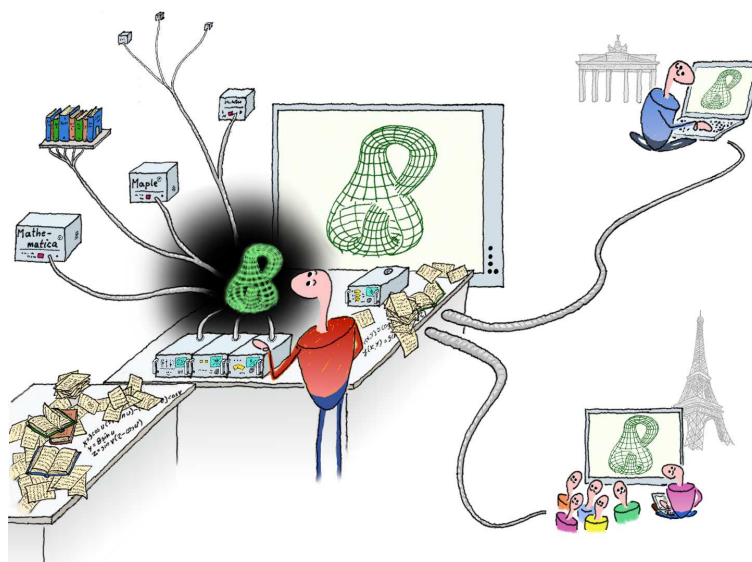


**Mathematik in Virtuellen Wissensräumen –
IuK-Strukturen und IT-Technologien in Lehre und Forschung**



vorgelegt von:

Dipl.-Phys. Sabina Jeschke
Berlin

Fakultät II – Mathematik und Naturwissenschaften
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN DR. RER. NAT.

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr. Christian Thomsen
Berichter/Gutachter: Prof. Dr. Ruedi Seiler
Berichter/Gutachter: Prof. Dr. Rainer Wüst
Berichter/Gutachter: Prof. Dr. Reinhard Keil-Slawik

Tag der wissenschaftlichen Aussprache:

16. April 2004

Berlin 2004

D 83



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	9
TEIL A: Mathematik im Informations- & Kommunikationszeitalter	15
1 Mathematisches Wissen & Mathematische Bildung im Wandel	15
1.1 Mathematik – Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts	16
1.2 Das Spannungsfeld von Mathematik und Gesellschaft	18
2 Mathematischer Kompetenz- und Wissensbegriff	21
2.1 Der mathematische Wissensbegriff	22
2.2 Die Wiederentdeckung des mathematischen Metawissens	25
2.3 Mathematische Forschung und Practice	27
2.4 Veränderungen des Lernprozesses in der Mathematikausbildung . . .	28
TEIL B: Multimediale Lehr-, Lern- & Forschungsszenarien	33
3 Das Potential Neuer Medien in der Bildung	33
3.1 Zeit- und Ortsunabhängigkeit	34
3.2 Individualisierung des Lernprozesses	36
3.3 Visualisierung	38
3.4 Experimentierszenarien	40
3.5 Informationsmanagement	42
3.6 Kommunikations- und Kooperationsmöglichkeiten	44
4 Multimediale Lehr- und Lernszenarien	47
4.1 Klassifikationsmodelle multimedialer Lehr- und Lernszenarien	48
4.2 Beispiele multimedialer Lehr- und Lernszenarien	51
4.2.1 Informationsplattformen	51
4.2.2 Web-basierte Wissens- und Materialbeschaffung	52

4.2.3	Multimediale Präsentationsumgebungen und -techniken	54
4.2.4	Multimediale Lehr- und Lernumgebungen	57
4.2.5	Einsatz von Applikationssoftware	60
4.2.6	Kommunikations- und Kooperationsumgebungen	65
5	Wissenschaftliche, institutionelle & soziale Herausforderungen	69
5.1	Semantische Formulierung mathematischer Sprache	70
5.2	Semantische Beschreibung von Bildern, Animationen & Simulationen	73
5.3	Strukturen von Wissensgebieten und ihren Inhalten	75
5.4	Integrationstechnologien	76
5.5	Mensch-Maschine-Schnittstellen	77
5.6	Nachhaltigkeit und institutionelle Integration	78
5.7	Barrierefreiheit	81
	TEIL C: Strukturen mathematischer Software für Lehre & Forschung	87
6	Ontologien – Strukturebenen mathematischer Inhalte	87
6.1	Problemstellung und Zielsetzung	88
6.2	Definition des Ontologie-Begriffes	90
6.3	Strukturebenen	93
6.3.1	Strukturebenen mathematischer Texte	93
6.3.2	Strukturebenen in anderen Fachdisziplinen	96
7	Taxonomische Strukturen der Mathematik	99
7.1	Taxonomische Modelle der Mathematik	100
7.1.1	Modell einer hierarchischen Taxonomie	100
7.1.2	Modell einer netzartigen Taxonomie	101
7.2	Modell einer Taxonomie für die Lineare Algebra	103
8	Multimediale Content-Szenarien	111
8.1	Strukturierungskonzepte	112
8.1.1	Einbettung mathematischer Inhalte in die Fach-Taxonomie .	112
8.1.2	Die Entitäten mathematischer Inhalte	113

8.1.3	Binnenstruktur der Entitäten	118
9	Multimediale Practice-Szenarien	125
9.1	Klassifikation mathematischer Problemstellungen	126
9.2	Strukturierungskonzepte	128
9.2.1	Einbettung mathematischer Problemstellungen in die Fach-Taxonomie	129
9.2.2	Die Entitäten mathematischer Problemstellungen	131
9.2.3	Binnenstruktur der Entitäten	134
9.2.4	Das Aufgabennetzwerk	136
9.3	Eingabe- und Validierungsverfahren mathematischer Problemstellungen	137
9.3.1	Eingabeverfahren	137
9.3.2	Validierungsverfahren	141
9.3.3	Anwendung auf verschiedene Aufgabentypen	143
9.3.4	Status und Ausblick	145
TEIL D:	Virtuelle Wissensräume für Mathematik & Naturwissenschaften	149
10	Die Mumie	149
10.1	Philosophie	150
10.2	Aufbau	157
10.2.1	Die Lernbereiche der Mumie	157
10.2.2	Der Eingangsbereich	159
10.2.3	Content-Szenario	162
10.2.3.1	Inhaltlicher Aufbau	162
10.2.3.2	Navigationssystem	164
10.2.3.3	Komposition von Kursen	166
10.2.4	Practice-Szenario	167
10.2.4.1	Didaktische Zielsetzung	167
10.2.4.2	Inhaltlicher Aufbau, Navigationssystem und Komposition von Übungseinheiten	169
10.2.5	Retrieval-Szenario	170

10.2.5.1	Wissensnetze	170
10.2.5.2	Aufbau und Navigationssystem	173
10.3	Technische Realisation	174
10.3.1	Application-Server-Technologie	175
10.3.2	Datenbank-Modell	179
10.3.3	User- und Rechtemanagement	181
10.3.4	L ^A T _E X-Konvertierung	184
10.3.5	Im- und Export von Fachinhalten	186
10.3.6	Applet-Factory	187
11	Das Multiverse-Konzept	193
11.1	Ziel und Konzept	194
11.1.1	Wissenschaftliche Ziele	194
11.1.2	Technologische Ziele	195
11.1.3	Die Multiverse-Matrix	197
11.1.4	Übersicht über die Multiverse-Gebiete	199
11.2	Die Multiverse-Gebiete	203
11.2.1	Digital Math Elements	203
11.2.2	Math-Science Labs	205
11.2.3	Kooperative Wissensräume	207
11.2.4	Infrastruktur & Architektur	210
11.2.5	Pädagogik & mathematische Kompetenz	212
11.2.6	Bologna-Aktivitäten	215
11.2.7	Usability & Mathematical Practice	217
11.2.8	Standards	219
TEIL E: Information & Kommunikation für Forschung & Lehre		223
12	IT-Technologien im universitären Umfeld	223
12.1	IT-Technologien in Lehre und Studienorganisation	224
12.1.1	Die erste Generation der eLearning-Technologie	224
12.1.2	“Next Generation” der eLearning-Technologie	225

