aber trotzdem kompatibel zu LMML bleibt. LMML bietet als XML basierte Markupsprache alle Vorteile einer semantisch orientierten Kodierung von Lerninhalten.

#### 4.1.3.2 *Mathematical Markup Language*

Die MathML ist eine auf XML basierende Anwendung, um mathematische Formeln semantisch abzulegen (siehe [MathML 2003]). Es existieren bereits Systeme, die auf die Darstellung von mathematischen Formeln spezialisiert sind. Dazu gehören [TeX 2003] bzw. darauf aufbauend [LaTeX 2003]. TeX und LaTeX sind zurzeit die am weitesten verbreiteten Programme zur Erstellung von mathematischen Ausdrücken, aber sie kodieren nur die „Oberfläche“ einer Formel (nur Repräsentation, keine Semantik). MathML geht einen Schritt weiter und beinhaltet zusätzliche Informationen zur Semantik und Struktur.

MathML umfasst nicht die Darstellung, sondern stellt die Struktur einer Formel dar. MathML ermöglicht damit auch den Austausch zwischen Computeralgebrasystemen, wie z. B. [Mathematica 2003], [Maple 2003] und [MuPad 2003]. Die Darstellung kann aus der semantischen Kodierung generiert werden. Dabei können die spezifischen Eigenheiten des Ausgabe-mediums entsprechend berücksichtigt werden. Eine Präsentationsform von MathML ist z. B. SVG.

#### 4.1.3.3 *Scalable Vector Graphics*

SVG ist eine auf XML basierende Anwendung, die Vektorgrafiken beschreibt. Im Gegensatz zu den heute im WWW gängigen, gerasterten Bildformaten wie JPEG oder GIF liegen die Dokumente nicht binär, sondern in einem textuellen Format vor: Anstatt Pixelwerte einzeln zu speichern und dadurch bei hoher Auflösung sehr umfangreiche Dateien zu erzeugen, definiert SVG über mathematische Formeln Anfangs- und Endkoordinaten in Kombination mit Fülldefinition und beschreibt somit Art und Aussehen von Vektorformen, Bildern und Texten (vgl. dazu auch [SVG 2003]).

Durch diese Trennung von Inhalt und Darstellung können die Inhalte einer SVG Grafik für verschiedene Ausgabemedien wie Druck oder Internet optimiert ausgegeben werden. Die Grafiken können verlustfrei skaliert und rotiert werden. Texte bleiben in der SVG Kodierung ebenfalls erhalten. Grafiken sind auf diese Weise indizierbar. Durch die Einbettung von Programmmanweisungen werden Grafiken mit Interaktivität versehen. Über SVG können somit qualitativ hochwertige Vektorgrafiken, Animationen und Filtereffekte beschrieben werden.

Die semantische Ausrichtung wird mit SVG neben im wesentlich textuell ausgerichteten Dokumenten auch auf Grafiken übertragen. Dadurch ist es z. B. möglich aus einer SVG Grafik je nach Ausgabegerät entsprechende Bitmap Formate wie z. B. JPG oder PNG zu generieren. [Geroimenko/Geroimenko 2003] stellen die Grundlagen der SVG kompakt dar. Zur Darstellung von SVG Grafiken muss [SVG View 2003] installiert werden. [SVG View 2003] stellt prinzipiell die Transformationskomponente aus Abbildung 14 und führt die Transformation als auch die Anzeige der Grafik durch. Es ist allerdings zu erwarten, dass die nötige Funktionalität zur Darstellung von SVG langfristig in Browser integriert werden wird. Konkrete Beispiele für SVG Grafiken sind in Abschnitt 6.3.2.3 abgebildet.

## 4.2 Metadatschemata – Standards für Interoperabilität von Lernobjekten

Den zweiten konzeptionellen Baustein stellen sog. Metadatschemata dar, die große Bedeutung für die Interoperabilität von Lernobjekten besitzen. Metadatschemata sind den Lerntechnologiestandards zuzuordnen, deren Motivation in Abschnitt 4.2.1 skizziert wird. Abschnitt 4.2.2 liefert die begriffliche Klärung von Metadaten ehe ein Überblick relevanter Lerntechnologiestandards gegeben wird (4.2.3). Zur Beschreibung von Lernobjekten haben sich spezielle Metadatschemata herausgebildet, die im Abschnitt 4.2.4 kurz umrissen werden. Das für die vorliegende Arbeit relevante Schema Learning Object Metadata (LOM) wird in Abschnitt 4.2.5 ausführlich beschrieben.

### 4.2.1 *Motivation für Lerntechnologiestandards*

Die Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten wird technisch gesehen erst durch Standards ermöglicht. Standards definieren Mechanismen, um eine Interoperabilität zwischen Systemen zu ermöglichen. Zu diesen Systemen gehören z. B. sog. Learning Content Management Systeme (LCMS), die Lerninhalte organisieren und präsentieren. LCMS profitieren von Standards für die Interoperabilität, da es sie in die Lage versetzt, Lernobjekte untereinander auszutauschen.

Im täglichen Leben sind Standards allgegenwärtig. Das triviale Beispiel einer Glühbirne zeigt deutlich, dass ohne eine zugrunde liegende Standardisierung über Größe, Leistung etc. ein einfacher Austausch einer Glühbirne ohne Festlegung auf einen bestimmten Hersteller dieser in Kombination mit bestimmten Fassungen nicht möglich wäre. Die Standardisierung definiert Richtlinien, die es Herstellern von Glühbirnen und Fassungen ermöglicht, ihre Produkte kompatibel bzw. interoperabel zu fertigen.

Übertragen auf den Fall der Lernobjekte sollen es Standards analog ermöglichen, dass diese Lernobjekte unabhängig von Hersteller und verwendetem LCMS austauschbar sind. Die

Interoperabilität von Lernobjekten wird, wie oben ausgeführt, ebenfalls gefordert, die Standardisierung von Lerntechnologien ist aber bei weitem nicht so weit fortgeschritten wie in dem obigen Beispiel. Der Austausch von Lernobjekten zwischen Systemen ist derzeit nicht auf einer breiten Basis möglich. Erste Standardisierungsversuche in dieser Hinsicht werden bereits unternommen, die es zum Ziel haben, dass Lernobjekte in verschiedenen Systemumgebungen wiederbenutzt werden können. Immanent wichtig für eine Wiederbenutzung von Lernobjekten ist deren adäquate Beschreibung durch Metadaten.

#### 4.2.2 *Der Begriff der Metadaten*

Die Idee der Metadaten ist relativ alt, so beschreiben Bibliotheken bereits seit langem ihren Buchbestand durch Metadaten. Ein Buch kann beschrieben werden durch Ausprägungen wie Autor, Titel, Herausgeber, Publikationsdatum etc. Besonders wenn diese Informationen digital und nicht nur auf Mikrofiche oder Karteikarten vorliegen, stellen sie durch die Maschinenles- und -bearbeitbarkeit eine enorme Erleichterung bei der Verwaltung bzw. Recherche dar.

Ursprünglich stammt der Begriff „Metadata“ aus dem Datenbankumfeld und beschreibt ein Datenbankschema und damit die strukturellen Zusammenhänge, die die Datenbank charakterisieren. In dieser Sicht werden Metadaten synonym zu einem Data Dictionary gesehen (vgl. [Thuraisingham 2002, 109]). Diese Sichtweise ist allerdings sehr technisch mit Bezug zu Datenbanken geprägt. Metadaten beschreiben digitale oder nicht digitale Ressourcen analog zu einem Katalogeintrag eines Buchs in einer Bibliothek. Dabei sind Beschreibung und Ressource i. d. R. getrennt. Ohne die implizite Semantik solcher Metadaten könnten Suchmaschinen nicht zwischen Ausprägungen wie z. B. Autor und Herausgeber differenzieren.

Die Idee der Katalogisierung kann auch auf digitale Dokumente bzw. Lernobjekte übertragen werden. Ein bekanntes Beispiel für ein allgemeines Metadatenschema zur Beschreibung von Ressourcen ist Dublin Core. Der Dublin Core (DC) Ansatz verdankt seinen Namen nicht der irischen Stadt, vielmehr fand das erste Treffen der Gruppe in Dublin, Ohio, USA statt. Im März 1995 veranstaltete das „National Center for Supercomputing Applications“ (NCSA) zusammen mit dem „Online Computer Library Center“ (OCLC) einen Workshop, der sich mit der Semantik von Metadaten für Dokumente im WWW befasste. Das Resultat dieses Workshops wurde als DC-Metadata veröffentlicht. DC ist ein allgemeiner Ansatz, der sich auf wenige Attribute beschränkt und darauf ausgelegt ist, Dokumente allgemein zu beschreiben. Der DC-Standard für Metadaten besteht aus insg. 15 Elementen (vgl. [DCMI ES 2003]).

Tabelle 3: Dublin Core Standard für Metadaten (Quelle: vgl. [DCMI ES 2003])

Element	Definition
Title	Name der Ressource
Creator	Verantwortliche Einheit für den Inhalt einer Ressource
Subject	Inhalt einer Ressource, Thema
Description	Beschreibung des Inhalts einer Ressource
Publisher	Verantwortliche Einheit für die Veröffentlichung einer Ressource
Contributor	Verantwortliche Einheit für Beiträge zu einer Ressource
Date	Datum eines Ereignisses im Lebenszyklus einer Ressource
Type	Art der Ressource, in der Regel Mime-Type
Format	Physische oder digitale Manifestation einer Ressource
Identifier	Eindeutige Referenz auf eine Ressource innerhalb des Kontexts, üblicherweise eine URL, allg. URN
Source	Quelle der Ressource
Language	Sprache des Inhalts der Ressource, in der Regel nach ISO 639 (siehe 9.4)
Relation	Referenz zu verwandter Ressource
Coverage	Bereich, der von einer Ressource abgedeckt wird
Rights	Rechte zu einer Ressource

DC ist sehr einfach gehalten und hat nicht zuletzt genau aus diesem Grund eine weite Verbreitung zur Beschreibung von WWW-Dokumenten erreicht. In der DC-Gemeinde herrscht Übereinstimmung darüber, dass diesen Grundelementen möglichst keine neuen hinzugefügt werden sollen, um die Einfachheit von Dublin Core weiterhin zu gewährleisten.

DC-Grundelemente können durch Qualifier ergänzt werden. Qualifier können dabei zwei Klassen zugeordnet werden (vgl. [Hillmann 2003]): Verfeinerungen („element refinements“) spezialisieren ein Element weiter, z. B. sind „Table of Contents“ und „Abstract“ Verfeinerungen von „Description“. Die zweite Klasse von Qualifiern legt eine Kodierung für das Element fest. Kodierung kann dabei ein kontrolliertes Vokabular referenzieren, wie z. B. der Eintrag einer Taxonomie oder eine formale Notation wie z. B. ein international eindeutiges Datumsformat. Eine vollständige Liste offiziell ratifizierter Qualifier kann unter [DCMI MT 2003] eingesehen werden.

Je nach Verwendungszweck der Metadaten sind dabei verschiedene Ausprägungen dieser relevant. Es handelt sich bei DC in der Tat um einen Kernsatz, auf ein Basisschema, das essentielle Beschreibungsmöglichkeiten bietet. DC ist ein interessanter Standard zur Beschreibung eher allgemeiner Ressourcen im WWW, spezialisierte Objekte wie Lernobjekte allerdings lassen sich

durch DC nicht ausreichend beschreiben. Es fehlen beispielsweise Elemente zur Beschreibung des Lebenszyklus eines Objekts oder zum Urheber der Metadaten an sich. Aus den genannten Gründen kann DC nicht als ausreichend differenziert zur Beschreibung von Lernobjekten angesehen werden.

Allgemeine Ressourcen lassen sich mit den oben angesprochenen Merkmalen gut beschreiben, für Lernobjekte sind jedoch weitere Merkmale relevant und notwendig. Eine Erweiterung des DC-Kerns um bildungsspezifische Angaben ist derzeit in Arbeit (vgl. [DCMI ED 2003] und [Duval 2001]). Darüber hinaus existieren bereits weitere Ansätze, Schemata für Lernobjekte zu standardisieren (siehe Abschnitt 4.2.3). Auf diese Weise sollen Entwicklungen von Schemata und möglichen Ausprägungen möglichst frühzeitig vereinheitlicht werden, um eine breite Akzeptanz zu erzeugen. Bevor auf Metadatenschemata, die direkt für die Beschreibung von Lernobjekten konzipiert wurden eingegangen wird, sollen die Standardisierungen von Lerntechnologien (damit u. a. auch von Metadatenschemata) in einem globaleren Kontext eingeordnet werden, um den Entstehungsprozess einer Standardisierung zu illustrieren und die beteiligten Parteien aufzuzeigen.

#### *4.2.3 Standardisierungsprozess und Überblick über relevante Lerntechnologiestandards*

Ursprung von Standardisierungen sind i. d. R. Konzepte, die der Forschung und Entwicklung entstammen. Bei signifikantem Bedarf formieren sich Konsortien, die einen Vorschlag über eine Standardisierung erstellen (4.2.3.1). Die vorläufigen Spezifikationen werden im praktischen Anwendungsfall erprobt, es wird ggf. ein Änderungsbedarf festgestellt, so dass die Spezifikation angepasst werden muss. Dieser Prozess wird mehrfach iteriert, bis die Standardisierung einen gewissen Reifegrad aufweist bzw. die Änderungsanforderungen nur noch marginal auftreten. In diesem Stadium werden die Standardisierungsvorschläge an internationale Gremien übergeben, die einen verbindlichen Standardisierungsprozess initiieren (4.2.3.2). Dabei durchläuft der Standard mehrere Stufen, die letztendlich in einem verbindlichen Standard münden, der öffentlich zugänglich gemacht wird. Dieser Prozess kann sehr lange dauern (zwischen 5 bis 10 Jahren bis zur Verabschiedung eines ISO Standards).

Im Bereich der Standardisierung von Lerntechnologien haben sich bereits Konsortien etabliert, die ein Forum für die Standardisierung bilden. Tabelle 4 listet Quellenangaben für die im Folgenden kurz dargestellten Initiativen.

Tabelle 4: Standardisierungsgremien (Quelle: Eigene Darstellung)

Name	Quelle
Advanced Distributed Learning (ADL) Initiative – SCORM	<a href="http://www.adlnet.org/">http://www.adlnet.org/</a>
ARIADNE Foundation	<a href="http://www.riadne-eu.org/">http://www.riadne-eu.org/</a>
Aviation Industry CBT Committee (AICC)	<a href="http://AICC.org/">http://AICC.org/</a>
CEN/ISSS LT/WS	<a href="http://www.cenorm.be/iss/workshop/lt/">http://www.cenorm.be/iss/workshop/lt/</a>
Dublin Core Metadata Initiative	<a href="http://dublincore.org/">http://dublincore.org/</a>
IEEE LTSC	<a href="http://ltsc.ieee.org/">http://ltsc.ieee.org/</a>
IMS Global Learning Consortium	<a href="http://www.imsglobal.org/">http://www.imsglobal.org/</a>
ISO/IEC JTC1 SC36	<a href="http://jtc1sc36.org/">http://jtc1sc36.org/</a>
PROMETEUS	<a href="http://www.prometeus.org/">http://www.prometeus.org/</a>
PROMETEUS SIG-DESIGN	<a href="http://www.igd.fhg.de/~lindner/PROMETEUS/">http://www.igd.fhg.de/~lindner/PROMETEUS/</a>

#### 4.2.3.1 Nationale Initiativen

ADL (Advanced Distributed Learning Network) ist eine amerikanische Initiative, die sich Standardisierung von Lerntechnologien zum Ziel gesetzt hat, um auf breiter Basis die Produktion kosteneffektiver Lernmaterialien zu fördern. ADL wurde 1997 vom Department of Defense (DoD) und der US Regierung initiiert. “The purpose of the ADL initiative is to ensure access to high-quality education and training materials that can be tailored to individual learner needs and made available whenever and wherever they are required” [SCORM 2001]. Bekanntestes Ergebnis der Initiative ist SCORM (Sharable Content Object Reference Model), eine Spezifikation für die Erstellung wieder benutzbarer Lernmaterialien. SCORM integriert die Arbeiten von AICC, IMS und IEEE, Ariadne und weiteren und stellt Spezifikationen bereit, um ein vereinheitlichtes Modell zu definieren. SCORM dient als Grundlage für das Essener-Lern-Modell (ELM); siehe [Pawlowski 2001, 115 ff.] für eine erweiterte Darstellung von SCORM.

Speziell auf den Bereich CBT im Bereich der Flugindustrie hat sich die AICC (Aviation Industry CBT Committee) spezialisiert (vgl. [AICC 2003]). Ursprünglich waren die Ergebnisse dieses Konsortiums nur für diesen Bereich vorgesehen, die Ergebnisse sind aber genereller Natur und werden auch in weiteren Standardisierungsgremien wie z. B. ADL aufgegriffen.

Das Advanced Learning Infrastructure Consortium (ALIC) entwickelt Spezifikationen für die Standardisierung und Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten. Dieses Komitee ist auf den asiatischen und speziell japanischen Markt ausgerichtet.

Das Instructional Management System Project (IMS) ist eine Initiative, die sich mit der Standardisierung von Lerntechnologien befasst, um deren Zusammenarbeit in verteilten Umgebungen zu

ermöglichen. Seit der Gründung 1997 sind hauptsächlich amerikanische, führende Unternehmen und Universitäten aus dem Bereich E-Learning, Verlage sowie Technologiehersteller der IMS beigetreten. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der tatsächlichen Integration dieser Spezifikationen in konkreten Produkten. Seit 2002 ist eine eigene Abteilung IMS Europe für den europäischen Bereich gegründet worden.

Das IEEE LTSC (Learning Technology Standards Committee) ist ein Zusammenschluss von beteiligten Parteien aus universitären Einrichtungen und Industrie, um gemeinsame Standards in verschiedenen Bereichen des E-Learnings zu erreichen (vgl. [LTSC 2003]). LTSC gliedert sich in Untergruppen, die verschiedene Schwerpunkte des E-Learning bearbeiten. Im Einzelnen sind das:

- P1484.1 Architecture and Reference Model WG
- P1484.4 Digital Rights Expression Language (DREL) WG P1484.11 Computer Managed Instruction (CMI) WG
- P1484.12 Learning Objects Metadata (LOM) WG
- P1484.18 Platform and Media Profiles WG
- P1484.20 Competency Definitions WG

Frühere Arbeitsgruppen wie „Glossary“, „Semantics and Exchange Bindings“ und „Data Interchange Protocol“ sind explizit herausgefallen bzw. in die oben aufgeführten Gruppen integriert worden. Die Aufgabe des LTSC besteht darin, technische Standards, Tools, Technologien und Entwurfsmethoden zu entwickeln, um die Erstellung, den Einsatz, die Wartung und die Zusammenarbeit von softwaretechnischen Lern- und Übungskomponenten und -systemen zu vereinfachen. Mit Bezug auf Metadaten ist die Arbeitsgruppe 12 – Learning Objects Metadata (LOM) relevant. Die entwickelten Standards werden in einem nächsten Schritt an internationale Standardisierungsgremien weiter geleitet.

#### 4.2.3.2 *Internationale Initiativen*

CEN/ISSS (Centre de European Normalisation/Information Society Standardisation System) erarbeitet seit 1999 im Auftrag der Europäischen Kommission einen Arbeitsplan für die Interoperabilität zwischen Lerntechnologien für Europa. CEN/ISSS legt einen besonderen Fokus auf die Berücksichtigung europäischer Bedürfnisse (z. B. Lokalisierungsmöglichkeiten). Eher informell in Form von Interessensgruppen formiert ist PROMETEUS (Promoting Multimedia Education and Training in European Society). Innerhalb der sog. SIGs (Special Interest Groups) werden Ergebnisse erarbeitet, die dann wiederum an CEN/ISSS weiter geleitet werden.

Auf internationaler Ebene verabschiedet die ISO (International Standards Organisation) allgemein anerkannte Standards, die zuvor in nationalen Gremien erarbeitet wurden. Speziell im Bereich E-Learning tritt die ISO/IEC JTC1 SC36 (International Standards Organisation/International Electrotechnical Commission – Joint Technical Committee 1 – Subcommittee 36) auf, um durch Standardisierungen Interoperabilität zwischen Lernmaterialien und Werkzeugen sicher zu stellen. Als Unterkomitee der ISO kann dieses Gremium internationale Standards verabschieden.

#### 4.2.4 *Metadaten schemata für Lernobjekte*

Die folgende Auflistung von Metadaten schemata für Lernobjekte erhebt weder einen Anspruch auf Vollständigkeit noch auf umfassende Darstellung. Es wird aber klar, dass vielfältige Aktivitäten zur Standardisierung von Lerntechnologien stattfinden. Die Einhaltung von Standards wird zunehmend wichtig, um eine Wiederbenutzung von Lernobjekten zu ermöglichen. Als ein Baustein der Standardisierung wird im Folgenden spezifisch der Bereich der Metadaten betrachtet.

IMS und IEEE LTSC (insbesondere Learning Object Metadata - LOM) sind relevante Metadaten schemata zur Beschreibung von Lernobjekten. Der Beschreibungsumfang von IMS Metadaten umfasst insgesamt 93 Elemente und wird von LOM vollständig umfasst. „The specification includes conformance statements for how meta-data documents must be organized and how applications must behave in order to be considered IEEE-conforming“ [IMS MD1.2.1 2003, 3]. Darüber hinaus wird eine konkrete Vorgabe definiert, wie das konzeptionelle IMS Metadaten schema in konkrete XML Instanzen abzubilden ist. Diese Vorschrift wird auch als Binding (in diesem Fall ein XML-Binding) bezeichnet (vgl. [IMS MD1.2.1 BI 2001]). Neben der eigentlichen Spezifikation für die Metadaten von Ressourcen wurde im IMS Projekt auch ein Mechanismus zum „Verpacken“ von Lernressourcen entwickelt, das sog. „content packaging“ (siehe [IMS CP1.3.1 2003]). Zentrales Ziel ist es dabei, Pakete zu erreichen, die die Lernobjekte selbst und ein begleitendes Manifest mit Metadaten, Struktur der Lernobjekte sowie einen Verweis auf diese enthält.

Da IMS Metadata und LOM sich inhaltlich kaum unterscheiden und wohl letztendlich im Standardisierungsprozess konvergieren werden, wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Darstellung von IMS verzichtet. LOM hat sich bereits als konzeptionelles Metadaten schemata etabliert und besitzt seit Juni 2002 einen akkreditierten Status als IEEE Standard. Damit ist LOM offiziell anerkannt und genießt eine breite Zustimmung. Aus diesem Grund wird LOM im Folgenden näher als Orientierungshilfe für eine Metadaten schema zur Beschreibung von Lernobjekten betrachtet.

#### 4.2.5 *Learning Object Metadata*

LOM wurde maßgeblich von der Ariadne Gruppe und insbesondere von Eric Duval beeinflusst, gestaltet und voran getrieben. Ariadne ist ein Projekt innerhalb des 4. Rahmenprogramms der Europäischen Gemeinschaft, innerhalb dessen u. a. Lernressourcen durch Metadaten beschrieben wurden. Neben Ariadne haben weitere Projekte, wie z. B. Gestalt ebenfalls Ressourcen durch Metadaten beschrieben, so dass auf längere Sicht der Bedarf erkannt wurde, dass es sinnvoll ist, die Initiativen innerhalb dieser Konsortien zu fokussieren und zu koordinieren. Der Zusammenschluss der Arbeitsgruppe Metadaten innerhalb der LTSC Sektion des IEEE wurde daraufhin gegründet. Am 13. Juni 2002 wurde der LOM Standard unter der Nummer 1484.21.1-2002 verabschiedet. Die Aufgabe des LOM Standards wird wie folgt beschrieben: „This Standard is a multi-part standard that specifies Learning Object Metadata. This Part specifies a conceptual data schema that defines the structure of a metadata instance for a learning object. For this Standard, a learning object is defined as any entity--digital or non- digital-- that may be used for learning, education or training” [LOM DOC 2002].

Das Ziel dieser Arbeitsgruppe LTSC/LOM ist es weder, Standards zu spezifizieren, wie Lernmaterialien von der didaktischen Sichtweise aufbereitet werden sollen, noch welche Technologien dazu eingesetzt werden. Der Schwerpunkt liegt vielmehr auf der informationstechnischen Gestaltung, um Schnittstellen, Metadaten und Terminologie zu standardisieren. Dabei wird LOM als konzeptionelles Rahmenwerk verstanden. Ob die Implementierung letztendlich als XML Dokument, in einer relationalen oder objektorientierten Datenbank erfolgt, wird vom Standard nicht festgelegt. Der Konsens über das allgemeine Verständnis der LOM Elemente wird als wichtiger erachtet, als die spezifische technische Umsetzung. Die hinter der Entwicklung von LOM stehenden Ziele sind wie folgt definiert (vgl. [LOM DOC 2002]):

1. Dem Lernenden und Lehrenden soll ermöglicht werden, nach Lernobjekten zu suchen, sie zu erfassen und sie einzusetzen.
2. Die gemeinsame Nutzung und der Austausch von Lernobjekten über jedes technisch unterstützte Lernsystem hinweg sollen durchführbar sein.
3. Es soll die Möglichkeit bestehen, Lernobjekte als Einheiten zu entwickeln, die in sinnvoller Weise kombiniert und wieder zerlegt werden können.
4. Computeragenten sollen automatisch und dynamisch personalisierte Kurse für den individuellen Lernenden zusammenstellen können.
5. Es soll die Arbeit an Standards gefördert werden, die sich damit beschäftigen, eine Vielzahl von Lernobjekten zur Zusammenarbeit innerhalb einer offenen, verteilten Lernumgebung zu bringen.

6. Die Dokumentation und Anerkennung der Fertigstellung von neuen oder bereits existierenden Lern- und Leistungszielen, die mit Lernobjekten verbunden sind, soll dort, wo es gewünscht wird, ermöglicht werden.
7. Eine starke und wachsende Wirtschaft für Lernobjekte, welche jede Form von kommerzieller oder nicht kommerzieller Verteilung unterstützt und aufrechterhält, soll ermöglicht werden.
8. Sowohl staatliche als auch öffentliche und private Ausbildungs-, Übungs- und Lehrorganisationen sollen in die Lage versetzt werden, Lerninhalte und Leistungsstandards mit Hilfe eines standardisierten Formats auszudrücken, das unabhängig vom eigentlichen Inhalt ist.
9. Forscher sollen mit Standards ausgestattet werden, welche die Sammlung und Teilung von Daten bezüglich der Anwendbarkeit und Effektivität von Lernobjekten unterstützen.
10. Es soll ein Standard definiert werden, der nicht nur einfach ist, sondern auch um eine Vielzahl von Bereichen und Gebieten erweitert werden kann, so dass er am leichtesten universell übernehmbar und einsetzbar ist.
11. Die notwendige Sicherheit und Authentifizierung für die Verteilung und Nutzung von Lernobjekten soll unterstützt werden.

LOM gruppiert die beschreibenden Attribute in neun Gruppen, die das sog. Basisschema bilden (siehe Abbildung 16):

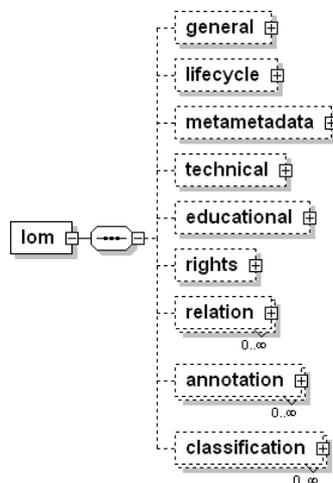


Abbildung 16: LOM - Basisschema (Quelle: vgl. LOM DOC 2002)

Die Kategorie General enthält alle kontextunabhängigen Eigenschaften sowie semantischen Beschreibungen des Lernobjekts. Dazu gehören beispielsweise der Titel und die Beschreibung, sowie Schlüsselworte, die das Lernobjekt kennzeichnen. Außerdem wird in dieser Kategorie festgelegt, in welcher Sprache das Lernobjekt verfasst wurde. Die Kategorie LifeCycle enthält die Eigenschaften, welche die bisherigen Versionen des Lernobjekts beschreiben. Dazu zählt zum einen, in welchem Status (Entwurf, abgeschlossenes oder überarbeitetes Stadium) sich das Objekt

derzeit befindet und andererseits können in dieser Sparte alle jemals an der Entwicklung des Dokuments beteiligten Personen mit Namen und Datum aufgelistet werden. Hier können Angaben über den Lebenszyklus einer Ressource gemacht werden. Innerhalb von Lernsystemen sind Angaben zum Status bzw. zur Historie notwendig, um Material verwalten zu können, bzw. die Evolution eines Lernobjekts nachvollziehen zu können. Auf diese Weise ist es z. B. möglich, Lernobjekte bereits in ein System einzubinden und basierend auf dem Status, die Veröffentlichung nach außen bis zur Freigabe zu verhindern. Die MetaMetadata Gruppe beinhaltet keine Informationen über das Lernobjekt selbst, sondern über die Metadatenangaben bzw. das zugrunde liegende Schema. Die Kategorie Technical enthält die technischen Charakteristika des Lernobjekts. Dazu zählen Format, physische Größe und letztendlich auch die URI, unter der das Lernobjekt verfügbar ist. Außerdem können in dieser Rubrik technische Voraussetzungen zur Anzeige des Lernobjekts vermerkt werden. So kann zum Beispiel dort beschrieben sein, welches Betriebssystem in welcher Version oder welcher Browser benötigt wird. In der Kategorie Educational werden die pädagogischen Merkmale des Lernobjekts beschrieben. Hierunter fallen Merkmale wie die Zielgruppenzugehörigkeit, der Grad der Interaktivität oder auch der Typ des Lernobjekts (Text, Tabelle, Präsentation etc.). Die Kategorie Rights enthält Informationen über die rechtlichen Bedingungen für den Gebrauch des Lernobjekts. Dort können beispielsweise Eintragungen über das Urheberrecht oder über evtl. vorhandene Kosten vermerkt werden. Die Kategorie Relation enthält Beschreibungen, wie das Lernobjekt mit anderen Lernobjekten verknüpft ist. Diese Kategorie ist grundlegender Bestandteil zum Aufbau eines Netzwerks aus mehreren Lernobjekten. Zu einer Verknüpfung werden der Typ der Verknüpfung und das referenzierte Lernobjekt mit eindeutiger Identifizierung vermerkt. Die Kategorie Annotation ermöglicht Anmerkungen, die mit Namen und Datum versehen abgelegt werden können. Die Kategorie Classification weist Lernobjekte Kategorien zu bzw. ordnet die Lernobjekte in einer Klassifikation ein.

Die einzelnen Gruppen fassen Attribute nach ihrer Zusammengehörigkeit zusammen. Dabei können Angaben in mehreren Sprachen angegeben werden. So ist es z. B. möglich, nicht nur einen englischen Titel, sondern auch einen deutschen Titel anzugeben, obwohl die Ressource selbst evtl. nur in englischer Sprache vorliegt. Um eine Vergleichbarkeit der Angaben zu erreichen, wird in einigen Feldern, wie z. B. bei „Status“ ein festes Vokabular verwendet. Für diese Angabe ist es vorgesehen, aus einem Satz von Alternativen einen Wert auszuwählen. Das LOM Vokabular sieht die Werte „Draft“, „Final“, „Revised“, „Unavailable“ dafür vor. Der Standard ist aber offen angelegt, d. h. es wird nicht in Anspruch genommen, alle Anforderungen antizipieren zu können. Aus diesem Grund können eigene Vokabulare ebenfalls eingebracht werden, sie müssen nur als solche gekennzeichnet werden. Dadurch wird neben hoher Austauschbarkeit eine hohe Flexibilität erreicht. Die gesamte Spezifikation ist unter [LOM DOC 2002] einsehbar.

LOM ist ein konzeptionelles Schema, d. h. die konkrete Instantiierung der Beschreibung wird nicht festgelegt, lediglich die Attribute und deren Semantik werden spezifiziert. [Ahronheim 1998] definiert die folgenden idealen Charakteristika an ein Metadatenschema (vgl. auch [Innes/McGreal 2002, 274 ff.], [Pawlowski 2001, 104 f.]):

- Data Dictionary zur Beschreibung gebräuchlicher Elemente
- Verfügbarkeit von Methoden zur elektronischen Manipulation und Kommunikation der Metadaten
- Regeln zur Identifikation und Extrahierung des Inhalts von Metadatenelementen
- Verantwortlichkeit einer offiziellen Organisation
- Internationalisierung der Metadaten
- Verfügbarkeit von Werkzeugen zur Erstellung, Übertragung und Speicherung der Metadaten

Diese Anforderungen werden von LOM erfüllt. Die Beschreibung gebräuchlicher Elemente ist in LOM penibel festgelegt und wird durch Beispiele erläutert. Elektronische Manipulation wird durch die Umsetzung von LOM z. B. in Form eines web-basierten Systems erfüllt. Die Regeln zur Identifikation und Extraktion des Inhalts von Metadatenelementen werden von LOM durch den strukturellen Aufbau einer LOM Instanz sowie die Verwendung standardisierter Vokabulare erfüllt. Durch die Veröffentlichung von LOM als IEEE Standard ist die Betreuung des Standards durch eine offizielle Organisation gesichert. LOM kann internationale Ausprägungen durch die explizite Auslegung auf mehrsprachige Instanzen sicherstellen. Die Verfügbarkeit von Werkzeugen zur Manipulation und Kommunikation ist nicht Bestandteil des Standards und wird durch die Implementierung von Werkzeugen basierend auf LOM Standards erfüllt. Ein Beispiel für ein solches Werkzeug wird in dieser Arbeit entwickelt und in Abschnitt 6.2.2 vorgestellt.

### **4.3 Ontologien – Explizierung der Struktur einer Domäne**

In diesem Abschnitt werden Ontologien als Hilfsmittel zur formalisierten Explizierung von Strukturen einer Wissensdomäne eingeführt. Für eine begriffliche Abgrenzung und ausführliche Darstellung des Konstrukts Ontologie (4.3.2) ist es zunächst notwendig, Taxonomien als Klassifizierungsmechanismen einzuführen (4.3.1). Ontologien modellieren die Strukturen einer Domäne durch den kombinierten Einsatz von Taxonomien zur Klassifikation, Modellierung von Relationen zwischen den Klassifikationen und der Zuordnung konkreter Instanzen in diese Klassifikation. Ontologien sind vor allem maschinenverarbeitbar und bieten so die Möglichkeit auf Basis expliziter Strukturen diese für weitere Anwendungen zu nutzen (z. B. zur Visualisierung und Entscheidungsunterstützung).

#### 4.3.1 *Taxonomien als Klassifikationsmechanismen*

Die Klassifizierung von Organismen oder Gegenständen der realen Welt wird seit langem in den Naturwissenschaften praktiziert, um eine systematische Betrachtung dieser Gegenstände zu erlauben. Bekannte Beispiele sind Botanik und Zoologie, wo die Einteilung von Flora und Fauna in hierarchische Strukturen über Beobachtungsmerkmale vorgenommen wird. Das Ergebnis einer solchen Einordnung ist eine Taxonomie. Der Begriff Taxonomie stammt aus dem Griechischen und setzt sich aus „táxis“ (Ordnung) und „nomos“ (Gesetz) zusammen. Taxonomien bezeichnen „die Einordnung in ein bestimmtes System“ [Duden 2000]. Die Klassifikationsgegenstände werden in einer Taxonomie systematisch in eine Ordnung gebracht.

Taxonomien können nicht nur über reale Gegenstände, sondern auch für Wissensdomänen erstellt werden. Genauer werden dabei Konzepte der Domäne über Begriffsstrukturen kategorisiert. Konzepte mit gleichen Merkmalen werden gruppiert und in einem generalisierten Konzept zusammengefasst. Dieses kann in anderen Klassen über- oder nebengeordnet werden, so dass auf diese Weise ein Ordnungssystem, eine Taxonomie entsteht. An der Spitze der entstehenden Hierarchie stehen allgemeine Konzepte, die in der nächsten Hierarchieebene verfeinert werden, wobei diese in deren nächsten Ebene weiter verfeinert werden können etc. Die Taxonomie wird demnach auf jeder Stufe spezifischer, von allgemeinen Konzepten zu spezifischen. Diese generelle Klassifizierung ist noch nicht an spezielle Ausprägungen gebunden, es wird lediglich eine abstrakte Gliederung für den modellierten Wirklichkeitsausschnitt festgelegt.

Ein Beispiel für den Einsatz von Taxonomien ist der Library of Congress Classification Outline (LCC), eine Taxonomie zur Einordnung von Literatur. LCC dient heute amerikanischen Bibliotheken zur Klassifizierung von Literatur nach dem inhaltlich behandelten Thema (vgl. [LCC 2002]). LCC wird immer noch zentral vom Library of Congress gepflegt und ist durch die stark amerikanisch ausgeprägte Zentrierung vorrangig in US Bibliotheken angewendet. Ein weiteres Beispiel ist der Online-Dienstleister Yahoo!, deren Angebot darin besteht, einen Katalog über Webseiten zu erstellen, der thematisch geordnet ist. Diese Ordnung von Kategorien und Unterkategorien ist in Form einer Taxonomie organisiert: Über das Portal [Yahoo 2002] kann innerhalb der Taxonomie navigiert werden, um zielgerichtet auf entsprechende Verweise zu gelangen. Die Suche kann von allgemeinen Begriffen wie z. B. Ausbildung weiter auf bestimmte Fachgebiete etc. beschränkt werden (vgl. [Yahoo Ed 2003]).

Die Erstellung einer Taxonomie erfolgt in fünf Schritten:

1. Funktion der Taxonomie: Welchen Zweck soll die Taxonomie erfüllen? Der Zweck determiniert maßgeblich den Aufbau und die Organisation einer Taxonomie. Die relevanten Ordnungsmerkmale werden durch die spätere Verwendung bestimmt.

2. Aufstellung sich ausschließender Gruppierungen: Das Ordnungskriterium einer Gruppe sollte Elemente einer Gruppe in Bezug auf das unterscheidende Merkmal zu anderen Gruppen ununterscheidbar machen.
3. Anordnung in Hierarchie: In diesem Schritt werden die Gruppen in Hierarchien organisiert. Dabei wird mit allgemeinen Merkmalen begonnen, die schrittweise spezieller werden.
4. Test der Taxonomie: Die Taxonomie muss auf logische Widersprüche oder Inkonsistenzen geprüft werden.
5. Etablierung der Taxonomie: Zur Anwendung und Nutzung der Taxonomie muss diese in der jeweiligen Organisation eingeführt werden.

Gegebenenfalls müssen die Schritte zwei bis vier iteriert werden, bis ein zufrieden stellendes Ergebnis erzielt werden kann. Der letzte Schritt, die Einführung der Taxonomie in die Organisation ist erfahrungsgemäß der Schwierigste. Zur Vermittlung des Aufbaus einer Taxonomie und damit entscheidend für die Akzeptanz der Anwender sind entsprechende Visualisierungen besonders hilfreich. Taxonomien sind prinzipbedingt immer willkürlich, da sie letztendlich nur eine Auffassung einer Kategorisierung widerspiegeln. Es gibt i. d. R. keine eindeutige Modellierung eines Ausschnitts der Realität, es sind durchaus mehrere, qualitativ gleichwertige Taxonomien möglich. Eine gute Modellierung für eine Taxonomie zeichnet sich durch eine allgemein anerkannte Hierarchisierung aus, die von allen beteiligten Parteien getragen wird.

Taxonomien sind auch nach der Einführung nicht als statisch zu sehen, sie müssen vielmehr an die wechselnden Gegebenheiten des modellierten Realitätsausschnitts angepasst werden. Neue Erkenntnisse bzw. erkannte Unzulänglichkeiten der bisherigen Taxonomie führen im Idealfall zu einer kontinuierlichen, evolutionären Entwicklung einer Taxonomie.

Taxonomien eignen sich bereits gut, um die Terminologie einer Wissensdomäne greifbar zu machen. In diesem Sinne dienen sie als Kommunikationsmittel zwischen Personen. Ontologien erweitern den Anwendungsbereich von Taxonomien, indem explizit Maschinen in den Kommunikationsprozess mit eingebunden werden.

#### *4.3.2 Ontologien – eine Begriffsabgrenzung*

Im folgenden Abschnitt wird für das Konstrukt der Ontologie zunächst das Einsatzgebiet herausgearbeitet und eine für die vorliegende Arbeit geltende Definition geliefert (4.3.2.1). Aufbauend auf die Klassifizierung durch Taxonomien werden hieran anschließend die Grundkomponenten von Ontologien erläutert (4.3.2.2) und die Erstellung von Ontologien dargelegt (4.3.2.3).

#### 4.3.2.1 Einsatzgebiete und Definition von Ontologien

Eine Konzeptualisierung stellt ein Modell dar, das die Realität beschreibt. Genau dieses Ziel haben auch andere Modellierungsmethoden, wie z. B. die Entity Relationship Modellierung seit ca. 20 Jahren. Der über die bisherig bekannten Methoden hinausgehende Nutzen von Ontologien liegt in der standardisierten Art und Weise, Wissen zu formalisieren und zu spezifizieren. „Ontologies are essentially an agreed on way to specify knowledge” [Thuraisingham 2002, 116].

Eine Ontologie dient als Hilfsmittel für die Kommunikation über die Konzepte und Begriffe zwischen Personen und Applikationssystemen. Der Begriff Ontologie stammt aus dem Griechischen und setzt sich aus „ontos“ für Sein und „logos“ für Wort zusammen. Eine Ontologie bezeichnet nach [Duden 2000] die „Lehre vom Sein, von den Ordnungs-, Begriffs- u. Wesensbestimmungen des Seienden“. Ontologien stellen ein interdisziplinäres Forschungsthema dar, das in verschiedenen Bereichen Anwendung findet. Ontologien werden im Bereich Expertensysteme, künstliche Intelligenz, Knowledge Engineering und Knowledge Management eingesetzt, um eine gemeinsame Sicht und Ordnung auf einem Wissensgebiet zu etablieren. Seit Anfang der 90er Jahre werden Ontologien in der künstlichen Intelligenz („artificial intelligence“ (AI)) benutzt, um Modelle über die Struktur und Semantik von Anwendungsdomänen zu formulieren. Es werden u. a. die folgenden Typen von Ontologien unterschieden:

- Top-level Ontologien
- Domänen Ontologien
- Metadaten Ontologien

Top-level Ontologien bezeichnen allgemeine, generische Modellierungen, die eine nicht domänenspezifische Ausrichtung haben. Ein Beispiel für eine solche allgemeine Ontologie ist die KR Ontology von [Sowa 1999], in der allgemeine Konzepte und Objekte formalisiert werden. Domänen Ontologien beschreiben spezifische Wissensdomänen. Metadaten Ontologien definieren Strukturen, die zur Beschreibung von Ressourcen dienen. Beispiele dafür sind DC und auch das LOM Schema. [Carrara 1999] gibt einen umfassenderen Überblick über die Thematik „Ontologien“ mit weiteren bibliografischen Verweisen.

In einer Ontologie werden die Konzepte und Relationen zwischen diesen Konzepten formalisiert. Durch die Formalisierung können Informationen nicht nur von Personen, sondern von Personen und Maschinen bzw. Softwareagenten gemeinsam benutzt werden. Gerade der Punkt der Formalisierung von Wissen ist aber auch für die Kommunikation zwischen Personen äußerst hilfreich. [Davenport/Prusak 1998] stellen bereits fest: „People can't share knowledge if they don't speak a common language” [Davenport/Prusak 1998, 98]. Das gemeinsame Verständnis über Begriffe ist eine absolute Voraussetzung für die Benutzung von Wissen. Die eindeutige Dar-

stellung expliziter Semantik ist ein Kommunikationsproblem. Wenn zwei Kommunikationspartner erfolgreich kommunizieren wollen, müssen sie auf einem gemeinsamen Verständnis von Konzepten aufbauen und ihre Sprache darauf ausrichten, diese Konzepte zu verwenden. Ggf. muss erst im Laufe der Kommunikation ein Konsens über die Bedeutung bestimmter Konzepte hergestellt werden.

Es existieren einige Definitionen dafür, was eine Ontologie ausmacht. "Ontology' is the term used to refer to the shared understanding of some domain of interest" [Ushold/Gruninger 1996, 5]. Diese Definition ist noch relativ vage. Eine der allgemein anerkannten Definitionen ist bei [Gruber 1993] zu finden: „An ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualisation“ [Gruber 1993, 1]. Eine Ontologie ist demnach eine formale, explizite Spezifikation einer gemeinsamen Konzeptualisierung. Ontologien bezeichnen damit Konzepte und Beziehungen einer Domäne in maschinenlesbarer Form im Konsens der beteiligten Personen/Parteien. Der Aspekt des Konsenses ist hier besonders hervorzuheben. „Der Wert einer Ontologie steht und fällt mit dem Umfang der Anerkennung und Zustimmung („ontological commitment“), die diese in der betreffenden Fachwelt erfährt“ [Hesse 2002, 478]. Der formale Charakter einer Ontologie ist notwendig, um Maschinen eine eindeutige Interpretation zu erlauben. Diese Anforderung schließt natürlichsprachige Beschreibungen aus, da sie naturgemäß nicht eindeutig sind und unterschiedliche Interpretationen aufweisen können. Die Konzeptualisierung schließlich muss ausführlich und deutlich sein. Die Anforderung einer expliziten Spezifikation zeigt an, dass die Konzeptualisierung nicht implizit geschehen, sondern explizit in einer Form verbalisiert bzw. formalisiert werden muss. Diese Definition ist ausreichend für die Zwecke, zu denen eine Ontologie in dieser Arbeit verwendet wird.

#### 4.3.2.2 Bestandteile von Ontologien

Ontologien bestehen aus den Grundkomponenten Konzepten, Relationen, Axiomen und Instanzen. Die Konzepte werden teilweise auch als Klassen bezeichnet, Relationen teilweise als Slots. Konzepte werden üblicherweise in einer Taxonomie angeordnet und stellen die Grundbausteine einer Ontologie. In Konzepten können andere Konzepte enthalten sein, z. B. kann in der Domäne OR/MS das Konzept „Lineare Programmierung“ als Teil des Konzepts „Mathematische Programmierung“ aufgefasst werden. „Lineare Programmierung“ ist damit spezifischer als „Mathematische Programmierung“.

Die typische Relation, mit der Konzepte strukturiert werden ist die „isa“ Relation, die vom spezielleren Konzept auf das allgemeinere verweist. Im Beispiel ist das Konzept „Lineare Programmierung“ durch die Relation „isa“ dem Konzept „Mathematische Programmierung“ untergeordnet. Weitere Unterkonzepte von Mathematischer Programmierung sind „Gemischt-ganzzahlige Programmierung“ und „Ganzzahlige Programmierung“, die auf der gleichen

Hierarchieebene wie „Lineare Programmierung“ angeordnet sind. Grafisch ist die geschilderte Ontologie in Abbildung 17 dargestellt.

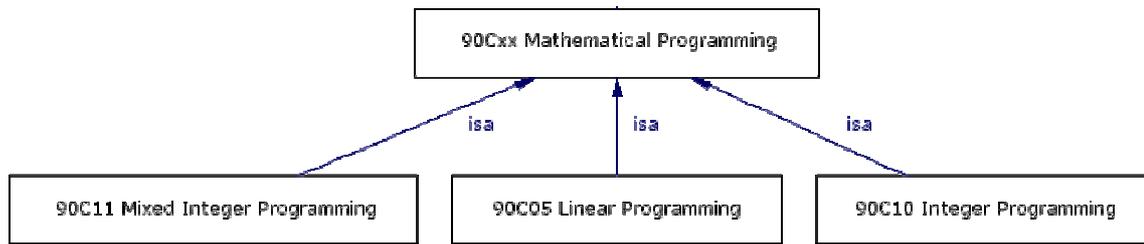


Abbildung 17: Ontologie – Darstellung einer Taxonomie (Quelle: Eigene Darstellung)

Ontologien können neben den bereits dargestellten „isa“ Hierarchien auch weitere Relationen zwischen Konzepten definieren. Die Relationen sind dabei stark anwendungsspezifisch. Relationen setzen Konzepte untereinander in Beziehung: Für Lernobjekte ist es z. B. relevant, eine „isBasedOn“ Beziehung bzw. deren Inverse „isBasisFor“ Beziehung zu definieren, die Konzepte als aufeinander aufbauend definiert. Auf das Beispiel übertragen kann in der Ontologie festgelegt werden, dass „Lineare Programmierung“ als Grundlage für „Ganzzahlige Programmierung“ als auch für Gemischt-Ganzzahlige Programmierung“ zu sehen ist. Grafisch ist dieser Zusammenhang in Abbildung 18 dargestellt.

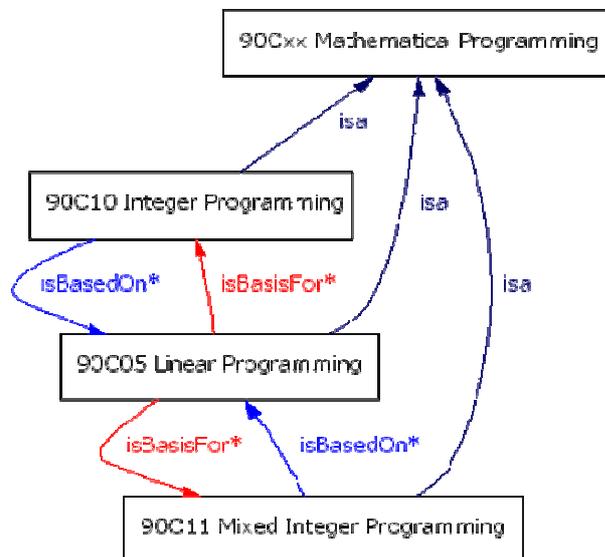


Abbildung 18: Ontologie – Darstellung einer Taxonomie und weiterer Relationen (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Beziehungen können der Ontologie frei hinzugefügt werden, so dass hier keine Limitierung der Anzahl an Relationen vorgenommen wird. Durch die Definition von Axiomen wird die Handhabung einer Ontologie noch vereinfacht. Im oben angeführten Beispiel existiert zur Relation „isBasisFor“ die inverse Funktion „isBasedOn“. Durch Definition als Inverse, müssen nicht

mehr beide Konzepte separat verknüpft werden, es genügt einmalig die Relation zu definieren, die Inverse wird dann automatisch hinzugefügt.

Als letzter Teil können Instanzen in eine Ontologie eingebettet werden. Instanzen sind dabei konkrete Ausprägungen eines Konzepts. Ein Lernobjekt „Einführung in die Lineare Programmierung“ würde als Instanz dem Konzept „Lineare Programmierung“ zugeordnet. Die Beschreibung der Instanzen erfolgt ebenfalls über Relationen, allerdings mit dem Unterschied, dass die Wertebereiche dieser Relationen nicht andere Klassen sind, sondern vielmehr skalare Werte. Instanzen stellen konkrete Ausprägungen dar, die einem Konzept zugeordnet sind. Instanzen müssen dabei nicht zwingend in einer Ontologie enthalten sein. Wenn die Ontologie lediglich die Struktur einer Wissensdomäne abbildet, reicht es aus, diese über Konzepte, Relationen und Axiome zu definieren. Im späteren Konzept sind die Instanzen nicht in die Ontologie eingebettet, diese werden über die Metadaten beschrieben.

#### 4.3.2.3 Entwurf einer Ontologie

Die Vorgehensweise bei der Erstellung einer Ontologie ähnelt allgemein der bei der Datenmodellierung. Die Schritte beinhalten im Einzelnen:

- Definition der Klassen der Ontologie
- Anordnung der Klassen in einer Taxonomie
- Definition von Slots/Relationen der Klassen und Spezifikation der erlaubten Werte
- Erstellung von Instanzen der Klassen und Beschreibung durch deren Eigenschaften

Nach [Gruber 1993, 2 ff.] werden fünf objektive Kriterien zum Entwurf von Ontologien für geteilte Konzepte hervorgehoben:

1. Klarheit („clarity“): Die in einer Ontologie beschriebenen Definitionen sollten objektiv und unabhängig vom sozialen oder technischen Kontext sein. Eine Definition sollte (wenn möglich) in logischen Axiomen gemacht und in einer natürlichen Sprache dokumentiert sein.
2. Kohärenz („coherence“): Eine Ontologie sollte zusammenhängend sein. Das bedeutet, dass die Inferenzen in keinem Widerspruch zu den gemachten Definitionen stehen. Die für die Definitionen eingesetzten Axiome sollten logisch konsistent sein.
3. Erweiterbarkeit („extendibility“): Es sollte möglich sein, über das existierende Vokabular neue Terme zu definieren, ohne dass die existierenden Definitionen wiederholt geprüft und korrigiert werden müssen.

4. Minimale Verwendung von Implementationsdetails („minimal encoding bias“): Die Konzeptualisierung einer Ontologie sollte nicht von Details der späteren Implementierung abhängen.
5. Minimale ontologische Festlegungen („minimal ontological commitment“): Eine Ontologie sollte eine minimale, aber ausreichende Menge an Behauptungen über die Domäne haben, die sie modelliert.

Zur Modellierung von Ontologien stehen Werkzeuge, wie z. B. [Ontoedit 2003], [OilEdit 2003] oder [Protégé 2003] zur Verfügung, die über eine grafische Oberfläche die Modellierung einer Ontologie erleichtern. Als Datenformate für Ontologien dienen dabei Standardformate wie DARPA Agent Markup Language ([DAML 2003]) oder Ontology Interchange Language ([OIL 2003]), die auf [RDF 1999] und [RDFS 2002] aufbauen.

Ontologien werden oft fälschlicherweise mit Taxonomien gleichgesetzt, sie müssen aber nicht auf diese beschränkt sein. Durch das Hinzufügen von Axiomen und Relationen kann Wissen explizit ausgedrückt werden, was mit einer Taxonomie alleine durch die Hierarchisierung nicht erreicht werden kann. Neben der technischen Umsetzung, ist eine Ontologie vor allem dazu geeignet, bei der Kommunikation zwischen Personen eine einheitliche Diskussionsgrundlage zu liefern. „Ontologien als semantische Modelle der Anwendungsdomäne dienen in diesem Kontext als Vehikel, um Wissen präziser zwischen Mensch und Rechner auszutauschen“ [Staab 2002, 208]. Die Betonung liegt auf „Mensch und Rechner“, die formale Repräsentation von Wissen in explizit für Maschinenverarbeitung aufbereiteter Form ist eine wesentliche Eigenschaft einer Ontologie.

#### **4.4 Notwendige Voraussetzungen für Multilingualität**

In diesem Abschnitt werden notwendige Voraussetzungen für Multilingualität von Lernobjekten eingeführt. Hierzu zählen u. a. die eindeutige Spezifikation von Datums- und Zeitangaben (4.4.1) und Konventionen für die Zeichenkodierung (4.4.2). Diese Aspekte werden herausgegriffen, da sie unmittelbar für die Verarbeitung multilingualer Inhalte in Lernobjekten und Metadaten relevant sind. Multilingualität betrifft dabei nicht nur die Lernobjekte direkt, d. h. deren Inhalte, sondern auch die Metadaten und die Werkzeuge, die zur Erstellung und Präsentation dieser eingesetzt werden. In diesem Sinne ist Multilingualität nicht nur eine beiläufige Begleiterscheinung, sondern vielmehr eine umfassende Problematik, die in Form von Internationalisierungs- und Lokalisierungsmöglichkeiten bereits bei der Konzeption von Werkzeugen berücksichtigt werden sollte (4.4.3).

#### 4.4.1 Eindeutige Spezifikation von Datums- und Zeitangaben

Zur Darstellung von Datumsangaben hat sich die Verwendung eines einheitlichen Formats durchgesetzt [ISO8601 2000]. Lokalisierte Datumsangaben variieren je nach Land und Sprache. Das Datum „28.02.2002“ wird im Deutschen üblicherweise in der Form „TT.MM.JJJJ“ geschrieben, während im britischen Englisch die Reihenfolge zwar beibehalten, Tage (TT), Monate (MM) und Jahre (JJ) aber durch den „/“ an Stelle des „.“ separiert werden. Im amerikanischen Englisch wird die Reihenfolge zusätzlich verändert. Hier werden Monate vor den Tagen angegeben, in der Form „MM/TT/JJJJ“, also „02/28/2002“.

Zeiten werden ebenfalls in verschiedenen Formaten ausgedrückt. Die Schemata dazu reichen von der 24 stündigen Anzeige bis zur expliziten Angabe der Tageshälfte (AM/PM). [ISO8601 2000] reguliert die zulässigen Schreibweisen für Datums- und Zeitangaben. Bei Anwendung der vollständigen Schreibweise für ein Datums-/Zeitelement ist diese interpretationsfrei und damit problemlos maschinenverarbeitbar. Ein Beispiel ist:

```
JJJJ - MM - TT Thh : mm : ss . s TZD  
2002 - 02 - 28 T 12 : 23 : 07 . 12 +01:00
```

Diese kombinierte Datums-/Zeitangabe ist eindeutig zu interpretieren. Das Datum wird durch das Literal „T“ von der Zeitangabe getrennt, die Zeitangabe beinhaltet Stunden (hh), Minuten (mm), Sekunden (ss) und Bruchteile von Sekunden (s). Zusätzlich ist es möglich, die Abweichung von der Coordinated Universal Time (UTC) zu vermerken. UTC wurde als Nachfolger, der Greenwich Mean Time (GMT) eingeführt. Im Beispiel wurde UTC plus eine Stunde vermerkt, was der Mitteleuropäischen Zeit (MEZ) entspricht. Problematisch zu bewerten ist, dass [ISO8601] es zulässt, dass das Jahrhundert bei Jahresangaben nicht mit angegeben werden muss (vgl. [Wolf/Wicksteed 1997]). Damit ist die interpretationsfreie Verarbeitung wieder gefährdet. Durch Verwendung der vollständigen Schreibweise des Datums kann diese Gefahr aber vermieden werden.

Die Komplexität dieser Datumsproblematik sollte vor dem Benutzer verborgen werden, d. h. sie ist eher für die technische Speicherung relevant. Die Präsentation an der Benutzeroberfläche bleibt davon unberührt, hier können entsprechende Transformationen stattfinden, um eine lokalisierte Variante des Datums anzuzeigen.

#### 4.4.2 Konventionen für Zeichenkodierungen

Zeichen werden in Computersystemen durch Zahlen repräsentiert. Dabei wird ein zahlenwert, der in einem Byte gespeichert ist, auf ein Zeichen abgebildet und umgekehrt. Der heute noch

gültige zugrunde liegende Code für diese Verfahrensweise ist ASCII (American Standard Code for Information Interchange). ASCII basiert auf einer 7 Bit Kodierung, d. h. die Zahlen 0 bis 127 repräsentieren jeweils ein Zeichen, wobei der Bereich von 0 bis 31 für Kontrollcodes reserviert ist. Der lateinische Buchstabe „A“ entspricht dem ASCII Code 65, „B“ 66 etc. In der gleichen Weise werden kleine Buchstaben, Zahlen, Interpunktionszeichen etc. innerhalb der ASCII Kodierung angeordnet. ASCII genügt, um auf dem lateinischen Alphabet basierende Texte zu repräsentieren. Der Ursprung von ASCII stammt aus dem englischsprachigen Raum, so dass ursprünglich kein Bedarf an zusätzlichen Kodierungsmöglichkeiten bestand.

Bei vielen Sprachen tritt das Problem auf, dass mehr als 128 Zeichen benötigt wurden, um alle Zeichen dieser Sprache abzudecken. Betrachtet man einige europäische Sprachen wird dieses unmittelbar deutlich. Im Deutschen treten z. B. Umlaute, wie „ä“ und Sonderzeichen wie „?“, im Französischen diakritische Zeichen wie accent aigu „á“, accent grave „à“ oder cédille „ç“, weitere Sprachen besitzen weitere spezielle Zeichen (zur eindeutigen Benennung siehe [RFC 1345]). Diese sind in ASCII nicht repräsentiert. Deshalb wurden weitere Varianten zu ASCII entwickelt, die in der Regel auf einer 8 Bit Kodierung basieren, so dass der Bereich von 128 bis 256 ebenfalls für die Zeichenkodierung genutzt werden kann. Die ursprüngliche Belegung der Zeichen 0 bis 127 bleibt auch in diesen Varianten erhalten. Der verbreitetste Zeichensatz ist die ISO/IEC-8859 Familie.

Innerhalb der ISO/IEC-8859 Zeichensatzfamilie sind Zeichen nach Sprachräumen zusammengefasst. ISO/IEC8859-1 umfasst die Zeichen der meisten westeuropäischen Sprachen, wie Deutsch, Englisch, Französisch, Spanisch, Schwedisch. Neben ISO/IEC8859-1 existieren weitere Gruppen für baltische Sprachen, Arabisch etc. Die Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Sprachengruppierungen innerhalb von ISO8859.

Tabelle 5: ISO8859 Familie (Quelle: Eigene Darstellung)

Zeichenkodierung	Sprache
ISO/IEC8859-1	Westeuropäische Sprachen (Deutsch, Englisch, Französisch, Spanisch etc.)
ISO/IEC8859-2	Zentral- und Osteuropäische Sprachen (Tschechisch, Polnisch, Ungarisch etc.)
ISO/IEC8859-3	Esperanto, Galizisch, Maltesisch
ISO/IEC8859-4	Baltische Sprachen (Lettisch, Litauisch, Estnisch)
ISO/IEC8859-5	Kyryllische Sprachen (Bulgarisch, Russisch, Serbisch, Ukrainisch etc.)
ISO/IEC8859-6	Arabisch
ISO/IEC8859-7	Griechisch (modern)
ISO/IEC8859-8	Hebräisch
ISO/IEC8859-9	Türkisch

Zeichenkodierung	Sprache
ISO/IEC8859-10	Nordeuropäisch (Inuit, Isländisch, Sami etc.)
ISO/IEC8859-11	Thai
ISO/IEC8859-12	Keltische Sprachen, Gälisch, Irisch, Welsch
ISO/IEC8859-13	Baltisch
ISO/IEC8859-14	Sami-Sprachen, Sprache der Lappen
ISO/IEC8859-15	Identisch zu ISO/IEC8859-1 mit Ersetzungen für Zeichen (z. B. €)

Die Interpretation von Texten, die in einer Kodierung wie ASCII oder ISO8859-1 kodiert sind, erfolgt dann korrekt, wenn die gleiche Kodierung zur Anzeige verwendet wird. Die Anwendung einer anderen Kodierung führt dazu, dass Zeichen, die außerhalb der Schnittmenge der Kodierungen liegen, „falsch“ interpretiert und dargestellt werden. Die beschränkte Anzahl von Zeichen, die der Codepage basierte Ansatz bereitstellt, versagt spätestens bei ideografischen Sprachen, wie z. B. Chinesisch. Unicode wurde als Ausweg aus diesem Dilemma entwickelt.

Unicode ist eine Spezifikation, die Zeichenkodierungen auf der Basis einer universellen Codepage definiert. „Unicode provides a unique number for every character, no matter what the platform, no matter what the program, no matter what the language“ [Unicode 2003]. Der derzeitige aktuelle Standard ist in [Unicode4 2003] definiert.

Im Gegensatz zu Kodierungen wie ISO8859 verwendet Unicode (in der Variante UTF-16) jeweils 2 Byte statt 1 Byte zur Darstellung eines Zeichens. Auf der Basis 1 Bytes können jeweils maximal  $2^8=256$  Zeichen dargestellt werden, bei Unicode können maximal  $2^{16}=65536$  Zeichen repräsentiert werden. Die vereinfachte Kodierung UTF-8 verwendet zur Kodierung der Zeichen 0 bis 127 des Unicode Standards jeweils ein Byte und stellt nur Sonderzeichen in einer 2 Byte Form durch Bitverschiebungen dar.

Unicode bietet damit eine Basis, um sämtliche lebendige Sprachen bzw. deren Zeichen in einer konsistenten Form abzubilden. Weitere Schwachpunkte des Codepage Konzepts, wie die fehlende Unterscheidung zwischen Zeichen und Glyphen werden ebenfalls in Unicode beseitigt. Glyphen sind dabei verschiedene Repräsentationen eines Zeichens. Ein Zeichen kann verschiedene Glyphen besitzen. Im westeuropäischen Kulturkreis entsprechen Glyphen verschiedenen Formatierungen eines Buchstabens. Im Arabischen z. B. kann eine Glyphe je nach Kontext ggf. eine andere Form und Semantik annehmen (vgl. [Ott 1999, 62 ff.]).

#### 4.4.3 *Internationalisierung und Lokalisierung*

Die Anforderungen zur Unterstützung multilingualer Lernobjekte betreffen nicht alleine die Lernobjekte, sondern auch die Werkzeuge zur Bearbeitung dieser in Form von Software. Im Bereich von Software resultiert, dass diese in der Lage sein muss, mehrsprachige Inhalte zu verarbeiten.

Die Sprache ist dabei nicht das einzige relevante Kriterium, vielmehr bestehen zwischen verschiedenen Sprachkulturen wie Englisch und Deutsch noch weitere Unterschiede bzgl. Zahlendarstellung, Datumsangaben, Sortierungen etc. Diese Merkmale werden als „locale“ subsumiert. „For computing purposes, *locale* is defined as the set of preferences or conventions that is associated with the user’s location, in addition to the user’s language“ [Ott 1999, 87]. Frei übersetzt steht „locale“ für lokale Regeln oder Gebräuche. Die oben skizzierte, eindeutige Spezifikation von Datumsangaben und Zeichen stellt sicher, dass die lokale Regeln und Gebräuche eines Sprachraums verlustfrei abgebildet werden können.

Softwarewerkzeuge, die nur für einen Sprachkreis intendiert sind, können ohne Rücksichtnahme auf Mechanismen zur Anwendung verschiedener Sprachen auskommen. Softwarewerkzeuge, die Multilingualität unterstützen sollen, müssen entsprechend konzipiert werden. Diese Konzeption folgt einem sog. GILT Schema. GILT ist das Akronym für Globalization, Internationalization, Localization und Translation. Globalisierung bezeichnet als Sammelbegriff alle Aktivitäten, die sicherstellen, dass eine Software internationalisiert, lokalisiert und übersetzt werden kann.

Die vorbereitenden Maßnahmen, um die Verarbeitung mehrerer lokaler Regeln zu ermöglichen werden als Internationalisierung bezeichnet. [Savourel 2001] spricht hierbei von „enabling“ der Software in einem ersten Schritt. Dazu gehören z. B. die Trennung zwischen Code und Meldungen, die Verarbeitung von Zeichen aus anderen Zeichensätzen als ASCII etc. Wenn diese Phase abgeschlossen ist, kann die Software in einem zweiten Schritt durch die Lokalisierung auf die Sprachen und spezifischen Anforderungen lokaler Regeln zugeschnitten werden. Dabei müssen pro Lokalisierung alle Meldungen, Dialoge etc. übersetzt werden.

Die detaillierte Darstellung von Methoden zur Internationalisierung und Lokalisierung von Software würde bei einer umfassenden Behandlung bei weitem den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Bei der Konzeption und Implementierung der Applikationen wird in den Abschnitten 5.4.3, 6.2.2 und 6.6 auf die relevanten Aspekte eingegangen. Für weitere Ausführungen zur Internationalisierung von Software siehe [Ott 1999, 107 ff.].

## 4.5 Zusammenfassung

In den Abschnitten dieses Kapitels wurden grundlegende Begriffe und Definitionen eingeführt. In Abschnitt 4.1 wurden basierend auf einer Definition von Lernobjekten das Potenzial zur Wiederbenutzung von Lernobjekten diskutiert und relevante Faktoren bzgl. der Wiederbenutzung aufgezeigt. Lernobjekte können in verschiedenen Kodierungen formuliert sein. Ausgewählte Kodierungsformen für Lernobjekte wurden vorgestellt und diskutiert. Eine Abwägung der Vor- und Nachteile, führt zu dem Ergebnis, dass sich semantische Kodierungen trotz eines anfänglich erhöhten Aufwands auf lange Sicht gesehen auszahlen und gegenüber einer rein prozeduralen Kodierung überzeugende Vorteile aufweisen. Die Beschreibung von Lernobjekten durch Metadaten ist eine essentielle Voraussetzung für Wiederbenutzung (4.2). Das Prinzip von Metadaten wurde vorgestellt und anhand konkreter Beispiele präzisiert. Die spezialisierten Anforderungen an Metadaten in einem Lernkontext führen nach einer Darstellung von relevanten Ansätzen zum Learning Objects Metadata Schema (LOM), das sich aufgrund weiter Verbreitung und Flexibilität als Basisschema anbietet. Lernobjekte sind inhaltlich einer oder mehreren Wissensdomänen zugeordnet. Eine Wissensdomäne weist eine inhaltliche Struktur auf, die von einer Ontologie formalisiert explizit erfasst werden kann. Die Grundkonzepte von Ontologien wurden in Abschnitt 4.3 dargestellt. Abgerundet wurde das Kapitel von einer Betrachtung der Aspekte zur Behandlung multilingualer Werkzeuge und Inhalte sowie deren Relevanz für Lernobjekte und Metadaten (4.4).

## 5 Konzeption und systematische Strukturierung der Wissensbasis

*We must be systematic, but we should keep our systems open.*

*Alfred North Whitehead*

Im vorherigen Kapitel wurden die zentralen Bausteine für die Gestaltung der Wissensbasis dargestellt. Diese Bausteine verwendend erfolgt innerhalb dieses Kapitels die Konzeption und systematische Strukturierung der angestrebten Wissensbasis für den Einsatz in einem hypermedialen Lernsystem. Zunächst wird die semantische Kodierung von Lernobjekten am Beispiel von Fallstudien erläutert. Lernobjekte, die präsentationsneutral mit den in Abschnitt 5.1 vorgestellten Mechanismen kodiert sind, erfüllen die Ansprüche an multilinguale Inhalte und können in verschiedenen Repräsentationsformen dargestellt werden. Durch die explizite Einbeziehung auch anderer Kodierungen für Lernobjekte erhält die Konzeption einen integrativen Ansatz. Nach der Darstellung der grundsätzlichen Kodierung werden die beiden relevanten Grundprinzipien zur Systematisierung der Lernobjekte dargestellt. Zunächst werden dabei die Strukturierung und Kompositionsmöglichkeiten von Lernobjekten anhand des Granularitätsprinzips herausgearbeitet (5.2). Die formalisierte Abbildung der zugrunde liegenden Wissensbasis OR/MS in Form einer Ontologie (siehe 4.3) liefert die Grundlage für eine sachlogische Strukturierung der Lernobjekte (5.3). Die auszeichnende Beschreibung der Lernobjekte und ihrer Strukturierungen durch Metadaten beschreibt Abschnitt 5.4. Die Metadaten dienen als zentrale Informationsquelle, um den Lernenden optimal beim Zugriff auf Lernobjekte zu unterstützen. Abgeschlossen wird das Kapitel durch die Integration der Einzelkomponenten zu einem Gesamtkonzept für die Wissensbasis (5.5) und dessen kritische Würdigung in Abschnitt 5.6.

### 5.1 Semantische Kodierung von Lernobjekten am Beispiel von Fallstudien

Im Folgenden wird exemplarisch für Fallstudien eine semantische Modellierung auf Basis des Dokumententypen LMML vorgenommen, der sich für die Abbildung generischer Lernobjekttypen anbietet (5.1.1). Ausgehend von einer verbalen Spezifikation des Aufbaus einer Fallstudie (5.1.2) wird die erforderliche Anpassung von LMML für Fallstudien und die Umsetzung in eine formalisierte Repräsentation erläutert (5.1.3). Abschnitt 5.1.4 beschreibt die dabei erzielte Umsetzung der Multilingualität.

### 5.1.1 *Abbildung generischer Lernobjekttypen mit LMML*

Generische Lernobjekte können durch das Basisschema von LMML bereits gut abgedeckt werden. Zu dem Basisschema von LMML existiert eine domänenspezifische Anpassung für Informatik, LMML-CS, die die Bedürfnisse an eine semantische Modellierung generischer Lernobjekte auch im Bereich OR/MS abdeckt (vgl. [Süß/Freitag/Brössler 1999]). Der LMML-CS Dokumenttyp konnte damit zur Formulierung allgemeiner Lernobjekte in OR/MS unverändert übernommen werden. Die Stylesheets zur Darstellung der Lernobjekte wurden für die Formate HTML und PDF entwickelt. Für die praktische Durchführung der Transformation sei auf Abschnitt 6.6 verwiesen.

Spezifische Anforderungen an die Struktur eines Lernobjekts können dabei nicht von LMML-CS erfüllt werden. Dieser Fall tritt z. B. für Fallstudien ein. Aus diesem Grund wurde LMML in dieser Hinsicht erweitert, um die Dokumentstruktur optimal abzubilden. Um dies tun zu können, wird zunächst der grundlegende Aufbau von Fallstudien in OR/MS beschrieben.

### 5.1.2 *Aufbau von Fallstudien im Bereich OR/MS*

Fallstudien werden im Bereich OR/MS eingesetzt, um problemorientiertes Lernen zu fördern. Die Vermittlung von Algorithmikwissen reicht erfahrungsgemäß nicht aus, um Studenten dazu zu befähigen diese auf konkrete Problemstellungen auch anwenden zu können (siehe 2.4.2.). Fallstudien im Bereich Operations Research weisen typischerweise den folgenden Aufbau auf (vgl. dazu auch [Lynn 1999, 137 ff.]):

1. Voraussetzungen zur Bearbeitung der Fallstudie
2. Verbale Beschreibung der Problemstellung
3. Modellierung der Problemstellung
4. Lösung der Problemstellung (formal)
5. Interpretation der Lösung, Übertragung der Lösung auf die Problemstellung
6. Bibliographische Referenzen
7. Hinweise zum Einsatz der Fallstudie für Lehrende

Voraussetzungen zum Einsatz der Fallstudie listen die Kenntnisse auf, die der Lernende bereits zur Bearbeitung der Fallstudie aufweisen sollte. Eine verbale Beschreibung der Problemstellung führt den Lernenden in die Problematik ein. Dabei werden organisatorische Hintergründe, spezifische Interessen und das eigtl. Problem verbal beschrieben. Diese Informationen können durch detaillierte Informationen (Tabellen, Grafiken, Diagramme etc.) unterstützt werden. Die verbale Beschreibung mündet in einer Problemstellung, die i. d. R. in Form einer offenen Fragestellung präsentiert wird.

Der verbalen Beschreibung folgt eine formalisierte, mathematische Modellierung. Oftmals kann das Problem mit Hilfe mathematischer Optimierungsmodelle modelliert werden. In diesem Fall müssen die Variablen der Zielfunktion aufgestellt (kontinuierlich und logisch) und die Restriktionen modelliert werden. Im Falle einer konkreten Aufgabenstellung ist das Vorgehen durch die Schritte:

- Definiere Entscheidungsvariablen
- Definiere logische Variablen
- Stelle die Zielfunktion auf
- Modelliere Restriktionen
- Löse das Optimierungsproblem

definiert. Jeder dieser Arbeitsschritte kann getrennt neben der Aufgabenstellung eine Hilfestellung und die Teillösung enthalten. Die Lösung der Problemstellung ist eine Präsentation der rein mathematischen Lösung, d. h. im Falle eines Optimierungsproblems wird der Wert der Zielfunktion dargestellt.

Die Interpretation der mathematischen Lösung und damit die Übertragung auf die reale Problemstellung erfolgt getrennt. Diese Trennung wird modelliert, um eine gestaffelte Darstellung der Lösung der Fallstudie zu ermöglichen und damit dem Lernenden die Möglichkeit zur Reflektion zu bieten. Bibliographische Referenzen und Hinweise zum Einsatz der Fallstudie (sog. „teaching notes“, vgl. [Lynn 1999, 60 f.]) runden die Fallstudie ab.

Die Kodierung einer Fallstudie kann natürlich auch z. B. in HTML erfolgen. Problematisch zu bewerten ist dabei, dass die oben aufgeführten Sektionen nicht eindeutig im HTML Dokument gekennzeichnet werden können. Neben der reinen Wiederbenutzbarkeit eines Lernobjekts, spricht vor allem auch der direkte, gezielte Zugriff auf Teilabschnitte eines LMML basierten Lernobjekts für die Umsetzung in einer semantisch orientierten Kodierung. Durch die Kennzeichnung kann durch eine steuernde Applikation sichergestellt werden, dass die Hinweise zum Einsatz der Fallstudie einem Lehrenden angezeigt, Lernenden aber nicht offenbart werden. Aus diesem Grund ist es wünschenswert, einen spezialisierten Dokumenttypen zur Abbildung der oben geschilderten Struktur zu erstellen. LMML bietet durch einen modularen Aufbau die Möglichkeit, diese Strukturen hinzuzufügen.

### *5.1.3 Anpassung des Dokumententyps LMML für Fallstudien*

LMML bietet sich besonders für die Kodierung von Lernobjekten an, da die Sprache für spezielle Anwendungen erweitert werden kann. Im konkreten Fall wurde eine spezielle Instanz für Fall-

studien (LMML-OR) erstellt. LMML weist bereits in der Grundvariante semantisch orientierte Strukturelemente auf. Der Grundaufbau von LMML ist in folgendem UML Modell dargestellt:

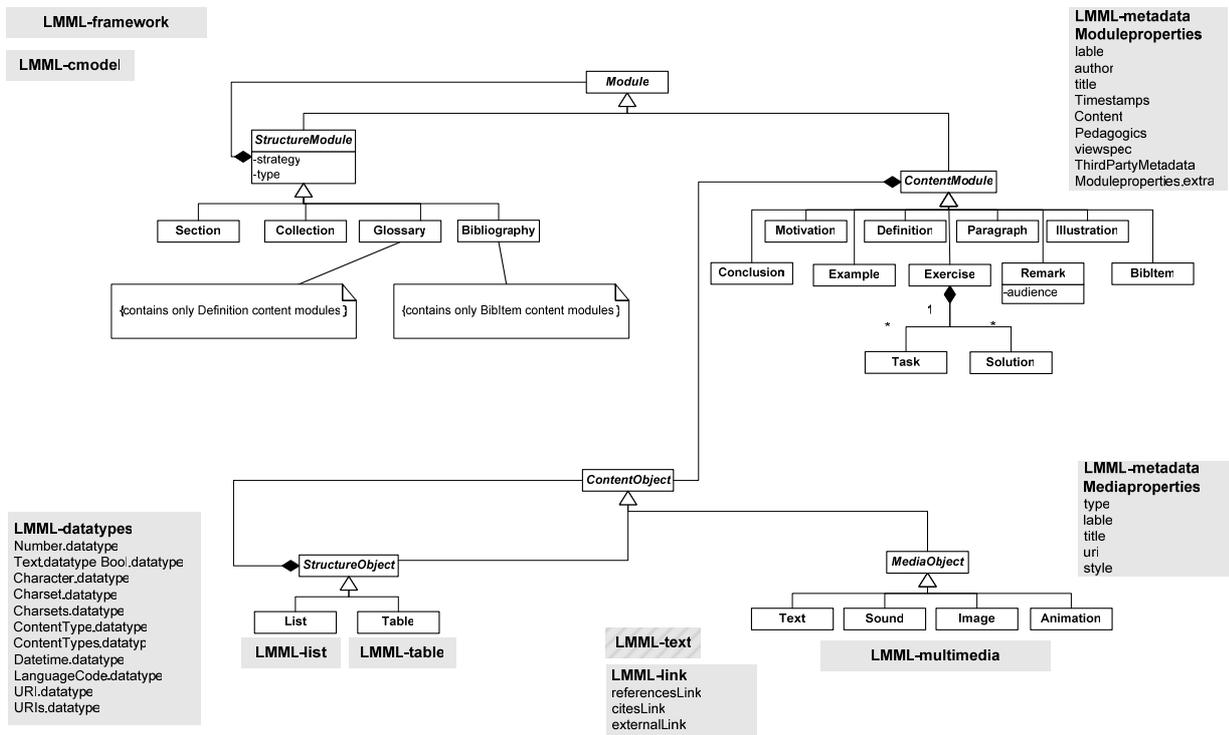


Abbildung 19: LMML Grundmodell (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Abbildung der Fallstudien in diese Struktur erfolgt schrittweise, indem neben den bereits bestehenden Strukturelementen „section“ und „collection“ zunächst ein neues Strukturelement „casestudy“ hinzugefügt wurde. Dieses Element dient als strukturierender Container für die weiteren Sektionen. Innerhalb dieses Elementes werden die Sektionen wie folgt zugeordnet:

Tabelle 6: Zuordnung der Sektionen einer Fallstudie zu LMML Elementen (Quelle: Eigene Darstellung)

Sektion der Fallstudie	Korrespondierendes LMML Element
Voraussetzungen zur Bearbeitung der Fallstudie	Wird in den Metadaten abgebildet (siehe 5.4.1)
Verbale Beschreibung der Problemstellung	cs_verbal
Modellierung der Problemstellung	cs_model
Lösung der Problemstellung (formal)	cs_solution
Interpretation der Lösung, Übertragung der Lösung auf die Problemstellung	Innerhalb von cs_solution
Bibliographische Referenzen	bibliography (bereits bestehend)
Hinweise zum Einsatz der Fallstudie für Lehrende	objectives, remark (bereits bestehend)

Grafisch ist der grundlegende Aufbau der casestudy-Sektion in Abbildung 20 abgebildet.

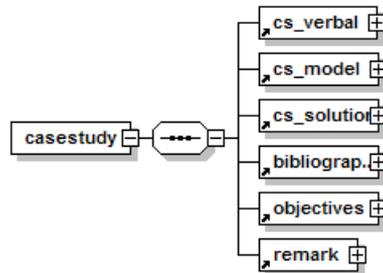


Abbildung 20: LMML-OR – Aufbau Dokumenttyp (Quelle: Eigene Darstellung)

Innerhalb der Sektionen werden nun die Unterelemente modelliert. Beispielhaft ist dieses für die Elemente `cs_verbal` und `cs_model` in Abbildung 21 dargestellt.



Abbildung 21: LMML-OR –Verfeinerung der Elemente (Quelle: Eigene Darstellung)

Die gestrichelten Elemente in Abbildung 21 stellen optionale Teile dar, die in einer Instanz der Fallstudie nicht obligatorisch sind. In gleicher Weise werden die weiteren Sektionen modelliert. Die Änderungen am LMML Grundmodell sind in Abbildung 22 zusammengefasst (graue Hinterlegung).

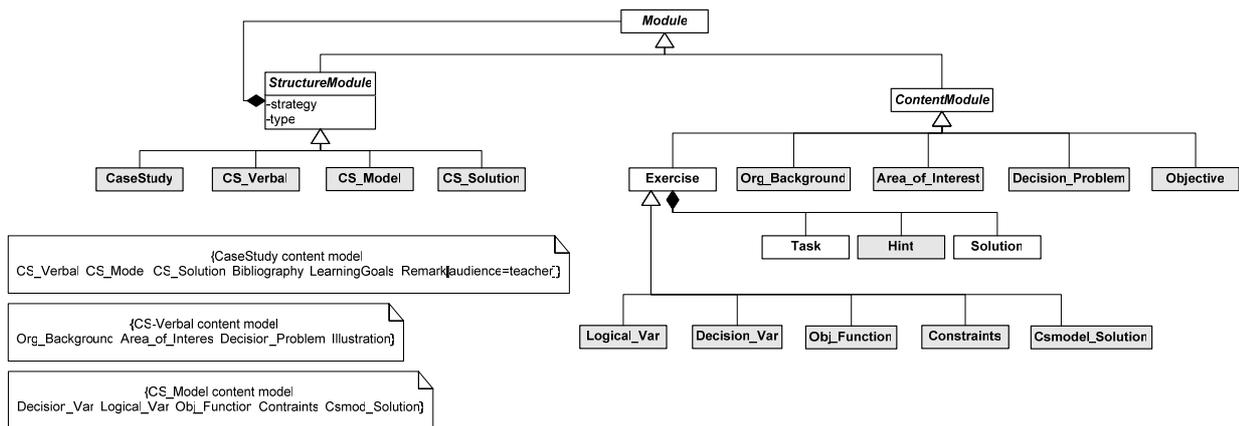


Abbildung 22: LMML Erweiterung für Fallstudien (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Modellierung erfolgte dabei in enger Zusammenarbeit mit dem Autor von LMML, Herrn Süß, wobei sich zeigte, dass die Ergebnisse erster Modellierungsversuche keinen besonders hohen Integrationsgrad mit dem Kern zeigten. Bei der Modellierung einer Erweiterung für Fallstudien wurden z. B. Elemente hinzugefügt, die Lösungshinweise und sog. Teaching Notes modellierten. Teaching Notes stellen Informationen dar, die für Lehrende bestimmt sind und Studenten nicht dargestellt werden sollen. In einem ersten Versuch, wurde ein neues Element modelliert, das diese Teaching Notes umfasst. Bei Diskussionen stellte sich aber heraus, dass eine ähnliche Bezeichnungsmöglichkeit bereits im Ursprungsmodell existierte, so dass nicht ein weiteres Element hinzugefügt werden musste.

Zur Darstellung der LMML-OR basierten Fallstudien müssen wie in Abschnitt 4.1.2.2 beschrieben noch entsprechende XSL Stylesheets erstellt werden, die die Transformation der LMML Fallstudien in eine sichtbare Repräsentation durchführen. Zu diesem Zweck wurden Stylesheets für HTML und PDF entwickelt. Für die praktische Durchführung der Transformation sei auf Abschnitt 6.6 verwiesen.

#### 5.1.4 Umsetzung der Multilingualität für Lernobjekte

Der Anspruch an Lernobjekte, multilinguale Inhalte transportieren zu können, ist entscheidend von der Kodierungsform abhängig. Erfüllt die jeweilige Kodierungsform die technischen Voraussetzungen, z. B. Unicode Unterstützung, können die Inhalte mit großer Sicherheit auf variierenden Endgeräten korrekt ausgegeben werden. Eine letzte Unsicherheit bleibt bestehen: Das jeweilige Endgerät muss in der Lage sein, die Kodierung korrekt zu interpretieren.

LMML ist eine XML basierte Anwendung. XML ist besonders geeignet, um mehrsprachige Inhalte zu transportieren. XML benutzt Unicode und ist somit in der Lage, alle geforderten Zeichenkodierungen repräsentieren zu können. LMML partizipiert als XML Anwendung von allen Eigenschaften, die XML mit sich bringt, und kann durch die Unicode Unterstützung

ebenfalls multilinguale Inhalte kodieren. Auch in dieser Hinsicht bietet sich die semantische Kodierung von Lernobjekten in XML basierten Anwendungen, wie z. B. LMML an.

## 5.2 Systematisierung von Lernobjekten nach dem Prinzip der Granularität

Die Abstraktion von Lernmaterialien in Lernobjekte bringt das Problem mit sich, nach welchen Kriterien diese unterschieden werden sollen. Eine solche Systematisierung ist relevant für die Wiederbenutzbarkeit und sollte entsprechende Kriterien mit einbeziehen. Ein Kriterium ist dabei die Granularität eines Lernobjektes. In diesem Abschnitt wird eine Systematik entwickelt, wie Lernobjekte nach ihrer Granularität eingeteilt und welche Granularitätsstufen kombiniert werden können. Zunächst werden dazu bestehende Ansätze dargestellt die auf dem Prinzip der Granularität aufsetzen (5.2.1), ehe im Abschnitt 5.2.2 eine eigene Systematik entwickelt wird. Abschnitt 5.2.3 beschäftigt sich abschließend mit den möglichen Kompositionen granular abgestufter Lernobjekte.

### 5.2.1 Granularität als Systematisierungsprinzip – bestehende Ansätze

Die Größe eines Lernobjekts wird auch als seine Granularität bezeichnet. Betrachtet man typische Lernobjekte, so unterscheiden sich diese teilweise wesentlich bzgl. ihrer Granularität. Einzelne Videosequenzen stehen ganzen Dokumenten gegenüber, die Text, Grafik und ggf. interaktive Anwendungen bündeln. Die Abstraktion in Lernobjekte umfasst auch die auftretenden Medialitäten des jeweiligen Lernobjektes. Das Problem, eine Granularität für einzelne Lernobjekte angeben zu können, tritt bei der Kombination von Lernobjekten zu komplexeren Gebilden verschärft auf. Eine Webseite, die Text, Grafiken sowie interaktive Java Applets beinhaltet, kann mit den traditionellen Kennzahlen kaum mehr treffend bezüglich ihrer Größe charakterisiert werden.

Gängige Maßzahlen bzw. Größenangaben für z. B. gedruckte Medien wie Seitenangaben, Anzahl der Wörter etc. sind damit nicht mehr adäquat, um den Informationsgehalt digitaler Medien zu beschreiben. Solange digitale Medien lediglich eine direkte Transformation gedruckter Medien darstellen (wobei der Produktionsweg eher anders herum gerichtet ist), sind diese Maßzahlen anwendbar. Eine Angabe in Seiten ist trotzdem schlecht anwendbar, die Paginierung kann für Dokumente gewechselt werden, wobei sich der Umfang ändert. Dieser Fall tritt bei der Ausgabe von semantisch kodierten Lernobjekten auf verschiedenen Geräten mit variierender Darstellungsfläche auf.

Sobald aber interaktive Elemente nicht textueller Medialität eingebunden werden, kann der Informationsgehalt nicht mehr adäquat durch diese Maßangaben ausgedrückt werden. Wie soll

z. B. die Größe einer interaktiven Simulation, einer Animation, eines Films oder eines Audioclips gekennzeichnet werden? Betrachtet man die Literatur, so lassen sich verschiedene Ansätze finden, um Lernobjekte zu klassifizieren. Die Ansätze beziehen Merkmale von Lernobjekten ein, um sie danach zu klassifizieren.

[Wiley 2001, 15 ff.] führt eine Klassifikation von Lernobjekten nach den folgenden fünf Merkmalen ein: Fundamental, combined-closed, combined-open, generative-presentation und generative-instructional learning objects. Die Merkmale sind dabei sowohl an der Granularität als auch an der Medialität orientiert (vgl. [Wiley 2001, 18 f.]). Fundamentale Lernobjekte bezeichnen einzelne Medienfragmente (z. B. eine Grafik). Mit kombiniert-geschlossenen Lernobjekten bezieht sich Wiley auf multimediale Dokumente, z. B. ein Video, das durch Audio Kommentare ergänzt wird. Ein solches Lernobjekt wird als geschlossen charakterisiert, da die enthaltenen Medien (in diesem Beispiel Video- und Audiospur) nicht mehr einfach getrennt werden können. Kombiniert-offene Lernobjekte integrieren fundamentale und kombiniert-geschlossene Lernobjekte. Eine WWW Seite, die Grafiken und Videosequenzen beinhaltet, entspricht diesem Typ von Lernobjekt. Generative präsentierende Lernobjekte greifen auf die fundamentalen und kombinierten Objekte zurück und setzen diese durch steuernde Strukturen in einen interaktiven, präsentationalen Kontext („generative-presentation“). Generativ instruktionale Lernobjekte schließlich greifen auf alle bisher behandelten Typen von Lernobjekten zurück und präsentieren diese in einem instruktionalen Kontext, d. h. diese Lernobjekte besitzen explizit Mechanismen zur Evaluation von Interaktionen des Lernenden, wie z. B. Tests etc. Diese Klassifikation bezieht nicht ausschließlich die Granularität von Lernobjekten ein, sondern trennt auch nach der Medialität und nach Verarbeitungsmechanismen, die in das Lernobjekt eingebunden sind, „... the common function of algorithms and procedures within the learning object“ [Wiley 2001, 16].

Die Klassifikation Wiley's ist relativ grob und lässt bzgl. der Granularität viele Interpretationsmöglichkeiten offen. Warum zwischen fundamentalen und kombiniert-geschlossenen Lernobjekten unterschieden wird, bleibt offen. Von einem medientheoretischen Standpunkt stellen beide Lernobjekttypen Medien dar, wobei im kombiniert-geschlossenen Fall diese Medien modal in einem Lernobjekt kombiniert sind.

Eine weitere Möglichkeit der Klassifikation von Lernobjekten wird in [LOM DOC 2002] eingeführt. Granularitäten von Lernobjekten werden innerhalb von LOM mit der Eigenschaft „Aggregation Level“ berücksichtigt. In [LOM DOC 2002, 15] werden die folgenden Granularitätsstufen vorgeschlagen:

- “1: the smallest level of aggregation, e.g., raw media data or fragments.
- 2: a collection of level 1 learning objects, e.g., a lesson.

- 3: a collection of level 2 learning objects, e.g., a course.
- 4: the largest level of granularity, e.g., a set of courses that lead to a certificate.”

Insgesamt werden von LOM also vier Stufen für Granularitäten von Lernobjekten eingeführt. Die Lernobjekte der kleinsten Granularität bezeichnen einzelne Medien oder Medienfragmente. Diese können kombiniert werden zu einem Lernobjekt der Stufe 2, z. B. einer einzelnen Vorlesung, die wiederum zu Lernobjekten der Stufe 3, einem Kurs gebündelt werden können. Die größte Granularität weisen Lernobjekte der Stufe 4 auf, die Lernobjekte der Stufe 3 und auch rekursiv Elemente der Stufe 4 z. B. zu einem Studienfach bündeln.

Die Nomenklatur wird durch die Beispiele, die in der LOM Spezifikation gegeben werden, erläutert. Es werden aber keine klaren Anhaltspunkte dafür geliefert, wo die Grenze zwischen den Granularitäten eigentlich gezogen wird. Die Einteilung ist relativ abstrakt und ohne Erläuterungen nicht ohne weiteres nachvollziehbar. Zusätzlich erscheint der granulare Abstand zwischen Lernobjekten der Stufe 1 und 2 als relativ groß. Eine Vorlesung besteht i. d. R. nicht aus einer Sequenz von Medien, sondern weist noch eine inhaltliche Gliederung auf. Da das Wiederbenutzungspotenzial von Lernobjekten kleiner Granularität besonders hoch erscheint, sollte hier eine feinere Differenzierung vorgenommen werden.

Eine Systematik von Lernobjekten sollte sowohl von Autoren als auch von Lernenden klar nachvollziehbar sein, um ein klares Verständnis über ein Lernobjekt einer gegebenen Granularität zu entwickeln. Dazu bietet sich die Verwendung von Begriffen aus dem vertrauten Umfeld des Lernenden/Lehrenden an, z. B. geläufige Einheiten, wie Lektionen, Kurse etc. Durch diese Aufteilung kann der Lernende auch den zeitlichen Aufwand einschätzen, um solch ein Lernobjekt zu bearbeiten.

### *5.2.2 Granularitätsstufen für Lernobjekte – Entwicklung einer Systematik*

Im Folgenden wird aufbauend auf dem Kriterium der Granularität eine Systematik für Lernobjekte entwickelt. Dazu werden fünf Ebenen eingeführt, zwischen deren Granularität differenziert werden kann. Die Lernobjekte werden dabei nach zunehmender Granularität und Komplexität gegliedert. Angefangen mit Medienelementen, über Lernelemente und Inhaltsmodule zu Kursen. Zusätzlich werden thematische Metastrukturen als Strukturelement definiert, die eine Sequenz von Kurselementen abbilden.

In der Tabelle 7 sind die Granularitätsstufen für Lernobjekte den Klassifikationen von LOM und Wiley gegenüber gestellt.

Tabelle 7: Gegenüberstellung Granularitätsstufen, LOM, Wiley (Quelle: Eigene Darstellung)

Vorgeschlagene Granularitäten	Korrespondierendes Element nach [LOM DOC 2002]	Korrespondierendes Element nach [Wiley 2001]
Medienelement	Level 1 Objekt (media fragment)	Fundamentales Lernobjekt, Kombiniert-geschlossenes Lernobjekt
Lernelement	-	Kombiniert-offenes Lernobjekt
Inhaltsmodul	Level 2 Objekt (lesson)	Generativ-präsentationales Lernobjekt, Generativ-instruktionales Lernobjekt
Kurs	Level 3 Objekt (course)	Generativ-instruktionales Lernobjekt
Thematische Metastruktur	Level 4 Objekt (set of courses that lead to a certificate)	Generativ-instruktionales Lernobjekt

Die Zuordnung der Stufen zueinander ist nicht in jedem Fall eindeutig möglich. Es ergibt sich ein Kontinuum zwischen den Lernobjekten geringer Komplexität (Medienelement) und denen hoher Komplexität (Thematische Metastruktur), in das Lernobjekte je nach Granularität eingeordnet werden können (siehe Abbildung 23). Die Systematik kann hier nur Hinweise bzgl. der Klassifikation geben.

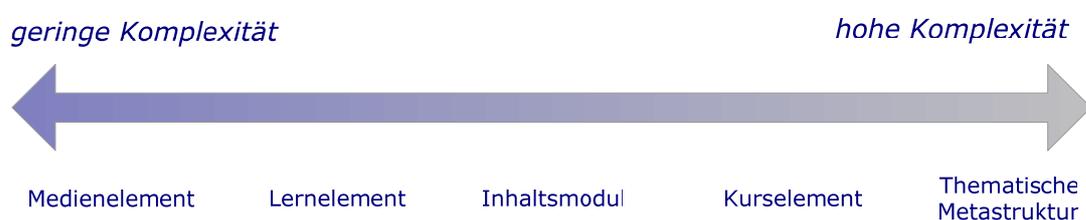


Abbildung 23: Kontinuum und Einordnung der Granularitäten (Quelle: Eigene Darstellung)

In den folgenden Abschnitten 5.2.2.1 bis 5.2.2.5 werden die Granularitätsstufen detaillierter beschrieben.

#### 5.2.2.1 Medienelement

Ein Medienelement klassifiziert einzelne Medienfragmente, wie z. B. Text, Grafik, Animationen, Audio, etc. Das Medienelement stellt die kleinste Einheit eines Lernobjektes dar. Es wird hier explizit keine Differenzierung zwischen monomodalen und multimodalen Lernobjekten vorgenommen, beide werden als Medienelemente aufgefasst.

Ein Medienelement ist auf der niedrigsten Stufe der Hierarchie angesiedelt und stellt die kleinste Informationseinheit dar. Ein Beispiel könnte ein einzelnes Diagramm sein, das einen grafischen Sachverhalt visualisiert. Ein Medienelement besitzt einen hohen Wiederverwendungswert in an-

deren Lernobjekten, da es i. d. R. neutral in Bezug auf einen Anwendungskontext ist. Ein einzelnes Medienelement wird in der Regel dem Lernenden nicht direkt präsentiert, sondern vielmehr mit anderen Medienelementen kombiniert und durch einen umgebenden Rahmen kontextualisiert. Dieser Rahmen wird durch höher granulare Lernelemente gegeben.

#### 5.2.2.2 *Lernelement*

In der nächsten Komplexitätsstufe über dem Medienelement steht das Lernelement. Inhaltlich behandelt ein Lernelement ein eng umrissenes Thema. Ein Lernelement bezeichnet eine Struktur, die ein oder mehrere atomare Medienelemente enthält. Dabei werden Medienelemente sequentiell im Lernelement angeordnet. Ein Lernelement ist damit nicht eine Menge, sondern eine Sequenz von Medienelementen. Üblicherweise kann das Lernelement durch weitere Anmerkungen und Texte erweitert werden.

Diese pragmatische Herangehensweise erleichtert es, ein kohäsives Lernelement, das in sich stimmig ist, zu erstellen. Die Kontextualisierung der eingebundenen Medienelemente findet dabei auf Ebene des Lernelementes statt. Die Kombination von mehreren Lernelementen erfolgt in einem Inhaltsmodul.

#### 5.2.2.3 *Inhaltsmodul*

Inhaltsmodule umfassen ein oder mehrere Lernelemente. Ein Inhaltsmodul ist dabei inhaltlich und von der Komplexität ähnlich einer Vorlesung zu sehen. In einem Inhaltsmodul wird ein Themenkomplex dargestellt, der wiederum in einzelne Aspekte gegliedert werden kann, die in Lernelementen behandelt werden. Ein Beispiel für ein Inhaltsmodul ist die Darstellung eines Algorithmus, wobei ein Lernelement die Einführung, eines den Algorithmus selbst und ein weiteres praktische Anwendungen des Algorithmus behandelt.

#### 5.2.2.4 *Kurs*

Ein Kurs bündelt mehrere Inhaltsmodule. Der Kurs ist dabei als eine thematische Einheit im Sinne einer universitären Lehrveranstaltung zu sehen. Ein Beispiel ist eine Veranstaltung wie „Einführung in Operations Research“, die Grundlagenkenntnisse zu OR in einem abgeschlossenen Rahmen vermitteln soll. Der Kurs setzt sich dann thematisch aus Inhaltsmodulen zusammen, die einzelne Aspekte des Kurses behandeln.

#### 5.2.2.5 *Thematisches Netzwerk*

Die thematischen Netzwerke verknüpfen Kurse zu einer höherwertigen Einheit, z. B. einem Curriculum mit definiertem Abschluss. Ein Beispiel für eine Anwendung ist die Kombination mehrerer Kurse zu einem Studienfach.

### 5.2.3 Komposition von Lernobjekten

Basierend auf den Granularitätsstufen, die in den vorhergehenden Abschnitten eingeführt wurden, wird im Folgenden eine Vorgehensweise entwickelt, wie Lernobjekte verschiedener Granularität kombiniert werden können.

#### 5.2.3.1 Relationstypen zwischen Lernobjekten

Die Zuordnung von Lernobjekten zu Granularitätsstufen, die in Abschnitt 5.2.2 beschrieben wurde, ist eine wichtige Voraussetzung für die Wiederverwendbarkeit. So kann ein Medienelement z. B. verschiedenen Lernelementen zugeordnet sein. Diese Beziehung muss in expliziter Form abgebildet werden. Analog zu den Strukturen der Wissensbasis und deren Abbildung in einer Ontologie (siehe 4.3.2) wird das Inkludieren eines Medienelementes ME in einem Lernelement LE durch eine Relation abgebildet. Diese Relation ist vom Typ „HasPart“, d. h. für LE würde vermerkt werden: „LE HasPart ME“. Zu jeder Relation existiert eine inverse Relation. In diesem Beispiel: „ME IsPartOf LE“.

Neben den Inklusionsrelationen „HasPart/IsPartOf“ sind noch weitere Relationstypen relevant, die die Beziehungen zwischen Lernobjekten kennzeichnen. Diese Beziehungstypen wurden in Anlehnung an [Miller 1999] und [LOM DOC 2002] ausgewählt. Tabelle 8 führt die Relationen und deren semantische Bedeutung auf.

Tabelle 8: Mögliche Relationen zwischen Lernobjekten (Quelle: vgl. [Miller 1999])

Relationen	Erklärung
IsPartOf	Lernobjekt ist ein Teil eines anderen Lernobjekts
HasPart	Lernobjekt inkludiert ein anderes Lernobjekt
IsVersionOf	Lernobjekt ist eine Version (Überarbeitung) eines Lernobjekts
HasVersion	Lernobjekt weist Versionen (Überarbeitung) auf
IsFormatOf	Lernobjekt ist eine Repräsentationsform eines ursprünglichen Lernobjekts
HasFormat	Lernobjekt weist weitere Repräsentationsformen auf
References	Lernobjekt referenziert ein Lernobjekt
IsReferencedBy	Lernobjekt wird von einem Lernobjekt referenziert
IsBasedOn	Lernobjekt basiert inhaltlich auf einem anderen Lernobjekt
IsBasisFor	Lernobjekt ist inhaltlich Voraussetzung für ein anderes Lernobjekt
Requires	Lernobjekt benötigt anderes Lernobjekt (z. B. technisch)
IsRequiredBy	Lernobjekt wird von anderem Lernobjekt benötigt.

Über die oben dargestellten Relationstypen lassen sich nicht nur Inklusionen, sondern darüber

hinaus auch Referenzen, inhaltliche Voraussetzungen sowie technische Restriktionen ausdrücken. Prinzipiell kann eine Relation Beziehungen zwischen Lernobjekten der gleichen und jeder anderen hierarchischen Ebene definieren. Es erscheint jedoch zweckmäßig, nicht alle Kombinationen zuzulassen. Die direkte Einbindung eines Lernelementes in einen Kurs sollte nicht vorgenommen werden, da ansonsten die Kontextualisierung des Lernelementes i. d. R. nicht ausreicht. Die validen Kombinationsmöglichkeiten zwischen Lernobjekten werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

#### 5.2.3.2 *Valide Relationen zwischen Lernobjekten verschiedener Granularität*

Die Kombinationsmöglichkeiten von Lernobjekten sollten einem hierarchischen Aufbau folgen, um einer möglichen Dekontextualisierung eines Lernobjektes niedriger Granularität bei der Inklusion in einem Lernobjekt höherer Granularität entgegen zu wirken. Der Tabelle 9 können alle validen Relationen zwischen Lernobjekten entnommen werden. Ausgehend von der Granularität eines Lernobjekts (linke Spalte) lässt sich zu jedem Verknüpfungstyp die valide Granularität eines Ziel-Lernobjekts ablesen (durch • gekennzeichnet). Die Relationstypen *IsFormatOf* / *HasFormat* sowie *IsVersionOf* / *HasVersion* sind selbstreferentiell, d. h. sie verknüpfen ausschließlich Lernobjekte gleicher Granularität. Aus Gründen der Übersicht wurden sie deswegen nicht mit aufgenommen. Der *HasPart* Relationstyp ist in Tabelle 9 fett dargestellt. Es handelt sich hierbei um diejenige Relation, die die Hierarchie innerhalb des hypermedialen Netzwerkes beschreibt.