12.1.3	Multimedia in der Veranstaltungs- und Studienorganisation	226
12.1.4	Notebook-Universitäten	226
12.1.5	Virtuelle Universitäten	226
12.1.6	Fazit, Trends und Tendenzen	227
12.2	IT-Technologien in der Forschung	228
12.2.1	IuK-Technologien im Informationsmanagement	228
12.2.2	Multimedialer Einsatz in Forschungsszenarien	229
12.2.3	Multimedia als Forschungsgegenstand	230
12.3	IuK in der Universitätsverwaltung	233
12.4	IuK in modernen Bibliotheks- und Informationsversorgungskonzepten	235
13	IuK-Strukturen für Universitäten	237
13.1	Hintergrund	238
13.1.1	Problemskizze	238
13.1.2	Herausforderungen & Ziele	243
13.1.3	Methodisches Vorgehen	246
13.2	Das IuK-Matrix-Modell	248
13.2.1	Die IuK-Matrix	248
13.2.2	Die Servicegruppen der IuK-Matrix	250
13.2.3	Die Zentren der IuK-Matrix	252
13.2.4	Die IuK-Organisationsstruktur – Organe, Gremien und Ent- scheidungsfindungsprozesse	258
13.2.5	Kooperation & Koordination zentraler und dezentraler IuK- Bereiche	261
13.2.6	Innovative Kooperationsmodelle	262
13.3	Umsetzungsmodell – ausgewählte Aspekte	264
13.3.1	Zeitplan	264
13.3.2	Partizipations- und Integrationsprozesse	268
13.3.3	Kompetenzentwicklung	269
14	Medienzentren für Lehre und Forschung	271
14.1	Hintergrund und Ausgangssituation	272

14.2	Leistungsschwerpunkte des Medienzentrums	274
14.2.1	Bereich “Service & Dienstleistungen”	275
14.2.2	Bereich “Forschung, Entwicklung & Lehre”	279
14.2.3	Bereich “Organisation & Management”	282
Literaturverzeichnis		285
Index		306

Einleitung

Inhaltliche Struktur

Mathematische Forschung wird durch die technologische Entwicklung unserer Gesellschaft, die sich insbesondere in der – revolutionär anmutenden – Steigerung mathematisch-numerischer Leistungsfähigkeit widerspiegelt, stark beeinflusst. Resultat ist ein Paradigmenwechsel in mathematischer Forschung ebenso wie in mathematischer Ausbildung: Neue Gebiete mathematischer Forschung und neue Wege mathematischer Forschungsmethodik entstehen, der intelligente und angemessene Einsatz der neuen Werkzeuge entlastet von aufwendigen Routine-Rechnungen, erfordert jedoch eine neuartige intellektuelle und mathematische Leistung. Der Einfluss der Neuen Technologien bewirkt damit eine Neudefinition des mathematischen Kompetenzbegriffes – und führt folgerichtig auf die Notwendigkeit von Veränderungen in der mathematischen Bildung und Ausbildung (**Teil A: Mathematik im Informations- & Kommunikationszeitalter**).

Gleichzeitig nimmt der multimediale Zugang zu Information und Bildung einen immer größeren Stellenwert in unserer Gesellschaft ein. Multimediale Lern- und Lehrformen – sog. eLearning oder eTeaching – und die Integration von IT-Technologien in die Unterrichtsszenarien haben das Potential, den Erwerb der notwendigen mathematischen Kompetenzen maßgeblich zu unterstützen. Sie ermöglichen neue Zugänge zu dem Wissensgebiet Mathematik, insbesondere durch Visualisierung abstrakter Konzepte, komplexe Darstellung vielfältig vernetzter Zusammenhänge und ihre Fähigkeit zu experimentellen Szenarien. Die Neuen Technologien sind also Ursache weitreichender Veränderungen in der Mathematik, und gleichzeitig Methode zur Bewältigung derselben (**Teil B: Multimediale Lehr-, Lern- & Forschungsszenarien**).

Dabei sind längst nicht alle Entwicklungen im Bereich des eLearning und eTeaching als gleichermaßen zielführend zu bewerten: viele der sog. “First-Generation”-Produkte und -szenarien unterstützen gerade nicht den eigentlichen Lern- und Verständnisprozess; vielmehr wird (fälschlicherweise) der Zugriff auf Wissensbestände mit der Aneignung von Wissen gleichgesetzt, sog. Lehrplattformen sind vielfach lediglich fachspezifische DokumentManagementCenter. Fehlende Granula-

rität und statische typographische Objekte – in Kombination mit monolithischem Softwaredesign – lassen eine Realisierung selbstgesteuerten, konstruktivistischen Lernens und (Er-)Forschens nicht zu, weil die Materialien nicht für freies Interagieren und Experimentieren zur Verfügung stehen: Strukturierung und Modularisierung sowohl der Inhalte (**Teil C: Strukturen mathematischer Software für Lehre & Forschung**) als auch der Software (**Teil D: Virtuelle Wissensräume für Mathematik & Naturwissenschaften**) werden zu einer zentralen Voraussetzung für die Entwicklung multimedialer Tools, die die Unterstützung aktiven, experimentellen Lernens und Forschens zum Ziel haben.

Schließlich sind Konzeption (neuer) didaktischer Modelle, Erforschung der inhaltlichen Strukturen, Entwicklung des Softwaredesigns und technologische Umsetzung wichtige und notwendige Voraussetzung für innovative multimediale Lernumgebungen, allein reichen sie allerdings nicht aus: der Einsatz von Multimedia in Forschung und Lehre stellt Voraussetzungen an die gesamte Informations- und Kommunikationsstruktur einer Universität (**Teil E: Information & Kommunikation für Forschung & Lehre**).

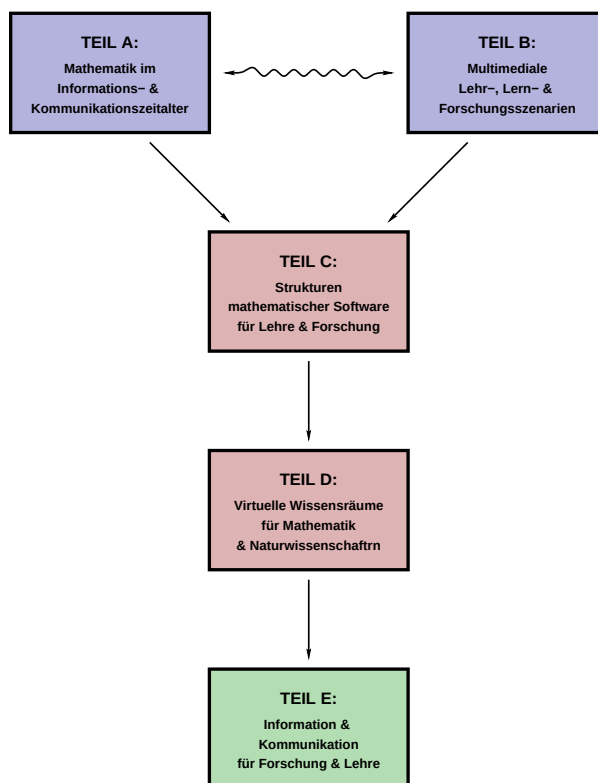


Abb. 1: Struktur der vorliegenden Arbeit

How to read ...

Die vorliegende Arbeit beleuchtet vielfältige, ausgewählte Aspekte dieses gesamten komplexen Themenkreises, die weitgehend in Form von “Essays” (Kapitel auf der Hauptebene) formuliert werden. Die daraus zwangsweise resultierenden kleineren Doppelungen wurden zugunsten besserer Lesbarkeit einzelner Themenkreise und stärkerer Modularität des Textes in Kauf genommen. Die einzelnen Kapitel sind den eingangs skizzierten Teilen A–E zugeordnet; sie werden jeweils durch ein Abstrakt anmoderiert, das den Inhalt zusammenfasst und die inhaltliche Struktur des jeweiligen Kapitels verdeutlicht.

Obwohl die Fragestellungen des Teils E sich nahtlos an die vorangegangenen Kapitel anschließen, kommt diesem Abschnitt im Rahmen dieser Arbeit eher die Bedeutung eines Anhangs zu: Hier werden (Forschungs-)Fragen diskutiert, die weniger naturwissenschaftlich-fachspezifischer Natur als vielmehr dem Bereich Organisation und Management zuzuordnen sind.

TEIL A

Kapitel 1

Mathematisches Wissen & Mathematische Bildung im Wandel

Wir diskutieren die Rolle der Mathematik vor dem Hintergrund des gesellschaftlichen Wandels von einer Industrie- zu einer Wissensgesellschaft.

Dabei versuchen wir, ein “kulturelles Paradox” ([Enz98]) zu verdeutlichen:

Einerseits kommt der Mathematik in allen gesellschaftlichen Bereichen eine herausragend Bedeutung als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts zu (Kap. 1.1).

Andererseits hat sich die Bedeutung von Mathematik weiten Teilen der Bevölkerung noch nicht erschlossen, ihre gesellschaftlicher Nutzung wird ignoriert (Kap. 1.2).

1.1 Mathematik – Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts

Moderne Technologien bestimmen die weltweit rasant verlaufende Entwicklung von einer Industrie- zu einer Wissensgesellschaft. Ihre weitreichenden Anwendungen schaffen neue Möglichkeiten, sie verändern Arbeitsprozesse und damit Kompetenzen und Anforderungsprofile. Die resultierenden Konsequenzen werden zu einer zentralen Herausforderung für die Gesellschaft.

Unter den “scientific key technologies” des Information- und Kommunikations-Zeitalters kommt der Mathematik in mehrfacher Hinsicht eine besondere Bedeutung zu:

- **Technologische Bedeutung:**
Hochentwickelte Computeralgebra- und Softwarepakete führen in der angewandten Mathematik zu einer Revolution in mathematischer Modellierung, Simulation und Visualisierung komplexer Abläufe in Natur- und Ingenieurwissenschaften.
- **Wirtschaftliche Bedeutung:**
Mathematik steuert – als zentrale Basis-Technologie aller angewandten technischen und naturwissenschaftlichen Forschung – aktiv die wirtschaftliche Entwicklung unserer modernen Gesellschaften.
- **Gesellschaftliche Bedeutung:**
Computer und Alltagselektronik – vom Bankautomaten bis hin zum Mobiltelefon – sind ohne die grundlegenden Erkenntnisse aus Mathematik, Physik und Informatik in ihrer heutigen Form undenkbar und beherrschen Berufs- und Privatleben in zunehmendem Maße.
- **Politische Bedeutung:**
Politische Entscheidungen in einer hochtechnisierten Gesellschaft verlangen immer mehr mathematische, naturwissenschaftliche und technische Beurteilungsgrundlagen: Mathematisch-naturwissenschaftlich-technische “Literacy” wird die zentrale Voraussetzung für demokratische Partizipation und für die Akzeptanz politischer Entscheidungen.

Wenngleich Mathematik stets eine zentrale Rolle unter den Wissenschaften gespielt hat, so wird doch deutlich, dass die Bedeutung der Mathematik unter dem Einfluss von Informations- und Kommunikationstechnologien nochmals gestiegen ist.

Gleichzeitig hat die Entwicklung der Neuen Technologien auch die Mathematik als Disziplin und ihr Außenverhältnis beeinflusst und verändert:

- **Qualitative Veränderung der “Disziplin” Mathematik:**

Mathematik wird zusätzlich als “experimentelle Disziplin” betrieben; die Bewertung mathematischer Erkenntnisse befindet sich im Umbruch (vergl. [Jes04i]), der mathematische Wissensbegriff muss (wieder) erweitert werden (s. Kap. 2.3, 2.2).

- **Neudefinition des mathematischen Kompetenzbegriffes:**

Steigerung mathematischer Leistungsfähigkeit und Erweiterung ihrer Anwendungen erfordern “neue” mathematische Kompetenzen (für immer größere Teile der Bevölkerung); daraus resultieren weitreichende Konsequenzen für die Mathematikausbildung (s. Kap. 2.1).

- **Erweiterung des Anwendungsbereiches von Mathematik:**

Die Anwendungsmöglichkeiten mathematischen Wissens und mathematischer Technologien haben sich wesentlich erweitert; damit steigt auch der Einfluss von Mathematik auf das gesellschaftliche Umfeld, da immer mehr Gebiete und Bereiche dem Einfluss dieser Entwicklungen unterliegen.

Interdisziplinäre Fragestellungen und Kooperationen nehmen einen immer zentraleren Raum ein, und damit werden interdisziplinäres Kommunikationsvermögen und Teamfähigkeit zu einer zentralen Voraussetzung erfolgreicher mathematischer Practice (s. Kap. 2.3, 2.4).

Der Mathematik kommt zum Beginn des 21. Jahrhunderts in allen gesellschaftlichen Bereichen eine Schlüsselrolle zu, die sich aber weiten Teilen der Bevölkerung noch nicht erschlossen hat. Das volle Ausmaß der resultierenden Konsequenzen zeichnet sich nur langsam ab. Notwendige Veränderungen werden zusätzlich erschwert durch ein ambivalentes Verhältnis von breiten Schichten der Gesellschaft zur Mathematik (s. Kap. 1.2).

1.2 Das Spannungsfeld von Mathematik und Gesellschaft

In der von modernen Technologien bestimmten Entwicklung von einer Industrie- zur Wissensgesellschaft werden Kompetenzen in Mathematik, Naturwissenschaften und Technik mehr und mehr zu Schlüsselqualifikationen im Berufs- und Alltagsleben. Die immer wichtiger werdende Rolle von Mathematikern und Naturwissenschaftlern in Bereichen wie Wirtschaft, Politik und Kultur zeigt, dass die bei der Beschäftigung mit diesen Disziplinen erworbenen Sichtweisen und Qualifikationen nicht allein in technischen Berufsbereichen wichtig sind, sondern von grundlegender Bedeutung für alle Bereiche der Gesellschaft.

Dem gegenüber steht, dass sich heute nur ein sehr kleiner Teil der Bevölkerung mit Mathematik und Naturwissenschaften auseinandersetzt – zwar ist der *praktisch-technische Nutzen* der Mathematik unbestritten, ihre *kulturelle* und *gesamt-gesellschaftliche Bedeutung* hingegen wird ignoriert.

Dass nicht nur “die Betroffenen”, die Naturwissenschaftler also, dieser Ansicht sind, machte der vielbeachtete Artikel des politischen Poeten Hans Magnus Enzensberger (“Zugbrücke außer Betrieb – Die Mathematik im Jenseits der Kultur”; FAZ, 29.08.1998, [Enz98]) deutlich:

...denn noch nie hat es eine Zivilisation gegeben, die bis in den Alltag hinein derart von mathematischen Methoden durchdrungen und derart von ihnen abhängig war wie die unsrige. Das kulturelle Paradox, mit dem wir es zu tun haben, ließe sich noch weiter zuspitzen. Man kann nämlich mit gutem Grund der Ansicht sein, dass wir in einem goldenen Zeitalter der Mathematik leben. Jedenfalls sind die zeitgenössischen Leistungen auf diesem Feld sensationell.