Tabelle 9: Valide Relationen zwischen Lernobjekten (Quelle: Eigene Darstellung)

Relationen Quelle/Ziel		Ziel				
		Thematisches Netzwerk	Kurs	Inhaltsmodul	Lernelement	Medienelement
Quelle	Thematisches Netzwerk	IsPartOf				
		<b>HasPart</b>		•		
		References	•	•		
		IsReferencedBy	•			
		IsBasedOn		•		
		IsBasisFor				
		Requires		•		
		IsRequiredBy				
	Kurs	IsPartOf	•			
		<b>HasPart</b>			•	
		References		•	•	
		IsReferencedBy	•	•		
		IsBasedOn		•	•	
		IsBasisFor	•	•		
		Requires		•	•	
		IsRequiredBy	•	•		
	Inhaltsmodul	IsPartOf		•		
		<b>HasPart</b>				•
		References			•	•
		IsReferencedBy		•	•	
		IsBasedOn			•	•
		IsBasisFor		•	•	
		Requires			•	•
		IsRequiredBy		•	•	
	Lernelement	IsPartOf			•	
		<b>HasPart</b>				•
		References				•
		IsReferencedBy			•	•
		IsBasedOn				•
		IsBasisFor			•	•
		Requires				•
		IsRequiredBy			•	•
Medienelement	IsPartOf				•	
	<b>HasPart</b>					
	References				•	
	IsReferencedBy				•	
	IsBasedOn				•	
	IsBasisFor				•	
	Requires				•	
	IsRequiredBy				•	

Lernobjekte können jeweils nur Lernobjekte der direkt untergeordneten Granularitätsstufe beinhalten. Diese Vorgehensweise ist sinnvoll, um einen hierarchischen Aufbau einzuhalten und

damit Autoren bei der Suche nach potenziellen Lernobjekten zu unterstützen, indem Lernobjekte einer geeigneten Granularität angeboten werden.

Der Relationstyp HasFormat/IsFormatOf bezeichnet wie in Tabelle 8 angegeben eine andere Repräsentationsform eines Lernobjektes. Beispielsweise könnte ein Lernobjekt, das ursprünglich in HTML kodiert ist, eine Repräsentation in PDF aufweisen. Dieses inhaltlich übereinstimmende Lernobjekt (PDF) könnte durch die IsFormatOf als zugehörig zu dem ursprünglichen Lernobjekt gekennzeichnet werden. Dieser Relationstyp ist im Falle einer semantischen Kodierung obsolet, da die gewünschte Repräsentation jeweils automatisiert generiert werden kann und nicht in separaten Versionen vorgehalten werden muss.

### **5.3 Systematisierung von Lernobjekten nach Inhalt - Ontologie für OR/MS**

In diesem Abschnitt wird eine Ontologie für den Bereich OR/MS auf bereits existenten und etablierten Kategorisierungen entwickelt. Dazu werden im Abschnitt 5.3.1 bestehende Ansätze zur Klassifikation von OR/MS Inhalten aufgezeigt, ehe in Abschnitt 5.3.2 eine eigene Ontologie entwickelt wird. Die technische Realisierung der zugehörigen Formalisierung wird in Abschnitt 5.3.3 beschrieben.

#### *5.3.1 Bestehende Ansätze zur Klassifikation von OR/MS Inhalten*

Eine Wissensdomäne kann aus mehreren Perspektiven kategorisiert werden. Die Einteilung muss nicht eindeutig sein. Eine mögliche Kategorisierung von OR/MS bietet die hypermediale Lernumgebung OR-Welt (vgl. [Blumstengel 1998]).

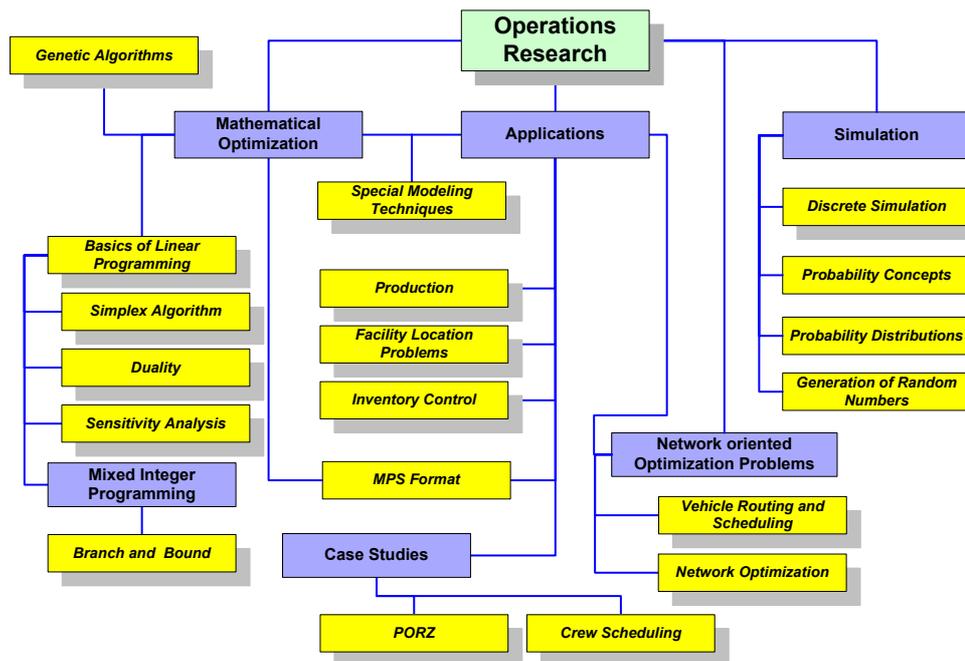


Abbildung 24: Gliederung von OR/MS für OR-Welt (Quelle vgl. [Blumstengel 1998])

Die oben abgebildete Strukturierung ist nicht die einzige gültige Konzeptualisierung für OR/MS. Konzepte können z. B. aus einer Gliederung in Untergebiete erfolgen. Auf diese Weise würde das Konzept „Operations Research“ aufgeteilt werden in „Mathematische Optimierung“ und „Simulation“. „Mathematische Optimierung“ wiederum kann unterschieden werden in „Lineare Programmierung“ und „Mixed Integer Programmierung“. Konzepte wie „Simplex Algorithmus“ und „Dualität“ werden der „Linearen Programmierung“ untergeordnet etc. Auf diese Weise entsteht eine Hierarchie von Basiskonzepten.

Das Klassifikationsproblem in den mathematischen Disziplinen ist nicht neu. Es gibt bereits Ansätze, in der Regel Taxonomien, um mathematische Veröffentlichungen und Materialien zu klassifizieren. Die American Mathematics Metadata Task Force [AMMTF 2001] verfasste die Mathematical Subject Classification (MSC), ein Klassifizierungsschema in Form einer Taxonomie. Das derzeitige System MSC 2000 ist eine Revision der Klassifikation von 1991, die als Ergebnis einer Zusammenarbeit zwischen Mathematical Reviews (MR) und Zentralblatt Math (Zbl) beschlossen wurde. Innerhalb der beiden Datenbanken Mathematical Reviews Database (MRDB) und der Zbl Datenbank wird die Klassifikation zur Kennzeichnung von Artikeln verwendet. Das Ziel ist es, Lesern eine Orientierungshilfe zur zielgerichteten Selektion potenziell relevanter Artikel zu bieten. Das Schema besteht aus einem fünfstelligen Code, der eine Klassifikation in verschiedene Bereiche ermöglicht. Die ersten drei Zeichen kennzeichnen den Hauptbereich, der durch die weitere Sequenz weiter kategorisiert wird. So steht z. B. 90B für den Bereich „Operations Research und Management Science“, 90B20 für „traffic problems“ innerhalb der Sektion Operations Research. Ein Artikel kann dabei entweder genau einem Bereich der MSC

zugeordnet werden, oder aber für mehrere Bereiche eingetragen werden. Dabei ist die Hauptcharakterisierung genau einem Bereich zugeordnet (primary classification). Wenn der Artikel für weitere Bereiche als relevant erachtet wird, können diese ebenfalls vermerkt werden (secondary classification). Das gesamte Verzeichnis kann unter [AMS 2000] eingesehen werden.

Innerhalb dieser Taxonomie ist ein Abschnitt dem Bereich Operations Research und Management Science gewidmet. Das Klassifikationsschema der AMS bietet nur eine sehr grobe Eingliederung der Themen aus dem OR/MS. In Tabelle 10 ist ein Auszug des AMS Klassifizierungsschemas für den Bereich OR/MS abgebildet.

Tabelle 10: AMS Klassifizierungsschema für OR/MS (Auszug) (Quelle: Eigene Darstellung)

90Bxx	Operations research and management science
90B05	Inventory, storage, reservoirs
90B06	Transportation, logistics
90B10	Network models, deterministic
90B15	Network models, stochastic
90B18	Communication networks [See also 68M10,94A05]
90B20	Traffic problems
90B22	Queues and service [See also 60K25, 68M20]
90B25	Reliability, availability, maintenance, inspection [See also 60K10, 62N05]
90B30	Production models
90B35	Scheduling theory, deterministic [See also 68M20]
90B36	Scheduling theory, stochastic [See also 68M20]
90B40	Search theory
90B50	Management decision making, including multiple objectives [See also 90C31, 91A35, 91B06]
90B60	Marketing, advertising [See also 91B60]
90B70	Theory of organizations, manpower planning [See also 91D35]
90B80	Discrete location and assignment [See also 90C10]
90B85	Continuous location
90B90	Case-oriented studies
90B99	None of the above, but in this section

Die Klassifizierung, die von der AMS vorgegeben wird, ist relativ grob. Positiv hervorzuheben ist, dass ein allgemein anerkanntes Klassifikationsschema für Mathematik und damit auch Operations Research überhaupt existiert. Andererseits ist gerade Operations Research ein interdisziplinäres Feld, das weitere Querverweise zu anderen Disziplinen aufweist. In diesem

Sinne wird eine strenge Hierarchie der Vielschichtigkeit von Operations Research nur bedingt gerecht. Verweise auf andere relevante Bereiche (siehe Tabelle 10, „see also #“) können diese Problematik nur bedingt lösen. Es erfolgt keine Typisierung des Verweises: Ist der angesprochene Referenzbereich nur verwandt zur Thematik, ist es eine Weiterführung, oder gar Voraussetzung für die zu klassifizierende Thematik? Diese Fragen werden von einfachen Referenzen nur unzureichend beantwortet. Wenn eine maschinengestützte Auswertung erfolgen soll, ist diese Vorgehensweise als nicht ausreichend zu beurteilen.

### 5.3.2 Formalisierung einer Kategorisierung von OR/MS am Beispiel MSC 2000

In einer Ontologie kann die Taxonomie der MSC 2000 in einem maschinenlesbaren Format erfasst werden. Ausgehend von dem ursprünglichen MSC 2000 Schema, wurden die Elemente entsprechend in eine Taxonomie gebracht. Die Taxonomie alleine stellt das Grundgerüst der Ontologie, indem eine Hierarchie von Konzepten und diesen untergeordneten Konzepten gebildet wird. In Abbildung 25 ist ein Teilbereich der MSC Taxonomie abgebildet.

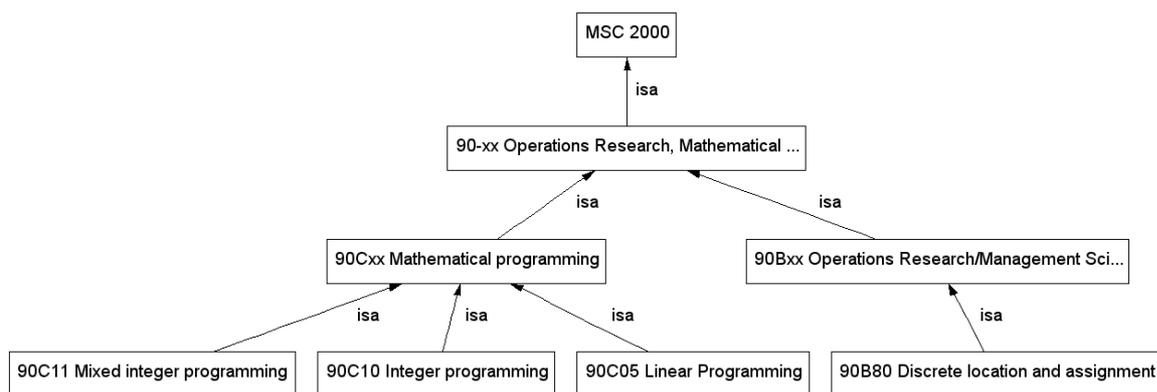


Abbildung 25: Teilbereich der MSC 2000 ohne Referenzen (Quelle: Eigene Darstellung)

Durch sog. Relationen oder Slots können die Konzepte bzw. deren Instanzen zusätzlich beschrieben werden. Mit Hilfe dieser Slots werden Eigenschaften zu einzelnen Konzepten definiert. Auf diesem Weg wurden die Referenzen typisiert in der Ontologie abgebildet. Dadurch kann die typische Baumstruktur der Taxonomie zu einem Graphen erweitert werden. In Abbildung 26 ist ein Ausschnitt der Ontologie zu sehen, in dem die „IsBasisFor“ Beziehung, also eine Voraussetzungsbeziehung für das Konzept „Lineare Programmierung“ in Bezug auf „Mixed Integer Programming“ definiert wurde.

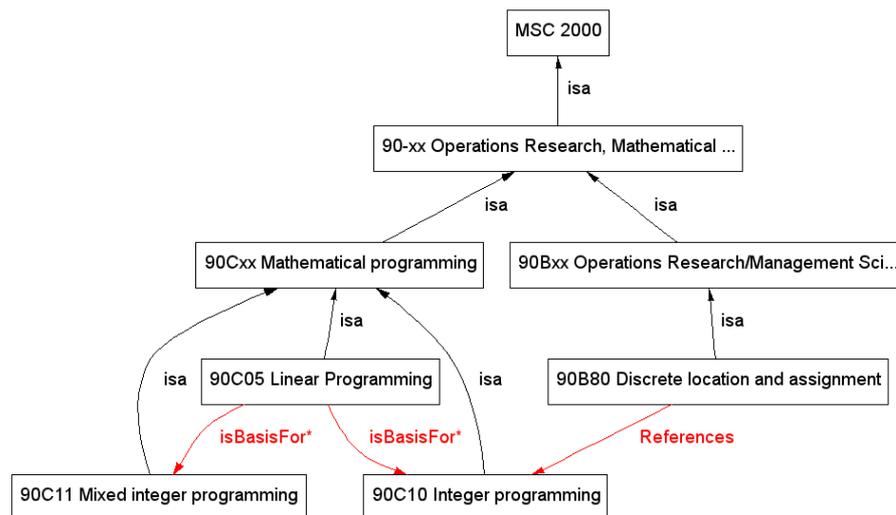


Abbildung 26: Teilbereich der Ontologie mit Referenzen (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Kenntnis, dass das Konzept „Lineare Programmierung“ Voraussetzung für das Konzept „Mixed Integer“ Programming ist, kann auf diese Art maschinenlesbar hinterlegt werden. Weiterhin können typisierte Verweise, die auch für die Komposition von Lernobjekten benutzt werden (siehe Tabelle 8) zur Kennzeichnung der Beziehung zwischen Konzepten der Ontologie verwendet werden. In Abbildung 26 ist das durch die Relation „References“ angedeutet. Durch die Verwendung typisierter Referenzen wird die Wissensstruktur inklusive der zwischen Konzepten auftretenden Referenzen explizit modelliert.

### 5.3.3 Technische Realisierung der Formalisierung

Das Erstellen der Ontologie kann mit einem standardisierten Werkzeug vorgenommen werden. In dieser Arbeit wurde dazu [Protégé 2003] verwendet. Protégé kann alle Komponenten einer Ontologie, die in Abschnitt 4.3.2.2 vorgestellt wurden, bearbeiten.

Die explizite Struktur der Ontologie kann aufgrund des formalen Charakters leicht in eine grafische Darstellung überführt werden. Werkzeuge wie Protégé bieten dazu Visualisierungsmethoden, die aus der Struktur grafische Visualisierungen erzeugen (vgl. z. B. [Ontoviz 2003], [IGViz 2003]). Der Nutzen einer Ontologievisualisierung liegt in den drei „information seeking tasks: data analysis, querying, and navigation“ [Fluit/Sabou/van Harmelen 2003, 44]. Die Analyse der Struktur der Ontologie in visueller Form erlaubt durch die plastische Darstellung ein einfaches Auffinden von Inkonsistenzen und Fehlern in der Modellierung. Die grafische Darstellung ist eine intuitiv erfassbare Darstellung, die einen einfachen Zugang zu der Ontologie erleichtert.

Durch die Standardisierung der Austauschformate „Resource Description Framework“ (RDF) und RDF Schema (RDFS) für Protégé und andere Ontologieeditoren ist es prinzipiell möglich,

das Werkzeug zur Bearbeitung der Ontologie zu wechseln, ohne Änderungen an der Datenbasis vornehmen zu müssen. RDF ist eine XML basierte Anwendung und stellt generelle Konstrukte bereit, um Objekte zu beschreiben und zueinander in Beziehung zu setzen. RDFS erweitert RDF, indem Konstrukte zur Beschreibung von Klassen und Attributen zu RDF hinzugefügt werden. RDF und RDFS sind damit in der Lage, Ontologien in einer XML Syntax abzubilden (vgl. [RDF 1999] und [RDFS 2002]).

Auch im Bereich der Ontologien lässt sich durch die Einführung von XML eine positive Entwicklung hin zu einer Dokumentorientierung vermerken, die Werkzeuge austauschbar macht. Der relevante Gegenstand, in diesem Fall die Ontologie, rückt in den Mittelpunkt der Betrachtung, das erstellende Werkzeug spielt eine weniger große Rolle. Diese Entwicklung ist auch für semantisch kodierte Lernobjekte festzustellen.

Durch die formalisierte Darstellung der Wissensstruktur der Domäne OR/MS wird ein Bezugsrahmen geschaffen, in dem Lernobjekte Konzepten der Domäne zugeordnet werden können. Die Klassifizierung und eine detaillierte Beschreibung der Lernobjekte erfolgt in den Metadaten.

## **5.4 Individuelle und strukturelle Beschreibung von Lernobjekten durch Metadaten**

Im vorliegenden Abschnitt wird die Struktur des LOM Schemas in Hinblick auf die praktische Umsetzung genauer beschrieben und analysiert (5.4.1). LOM bietet nur ein konzeptionelles Schema, die praktische Umsetzung wird nicht durch die Spezifikation [LOM DOC 2002] festgelegt. Verschiedene Ansätze der Speicherung von Metadaten werden in Abschnitt 5.4.2 bewertet. Der Entwurf eines relationalen Datenmodells zur Speicherung von LOM konformen Metadaten wird in Abschnitt 5.4.3 entwickelt.

### *5.4.1 Beschreibung von Lernobjekten durch Learning Objects Metadata (LOM)*

Für die Beschreibung der Lernobjekte durch Metadaten wurde das LOM Schema gewählt, da es eine relativ weite Verbreitung sowie die im Vergleich zu anderen Metadaten Ansätzen die höchste semantische Dichte, d. h. eine hohe Anzahl von beschreibenden Attributen für viele Facetten eines Lernobjektes aufweist. Gerade die weite Verbreitung ist ein wichtiges Kriterium, da erst im Zusammenspiel mit anderen Systemen eine kritische Masse erreicht werden muss, um aus Metadaten auf lange Sicht einen operativen Nutzen zu erzielen.

Das konzeptionelle LOM Basisschema ist in Form von Tabellen in [LOM DOC 2002, 10 ff.] definiert. Neben der Struktur von LOM, d. h. der Gliederung in Kategorien, Unterkategorien und Elemente sind jeweils noch Angaben zur Beschreibung, zur Anzahl erlaubter Elemente und dazu,

ob diese geordnet sind, zum Wertebereich, zum Datentyp und ein Beispiel festgelegt. Die Tabelle 11 stellt einen Auszug aus der LOM Spezifikation für das Element „Title“ dar und illustriert die Art und Weise, in der LOM spezifiziert ist.

Tabelle 11: Auszug aus der LOM Spezifikation (Quelle: [LOM DOC 2002])

Nr	Name	Explanation	Size	Order	Value space	Data type	Example
1.2	Title	Name given to this learning object	1	Un-specified	-	LangString (smallest, permitted maximum: 1000 char)	(„en“, “The life and works of Leonardo da Vinci“)

Die folgenden Datentypen können in LOM auftreten:

- Sprachspezifische Texte (LangString)
- Datums- und Zeitangaben (DateTime)
- Zeitdauern (Duration)
- Vokabulare (Vocabulary)

Sprachspezifische Texte sind immer mit einer Kennung der jeweiligen Sprache versehen, d. h. Texte werden immer als Tupel aus (Sprache, Text) gespeichert (siehe Tabelle 11, Spalte Example). Zur Sprachkennzeichnung werden Kürzel nach ISO 639 verwandt (siehe Anhang 9.4). Datums- und Zeitangaben beruhen auf der Systematik, die in Abschnitt 4.4.1 bereits behandelt wurde. Zeitdauern zur Bearbeitung eines Lernobjektes werden ebenfalls in einem Format nach [ISO8601 2000] angegeben, wodurch eine eindeutige, maschinenverarbeitbare Semantik möglich ist.

Vokabulare werden von LOM ebenfalls definiert, es sind aber auch eigene Vokabulare möglich. LOM verwendet neben Freitexteingaben Vokabulare zur Beschreibung von Lernobjekten (vgl. [LOM DOC 2002, 8 f.]). Vokabulare definieren die Ausprägungen von Werten, die einem Attribut einer LOM Instanz zugewiesen werden können. Vokabulare sind ein wichtiger Mechanismus, um vergleichbare Ausprägungen der Metadaten zu erhalten. Bei der Beschränkung auf ein kontrolliertes Vokabular können LOM Attributen Werte aus einem kontrollierten Wertebereich zugeordnet werden. Dadurch ist es möglich, der freien, chaotischen Ausbreitung von Klassifizierungsmerkmalen Einhalt zu gebieten.

An Stelle einer textuellen Eingabe z. B. des Schwierigkeitsgrads eines Lernobjekts kann zwischen verschiedenen, fixierten Ausprägungen („very easy“, „easy“, „medium“, „difficult“ und „very difficult“) gewählt werden. Die Verwendung von Vokabularen sichert eine konsistente Systematik bei der Beschreibung und eine hohe semantische Interoperabilität. Die resultierenden Metadaten sind vergleichbar in den Merkmalen, deren Wertebereich auf einem Vokabular beruht. Vokabulare werden wie sprachspezifische Texte in einem Tupel der Form (Quelle, Wert) angegeben. Bei LOM Vokabularen lautet die Quelle „LOMv1.0“. Eine Ausprägung für das oben angegebene Beispiel für den Schwierigkeitsgrad ist damit: („LOMv1.0“, „difficult“). Eigene, von LOM abweichende Vokabulare müssen mit einer eindeutigen Quellenangabe referenziert werden, z. B. über einen URI.

Die Darstellung der Werte des Vokabulars kann für den Benutzer lokalisiert werden, d. h. bei der Umsetzung des LOM Schemas werden dem Benutzer übersetzte Begriffe des Vokabulars zur Auswahl angeboten, das System selbst arbeitet intern mit den zugelassenen Werten des Vokabulars weiter. Dadurch ist die Vergleichbarkeit auch zwischen Metadaten, die in verschiedenen Sprachen verfasst sind, gesichert.

#### *5.4.2 Umsetzungsmöglichkeiten von LOM*

Es soll hier noch einmal betont werden, dass es sich bei LOM um ein konzeptionelles Schema handelt. Die Implementierung ist keineswegs auf XML festgelegt, wie oft fälschlicherweise angenommen wird. Alternativ sind Implementierungen in einem relationalen oder objektorientierten Datenmodell möglich und in vielen Fällen sinnvoll. Es ist prinzipiell freigestellt, in welchem technischen Format die LOM Instanzen persistent gespeichert werden. Es lassen sich verschiedene Ansätze identifizieren:

1. Speicherung in XML Dokumenten (Dateibasiert)
2. Speicherung in Datenbanken
  - a. XML Datenbank
  - b. Objekt
  - c. Relationale Datenbank

XML Dokumente können in Dateien abgelegt werden, da XML ein einfaches Textformat ist (5.4.2.1). Ein Datenbankmanagementsystem (DBMS) besteht aus einer Datenbank und einem System, das den Zugriff auf Daten reguliert. DBMS bieten i. d. R. Mechanismen zur Sicherstellung der Konsistenz der Daten. Relevante Datenbankmodelle zur Speicherung XML basierter Informationen sind sog. native XML Datenbanken (5.4.2.2) sowie relationale Datenbanken (5.4.2.3). Die Ansätze weisen jeweils Stärken und Schwächen auf, die in den folgenden

Abschnitten behandelt werden. Basierend auf dieser Bewertung wird eine Auswahl für das Konzept getroffen.

#### 5.4.2.1 Speicherung in XML Dokumenten

XML kann als Basistechnologie verwendet werden, um strukturierte Informationen unter Beibehaltung der Struktur zu speichern. Die verbale Spezifikation von LOM ist dazu in eine formalisierte Darstellung, z. B. in eine DTD, zu überführen. Im Folgenden ist ein Auszug aus der Modellierung der LOM DTD abgebildet.

```
<!ELEMENT lom (general?, lifecycle?, metametadata?, technical?, educational?, rights?, relation*,
annotation*, classification*)>
<!ELEMENT general (title?, catalogentry*, language*, description*, keyword*, coverage*,
structure?, aggregationlevel?)>
<!ELEMENT title (langstring?)>
<!ELEMENT langstring (string*)>
<!ELEMENT string (#PCDATA)>
<!ATTLIST string
  xml:lang NMTOKEN #IMPLIED
>
<!ELEMENT catalogentry (catalogue?, entry?)>
<!ELEMENT catalogue ANY>
<!ELEMENT entry (langstring?)>
<!ELEMENT language (#PCDATA)>
<!ELEMENT description (langstring?)>
<!ELEMENT keyword (langstring?)>
<!ELEMENT coverage (langstring?)>
<!ELEMENT structure (vocabulary?)>
<!ELEMENT vocabulary (source?, value?)>
<!ELEMENT source (langstring?)>
<!ELEMENT value (langstring?)>
<!ELEMENT aggregationlevel (vocabulary?)>
```

Abbildung 27: Auszug aus der LOM DTD (Quelle: Eigene Darstellung)

Die komplette DTD ist in Anhang 9.2.2 aufgeführt. Ein Lernobjekt kann durch einen begleitenden XML basierten LOM Datensatz basierend auf der DTD beschrieben werden. Die XML basierte Speicherung bietet eine hohe Flexibilität. In Abbildung 28 ist basierend auf der LOM DTD ein Auszug aus einer Beschreibung zu sehen.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<LOMS xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <LOM>
    <General>
      <Language>en</Language>
      <Structure>collection</Structure>
      <ElementLevel>Content Module</ElementLevel>
      <AggregationLevel>3</AggregationLevel>
      <Title>
        <string language="en">Red Brand Canners</string>
        <string language="de">Red Brand Canners</string>
      </Title>
      <Description>
```