Umso problematischer ist damit die Tatsache, dass viele Menschen eine Haltung gegenüber den Naturwissenschaften aufgebaut haben, die von Desinteresse bis hin zu grenzenloser Abneigung reicht. Selbst unter gebildeten Erwachsenen ist das Kokettieren mit nicht-vorhandenen mathematisch-naturwissenschaftlichen Kenntnissen weit verbreitet; Enzensberger hierzu:

Es sind immer die gleichen Töne: “Hören Sie auf! Mit Mathematik können Sie mich jagen.” - “Eine Qual, schon in der Schule.” - “Ein Alptraum! Völlig unbegabt, wie ich nun mal bin.” ...
Durchaus intelligente, gebildete Leute bringen sie routiniert vor, mit einer sonderbaren Mischung aus Trotz und Stolz. Sie erwarten verständnisvolle Zuhörer, und an denen fehlt es nicht. Ein allgemeiner Konsens hat sich herausgebildet, der stillschweigend, aber massiv die Haltung zur Mathematik bestimmt.

Es fehlt das Bewusstsein für Wichtigkeit und Bedeutung naturwissenschaftlicher Bildung und insbesondere die Erkenntnis, dass gerade die naturwissenschaftliche Bildung nicht nur für das Verständnis konkreter technischer Fragestellungen, sondern auch für die Befähigung zur Abstraktion und zum Verständnis komplexer Strukturen von elementarer Bedeutung ist.

Die Stellung von Mathematik und Naturwissenschaften haben in der Kulturgeschichte der Menschheit einen massiven Wandel erfahren: Betrachtet man etwa die antiken Völker, so genossen diese Disziplinen (und ihre Kundigen) stets große Anerkennung. Auch in Deutschland waren Mathematik und Naturwissenschaften bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts gesellschaftlich überaus anerkannt, von deutschen Naturwissenschaftlern gingen zahlreiche bahnbrechende Impulse aus.

In seiner heutigen Haltung ist Deutschland in Europa isoliert: In den europäischen Nachbarländern Deutschlands und in den Ländern Mittel- und Osteuropas nehmen die Naturwissenschaften eine viel anerkanntere Rolle ein. Die Niederlande und die skandinavischen Staaten gelten als besonders engagiert in der Popularisierung von Mathematik und Naturwissenschaften; in Ungarn, Italien und Israel sind diese Disziplinen eine traditionelle Hochburg. Die französische Gesellschaft zeigt besonders eindrücklich, dass die naturwissenschaftlich ausgebildeten Akademiker nicht notwendigerweise von der Gesellschaft unverstandene Spezialisten sein müssen; vielmehr wird ein naturwissenschaftlicher Abschluss als Schlüsselqualifikation, sogar als Voraussetzung für viele politisch und gesellschaftlich bedeutende Positionen verstanden.

Bildung in einer demokratischen Gesellschaft ist die Grundlage dafür, dass alle Staatsbürger an demokratischen Prozessen teilhaben und politische Vorgänge und Entscheidungen autonom und kompetent beurteilen können. Voraussetzung für Demokratiekompetenz ist deshalb heute ein verallgemeinerter, um die Befähigung zu kritischem Beurteilungsvermögen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Fragestellungen und Argumentationen erweiterter Allgemeinbildungsbegriff, da die wesentlichen Entscheidungen in einer mathematisierten und technisierten Gesellschaft für Bürger ohne diese "Literacy" nicht verständlich sind und ihnen von Experten abgenommen werden. Damit sind fehlende Kenntnisse und/oder mangelndes Interesse eben nicht nur ein "Karrierehemmnis" des einzelnen, sondern schlussendlich auch eine Barriere für eine funktionierende Demokratie.

Kapitel 2

Mathematischer Kompetenz- und Wissensbegriff

Die Neuen Technologien sind zugleich Mittel zum Betreiben mathematischer Forschung und Medium des Technologie- und Wissenstransfers aus der Mathematik.

Wir setzen uns vor diesem Hintergrund zunächst mit der Re-Definition des mathematischen Wissensbegriffes auseinander (Kap. 2.1) und sehen, dass der Wandel der Gesellschaft zu einer “Wiederentdeckung” des mathematischen Metawissens führt (Kap. 2.2).

Unter den Einfluss der Neuen Medien verändern sich mathematische Forschung und Practice (Kap. 2.3) ebenso wie die mathematische Ausbildung (Kap. 2.4).

2.1 Der mathematische Wissensbegriff

Der Einfluss der Neuen Technologien hat maßgeblich zur Diskussion um eine komplette Neudefinition des mathematischen Kompetenz-¹ und Wissensbegriffes (“Mathematical Literacy”) beigetragen (vergl. auch Kap. 2.2).

Zunehmend setzt sich die Erkenntnis durch, dass sich mathematische Kompetenz vielmehr in konzeptuellem Verständnis der Mathematik zeigt und weniger in bloßem Faktenwissen und der Beherrschung von Rechentechniken.

Unter anderem wird deutlich, daß der Wert mathematischer Bildung nicht allein in den zu lernenden mathematischen Inhalten, sondern vor allem auch in den vermittelten Denktechniken liegt, deren Anwendungsmöglichkeiten den Rahmen der Mathematik weit übersteigen.

Obwohl – vor dem Hintergrund von zunehmender Internationalisierung und Globalisierung – in vielen Fragen von Bildung und Ausbildung gewisse Vereinheitlichungstendenzen zu beobachten ist (als Beispiel sei hier der sog. “Bologna-Prozess” erwähnt), so spielen bei diesem Prozess der Kompetenzfindung tradierte Vorstellungen, kulturelle Besonderheiten und nationalstaatliche Interessen eine zentrale Rolle. Diese Unterschiede spiegeln sich insbesondere in der individuellen Gewichtung zwischen “Praxisnähe/Pragmatismus” einerseits versus “theoretischer Fundierung/Schule des Denkens” andererseits sowie in der zugrundegelegten Rollenverteilung zwischen den am Lernprozess Beteiligten wider.

Als Resultat dessen existieren heute diverse Klassifikationsversuche und Quasistandards (innerhalb Deutschlands, innerhalb Europas, weltweit). Als Grundlage unserer Arbeiten werden wir einen der weitestgehenden und anspruchsvollsten Definitionsansätze des mathematischen Kompetenzbegriffes vorstellen und verwenden, der sich stark an der Arbeit von Niss und Jensen ([Nis02], Roskilde/Dänemark) orientiert und im Auftrag des dänischen “Ministry of Education” 2002 entwickelt wurde. Diese Beschreibung benutzt verschiedene andere Vorarbeiten, diverse amerikanische Veröffentlichungen und insbesondere die NCTM-Standards, formuliert sie jedoch umfassender und anspruchsvoller.

Niss und Jensen definieren mathematische Kompetenz durch die folgenden acht Fähigkeiten: Beherrschung der Grundlagen mathematischen Denkens, Fähigkeit mathematischen Argumentierens, Beherrschung des mathematischen Formalismus, sicherer Umgang mit den mathematischen Objekten/Methoden und ihren (unterschiedlichen) Darstellungen, Kommunikationsvermögen in, mit und über Mathematik, Fähigkeit zu Formulierung und Lösung mathematischer Fragestellungen, Fähigkeit zu mathematischer Modellbildung (im Sachkontext), kompetenter Einsatz Neuer Technologien.

¹Abstrakt umfasst der Begriff “Kompetenzen” alle Prozesse, Aktivitäten und Verhaltensweisen mentaler oder körperlicher Natur. Hier wird der Begriff “Kompetenz” als Oberbegriff für Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Urteilsfähigkeit benutzt.

Darunter wird im einzelnen verstanden:

- **Beherrschung der Grundlagen mathematischen Denkens:**
Abstraktion und Anwendung, Generalisierung und Spezialisierung, Charakteristika verschiedener Klassen mathematischer Aussagen, Mächtigkeit und Grenzen mathematischer Konzepte
- **Fähigkeit mathematischen Argumentierens:**
mathematisch korrektes Folgern, mathematische Beweisführung, Beurteilung mathematischer Argumentationsketten, Abgrenzung heuristischer Schlussfolgerungen gegenüber mathematischen Argumentationsführungen, Überführung heuristischer Schlussfolgerungen in mathematische Argumentationsketten, Bestimmung von Prioritäten in Argumentationsketten (Ermittlung der Kernidee, Abgrenzung zu technischen Argumentationsteilen)
- **Beherrschung des mathematischen Formalismus:**
korrekte Interpretation mathematischer Symbole und Formalismen, Kenntnis der mathematischen Sprache bezüglich ihrer Regeln (Syntax), Kenntnis der mathematischen Sprache bezüglich ihrer Bedeutung und ihrer Relationen (Semantik), Kenntnis des Verhältnisses zu natursprachlicher Darstellung, selbständige Verwendung und Manipulation mathematischer Symbole und Formalismen
- **Sicherer Umgang mit den mathematischen Objekten/Methoden:**
Kenntnis unterschiedlicher Darstellungen mathematischer Objekte und Methoden, Kenntnis der Stärken und Schwächen unterschiedlicher Darstellungen, kontextabhängige Auswahl und Wechsel zwischen unterschiedlichen Darstellungen
- **Kommunikationsvermögen in, mit und über Mathematik:**
Verstehen geschriebener oder gesprochener Texte mathematischen Inhalts (bei linguistischer Vielfalt), selbständiges Formulieren mathematischer Inhalte (auf unterschiedlichen Levels theoretischer oder technischer Präzision), Rückübertragung aus der Sprache der Mathematik in die Sprache der Anwendung
- **Fähigkeit zu Formulierung und Lösung mathematischer Fragestellungen:**
Identifizieren von (verschiedenen Typen von) mathematischen Problemen, Spezifizieren und Formulieren der mathematischen Fragestellung, kompetente Anwendung verschiedener Problemlösungsstrategien, Lösen des mathematischen Problems (ggf. auch auf verschiedene Weisen), Einbettung der Lösung in den Kontext
- **Fähigkeit zu mathematischer Modellbildung (im Sachkontext):**
Analyse des mathematischen Problems als Vorbereitung für die Modellbildung, Analyse existierender Modelle (Grundlagen, Eigenschaften, Gültigkeits-

bereich), Decodieren existierender Modelle (Ermittlung der dem Modell zugrundeliegenden “realen” Situation, Anwendungs- und Erweiterungsmöglichkeiten), eigenständige Entwicklung mathematischer Modelle in verschiedenen Kontexten, Kontrolle des Modellierungsprozesses, Interpretation angewandter Modelle inner- und außerhalb der Mathematik, Rückführung der mathematischen Lösung in das Anwendungsproblem

- **Kompetenter Einsatz Neuer Technologien:**

Kenntnis der Eigenschaften und Möglichkeiten der verschiedenen Tools, Kenntnis der Grenzen und Beschränkungen, kontextspezifische Auswahl, reflektierte Nutzung, kompetente Ergebniskontrolle

Die Implementierung dieser (oder einer vergleichbar breiten und anspruchsvollen) Definition mathematischer Kompetenz als Grundlage in Bildung und Ausbildung führt darüber hinaus zur Vermittlung einer “Metakompetenz”, nämlich zu einem fundierten Verständnis der Gesamtrolle der Mathematik für Individuum und Gesellschaft:

- **Verständnis von Potential und Macht der Mathematik**
- **Verständnis von Mathematik als Kulturgut**
- **Verständnis von Mathematik für Gesellschaft und Demokratie**

Die Veränderung des mathematischen Kompetenzbegriffes führt zur Notwendigkeit gesellschaftlicher Veränderungen, und dies insbesondere hinsichtlich der Bildungs- und Ausbildungsszenarien moderner Industriestaaten. Die Bedeutung von Mathematik als Schlüsseltechnologie wird zunehmend offensichtlich, die damit einhergehende notwendigen Reformen in Bildungs- und Wissenschaftssystem befinden sich jedoch erst in der Umsetzung.

2.2 Die Wiederentdeckung des mathematischen Metawissens

Die letzten Generalisten, die das zu ihrer Zeit bekannte mathematische Wissen noch “vollständig” überblickten und beherrschten, waren vermutlich Hilbert, Weyl und von Neumann. Das “Aussterben des mathematischen Generalistentums” zeichnete sich bereits beim Übergang vom 19. ins 20. Jahrhundert ab; die Jahrhundertwende stellt somit eine wichtige Zäsur in der Geschichte der Mathematik und in der Produktion und Vermittlung mathematischen Wissens dar.

Als Wissenschaft erlebt die Mathematik im gesamten 20. (und beginnenden 21.) Jahrhundert eine Hochblüte (vergl. [Ham78]), Keith Devlin spricht von einem “Neuen Goldenen Zeitalter” ([Dev92]): zentrale Erkenntnisse in den Naturwissenschaften, etwa die Quantenmechanik oder die Allgemeine Relativitätstheorie, haben das Weltbild revolutioniert, industrieller und technologischer Fortschritt sind durch die grundlegenden Erkenntnisse aus Mathematik geprägt und wären ohne sie nicht denkbar.

Die rasante Entwicklung mathematischer Theorien, Methoden und Anwendungen, der *quantitative* Wissenszuwachs also, bewirkt jedoch weitreichende *qualitative Veränderungen* für die Disziplin Mathematik und ihre Community: Zunehmende Wissensmenge und steigende Komplexität mathematischen Wissens führen zu einer Segmentierung des Fachs und zu fortschreitender Spezialisierung seiner Wissenschaftler.

Alle Naturwissenschaften müssen mit einer solchen Leistungssteigerung umgehen: So sehr aber der beschleunigte Zuwachs mathematischer Leistungen zu bewundern ist, so wenig kann – gerade aus fachlicher Sicht – die Desintegration der Einheit des Fachs wünschenswert sein. Denn fehlende Einsicht in Zusammenhänge zwischen Teilgebieten und Einzelresultaten und mangelnde Übersicht über das “Gesamte” stellen gerade die Grenzen für die Anwendung mathematischer Erkenntnisse dar.

Dieses Problem ist nicht neu. In Teilen der mathematischen scientific community existiert inzwischen ein klares Bewusstsein für diese Problematik und auch die grundsätzliche Erkenntnis, dass Wege aus diesem Dilemma gefunden werden müssen: Der mathematische Wissensbegriff muss wieder erweitert werden, Übersicht über die Mathematik als Ganzes und das Wissen über die Zusammenhänge müssen stärker bewertet werden. – Gleichzeitig darf damit nicht wissenschaftliche Detaillierung geschmälert und als “Fachidiotentum” herabgesetzt werden.

Der Einfluss der Neuen Technologien hat diese Diskussion wieder entfacht, damit die öffentliche Debatte um die Erweiterung des mathematischen Wissens- und Kompetenzbegriffs intensiviert und sie gleichzeitig inhaltlich verbreitert:

Einerseits halten die erweiterten, teilweise sogar grundlegend neuen Anwendungsmöglichkeiten der Mathematik Einzug in die verschiedensten Fachdisziplinen: die notwendige Kompetenz und der zugrundeliegende Kompetenzbegriff der *Anwen-*

der von Mathematik wird zu einer zentralen Frage.