```
<string language="en">Red Brand Canners is a case study on how to apply linear
  programming techniques. A simple example of a production planning problem
  amenable to analysis using linear programming.</string>
<string language="de">Red Brand Canners ist eine Fallstudie über die Anwendung von
  Techniken der linearen Programmierung.</string>
</Description>
<Keyword>
  <string language="en">Red Brand Canners</string>
  <string language="en"> Case Study</string>
  <string language="en"> Linear programming</string>
  <string language="en"> Analysis</string>
  <string language="en"> Food processing industry</string>
  <string language="en"> Manufacturing</string>
  <string language="en"> Manufacturing industry</string>
  <string language="en"> Mathematical programming</string>
  <string language="en"> Production planning. </string>
  <string language="de">Fallstudie</string>
  <string language="de"> Red Brand Canners</string>
  <string language="de"> Tomaten</string>
</Keyword>
</General>
```

Abbildung 28: Auszug aus einer XML LOM Beschreibung (Quelle: Eigene Darstellung)

Der Nachteil einer dateibasierten Speicherung ist in der mangelnden Performanz im Zugriff zu sehen. Um eine größere Anzahl von LOM Beschreibungen zu durchsuchen, die in XML Dateien vorliegen, ist es erforderlich, jede Datei zu öffnen, die Analyse durchzuführen (Parse) und die Datei wieder zu schließen. Prinzipiell ist damit eine Suche möglich, die exakt das zugrunde liegende LOM Schema berücksichtigen kann und damit die Nachteile einer reinen Volltextsuche vermeidet. In der Praxis dauert dieser Vorgang aber einfach zu lange, die resultierenden langen Antwortzeiten würden nicht akzeptabel sein. Weiterhin können Inkonsistenzen zwischen LOM Beschreibungen auftreten. Sowohl die Problematik der langen Zugriffszeit als auch die der Inkonsistenzen können durch die Verwendung einer Datenbank vermieden werden.

Der Vorteil einer XML basierten Speicherung liegt in der Verwendung zum Informationsaustausch. Unabhängig vom System, in das die Lernobjekte eingebracht werden sollen, kann eine XML Datei als „kleinster gemeinsamer Nenner“ betrachtet werden, d. h. alle Systeme können prinzipiell eine solche Datei importieren, da die Semantik der einzelnen Elemente durch das LOM Schema und dessen Explizierung in der LOM DTD gegeben ist.

#### 5.4.2.2 *Speicherung in XML Datenbanken*

XML Datenbanken können XML Dokumente in ihrer originären Form in ein Datenbankmodell einbinden. Dabei ist keine künstliche Aufteilung auf Tabellen wie im relationalen Modell notwendig. Die hierarchische Struktur eines XML Dokuments wird in der originären Form in der Datenbank abgelegt.

Der Vorteil gegenüber einer verteilten Speicherung in XML Dokumenten liegt bei der zentralisierten Speicherung in einer XML Datenbank darin, dass Inkonsistenzen weitestgehend durch

Datenbankmechanismen ausgeschlossen werden können. Die künstliche Aufteilung auf relationale Tabellen wird vermieden, so dass XML Dokumente bzw. deren inhärente Struktur benutzt werden, um das Dokument in der Datenbank direkt abzulegen. Eine an XPath angelehnte Abfragesprache wird benutzt, um Abfragen an die Elemente der Datenbank zu richten. Zugriffe auf einen Datenbankbestand verlaufen performanter als bei einem Datei-basierten Zugriff, da prinzipbedingt alle LOM Instanzen vollständig gelesen und ausgewertet werden müssten. Der schnelle Zugriff gegenüber einem dateibasierten Ansatz macht sich bei steigender Anzahl von Zugriffen auf LOM Instanzen eklatant bemerkbar.

In einer XML Datenbank verläuft der Zugriff auf einzelne Beschreibungen über XPath Ausdrücke. Generell bieten XML Datenbanken den Vorteil, dass sie in der Lage sind, offene und ggf. variable Informationsstrukturen effizient zu speichern. Zur Zeit der Umsetzung dieser Konzeption waren XML basierte Datenbanken lediglich in einem sehr frühen Stadium verfügbar, d. h. es traten bei diesen Systemen noch relativ häufig Fehler auf und die Performanz war als nicht ausreichend zu bewerten. Aus diesem Grund wurden XML Datenbanken für die Speicherung der LOM Instanzen nicht in Betracht gezogen. Zu Details zur Speicherung von XML Daten in XML Datenbanken siehe [Kazakos/Schmidt/Tomczyk 2002].

#### *5.4.2.3 Speicherung in relationalen Datenbanken*

In relationalen DBMS (RDBMS) werden Daten in Form von Tabellen gespeichert. Tabellen weisen in Spalten Attribute aus, die dann atomare Werte annehmen können. Dabei werden Bezüge zwischen Tabellen über Schlüsselattribute hergestellt. Der Zugriff auf Datenbanken erfolgt über standardisierte Schnittstellen und die Abfragesprache Structured Query Language (SQL).

Relationale Datenbanksysteme weisen einen hohen Reifegrad auf und sind bereits am Markt etabliert. XML Daten sind je nach Strukturierungsgrad tendenziell eher ungeeignet zur Speicherung in RDBMS. Der Strukturierungsgrad eines XML Dokumentes kann stark variieren. „Je mehr die Strukturinformationen bestimmten Regeln gehorcht, die Struktur also 'regelmäßig' ist, desto einfacher wird die rechnergestützte Verarbeitung sowohl bei der eigentlichen Anwendung als auch bei der Datenspeicherung“ [Kazakos/Schmidt/Tomczyk 2002, 26]. Stark strukturierte Dokumente weisen einen formularartigen Charakter auf, der relativ wenige Variationen aufweist. Auch LOM ist durch den sehr regelmäßigen Aufbau als stark strukturiert zu bewerten. Der grundsätzliche Aufbau von LOM kann äquivalent in Tabellenstrukturen abgebildet werden. Aufgrund der zuvor herausgearbeiteten Vorteile fiel die Entscheidung für die Abbildung in einem relationalen Datenbanksystem. Die detaillierte relationale Modellierung des LOM Schemas wird im Folgenden beschrieben.

### 5.4.3 Relationale Modellierung des LOM Schemas

Die relationale Datenmodellierung des LOM Standards kann in großen Teilen analog zu der konzeptionellen Struktur vorgenommen werden. LOM definiert neben den eigtl. Werten eine Struktur, um die Werte zu gliedern (siehe Abschnitt 4.2.5). Die formalisierte Struktur wurde in Form einer DTD erstellt und dient als Grundlage für die Transformation in ein relationales Datenbankschema (siehe Anhang 9.2.2). Die Vorgehensweise zur Transformation der Elemente der DTD ist [Bourret 2001] entnommen und wird im Folgenden exemplarisch an der Gruppe „general“ dargestellt (siehe Abschnitt 5.4.3.1 bis 5.4.3.7).

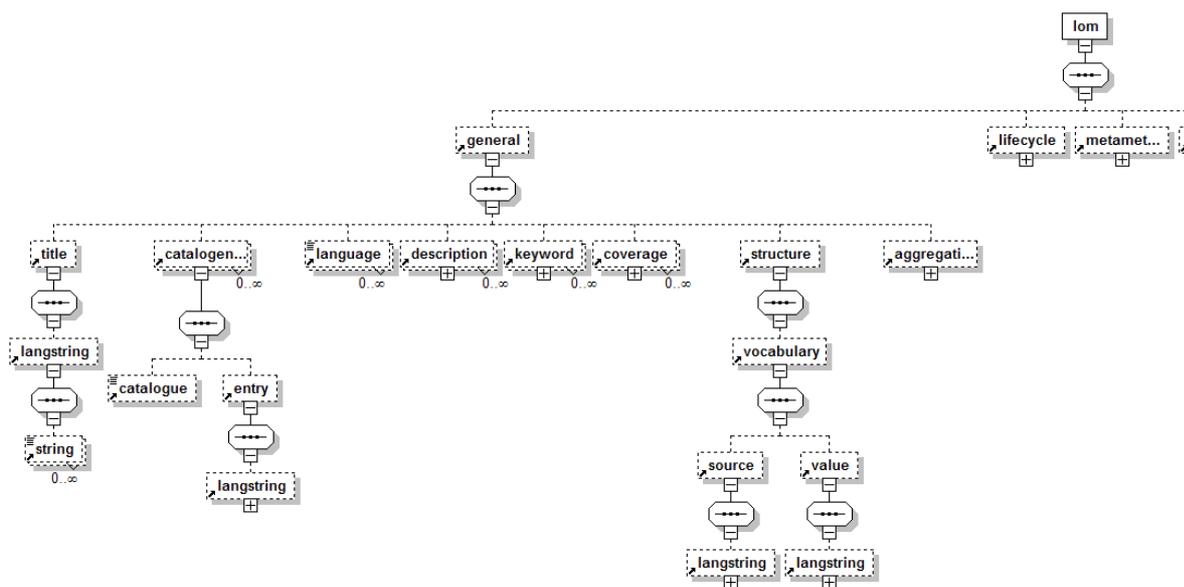


Abbildung 29: LOM – Struktur der Gruppe „general“ (Quelle: Eigene Darstellung)

In Abbildung 29 lassen sich die auftretenden Elemente der DTD für die Gruppe „general“ ablesen. Dabei sind die Kardinalitäten, d. h. wie oft ein Element auftreten darf, an dem jeweiligen Knoten in der grafischen Darstellung vermerkt. Das Unterelement „title“ darf kein oder einmal auftreten, während „language“ kein bis mehrfach auftreten darf. Eine DTD kann leider die exakte Kardinalität nicht notieren, lediglich die Kardinalitäten „0 oder 1“, „1 oder mehr“ und „0 oder mehr“ sind möglich. Die Transformation erfolgt systematisch, indem die Elemente und Attributlisten der DTD in das relationale Modell umgesetzt werden. Als Bezeichner für Tabellen und deren Spalten werden die Begriffe aus LOM verwendet.

#### 5.4.3.1 Abbildung der Hauptgruppen von LOM

In einem ersten Schritt werden die Hauptgruppen des LOM Standards (general, educational, technical, etc.) in eigene Tabellen umgesetzt. In einer zentralen Tabelle „lom“ wird gespeichert, welche Lernobjekte erfasst sind. Von der Tabelle „lom“ ausgehend wird der Bezug zu den ausgliederten Hauptgruppen über einen Fremdschlüssel hergestellt.

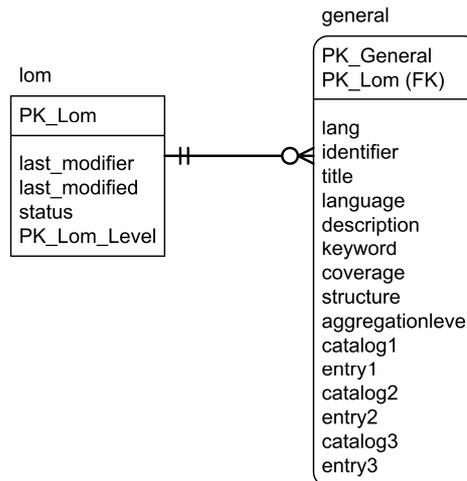


Abbildung 30: LOM Datenbankschema – Tabellen lom/general (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Aufteilung in eigene Tabellen wird nur für die Hauptgruppen (general, lifecycle, technical, etc.) vorgenommen, da diese maximal einfach auftreten können. Die Gruppe metametadata wird explizit nicht modelliert, da das Metadatenschema LOM ist und dieses für alle Beschreibungen der Datenbank zutrifft, es muss also nicht extra vermerkt werden. Bei der Generierung XML basierter LOM Instanzen aus der Datenbank heraus, wird diese Sektion von der steuernden Applikation generiert.

Die Unterelemente der Hauptgruppe „general“ werden in der Tabelle „general“ zusammengefasst. Diese Tabelle enthält die Unterelemente der Gruppe als Attribute. Im Folgenden wird nicht auf jeden Transformationsschritt eingegangen, sondern nur auf spezifische Besonderheiten, die bei der Modellierung des relationalen Schemas auftreten.

#### 5.4.3.2 Verwaltung sprachspezifischer Texte

Element Deklarationen, die Text enthalten, treten in der LOM DTD nur in der Form von sprachenspezifischen Texten (LangStrings) auf, d. h. sämtliche Textinhalte sind multilingual gehalten. Diese Struktur kann in einer relationalen Datenbank nicht direkt abgebildet werden.

Zu jedem Text wird vermerkt, in welcher Sprache er erfasst ist. Im relationalen Datenmodell müssen für jede Sprachausprägung einer Metadateninstanz eigene Datensätze angelegt werden können, da im relationalen Modell nur atomare Werte zulässig sind. Zur Unterscheidung wird das Attribut „lang“ eingeführt, das die jeweilige Sprache der Metadateninstanz identifiziert. Dabei ist „lang“ vom Attribut „language“ der Gruppe „General“ zu unterscheiden, das die verwendete Sprache für das Lernobjekt charakterisiert.

### 5.4.3.3 Aufteilung in Netzwerke

Das relationale Modell soll bereits das Anwendungsfeld eines darauf basierenden Werkzeugs berücksichtigen. Das Konzept sieht vor, ein generisches Werkzeug zu entwickeln, das zwischen Mengen von Lernobjekten aus pragmatischen Überlegungen separiert. Die Aufteilung in Netzwerke erlaubt es, Metadaten zu Lernobjekten in Netzwerken zu bündeln. Ein Anwendungsfall dafür sind z. B. disjunkte Wissensdomänen, die technisch gesehen mit einem generischen Werkzeug bearbeitet und in einer Datenbank gespeichert werden können, aber trotzdem klar separierbar sind, z. B. für die Anzeige. Damit ist es möglich, mit dem resultierenden Werkzeug Lernobjekte getrennt voneinander zu verwalten, ohne das Werkzeug anzupassen.

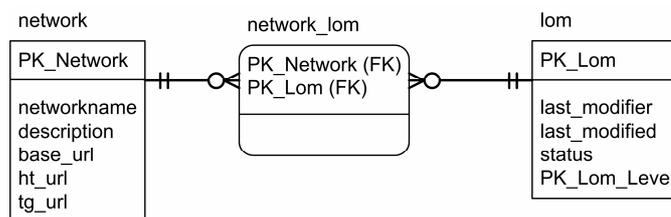


Abbildung 31: LOM Datenbankschema – Tabellen `lom/network_lom/network` (Quelle: Eigene Darstellung)

### 5.4.3.4 Ablage von Benutzerdaten

Da das spätere System einen regulierten Zugriff auf die Metadaten leisten soll, ist es unumgänglich Benutzerinformationen sowie deren Rechte zu erfassen. Benutzer können dabei einzelnen Netzwerken zugeordnet werden. Die Netzwerke und Inhalte dieser Netzwerke werden einem Benutzer bei fehlender Zuordnung so gar nicht erst angeboten. Ein Benutzer kann mehreren Netzwerken zugeordnet werden.

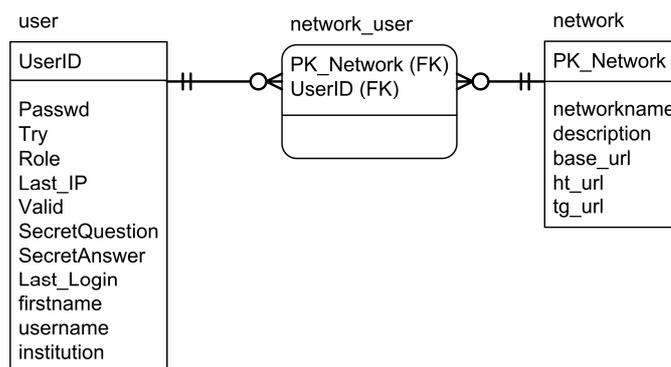


Abbildung 32: LOM Datenbankschema – Tabellen `network/network_user/user` (Quelle: Eigene Darstellung)

### 5.4.3.5 Abbildung von Vokabularen

Neben freien Texteingaben sieht LOM auch Vokabulare vor. Im Modell wird dem Rechnung getragen, indem alle Vokabulare in einer Tabelle getrennt gespeichert werden. Die Vokabulare

sind in Katalogen zusammen gefasst und werden sequenziert, d. h. die Reihenfolge der Einträge wird ebenfalls explizit festgelegt.

Ein Beispiel für die typisierte Kennzeichnung von Medienelementen sind die sog. Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME), ein offizieller Standard, der die Übertragung von E-Mail und insbesondere die Einbindung von Grafiken, Audio, Video (allg. binäre Dateien) regelt (siehe [RFC 1521]). Die Vorgehensweise, wie diese binären Dateien zu typisieren sind, ist über den ursprünglichen Anwendungsbereich bei E-Mails hinaus gewachsen und wurde in [RFC 2046] neu geregelt. Die Systematik, die in [RFC 2046] beschrieben wird, wird in einem Vokabular bereitgestellt. Grafiken werden z. B. über „image-type := "image" "/" ("gif" / "jpeg" / extension-token)“ typisiert. Eine JPEG Grafik ist damit vom Typ „image/jpeg“. Durch die Erweiterungsmöglichkeiten des „extension tokens“ durch neu hinzukommende Grafiktypen ist der Standard zukunftssicher und bei Bedarf anpassbar.

Applikationen können von dem MIME Typ Gebrauch machen und entsprechend darauf reagieren. Ein Verzeichnis registrierter MIME Typen wird gemäß [RFC 1590] von Jon Postel verwaltet. Eine Liste registrierter MIME Typen ist unter [MIME 2003] verfügbar.

Die Bereitstellung eines Vokabulars in einem Katalog erfolgt in multilingualer Ausprägung, d. h. die Einträge werden lokalisiert im Katalog abgelegt. Auf diese Weise können mehrere Sprachen beim Erstellen einer LOM Beschreibung unterstützt werden.

#### 5.4.3.6 Abbildung der Klassifikation der Lernobjekte

Lernobjekte werden innerhalb der Gruppe Classification innerhalb einer Taxonomie zugeordnet. In diesem Entwurf wird die Taxonomie als Teil der Ontologie (siehe Abschnitt 5.3) entnommen. Die Speicherung einer hierarchischen Struktur, wie einer Taxonomie, ist denkbar schlecht für ein relationales Modell geeignet, wurde aber aufgrund der hohen Relevanz für die Metadaten in dieses Modell integriert.

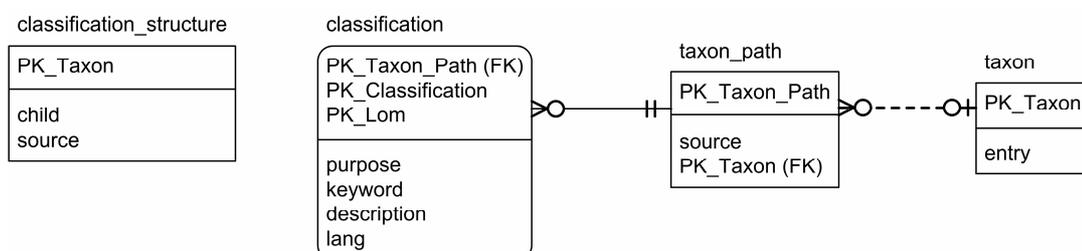


Abbildung 33: LOM Datenbankschema – Tabellen classification/classification\_structure/taxon (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Taxonomie selbst wird in einer Tabelle „classification\_structure“ abgebildet. Der Name der Taxonomie wird in der Spalte „source“ gespeichert, während die hierarchische Struktur in „PK\_Taxon“ und „child“ abgebildet wird. Das Hauptelement der Taxonomie wird mit den direkten Nachfolgern jeweils als ein eigener Datensatz abgespeichert. In Abbildung 34 sind diese Datenstruktur sowie die daraus konstruierte Taxonomie illustriert.

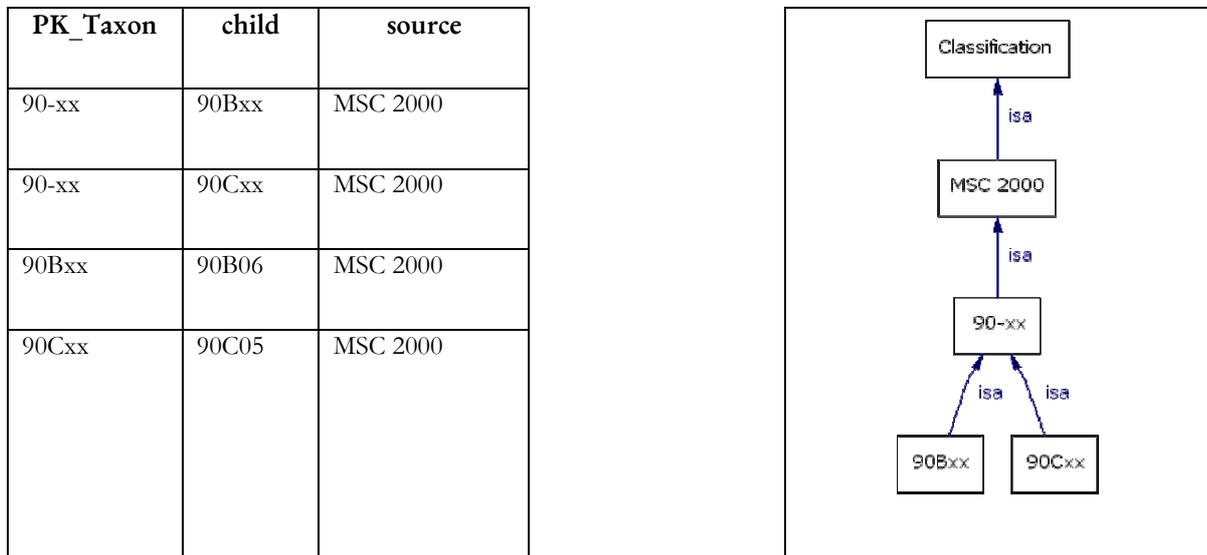


Abbildung 34: LOM Klassifikation - Datenstruktur und Taxonomie (Quelle: Eigene Darstellung)

Durch diese generische Architektur können parallel mehrere Taxonomien zentral in der Datenbank gehalten werden. Die in Abschnitt 5.4.3.3 beschriebenen Netzwerke können aus disjunkten Wissensdomänen stammen, so dass die Bereitstellung mehrerer Taxonomien zwingend notwendig ist.

#### 5.4.3.7 Vereinfachungen gegenüber LOM

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden einige Einschränkungen gegenüber dem LOM Standard vorgenommen. Diese beziehen sich ausschließlich auf die Anzahl der pflegbaren Ausprägungen. So lassen sich z. B. unter der Kategorie Annotation nur drei verschiedene Personen mit ihren zugehörigen Rollen und Daten pflegen. Dort sieht die LOM Spezifikation maximal 30 Annotationen vor. Aus pragmatischen Gründen wurde im Modell eine Beschränkung auf drei Elemente eingeführt. Diese Beschränkung hat sich jedoch als praktisch nicht einschränkend für die Nutzbarkeit des LOM Schemas erwiesen (siehe Abschnitt 6.2.2).

## 5.5 Integration zum Gesamtkonzept

Die Gesamtkonzeption basiert auf insgesamt vier Säulen: (1) die semantische Kodierung der Lernobjekte mittels LMML, (2) die Systematisierung anhand der Granularität, (3) die Abbildung der Domänenstruktur in einer Ontologie und die sachlogische Einordnung der Lernobjekte in

diese Ontologie, sowie (4) die auszeichnende Beschreibung der Lernobjekte und ihrer Strukturen durch Metadaten.

Die Lernobjekte beschreiben die Inhalte der Wissensbasis. Es wurden Kodierungsmöglichkeiten vorgestellt, die von einer konkreten Formatierung abstrahieren und stattdessen die Dokumente semantisch kodieren. Die Vorgehensweise zur Erstellung eines spezifischen Dokumententyps wurde am Beispiel LMML erläutert.

Anhand des Prinzips der Granularität konnte eine erste Systematisierung der Lernobjekte vorgenommen werden, wobei insgesamt fünf Granularitätsstufen unterschieden werden. Mögliche Kompositionen der Lernobjekte nach diesem System werden durch sog. Relationen formuliert, valide Relationen wurden in Abschnitt 5.2.3.2 definiert.

Die abgebildeten Strukturen über Lernobjekte werden durch eine domänenspezifische Strukturierung in Form einer Ontologie ergänzt. Durch die Verknüpfung von Konzepten über typisierte Verbindungen wird ein Netzwerk gebildet, das die Wissensstruktur einer Domäne in mehreren Dimensionen widerspiegelt. Neben der Gliederung des Wissensgebiets in Teildisziplinen, können Abhängigkeiten zwischen Konzepten direkt abgebildet werden. Die Ontologie selbst ist losgelöst von konkreten Lernobjekten, die Bereichen der Ontologie zugeordnet werden.

Eine pragmatische Anwendung der Ontologie ist es, mit der inhärent enthaltenen Taxonomie Lernobjekte einzelnen Konzepten der Wissensdomäne OR/MS zuzuordnen. In diesem Sinne kann die Taxonomie der Ontologie als Vokabular zur Klassifikation in den Metadaten bezeichnet werden. Eine Visualisierung der Ontologie ist sowohl für Lernende als auch für Lehrende als Navigationsunterstützung sinnvoll. Hierzu sind dynamische, interaktive Visualisierungen besonders geeignet, die in Interaktion mit dem Benutzer, die Perspektive auf die Ontologie anpassen, um den Fokus auf den betrachteten, relevanten Bereich zu verschieben. Derartige Visualisierungsmöglichkeiten werden im Kapitel 6 näher dargestellt.

Der Einsatz einer formalen Kategorisierung erhöht das Wiederbenutzungspotenzial von Lernobjekten. Lernende als auch Lehrende können über eine gezielte Suche nach Konzepten Lernobjekte finden, die entweder direkt oder mittelbar dieses Konzept behandeln. Dabei wird für das Lernobjekt selbst nur die Zuordnung in den Metadaten zu dem Konzept vorgenommen. Die Information, wie die Konzepte untereinander verknüpft sind, ist in der Ontologie vermerkt. Die ontologischen Verknüpfungen bzw. Relationen stellen eine andere Qualität dar als direkte Verknüpfungen zwischen Lernobjekten.

Die Beschreibung der Lernobjekte und ihrer strukturellen Verknüpfungen erfolgt durch Metadaten nach dem LOM Schema. Die Erfassung der Metadaten von Lernobjekten in einer zentralen Datenbank formt eine zentrale Informationsquelle über Lernobjekte und soll im Folgenden als Metadaten Repository bezeichnet werden. Das Metadaten Repository ist ein zentrales Element des zu konstruierenden Lernsystems und wird für folgende Aufgaben verwendet:

- Erfassung und Modifikation von Metadaten für Lernobjekte des Lernsystems
- Integration und Beschreibung von Lernobjekten außerhalb des Lernsystems
- Multilinguale Beschreibungen
- Informationsbasis für Suche nach Lernobjekten
- Informationsbasis für Visualisierung der Struktur der Lernobjekte
- Zuordnung von Lernobjekten zur Ontologie

Das Metadaten Repository, das den Bestand an Lernobjekten erfasst, stellt damit die zentrale Informationsquelle für das zu konstruierende Lernsystem dar.

Es können insgesamt drei verschiedene Arten von Verknüpfungen für Lernobjekte auftreten. Der einfachste Fall sind Verknüpfungen, die direkt, untypisiert zwischen Lernobjekten auftreten. Diese werden i. d. R. von Autoren während der Erstellung des Lernobjektes diesem hinzugefügt. Der Sinn einer solchen Verknüpfung ergibt sich für den Leser aus dem unmittelbaren Kontext der Verknüpfung, z. B. eine Referenz auf ein anderes Lernobjekt. Für eine Maschine ist diese Verknüpfung i. d. R. nicht interpretierbar, sie wird lediglich wahrgenommen.

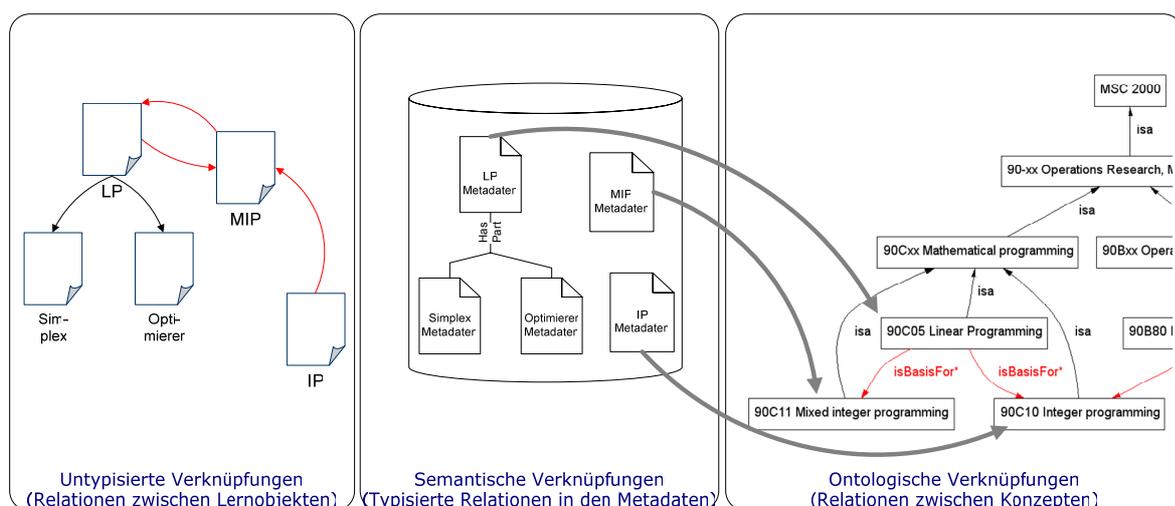


Abbildung 35: Untypisierte, semantische und ontologische Verknüpfungen (Quelle: Eigene Darstellung)

Semantische Verknüpfungen geben im Gegensatz zu untypisierten Verknüpfungen nicht nur das Ziel der Verknüpfung, sondern auch die Semantik der Verknüpfung an. Ein Beispiel dafür ist die „HasPart“-Beziehung, die bereits in Abschnitt 5.2.3.1 behandelt wurde. Die „HasPart“-Beziehung repräsentiert eine Inklusionsbeziehung zwischen der Quelle der Beziehung und dem Ziel. Semantische Verknüpfungen ordnen eine Sammlung von Lernobjekten, indem sie deren Komposition und weiteren Relationen untereinander explizieren. In Abbildung 35 ist zu sehen, dass innerhalb des Konzeptes die semantischen Verknüpfungen von den eigtl. Lernobjekten separiert sind und in den Metadaten gespeichert werden. Weitere semantische Verknüpfungen sind die Zuordnungen von Lernobjekten zu Konzepten einer Ontologie. Genau diese Zuordnung wird in den Metadaten zu Lernobjekten in der Gruppe Klassifikation vorgenommen.

Ontologische Verknüpfungen sind in der Ontologie selbst abgelegt und bilden Relationen zwischen Konzepten ab. Die Struktur der Ontologie ist domänenspezifisch und unabhängig von Instantiierungen von Lernobjekten. Die Struktur der Wissensstruktur der Domäne wird auch als Metawissen, als Wissen über Wissen bezeichnet. Die Verbindung zwischen semantischen Verknüpfungen (der Zuordnung von Lernobjekten zu Konzepten) und ontologischen Verknüpfungen (Struktur der Wissensdomäne) kann als grundlegende Informationsbasis aufgefasst werden, auf der ein „added value“ für Lernobjekte geschaffen wird. Ein Beispiel für die in Abbildung 35 dargestellte Skizze ist der Schluss, dass Lernobjekt „LP“ als Voraussetzung für das Lernobjekt „IP“ gilt (aufgrund der Beziehung „isBasisFor“ in der Ontologie). Diese Relation ist weder als strukturelle Verknüpfung zwischen den Lernobjekten selbst, noch in den Metadaten enthalten. Eine praktische Anwendung dieser Information könnte die Generierung eines Links auf das Lernobjekt „LP“ bei der Anzeige von „IP“ für den Lernenden sein.

Dadurch ergibt sich ein direkter Nutzen der expliziten Konzeptualisierung der Ontologie in Bezug auf einzelne Lernobjekte. Durch die ontologischen Verknüpfungen, ist es möglich, dem Lernenden weitere Verzweigungsmöglichkeiten anzubieten. Dadurch können Serendipity-Effekte eintreten, d. h. der Lernende gelangt zu Inhalten, die sich durch eine reine Suchanfrage nicht ergeben hätten. Lerner erhalten nicht nur den Zugriff auf das Lernobjekt selbst, sondern profitieren auch von der vorhergegangenen Strukturierung der Domäne OR/MS. Die Wissensdomäne wird so nicht explizit einzeln in jedem Lernobjekt festgelegt, sondern durch die Ontologie abgebildet.

## 5.6 Kritische Würdigung des Konzeptes

Die vorgeschlagene Systematisierung der Lernobjekte orientiert sich an gewohnten Einheiten, die sowohl Lernende als auch Lehrende einschätzen können. Die Gliederung nach den Granularitäten ist für Lernende nachvollziehbar und führt zu erwartungskonformen Ergebnissen

bzgl. des Umfangs von Lernobjekten. Innerhalb der Systematik können Lernobjekte nach definierten Regeln verknüpft und auf diese Weise wieder benutzt werden.

Die Wiederbenutzbarkeit eines Lernobjekts ist an seine Granularität und an seine Wiederauffindbarkeit gebunden. Lernobjekte kleiner Granularität weisen gegenüber komplexeren Lernobjekten ein höheres Wiederbenutzungspotenzial aufgrund ihrer geringeren Kontextualisierung auf. Durch Beschränkung auf eine semantische orientierte Kodierung der Inhalte eines Lernobjektes, können diverse Präsentationsformen generiert werden, wodurch die aufwändige, manuelle Formatierung von Lernobjekten bei variierender Wiederbenutzung entfällt. Dazu wurde neben der Kodierung von generischen Lernobjekten auch die Bereitstellung von spezifischen Dokumenttypen exemplarisch am Beispiel von Fallstudien dargelegt.

[Pawlowski 2001, 112] merkt zu LMML zwar an: „Diese Art der Auszeichnung eignet sich für die Präsentation von Inhalten und gibt eine intuitive Übersicht über die semantische Struktur eines Dokuments, dennoch lassen sich keine umfangreichen didaktischen Methoden modellieren und komplexe Benutzeranpassungen vornehmen. Daher ist der Wirkungsbereich ohne Erweiterungen durch Metadaten oder andere Standards eingeschränkt“. Die Präsentationsneutralität ist allerdings auch nur ein Teil der LMML Formulierung. Die generische Anpassung von LMML an spezifische Lernobjekte wie z. B. die Fallstudien liefert nur die grundlegende Separation zwischen Formatierung und Struktur. Die präsentierende Anwendung muss Sorge tragen, dass die Abschnitte der Fallstudien nach einem didaktischen Konzept erfolgen.

Lernobjekte und deren Kompositionen werden mit Metadaten beschrieben, die eine detaillierte Erfassung der Charakteristika von Lernobjekten ermöglichen. Das ausgewählte Schema (LOM) ist ein internationaler Standard, der bereits eine weite Verbreitung aufweist. Der LOM Standard stellt nur ein konzeptionelles Schema, deshalb wurde nach Abwägung der Alternativen zur Speicherung der Metadaten in technischen Systemen ein relationales Modell entwickelt, das LOM abbildet. Ein Teil der Beschreibung der Lernobjekte ist die Klassifikation im Kontext einer Wissensdomäne. Hierfür wurde eine entsprechende Systematik für den Bereich OR/MS entwickelt und in einer Ontologie formalisiert. Die Anwendungsgebiete der Ontologie sind nicht auf die Metadaten beschränkt, es wurden weitere Anwendungsgebiete aufgezeigt, die von der Anwendung einer Ontologie profitieren würden.

Basierend auf den Lernobjekten als den zu beschreibenden Objekten, deren Beschreibung durch Metadaten und die Abbildung der Strukturen der Wissensdomäne in Form einer Ontologie, wurden diese im Konzept in Verbindung gesetzt und integriert. Die Konzeption ist offen in der Hinsicht, dass alle Lernobjekte integriert werden können, die Auswahl ist nicht auf semantisch formulierte Lernobjekte beschränkt. Insofern wird ein integrativer Ansatz verfolgt, der es auch

erlaubt, die im Abschnitt 2.4.2 betrachteten, bereits existenten Lernsysteme in einer einheitlichen Systematik zu integrieren.

Die grundlegenden Aspekte zur Unterstützung von Multilingualität wurden bereits in Abschnitt 4.4 vorgestellt. Die Unterstützung innerhalb der Konzeption bezieht sich damit auf die folgenden Aspekte:

- Multilingualität in Lernobjekten
- Multilingualität der Metadaten

Die Multilingualität der Lernobjekte kann nur garantiert werden, wenn Lernobjekte auf Basis einer Kodierung verfasst werden, die in der Lage ist, die Anforderungen zu erfüllen, die in Abschnitt 4.4.2 bzgl. der Zeichendarstellung formuliert wurden. Zu diesen Kodierungen kann LMML gezählt werden, die als XML basierte Auszeichnungssprache Unicode per se unterstützt. Die visuelle Repräsentation wird durch XSL Stylesheets generiert, das Resultat ist dabei wahlweise HTML oder PDF. Beide Kodierungsformen unterstützen Unicode, so dass keine Probleme bzgl. der Darstellung von Zeichen zu erwarten sind.

Die Multilingualität der Metadaten wird durch den Entwurf des relationalen Modells (siehe Abschnitt 5.4.3) gesichert. Metadaten zu einem Lernobjekt können in mehreren Sprachen verfasst werden.

Die Benutzungsoberfläche beider Werkzeuge ist multilingual, d. h. kann den jeweiligen Präferenzen des Benutzers hinsichtlich der Sprache angepasst werden. Zu Einzelheiten der Implementierung der Multilingualität der Benutzeroberfläche des LOM Editors siehe Abschnitt 6.2.2, zu Einzelheiten bzgl. Implementierung des Portals siehe Abschnitt 6.6.

## 6 Implementierung eines hypermedialen Lernsystems für OR/MS

*The most fundamental specification of Web architecture, while one of the simpler, is that of the Universal Resource Identifier, or URI. The principle that anything, absolutely anything, 'on the Web' should be identified distinctly is core.*

*Tim Berners-Lee*

Im vorhergehenden Kapitel wurde die Konzeption einer Wissensbasis zur Nutzung in einem hypermedialen Lernsystem für OR/MS entwickelt. Da es sich bei dieser Konzeption um die Entwicklung von Datenkonstrukten handelt, blieb die Darstellung naturgemäß abstrakt. Um die Praktikabilität des vorgestellten Konzepts nachzuweisen und die Wissensbasis selbst greifbar zu machen, wurde das Konzept in realen Datenstrukturen operationalisiert, die in ein hypermediales Lernsystem für OR/MS eingebettet wurden. Diese Umsetzung wird im Rahmen dieses Kapitels beschrieben, wobei der Schwerpunkt auf der Anwendung bzw. der Nutzung der Wissensbasis aus der Sicht der Lehrenden und Lernenden liegt. Das Lernsystem selbst wurde gemäß dem derzeitigen state of the art für hypermediale Lernsysteme entwickelt, wie er in Abschnitt 2.3.3 beschrieben wurde.

Ausgehend von den wesentlichen Anforderungen (6.1), wird ein Überblick über die Gesamtarchitektur gegeben (6.2). In Abschnitt 6.3 werden die Erstellung von LMML Lernobjekten und die Möglichkeiten zur Unterstützung dieses Prozesses näher betrachtet. Zentrales Informationselement in der Architektur ist das Metadaten Repository, das in Abschnitt 6.4 vorgestellt wird. In Abschnitt 6.5 wird der LOM Editor, der zur Modifikation des Metadaten Repositories dient, detailliert dargestellt. In Abschnitt 6.6 wird das Portal vorgestellt, das basierend auf dem Metdaten Repository verschiedene Sichten auf die Lernobjekte generiert.

### 6.1 Anforderungen an die Architektur

Wie bereits erwähnt soll die Konzeption der Wissensbasis in der Umsetzung des Lernsystems aufgehen. Daraus ergibt sich unmittelbar, dass die Lernobjekte im System nach LOM katalogisierbar sein müssen. Darüber hinaus soll die Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten nach der vorgeschlagenen Systematik unterstützt werden. Aufgrund der Verfügbarkeit der Lernobjekte über das WWW erscheint es daher angebracht, das System selbst ebenfalls auf Basis von WWW Technologien zu implementieren. Der allgemeine Vorteil, der sich unmittelbar aus einer solchen Implementierung ergibt, ist eine Plattformunabhängigkeit der resultierenden Werkzeuge.

Unabhängig vom verwendeten Betriebssystem kann bei Verfügbarkeit eines Browsers auf die Funktionalitäten des Systems zugegriffen werden. Damit fallen auch keine umfassenden Softwareinstallationen auf Seiten der Benutzer an. Wegen der zuvor genannten Vorteile wurde die Entscheidung getroffen, das System als web-basierte Applikation zu implementieren.

Für die Entwicklung web-basierter Applikationen werden in der Literatur umfangreiche Anforderungen definiert, die unabhängig von der spezifischen Anwendung zu berücksichtigen sind. Auf diese Anforderungen wird an dieser Stelle bewusst nicht näher eingegangen, vielmehr wird vorausgesetzt, dass diese bei der Umsetzung Berücksichtigung gefunden haben. Im Folgenden wird kurz auf die spezifischen Anforderungen abgehoben, die sich aus der konkreten Anwendungssituation ergeben.

Bei den Benutzern des Systems kann zwischen zwei Rollen unterschieden werden: dem Lehrenden, der Lernobjekte erstellt und katalogisiert sowie dem Lernenden, der auf den Bestand an Lernobjekten zugreift. Dem Lehrenden muss ein Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, das die Erfassung und Modifikation des Metadaten Repositories ermöglicht. Dabei können die Lernobjekte des Systems als auch extern vorliegende Lernobjekte beschrieben und integriert werden. Voraussetzung ist, dass jedes Lernobjekt lediglich einen URI aufweisen muss, also über das WWW adressierbar sein muss. Dadurch wird es möglich, vom jeweiligen Format eines Lernobjekts zu abstrahieren und auch bereits bestehende Lernobjekte nahtlos in das Lernsystem zu integrieren. Für den Lernenden muss das System adäquate Visualisierungen und Übersichten der zur Verfügung stehenden Lernobjekte generieren. Die semantisch kodierten Lernobjekte müssen zu diesem Zweck in ein für Browser darstellbares Format konvertiert werden. Hierzu müssen Mechanismen für die automatisierte Transformation der LMML basierten Lernobjekte implementiert werden. Die Beschreibung kann dabei in mehreren Sprachen vorliegen, wodurch die Güte der Metadaten steigt.

Direkt korreliert dazu ist der Aspekt der Suche innerhalb des Gesamtbestands der katalogisierten Lernobjekte. Die Güte der Suchergebnisse innerhalb des Lernsystems ist stark abhängig von der Güte der Metadaten. Das Konzept liefert aber die Möglichkeit, die Lernobjekte sehr detailliert zu beschreiben, so dass sehr gute und relevante Ergebnisse zu erwarten sind. Die detaillierten Suchmöglichkeiten, die das LOM Schema bietet, kommen sowohl Lehrenden als auch Lernenden zugute. Lehrende können aus der Gesamtheit zur Verfügung stehender Lernobjekte, diejenigen wieder benutzen, die eine hohe Relevanz für den einen gewünschten Kontext aufweisen.

Eine weitere Anwendung findet das Metadaten Repository bei der Generierung verschiedener Sichten auf den Bestand an Lernobjekten. Lernenden als auch Lehrenden sollen sowohl grafische als auch textuelle Sichten auf die zur Verfügung stehenden Lernobjekte gewährt werden. Durch

die Generierung von entsprechenden Übersichten wird dem „lost in hyperspace“ Syndrom vorgebeugt. Die dazu nötigen Strukturinformationen stehen im Metadaten Repository zur Verfügung.

Die Benutzungsoberfläche des Lernsystems sollte entsprechend einschlägigen Richtlinien für web-basierte Userinterfaces einfach und intuitiv zu bedienen sein. Diese Anforderung ist kritisch, da sie wesentlich die Akzeptanz des Lernsystems beeinflusst. Die Benutzerführung sollte weitestgehend selbsterklärend sein. Nicht jeder Lehrende ist mit dem LOM Schema vertraut. Bei der Erstellung von Metadaten sollten kontextsensitive Hilfeinformationen zum LOM Schema verfügbar sein, die Hilfestellung zu spezifischen Attributen des Schemas geben und die Bedeutung dieser Attribute erläutern.

Die Metadaten stellen die zentrale Komponente des Systems dar. Um die Integrität der Metadaten zu sichern, ist ein regulierter Zugriff auf den Metadatenbestand vorzusehen. Eine Identifikation über Benutzername und Passwort des Benutzers sollte vorgenommen werden, um zu gewährleisten, dass nur autorisierte Personen schreibenden Zugriff auf die Metadaten erhalten.

Im Laufe dieser Arbeit wurde besondere Aufmerksamkeit auf die Verwendung von Opensource Komponenten gelegt. Diese Entscheidung wurde getroffen, um die Umsetzung der Ergebnisse dieser Arbeit auch anderen Universitäten ohne zusätzliche Lizenzkosten, die durch Fremdkomponenten entstanden wären, gewähren zu können. Gerade für Hochschulen ist die Systematik und deren Umsetzung interessant, um Lernobjekte zu systematisieren. Opensource Software bezeichnet Software, deren Quellcode offen gelegt wird und die in den meisten Fällen frei, also unentgeltlich verfügbar ist. Eine Installation des Systems verursacht bei Verwendung von Opensource-Produkten keine direkten Kosten, die auf den Erwerb von Softwareprodukten zurückzuführen sind und erhöht damit die Attraktivität des Systems.

## **6.2 Gesamtarchitektur des Lernsystems**

Im folgenden Abschnitt 6.2.1 wird zunächst ein Überblick über die Architektur des hypermedialen Lernsystems gegeben, welches aus der Persistenzebene (6.2.2), der Anwendungsebene (6.2.3) und der Präsentationsebene (6.2.4) besteht.

### *6.2.1 Überblick über die Architektur*

Die Systemarchitektur ist webbasiert und an ein 3-Schichtenmodell angelehnt. Die Schichten (engl. tier) separieren dabei die Gesamtapplikation in drei Ebenen. In der Persistenzebene werden die entsprechenden Dateisysteme und Datenbanken gekapselt, die zur Speicherung von Dokumenten und Datenbeständen benutzt werden. In der Anwendungsebene wird die eigentliche

Logik des Systems gekapselt. In der Präsentationsebene werden schließlich sowohl Eingaben als auch Ausgaben auf Endgeräten abgewickelt.

Die Trennung in diese Ebenen hat zwei wesentliche Vorteile. Die Ausgabegeräte können sehr einfach gehalten werden, da die Logik alleine auf der Anwendungsebene und damit auf dem Server abläuft. Damit ist ein üblicher Webbrowser ausreichend zur Darstellung der Inhalte. Es fallen keine zusätzlichen Softwareinstallationen an. Weiterhin können Komponenten modular gehalten werden, so dass diese ggf. einfach gewechselt werden können. Durch die Verwendung standardisierter Schnittstellen zwischen den Ebenen ist es so relativ einfach, die verwendete Datenbank gegen eine andere Datenbank auszutauschen, wenn dies durch eine Skalierung des Gesamtsystems notwendig wird. In Abbildung 36 ist die Architektur der Implementierung des Systems skizziert.

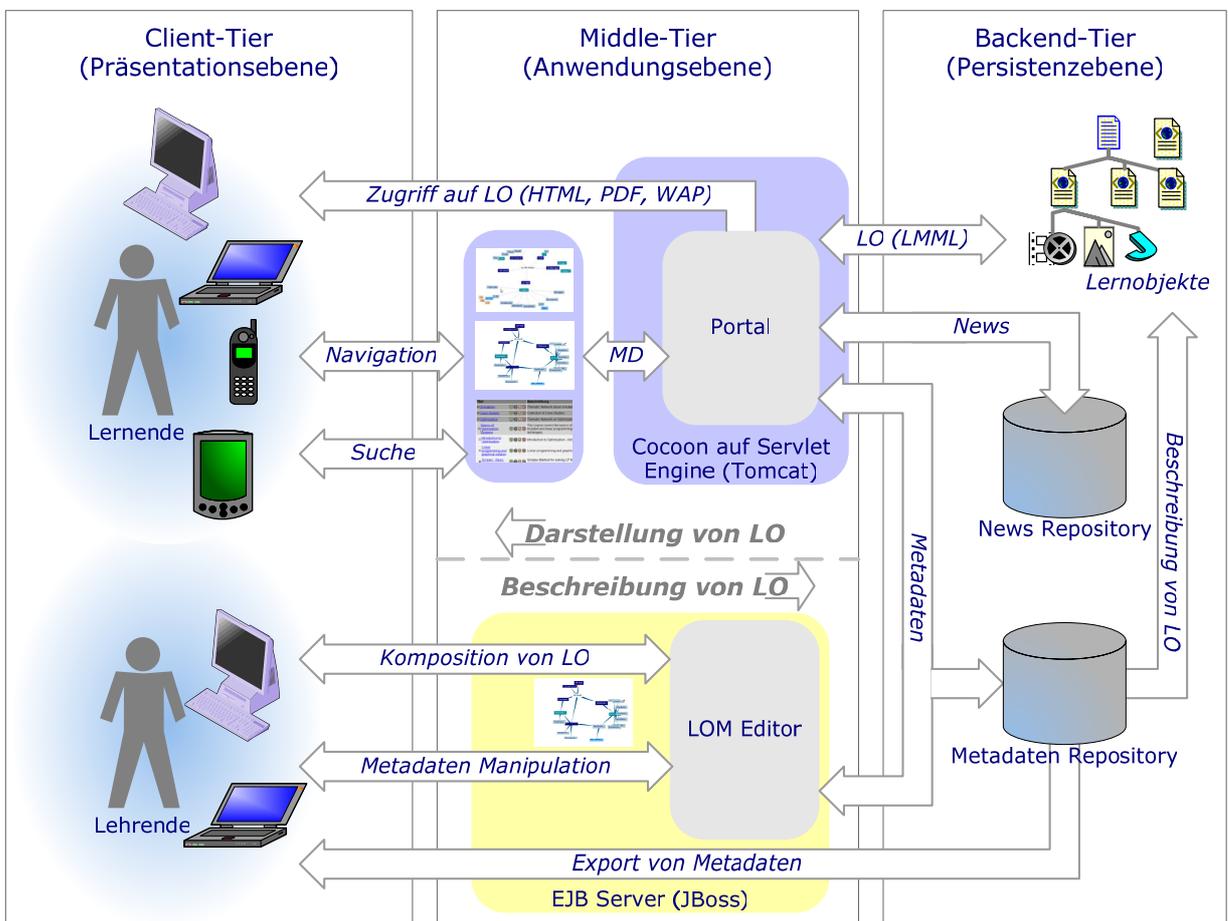


Abbildung 36: Dreischicht-Architektur: Einbettung der Komponenten (Quelle: Eigene Darstellung)

Im Folgenden werden die drei Schichten und deren Realisierung in der Applikation näher betrachtet.

### 6.2.2 *Persistenzebene*

In der Persistenzebene sind die relevanten Objekte des Systems abgelegt. Dazu gehören das Metadaten Repository, das News Repository als auch die Lernobjekte, die innerhalb des Systems verwaltet werden. Lernobjekte, die nicht direkt im System gespeichert sind, werden über das WWW adressiert. In diesem Sinne kann das WWW als Teil der Persistenzebene betrachtet werden.

Die Speicherung erfolgt dabei sowohl Datei-orientiert (für die Lernobjekte) als auch Datenbank-orientiert (für das Metadaten Repository und das News Repository). Das Metadaten Repository enthält die Beschreibungen der Lernobjekte und deren Komposition. Das News Repository enthält Nachrichten für Lernende, die zentral in das System eingespeist werden können.

### 6.2.3 *Anwendungsebene*

Die Anwendungsebene stellt das Herzstück des Systems dar. Sie kapselt die gesamte Logik, die zur Erfüllung der Funktionalität des Systems notwendig ist. Zentrale Komponenten auf der Anwendungsebene sind Werkzeuge zur Beschreibung von Lernobjekten durch Metadaten als auch zur Darstellung von Lernobjekten.

Der LOM Editor erlaubt die Erstellung und Modifikation der im Metadaten Repository gespeicherten Beschreibungen der Lernobjekte. Damit ist diese Komponente für Lehrende intendiert, die Lernobjekte erstellen und zusammenfügen.

Die Darstellung der Lernobjekte ist in einem weiteren Werkzeug der Anwendungsebene gekapselt, dem Portal. Die Darstellung des Wissensraums wird über diverse Visualisierungen vom Portal übernommen. Die Visualisierungen sind dabei variabel gehalten. Es werden sowohl grafische als auch textuelle Übersichten vom Portal generiert und auf der Präsentationsebene zur Verfügung gestellt.

Die zugrunde liegende Programmiersprache ist JAVA. JAVA ist eine plattformunabhängige Sprache, die durchgängig zur Abbildung der Logik auf der Anwendungsebene in den Komponenten eingesetzt wurde. JAVA ist für die Anwendung in web-basierten Applikationen optimiert und bietet Möglichkeiten zur Anbindung der Persistenzebene über definierte Schnittstellen.

### 6.2.4 *Präsentationsebene*

Die Präsentationsebene dient als Vermittler zwischen dem Benutzer und dem eigtl. System auf der Anwendungsebene. Auf der Präsentationsebene werden die Interaktionen des Benutzers registriert und an die Anwendungsebene weiter geleitet, die auf die Interaktion reagiert und eine entsprechende Veränderung auf der Präsentationsebene bewirkt. Von der Anwendungsebene

werden die Benutzungsoberflächen für Lernende beim Zugriff auf Lernobjekte als auch die Darstellung der Lernobjekte selbst generiert. Lehrende erhalten Formulare und grafische Darstellungen für das Erstellen und die Modifikation von Metadaten.

Das Portal erkennt und berücksichtigt dabei das jeweilige Endgerät, mit dem innerhalb der Präsentationsebene auf die Lernobjekte zugegriffen wird. Dadurch ist das Portal in der Lage, adaptierte Darstellungen von Lernobjekten zu generieren und auf dem jeweiligen Endgerät anzuzeigen. In Abschnitt 6.6.6 wird ein konkretes Beispiel für dieses Vorgehen gegeben.

## 6.3 Lernobjekte

In diesem Abschnitt wird zum einen der Prozess der Erstellung von Lernobjekten erläutert (6.3.1) und zum anderen werden eigens entwickelte interaktive Lernobjekte für die Domäne OR/MS vorgestellt (6.3.2).

### 6.3.1 Erzeugung LMML kodierter Lernobjekte

Im Folgenden wird zunächst die originäre Erstellung und Editierung von Lernobjekten in LMML diskutiert (6.3.1.1), ehe aufgezeigt wird, wie LMML Dokumente durch die Konvertierung aus bereits bestehenden HTML Dateien generiert werden können (6.3.1.2). In Abschnitt 6.3.1.3 wird kurz die Transformation von LMML in andere Ausgabeformate umrissen ehe Abschnitt 6.3.1.4 die Möglichkeiten zur Umsetzung der Multilingualität in LMML Lernobjekten beschreibt.

#### 6.3.1.1 Erstellung und Editierung von LMML Lernobjekten

Die Vorteile, die durch die konsequente Trennung zwischen Struktur und Darstellung ermöglicht werden (siehe Abschnitt 4.1.2.2), werden durch gegenwärtige Nachteile bei der Erstellung von LMML basierten Lernobjekten erkaufte. Eine Schwierigkeit liegt darin, dass bei der Erstellung von LMML Lernobjekten mehr Kenntnisse über die interne Struktur des Dokuments benötigt werden, als bei reinen HTML-Seiten. Während für HTML derzeit Editoren existieren, die den Benutzer völlig von der internen Struktur eines HTML Dokuments abkapseln und sog. „What you see, is what you get“ Ansichten (WYSIWYG) bieten, sind generischen Werkzeuge zur Erstellung von XML Dokumenten derzeit i. d. R. auf eine reine Textdarstellung mit XML Tags beschränkt.

Diese Entwicklungsstufe entspricht der der HTML Editoren der ersten Generation, die auch lediglich eine Textansicht auf den Inhalt boten. Die HTML Editoren durchliefen eine Evolution bis zur derzeitigen Stufe, in der das Schreiben eines HTML Dokumentes der Benutzung einer Textverarbeitung ähnelt. Der Autor wird von entsprechenden Kenntnissen über HTML entlastet, er kann sich auf die Erstellung der Inhalte konzentrieren.

Autoren sind in der Regel ohne aufwändige Schulungsmaßnahmen nicht in der Lage Lernmaterialien in XML zu erstellen. Die systemische Unterstützung von Autoren ist noch nicht als zufrieden stellend zu bezeichnen. Derzeit bietet das System lediglich pragmatische Hilfestellung, wie eine Übersicht über LMML für Autoren und diverse Vorlagen, die Autoren den Einstieg in LMML erleichtern.

Für Dokumente, die einen stark formalisierten Aufbau aufweisen, ist es möglich, spezielle Editoren zu entwickeln. Dabei wird eine grafische Oberfläche geboten, so dass der Autor sich rein auf die Erstellung der Inhalte in Eingabefelder konzentrieren kann. Dies trifft für die generelle Struktur auf den Lernobjekttyp der Fallstudien zu, der in Abschnitt 5.1.3 entwickelt wurde. Fallstudien sind stark strukturiert bis semi-strukturiert, d. h. sie folgen einem relativ starren Aufbau, der durch die einzelnen Schritte bei der Bearbeitung einer Fallstudie vorgegeben wird. Ein Editor, mit dem Fallstudien im LMML Format verfasst werden können, steht zur Verfügung. Der Aufbau ist dabei formular-orientiert, Der Autor verfasst die Fallstudie, indem er Eingaben in entsprechende Textfelder der Applikation vornimmt. In Abbildung 37 ist die Ansicht einer Fallstudie im Editor gezeigt.

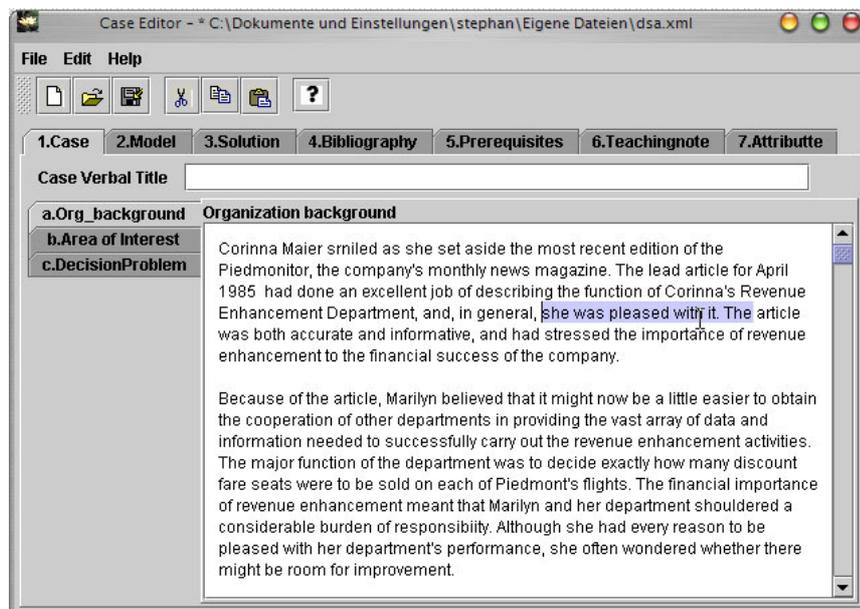


Abbildung 37: Fallstudien Editor (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Hauptsektionen der Fallstudie (Fallbeschreibung, Modellierung, Lösung, Literaturhinweise sowie Hinweise zum Anwenden der Fallstudie für Lehrende (Teaching Notes)) werden als Tabulatoreneinträge am oberen Bildschirmrand angezeigt. Jeder der Haupteinträge kann einen oder mehrere Unterpunkte haben, z. B. gliedert sich die Einleitung der Fallstudie in die Abschnitte „Organisatorischer Hintergrund“, „Interessen des Unternehmens“ sowie die Sektion „Entscheidungsproblem“ (siehe Abbildung 37). Durch die Verwendung des Fallstudien Editors

wird der Autor zusätzlich geleitet. Der Editor berücksichtigt die Strukturvorschrift der Fallstudie in Form einer DTD und warnt bei fehlenden, nicht-optionalen Abschnitten.

Bei allgemeinen Lernobjekten, die semi-strukturiert sind, ist die Erstellung eines Editors prinzipiell schwieriger, da der flexible Aufbau des Dokuments mit zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten schlecht auf einen formularähnlichen Aufbau abgebildet werden kann. Erste generische Ansätze, wie sie z. B. das Werkzeug XML Spy von [Altova 2003] bietet, sind noch nicht ausgereift. XML Spy kann mittels CSS eine annähernde WYSIWYG Ansicht darstellen, in der der Autor seine Eingaben macht. Diese Unterstützung ist derzeit noch für formularbasierte Eingaben optimiert. Weiterhin erfordert die Unterstützung dieser Ansicht noch speziell angepasste Stylesheets und unterliegt einigen Einschränkungen. Die Entwicklung einer zunehmenden Zahl von qualitativ hochwertigen Autorenwerkzeugen für XML sollte hier in Zukunft allerdings Abhilfe schaffen.

Eine weitere Hilfestellung betrifft die Erstellung von LMML Tabellen. In der Regel verwenden Autoren spezialisierte Werkzeuge wie Microsoft Excel, um Tabellen zu erstellen. Da die Tabellen in diesem Format vorliegen, liegt es nahe, die Transformation in das LMML Format maschinell zu unterstützen. Ein Visual Basic Makro liest einen Zellbereich aus Excel und generiert die LMML Darstellung, die dann per Zwischenablage in ein LMML Dokument eingefügt werden kann (siehe Abbildung 38).

	A	B	C
1	Demand Forecasts		
2			
3	Product	Selling, price per case	Demand forecasts (cases)
4	24 – 2 ½ whole tomatoes	4	800000
5	24 – 2 ½ choice peach halves	5,4	10000
6	24 – 2 ½ peach necture	4,6	5000
7	24 – 2 ½ tomato juice	4,5	50000
8	24 – 2 ½ cooking apples		
9	24 – 2 ½ tomato paste		
10			