Andererseits nehmen interdisziplinäre Fragestellungen und fachübergreifende Kooperationen einen immer zentraleren Raum ein: Kommunikationsfähigkeit und qualifizierter Umgang mit fachfremdem Wissen von *Mathematikern* wird zu einer zentralen Voraussetzung produktiver Nutzung mathematischen Wissens.

Die skizzierten Entwicklungen spiegeln sich in jüngster Zeit in der Diskussion um mathematische Bildung wider. Zunehmend setzt sich zudem die Erkenntnis durch, dass mathematisches Metawissen nicht nur Verständnisgrundlage konkreter mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Fragestellungen ist, sondern zu einer zentralen Voraussetzung für demokratische Entscheidungen wird. So beansprucht beispielsweise das *Programme for International Student Assessment* (PISA) der OECD in dem Testteil zur “Mathematical Literacy” diejenigen mathematischen Kenntnisse unter den 15-Jährigen zu testen, die eine Partizipation in demokratischen Entscheidungsprozessen ermöglichen:

“Mathematische Grundbildung wird als die Fähigkeit einer Person definiert, die Rolle zu erkennen und zu verstehen, die die Mathematik in der Welt spielt, fundierte mathematische Urteile abzugeben und sich auf eine Weise mit der Mathematik zu befassen, die den Anforderungen des gegenwärtigen und künftigen Lebens dieser Person als konstruktivem, engagierten und reflektierendem Bürger entspricht” (Baumert et al., 2002)

Die Neuen Technologien haben die Notwendigkeit der Re-Definition mathematischer Kompetenzbegriffe jedoch nicht nur intensiviert und verschärft; sie bieten zugleich neue Einsichten in Kommunikations-, Vermittlungs- und Darstellungsprozesse und zeigen damit auch Möglichkeiten zu einer positiven Veränderung der Situation auf. Ihre Doppelnatur begründet sich daraus, dass sie einerseits Mittel zum Betreiben mathematischer Forschung (Wissensproduktion, Wissensgeneration) sind, andererseits gleichzeitig Medium des Technologie- und Wissenstransfers aus der Mathematik.

2.3 Mathematische Forschung und Practice

Die Neuen Technologien haben Rückwirkungen auf die Mathematik selbst:

Neben den traditionellen Disziplinen der angewandten Mathematik entstehen neue Teilgebiete und Forschungsrichtungen, die erst durch die Leistungsfähigkeit moderner Computer-Prozessoren möglich geworden sind.

Der Einfluss von Informations- und Kommunikationstechnologien erlaubt die Erforschung der Mathematik mit Methoden, die bisher den experimentellen Wissenschaftsrichtungen vorbehalten waren: Nicht allein aus Ideen und Theorien fließen neue Erkenntnisse und Erklärungen, sondern auch aus der experimentellen Gestaltung und dem instrumentellen Eingriff – der generierende, schöpferische Charakter des Experiments spielt in den Wissenschaften eine bedeutende Rolle.

Auch wenn die theoretische Klärung der Übereinstimmung zwischen mathematischem Modell einerseits und der Realität andererseits sowie deren Gründe und Grenzen oft ausstehen – der Einsatz moderner mathematischer Software erlaubt den Entwurf numerischer Verfahren, die das Verhalten wirklicher Phänomene erstaunlich gut abbilden, und diese Verfahren finden praktische Anwendung (vergl. [Boo90]).

Die deskriptive Phänomenseite gewinnt an Bedeutung gegenüber der traditionell gepflegten, erklärenden Theorieseite: Vergleichbar mit den großen naturwissenschaftlichen Disziplinen wird nun auch die Mathematik als theoretische *und* experimentelle Disziplin betrieben.

Interdisziplinäre Fragestellungen und Kooperationen nehmen einen immer wichtigeren Raum ein, und damit spielen auch interdisziplinäres Kommunikationsvermögen und Teamfähigkeit eine wichtigere Rolle. Die vielzitierten “Soft skills”, neben den kommunikativen und kooperativen insbesondere Kreativität, Innovationsfähigkeit, ganzheitliches Denkvermögen und fortwährende Lernbereitschaft werden zu einer zentralen Voraussetzung erfolgreicher mathematischer Practice.

Schließlich verändert sich die Bewertung mathematischer Erkenntnisse: Zählten noch im letzten Jahrhundert nur diejenigen mathematischen Resultate, die auch analytisch beweisbar waren, gibt es inzwischen eine zunehmende Bereitschaft innerhalb der mathematischen scientific community, auch Ergebnisse und Verfahren anzuerkennen, die zwar nicht mehr der gewohnten sicheren mathematisch-wissenschaftlichen Kontrolle unterliegen, die sich aber in der Praxis bewähren. In besonderem Maße gilt dies für die Teildisziplinen der Numerik, des Scientific Computing sowie der Visualisierung. Der steigende Anteil interdisziplinärer Kooperationen verstärkt diese Tendenz, weil in den Partnerdisziplinen ohnehin ein i.a. weniger strikter “Wahrheitsbegriff” gilt.

2.4 Veränderungen des Lernprozesses in der Mathematikausbildung

Die Diskussion um verschiedene Unterrichtsstile und -methodiken inklusive der Rolle von Lehrenden und Lernenden innerhalb dieser Szenarien sind so alt wie die Menschheit selber – und die Meinungen dazu ebenso vielfältig.

Wir wollen hier lediglich kurz beleuchten, welche Ursachen eigentlich zur Notwendigkeit von Veränderungen im Lernprozess – und damit in Lehr- und Lernszenarien – führen:

- **Veränderung des mathematischen Kompetenzbegriffs:**

Im Fokus des “neuen” mathematischen Kompetenzbegriffes (s. Kap. 2.1) steht die Entwicklung von Verständnis, Kenntnis der Zusammenhänge und eigenständiger Einsichten. Dies erfordert die Konzeption und den Einsatz von Lehr- und Lernmodellen, in denen die aktive, eigenständige Auseinandersetzung mit der Materie, die Einbettung mathematischer Modelle in ihren realen Kontext, die Unterstützung des nicht-linearen Lernprozesses und der kooperative und kommunikative Umgang im Vordergrund stehen muss.

- **Wissenszuwachs und Kurzlebigkeit von Wissen im IuK-Zeitalter:**

Durch den rasanten Wissenszuwachs insbesondere in Mathematik, Naturwissenschaften und Informationstechnologie sowie durch die Kurzlebigkeit von Wissen vieler insbesondere technikgetriebener Bereiche erweist sich das klassische “knowledge at disposal” (Lernen auf Vorrat) als alleiniges Lernmodell als nicht mehr zeitgemäß; wegen der enormen Wissensmenge auch vielfach als nicht mehr praktikabel. Lehr- und Lernmethoden und -techniken müssen auf den notwendigen Prozess des “Lebenslangen Lernens” (LLL) vorbereiten und ihn langfristig unterstützen. Die Förderung von Eigeninitiative, Flexibilität und Neugierde spielt dabei eine zentrale Rolle.

- **Bedeutung der “social skills”:**

Die zunehmende Interdisziplinarität, Internationalisierung und Globalisierung führt zu einer Neubewertung sozialer Kompetenzen. Unter den sog. “social skills” sind hier besonders Teamfähigkeit, Kreativität, Innovationsfähigkeit, ganzheitliches Denkvermögen und fortwährende Lernbereitschaft hervorzuheben. Die Vermittlung dieser sozialen Kompetenzen muss als Teil der Unterrichtsmethodik begriffen und umgesetzt werden. Gleichzeitig sind diese “social skills” bereits Bestandteil des Lernprozesses selbst: Lernen ist ein sozialer Prozess, der entscheidend durch die Möglichkeiten des Austauschs beeinflusst wird.