```

<table title="Demand Forecasts">
  <tableheading>
    <tabledata><LMMLtext>Product</LMMLtext></tabledata>
    <tabledata><LMMLtext>Selling, price per case</LMMLtext></tabledata>
    <tabledata><LMMLtext>Demand forecasts (cases)</LMMLtext></tabledata>
  </tableheading>
  <tablerow>
    <tabledata><LMMLtext>24 – 2 ½ whole tomatoes</LMMLtext></tabledata>
    <tabledata><LMMLtext>4</LMMLtext></tabledata>
    <tabledata><LMMLtext>800000</LMMLtext></tabledata>
  </tablerow>
  <tablerow>
    <tabledata><LMMLtext>24 – 2 ½ choice peach halves</LMMLtext></tabledata>
  </tablerow>
  <tablerow>
    <tabledata><LMMLtext>24 – 2 ½ peach necture</LMMLtext></tabledata>
    <tabledata><LMMLtext>4,6</LMMLtext></tabledata>
    <tabledata><LMMLtext>5000</LMMLtext></tabledata>
  </tablerow>
  <tablerow>
    <tabledata><LMMLtext>24 – 2 ½ tomato juice</LMMLtext></tabledata>
    <tabledata><LMMLtext>4,5</LMMLtext></tabledata>
    <tabledata><LMMLtext>50000</LMMLtext></tabledata>
  </tablerow>
  <tablerow>
    <tabledata><LMMLtext>24 – 2 ½ cooking apples</LMMLtext></tabledata>
  </tablerow>
  <tablerow>
    <tabledata><LMMLtext>24 – 2 ½ tomato paste</LMMLtext></tabledata>
  </tablerow>
</table>

```

Abbildung 38: Transformation von Excel Tabellen nach LMML (Quelle: Eigene Darstellung)

Diese kleinen Hilfestellungen stellen erste Schritte dar, um die Erstellung von LMML Lernobjekten zu vereinfachen. Es muss allerdings vermerkt werden, dass Entwicklungsbedarf für eine generische Lösung besteht, die die Bearbeitung von XML Dokumenten in einer visuell orientierten Form erlaubt.

### 6.3.1.2 *Konvertierung bestehender HTML Dokumente nach LMML*

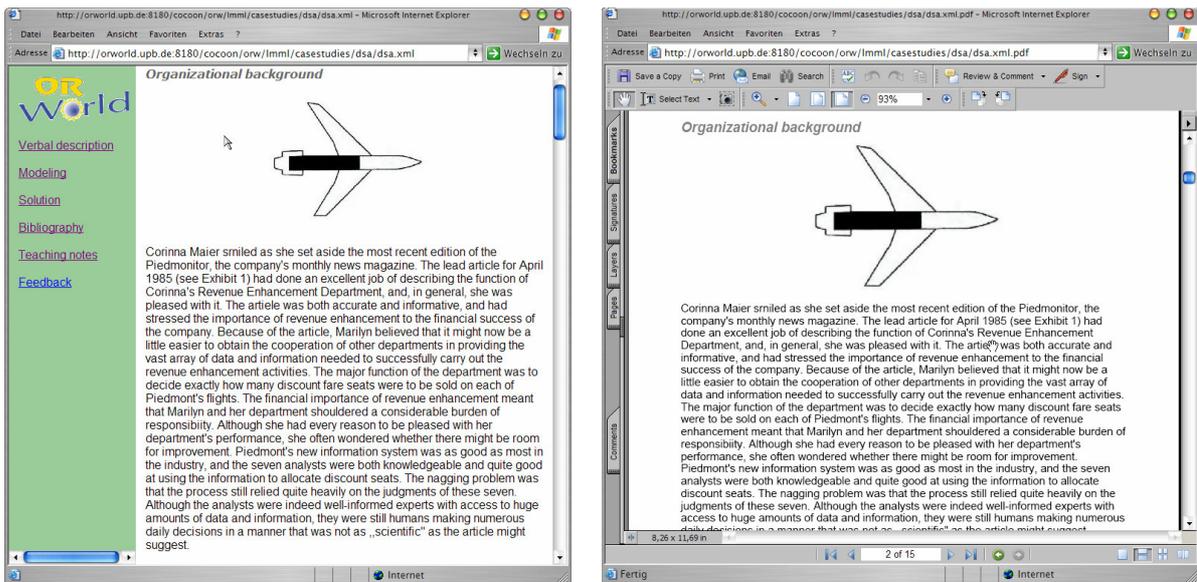
Viele Lernmaterialien liegen bereits in Form von HTML Dokumenten vor. Diese können zwar in dieser Form bereits über den LOM Editor eingebunden werden (siehe Abschnitt 6.5), bieten dann aber nicht die Möglichkeiten, die eine präsentationsneutrale Formulierung in LMML bietet. Es ist wünschenswert, die bereits bestehenden Materialien zumindest teilweise automatisiert in LMML zu überführen.

Eine gänzlich automatisierte Transformation von HTML nach LMML ist prinzipiell nicht möglich, da HTML kein durchgängig semantisches Markup liefert. Deshalb kann für viele Strukturen in HTML nicht automatisiert rekonstruiert werden, welche Semantik sie beinhalten. Teile der Struktur eines HTML Dokuments lassen sich aber sehr wohl in LMML überführen. Zu diesem Zweck wurde ein XSL Stylesheet entwickelt, das diese Transformation durchführt. Voraussetzung ist ein syntaktisch korrektes HTML Dokument, das im XHTML Standard vorliegt (vgl. [XHTML 2002]). XHTML ist eine Formulierung von HTML, die syntaktisch den Anforderungen von XML bzgl. Wohlgeformtheit genügt. Damit sind diese XHTML Dokumente mit XML Standardwerkzeugen bearbeitbar, wie z. B. Stylesheet Prozessoren.

Durch das Stylesheet werden rudimentäre Elemente in ihr entsprechendes LMML Pendant überführt. Das Stylesheet legt Regeln fest, wie bestimmte HTML Elemente zu überführen sind. Die transformierten HTML Elemente umfassen z. B. Paragraphen, Bilder, Tabellen und Listen, die in ein LMML Dokument überführt werden. Nicht eindeutig überführt werden können z. B. Überschriften, die Sektionen in HTML nur andeuten, aber nicht eindeutig auszeichnen. Eine manuelle Nachbearbeitung der Resultate ist unumgänglich, da die nicht vorhandenen sowie die während der Transformation verlorenen Strukturen im resultierenden LMML Lernobjekt eingefügt werden müssen. Das Stylesheet liefert aber ein Werkzeug, um einen Großteil der Inhalte in LMML zu überführen.

### 6.3.1.3 *Transformation von LMML Lernobjekten*

Die Transformation von LMML Lernobjekten wird ausführlich im Abschnitt 6.6.6 in Zusammenhang mit dem Portal behandelt. Wie dort ausgeführt wird, erfolgt die Transformation von LMML Lernobjekten mit Hilfe von XSL Stylesheets. In Abbildung 39 ist das Ergebnis der Transformation einer Fallstudie in HTML (Abbildung 39 a)) und PDF (Abbildung 39 b)) zu sehen.



a) HTML Darstellung einer Fallstudie

b) PDF Darstellung einer Fallstudie

Abbildung 39: Darstellung des Lernobjektes „Red Brand Canners“ und begleitender Metadaten (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Darstellung der Regeln der XSL Stylesheets trägt auf dieser Detaillierungsstufe nicht zum Verständnis der Arbeit bei. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle darauf verzichtet.

#### 6.3.1.4 Multilingualität in LMML Lernobjekten

Die Eignung von XML Dokumenten multilinguale Inhalte mit Unicode zu speichern wurde bereits erwähnt. In diesem Sinne partizipieren LMML Dokumente ebenfalls von der Unicodeunterstützung von XML. Die Erfahrung zeigt aber, dass peinlichst darauf geachtet werden muss, dass alle Werkzeuge, die bei der Bearbeitung der LMML Lernobjekte zum Einsatz kommen, auch Unicode unterstützen. Die Bearbeitung eines in Unicode kodierten LMML Dokuments z. B. mit einem Editor, der Unicode Kodierung nicht unterstützt, kann dazu führen, dass alle Sonderzeichen verloren bzw. durch unsinnige Interpretationen ersetzt werden. Dieser Vorgang ist nicht reversibel.

Derartige technische Probleme lassen sich aber noch relativ einfach beseitigen. Wichtiger sind die organisatorischen Probleme, die sich z. B. bei Aktualisierungen für multilinguale Dokumente ergeben. „Multilingual documents are never easy to handle. This is especially true for updates, when the documents contain several languages but the source language is the newest one and the others need to be updated“ [Savourel 2001, 139].

#### 6.3.2 Interaktive Lernobjekte für OR/MS

Algorithmen sind der Schlüssel zur Lösung von typischen Problemen im Bereich OR/MS. Algorithmen sind wesentliches OR Handwerkszeug, eine solide Kenntnis der Methoden ist

notwendige Basis zur Lösung realer Problemstellungen. Zum Ausbau der individuellen Problemlösefähigkeit ist allerdings weit mehr als nur die Kenntnis der grundlegenden Algorithmen notwendig. Wie bereits ausgeführt, werden Fallstudien als geeignet erachtet, um in situierte Kontexte eingebettet, die Anwendung von Algorithmen zu erproben (siehe 2.4.2). Die dazu notwendigen Grundkenntnisse über Algorithmen müssen allerdings bereits vorhanden sein. Interaktive Lernobjekte und Animationen werden zum Erwerb dieser Grundkenntnisse als besonders geeignet erachtet.

Algorithmen können mit herkömmlichen Mitteln oft nur schwer dargestellt werden. Vielen Studenten bereitet das Verstehen von Algorithmen Schwierigkeiten: „... an algorithm describes a process that is abstract and dynamic, while the methods used to teach them are not“ [Hansen/Narayan/Schrimpscher 1998]. Animationen scheinen gut zur Visualisierung von Algorithmen geeignet zu sein: „Animating an algorithm allows for better understanding of the inner workings of the algorithm; furthermore it makes apparent its shortcomings and advantages, thus allowing for further optimization“ [Gloor 1997, 229].

Im Folgenden sollen exemplarisch einige interaktive Lernobjekte für den Bereich Operations Research dargestellt werden. Diese Lernobjekte sind sehr generisch gehalten und bieten sich damit für die Wiederbenutzung in verschiedenen Kontexten an. Alle Beispiele sind in Technologien abgebildet, die über das WWW benutzt werden können. Es wird also keine zusätzliche Softwareinstallation auf Seiten des Lernenden benötigt.

#### *6.3.2.1 Lösen von Optimierungsproblemen - Solver*

Problemstellungen aus der Betriebswirtschaftslehre können oft als mathematisches Optimierungsmodell aufgestellt werden. So können Probleme als lineares Programm formuliert werden. Eine Methode zur Lösung von Problemstellungen in der linearen Optimierung ist der Simplexalgorithmus. Dabei modelliert der Nutzer ein lineares Programm und lässt es in der Regel durch eine Optimierungssoftware lösen. In der Lehre werden dazu häufig kommerzielle Produkte, wie Lindo, AMPL, Cplex oder ClipMOPS eingesetzt. Die Verwendung der oben angesprochenen Werkzeuge erfordert jeweils eine Installation auf dem Computer des Lernenden, weiterhin unterscheiden sich alle Produkte in ihrer Bedienung. Die hier auftretenden Modelle sind relativ klein, sie bestehen in der Regel aus weniger als 20 Variablen und bis zu 30 Restriktionen.

Der Solver wurde als Lernobjekt zur Lösung von Optimierungsproblemen entwickelt, das die oben angesprochene Installation vermeidet. Der Solver ist vollständig web-basiert und kann im Browser integriert aufgerufen werden. Dadurch sind keine weiteren Installationen notwendig. Das Programm ermöglicht das Lösen von linearen Programmen und es erlaubt detailliert den da-

bei angewendeten Simplex Algorithmus in den einzelnen Iterationen ablaufen zu lassen. Im Gegensatz zu einer statischen Darstellung in einem Buch wird das Modell jeweils neu zur Laufzeit gelöst. Durch die dynamische Arbeitsweise können Parameter und die Struktur eines Modells beliebig variiert werden, so dass das Optimierungsproblem jeweils neu gelöst und die Lösung vom Lernenden neu bewertet werden kann.

Das dargestellte Beispiel ist ein lineares Programm mit zwei Variablen und wurde [Suhl/Mellouli 1997] entnommen. Die mathematische Formulierung des Modells lautet:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Max} & 2 x_1 + 1,5 x_2 \\
 \text{s.t.} & \\
 \text{Res-L:} & x_1 + x_2 \leq 800 \\
 \text{Res G1} & x_1 \leq 400 \\
 \text{Res G2} & x_2 \leq 700 \\
 \text{Res Z} & 2 x_1 + x_2 \leq 1000 \\
 \text{Nichtnegativitätsbedingung} & x_1, x_2 \geq 0
 \end{array}$$

Die Eingabe des Modells erfolgt über eine grafische Oberfläche analog zu der mathematischen Formulierung. Die Nichtnegativität kann bei der Anlage von Variablen festgelegt werden (siehe Abbildung 40).

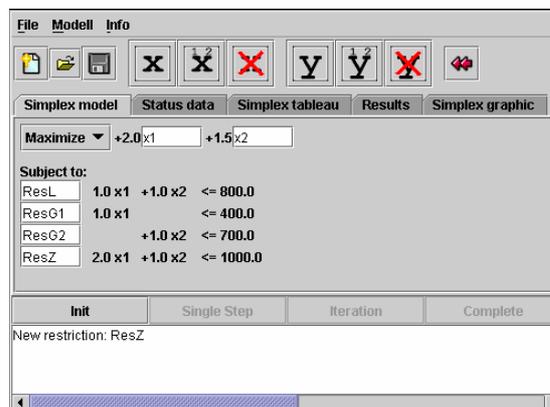
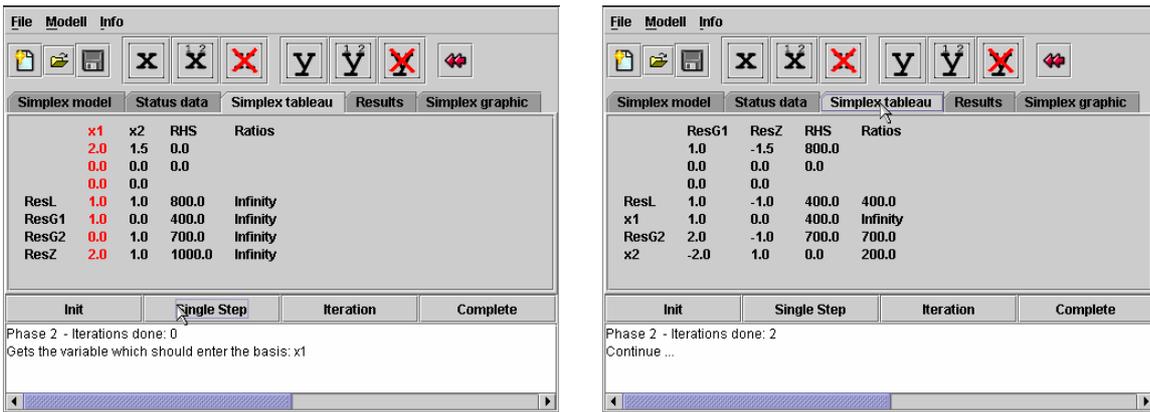


Abbildung 40: Optimierungsapplet - Formulierung des Modells (Quelle: Eigene Darstellung)

Nach der Initialisierung des Modells kann der Benutzer die einzelnen Schritte des Simplex Algorithmus nachvollziehen oder aber auch ganze Iterationen ausführen lassen (siehe Abbildung 41).



a) Ablauf des Simplex Algorithmus

b) Simplex Tableau

Abbildung 41: Interaktive Darstellung des Simplex Algorithmus (Quelle: Eigene Darstellung)

Im letzten Schritt wird die Lösung des Problems präsentiert (siehe Abbildung 42).

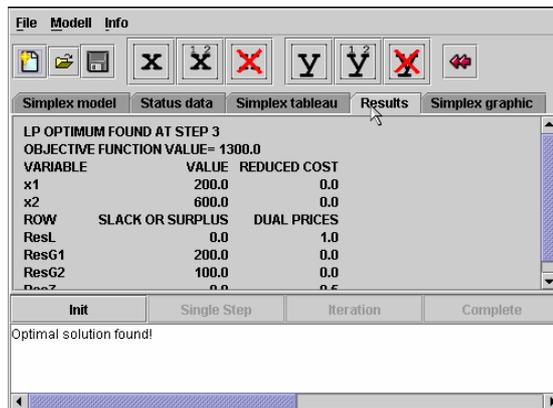


Abbildung 42: Optimierungapplet - Darstellung der Lösung (Quelle: Eigene Darstellung)

Im zweidimensionalen Fall wird eine grafische Ansicht geliefert, in der der Lernende die Visualisierung des Problems, die Restriktionen sowie das Finden der optimalen Lösung verfolgen und nachvollziehen kann (siehe Abbildung 43).

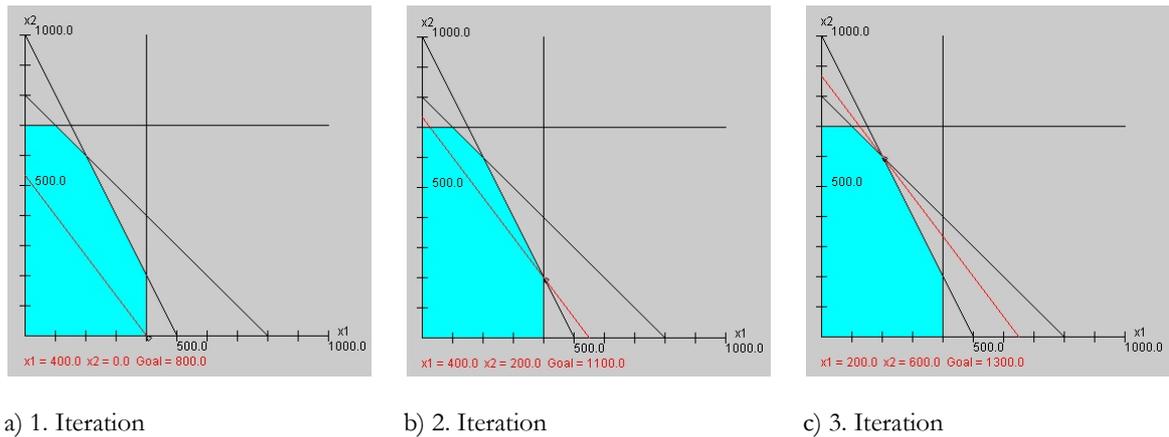


Abbildung 43: Interaktive Darstellung des Simplex Algorithmus (Quelle: Eigene Darstellung)

Lineare Programme können von vielen Systemen verarbeitet werden. Um eine höchstmögliche Kompatibilität zwischen verschiedenen Systemen zu gewährleisten wurde das MPS-Format als internationales Standardformat für die Spezifikation von Optimierungsproblemen eingeführt. Bei diesem Format werden die Daten in einem festgelegten Aufbau in einer Datei gespeichert. Damit die Kompatibilität mit anderen Systemen gewährleistet ist, kann das Optimierungsprogramm MPS Daten sowohl lesen als auch schreiben.

Der Solver ist in der Lage, kleine Optimierungsprobleme zu lösen. Dabei können die einzelnen Schritte des Solvers verfolgt werden, um diese manuell nachzuvollziehen. Dabei wird die grafische Visualisierung angeboten, um im zweidimensionalen Fall die Vorgehensweise des Algorithmus auch grafisch nachvollziehen zu können. Durch die generische Natur des Solvers als allgemeines Werkzeug und die Möglichkeit zur Übergabe eines Modells durch das MPS Format ist der Solver in hohem Maße wieder verwendbar.

### 6.3.2.2 Simulationen

Ein komplexeres Beispiel für eine interaktive Anwendung, die Lernenden zur Verfügung gestellt wird, ist in Abbildung 44 zu sehen. Mit Hilfe dieses Lernobjektes, das in die begleitende Fallstudie „Seat Allocation“ eingebettet ist, können Lernende diverse Parameterkombination erproben und die Ergebnisse der Simulation sofort ermitteln.

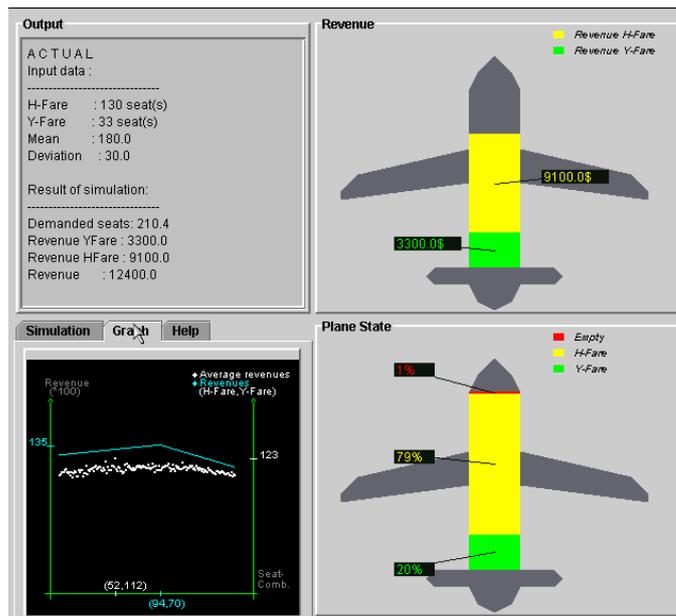
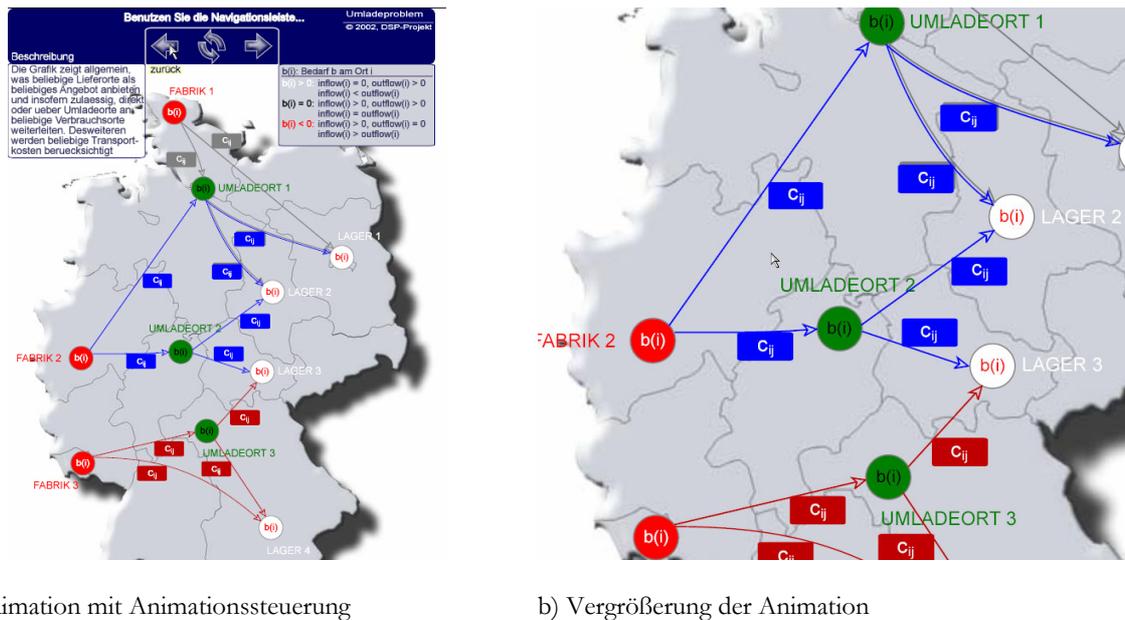


Abbildung 44: Simulation der Platzbelegung eines Flugzeuges (Quelle: Eigene Darstellung)

In diesem Beispiel liegt der Schwerpunkt darauf, dass Lernende die Auswirkung von Parameteränderungen auf das Ergebnis der Simulation kennen lernen.

### 6.3.2.3 Animationen (SVG)

Animationen werden in OR-World mit einer Steuerung bereitgestellt, die es erlaubt die Schritte der Animation einzeln zu durchlaufen. Der Lernende behält die Kontrolle und kann sich vorherige Schritte nochmals ansehen. In Abbildung 45 a) ist die Animation abgebildet, wobei der dynamische Charakter der Animation durch die Abbildung nur unzulänglich repräsentiert wird.



a) Animation mit Animationssteuerung

b) Vergrößerung der Animation

Abbildung 45: Animation eines Transportproblems durch SVG (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Animation ist in SVG verfasst (siehe 4.1.3.3). Basierend auf SVG ist die Animationssteuerung direkt in die Animation eingebettet. In Abbildung 45 b) ist eine Vergrößerung eines Ausschnittes der Grafik abgebildet, wobei die Vergrößerung auch von Lernenden während der Animation erfolgen kann.

Die gezeigten Beispiele belegen, dass der Interaktionsgrad von Lernobjekten sich durchaus mit den Interaktionsmöglichkeiten von proprietären Technologien messen kann. Lernobjekte bieten darüber hinaus eine Verbesserung der Zugangsmöglichkeiten durch die Verwendung standardisierter Technologien.

## 6.4 Metadaten Repository und News Repository

Das Metadaten Repository kapselt die Beschreibungen der Lernobjekte in einem relationalen DBMS. Als Datenmodell dient dabei die relationale Modellierung des LOM Schemas (siehe Abschnitt 5.4.3 zur Modellierung und Anhang 9.2.3 für das komplette Datenbankschema).

Das News Repository ist ebenfalls eine relationale Datenbank, in der Nachrichten und Neuigkeiten für Lernende abgelegt werden können. Diese Daten werden auf der Anwendungsebene vom Portal umgesetzt und können dort abgerufen werden.

Als Datenbank wurde hier MySQL ausgewählt, eine frei verfügbare Opensource-Datenbank. MySQL bietet eine hohen Reifegrad sowie eine hohe Performanz beim Zugriff auf die Daten und zeichnet sich dadurch durch eine hohe Zuverlässigkeit und hohe Geschwindigkeit aus. Diese

Eigenschaften sind umso wichtiger, da das Metadaten Repository die zentrale Informationsquelle des Systems ist und dadurch oft auf sie zugegriffen werden muss. Durch die Kapselung auf der Persistenzebene und die Verwendung von Java Database Connectivity Schnittstellen (JDBC) zum Zugriff auf die Datenbank, ist es möglich, die Datenbank relativ leicht auszutauschen.

Die eigentliche Spezifikation des Metadaten Repositories ist bereits ausführlich in Abschnitt 5.4 erfolgt, weshalb an dieser Stelle auf weitere Details verzichtet werden kann.

## 6.5 Komponente LOM Editor

Nach der Beschreibung der Systemkomponenten in der Persistenzebene erfolgt im Weiteren die Beschreibung der Komponenten der Anwendungs- und Präsentationsebene. Da die eigentliche Logik zur Realisierung der Funktionen und die Visualisierung dieser Logik nicht trennbar sind, wird auf eine künstliche Trennung in der Darstellung bewusst verzichtet.

Wie bereits in der Einführung in diesem Kapitel erläutert wurde, lassen sich die Benutzer des Systems in zwei Rollen, den Lehrenden und den Lernenden unterscheiden. Der LOM Editor ist eine Applikation, mit der Metadaten nach dem LOM Standard erfasst und verwaltet werden können. Dieses wird typischerweise von Lehrenden vorgenommen. Der LOM Editor ist das zentrale Instrument zur Erstellung und Manipulation von Metadaten für Lernobjekte und wird deshalb im Folgenden ausführlich beschrieben.

Beginnend mit einem Überblick (6.5.1) wird im nächsten Schritt die Zugriffsregulierung auf die Metadaten skizziert (6.5.2). Eine Erläuterung der Basisfunktionalitäten schließt sich an (6.5.3), ehe wesentliche Merkmale der Benutzungsoberfläche skizziert werden (6.5.4). Ein zentraler Aspekt beim Einsatz des LOM Editors ist die Komposition und Wiederbenutzung der Lernobjekte (6.5.5). Abschnitt 6.5.6 beschreibt die ontologische Klassifikation von Lernobjekten mit Hilfe des LOM Editors, während Abschnitt 6.5.7 auf die Interoperabilität von Lernobjekten fokussiert. Die Unterstützung der Multilingualität durch den LOM Editor beschließt die Ausführungen (6.5.8).

### 6.5.1 Überblick über den LOM Editor

Der LOM Editor ist als web-basierte Anwendung konzipiert und in der plattformunabhängigen Sprache JAVA implementiert, damit ist lediglich ein Browser zur Nutzung der Applikation notwendig. Die Logik des LOM Editors wird auf der Anwendungsebene ausgeführt, damit muss der Client (der Browser, mit dem der Benutzer auf die Anwendung zugreift) nur minimale Funktionalitäten aufweisen. Zur Nutzung der grafischen Visualisierungen ist noch eine JAVA Umgebung (JAVA Runtime Environment – JRE) zusätzlich zum Browser notwendig, die aber nur einmalig installiert werden muss. Der LOM Editor kann als web-basierte Anwendung über

[OR-World LE 2003] gestartet werden. Der LOM Editor wurde im Rahmen der Diplomarbeit [Niedermowe 2003] implementiert.

### 6.5.2 Regulierung des Zugriffs auf die Metadaten

Der Zugriff auf die Metadaten ist reglementiert. Eine Kennung und ein Passwort sind notwendig, um vollen Zugriff auf die Metadaten zu erhalten. Der Zugriff selbst ist wieder gestaffelt nach den drei Rollen: Gast, Editor und Administrator. Je nach Rollenzuordnung werden Funktionen wie Anzeigen, Schreiben von Metadaten, Löschen von Beschreibungen, Anlegen von Netzwerken etc. zugelassen bzw. verwehrt. In Abbildung 46 sind der Anmeldebildschirm und der Bildschirm zur Auswahl eines Netzwerkes abgebildet.

a) Anmeldung im LOM Editor

b) Auswahl eines Netzwerkes

Abbildung 46: LOM Editor - Anmeldung und Auswahl eines Netzwerkes (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Funktionen am linken Rand der rechten Abbildung in Abbildung 46 sind kontextabhängig von der Rolle „Administrator“. Nach der Anmeldung kann der Benutzer ein Netzwerk auswählen, dem er dann neue Metadaten hinzufügen oder in dem er bestehende editieren kann.

### 6.5.3 Basisfunktionen zur Manipulation der Metadaten

Nach Authentifizierung und Auswahl eines Netzwerkes können bestehende Metadaten zu Lernobjekten dieses Netzwerkes modifiziert sowie neue Metadaten angelegt werden. Zusätzlich ist es möglich, Metadaten zu löschen oder diese einem anderen Netzwerk zuzuordnen.

Bei steigender Anzahl von Lernobjekten in einem Netzwerk tritt das Problem der Unübersichtlichkeit auf. Der Benutzer muss beim Zugriff auf Lernobjekte verschiedener Granularität unterstützt werden. Hierzu bietet der LOM Editor Sortierungs- und Filtermechanismen an, um schnell das gesuchte Lernobjekt auswählen zu können. In Abbildung 47 ist zu sehen, dass nach den Merkmalen Titel, Beschreibung, Bearbeiter sowie nach dem Datum der letzten Änderung sortiert sowie nach der Granularitätsebene gefiltert werden kann.

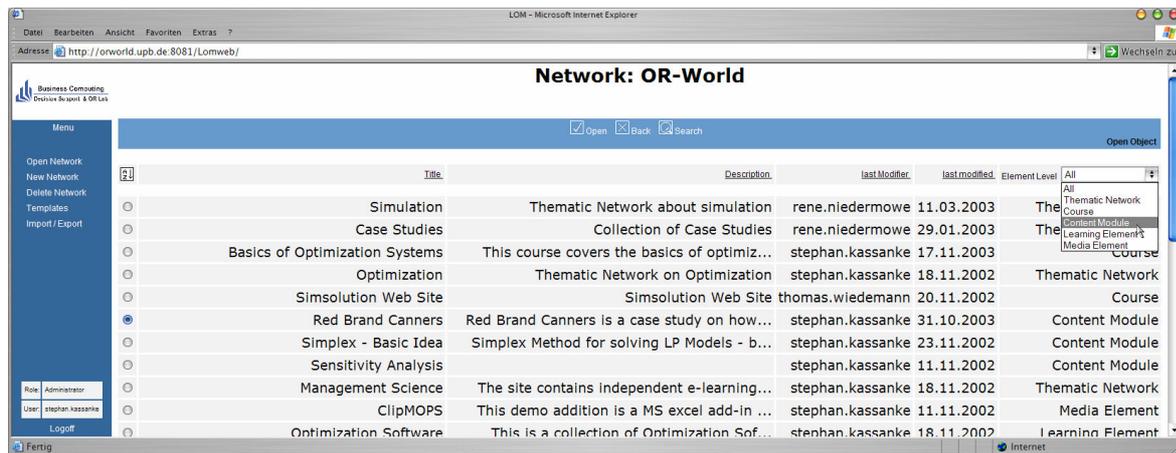


Abbildung 47: LOM Editor – Auswahl von Lernobjekten (Quelle: Eigene Darstellung)

Nach Auswahl und Öffnen der Metadaten eines Lernobjektes wird der Hauptbildschirm zur Modifikation der Metadaten angezeigt. Zentrale Bereiche sind dabei in Abbildung 48 gesondert gekennzeichnet.

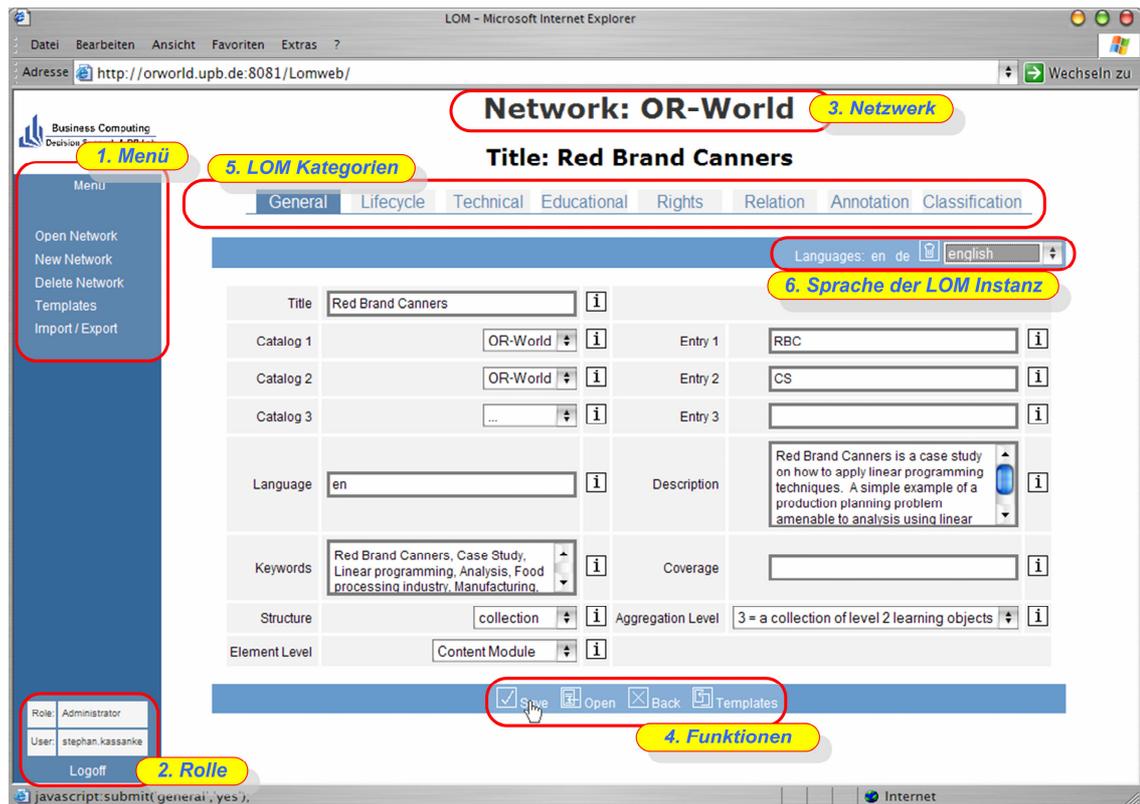


Abbildung 48: LOM Editor – Aufbau (Quelle: Eigene Darstellung)

Der linke Bereich in Abbildung 48 ist permanent sichtbar und beinhaltet einen zentralen Menübereich (1. Menü) sowie Statusinformationen (2. Rolle). Der Menübereich beinhaltet Funktionen zur Verwaltung und Steuerung der übergeordneten Netzwerke, eine Vorlagenverwaltung und die Auswahl der externen Schnittstellen. Die Funktionen die Verwaltung von Netzwerken sind dabei von der Rolle des angemeldeten Benutzers abhängig.

Innerhalb der Sektion 2. Rolle werden die Informationen über den angemeldeten Benutzer und dessen Zugriffsrechte angezeigt. Zusätzlich ist eine Schaltfläche zur Abmeldung und damit zum Beenden der Anwendung vorhanden.

Am oberen Bildschirmrand in Abbildung 48 werden das aktuell ausgewählte Netzwerk sowie der Titel des geöffneten Lernobjektes angezeigt (3. Netzwerk). Am unteren Bildschirmrand werden Funktionen angezeigt, die für die aktuell geöffneten Metadaten ausgeführt werden können (4. Funktionen).

Die geschilderten Bereiche Menü und Funktionen bilden einen Rahmen, der um die Darstellung der eigtl. Metadaten im mittig positionierten Inhaltsbereich gruppiert ist. Da die Anzahl der Attribute des LOM Schemas die Darstellungsfläche bei Weitem übersteigen würde, wurden die einzelnen Attribute innerhalb der LOM Kategorien gruppiert. Im Bereich 5. LOM Kategorien in

Abbildung 48 kann zwischen den einzelnen Kategorien von LOM gewechselt werden, so dass im Inhaltsbereich jeweils die Attribute einer Kategorie angezeigt werden. Die Kategorie MetaMetadaten wurde explizit ausgeschlossen, da hier Informationen zum verwendeten Metadaten-Schema gespeichert werden. Sobald Beschreibungen mit anderen Werkzeugen ausgetauscht werden, werden die Informationen für die Kategorie MetaMetadaten durch den LOM Editor generiert und dem Metadaten-Satz angehängt. Durch Auswahl des Gruppennamens mit der Maus werden die zugehörigen Elemente angezeigt.

Zu einem Lernobjekt können multilinguale Beschreibungen angelegt werden. Die Darstellung der verschiedenen Sprachausprägungen wurde so gelöst, dass im Bereich 6. Sprache der LOM Instanz die Sprache der jeweils ausgewählten LOM Instanz angezeigt wird. Zusätzlich werden links in diesem Bereich existierende Sprachausprägungen der Beschreibung angezeigt (in diesem Fall Englisch (en) und Deutsch (de)).

Die Basisfunktionalität des LOM Editors zur Beschreibung von Lernobjekten mit Metadaten wird durch die in Abbildung 48 illustrierte Funktionalität bereits abgedeckt. Das Erfassen der Metadaten in einer formularbasierten Ansicht ist durch die Darstellung der Attribute in textbasierter Form möglich.

#### *6.5.4 Merkmale der Benutzungsoberfläche*

Die Benutzungsoberfläche ist durch die klare Trennung in Menübereich, Funktionsbereiche und Inhaltsbereich übersichtlich und die Darstellung auf dem Bildschirm wird nicht überfrachtet. Vokabulare werden durch die Bereitstellung von Kombinationsfeldern unterstützt, so dass der Benutzer hier nur Werte aus einem gegebenen Wertebereich auswählen kann. Das Feld „Element Level“ ist ein Beispiel für solch ein Vokabular. Das LOM Schema sieht dieses Attribut nicht vor, im Kontext dieser Arbeit muss das Attribut aber vermerkt werden, da die Granularität des zu beschreibenden Lernobjektes erfasst werden muss. In diesem Feld können die Ausprägungen „Medien Element“, „Lernelement“, „Inhaltliches Modul“, „Kurs“ sowie „Thematisches Netzwerk“ ausgewählt werden. Eine andere Eingabe kann der Benutzer nicht vornehmen.

Jedes Feld ist mit einem entsprechenden Hilfetext hinterlegt, so dass auch Autoren, die keine Erfahrung mit dem LOM Schema haben, in der Lage sind semantisch korrekte Informationen einzupflegen. Das ist insbesondere wichtig, da lediglich aus den Beschriftungen der Felder nicht immer die Semantik des erwarteten Wertes hervorgeht. So tritt z. B. das Feld „Sprache“ sowohl in der Kategorie „General“, als auch in der Kategorie „Educational“ auf. In der Kategorie „General“ wird die Sprache, in der das Lernobjekt formuliert ist bezeichnet, wobei in der Kategorie Educational, die Sprache bezeichnet wird, die der typische Lernende benutzt. Z. B. könnte ein englischsprachiger Text, der für das Lernen der englischen Sprache für deutsche

Studierende gedacht ist, in „General“ als Englisch („en“) gekennzeichnet werden, während in „Educational“ Deutsch („de“) die adäquate Auszeichnung wäre. Diese Unterscheidung ist vom LOM Standard so vorgesehen, obwohl sie nur in sehr speziellen Fällen zur Anwendung kommt. Der Editor unterstützt den Autor dabei durch kontextsensitive Informationen.

Zur weiteren Vereinfachung der Erfassung von Metadaten für den Benutzer wurde ein Vorlagenmechanismus implementiert, der die Erstellung von Vorlagen (Templates) erlaubt, die benutzerspezifisch im System zur Verfügung stehen. Bei der Beschreibung von Lernobjekten müssen Teile der Metadaten oftmals wiederholt für mehrere Lernobjekte eingegeben werden. Ein Beispiel dafür ist die Erfassung einer Reihe von Medienelementen, die alle einen identischen Autor aufweisen. Hierfür könnte eine Vorlage mit diesen Angaben einmalig angelegt werden, die wiederholt auf die Medienelemente angewendet wird, so dass die Angaben nicht iteriert händisch eingegeben werden müssen.

#### 6.5.5 Komposition und Wiederbenutzung von Lernobjekten

Die Komposition von Lernobjekten wird in den Metadaten notiert. In der Kategorie Relation des LOM Schemas werden nach der Systematik aus Abschnitt 5.2.3 Lernobjekte hierarchisch basierend auf der Granularität komponiert. In Abbildung 49 ist die Kategorie Relation und deren Darstellung innerhalb des LOM Editors dargestellt. Ein Benutzer kann hier ausgehend vom aktuell geöffneten Lernobjekt die Beziehung zu anderen Lernobjekten herstellen.

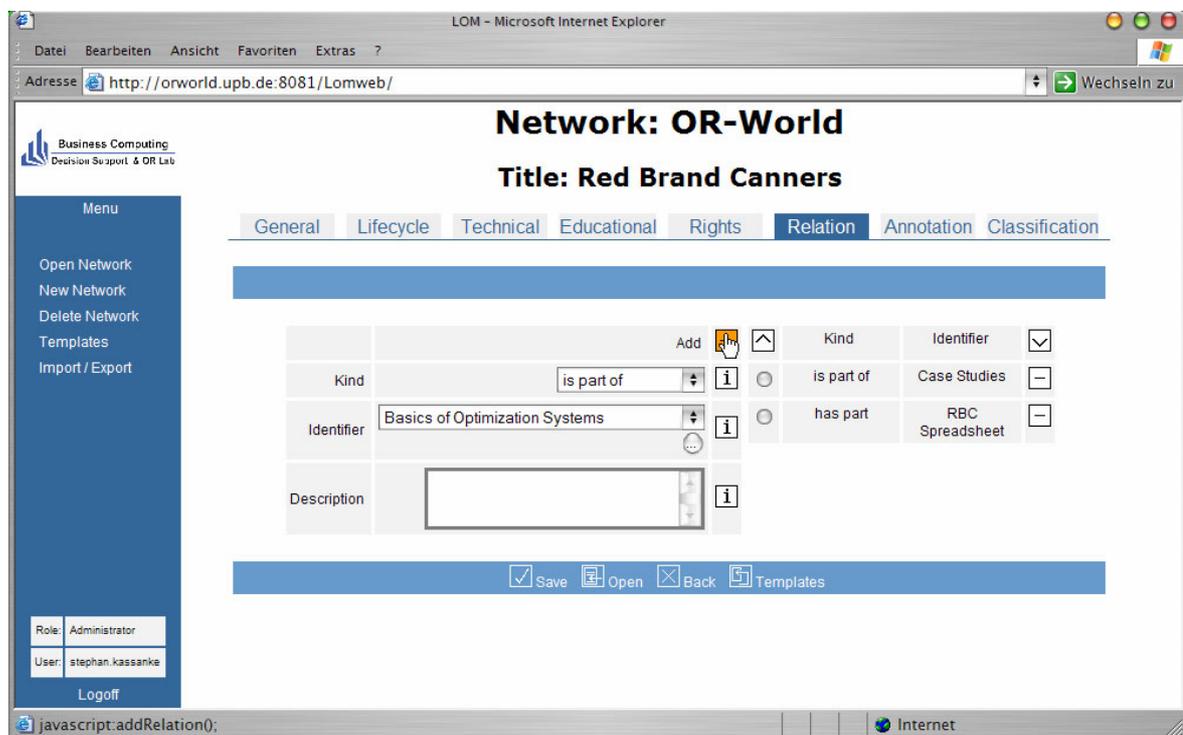


Abbildung 49: LOM Editor - Kategorie Relation (Quelle: Eigene Darstellung)

In Abbildung 49 wird eine neue Beziehung ausgewählt und den bestehenden Beziehungen hinzugefügt. Als Beziehungstypen sind alle Varianten, die im Abschnitt 5.2.3.1 eingeführt wurden, zulässig. Da die Beziehungstypen jeweils eine inverse Beziehung aufweisen, wird die Inverse im Ziellernobjekt ebenfalls eingetragen. D. h. dass bei Hinzufügen einer „IsPartOf“-Beziehung für das aktuelle Lernobjekt auf das Lernobjekt „Basics of Optimization Systems“, in diesem die inverse Relation „HasPart“ zu dem aktuellen Lernobjekt vermerkt wird. Durch diese redundante Speicherung ergeben sich Geschwindigkeitsvorteile bei der Konstruktion der Beziehungen aus der Datenbank.

Die Auswahl des Zielobjektes wird durch die bereits beschriebenen Filter und Sortierhilfen unterstützt, die in Abschnitt 6.5.3 beschrieben und in Abbildung 47 illustriert wurden. Weiterhin ist zu vermerken, dass eine Sequenzierung der Inhalte durch den Editor erfolgen kann. Diese Eigenschaft ist wichtig für die Inklusion mehrerer Lernobjekte, die in eine Reihenfolge gebracht werden müssen.

Die Komposition der Lernobjekte ist mit den beschriebenen Methoden bereits möglich, durch die textuelle Darstellungsform entspricht die Darstellung aber nicht dem Hypertextcharakter, der die zugrunde liegende Wissensbasis kennzeichnet. Eine grafische Darstellungsform repräsentiert die zugrunde liegenden Strukturen wesentlich besser als die geschilderte textuelle Darstellung.

Der LOM Editor bietet eine grafische Darstellung der gebildeten Relationen zwischen Lernobjekten mit Hilfe des LOM Graph. Die Implementierung des LOM Graph basiert dabei auf der Basis von [Touchgraph 2002]. Der LOM Graph kann ausgehend von der Startseite des LOM Editors gestartet werden und bietet eine grafische Übersicht über alle Lernobjekte eines Netzwerkes.

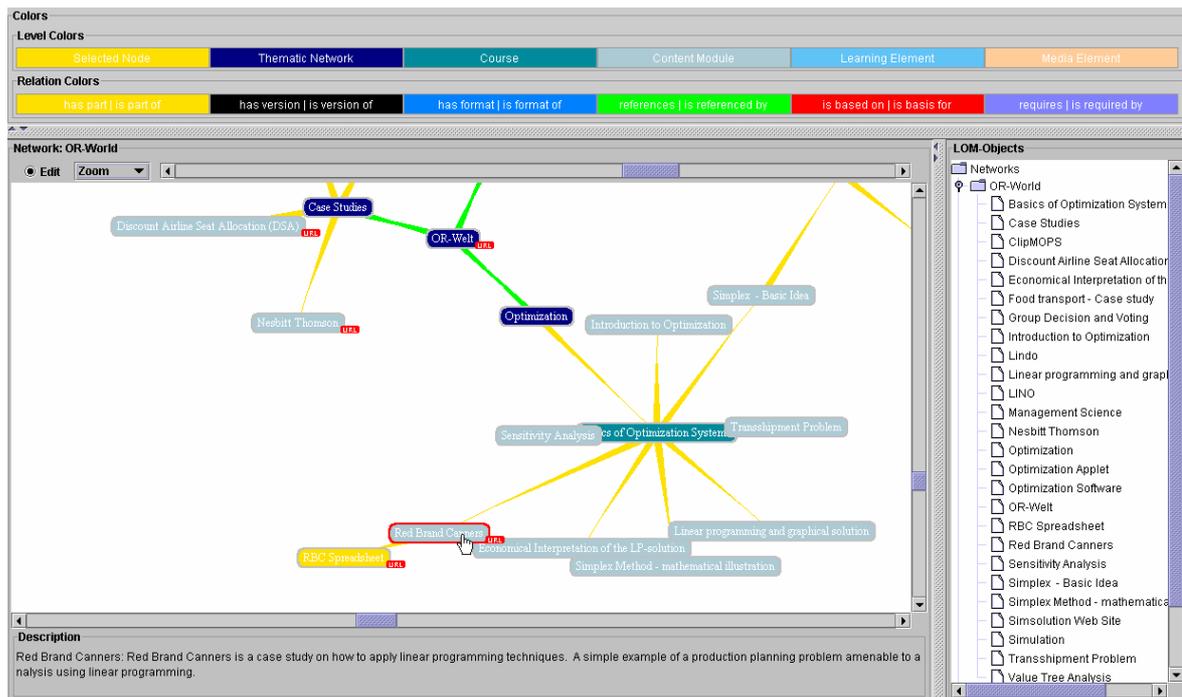


Abbildung 50: LOM Editor - LOM Graph (Quelle: Eigene Darstellung)

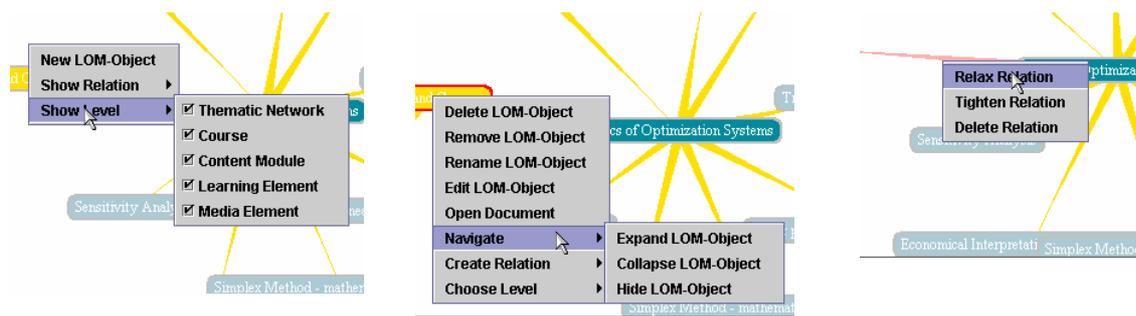
Die grafische Darstellung ist dabei nicht statisch, sondern bietet dem Benutzer vielmehr dynamische Interaktionsmechanismen. Die Knoten des Graphen in Abbildung 50 repräsentieren ein Lernobjekt respektive dessen Metadaten. Durch Verschieben der Knoten mit der Maus kann der Benutzer innerhalb des Wissensraumes navigieren, also den Fokus der Betrachtung lenken. Der Graph ist dabei selbstorganisierend ausgelegt.

Selbstorganisierenden Graphen liegen Regeln über das Layout der Knoten des Graphen zugrunde. Sobald mit der Maus z. B. ein Knoten verschoben wird, resultiert aufgrund dieser Regeln ein Ungleichgewicht. Der LOM Graph versucht dieses Ungleichgewicht graduell auszugleichen, indem direkt benachbarte Knoten mit verschoben werden, deren Nachfahren werden in geringerem Umfang verschoben etc. Der LOM Graph strebt nach einem stabilen Zustand, in dem die Regeln des Layouts für alle Knoten erfüllt sind. Die Änderungen am Layout erscheinen zunehmend gedämpft, ähnlich den Schwingungen einer gespannten Feder. Durch die graduelle Änderung des Layouts entsteht der Eindruck einer kontinuierlichen Bewegung, der Benutzer erhält das Gefühl der Kontrolle. Zusätzlich verstärken vorhersehbare Effekte von Graphaktionen, deren Wiederholbarkeit und auch die Rücknahme dieser Aktionen, das Gefühl der Kontrolle.

Die Granularitäten der Lernobjekte sowie die Art der Verknüpfungen zwischen den Lernobjekten sind zur Unterscheidung farblich kodiert. Am oberen Bildschirmrand in Abbildung 50 ist eine Legende der farblichen Kodierung abgebildet. Durch diese Kodierung ist es dem

Benutzer möglich, Lernobjekte, deren Granularitäten und deren Relationen zu anderen Lernobjekten im Kontext visuell zu erfassen.

Der Graph kann gezoomt und rotiert werden, weiterhin können die Abstände zwischen den Knoten variiert werden. Diese Navigationshilfen dienen dazu, den Wissensraum individuell erkunden zu können. Die Übersichtlichkeit der Darstellung wird durch graduelles Ein- bzw. Ausblenden von Granularitäten sowie Beziehungstypen möglich. Diese Funktionalität steht über ein Kontextmenü durch Betätigung der rechten Maustaste zur Verfügung.



a) Kontextmenü bei keiner bestehenden Auswahl    b) Kontextmenü bei Auswahl eines Lernobjektes    c) Kontextmenü bei Auswahl einer Relation

Abbildung 51: LOM Editor - Kontextsensitive Menüs des LOM Graph (Quelle: Eigene Darstellung)

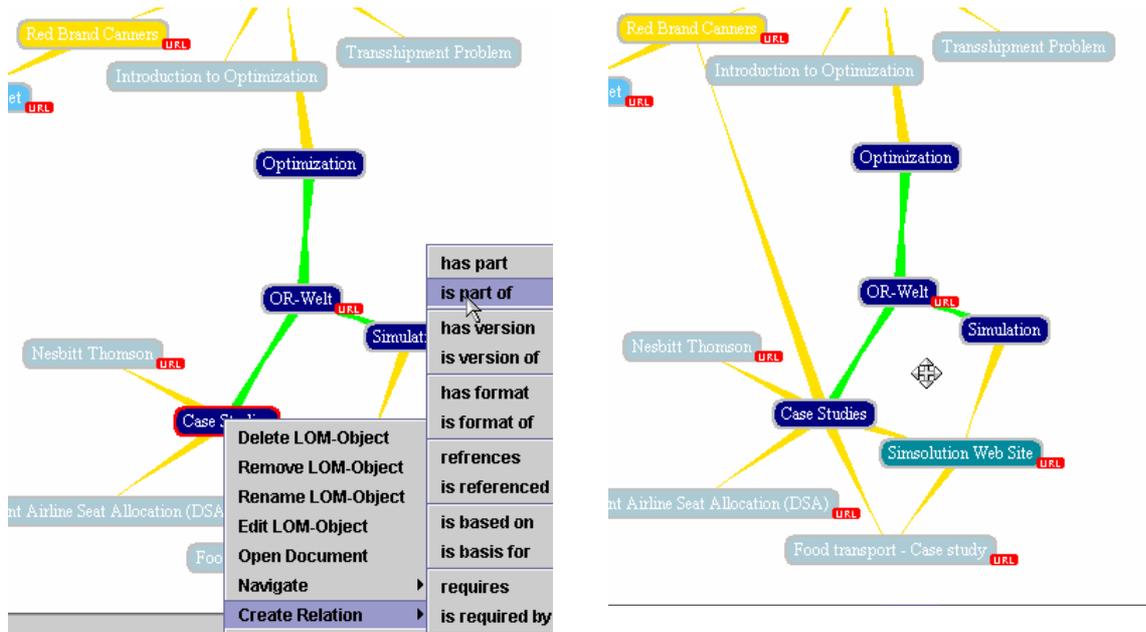
In Abbildung 51 sind die Funktionalitäten, die durch kontextsensitive Menüs bereitgestellt werden, abgebildet. Bestand bei Aufruf des Menüs keine Auswahl, werden Operationen zur Erstellung einer neuen Metadateninstanz, und zum graduellen Ausblenden einzelner Granularitäten und Beziehungstypen angezeigt (Abbildung 51 a)). Wird das Menü bei Auswahl eines Lernobjektes aufgerufen, werden kontextspezifische Operationen, die die Metadaten betreffen, offeriert (Abbildung 51 b)). Bei Auswahl einer Relation werden im Kontextmenü Operationen zur Relaxierung bzw. Verminderung des Abstands zwischen den verbundenen Lernobjekten sowie zum Entfernen der Relation angezeigt (Abbildung 51 c)). Beim Entfernen der Relation werden aus dem aktuell ausgewählten Lernobjekt die Relation und aus dem verbundenen Lernobjekt die inverse Relation entfernt.

Alle Operationen aus den Kontextmenüs in Abbildung 51 ändern die Metadaten zu Lernobjekten direkt im Metadaten Repository, d. h. die Änderungen werden auch persistent in der Datenbank abgelegt. Das Kontextmenü in Abbildung 51 b) stellt die folgenden Operationen für das aktuell ausgewählte Objekt zur Verfügung:

- Löschen (Delete): Endgültiges Löschen der Metadatenbeschreibung aus dem Metadaten Repository

- Entfernen (Remove): Entfernen der Metadaten aus dem aktuellen Netzwerk. Der Unterschied zum Löschen besteht darin, dass die Metadatenzuordnung zum Netzwerk gelöscht wird, die Metadaten selbst aber im Metadaten Repository erhalten bleiben.
- Umbenennen (Rename): Umbenennung des Lernobjektes in den Metadaten (Attribut Title der Kategorie General).
- Editieren (Edit LOM Object): Hier wird in einem getrennten Fenster die bereits beschriebene Ansicht aus Abbildung 48 zum Editieren für das aktuelle Lernobjekt aufgerufen.
- Lernobjekt öffnen (Open Document): Diese Operation öffnet das in den Metadaten beschriebene Lernobjekt in einem getrennten Fenster. Die Adressierung erfolgt dabei über den URI des Lernobjektes (Attribut Location der Kategorie Technical)
- Navigation (Expand, Collapse, Hide): Hier können Lernobjekte expandiert, kollabiert sowie ausgeblendet werden. Ausblenden bewirkt eine Kollabierung der direkt verknüpften Lernobjekte in Bezug auf das aktuelle Lernobjekt.
- Relationen erzeugen (Create Relation): Über diese Operation können Beziehungen grafisch zwischen Lernobjekten erzeugt werden. Diese Operation wird im Folgenden näher erläutert.
- Granularität wählen (Choose Level): Diese Operation setzt die Granularität des Lernobjektes. Die Anzeige wird mit der entsprechenden farblichen Markierung aktualisiert (Attribut ElementLevel der Kategorie General).

Die Komposition von Lernobjekten bezeichnet technisch gesehen das Erzeugen einer Relation zwischen Lernobjekten. Diese Erzeugung wird vom LOM Graph durch deiktische Mechanismen unterstützt, d. h. der Benutzer kann Relationen mit der Maus erzeugen. Dabei wird ausgehend von einem aktuell selektierten Lernobjekt das Kontextmenü auf dem Ziellernobjekt aufgerufen und der Typ der Verknüpfung ausgewählt (siehe Abbildung 52).



a) Lernobjekt Red Brand Canners ist selektiert, Kontextmenü für Case Studies wird geöffnet  
 b) Anlage der Relation „Red Brand Canners“ IsPartOf „CaseStudies“

Abbildung 52: LOM Editor - Erzeugen von Relationen im LOM Graph (Quelle: Eigene Darstellung)

Auf diese Weise können schnell und intuitiv Relationen zwischen Lernobjekten angelegt werden. Eine weitere Anwendung deiktischer Interaktionsformen ist die Zuordnung von Lernobjekten aus anderen Netzwerken per Drag&Drop zu dem aktuellen Netzwerk. Ein Netzwerk beschreibt eine Menge von Lernobjekten, die durch die Zuordnung zu diesem Netzwerk als zusammengehörig gekennzeichnet werden. Auf dieser obersten Ebene, die eher administrativen Zwecken als den ausgeführten Granularitätsebenen dient, wird eine Zugehörigkeit zu Projekten, Lernszenarien etc. angezeigt. Momentan existieren in dem implementierten Pilotsystem drei Netzwerke:

- OR-World
- VORMS
- VAWI

Lernobjekte können einem oder mehreren Netzwerken zugehören. OR-World beschreibt als Netzwerk die Lernobjekte, die innerhalb des [OR-World 2002] Projekts zur Verfügung stehen, VORMS die Lernobjekte für das [VORMS 2003] Projekt und VAWI die für das Projekt [VAWI 2003] verfügbaren Lernobjekte. Für nähere Einzelheiten zu VORMS und VAWI siehe Abschnitt 7.1. Sämtliche Abbildungen innerhalb dieses Kapitels wurden dem Netzwerk OR-World entnommen.

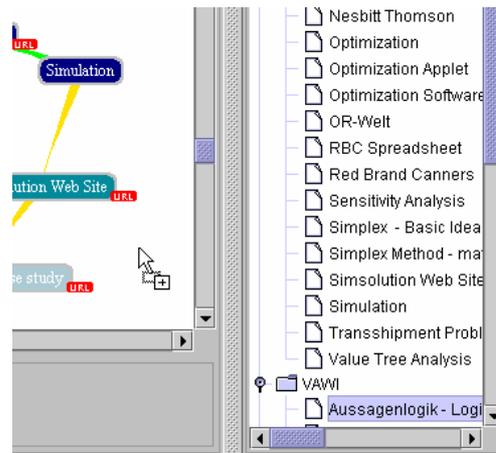


Abbildung 53: LOM Editor - LOM Graph Drag&Drop zwischen Netzwerken (Quelle: Eigene Darstellung)

In Abbildung 53 ist die Zuordnung eines Lernobjektes zu Aussagenlogik aus dem Netzwerk VAWI zu dem aktuellen Netzwerk OR-World abgebildet. Hierdurch wird trotz der separaten Zuordnung von Lernobjekten zu einem Netzwerk, eine Wiederbenutzbarkeit über Netzwerke hinweg erzielt. Nach Ausführung der oben angesprochenen Operation steht das Lernobjekt zu Aussagenlogik im Netzwerk OR-World als Kopie des ursprünglichen Lernobjekts zur Verfügung.

Die Bezeichnung direkt-manipulativ wurde von [Shneiderman 1983] für Systeme geprägt, die die relevanten Objekte visuell anzeigen und deiktische Interaktionsformen bieten, um schnelle, inkrementelle Operationen auf den Objekten durchzuführen. Der LOM Graph unterstützt Komposition von Lernobjekten durch direkt-manipulative Methoden, Relationen können zwischen Lernobjekten durch deiktische Aktionen mit der Maus direkt gezeichnet werden. Die Distanz zwischen dem, was der Benutzer ausdrücken möchte (die Erstellung einer Relation zwischen zwei Lernobjekten) und die Art und Weise wie er es ausdrückt (Zeichnen einer Linie zwischen zwei Knoten) ist relativ gering. Damit ist der nötige Transformationsaufwand, den der Benutzer leisten muss, um seine Intention dem System verständlich mitzuteilen relativ gering im Vergleich zu der textbasierten Komposition von Lernobjekten. In dieser Hinsicht leistet der LOM Graph durch die direkt-manipulative Unterstützung bei der Komposition von Lernobjekten einen wertvollen Beitrag zur Benutzbarkeit und Akzeptanz des Systems.

#### 6.5.6 Klassifikation von Lernobjekten in der Ontologie

Die Zuordnung von Lernobjekten zu Konzepten der Ontologie wird in der Kategorie „Classification“ notiert. Zur Klassifikation der Lernobjekte dient die formalisierte explizit vorliegende Modellierung der Wissensdomäne OR/MS, die in Form der Ontologie (siehe Abschnitt 5.3) entwickelt wurde.

In Abbildung 54 ist die Umsetzung der Kategorie Classification im LOM Editor abgebildet. Für jedes Lernobjekt können mehrere Zuordnungen zu Konzepten einer Ontologie vorgenommen werden. Die Zuordnung kann dabei auch zu mehr als nur einer Ontologie erfolgen. Die jeweilige Zuordnung des Lernobjekts zu Konzepten wird in Form von Taxonomiepfaden gespeichert. Konkret bedeutet das, dass für ein Lernobjekt, das einem spezifischen Konzept, wie z. B. dem Konzept „lineare Programmierung“ zugeordnet wird, der komplette Taxonomiepfad gespeichert wird. Diese Vorgehensweise ist in Abbildung 54 für den aktuell ausgewählten Taxonomiepfad zu sehen, der im rechten Bereich der Abbildung dargestellt ist.

The screenshot shows the 'Classification' tab in the LOM Editor. The interface includes a menu on the left, a title bar, and several input fields for 'Purpose', 'Keyword', and 'Description'. Below these are 'Taxon Paths' and 'Path' tables. The 'Path' table shows a selected path with ID 90C05 and entry 'Linear programming'.

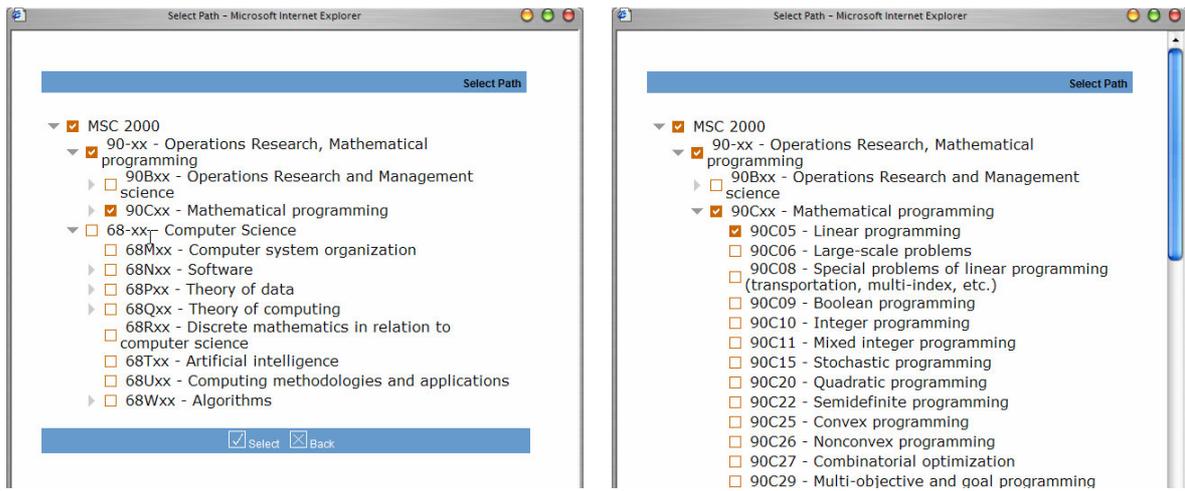
Taxon Paths	
Path ID	Source
5	MSC 2000
7	MSC 2000

Path		
ID	Entry	
1	90-xx	Operations Research, Mathematical programming
2	90Cxx	Mathematical programming
3	90C05	Linear programming