- **Realisierungschance neuartiger Bildungsmethodik:**

Vielfach stellt der Einsatz Neuer Technologien überhaupt erst eine Chance für die umfassende Realisierung von Unterrichtsformen dar, die nicht-lineares

Lernen, asynchrones Lernen, kontextbezogenes Lernen, experimentelles Lernen und kooperatives Lernen erlauben.

Die Umsetzung dieser veränderten Zielsetzungen führt auf neue Lehr- und Lernszenarien, woraus ein Wandel der Rollen der am Lernprozess beteiligten (Lehrende und Lernende) resultiert: Der Lernprozess verschiebt sich allmählich vom traditionellen “teacher led teaching” hin zu einem “learner led learning”. Der Lehrende bestimmt das Geschehen nicht mehr einseitig, sondern bietet dem Lernenden als Guide und Moderator die notwendige Orientierung im Lernprozess. Der Lernende dagegen verlässt seine “passive Seite des Nürnberger Trichters” und wird zu einem aktiven und selbstbestimmten Partner im Lernprozess.

TEIL B

Kapitel 3

Das Potential Neuer Medien in der Bildung

Fragt man nach den Gründen für die Einführung neuer Medien in der Bildung, so scheint die Antwort klar: Neue Medien erleichtern das Lernen und Lehren durch eine bessere Lernmotivation, sie ermöglichen neue didaktische Modelle und führen schließlich zu besseren Lernergebnissen [Ker03].

Aber worauf stützen sich diese Hoffnungen? Worin liegt das Potential Neuer Medien in der Bildung eigentlich?

Wir versuchen hier, die wesentlichen Aspekte zu skizzieren.

Der vielleicht “offensichtlichste” Einfluss der Neuen Medien liegt in der resultierenden zeitlichen und räumlichen Unabhängigkeit (Kap. 3.1). Während es sich dabei um eine eher “logistische” Adaption an den Benutzer handelt, also den individuellen Zu- und Umgang flexibilisiert, werden durch den Einsatz der Neuen Medien auch Individualisierungen des eigentlichen Lernprozesses möglich (Kap. 3.2).

Die Neuen Medien erlauben Visualisierungen (Kap. 3.3) und experimentellen Zugang (Kap. 3.4) zu Wissen, deren große Bedeutung für das Verständnis insbesondere abstrakter Konzepte und komplexer Zusammenhänge seit langem bekannt ist, in bisher nicht gekanntem Masse.

Schließlich realisieren die Neuen Medien neuartige Nutzungsformen von Informationen (Kap. 3.5) und neue Formen der Kommunikation und Kooperation (Kap. 3.6).

3.1 Zeit- und Ortsunabhängigkeit

Bis zur Erfindung der Schriftsprache konnten Informationen als Grundlage des Wissens nur verbal weitergegeben werden, setzten also den direkten Kontakt – ein zeit- und ortsgebundenes Treffen – voraus. Die Erfindung der Schrift ermöglichte zumindest in gewissem Umfang sowohl eigene Aufzeichnungen als auch den Zugang zu Informationen ohne die Notwendigkeit eines physischen Treffens. Bis zur Erfindung des Buchdrucks stellten die (Handschriften-) Bibliotheken allerdings bestgeschützte Informationsquellen dar, die nur Ausgewählten zum “Lernen” zur Verfügung standen.

Mit dem (gedruckten) Buch wurde die erste Revolution der Informationsverbreitung eingeleitet, die die Unterrichtung einer großen Anzahl von Menschen überhaupt erst ermöglichte. Informationen wurden grundsätzlich frei verfügbar – bei der Zugänglichkeit mussten allerdings gewisse Einschränkungen hingenommen werden.

Die Neuen Technologien haben eine zweite Revolution in der Informationsverbreitung durch die Entwicklung des WWW eingeleitet:

- Immer mehr Wissen, angefangen von Texten und Skripten eines individuellen Lehrenden bis hin zu den Beständen ganzer Bibliotheken, wird nun zeit- und ortsunabhängig zugänglich, sofern Zugang zum Internet besteht. Der Lernende kann entsprechend seinen persönlichen Bedürfnissen entscheiden, wo und wann er auf dieses Wissen zugreifen will.

Die aus den neuen IuK-Technologien resultierende, zeitliche und räumliche Unabhängigkeit hat jedoch auch Konsequenzen, die weit über die offensichtliche Flexibilisierung der Informationsbeschaffung hinausgehen. Die Vielfalt der möglichen Einsatzszenarien macht eine vollständige Liste unmöglich; wir wollen uns hier auf die Beschreibung einiger entscheidender Aspekte beschränken:

- Die Verfügbarkeit von virtuellen Laborumgebungen ermöglicht die Durchführung von Experimenten ohne zeitliche und räumliche Einschränkungen. Dies bedeutet nicht nur, dass kapazitive Engpässe und unzureichende Zugangsregelungen überwunden werden können, sondern auch, dass modernste Technologien und kostspielige Messapparaturen bereits Studierenden zugänglich gemacht werden können.
- Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden wird durch neue Kommunikationsformen (Email, Kommunikationsforen, Chats etc.) ergänzt, die physisches Aufeinandertreffen nicht voraussetzen und kommunikative Prozesse flexibilisieren und beschleunigen.
- Kooperation ist nicht länger durch geographische Barrieren eingeschränkt. Zunehmend werden nationale und internationale Kooperationen im Rahmen von gemeinsamen Projekten oder Seminaren Bestandteil der Ausbildung, wobei

virtuelle Kooperationsumgebungen die Verwaltung der gemeinsamen Dokumente übernehmen und den Rahmen für den kommunikativen Anteil stellen. Ausbildung und Wissen werden auch international vergleichbarer, eine “kulturelle Mobilität” wird bereits frühzeitig unterstützt.

Die technischen Möglichkeiten haben bisher keinesfalls – wie zwischenzeitlich vielfach prognostiziert – zur Ersetzung des Präsenzunterrichts, also der direkten Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden, geführt; es zeigen sich jedoch sehr umfassende Änderungen, die vor allem in der Flexibilisierung sowohl von Informationsbeschaffung, Arbeitsumgebung und Arbeitsweise als auch Kommunikation- und Kooperationsszenarien liegen.

Bisher werden diese Möglichkeiten noch durch die Abhängigkeit von einem Internet-Zugang (Netzwerkzugang und verfügbarer Computer) eingeschränkt. Bereits heute verfügt jedoch in Deutschland ein Großteil der Studierenden über einen Internetanschluss zu Hause. Bereits im Sommersemester 2000 lag der Anteil der Studierenden mit Internetanschluss in der eigenen Wohnung/zu Hause bei 55% (s. [Mid02]) – Tendenz steigend. Die Entwicklung im Bereich kabelloser Internetverbindungen (WLAN), die immer größere Leistungsfähigkeit und der damit einhergehende Preisverfall bei mobilen Computern (Notebooks) zeigt, dass die Abhängigkeit von einem speziellen Zugang zum Internet über einen nicht-mobilen Computer und über einen Festnetzanschluss weiter abnehmen wird. Die Entwicklungen der letzten Jahre etwa im Bereich der mobilen Telefone lassen erahnen, welches Potential bei der Entwicklung mobiler Computer zu erwarten ist.