Abbildung 54: LOM Editor – Kategorie Classification (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Zuordnung von Lernobjekten ist für den Benutzer durch zwei Visualisierungen der Ontologie möglich. Die erste Methode ist stark an die hierarchische Struktur der zugrunde liegenden Taxonomie angelehnt. Die zweite Methode erlaubt eine grafisch aufbereitete Auswahl der zugrunde liegenden Taxonomie.

In Abbildung 55 ist die hierarchische Darstellung der Taxonomie visualisiert. Die Darstellung ist interaktiv gestaltet, der Benutzer kann die einzelnen Ebenen der Taxonomie öffnen und schließen und auf beliebiger Ebene ein Konzept auswählen. Die Navigation innerhalb der Taxonomie erfolgt also von generischen zu spezielleren Konzepten. Der komplette Pfad ist durch die hierarchische Struktur der Taxonomie bei Auswahl eines Konzeptes auf beliebiger Ebene vollständig determiniert, so dass der vollständige Pfad gesetzt wird.



a) Taxonomie mit Konzepten der ersten drei Ebenen      b) Taxonomie voll entfaltet

Abbildung 55: LOM Editor - Auswahl des Taxonomiepfades (Quelle: Eigene Darstellung)

Die zweite Methode zur Konzeptauswahl setzt wie schon bei der Visualisierung der Lernobjekte und deren Relationen einen selbstorganisierenden Graphen ein. In Abbildung 56 ist der Graph mit der Taxonomie dargestellt. Der Übersichtlichkeit halber werden nur die Codes des jeweiligen Konzeptes direkt im Knoten angezeigt, die vollständige Beschriftung wird als Popup bzw. im unteren Bildschirmbereich angezeigt, sobald der Mauszeiger über einen Knoten bewegt wird.

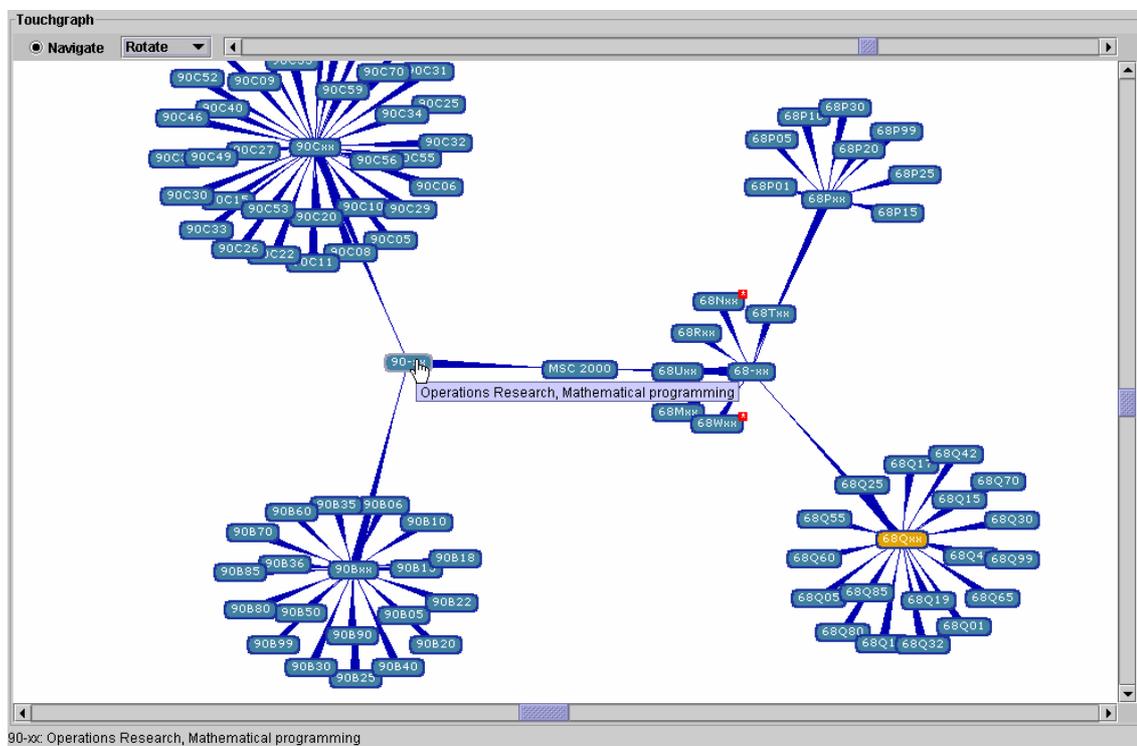


Abbildung 56: LOM Editor – Auswahl des Taxonomiepfades (graphbasiert) (Quelle: Eigene Darstellung)

Durch Kontextmenüs können Knoten entfaltet bzw. kollabiert werden, d. h. die enthaltenen Unterkonzepte der Taxonomie werden angezeigt bzw. verborgen. Die Auswahl des zutreffenden Konzepts für das zu klassifizierende Lernobjekt wird ebenfalls über das Kontextmenü vorgenommen.

Momentan ist nur die in Abschnitt 5.2 entwickelte Ontologie im System verfügbar. Das System ist aber offen ausgelegt, in dem Sinne, dass Ontologien hinzugefügt werden können, ohne dass der LOM Editor selbst dahingehend geändert werden muss. Die Ontologien sind über eine definierte Schnittstelle des Systems austauschbar. Der Austausch ist sowohl für den Import als auch den Export von Ontologien vorgesehen. Zum Austausch wird RDFS benutzt, das von den meisten Ontologieeditoren, wie Protégé oder Ontoedit, importiert werden kann (vgl. Abschnitt 5.3.3). Auf diesem Wege ist eine Bearbeitung der Ontologie in einem der angesprochenen Ontologieeditoren und ein anschließender Import in den LOM Editor möglich.

#### *6.5.7 Wiederverwendbarkeit von Lernobjekten zwischen Systemen*

Die Wiederverwendung von Lernobjekten bzw. genauer die Komposition von Lernobjekten basierend auf den beschreibenden Metadaten wurde bereits in Abschnitt 6.5.5 behandelt. Durch die standardisierte Beschreibung gemäß dem LOM Standard ist ein einheitliches Beschreibungsmodell für Lernobjekte gegeben. Zum Austausch von Lernobjekten zwischen Systemen ist damit eine einheitliche semantische Grundlage vorhanden.

Der LOM Editor kann die Metadaten für Lernobjekte auf Basis der einheitlichen Semantik der Beschreibung exportieren. Da a priori keine Aussage über die Ablageform der Metadaten im Zielsystem vorhanden sind, bzw. selbst wenn sie vorhanden sind, die konkrete Umsetzung ein sehr breites Spektrum an Variationen bzgl. der verwendeten Technik aufweisen kann, ist die Reduktion auf ein einfaches Datenformat empfehlenswert. Ein Lösungsansatz besteht darin, die Formulierung der Metadaten in Form von XML Daten vorzunehmen. XML ist rein text-basiert und damit prinzipiell von allen Systemen lesbar.

Eine strukturelle Vorgabe für das LOM Schema wurde bereits in Abschnitt 5.4.2.1 vorgestellt. Die Formulierung einer DTD determiniert die Struktur eines XML Dokuments für LOM Metadaten (siehe dazu auch Anhang 9.2.2 für die komplette DTD). Damit sind die Voraussetzungen für einen Export in einem XML basierten Format gegeben.

Der Benutzer hat die Möglichkeit, die zu exportierenden Lernobjekte direkt manuell auszuwählen. Auch in diesem Fall kann die Gesamtsicht auf die Lernobjekte nach diversen Kriterien

gefiltert werden (siehe Abschnitt 6.5.3). Die zweite Alternative ist es, die Auswahl der inkludierten Lernobjekte dem Lernsystem zu überlassen. Durch die explizite Ablage der IsPartOf/HasPart-Relationen kann das Lernsystem zu einem gegebenem Lernobjekt alle inkludierten Lernobjekte und die unmittelbaren Vatererelemente durch einen markierenden Tiefensuchalgorithmus finden und in den Export mit einbeziehen. Der Algorithmus geht rekursiv vor, um alle Ebenen in die Suche mit einzuschließen, unabhängig von der Granularität des zu exportierenden Lernobjekts. Die Markierung dient dazu, einen möglichen Deadlock in der Rekursion zu vermeiden.

Im Metadaten Repository kann aufgrund eindeutiger Identifikationen, die vom zentralen Datenbankmanagement generiert werden, eine eindeutige Zuordnung zwischen Lernobjekt und verknüpftem Lernobjekt hergestellt werden. Außerhalb des Datenbankkontextes in der XML Datei haben diese keine Gültigkeit mehr, deshalb werden die Relationen zu anderen Lernobjekten zusätzlich durch Titel und URI der verknüpften Lernobjekte beschrieben. Die Zeichenkodierung der resultierenden XML Datei kann eingestellt werden (Unicode oder Codepage basiert). Dadurch ist ein verlustfreier Export bzgl. Sonderzeichen gewährleistet.

Der Import von Lernobjekten benötigt ein XML Dokument, das nach der DTD in Abschnitt 9.2.2 strukturiert ist. Der Benutzer kann also Lernobjekte isoliert, ohne Relationen zu bereits existenten Lernobjekten in das Metadaten Repository importieren. Optional kann der LOM Editor beim Import versuchen, die Relationen, die in der XML Datei vorhanden sind, in das Metadaten Repository zu integrieren und die Relationen zwischen Lernobjekten nach dem Import wieder herzustellen. Die Strategie dabei orientiert sich an dem URI als eindeutiges Merkmal, mit dessen Hilfe versucht wird, ein Lernobjekt mit gleicher URI im Metadaten Repository zu finden und darauf aufbauend die Relationen zwischen Lernobjekten wieder herzustellen.

#### *6.5.8 Unterstützung von Multilingualität durch den LOM Editor*

Die gesamte Oberfläche des LOM Editors ist multilingual gehalten, d. h. die Benutzerführung inkl. der Beschriftungen, Hilfetexte etc. kann zwischen mehreren Sprachen umgeschaltet werden. Die Wahl der Sprache wird bei der Anmeldung am System getroffen. Derzeit werden Deutsch und Englisch unterstützt.

Die Multilingualität bezieht sich aber nicht nur auf die Benutzerführung, vielmehr können mehrsprachige Metadatenbeschreibungen angelegt werden. Dieses erscheint sinnvoll, da obwohl Benutzer mehrere Sprachen beherrschen, die Fachtermini von Sprache zu Sprache sehr unterschiedlich sein können und ggf. nicht geläufig sind. Bei der Suche nach Lernobjekten kann die

Existenz von mehrsprachigen Metadaten zu diesem Lernobjekt förderlich für einen Sucherfolg sein.

Die obigen Ausführungen haben die Nutzung der Wissensbasis aus der Sicht des Lehrenden verdeutlicht. Der LOM Editor ist das zentrale Element zur Manipulation der Wissensbasis und ermöglicht dem Lehrenden durch die konsequente Nutzung der in der Konzeption der Wissensbasis verankerten Bausteine die Realisierung der mehrfach angesprochenen Potenziale.

## 6.6 Komponente Portal

Das Portal ist eine Applikation, mit der die Integration der Metadaten und Präsentation der Lernobjekte vorgenommen wird. Typischerweise greifen Lernende, die Lernobjekte suchen oder das Angebot an Lernobjekten erkunden wollen auf das Portal zu.

Wiederum ausgehend von einem Überblick (6.6.1) wird im ersten Schritt der Zugriff auf die Lernobjekte über die Kursstruktur erläutert (6.6.2), ehe Zugriffsmöglichkeiten über grafische Visualisierungen diskutiert werden (6.6.3). Die implementierten Suchfunktionalitäten (6.6.4), der Zugriff auf die Metadaten (6.6.5) sowie eine technische Betrachtung der Portalarchitektur (6.6.6) runden den Abschnitt ab, der durch eine Betrachtung der Unterstützung von Multilingualität beschlossen wird (6.6.7).

### 6.6.1 *Überblick über das Portal*

Das Portal ist als web-basierte Anwendung konzipiert. Damit ist lediglich ein Browser zur Nutzung der Applikation notwendig. Die Logik des Portals wird auf der Anwendungsebene ausgeführt, so dass der Browser nur minimale Funktionalitäten aufweisen muss. Wie beim LOM Editor ist zur Nutzung grafischer Visualisierungen die Installation eines JRE erforderlich. Die Grundfunktionalität des Portals wurde in der Diplomarbeit [Klar/Tan 2002] implementiert. Das Portal ist unter [OR-World Portal 2003] zugänglich.

Wenn Benutzer auf das Portal zugreifen, sehen sie zuerst einen Startbildschirm, der in Abbildung 57 dargestellt ist. Der linke Bereich des Bildschirms ist für Navigationselemente innerhalb des Portals reserviert, während der rechts davon liegende Bereich zur Darstellung der Inhalte benutzt wird.

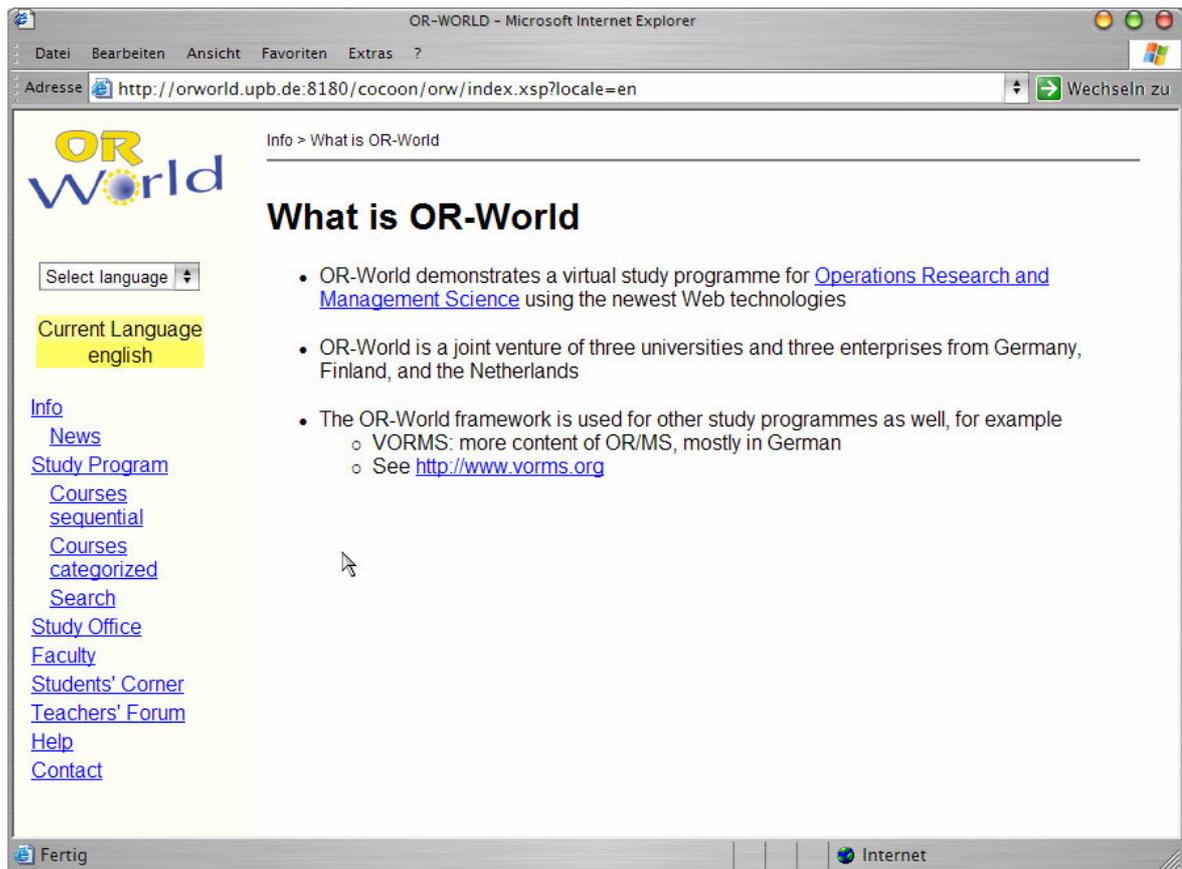


Abbildung 57: Überblicksdarstellung des OR-World Portals (Quelle: Eigene Darstellung)

Im Folgenden werden die Funktionalitäten des Portals dargestellt, die den Benutzern zur Verfügung stehen.

### 6.6.2 Zugriff auf Lernobjekte über die Kursstruktur

Die Darstellung der Struktur der Lernobjekte im Portal basiert auf deren Gliederung. Auch das Portal greift dabei zur Generierung von Übersichten auf das Metadaten Repository zurück. Der Zugriff auf die Übersichten erfolgt über die Navigationsleiste des Portals (siehe Abbildung 57), mit der strukturierte Lernobjekte im Inhaltsbereich angezeigt werden können.

Benutzer können die Exploration der Lernobjekte mit verschiedenen Sichten auf die Gesamtheit der Lernobjekte vornehmen. Das Portal liefert hierarchische Sichten und grafische Sichten zur Exploration der Lernobjekte.

Die hierarchischen Sichten werden über den Navigationsbereich des Portals aufgerufen. In Abbildung 58 ist die kategorisierte Übersicht auf die Lernobjekte dargestellt. Die Gliederung der Lernobjekte entspricht der Systematik, die in Abschnitt 5.2 entwickelt wurde. Die Lernobjekte höchster Granularität, thematische Netzwerke, sind auf der ersten Ebene der kategorisierten Übersicht angeordnet. Die dem Titel des jeweiligen Lernobjektes vorgestellten Symbole dienen

zur Anzeige der Lernobjekte der nächsten Granularitätsstufe. Dabei werden die Lernobjekte untergeordneter Ebenen visuell leicht eingerückt dargestellt, um den hierarchischen Charakter der Inklusion zu betonen. Auf diese Weise kann ein thematisches Netzwerk voll entfaltet werden, wobei jeweils nur Elemente der nächsten Granularitätsstufe angezeigt werden. Die Unterscheidung der Granularitäten wird auch durch den individuellen Hintergrund jeder Granularitätsstufe in Abbildung 58 unterstrichen, der von dunkelgrau (Thematisches Netzwerk) auf hellgrau (Inhaltsmodul) wechselt

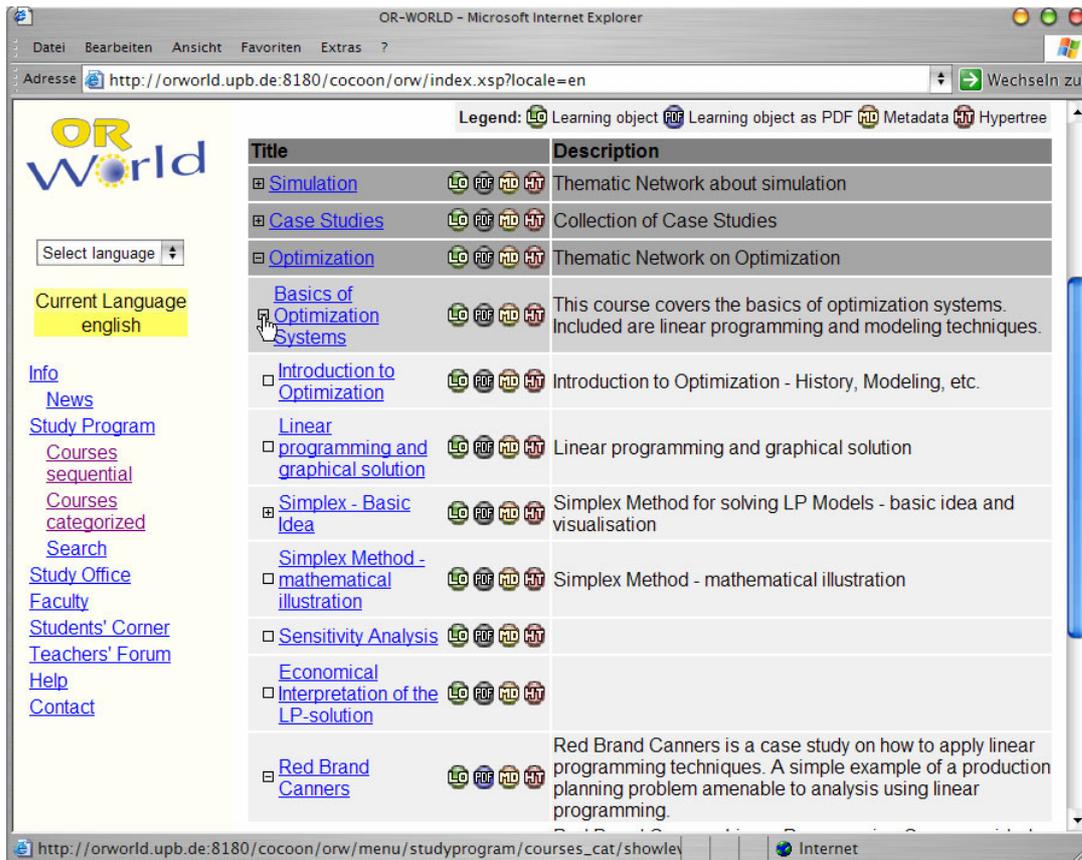


Abbildung 58: Portal - Kategorisierte Übersicht über Lernobjekte (Quelle: Eigene Darstellung)

Zusätzlich zu der kategorisierten Übersicht ist eine sequentielle Variante dieser Übersichtsform möglich, bei der jeweils nur die im aktuell ausgewählten Lernobjekt enthaltenen Lernobjekte sichtbar sind. Zusätzlich werden die übergeordneten Lernobjekte am oberen Bildschirmrand angezeigt, um dem Benutzer eine Orientierungshilfe zu geben. In Abbildung 59 ist die sequentielle Übersicht abgebildet. Der Zugriff auf die Lernobjekte erfolgt in beiden Übersichten analog.

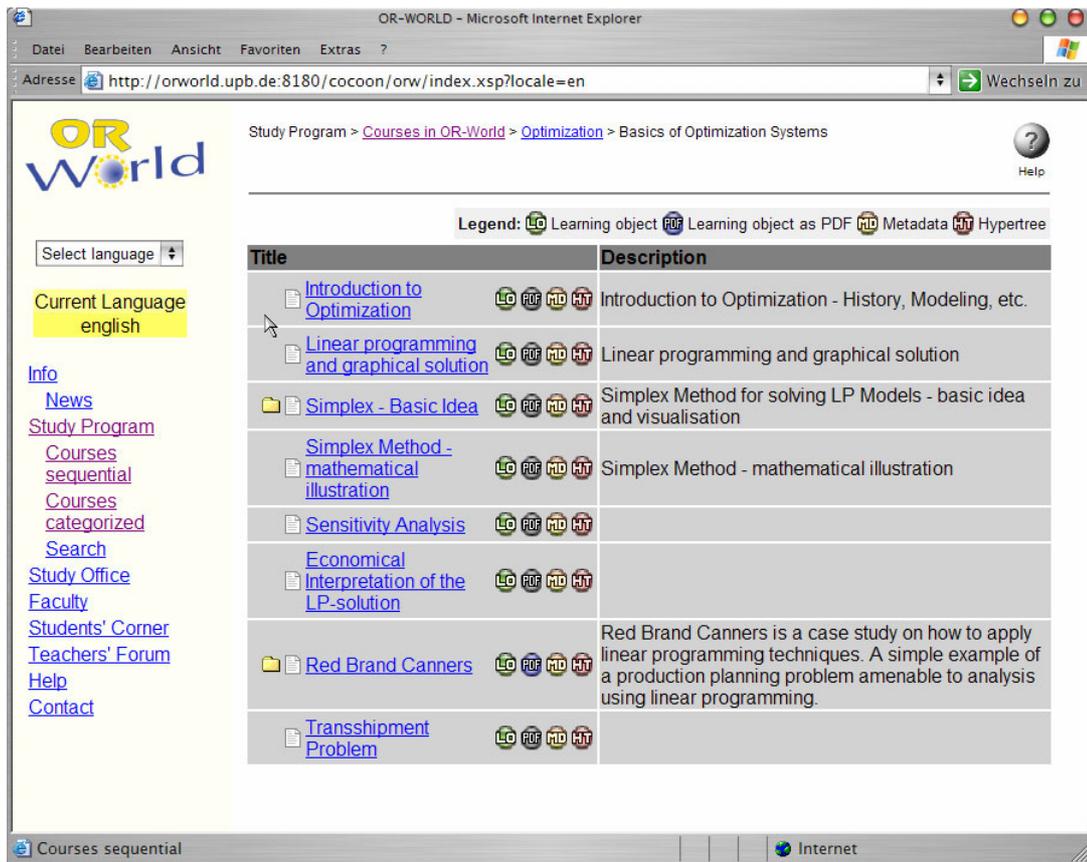


Abbildung 59: Portal - Sequentielle Übersicht über Lernobjekte (Quelle: Eigene Darstellung)

Rechts neben dem Titel in Abbildung 58 sind Symbole sichtbar, die auf Mausklick reagieren. Der Zugriff auf das Lernobjekt selbst erfolgt über einen Mausklick auf den Titel des jeweiligen Lernobjektes bzw. durch Betätigung des Symbols „LO“ (für Lernobjekt). Daraufhin öffnet sich ein neues Fenster, in dem die Inhalte des Lernobjektes angezeigt werden. Als Darstellungsformat wird dabei HTML verwendet. Für semantisch in LMML kodierte Elemente ergibt sich hier die Problematik, dass die LMML basierten Lernobjekte durch Stylesheets erst in ein darstellbares Ausgabeformat transformiert werden müssen. Diese Aufgabe wird vom Portal automatisiert durchgeführt und in Abschnitt 6.6.6 näher behandelt. An dieser Stelle ist es ausreichend zu erwähnen, dass das Portal die Transformation automatisiert übernimmt. Die Transformation erfolgt dabei in HTML. Zusätzlich dazu ist für Lernobjekte wie Fallstudien auch eine Transformation nach PDF verfügbar, die durch Betätigung des Symbols „PDF“ generiert und angezeigt wird.

Die Betätigung von „MD“ ruft eine Darstellung der Metadaten des jeweiligen Lernobjektes auf, diese wird in Abschnitt 6.6.5 behandelt. Die Betätigung von „HT“ ruft eine grafische Übersicht der Lernobjekte in Form eines hyperbolischen Baumes auf.

### 6.6.3 Zugriff auf Lernobjekte über grafische Visualisierungen

Hyperbolische Bäume („hyperbolic trees“) wurden von [Lamping/Rao 1994] erstmalig vorgestellt. Hyperbolische Bäume projizieren Hierarchien auf eine hyperbolische Ebene, bilden diese auf einer Kreisfläche im euklidischen Raum ab und erzielen so eine sog. Fisheye Ansicht. In der Fisheye Ansicht werden Knoten der Hierarchie mitsamt dem umgebenden Kontext angezeigt, wobei die fokussierten Knoten in der Mitte klar zu erkennen sind, während die umgebenden Knoten weniger detailliert ausgeprägt sind. Dieser Effekt verstärkt sich zu den äußeren Bereichen hin, so dass außen liegende Knoten zwar noch wahrnehmbar sind, allerdings keine detaillierten Informationen wie Beschriftungen mehr sichtbar sind. Auf diese Weise ist eine Darstellung selbst großer Hierarchien möglich.

In Abbildung 60 ist die Anwendung eines hyperbolischen Baums für die Visualisierung der Hierarchie von Lernobjekten abgebildet. Die Komponente wird im Folgenden als LOM Hyperbolic Tree oder kurz LOM HT bezeichnet. Lernobjekte werden als Knoten dargestellt, die Beziehungen zwischen den Lernobjekten werden durch Kanten zwischen den Knoten repräsentiert. Die betrachteten Beziehungen beschränken sich auf die IsPart/HasPart Beziehungen zwischen Lernobjekten, es wird also lediglich die Komposition von Lernobjekten über die Granularitätsstufen visualisiert.

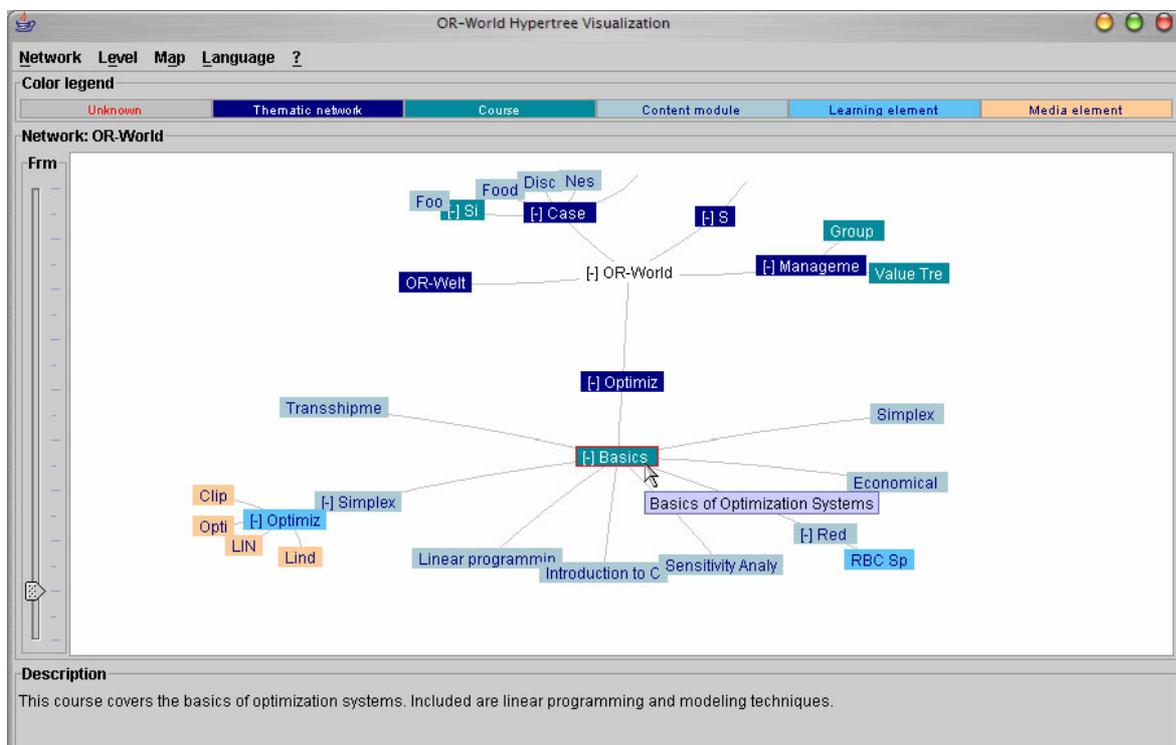


Abbildung 60: Portal – LOM HT (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Visualisierung durch den LOM HT ist dabei nicht statisch, sondern dynamisch angelegt und kann zur Exploration der Lernobjekte benutzt werden. Die Knoten können per Maus verschoben werden, so dass der Fokus innerhalb der Darstellung frei gewählt werden kann. Prinzipbedingt wird jeweils das gesamte Netzwerk angezeigt, bei mangelndem Platz wird durch die Zeichnung einer Kante ohne Endknoten (in Abbildung 60 oben zu sehen) angedeutet, dass sich an dieser Stelle noch Lernobjekte befinden, die nicht mehr voll angezeigt werden können. Durch Mausklick auf ein Lernobjekt wird dieses in die Mitte und damit in den Fokus verschoben. Durch die Anzeige mehrerer Zwischenschritte entsteht der Eindruck einer kontinuierlichen Bewegung. Die Anzahl der Zwischenschritte kann über den Schieberegler am linken Rand in Abbildung 60 eingestellt werden.

Die Granularitäten der Lernobjekte sind farblich unterschieden, eine Legende der Farbkodierungen ist am oberen Rand in Abbildung 60 abgebildet. Die Übersichtlichkeit der Darstellung kann weiterhin durch Ausblenden von Granularitätsstufen erhöht werden. Im Menü „Level“ kann diese Auswahl der anzuzeigenden Lernelemente z. B. auf Inhaltsmodule und alle größeren Granularitäten eingeschränkt werden. Die in Inhaltsmodulen inkludierten Granularitäten werden dann ausgeblendet.

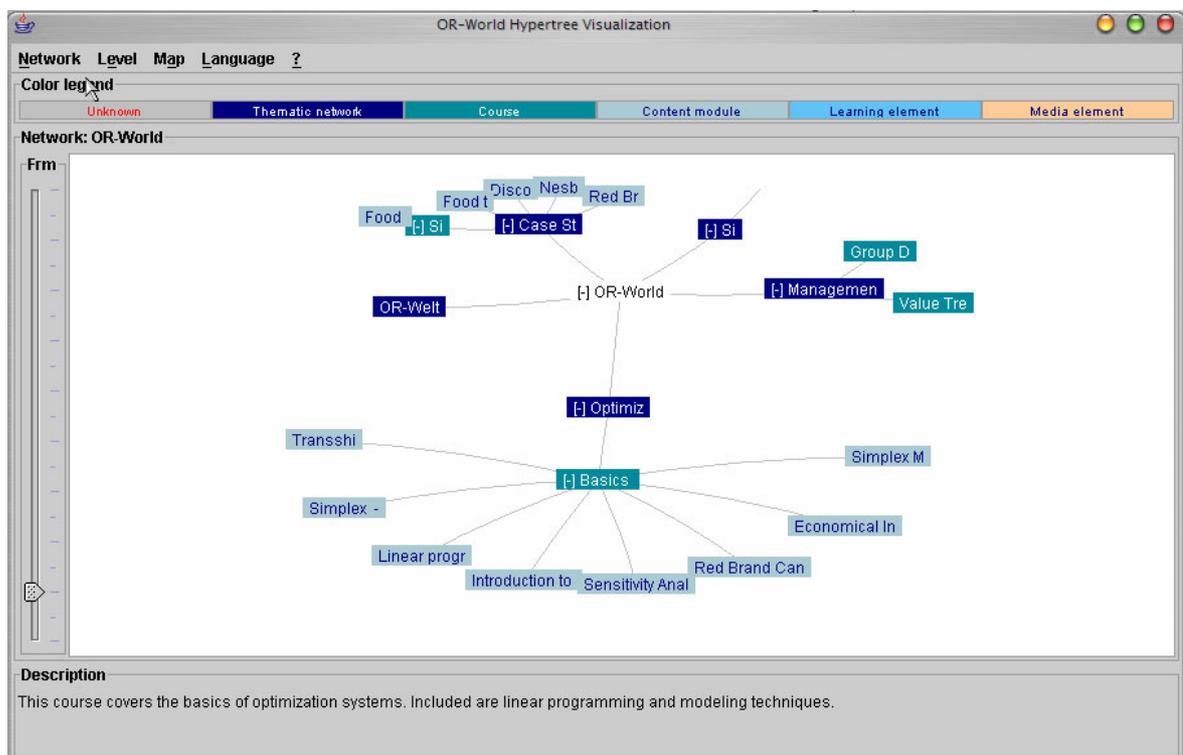
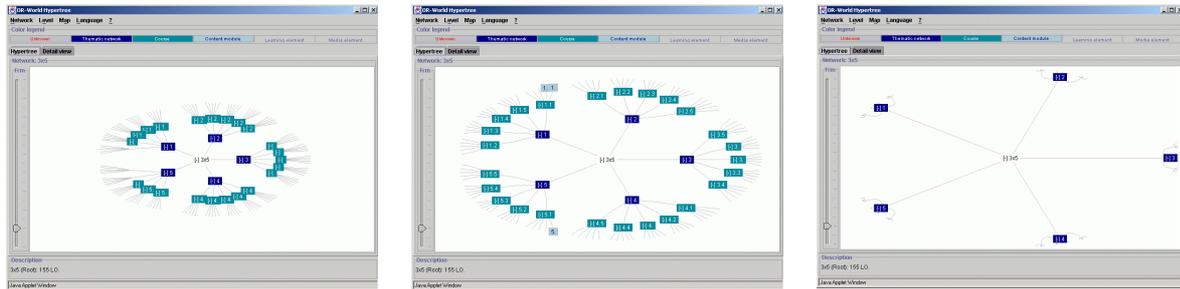


Abbildung 61: Portal: LOM HT mit ausgeblendeten Granularitäten (Quelle: Eigene Darstellung)

Zusätzlich sind Anpassungen bzgl. der Geometrie des Baumes möglich. Abbildung 62 zeigt, wie sich die verschiedenen Abstände zwischen den Knoten auf die Darstellung auswirken.



a) kleinsten Abstand                      b) mittlerer Abstand                      c) größter Abstand

Abbildung 62: Verschiedene Knotenabstände im LOM HT (Quelle: Eigene Darstellung)

Über das Menü Sprache kann die gewünschte Sprache des LOM HT eingestellt werden. Die Anwendung ist voll lokalisiert, d. h. die Menüs, Meldungen etc. können zur Laufzeit in die zur Verfügung stehenden Sprachen Deutsch und Englisch übersetzt werden. Zusätzlich werden, wenn vorhanden, deutschsprachige Ausprägungen der Metadaten (Titel und Beschreibung) angezeigt, falls diese im Metadaten Repository zu einem Lernobjekt vorhanden sind.

Durch Aufruf eines Kontextmenüs für ein mit der Maus ausgewähltes Lernobjekt im LOM HT können Operationen für dieses Lernobjekt aufgerufen werden. In Abbildung 63 sind Operationen für die Navigation, wie das Anzeigen und Ausblenden der inkludierten Lernobjekte (expand node, collapse node) sowie der Zugriff auf die Inhalte des Lernobjektes (Open document) und die Metadatenbeschreibung des Lernobjektes (Open document metadata) illustriert.

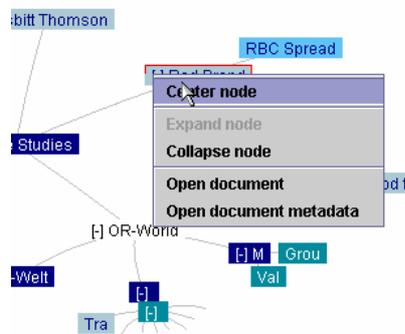


Abbildung 63: Portal – LOM HT und kontextsensitive Operationen für Lernobjekte (Quelle: Eigene Darstellung)

Damit deckt der LOM HT die Basisfunktionalität zur Exploration der Lernobjekte ab. Der abgedeckte Wissensraum kann navigiert werden und es ist ein direkter Zugriff auf das Lernobjekt als auch auf die Metadaten möglich (siehe 6.6.5 zu einer ausführlicheren Beschreibung zur Einbindung der Metadaten in das Portal). Der LOM HT ist voll lokalisiert, d. h. alle Menüs, Meldungen etc. sind mehrsprachig vorhanden (derzeit Deutsch und Englisch). Bei der Anzeige der Metadaten (Titel und Beschreibung) wird versucht Metadaten in der ausgewählten Sprache anzuzeigen, falls diese im Metadaten Repository angelegt wurden.

Die Baumstruktur des hyperbolischen Baumes entspricht nicht direkt der Basisstruktur, die durch die IsPartOf/HasPart Relationen definiert wird. Zur Erzeugung einer solchen Baumstruktur für den LOM HT sind zwei vorbereitende Schritte notwendig. Im ersten Schritt muss ein Hilfsknoten erstellt werden, der als Wurzel des Baumes dient. Dazu wird der Name des gruppierenden Netzwerkes der Lernobjekte verwendet. In Abbildung 60 ist das der Knoten OR-World. Diesem Wurzelknoten werden alle Lernobjekte der höchsten Granularität (thematische Netzwerke) als direkte Nachfolger untergeordnet. Die Struktur der Lernobjekte kann nicht direkt der Wurzel untergeordnet werden, da sie keinen Baum bildet. Ein Lernobjekt niedriger Granularität kann nicht ein Lernobjekt höherer Granularität inkludieren, die HasPart Relation verläuft immer zu einem Lernobjekt niedrigerer Granularität. Andererseits kann ein Lernobjekt niedriger Granularität in mehreren höher granularen Lernobjekten inkludiert werden (IsPartOf). Dadurch entsteht keine strenge Hierarchie im Sinne eines Baumes, sondern Knoten können mehrere Vorgänger haben (was direkt aus der Wiederverwendung von Lernobjekten folgt). Betrachtet man nur die Richtung HasPart der Relationen, so ist die resultierende Datenstruktur ein gerichteter azyklischer Graph (directed acyclic graph – DAG). In einem zweiten Schritt muss der DAG in einen Baum transformiert werden. Da keine Zyklen auftreten, ist die Transformation einfach. Alle Lernobjekte, die mehr als einen Vorgänger aufweisen, werden für jeden Vorgänger separat als Nachfolger eingefügt. Dieses Kopieren und redundante Einfügen von Knoten in die Baumstruktur wird rekursiv vorgenommen, so dass auch alle Nachfahren eines Knotens mit mehreren Vorgängern mehrfach eingefügt werden.

Die resultierende Datenstruktur aus dem Hilfsknoten als Wurzel und der transformierten DAG Struktur ist ein Baum. Dieser Baum kann im LOM HT dargestellt werden. Die mehrfache Darstellung von Knoten im Baum, die wiederbenutzte Lernobjekte darstellen, ist für den Benutzer transparent, da diese Knoten auf genau ein Lernobjekt bzw. dessen Metadatenbeschreibung verweisen.

Der LOM HT wurde in der Diplomarbeit [Kantwerk 2003] implementiert. Zu weiteren technischen Details zum LOM HT sei auf diese Arbeit verwiesen.

Eine zweite Variante des grafisch basierten Zugriffs auf die Lernobjekte basiert auf dem LOM Grapheditor, der bereits in Abschnitt 6.5.5 beschrieben wurde. Die Autorenfunktionen zum Anlegen neuer Lernobjekte bzw. Relationen sind an dieser Stelle nicht verfügbar. Zur Unterscheidung zum LOM Grapheditor wird diese Visualisierungskomponente im Folgenden als LOM Navigator bezeichnet. Im LOM Navigator werden nur IsPartOf/HasPart Relationen zwischen Lernobjekten visualisiert. Die Navigationsmechanismen sind identisch zum LOM Graph, Knoten können verschoben werden, inkludierte Lernobjekte angezeigt bzw. ausgeblendet, die Ansicht kann skaliert und gedreht werden.

Die Implementierung des LOM Navigators basiert ebenfalls auf [Touchgraph 2002]. In Abbildung 64 ist eine Darstellung des Graphen abgebildet.

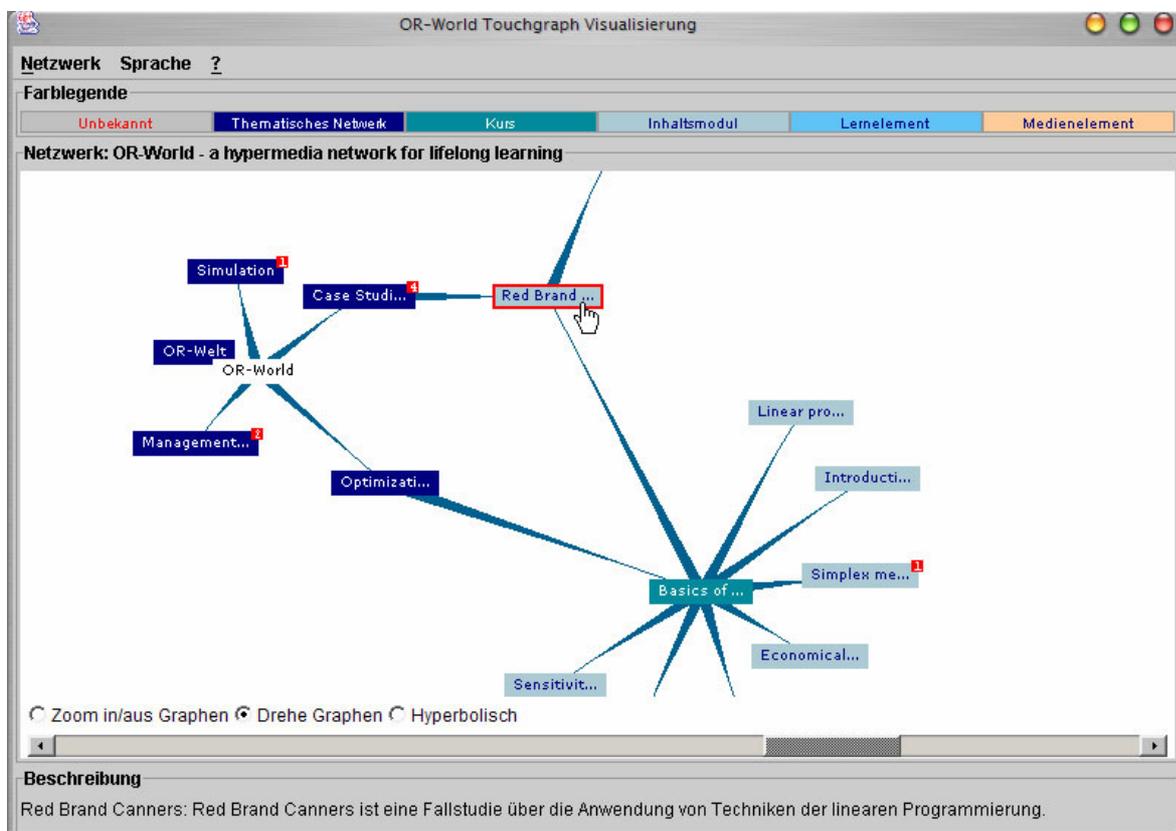


Abbildung 64: Portal: LOM Navigator – Darstellung eines Lernnetzwerkes (Quelle: Eigene Darstellung)

Der LOM Navigator weist bzgl. der Multilingualität identische Eigenschaften wie der LOM HT auf. In Abbildung 64 ist die deutschsprachige Lokalisierung ausgewählt. Für das selektierte Element wird die deutschsprachige Beschreibung angezeigt. (im Feld Beschreibung in Abbildung 64).

Mit den vorgestellten Mechanismen werden strukturorientierte Zugriffsweisen unterstützt. Die textuell orientierten Übersichten (kategorisiert sowie sequentiell) führen Benutzer, indem sie von allgemeinen Konzepten zu spezifischeren Konzepten geleitet werden. Diese Darstellung ist eng an das Inhaltsverzeichnis eines Buchs angelehnt. Interdependenzen zwischen Lernobjekten werden bei dieser Visualisierung nicht betrachtet. Die grafischen Visualisierungen LOM HT und LOM Navigator geben eine gute Übersicht über die Lernobjekte und deren Aufbau.

Problematisch zu bewerten ist, dass bei einer wachsenden Anzahl von Lernobjekten die Übersichtlichkeit leiden kann. Durch Interaktionen kann sowohl beim LOM HT als auch beim LOM Navigator der Fokus verschoben und dadurch die Perspektive auf die Lernobjekte geändert werden kann. Der LOM HT bietet aufgrund der hyperbolischen Darstellung gute Visualisierungsmöglichkeiten gerade bei einer großen Anzahl von Lernobjekten. Der LOM Navigator stellt die originäre Struktur der Lernobjekte inkl. der Mehrfachverwendung von Lernobjekten dar. Die Übersichtlichkeit kann in beiden grafischen Visualisierungen durch Ausblenden von Granularitätsstufen erhöht werden.

Eine zielgerichtete Suche nach Lernobjekten zu einem spezifischen Thema ist mit allen erläuterten Übersichten nicht möglich. Zu diesem Zweck bietet das Portal den Zugriff auf Lernobjekte über eine Suchfunktion. Diese wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

#### *6.6.4 Suche nach Lernobjekten*

Das Portal unterstützt derzeit eine einfache und eine erweiterte Suche, um die Metadaten zu Lernobjekten nach Suchtexten zu durchsuchen.

Bei einer einfachen Suche werden die Attribute Titel, Beschreibung und Schlüsselworte der Kategorie General in die Suche mit einbezogen. Diese drei Attribute werden für alle Metadaten eines Netzwerkes auf das Vorkommen sämtlicher Suchbegriffe überprüft. Die Suchbegriffe müssen alle innerhalb der drei Attribute einer Metadatenbeschreibung vorkommen, damit diese in die Ergebnisliste mit aufgenommen wird (Und-Verknüpfung der Suchbegriffe).

Während des Suchvorgangs wird eine Informationsseite eingeblendet, die den Benutzer über den aktuellen Status der Suche informiert. In Abbildung 65 ist das Ergebnis der Suche nach dem Begriff „Optimization“ dargestellt.

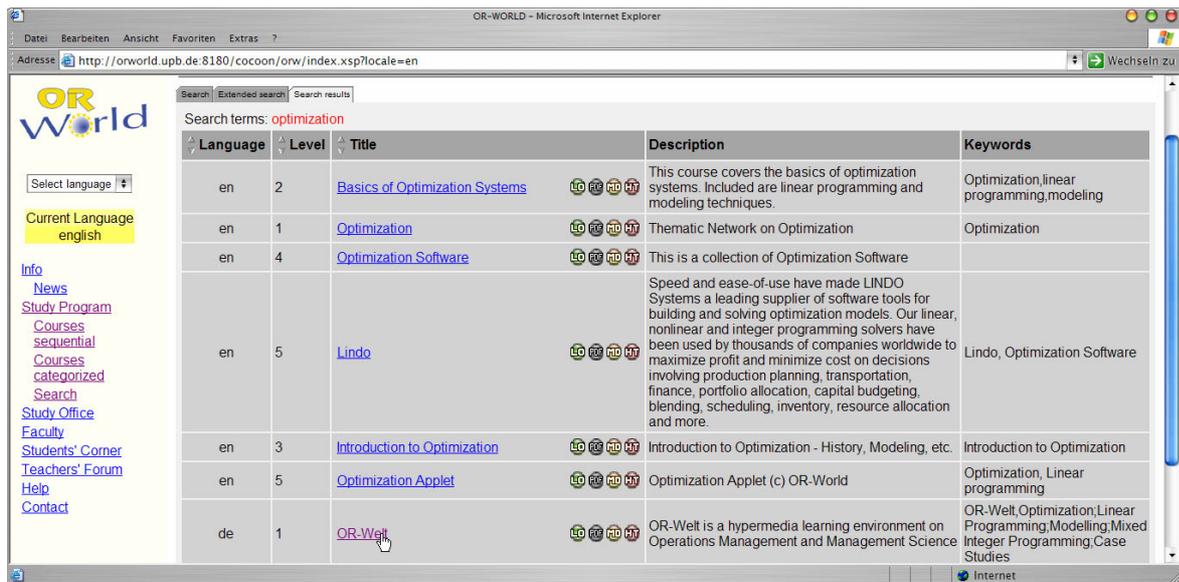


Abbildung 65: Portal: Ergebnis einer Suche nach „Optimization“ (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in tabellarischer Form. Die Tabelle enthält die Merkmale Sprache des Lernobjekts, Granularität, Titel, Beschreibung und Schlüsselworte. Die Tabelle kann dabei nach den ersten drei Merkmalen sortiert werden. Der Bedienung und der Zugriff auf die Lernobjekte selbst ist dabei wieder an die Bedienung der in Abschnitt 6.6.2 dargestellten tabellarischen Übersichten angelehnt.

Die erweiterte Suche bietet dem Benutzer zusätzliche Möglichkeiten zur gezielten Suche nach Lernobjekten. Dabei wird die Suchmaske aus Abbildung 66 als Formular verwendet.

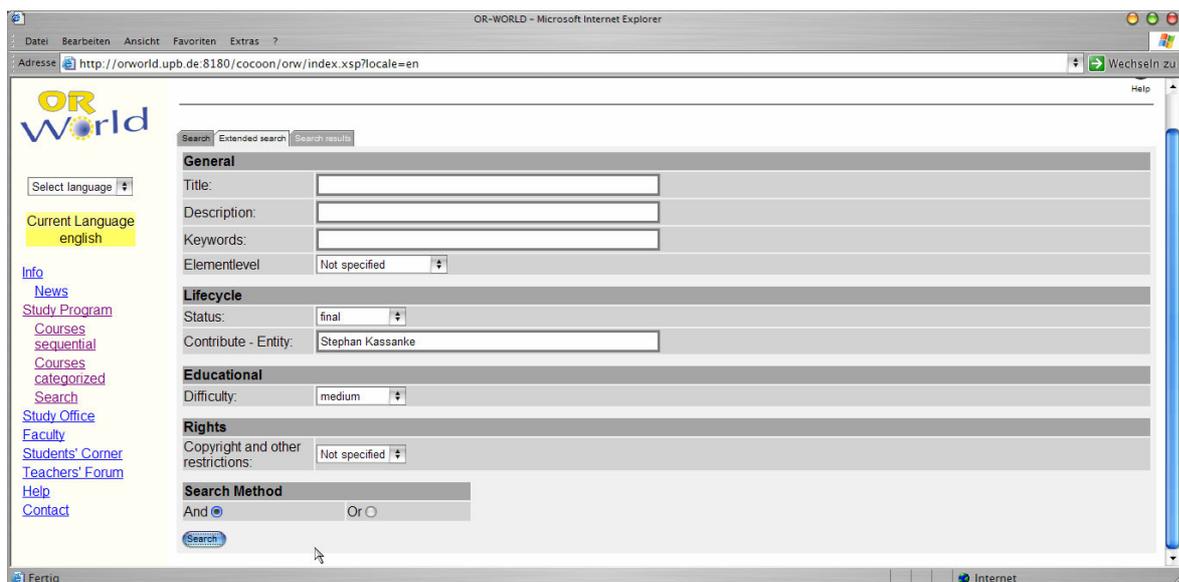


Abbildung 66: Portal: Erweiterte Suchmaske (Quelle: Eigene Darstellung)

In dieser Suchmaske können Suchbegriffe in die jeweiligen Felder eingefügt werden. Die Auswahl der Attribute des LOM Schemas wurden dabei anhand der praktischen Relevanz für Suchanfragen getroffen. Prinzipiell können aber alle Attribute des LOM Schemas der Suchfunktionalität des Portals einfach hinzugefügt werden. Für Attribute wie Elementlevel, die ein definiertes Vokabular verwenden, wird an Stelle einer Freitexteingabe ein Kombinationsfeld benutzt. Die Suchkriterien können durch „und“ (analog zur einfachen Suche) oder durch „oder“ verknüpft werden. Bei der Oder-Verknüpfung der Suchkriterien reicht die Erfüllung eines Suchkriteriums durch Metadaten bereits aus, um diesen in die Ergebnisliste mit zu übernehmen. Das Ergebnis der Suche aus Abbildung 66 ist in Abbildung 67 dargestellt.

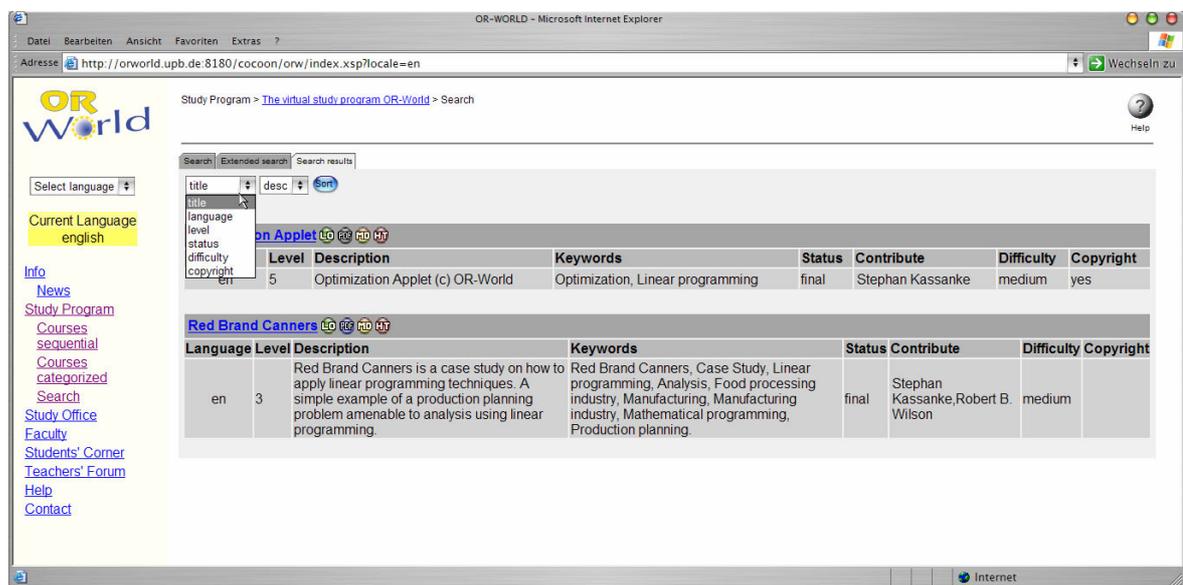


Abbildung 67: Portal: Ergebnis einer erweiterten Suche (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Ergebnisliste in tabellarischer Form kann nach allen dargestellten Spalten sortiert werden. Der Zugriff auf Lernobjekte und Metadaten erfolgt analog zu den in Abschnitt 6.6.2 beschriebenen Mechanismen.

Ausgehend von dem Ergebnis einer Suche kann direkt auf die Metadaten zugegriffen werden, um detaillierter Informationen zu einem Lernobjekt anzuzeigen. Der Zugriff auf die Metadaten wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

### 6.6.5 Zugriff auf Metadaten

Der Zugriff auf die Metadaten kann aus verschiedenen Teilen des Portals erfolgen. Ausgehend von einer tabellarischen oder grafischen Strukturübersicht oder als Ergebnis einer Suchanfrage kann beim Benutzer das Bedürfnis entstehen, nähere Informationen zu einem Lernobjekt zu erhalten. Zu diesem Zweck bietet das Portal Funktionen, um Metadaten zu Lernobjekten im vollständigen Umfang des LOM Schemas darzustellen.

Die Präsentation der Metadaten ist in Abbildung 68 dargestellt. Um die relativ große Anzahl an Attributen, die innerhalb des LOM Schemas zur Verfügung stehen, handhabbar zu machen, wurde die Präsentation der Metadaten wieder nach den Kategorien des LOM Schemas gegliedert. In Abbildung 68 sind die einzelnen Kategorien direkt anwählbar, um so zu einer gruppierten Ansicht der Metadaten innerhalb der Kategorie zu gelangen. Wie in Abbildung 68 zu sehen ist, wurde eine Zusammenfassung der Attribute mit der häufigsten Nutzung generiert, die gesammelt dargestellt werden.

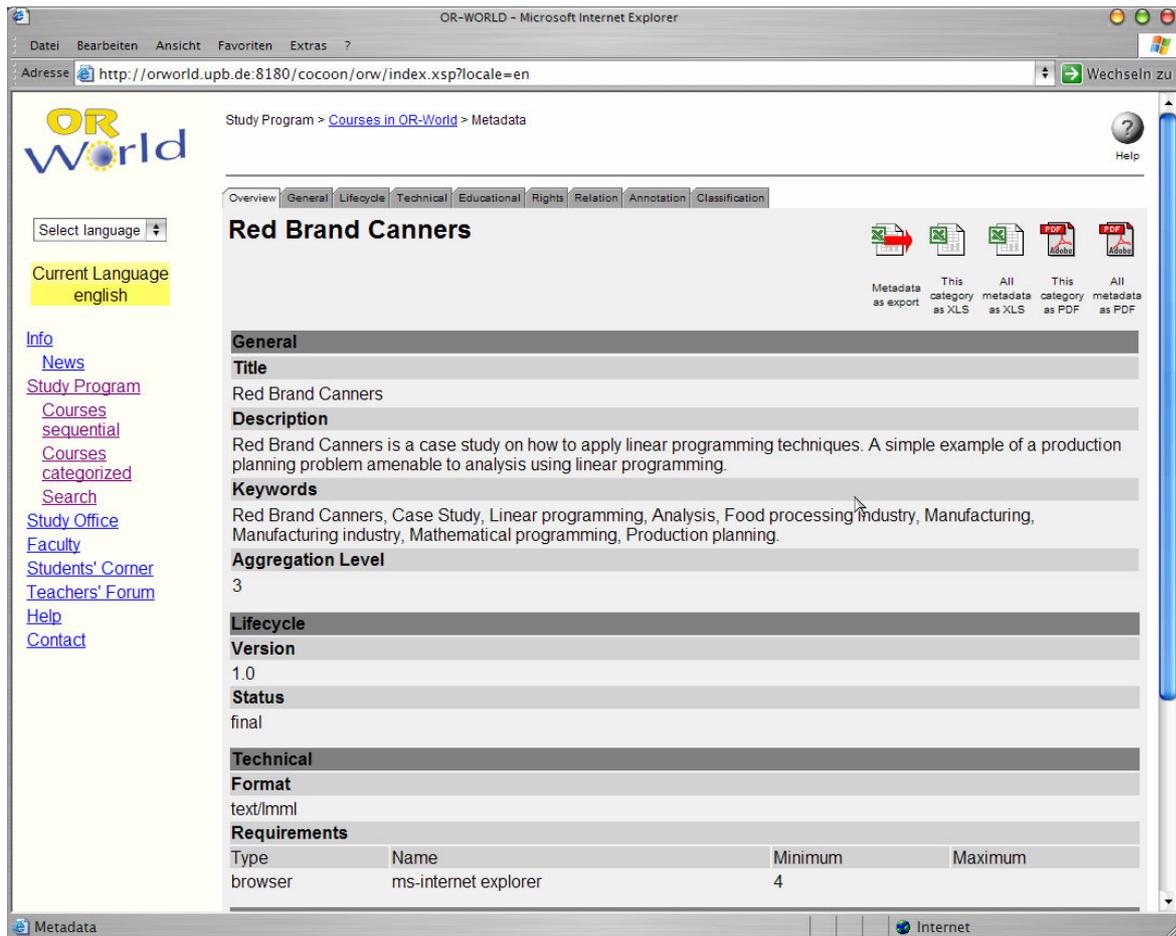


Abbildung 68: Portal: Metadaten Darstellung (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Metadaten werden nicht nur präsentierend zur Verfügung gestellt, es besteht auch die Möglichkeit, diese in andere Formate zu überführen. Dazu sind entsprechende Symbole in die Darstellung der Metadaten integriert (rechts oben in Abbildung 68). Derzeit werden Microsoft Excel und PDF als Formate unterstützt. Der Export kann dabei jeweils für die aktuell ausgewählte Kategorie oder für die gesamten Metadaten des Lernobjekts ausgeführt werden. Dadurch ist ein informaler Datenaustausch mit dem Metadaten Repository möglich. Gerade die Exportierung der Metadaten in das Excel Format erlaubt eine Weiterverwendung der Metadaten in einem informalen Kontext.

Diese Wiederverwendung ist nicht in dem Maße formalisiert, wie der Austausch der Metadaten über den LOM Editor, der in Abschnitt 6.5 vorgestellt wurde. Vielmehr ist der Export als pragmatische Lösung für Benutzer gedacht, die die Metadaten eines Lernobjekts außerhalb des Systems weiterverwenden möchten.

#### 6.6.6 Technische Betrachtung der Architektur des Portals

Das Portal dient zur Präsentation und Visualisierung der Lernobjekte, deren Metadaten und der über die Metadaten definierten Strukturen. Wie in Abschnitt 6.6.2 bereits angesprochen, wird die Transformation von semantisch kodierten Lernobjekten vom Portal automatisiert übernommen. Es ist prinzipiell denkbar, die Transformation der Lernobjekte auf der Präsentationsebene durchzuführen, was aber einen Browser voraussetzt, der entsprechende Funktionalitäten besitzt. Um eine schlanke Architektur zu erhalten, die minimale Softwareinstallationen auf Seiten des Benutzers voraussetzt, ist die Verlagerung der Transformation auf die Anwendungsebene empfehlenswert.

Die Transformation der Lernobjekte in der Architektur erfolgt damit auf der Anwendungsebene und wird vom Portal durchgeführt. Dabei transformiert das Portal die LMML basierte Kodierung in Form einer XML Datei in eine für den Browser darstellbare Kodierung. Derzeit werden HTML und PDF als Darstellungsformate unterstützt.

Das Opensource System [Cocoon 2003] bietet die Funktionalität zur Transformation von XML basierten Lernobjekten. Cocoon wurde Anfang 1999 von Stefano Mazzocchi initiiert und wird mittlerweile als Opensource Produkt im XML Apache Projekt weiterentwickelt. Cocoon ist ein JAVA basiertes System, das in einer Servlet Engine wie z. B. [Tomcat 2003] auf der Anwendungsebene ausgeführt wird. Damit weist Cocoon eine hohe Portabilität bzgl. des verwendeten Betriebssystems auf. Ab der Version 2 ist die Stabilität von Cocoon auch für produktiven Einsatz als ausreichend zu bezeichnen.

Die Trennung zwischen Inhalt und Struktur von Lernobjekten erlaubt es theoretisch, Lernobjekte in verschiedene Darstellungsformen zu transformieren. Cocoon bietet Mechanismen, um diese Transformation praktisch durchzuführen. Die prinzipielle Vorgehensweise zur Transformation von XML Lernobjekten in andere Darstellungsformate wurde bereits erläutert. Die Umsetzung mit Cocoon soll anhand von Abbildung 69 näher illustriert werden. Cocoon bündelt die benötigten Werkzeuge wie Parser, Stylesheet Prozessoren und FO-Prozessoren und integriert sie in einem steuernden Rahmenwerk (vgl. [Langham/Ziegler 2002]).

Die Anfrage eines Benutzers zur Darstellung eines Lernobjektes wird in Form einer URI an Cocoon geleitet, woraufhin Cocoon anhand von Regeln entscheidet, auf welches Lernobjekt

(LMML Dokument) welches Stylesheet angewendet werden soll. Diese Regeln sind zentral in der sog. Sitemap abgelegt (siehe Abbildung 69). Eine simple Regel könnte lauten, dass die Anforderung eines Lernobjektes `rbc.html` die Anwendung des HTML Stylesheets, die Anforderung von `rbc.pdf` die Anwendung des PDF Stylesheets auf die semantische Kodierung in `rbc.xml` induziert. Die angeforderten Dateien `rbc.html` und `rbc.pdf` existieren nicht physikalisch, sondern werden für den Benutzer durch die Transformation generiert.

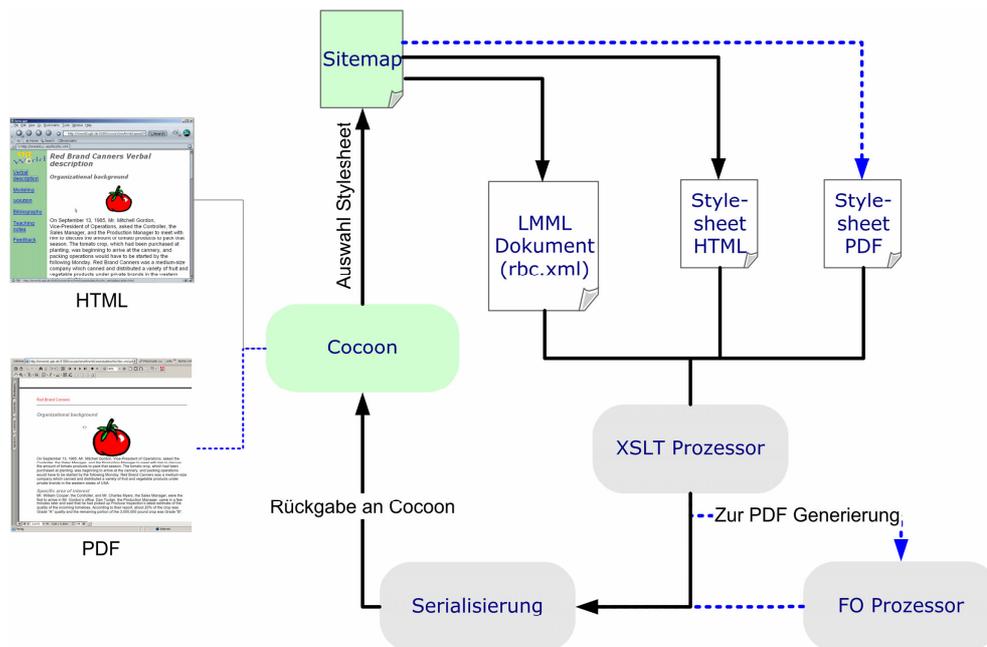


Abbildung 69: Portal: Transformationsprozess durch Cocoon (Quelle: Eigene Darstellung)

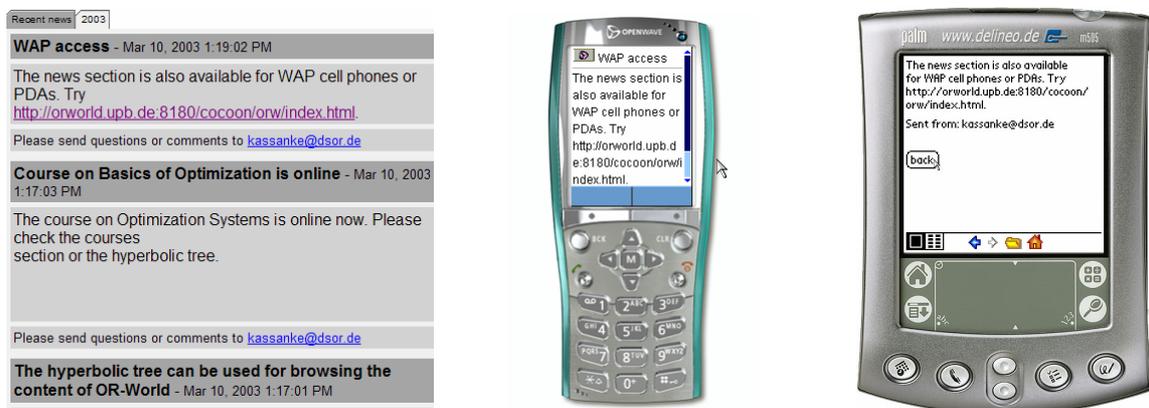
In der weiteren Bearbeitung wird das jeweilige Stylesheet auf das LMML Dokument angewendet und das Ergebnis der Transformation nach der Serialisierung an den Benutzer zurückgegeben. Im Falle der Generierung von PDF muss dabei noch ein FO-Prozessor (Formatting Objects Prozessor) ausgeführt werden, der das generische Ergebnis der Transformation in das binäre PDF Format überführt.

Das geschilderte Grundprinzip der Transformation semantisch kodierter Einheiten wird nicht nur auf Lernobjekte angewendet, sondern auch für die Ausgabe der Metadaten im Excel und PDF Format und die Darstellung der HTML Seiten des Portals. Folglich müssen die Inhalte des Portals ebenfalls semantisch kodiert sein bzw. werden für die Transformation in eine intermediäre XML Struktur gebracht. Der letzte Ansatz wird für die Transformation der Metadaten benutzt, die im Metadaten Repository abgelegt sind, indem für die Metadaten ein sog. XML Stream erzeugt wird, der dann in den Transformationsprozess durch Cocoon überführt werden kann. Diese Vorgehensweise bietet den Vorteil, dass alle Ausgaben des Portals in einer

konsistenten, erwartungskonformen Form erfolgen, was die Aspekte Aufbau und Formatierung der Seiten betrifft.

Cocoon kann anhand der Anfrage von Seiten des Benutzers den Typ des anfragenden Geräts über eine sog. User-Agent-Kennung ermitteln. Diese Information kann für eine individualisierte Transformation nach dem in Abbildung 69 gezeigten Schema genutzt werden. Die Bedeutung einer derartigen Adaptivität bei der Generierung von Darstellungsformaten steigt, da die Anzahl der Endgeräte mit variierenden Darstellungsmöglichkeiten und der daraus i. d. R. resultierenden Nachfrage nach variierenden technischen Kodierungen ebenfalls steigt. Ein Ansatz, um spezialisierte Ausgaben für Endgeräte händisch anzufertigen und bei inhaltlichen Änderungen alle Varianten manuell anzupassen, scheidet aufgrund des enormen Aufwands aus. Es ist kaum möglich, zu antizipieren, welche Anforderungen an das Darstellungsformat kommende Endgeräte stellen werden. Der generische Ansatz der Transformation semantisch kodierter Informationen wurde mit Bezug auf variierende Endgeräte anhand der Sektion Aktuelles des Portals exemplarisch umgesetzt.

In der Sektion Aktuelles werden dem Benutzer Neuigkeiten präsentiert. Der Zugriff auf diese Sektion erfolgt i. d. R. über einen Webbrowser. Darüber hinaus wurden Stylesheets für die Endgeräte Handy mit Wireless Application Protocol (WAP) und Personal Digital Assistants (PDA) erstellt, die jeweils individualisierte Formate an die Endgeräte liefern.



a) Darstellung HTML für Browser      b) Darstellung WML für Handy      c) Darstellung HTML für PDA

Abbildung 70: Portal: Darstellung der Sektion Aktuelles auf Endgerät Browser, WAP Handy, PDA (Quelle: Eigene Darstellung)

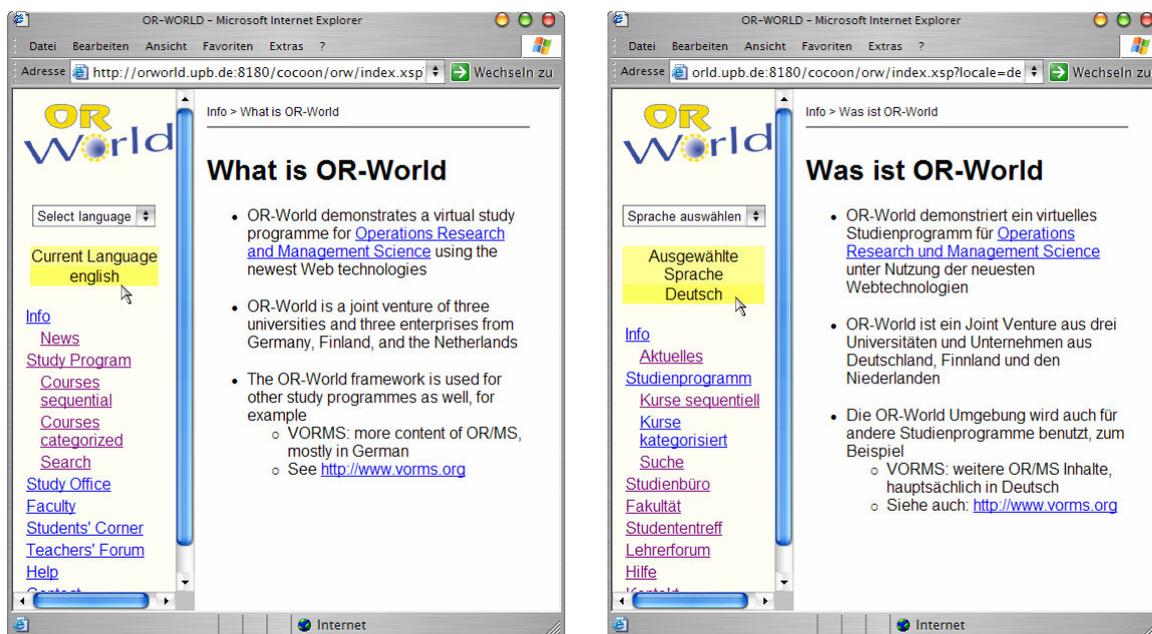
Beim Zugriff auf die eine entsprechende URI, die den Zugriff auf die News signalisiert, stellt Cocoon den Typen des anfragenden Endgerätes fest und wendet das für jeden Typen vorbereitete Stylesheet an, so dass im Falle eines Browser Zugriffs die Darstellung in HTML, beim Zugriff mit dem Handy eine Seite in der Wireless Markup Language (WML) und im Falle des

PDA ebenfalls HTML in einer vereinfachten Variante ohne Navigationsmechanismen erstellt wird.

Diese Vorgehensweise ist auch für Lernobjekte anwendbar. Zur Bereitstellung eines neuen Darstellungsformates für die Lernobjekte, ist lediglich die Erstellung einer Transformationsvorschrift in Form eines Stylesheets sowie die Erweiterung der Sitemap um eine Regel, für welche Lernobjekte diese Transformation durchgeführt werden soll, notwendig. Die semantisch kodierten Lernobjekte müssen in keiner Weise modifiziert werden. Dadurch ist die Nachhaltigkeit des gewählten Architekturansatzes für die Zukunft gesichert.

### 6.6.7 Unterstützung von Multilingualität im Portal

Das Portal wurde im Hinblick auf eine spätere Lokalisierung konzipiert (siehe 4.4.3). Das Portal unterstützt momentan die Sprachen Deutsch und Englisch, zwischen denen zur Anzeige in der Benutzungsoberfläche gewechselt werden kann. Durch die Einbeziehung von Internationalisierungsmechanismen bei der Konzeption ist es aber leicht möglich neue Sprachen für die Benutzungsoberfläche hinzuzufügen. In Abbildung 71 sind die Englische und Deutsche Lokalisierung des Portals gegenüber gestellt.



a) Englische Version des Portals

b) Deutsche Version des Portals

Abbildung 71: Portal: Multilingualität des Portals (Quelle: Eigene Darstellung)

Dabei werden die zu übersetzenden Elemente des Portals unterschieden in vollständige Textabschnitte wie z. B. die Startseite des Portals in Abbildung 71 und isolierte, kurze Textfragmente wie Beschriftungen von Abschnitten, Namen von Kategorien, Menünamen etc. Für die Internationalisierung werden zwei Ansätze verfolgt.

Eine Möglichkeit besteht darin, die Textseiten in relativ einfach aufgebauten XML Dokumenten abzulegen, wobei für jede Lokalisierung ein eigenes XML Dokument erstellt werden muss. Durch ein Suffix je nach Sprache ist eine Namenskonvention gegeben, um die XML Dokumente zu unterscheiden. Die deutschsprachige Variante würde für die Startseite als „info\_de.xml“, die englischsprachige als „info\_en.xml“ benannt werden. Cocoon erhält beim Zugriff einen Parameter, z. B. „locale=de“ für die ausgewählte Sprache und wählt durch eine Regel in der Sitemap das entsprechende Dokument aus. Im Folgenden ist ein Auszug des deutschsprachigen XML Dokumentes für die Startseite aus Abbildung 71 abgebildet.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<page xmlns:i18n="http://apache.org/cocoon/i18n/2.1">

<head>
  <title>Was ist OR-World</title>
  <navigation>
    <element>
      <i18n:text>info_navigation_info</i18n:text>
    </element>
    <element>
      <i18n:text>info_navigation_what_is_or_world</i18n:text>
    </element>
  </navigation>
  <headline>
    <element>
      <i18n:text>info_navigation_what_is_or_world</i18n:text>
    </element>
  </headline>
</head>
...
  <subpoint>
    OR-World ist ein Joint Venture aus drei Universitäten und Unternehmen
    aus Deutschland, Finnland und den Niederlanden
  </subpoint>
....
</page>
```

Die XML typische Struktur kann dabei entweder mit statischen Texten gefüllt werden (wie für das Element „title“ oder es wird über ein „i18n“-Element auf eine zentrale Lokalisierung verwiesen.

Das direkte Setzen von Elementen ist für Fließtext, der sehr individuell ist, angebracht. Elemente, die mehrfach verwendet werden, sollten aus Konsistenzgründen über den sog. Transformer i18n kodiert werden. In diesem Beispiel wird ein Schlüssel „info\_navigation\_what\_is\_or\_world“ zur Kennzeichnung eines lokalisierten Ausdrucks benutzt, der in sog. Katalogen in mehreren Sprachen bereitgestellt wird. Ein Katalog hat dabei den folgenden Aufbau:

```
<?xml version="1.0"?>
<catalogue xml:lang="de">
  <message key=" info_navigation_what_is_orworld ">Was ist OR-World</message>
```

...  
</catalogue>

Bei der Transformation der Seiten in ein darstellbares Format werden durch den Transformer i18n die Werte mit den jeweiligen Texten aus dem Katalog für die ausgewählte Sprache ersetzt. Auf diese Weise können Meldungen getrennt vom Portal erstellt sowie bearbeitet werden, ohne dass Änderungen am Portal selbst notwendig sind.

Neben der reinen Übersetzung bietet der Transformer i18n eine automatische Konvertierung von Datums- und Zeitangaben in die Darstellung eines Landesformates. Beim Auslesen z. B. eines Datumswertes aus dem Metadaten Repository kann die Interpretation des Datumswertes durch einen Ausdruck der Form „yyyy-MM-dd“ fixiert werden. So ist in jedem Fall eine korrekte Interpretation durch Cocoon sichergestellt (siehe 4.4.1).

Da die Seiten des Portals XML basiert sind, können sie in der Zeichenkodierung Unicode abgelegt sein (siehe 4.4.2). Cocoon bietet eine komplette Unterstützung von Unicode, so dass hier eine vollständige Abdeckung zu erwartender Sonderzeichen sichergestellt ist.

Die Kombination aus der Internationalisierung bzw. Lokalisierung des Portals in Deutsch und Englisch, die Einbindung des Transformers i18n sowie die Konformität zu Unicode garantiert die vollständige Erfüllung multilingualer Anforderungen durch das Portal.

## 7 Kritische Würdigung und Ausblick

*Nichts ist beständiger als der Wandel.*

*Heraklit*

In diesem Kapitel werden abschließend die Ergebnisse der Arbeit in Abschnitt 7.1 zusammengefasst und einer kritischen Würdigung unterzogen. Aus den Ergebnissen lassen sich weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarfe ableiten, die in einem Ausblick in Abschnitt 7.2 skizziert werden.

### 7.1 Ergebnisse der Arbeit und deren kritische Würdigung

Die Arbeit beginnt mit einer Abgrenzung des Problemfelds, das durch die drei Eckpfeiler Lernprozess (Determinierung der Art der Wissensvermittlung), zu erschließende Wissensbasis (Lernobjekte und Strukturen zwischen diesen) und Lernsysteme (Unterstützung der Erschließung der Wissensbasis) aufgespannt wird. Nach einer Betrachtung des state of the art von Lernsystemen im OR/MS wurden Defizite aufgezeigt und daraus systematisch die Ziele der vorliegenden Forschungsarbeit entwickelt.

Die formulierte Zielsetzung bestand in der (1) Erstellung eines Konzeptes zur Beschreibung und Systematisierung multilingualer Lernobjekte im Bereich OR/MS, um eine verbesserte Wiederverwendbarkeit dieser Lernobjekte zu ermöglichen. Lernobjekte stellen digital verfügbare Objekte dar, die in einem Lernprozess direkt unterstützend eingesetzt und wieder benutzt werden können. Die Zielsetzung bestand weiterhin (2) in der informationstechnischen Umsetzung des entwickelten Konzeptes und dessen Einbettung in ein hypermediales Lernsystem, um Rückschlüsse auf die Praktikabilität des entwickelten Konzeptes zu ermöglichen.

Aufbauend auf der Zielsetzung wurden grundlegende Begriffe und Definitionen, die zur Formulierung des Konzeptes notwendig sind, eingeführt. Das Potenzial zur Wiederverbenutzung von Lernobjekten wurde diskutiert und relevante Faktoren bzgl. der Wiederverbenutzung (insbesondere im Hinblick auf Kodierung) wurden aufgezeigt. Die Abwägung verschiedener Kodierungsformen führte zu dem Ergebnis, dass semantische Kodierung sich trotz eines anfänglich erhöhten Aufwands auf lange Sicht gegenüber einer rein prozeduralen Kodierung auszahlt und damit entscheidende prinzipielle Vorteile für die Wiederverwendbarkeit aufweist. Als konkretes Beispiel für semantische und damit präsentationsneutrale Kodierung von Lernobjekten wurde dabei LMML genannt. Als weitere Voraussetzungen für die Wiederverwendbarkeit wurden die Verfügbarkeit geeigneter Beschreibungsmethoden durch Metadaten (LOM) sowie eine formalisierte

Beschreibung der Wissensdomäne in Form einer Ontologie ausgeführt und grundlegend erörtert. Abgerundet wurden die Grundlagen durch eine Betrachtung der Aspekte zur Behandlung multilingualer Werkzeuge und Inhalte sowie deren Relevanz für Lernobjekte und Metadaten.

Nach der Darlegung der grundlegenden Bausteine wurden diese in einem integrativen Konzept kombiniert, das Lernobjekte, Metadaten und Ontologien zusammen führt. Die präsentationsneutrale Kodierung von Lernobjekten auf Basis einer semantischen LMML Kodierung diente zur Abbildung der Inhalte. Mechanismen zur Abbildung spezieller Lernobjektstrukturen sowie deren Integration in das LMML Grundmodell wurden anhand von Fallstudien demonstriert. Die Basis für das Konzept stellt eine Systematisierung für Lernobjekte auf Grundlage der Granularität dar, die die Lernobjekte anhand einer Kategorisierung in die grundlegenden Typen Medienelement, Lernelement, Inhaltsmodul, Kurs und thematisches Netzwerk einteilt. Aufbauend auf dieser Klassifikation nach der Granularität wurden relevante Verknüpfungstypen identifiziert und in die Systematik integriert, um einen grundlegenden Mechanismus für die Verknüpfung von Lernobjekten verschiedener Granularitäten zu erhalten. Die Wiederverwendung von Lernobjekten kann so formalisiert beschrieben werden. Eine Abbildung der Konzepte des OR/MS erlaubt die domänenspezifische Systematisierung der Lernobjekte. Grundlage für die Modellierung stellte eine etablierte Taxonomie, die formalisiert in die Ontologie integriert und durch Hinzufügen weiterer Relationen erweitert wurde. Die Ontologie bildet damit in formalisierter Form die Konzepte der betrachteten Domäne OR/MS ab. Die Beschreibung der Lernobjekte inkl. der Verknüpfungen zwischen ihnen sowie die Zuordnung zu Konzepten der Ontologie erfolgt in Metadaten. Die Metadaten bündeln dabei individuelle und strukturelle Informationen zu Lernobjekten in standardisierter Form und liefern damit die zentrale Beschreibung einer Wissensbasis, die durch die Lernobjekte repräsentiert wird. Dabei werden multilinguale Beschreibungen von Lernobjekten voll unterstützt. LOM stellt nur ein konzeptionelles Schema. Dieses wurde als Basis für die spätere Implementierung in Form eines relationalen Schemas operationalisiert.

Die Systematisierung der Lernobjekte liefert eine theoretische Basis für eine formalisierte Beschreibung struktureller Verknüpfungen zwischen Lernobjekten. Die Abbildung der Verknüpfungen in Metadaten erlaubt auch die Integration von Lernobjekten, die in anderen Kodierungen neben LMML vorliegen und sichert so eine nachhaltige zentrale Erfassung von relevanten Informationen zu diesen Lernobjekten. Umfasst werden ebenso Medialitäten, die von sich aus keine Möglichkeiten zur Verknüpfung bieten. Die fachspezifische Abbildung der Konzepte der Wissensbasis erlaubt eine konsistente Kategorisierung von Lernobjekten und ist durch die explizite Formulierung als Informationsbasis für weitergehende Anwendungen interessant (siehe dazu Abschnitt 7.2).

Das entwickelte Konzept wurde abschließend als Prototyp implementiert und befindet sich derzeit in der Pilotierungsphase. Die Umsetzung fokussiert als zentrale Wissensbasis die Metadaten angereichert durch die Ontologie als strukturelle Komponente in Form eines Repositories. Methoden zur Manipulation des Metadaten Repositories wurden mit dem LOM Editor implementiert. Eine Generierung sowohl textueller als auch grafischer, hochinteraktiver Ansichten auf die Wissensbasis sichert dabei gute Recherchier-, Navigations- und Modifikationsmöglichkeiten für Autoren in Bezug auf inhaltliche und strukturelle Kohärenz von Lernobjekten. Ein Portal bündelt den Zugriff auf Lernobjekte und Metadaten. Lernende recherchieren, navigieren und greifen über das Portal auf die abgebildete Wissensbasis zu. Hierbei werden sie durch die Generierung textueller und grafischer Ansichten auf die Wissensbasis unterstützt. Die relevanten Werkzeuge als auch die Beschreibungen der Inhalte sind durchgängig mehrsprachig verfügbar.

Die Implementierung erfolgte mit Opensource Produkten auf Basis einer offenen Architektur, die sowohl die Einbindung von neuen Technologien erlaubt, als auch die Bereitstellung von Teilkomponenten nach außen. Die Validation des Konzepts durch die prototypische Umsetzung weist nach, dass die Wiederbenutzbarkeit von Lernobjekten möglich und auch praktisch durchführbar ist. Die Praktikabilität des Konzepts und der entwickelten Werkzeuge wurde wie im Kapitel 6 dargestellt im Projekt OR-World erprobt (siehe [OR-World Projekt 2002]). Die grundlegenden Datenstrukturen sowie die präsentationsneutrale Formulierung der Lernobjekte werden aber auch in anderen Projekten eingesetzt. Virtual OR/MS stellt den Aufbau eines virtuellen Studienfachs zum Themengebiet OR/MS dar und bietet Studierenden ein umfassendes, qualitativ hochwertiges und inhaltlich differenziertes Angebot an Lernobjekten an (vgl. [VORMS 2003]). Die Lernobjekte werden innerhalb von VORMS mit LMML kodiert und durch den LOM Editor mit Metadaten versehen. In Abbildung 72 ist die Kursansicht auf das Angebot an Lernobjekten über [VORMS 2003] abgebildet. Die tabellarische Übersicht in der Mitte der Abbildung 72 stammt aus dem in Abschnitt 6.6 beschriebenen Portal.

Abbildung 72: Virtual OR/MS – Kursansicht (Quelle: [VORMS 2003])

Ein Beispiel für eine nachhaltige Wiederverwendung von Lernobjekten wurde für das Programm Virtuelle Aus- und Weiterbildung Wirtschaftsinformatik (VAWI) realisiert. VAWI bietet einen semi-virtuellen Studiengang, der auf der Kombination aus kurzen Präsenzphasen und multimedial unterstützten Fernlernphasen beruht (siehe [VAWI 2003]). Ein Kurs des Programms beinhaltet OR/MS Inhalte, die vom Lehrstuhl DS&OR Lab der Universität Paderborn für VAWI bereitgestellt wurden. Die bereitgestellten Lernobjekte waren teilweise bereits aus dem VORMS Kontext vorhanden und konnten durch die LMML Kodierung relativ einfach innerhalb von VAWI integriert werden. Für eine ausführliche Beschreibung von VAWI siehe [Adelsberger/Körner/Pawlowski 2003].

Die Ausführungen zeigen bereits, dass das Konzept der Arbeit und dessen technologische Umsetzung erfolgreich auf Folgeprojekte übertragen werden konnten. Der derzeitige Stand der Implementierung ist als voll funktionsfähig zu bezeichnen. Das System erlaubt die systematische Erfassung, Beschreibung und Wiederbenutzung von Lernobjekten. Wissensbasen können mit Hilfe von Lernobjekten inhaltlich abgedeckt und durch Ontologien strukturell beschrieben werden. Erweiterungen des Systems sind im Hinblick auf die weitergehende Nutzung der Wissensbasis und der formalisierten Ontologie wünschenswert. Hierzu wird im nächsten Abschnitt ein Ausblick gegeben.

## 7.2 Ausblick

Die derzeitige Implementierung deckt die Basisfunktionalitäten zur Systematisierung von Lernobjekten ab. Durch die formalisierte Darstellung sind die Metadaten für Lernobjekte sowie die

Struktur der Wissensbasis prinzipiell durch Maschinen verarbeitbar. Eine denkbare Anwendung ist die automatisierte Suche und Komposition von Lernobjekten auf Basis von Inferenzmechanismen. Inferenzmechanismen werden eingesetzt, um aus der formulierten Struktur der Ontologie Schlüsse für Lernobjekte, die diesen Strukturen zugeordnet sind, zu ziehen.

Potenzielle Anwender sind Lehrende, denen das System im Sinne eines Entscheidungsunterstützungssystems Vorschläge bei der Komposition von Lernobjekten unterbreitet oder auch Lernende, die Zusammenstellungen von Lernobjekten zu bestimmten Konzepten der Wissensbasis suchen. Die Informationsbasis steht mit dem Metadaten Repository und der formalisierten Ontologie zur Verfügung. Diese Anwendung würde dabei geschlossen innerhalb des Systems ablaufen. In einem größeren Maßstab tritt die skizzierte automatisierte Verarbeitung von Informationen im sog. Semantic Web, einer Weiterentwicklung des WWW, auf.

Seit der Etablierung ca. Mitte der 90er Jahre ist das WWW für eine vorwiegend prozedurale Darstellung von Daten und Informationen optimiert, Semantik spielte und spielt auch heute noch eine untergeordnete Rolle. In der Diskussion um das Semantic Web, die von Tim Berners-Lee initiiert wurde, spielen Mechanismen der Informationsauszeichnung, wie Taxonomien und Ontologien eine entscheidende Rolle, um ein weltweites Informationsnetz zu schaffen, das nicht nur der Darstellung von Informationen, sondern auch als Basis maschineller Verarbeitung dient. Die Basistechnologien zur Etablierung des Semantic Web (Unicode, URI, XML und RDF) dienen als Grundlage für aufbauende Konstrukte wie Ontologien und Inferenzmechanismen. Genau diese Technologien werden auch in dem in dieser Arbeit konstruierten System verwendet.

Das Semantic Web wird voraussichtlich noch Jahre bis zu seiner umfassenden Realisierung in Anspruch nehmen. Gartner rechnet ab 2007 bis 2012 mit produktiven Anwendungen. Die Einordnung im Technology Hype Cycle der Gartner Group zeigt, dass die Semantic Web Technologie den Produktivstatus noch nicht erreicht hat (siehe Abbildung 73, Stand der Darstellung 05/2002).

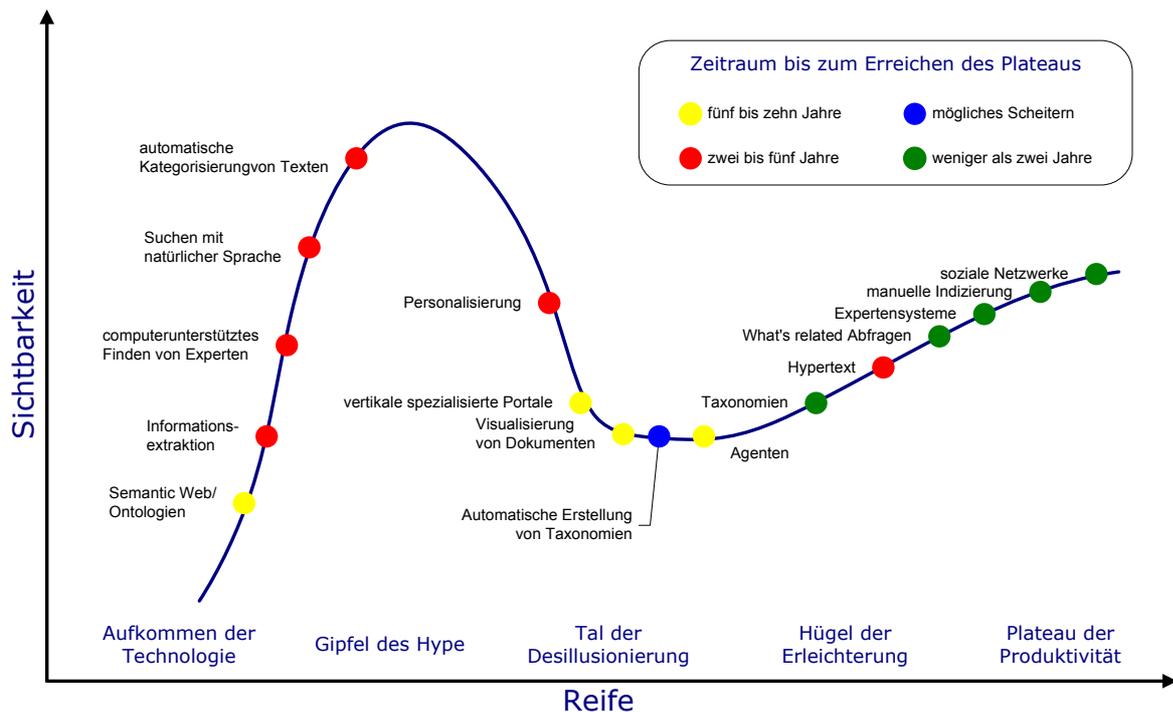


Abbildung 73: Hype-Zyklus von Technologien zur Informationsauswertung (Quelle: vgl. [CZ 20/2002])

Der Technology Hype Cycle klassifiziert Technologien bzgl. ihres Reifegrades und der Sichtbarkeit bzw. ihrer Marktdurchdringung. Technologien folgen einem gewissen Muster im Laufe ihrer Entwicklung. Das sog. „Tal der Desillusionierung“ ist eine kritische Phase in der Entwicklung der Technologie; entweder sie erreicht durch graduelle Verbesserung einen Reifegrad, der letztendlich zum produktiven Einsatz führt, oder sie scheitert.

Die Etablierung des Semantic Web könnte ähnlich wie das WWW einen fundamentalen technologischen Wandel bewirken. Die breite Verfügbarkeit von Informationen und der formalisierte Zugang zur semantischen Interpretation dieser, eröffnet eine neue Qualität für verteilte Applikationen, die auf einer gemeinsamen weltweiten Informationsbasis operieren. Die Anwendung von Ontologien und Inferenzmechanismen innerhalb des begrenzten Rahmens des in dieser Arbeit implementierten Systems erlaubt die Entwicklung und Erprobung von Methoden, die aufgrund der Verwendung identischer Technologien und Datenstrukturen sowohl innerhalb des Systems als auch für das Semantic Web verwendet werden können. Die Verwendung der standardisierten Technologien und Konzepte des Semantic Web bietet Synergiepotenziale sowohl für das System als auch für das Semantic Web. (1) Entwickelte Inferenzmechanismen auf Basis der Ontologie können auf das Semantic Web übertragen werden. (2) Das System kann prinzipiell ohne umfassende Modifikationen der Basismechanismen in die Architektur des Semantic Web skaliert werden.

In diesem Sinne kann das System schon heute als grundlegende Umgebung für die Anwendung und Erprobung der Technologien und Architekturen von morgen betrachtet werden. Es bietet weiterhin das Potenzial, in Zukunft ein Teil dieser Architektur zu werden.

## 8 Literaturverzeichnis

- [Aamodt/Nygård 1995] Aamodt, A., Nygård, M.: Different roles and mutual dependencies of data, information and knowledge, *Data & Knowledge Engineering*, 16(3), 191-222, verfügbar unter [http://dx.doi.org/10.1016/0169-023X\(95\)00017-M](http://dx.doi.org/10.1016/0169-023X(95)00017-M), letzter Zugriff: 2003-12-08, 1995.
- [Adelsberger/Körner/Pawlowski 2003] Adelsberger, H.H., Körner, F., Pawlowski, J.: E-Learning in der wissenschaftlichen Weiterbildung: „Lessons Learned“ im virtuellen Weiterbildungsstudiengang Wirtschaftsinformatik, In: Suhl, L., Voß, S. (Hrsg.): *E-Learning in Wirtschaftsinformatik und Operations Research*, DSOR Beiträge zur Wirtschaftsinformatik, Band 1, 11-29, DS&OR Lab, Universität Paderborn, Paderborn, 2003.
- [Ahronheim 1998] Ahronheim, J. R.: Descriptive metadata: Emerging standards, *Journal of Academic Librarianship*, 24 (5), 1998.
- [AICC 2003] Aviation Industry CBT Committee Webseite, <http://www.aicc.org>, letzter Zugriff 2003-11-13, 2003.
- [Alesi/Kehm 2000] Alesi, B., Kehm, B.M.: The Status of Lifelong Learning in German Universities, *European Journal of Education*, 35(9), 285-300, 2000.
- [Altova 2003] Altova XML Spy, <http://www.altova.com/>, letzter Zugriff 2003-10-03, 2003.
- [Amelingmeyer 2002] Amelingmeyer, J.: *Wissensmanagement – Analyse und Gestaltung der Wissensbasis von Unternehmen*, 2., aktualisierte Auflage, Gabler: Edition Wissenschaft: Strategisches Kompetenz Management, Dt. Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2002.
- [AMMTF 2001] American Mathematical Task Force, Taxonomies, <http://mathmetadata.org/ammtf/taxonomies/>, letzter Zugriff 2003-03-04, 2001.
- [AMS 2000] AMS 2000 Mathematics Subject Classification, <http://www.ams.org/msc/>, letzter Zugriff 2001-13-11, 2000.
- [Animal 2001] Animal Webseite, <http://www.animal.ahrgr.de>, letzter Zugriff: 2003-11-18, 2001.
- [Animal Opt 2001] Animal – Animationen für Optimierung, [http://www.animal.ahrgr.de/en/AnimList\\_optim.html](http://www.animal.ahrgr.de/en/AnimList_optim.html), letzter Zugriff: 2003-11-18, 2001.
- [Baumgartner 2002] Baumgartner, P.: Pädagogische Anforderungen für die Bewertung und Auswahl von Lernsoftware, In: Issing, L. J., Klimsa, P. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*, 427-442. Psychologie Verlags Union, Weinheim, 1995.
- [Baumgartner/Häfele 2002] Baumgartner, P., Häfele, K., Häfele, H.: *E-Learning: Didaktische und technische Grundlagen*, cd austria; CDA Verlags- und HandelsgesmbH; Österreich, Perg; Sonderheft des bm:bwk; 5/2002; <http://www.peter.baumgartner.name/Filer/filetree/peter/material/e-learning.pdf>; 2002.
- [Baumgartner/Payr 1994] Baumgartner, P., Payr, S.: *Lernen mit Software*, Reihe Digitales Lernen, Österreichischer Studien Verlag, Innsbruck, 1994.
- [Behme/Mintert 2000] Behme, H., Mintert, S.: *XML in der Praxis*, 2., erweiterte Auflage, Addison-Wesley, München, Boston, San Francisco, Harlow, 2000.
- [Berners-Lee 1999] Berners-Lee, T.: *Der Web-Report*, Econ – Verlagshaus Goethestraße GmbH & Co. KG, München, 1999.

- [BLK 2001] Bund Länder Kommission: Neue Lern- und Lehrkultur – Vorläufige Empfehlung und Expertenbericht, Band 10, <http://www.blk-bonn.de/papers/forum-bildung/band10.pdf>, letzter Zugriff: 2003-12-17, 2003.
- [Blumstengel 1998] Blumstengel, A.: Entwicklung hypermedialer Lernsysteme, Dissertation, Universität Paderborn, Wissenschaftlicher Verlag, Berlin, auch verfügbar unter <http://dsor.upb.de/de/forschung/publikationen/blumstengel-diss/>, letzter Zugriff: 2003-12-11, 1998.
- [BMBF 2001] Klatt, R., Gavriilidis, K., Kleinsimlinghaus, K., Feldmann, M., et al.: Nutzung elektronischer wissenschaftlicher Information in der Hochschulausbildung Barrieren und Potenziale der innovativen Mediennutzung im Lernalltag der Hochschulen – Endbericht, <http://www.bmbf.de/presse01/405.html>, 2001.
- [Bock 1983] Bock, M.: Zur Repräsentation bildlicher und sprachlicher Informationen im Langzeitgedächtnis - Strukturen und Prozesse, In: Issing, L. J. , Hannemann, J. (Hrsg.), Lernen mit Bildern, Audiovisuelle Unterrichtsmedien in der erziehungswissenschaftlichen Forschung, Bd. 25, 61-94. Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht, 1983.
- [Bodendorf 1990] Bodendorf, F.: Computer in der fachlichen und universitären Ausbildung, Handbuch der Informatik, Bd. 15.1. München, Wien: Oldenbourg, 1990.
- [Bodendorf 1993] Bodendorf, F.: Typologie von Systemen für die computergestützte Weiterbildung, In: Bodendorf, F., Hofmann, J. (Hrsg.). Computer in der betrieblichen Weiterbildung, Handbuch der Informatik, Bd. 15.2, 63-82. München, Wien: Oldenbourg, 1993.
- [Bourret 2001] Bourret, R.: Mapping DTDs to Databases, <http://www.xml.com/pub/a/2001/05/09/dtdtodbs.html>, letzter Zugriff 2003-12-08, 2001.
- [Bransford et al. 1990] Bransford, J. D., Sherwood, R. D., et al.: Anchored instruction : Why we need it and how technology can help, In: Nix, D., Spiro, R. (Hrsg.), Cognition, education and multimedia : Exploring ideas in high technology, 115-139. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd., 1990.
- [Brogden/D’Cruz/Gaither 2002] Brogden, Bill, D’Cruz, Conrad, Gaither, Mark, Cocoon 2 Programming: Web Publishing with XML and Java, Sybex, San Francisco, London, 2002.
- [Bühl 2000] Bühl, A.: Die virtuelle Gesellschaft – Sozialer Wandel im digitalen Zeitalter, Westdeutscher Verlag GmbH, Wiesbaden, 2000.
- [Bush 1945] Bush, V: As we may think, Atlantic Monthly, (1) 176, 101-108, 1945.
- [Carrara 1999] Carrara M.: Formal Ontology and Conceptual Analysis: A Structured Bibliography, <http://www.ladseb.pd.cnr.it/infor/ontology/Papers/Ontobiblio/TOC.html>, letzter Zugriff 2003-10-03, 1999.
- [Cocoon 2003] Cocoon Webseite, <http://cocoon.apache.org/>, letzter Zugriff 2003-12-16, 2003.
- [Conklin 1987] Conklin, J.: Hypertext - an introduction and a survey, IEEE Computer, 20 (9), 17-41, 1987.
- [Cover 2001] Cover, R., Language Identifiers in the Markup Context, <http://xml.coverpages.org/languageIdentifiers.html>, letzter Zugriff 2001-01-10, 2001.
- [CZ 20/2002] Computer Zeitung, Interview mit Alexander Linden, Gartner Group, 2002(20), letzter Zugriff 2002-05-13, 2002.

- [Dahn 2001] Dahn, I.: Automatic Textbook Construction and Web Delivery in the 21st Century, *Journal of Structural Learning and Intelligent Systems*, 14(4), 2001, 401-413, <http://www.uni-koblenz.de/~dahn/articles/aera.pdf>, letzter Zugriff 2003-12-01, 2001.
- [DAML 2003] DARPA Agent Markup Language Webseite, <http://www.daml.org/>, letzter Zugriff 2003-12-11, 2003.
- [Davenport/Prusak 1998] Davenport, T. H., Prusak, L.: Working knowledge: how organizations manage what they know, Harvard Business School Press, 1998.
- [DCMI ED 2003] DCMI Education Working Group, <http://dublincore.org/groups/education/>, letzter Zugriff 2003-11-12, 2003.
- [DCMI ES 2003] Dublin Core Metadata Element Set, Version 1.1: Reference Description, <http://dublincore.org/documents/2003/02/04/dces/>, letzter Zugriff 2003-11-12, 2003.
- [DCMI MT 2003] DCMI Metadata Terms, <http://dublincore.org/documents/2003/03/04/dcmi-terms/>, letzter Zugriff 2003-11-12, 2003.
- [Dichanz/Ernst 2001] Dichanz, H., Ernst, A.: E-Learning – Begriffliche, psychologische und didaktische Überlegungen zum „electronic learning“, *MedienPädagogik, Online Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, Theoriebildung in Mediendidaktik und Wissensmanagement*, 02-2, [http://www.medienpaed.com/00-2/dichanz\\_ernst1.pdf](http://www.medienpaed.com/00-2/dichanz_ernst1.pdf), letzter Zugriff 2003-10-04, 2001.
- [Dittler 1996] Dittler, U.: Von Computerspielen zu Lernprogrammen : empirische Befunde und Folgerungen für die Förderung computergestützten Lernens, Lang, Frankfurt am Main, 1996.
- [Downes 2001] Downes, S.: Learning objects. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 2(1), <http://www.irrodl.org/content/v2.1/downes.html>, letzter Zugriff: 2003-11-12, 2001.
- [Druin/Solomon 1996] Druin, A., Solomon, C.: *Designing Multimedia Environments for Children*, Wiley, New York, Chichester, 1996.
- [DSOR 2001] Lehrstuhl Decision Support und Operations Research, Universität Paderborn: <http://dsor.upb.de>, letzter Zugriff 2003-01-30, 2001.
- [Duden 2000] Duden-Fremdwörterbuch, Dudenverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich, 2000.
- [Dürr/Kleibohm 1992] Dürr, W., Kleibohm, K.: *Operations Research – Lineare Modelle und ihre Anwendungen*, 3., vollständig durchgesehene und verbesserte Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1992.
- [Dussart 1998] Dussart, G.B.J.: Student use of the internet. *Biologist*, 45(4) 177-180, Teile daraus verfügbar unter <http://www.cant.ac.uk/depts/acad/science/web.htm> letzter Zugriff 2000-11-27, 1998.
- [Duval 2001] Duval, E.: Standardized Metadata for Education: a Status Report. In: *Proceedings of EDMEDIA 2001, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*, AACE, Charlottesville, VA 2001.
- [Edelmann 1996] Edelmann, W.: *Lernpsychologie*. 5., vollst. überarbeitete Auflage, Beltz Psychologie-Verlags-Union, Weinheim, Basel, 1996.
- [EML 2003] Educational Modelling Language Webseite, <http://eml.ou.nl/>, letzter Zugriff 2003-12-17, 2003.

- [EU LLL 2001] Mitteilung der Europäischen Kommission: Einen europäischen Raum des lebenslangen Lernens schaffen, <http://europa.eu.int/comm/education/life/>, letzter Zugriff: 2002-06-05, 2001.
- [Fickert 1992] Fickert, T.: Multimediales Lernen : Grundlagen, Konzepte, Technologien, Deutscher Universitätsverlag DUV, Wiesbaden, 1992.
- [Fluit/Sabou/van Harmelen 2003] Fluit, C., Sabou, M., van Harmelen, F.: Ontology-based Information Visualization, In: Geroimenko, V., Vhen, C. (Hrsg.): Visualizing the Semantic Web: XML-based Internet and Information Visualization, 36-48, Springer, London, 2003.
- [Gemmerich/Stratmann 1998] Gemmerich, M., Stratmann, J.: Wissensmanagement in der Praxis, In: Technologie & Management, 47(1), 24-27, 1998.
- [Geroimenko/Geroimenko 2003] Geroimenko, V., Geroimenko, L.: SVG and X3D: New XML Technologies for 2D and 3D Visualization, In: Geroimenko, V., Vhen, C. (Hrsg.): Visualizing the Semantic Web: XML-based Internet and Information Visualization, 90-96, Springer, London, 2003.
- [Gerstenmaier/Mandl 1995] Gerstenmaier, J., Mandl, H.: Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive, Zeitschrift für Pädagogik, 41 (6), 867-888, 1995.
- [Gloor 1990] Gloor, P.: Hypermedia-Anwendungsentwicklung : eine Einführung mit HyperCard-Beispielen, Leitfäden der angewandten Informatik, Teubner, Stuttgart, 1990.
- [Gloor 1997] Gloor, P.: Elements of Hypermedia Design: Techniques for Navigation and Visualization in Cyberspace , Birkhäuser, Boston, Basel, Berlin, 1997.
- [Gruber 1993] Gruber, T. R.: Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. In Guarino, N., Poli, R. (Hrsg.): Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation, Kluwer Academic Publishers, 1994
- [Haehling von Lanzenauer/Trela 2003] Haehling von Lanzenauer, C., Trela, J.: Fallstudien und E-Learning: Möglichkeiten und Grenzen der Interaktivität, In: Suhl, L., Voß, S. (Hrsg.): E-Learning in Wirtschaftsinformatik und Operations Research, DSOR Beiträge zur Wirtschaftsinformatik, Band 1, 117-132, DS&OR Lab, Universität Paderborn, Paderborn, 2003.
- [Hansen/Narayanan/Schrimpscher 1998] Hansen, S. R., Narayanan, N.H., Schrimpscher, D.: Rethinking Algorithm Animation: A Framework for Effective Visualizations, Proceedings of ED-MEDIA/ED-TELECOM 1998.
- [Harold 1999] Harold, E.R.: XML Bible, IDG Books Worldwide, 1999.
- [Hasebrook 1995] Hasebrook, J.: Multimedia-Psychologie: Eine neue Perspektive menschlicher Kommunikation, Spektrum Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1995.
- [Heinrich/Roithmayr 1995] Heinrich, L. J., Roithmayr, F.: Wirtschaftsinformatik Lexikon, 5. korrigierte und erweiterte Auflage, Oldenbourg, München, Wien, 1995.
- [Hesse 2002] Hesse, W.: Ontologie(n), Informatik-Spektrum, 25(6), December 2002, 477-480, Springer, Heidelberg, 2002.
- [Hiddink 2000] Hiddink, G.: Using XML to Solve Reusability Problems of Online Learning Materials. Presented at the Special Session on reusability in web-based learning environments, Wolongong, December 12-15, <http://wwwhome.ctit.utwente.nl/~hiddinkg/professional/papers/icc2000.ps> , letzter Zugriff 2002-6-23, 2000.

- [Hiddink 2001] Hiddink, G.: ADILE: Architecture of a Database-Supported Learning Environment, *Journal of Interactive Learning Research* (2001) 12(2/3), 297-315, 2001.
- [Hillmann 2003] Hillmann, D.: Using Dublin Core, <http://dublincore.org/documents/2003/08/26/usageguide/>, letzter Zugriff: 2003-11-12, 2003.
- [Hitzges et al. 1994] Hitzges, A., Betzl, K. et al.: Chancen und Risiken von interaktiven Multimedia Systemen in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung. Forschungsbericht Technikfolgenabschätzung des BMFT, IRB-Verlag, Stuttgart, 1994.
- [IMS MD 2003] IMS Metadata, <http://www.imsglobal.org/metadata/index.cfm>, letzter Zugriff 2003-11-12, 2003.
- [IMS MD1.2.1 2001] IMS Learning Resource Meta-Data Best Practice and Implementation Guide - Version 1.2.1 Final Specification, erreichbar über [IMS MD 2003], 2001.
- [IMS MD1.2.1 BI 2001] IMS Learning Resource Meta-Data XML Binding - Version 1.2.1 Final Specification, erreichbar über [IMS MD 2003], 2001.
- [Informs RP 2003] Informs Resource Page - (ehemals Michael Trick's Operations Research Page), <http://www.informs.org/Resources/>, letzter Zugriff: 2003-11-06, 2003.
- [Innes/McGreal 2002] Innes, J., McGreal, R.: Metadata Specifications, In: Adelsberger, H.H., Vollis, B., Pawlowski, J. (Hrsg.): *Handbook on Information Technologies for Education and Training*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2002.
- [ISO639 1988] Code for the Representation of Names of Languages. First edition, 1988-04-01. Reference number: ISO 639:1988 (E/F). Geneva: International Organization for Standardization, <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=4766&ICS1=1&ICS2=140&ICS3=20>, 1988.
- [ISO639/2 1991] Code for the Representation of Names of Languages: alpha-3 Code. , International Organization for Standardization, <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=4767&ICS1=1&ICS2=140&ICS3=20>, 1991.
- [ISO8601 2000] Data elements and interchange formats -- Information interchange -- Representation of dates and times, International Organization for Standardization, <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=26780&ICS1=1&ICS2=140&ICS3=30>, 2000.
- [ISO8879 1986] Information processing -- Text and office systems -- Standard Generalized Markup Language (SGML), <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=16387&ICS1=35&ICS2=240&ICS3=30>, 1986.
- [Issing 1993] Issing, L. J.: Wissenserwerb mit bildlichen Analogien“. In: Weidenmann, B. (Hrsg.). *Wissenserwerb mit Bildern : instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*, 149-176, Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 1993.
- [Issing 2002] Issing, L. J.: *Instruktions-Design für Multimedia*, In: Issing, L. J., Klimsa, L. J. (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia*, 3. vollständig überarbeitete Auflage, Psychologie Verlags Union, Weinheim, 2002.
- [Jonassen/Grabinger 1990] Jonassen, D. H., Grabinger, R. S.: Problems and Issues in Designing Hypertext/Hypermedia for Learning, In: Jonassen, D. H. Mandl, H. (Hrsg.) *Designing*

- Hypermedia for Learning, NATO ASI Series, Vol. F 67, 3-26, Springer, Berlin, Heidelberg, 1990.
- [Kantwerk 2003] Kantwerk, B.: Interaktive Visualisierung von Netzwerken am Beispiel von Lernobjekten, unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Paderborn, Decision Support & OR Lab, Paderborn, 2003.
- [Karagiannis/Telesko 2001] Karagianis, D., Telesko, R: Wissensmanagement: Konzepte der künstlichen Intelligenz und des Softcomputing, Oldenbourg, Wien, München, 2001.
- [Kay 2001] Kay, M.: XSLT – Programmer’s Reference, 2nd edition, Wrox Press, Birmingham, 2001.
- [Kazakos/Schmidt/Tomczyk 2002] Kazakos, W., Schmidt, A., Tomczyk, P.: Datenbanken und XML: Konzepte und Anwendungen, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2002.
- [Kerres 2000] Kerres, M.: Computerunterstütztes Lernen als Element hybrider Lernarrangements, In: Kammerl, R.: Computergestütztes Lernen, Oldenbourg, München, 2000.
- [Kerres 2001] Kerres, M.: Multimediale und telemediale Lernumgebungen: Konzeption und Entwicklung, 2., vollständig überarbeitete Auflage, Oldenbourg, München, Wien, 2001.
- [Klar/Tan 2002] Klar, M., Tan, D.: Konzeption und Implementierung eines Portals für eine Lernplattform auf Basis eines Single Source Publishing Frameworks, unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Paderborn, Decision Support & OR Lab, 2002..
- [Kuhlen 1991] Kuhlen, R.: Hypertext: Ein nichtlineares Medium zwischen Buch und Wissensdatenbank. Edition SEL Stiftung, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, 1991.
- [Kuhlen 1999] Kuhlen, R.: Die Konsequenzen von Informationsassistenten: Was bedeutet informationelle Autonomie oder wie kann Vertrauen in elektronische Dienste in offenen Informationsmärkten realisiert werden?, Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1999.
- [Lamping/Rao 1994] Lamping, J., Rao, R.: Laying Out and Visualizing Large Trees Using a Hyperbolic Space, Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology, November 1994, ACM Press, 13-14, 1994.
- [Langham/Ziegler 2002] Langham, M., Ziegler, C.: Cocoon: Building XML Applications, New Riders Publishing, Boston, Indianapolis, 2003.
- [LaTeX 2003] LaTeX Webseite, <http://www.latex-project.org/>, letzter Zugriff 2003-11-13, 2003.
- [LCC 2002] Library of Congress Classification Outline, <http://lcweb.loc.gov/catdir/cpso/lcco/lcco.html>, letzter Zugriff 2002-12-23, 2002.
- [LOM 2003] LOM Webseite, <http://ltsc.ieee.org/wg12/index.html>, letzter Zugriff: 2003-12-09, 2003.
- [LOM DOC 2002] LOM final draft, [http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM\\_1484\\_12\\_1\\_v1\\_Final\\_Draft.pdf](http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM_1484_12_1_v1_Final_Draft.pdf), letzter Zugriff: 2003-11-12, 2003.
- [LTSC 2003] Learning Technology Standards Committee Webseite, <http://ltsc.ieee.org/>, letzter Zugriff: 2003-11-12, 2003.
- [Lyman/Varian 2003] Lyman, P., Varian, H.: How much Information 2003?, School of Information Management and Systems at the University of California at Berkeley, research report, <http://www.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info-2003/>, 2003.

- [Lynn 1999] Lynn, L. E.: Teaching and learning with cases: a guidebook, Chatham House Publishers, Seven Bridges Press, LLC, New York, 1999.
- [Mandl, Friedrich, Hron 1993] Mandl, H., Friedrich, H. F., Hron, A.: Psychologie des Wissenserwerbs, In: Weidenmann, B. et al. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie, 2., neubearbeitete Auflage, S. 143-218, Weinheim, Basel: Beltz, Psychologie Verlags Union, 1995.
- [Mandl/Gruber/Renkl 2002] Mandl, H., Gruber, H., Renkl, A.: Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. in: Issing, L., Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia, 3. überarbeitete Auflage; 139-148; Beltz Psychologie-Verlags-Union; Weinheim, Basel; 1997
- [Maple 2003] Maple Webseite, <http://www.maplesoft.com/>, letzter Zugriff 2003-11-13, 2003.
- [Maruyama et al. 1999] Maruyama, H., Uramato, N., Tamura, K.: XML and Java: developing web applications, Addison-Wesley, Boston, San Francisco, 1999.
- [Mathematica 2003] Mathematica Webseite, <http://www.wolfram.com/>, letzter Zugriff 2003-11-13, 2003.
- [MathML 2003] Mathematical Markup Language (MathML) Version 2.0 (second edition), <http://www.w3.org/TR/2003/REC-MathML2-20031021/>, letzter Zugriff 2003-11-13, 2003.
- [Maturana/Varela 1987] Maturana, H., Varela, F.: Der Baum der Erkenntnis: Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens, Scherz Verlag, Bern, München, Wien, 1987.
- [Mayer 1999] Mayer, R.E.: Multimedia aids to problem-solving transfer. International Journal of Educational Research (31) 7, p. 611-623, Elsevier, (auch verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VDF-3XR2V66-5/2/0111360165dea654e23b7377728d5ec0>), 1999.
- [McAleese 1989] McAleese, R.: Navigation and Browsing in Hypertext“. In: McAleese, R. (Hrsg.), Hypertext: Theory into Practice, 6-44. Oxford: Blackwell Scientific Publications Ltd., 1989.
- [McClelland 2003] McClelland, M.: Metadata Standards for Educational Resources, Computer – Innovative Technology for Computer Professionals, IEEE Computer Society, Washington DC, 36(11), 107-109, 2003.
- [Mentor 2001] Mentor Computer Based Learning, Department of Management Science at the University of Strathclyde, Glasgow, <http://www.managementscience.org/mentor/mentor.asp>, letzter Zugriff: 2003-06-09, 2001.
- [Miller 1999] Miller, E.: RDF Schema Declaration of Relation Types , <http://dublincore.org/documents/rdf-relation-types/index.shtml>, letzter Zugriff: 2003-12-12, 1999.
- [MIME 2003] IANA. MIME Media Types, <http://www.iana.org/assignments/media-types/>, letzter Zugriff: 2003-11-13, 2003.
- [MuPad 2003] MuPad Webseite, <http://www.mupad.de/>, letzter Zugriff 2003-11-13, 2003.
- [Niedermowe 2003] Niedermowe, René: Konzeption und Implementierung für die Visualisierung und Editierung von Ontologien in einer virtuellen Lernumgebung, unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Paderborn, Decision Support & OR Lab, 2003.

- [Niegemann 1995] Niegemann, H.M.: Computergestützte Instruktion in Schule, Aus- und Weiterbildung : theoretische Grundlagen, empirische Befunde und Probleme der Entwicklung von Lernprogrammen, Lang, Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien, 1995.
- [Niegemann et al. 2000] Niegemann H.M., Hofer M., Gronki-Jost E.-M. & Neff, O.: Abschlussbericht zum Projekt "Förderung des Aufbaus integrierter Wissensstrukturen durch selbständig zu bearbeitende arbeitsanaloge Lernaufgaben zur Kostenrechnung in einer computerbasierten komplexen Lernumgebung". [http://www-ifmk.tu-ilmenau.de/mk/download/doc\\_niegemann/aala\\_abschluss.pdf](http://www-ifmk.tu-ilmenau.de/mk/download/doc_niegemann/aala_abschluss.pdf), letzter Zugriff 2003-10-23, 2000.
- [Nielsen 1995] Nielsen, J.: Multimedia Hypertext: the Internet and beyond, Academic Press, Cambridge, 1995.
- [Nonaka/Takeuchi 1997] Nonaka, I., Takeuchi, H.: Die Organisation des Wissens. Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen, Aus dem Englischen von Friedrich Mader, Campus Verlag, Frankfurt/New York, 1997.
- [OIL 2003] Ontology Interchange Language Webseite, <http://www.ontoknowledge.org/oil/>, , letzter Zugriff 2003-12-11, 2003.
- [OilEdit 2003] OilEdit Webseite, <http://img.cs.man.ac.uk/oil/>, letzter Zugriff 2003-11-19, 2003.
- [OntoEdit 2003] OntoEdit Webseite, <http://www.ontoprise.de/>, letzter Zugriff 2003-11-19, 2003.
- [Ontoviz 2003] OntoViz Tab: Visualizing Protégé Ontologies Webseite, <http://protege.stanford.edu/plugins/ontoviz/ontoviz.html>, letzter Zugriff: 2003-12-14, 2003.
- [OR-Objects 2003] OR-Objects Webseite, <http://opsresearch.com/OR-Objects/index.html>, letzter Zugriff: 2003-11-18, 2003.
- [OR-Welt 2001] OR-Welt Webseite, <http://dsor.upb.de/de/forschung/OR-Welt/>, letzter Zugriff: 2003-11-13, 2001.
- [OR-World 2002] OR-World Webseite: <http://www.or-world.com>, letzter Zugriff: 2003-10-24, 2002.
- [OR-World LE 2003] LOM Editor Startseite, <http://orworld.upb.de:8081/Lomweb/>, letzter Zugriff 2003-12-15, 2003.
- [OR-World Portal 2003] OR-World Portal Startseite, <http://orworld.upb.de:8180/cocoon/orw/index.html>, letzter Zugriff 2003-12-15, 2003.
- [OR-World Projekt 2002] OR-World Projekt Webseite: [http://orworld.upb.de/index\\_project.html](http://orworld.upb.de/index_project.html), letzter Zugriff: 2003-11-17, 2002.
- [Österle 2000] Österle, H.: Business Model of the Information Age, In: Business Knowledge Management in der Praxis, herausgegeben von Bach, V., Österle, H., Vogler, P., 11-51, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Ott 1999] C. Ott: Global Solutions for Multilingual Applications – Real World Techniques for Developers and Designers; Wiley; New York, Chichester, Weinheim, 1999.
- [Pawlowski 2001] Pawlowski, J.M.: Das Essener-Lern-Modell (ELM): Ein Vorgehensmodell zur Entwicklung computerunterstützter Lernumgebungen, Dissertation, Universität Essen, <http://beta1.wi-inf.uni-essen.de/research/publications/JanEDISS.pdf>, 2001.

- [Pohl 1995] Pohl, C.: Transparente Navigation in einem hypermedialen Lehr/Lernsystem, In: Schoop, E., Witt, R., Glowalla, U. (Hrsg.). Hypermedia in der Aus- und Weiterbildung, Schriften zur Informationswissenschaft, Bd. 17, 155-163. Universitätsverlag Konstanz, Konstanz, 1995.
- [Protégé 2003] Protégé Webseite, <http://protege.stanford.edu/>, letzter Zugriff 2003-12-11, 2003.
- [Rada 1991] Rada, R.: Hypertext: from Text to Expertext, McGraw-Hill: London, England, auch als Hypertext verfügbar <http://research.umbc.edu/~rada/cv/pubs/hypertextbook/>, letzter Zugriff: 2003-12-17, 1991.
- [RDF 1999] Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification, <http://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222/>, letzter Zugriff 2003-12-13, 1999.
- [RDFS 2002] RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema, <http://www.w3.org/TR/2002/WD-rdf-schema-20021112/>, letzter Zugriff 2003-12-13, 2002.
- [Reinmann-Rothmeier 1994] Reinmann-Rothmeier, G.: Computerunterstützte Lernumgebungen : Planung, Gestaltung und Bewertung, Publicis-MCD-Verlag, München, 1994.
- [Reinmann-Rothmeier 2002] Reinmann-Rothmeier, G.: Mediendidaktik und Wissensmanagement, Medienpädagogik, Online Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, Theoriebildung in Mediendidaktik und Wissensmanagement, 02-2, <http://www.medienpaed.com/02-2/reinmann1.pdf>, letzter Zugriff 2003-10-04, 2002.
- [RFC 1345] Simonsen, K.: Character Mnemonics and Character Sets <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1345.html>, letzter Zugriff 2003-11-13, 1992.
- [RFC 1521] Borenstein N., Freed, N.: MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) Part One: Mechanisms for Specifying and Describing the Format of Internet Message Bodies", RFC 1521, Bellcore, Innosoft, <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1521.html>, letzter Zugriff 2003-11-13, 1993.
- [RFC 1590] Postel, J.: Media Type Registration Procedure, <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1590.html>, letzter Zugriff 2003-11-13, 1994.
- [RFC 2046] Borenstein N., Freed, N.: Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) Part Two: Media Types, RFC 1521, Bellcore, Innosoft, <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2046.html>, letzter Zugriff 2003-11-13, 1996.
- [RFC 2396] Berners-Lee, T., et al.: Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax, RFC 2396, <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2396.html>, letzter Zugriff 2003-12-09, 1998.
- [Rothfuss/Ried 2001] Rothfuss, G., Ried, C. (Hrsg.): Content Management mit XML – Grundlagen und Anwendungen, mit Beiträgen von Jörg Eisenbiegler et al., Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- [Runzheimer 1995] Runzheimer, B.: „Operations Research I – Lineare Planungsrechnung und Netzplantechnik – Simplexmethode – Strukturplanung – Zeitplanung – Zeit-Kostenplanung – Anwendungsmöglichkeiten“ Gabler Verlag, Wiesbaden, 5. Auflage, 1995.
- [Rusch-Feja 1997] Rusch-Feja, D.: Mehr Qualität im Internet - Entwicklung und Implementierung von Metadaten, <http://www.mpib-berlin.mpg.de/dok/full/rf/metaifbs.htm>, letzter Zugriff: 2003-12-14, 1997.
- [Savourel 2001] Savourel, Y.: XML Internationalization and Localization, Sams, Indianapolis, Indiana, 2001.

- [Schank/Cleary 1995] Schank, R.C., Cleary, C.: Engines for Education, Erlbaum, Hillsdale, NJ, auch online verfügbar: <http://www.engines4ed.org/hyperbook/>, letzter Zugriff: 2003-12-15, 1995.
- [Scheubrein 2000] Scheubrein, R.: Computerunterstütztes Lernen und Lehren, OR News, 10, November 2000.
- [Schnotz 1993] Schnotz, W.: Wissenserwerb mit logischen Bildern“, In: Weidenmann, B. (Hrsg.). Wissenserwerb mit Bildern : instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen, Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 1993.
- [Schnupp 1992] Schnupp, P.: Hypertext, Handbuch der Informatik, Bd. 10.1., Oldenbourg, München, Wien, 1992.
- [Schoop 1995] Schoop, E.: Benutzernavigation in hypermedialen Lernsystemen, In: Schoop, E., Witt, R., Glowalla, U. (Hrsg.). Hypermedia in der Aus- und Weiterbildung, Schriften zur Informationswissenschaft, Bd. 17, 151-154, Universitätsverlag Konstanz, Konstanz, 1995.
- [Schoop/Glowalla 1992] Schoop, E., Glowalla, U.: Computer in der Aus- und Weiterbildung : Potentiale, Problem und Perspektiven, In: Glowalla, U., Schoop, E. (Hrsg.). Hypertext und Multimedia. Neue Wege in der computergestützten Aus- und Weiterbildung, 4-20, Springer, Berlin, Heidelberg, 1992.
- [Schulmeister 1997] Schulmeister, R.: Grundlagen hypermedialer Lernsysteme: Theorie - Didaktik - Design, 2., aktualisierte Auflage, Oldenbourg, München, 1997.
- [Schulmeister 2001] Schulmeister, R.: Virtuelle Universität - Virtuelles Lernen, Oldenbourg, München, 2001.
- [SCORM 2001] Advanced Distributed Learning Sharable Content Object Reference Model Version 1.1, ADL, 2001, <http://www.adlnet.org>, letzter Zugriff 17.06.2003.
- [Shannon 1948] Shannon, C. E.: A mathematical theory of communication, Bell System Technical Journal, vol. 27, 379-423 and 623-656, July and October, 1948.
- [Shneiderman 1983] Shneiderman, B. Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages, IEEE Computer, August 1983, 57-69, 1983.
- [Simpson 2001] Simpson, John E.: Just XML, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, 2001.
- [Sottong/Müller 1998] Sottong, H., Müller, M.: Zwischen Sender und Empfänger – Eine Einführung in die Semiotik der Kommunikationsgesellschaft, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1998.
- [Soukup 2001] Soukup, C.: Wissensmanagement – Wissen zwischen Steuerung und Selbstorganisation, Gabler, Wiesbaden, 2001.
- [Sowa 1999] Sowa, J.F.: Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations, <http://www.jfsowa.com/krbook/index.htm>, letzter Zugriff 2003-12-14, 1999.
- [Spiro/Jehng 1990] Spiro, R., Jehng, J.-C.: Cognitive Flexibility and Hypertext: Theory and Technology for the Nonlinear and Multidimensional Traversal of Complex Subject Matter, In: Nix, D., Spiro, R. (Hrsg.): Cognition, Education and Multimedia: Exploring Ideas in High Technology; 163-206; Lawrence Erlbaum; Hillsdale NJ; 1990.
- [Staab 2002] Staab, S.: Wissensmanagement mit Ontologien und Metadaten, Informatik Spektrum, 25(3), 194-209, Springer, Heidelberg, 2002.

- [Steinmetz/Rückert/Racke 1990] Steinmetz, R., Rückert, J., Racke, W.: Multimedia-Systeme, Informatik-Spektrum, 13, 280-282, 1990.
- [Suhl/Mellouli 1997] Suhl, L., Mellouli, T.: Optimierungssysteme (Skript zur Veranstaltung Grundlagen von Optimierungssystemen), Universität Paderborn; ohne Verlag ; 1997.
- [Süß 2000] Süß, C., Freitag, B.: Entwicklung und Nutzung von Teachware, In: Kammerl, R. (Hrsg.): Computergestütztes Lernen, Oldenbourg, München, 2000.
- [Süß/Freitag/Brössler 1999] Süß, C., Freitag, B., Brössler, P.: Metamodeling for Web-Based Teachware Management. In: Proc. Intl. WWWCM'99 Workshop on the World-Wide Web and Conceptual Modeling in conjunction with ER'99, Nov. 15-18, Paris, France, 1999.
- [SVG 2003] Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification, <http://www.w3c.org/TR/SVG11/>, letzter Zugriff: 2003-11-18, 2003.
- [SVG View 2003] SVG Viewer Plugin, <http://www.adobe.com/svg/viewer/install/>, letzter Zugriff: 2003-11-18, 2003.
- [Tenor 2003] Tutorial Environment for Operations Research; Fachgebiet Operations Research; Technische Universität Darmstadt; <http://www.bwl.tu-darmstadt.de/bwl3/forsch/projekte/tenor/>, letzter Zugriff: 2003-11-18, 2003.
- [Tergan 2002] Tergan, S.-O.: Hypertext und Hypermedia. In: Issing, L.J., Klimsa, L. J. (Hrsg.), Information und Lernen mit Multimedia, 3. vollständig überarbeitete Auflage, Psychologie Verlags Union, Weinheim, 2002.
- [TeX 2003] TeX Users Group Webseite <http://www.tug.org/>, letzter Zugriff 2003-11-13, 2003.
- [TGViz 2003] TGViz Tab: A TouchGraph Visualization Tab for Protégé 2000, <http://www.ecs.soton.ac.uk/~ha/TGVizTab/TGVizTab.htm>, letzter Zugriff: 2003-12-14, 2003.
- [Thuraisingham 2002] Thuraisingham, B.M.: XML Databases and the Semantic Web, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2002.
- [Tomcat 2003] Tomcat Servlet Engine, <http://jakarta.apache.org/tomcat>, letzter Zugriff: 2003-12-17, 2003.
- [Touchgraph 2002] Touchgraph, <http://www.touchgraph.com/>, letzter Zugriff, 2002-11-07, 2002
- [Trial-Solution 2003] Trial-Solution Webseite, <http://www.trial-solution.de>, letzter Zugriff: 2003-12-04, 2003.
- [TutOR 1999] Department of Mathematics and Statistics; University of Melbourne; Australia; <http://www.tutor.ms.unimelb.edu.au/>, letzter Zugriff: 2003-11-18, 2001.
- [Unicode 2003] Unicode Webseite, <http://www.unicode.org/>, letzter Zugriff 2003-11-01, 2003.
- [Unicode4 2003] The Unicode Consortium. The Unicode Standard, Version 4.0, Addison-Wesley, Boston, MA, 2003.
- [URI 2001] ohne Verfasser: Naming and Addressing: URIs, URLs, ..., <http://www.w3.org/Addressing/>, letzter Zugriff: 2001-19-29, 2001.
- [Uschold/Gruninger 1996] Uschold, M., Gruninger, M., Ontologies: Principles, Methods and Application", Knowledge Engineering Review, 11(2), 1996.
- [VAWI 2003] Virtuelle Aus- und Weiterbildung Wirtschaftsinformatik Webseite, <http://www.vawi.de/>, letzter Zugriff: 2003-11-13, 2003.

- [VORMS 2003] Das virtuelle Studienfach Operations Research/Management Science Webseite, <http://www.vorms.net/>, letzter Zugriff: 2003-11-13, 2003.
- [Walsh/Muellner 1999] Walsh, N., Muellner, L.: DocBook - The Definitive Guide, O'Reilly, Sebastopol, CA, 1999.
- [Weidenmann 1993] Weidenmann, B.: Informierende Bilder, In: Weidenmann, B. (Hrsg.). Wissenserwerb mit Bildern : instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 1993.
- [Weidenmann 2002] Weidenmann, B.: Multikodierung und Multimodalität im Lernprozess, In: Issing, L. J., Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia, 45-62, Psychologie Verlags Union, Weinheim, 2002.
- [Wersig 1996] Wersig, G.: Die Komplexität der Informationsgesellschaft, Schriften zur Informationswissenschaft, Band 26, Hochschulverband für Informationswissenschaft, Konstanz, 1996.
- [Wiley 2001] Wiley, D.A.: Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. In D. A. Wiley (Ed.), The Instructional Use of Learning Objects, 3-24, Online Version. <http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc>, letzter Zugriff: 2003-12-09, 2001.
- [Willke 2001] Willke, H.: Systemisches Wissensmanagement, 2., neubearbeitete Auflage, Lucius und Lucius, Stuttgart, 2001.
- [Witt 1995] Witt, R.: Strukturierte Navigation in mehrdimensionalen Lernobjekträumen, In: Schoop, E., Witt, R., Glowalla, U. (Hrsg.). Hypermedia in der Aus- und Weiterbildung, Schriften zur Informationswissenschaft, Bd. 17., 161-164, Universitätsverlag Konstanz, Konstanz, 1995.
- [Wolf/Wicksteed 1997] Wolf, M., Wicksteed, C.: Date and Time Formats, <http://www.w3.org/TR/NOTE-datetime>, letzter Zugriff: 2003-11-13, 2003.
- [Wolter/Dahn 2000] Wolter, H.; Dahn, B.I.: Analysis Individuell. Kompakt zum Prüfungserfolg. Mit CD-ROM und Online Komponente, Springer, , Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [XHTML 2002] XHTML Spezifikation, <http://www.w3.org/TR/xhtml1/>, letzter Zugriff: 2003-12-17, 2002.
- [XML 2000] Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Second Edition), <http://www.w3.org/TR/REC-xml>, letzter Zugriff: 2003-11-18, 2000.
- [XML Schema 2003] XML Schema, <http://www.w3c.org/XML/Schema>, letzter Zugriff 2003-12-14, 2003.
- [Yahoo 2002] Yahoo Portal Deutschland, <http://de.yahoo.com/>, letzter Zugriff 2002-12-01, 2002.
- [Yahoo Ed 2003] Yahoo Portal - Ausbildungsinhalte, [http://www.yahoo.com/Education/By\\_Subject/](http://www.yahoo.com/Education/By_Subject/), letzter Zugriff 2002-12-01, 2002.

## 9 Anhang

### 9.1 Verwendete Software zur Implementierung des Lernsystems

Name	URI und Beschreibung
Cocoon	<a href="http://cocoon.apache.org/">http://cocoon.apache.org/</a> Single Source Publishing Framework Cocoon
Cooktop	<a href="http://www.xmlcooktop.com/">http://www.xmlcooktop.com/</a> XML Editor
FOP	<a href="http://xml.apache.org/fop/">http://xml.apache.org/fop/</a> Formatting Objects Processor
JBoss	<a href="http://www.jboss.org/">http://www.jboss.org/</a> JBoss Applikationsserver
mySQL	<a href="http://www.mysql.com/">http://www.mysql.com/</a> mySQL Datenbank
mySQL JDBC Treiber	<a href="http://www.mysql.com/Downloads/Contrib/mm.mysql.jdbc-1.2c.tar.gz">http://www.mysql.com/Downloads/Contrib/mm.mysql.jdbc-1.2c.tar.gz</a> JDBC Treiber zum Zugriff auf mySQL Datenbanken
OpenWave SDK	<a href="http://developer.openwave.com/">http://developer.openwave.com/</a> Software Development Kit zur Emulation von Mobiltelefonen
Pollo	<a href="http://pollo.sourceforge.net/">http://pollo.sourceforge.net/</a> Java basierter XML-Editor für XML-Dokumente. Direkte Unterstützung von Cocoon 2 Sitemaps.
Tomcat	<a href="http://jakarta.apache.org/tomcat/">http://jakarta.apache.org/tomcat/</a> Servlet Engine Tomcat
Xalan	<a href="http://xml.apache.org/xalan/">http://xml.apache.org/xalan/</a> XML Parser Xalan
Xerces	<a href="http://xml.apache.org/xerces/">http://xml.apache.org/xerces/</a> XSL Processor Xerces
XMLSpy	<a href="http://www.altova.com/">http://www.altova.com/</a> XML Editor

### 9.2 Learning Objects Metadata (LOM)

In Abschnitt 9.2.1 wird eine grafische Darstellung der Gesamtstruktur des LOM Schemas gegeben. Da das Schema sehr umfangreich ist, wird die grafische Darstellung in zwei Teile aufgeteilt. Der erste Teil umfasst die Kategorien general, lifecycle, metameta und technical (siehe Abbildung 74). Der zweite Teil der Darstellung umfasst die Kategorien educational, rights, relation, annotation und classification (siehe Abbildung 75). In Abschnitt 9.2.2 wird eine formalisierte Darstellung des LOM Schemas in Form einer DTD gegeben. In Abschnitt 9.2.3 ist eine relationale Modellierung für das LOM Schema dargestellt.

9.2.1 LOM - Struktur

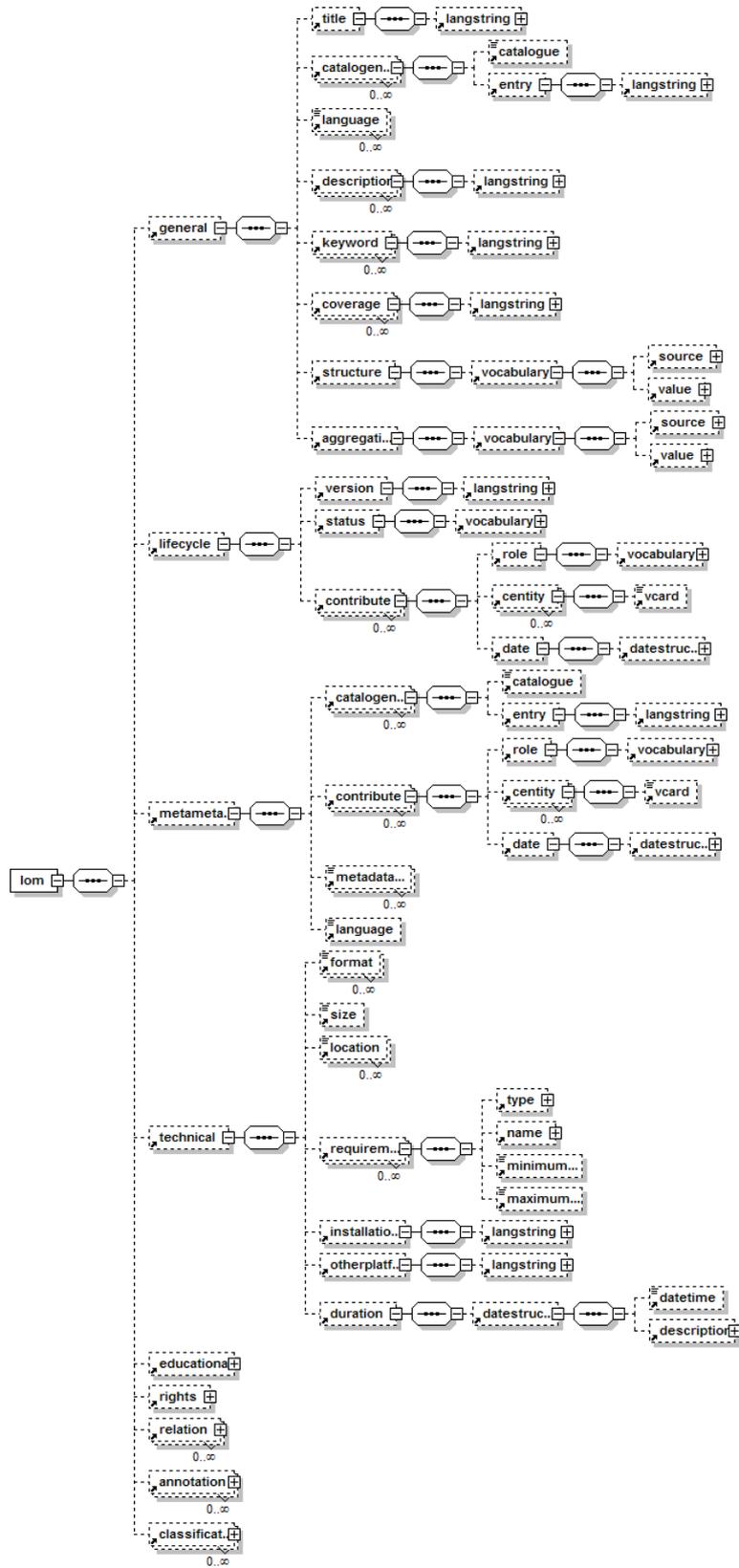


Abbildung 74: LOM Gesamtstruktur – Teil 1

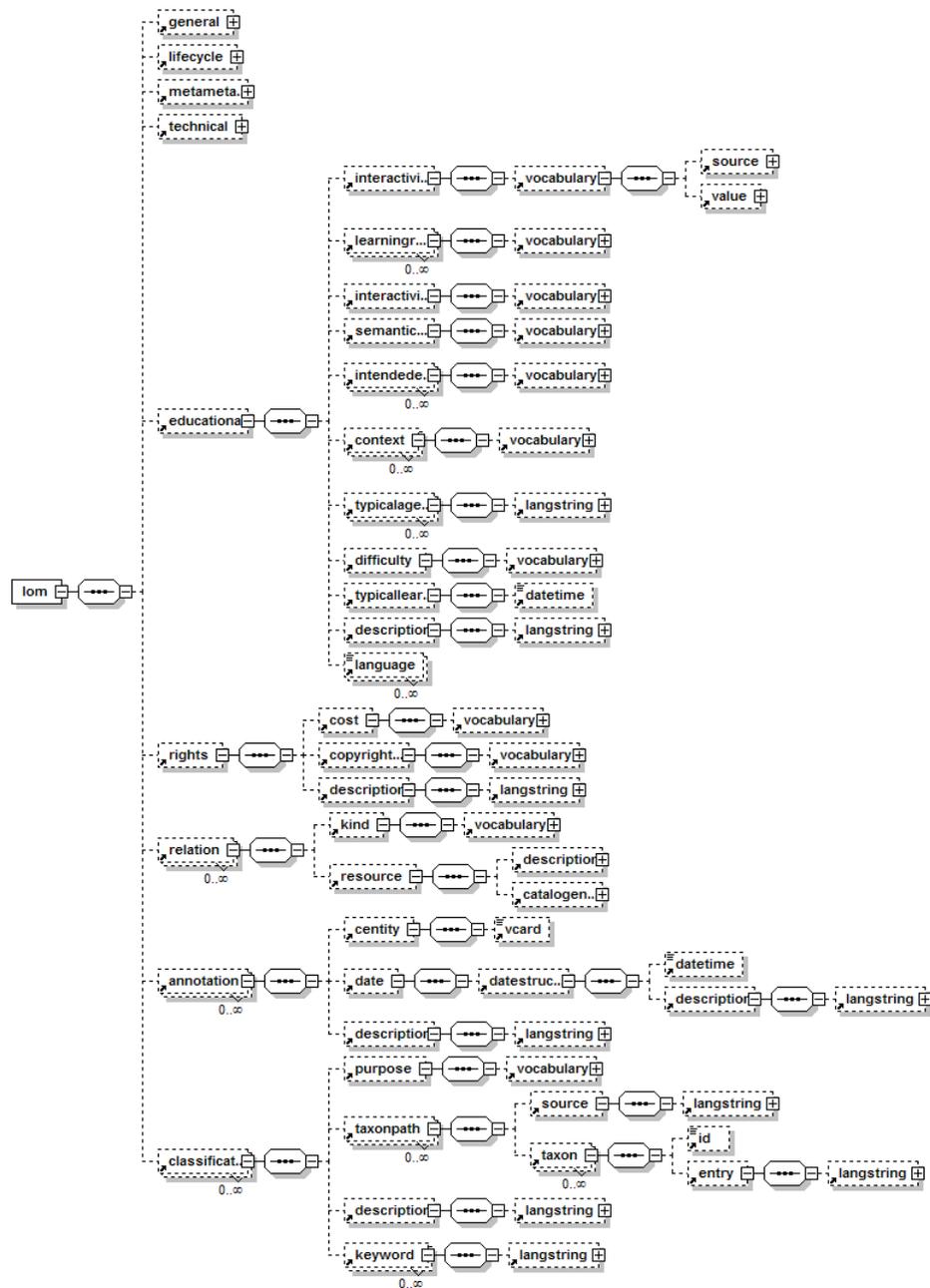


Abbildung 75: LOM Gesamtstruktur – Teil 2

### 9.2.2 LOM – DTD

```

<!ELEMENT lom (general?, lifecycle?, metametadata?, technical?, educational?, rights?,
relation*, annotation*, classification*)>
<!ELEMENT general (title?, catalogueentry*, language*, description*, keyword*, coverage*,
structure?, aggregationlevel?)>
<!ELEMENT title (langstring?)>
<!ELEMENT langstring (string*)>
<!ELEMENT string (#PCDATA)>
<!ATTLIST string
    xml:lang NMTOKEN #IMPLIED
>
<!ELEMENT catalogueentry (catalogue?, entry?)>
<!ELEMENT catalogue ANY>

```

---

```

<!ELEMENT entry (langstring?)>
<!ELEMENT language (#PCDATA)>
<!ELEMENT description (langstring?)>
<!ELEMENT keyword (langstring?)>
<!ELEMENT coverage (langstring?)>
<!ELEMENT structure (vocabulary?)>
<!ELEMENT vocabulary (source?, value?)>
<!ELEMENT source (langstring?)>
<!ELEMENT value (langstring?)>
<!ELEMENT aggregationlevel (vocabulary?)>
<!ELEMENT lifecycle (version?, status?, contribute*)>
<!ELEMENT version (langstring?)>
<!ELEMENT status (vocabulary?)>
<!ELEMENT contribute (role?, centity*, date?)>
<!ELEMENT role (vocabulary?)>
<!ELEMENT centity (vcard?)>
<!ELEMENT vcard ANY>
<!ELEMENT date (datestructure?)>
<!ELEMENT datestructure (datetime?, description?)>
<!ELEMENT datetime (#PCDATA)>
<!ELEMENT metametadata (catalogentry*, contribute*,metadatascheme*,language?)>
<!ELEMENT metadatascheme (#PCDATA)>
<!ELEMENT technical (format*, size?, location*, requirement*, installationremarks?,
otherplatformrequirements?, duration?)>
<!ELEMENT format (#PCDATA)>
<!ELEMENT size (#PCDATA)>
<!ELEMENT location ANY>
<!ATTLIST location
  type (URI | TEXT) "URI"
>
<!ELEMENT requirement (type?, name?, minimumversion?, maximumversion?)>
<!ELEMENT type (vocabulary?)>
<!ELEMENT name (vocabulary?)>
<!ELEMENT minimumversion ANY>
<!ELEMENT maximumversion ANY>
<!ELEMENT installationremarks (langstring?)>
<!ELEMENT otherplatformrequirements (langstring?)>
<!ELEMENT duration (datestructure?)>
<!ELEMENT educational (interactivitytype?, learningresourcetype*, interactivitylevel?,
semanticdensity?, intendedenduserrole*, context*, typicalagerange*, difficulty?,
typicallearningtime?, description?, language*)>
<!ELEMENT interactivitytype (vocabulary?)>
<!ELEMENT learningresourcetype (vocabulary?)>
<!ELEMENT interactivitylevel (vocabulary?)>
<!ELEMENT semanticdensity (vocabulary?)>
<!ELEMENT intendedenduserrole (vocabulary?)>
<!ELEMENT context (vocabulary?)>
<!ELEMENT typicalagerange (langstring?)>
<!ELEMENT difficulty (vocabulary?)>
<!ELEMENT typicallearningtime (datetime?)>
<!ELEMENT rights (cost?, copyrightandotherrestrictions?, description?)>
<!ELEMENT cost (vocabulary?)>
<!ELEMENT copyrightandotherrestrictions (vocabulary?)>
<!ELEMENT relation (kind?, resource?)>
<!ELEMENT kind (vocabulary?)>
<!ELEMENT resource (description?, catalogentry?)>
<!ELEMENT annotation (centity?, date?, description?)>
<!ELEMENT classification (purpose?, taxonpath*, description?, keyword*)>

```



```

<!-- LMML 10 OR Specifics Module ..... -->
<!-- file: LMML11-OR-spec-10.mod .....-->
<!--
  This is an adaption of LMML-CS to the specific needs of the project OR-World.
  http://www.or-world.com

  Please use this formal public identifier to identify it:
  "-//DE.or-world//DTD LMML-ORW 1.1//EN"
  Please use this formal system identifier to identify it:
  "LMML-ORW.dtd"
-->
<!--
  OR World Specifics
-->
<!--===== imported entities =====-->
<!-- from module LMML11-cmodel-10.mod -->
<!ENTITY % Incontentobject.class "#PCDATA">
<!ENTITY % Section.content "#PCDATA">
<!-- from module LMML11-metadata-10.mod -->
<!ENTITY % Moduleproperties.attrib "">
<!--===== ORW specific ContentModules =====-->
<!ELEMENT org_background (%Incontentobject.class;)*>
<!ATTLIST org_background
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!ELEMENT area_of_interest (%Incontentobject.class;)*>
<!ATTLIST area_of_interest
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!ELEMENT decision_problem (%Incontentobject.class;)*>
<!ATTLIST decision_problem
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!-- objectives could become LMML core element -->
<!ELEMENT objectives (%Incontentobject.class;)*>
<!ATTLIST objectives
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!--====ORW specific ContentModules: subclasses of ContentModule Exercise -->
<!ENTITY % Exercise.content "task, hint?, solution">
<!ELEMENT decision_var (%Exercise.content;)>
<!ATTLIST decision_var
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!-- hint could become LMML core element -->
<!ELEMENT hint (%Incontentobject.class;)*>
<!ELEMENT logical_var (%Exercise.content;)>
<!ATTLIST logical_var
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!ELEMENT obj_function (%Exercise.content;)>
<!ATTLIST obj_function
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!ELEMENT constraints (%Exercise.content;)>

```

```

<!ATTLIST constraints
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!ELEMENT csmod_solution (%Exercise.content);>
<!ATTLIST csmod_solution
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!--===== ORW specific StructureModules =====>
<!-- remark are for teachers only, thus use attribute audience='teachers' -->
<!ELEMENT casestudy (cs_verbal, cs_model, cs_solution, bibliography, objectives,
remark)>
<!ATTLIST casestudy
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!ELEMENT cs_verbal (org_background?, area_of_interest?, decision_problem,
illustration*)>
<!ATTLIST cs_verbal
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!ELEMENT cs_model (decision_var, logical_var?, obj_function, constraints,
csmod_solution)>
<!ATTLIST cs_model
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!--====Adaption Stephan Kassarke, 2001-11-15 =====>
<!--Definition was too broad, replace %Section.content by %Incontentobject.class >
<!ELEMENT cs_solution (%Incontentobject.class;)*>
<!--====End of Modification=====-->
<!ATTLIST cs_solution
  %Moduleproperties.attrib;
>
<!-- end of LMML11-OR-spec-10.mod -->

```

## 9.4 Kürzel zur Kennzeichnung von Sprachen (ISO 639)

Die International Organization for Standards (ISO) hat eine Liste von Sprachbezeichnern für die Repräsentation von Sprachen unter der Referenznummer ISO 639 herausgegeben. Die Ausgabe von 1988 wurde 1991 um weitere Sprachen erweitert (siehe [ISO639 1988] und [ISO639 1991]).

Zur weiteren Differenzierung können Suffixe nachgestellt werden, z. B. „en-GB“ für Britisches und „en-US“ für Amerikanisches Englisch (siehe hierzu [Cover 2001]).

Tabelle 12: ISO 639 Sprachcodes

Sprache	Language Name (English)	Sprache	Language Name (English)
aa	Afar	am	Amharic
ab	Abkhazian	ar	Arabic
ae	Avestan	as	Assamese
af	Afrikaans	ay	Aymara

Sprache	Language Name (English)	Sprache	Language Name (English)
az	Azerbaijani	fy	Frisian
ba	Bashkir	ga	Irish
be	Belarusian	gd	Gaelic; Scottish Gaelic
bg	Bulgarian	gl	Gallegan
bh	Bihari	gn	Guarani
bi	Bislama	gu	Gujarati
bn	Bengali	gv	Manx
bo	Tibetan	ha	Hausa
bo	Tibetan	he	Hebrew
br	Breton	hi	Hindi
bs	Bosnian	ho	Hiri Motu
ca	Catalan	hr	Croatian
ce	Chechen	hr	Croatian
ch	Chamorro	hu	Hungarian
co	Corsican	hy	Armenian
cs	Czech	hy	Armenian
cs	Czech	hz	Herero
cu	Church Slavic	ia	Interlingua (International Auxiliary Language Association)
cv	Chuvash	id	Indonesian
cy	Welsh	ie	Interlingue
cy	Welsh	ik	Inupiaq
da	Danish	is	Icelandic
de	German	is	Icelandic
dz	Dzongkha	it	Italian
el	Greek, Modern (1453-)	iu	Inuktitut
en	English	ja	Japanese
eo	Esperanto	jv	Javanese
es	Spanish; Castilian	ka	Georgian
et	Estonian	ka	Georgian
eu	Basque	ki	Kikuyu; Gikuyu
eu	Basque	kj	Kuanyama
fa	Persian	kk	Kazakh
fa	Persian	kl	Kalaallisut
fi	Finnish	km	Khmer
fj	Fijian	kn	Kannada
fo	Faroese	ko	Korean
fr	French	ks	Kashmiri
fr	French	ku	Kurdish

Sprache	Language Name (English)	Sprache	Language Name (English)
kv	Komi	or	Oriya
kw	Cornish	os	Ossetian; Ossetic
ky	Kirghiz	pa	Panjabi
la	Latin	pi	Pali
lb	Letzeburgesch	pl	Polish
ln	Lingala	ps	Pushto
lo	Lao	pt	Portuguese
lt	Lithuanian	qu	Quechua
lv	Latvian	rm	Raeto-Romance
mg	Malagasy	rn	Rundi
mh	Marshall	ro	Romanian
mi	Maori	ro	Romanian
mi	Maori	ru	Russian
mk	Macedonian	rw	Kinyarwanda
mk	Macedonian	sa	Sanskrit
ml	Malayalam	sc	Sardinian
mn	Mongolian	sd	Sindhi
mo	Moldavian	se	Northern Sami
mr	Marathi	sg	Sango
ms	Malay	si	Sinhalese
ms	Malay	sk	Slovak
mt	Maltese	sk	Slovak
my	Burmese	sl	Slovenian
my	Burmese	sm	Samoaan
na	Nauru	sn	Shona
nb	Norwegian Bokmål; Bokmål, Norwegian	so	Somali
nd	Ndebele, North	sq	Albanian
ne	Nepali	sq	Albanian
ng	Ndonga	sr	Serbian
nl	Dutch	sr	Serbian
nl	Dutch	ss	Swati
nn	Norwegian Nynorsk; Nynorsk, Norwegian	st	Sotho, Southern
no	Norwegian	su	Sundanese
nr	Ndebele, South	sv	Swedish
nv	Navajo	sw	Swahili
ny	Chichewa; Nyanja	ta	Tamil
oc	Occitan (post 1500); Provençal	te	Telugu
om	Oromo	tg	Tajik

<b>Sprache</b>	<b>Language Name (English)</b>	<b>Sprache</b>	<b>Language Name (English)</b>
th	Thai	uk	Ukrainian
ti	Tigrinya	ur	Urdu
tk	Turkmen	uz	Uzbek
tl	Tagalog	vi	Vietnamese
tn	Tswana	vo	Volapük
to	Tonga (Tonga Islands)	wo	Wolof
tr	Turkish	xh	Xhosa
ts	Tsonga	yi	Yiddish
tt	Tatar	yo	Yoruba
tw	Twi	za	Zhuang; Chuang
ty	Tahitian	zh	Chinese
ug	Uighur	zu	Zulu