Das Konzept der zeit- und ortsunabhängigen mobilen Beschaffung und Nutzung von Informationen, der individuellen Verwendung verschiedener multimedialer Komponenten beim Lernen und der Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernen wird im Universitätsbereich oft unter dem Begriff der “Notebook-Universität” zusammengefasst (vergl. auch Kap. 12.1.4). Darunter ist vor allem der Einsatz mobiler Computer von Lehrenden und (vor allem) Lernenden zu verstehen: Zeit- und Ortsunabhängigkeit werden hierdurch nochmals ausgedehnt. Im Vordergrund steht dabei der Einsatz des persönlichen mobilen Computers, der immer mehr zum “natürlichen” Arbeitsmittel, zu einem mobilen Schreibtisch wird. Ein breiter Einsatz mobiler Computer auf einem Campus setzt weitreichende Maßnahmen im Infrastruktur-Bereich (s. Kap. 13) voraus, die sich derzeit an vielen Universitäten erst im Aufbau befinden.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass die Möglichkeiten des zeit- und ortsunabhängigen Zugangs zu Informationen noch längst nicht ihre Möglichkeiten voll entfaltet haben. Auch bei der Unterstützung des Präsenzunterrichts durch neue Kommunikationsformen stehen wir nur am Anfang einer Entwicklung.

3.2 Individualisierung des Lernprozesses

In der Präsenzlehre gibt es – insbesondere in großen Lehrveranstaltungen mit bis zu mehreren hundert Zuhörern – kaum eine Möglichkeit, auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der einzelnen Lernenden individuell einzugehen. In vielen Situationen sind die Lernenden vorwiegend auf die Rolle des Zuhörers beschränkt.¹

Der Einsatz der Neuen Medien bietet neue und vielfältige Möglichkeiten, auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Lernenden, auf ihre sehr verschiedenen Voraussetzungen, Interessen, Fähigkeiten und Lernstile einzugehen.

Das Medium Internet, einzelne Programme bzw. Softwarepakete und schließlich ganze Lernumgebungen mit vielfältigen Komponenten agieren dabei in unterschiedlichen Rollen:

- Das Internet erlaubt dem Lernenden orts- und zeitunabhängige Informationsbeschaffung.
Durch die Vielfalt an Informationen, die das Internet zu einzelnen Themen bietet, kann der Lernende aus einer Vielzahl an Darstellungen des gleichen Themas die seinen Voraussetzungen und Bedürfnissen geeignetste auswählen und ist nicht auf ein begrenztes, lokales “Wissensmonopol” beschränkt.
Die Nutzung des Internet-Informationsraumes eröffnet neue Möglichkeiten individueller Bildungswege etwa durch virtuelle bzw. virtuell unterstützte Teilstudiengänge und Weiterbildungsangebote.
- Durch die Verwendung von geeigneter Software zu einzelnen Lehrinhalten oder ganzen Lehrveranstaltungen wird dem Lernenden die Möglichkeit gegeben, aktiv durch eigenes “Experimentieren” seinen Lernprozess zu unterstützen. Er kann dabei nicht nur Zeit und Ort, sondern auch Intensität, Geschwindigkeit, die Anzahl an Wiederholungen etc. selbst bestimmen. Irrtümer können “gefahrlos” – insbesondere auch ohne die Angst, sich vor anderen zu blamieren – begangen werden.
- Komplexe Lernumgebungen eröffnen die grundsätzliche Möglichkeit, sich individuellen Anforderungen und Herangehensweisen anzupassen. Diese reichen von dem Angebot von alternativen oder zusätzlichen Materialien (etwa in Form einer ausführlichen Erläuterung, einer einfacheren bzw. zusätzlichen Aufgabe etc.), die auf Anfrage hin abgerufen werden können, über “intelligente” Userverwaltungen (die etwa einzelne Angebote je nach den Voraussetzungen wie Studiengang, bereits bewältigte Materialien, Vorwissen, aber auch persönlichen Interessen, Lernstilen etc. bereitstellen) bis hin zu “intelligenten” Tutoring-Systemen, die individuell z.B. bei der Bearbeitung von Aufgaben und Projekten unterstützen. Inhaltsbausteine können in verschiedenen Medientypen

¹Nicht umsonst werden zu solchen Veranstaltungen meist kleinere Übungsgruppen in Form von Tutorien angeboten. Erfahrungsgemäß erfreuen sie sich großer Beliebtheit, da hier u.a. besser auf den Einzelnen eingegangen werden kann.

pen vorliegen, um die verschiedenen Lernstile zu unterstützen. Wissen kann repositorisch zur Verfügung stehen oder experimentell erarbeitet werden. Die Entwicklung von Problemlösungen kann individuell oder mittels Kommunikationsbereichen in Kooperation mit anderen geschehen.

Die meisten Lernumgebungen bieten jedoch heute nur ansatzweise die Möglichkeit, auf die Lernenden und ihre individuellen Lernstile einzugehen. Für einen fortschrittlichen Ansatz einer solchen Lernumgebung verweisen wir auf Kap. 10.

Der Einsatz der Neuen Medien bietet ein großes Potential, um auf die individuellen Bedürfnisse der einzelnen Studierenden, auf ihre unterschiedlichen Lernstile einzugehen. Diese Möglichkeiten werden bisher jedoch nur ansatzweise genutzt. Dies liegt nur zum Teil in Aufwand und technischen Schwierigkeiten, sondern vor allem auch im Fehlen geeigneter didaktischer und fachdidaktischer Konzepte begründet.

3.3 Visualisierung

Abstraktion gehört zu den größten geistigen Leistungen, zu denen das menschliche Gehirn fähig ist. Ebenso beeindruckende Leistungen vollbringt es bei der Erfassung und Verarbeitung visueller Eindrücke². Die Aufnahme von Informationen erfolgt bei den meisten Menschen vorwiegend visuell – bereits allein deshalb, weil viele Informationen nur visuell angeboten werden³. Die Weitergabe von Informationen – vor allem in einem eher “technischen” Sinn, denn “Informationen” eher “sozialer” Natur werden vor allem durch gesprochene Sprache akustisch weitergegeben – erfolgt nicht allein aus technischen Gründen verstärkt visuell. So war zwar die Verbreitung von Informationen durch visuelle Mittel (Schrift, Buchdruck) allein aus technologischen Gründen viel früher möglich als durch akustische Aufzeichnungen. Die visuelle Informationsverarbeitung hat jedoch einen großen Vorteil gegenüber der akustischen: sie muss nicht sequentiell erfolgen. Durch visuelle Mittel können sehr viele Informationen gleichzeitig präsentiert werden, während dies durch akustische Mittel nur begrenzt möglich ist. Damit ist das Auffinden einzelner Informationen viel schneller möglich. Die visuelle Informationsverarbeitung wird durch das Abstraktionsvermögen noch unterstützt. Umgekehrt bieten visuelle Darstellungsformen die Möglichkeit, sehr abstrakte Zusammenhänge leichter verständlich zu machen. Visualisierungen gehören daher zu den wichtigsten Mitteln beim Einsatz der Neuen Medien.

Visualisierungen umfassen ein weites Spektrum, angefangen bei einfachen Bildern/Graphiken, einfachen Animationen in Form von Bildfolgen (oft als animierte Bilder bezeichnet) über ganze Filme bis hin zu visuellen Simulationsumgebungen, die dem Benutzer eine Einflussmöglichkeit auf die Visualisierung gestatten. Hierzu gehören “Experimente”, die zwar aus (nicht notwendig “realen”, d.h. sogenannten natürlichen) bereits vorhandenen Einzelbildern zusammengesetzt sind, deren tatsächliche Abfolge jedoch durch den Benutzer gesteuert wird (sog. “Interaktive Bildschirmexperimente”), Rendering-Engines, wie sie in modernen Computerspielen eingesetzt werden, die dem Benutzer das Bewegen durch komplexe Landschaften erlauben und die bereits bei der Visualisierung geometrischer Objekte (s. Arbeitsgruppe Differentialgeometrie, Prof. Pinkall) verwendet werden, und schließlich ganze “virtuelle Labore”, die umfassende Möglichkeiten zum Experimentieren geben (s. auch den folgenden Abschnitt 3.4).

Diese verschiedenen Formen der Visualisierung werden in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt.

Einfache Bilder/Graphiken, animierte Bilder oder ganze Filme dienen vor allem der Veranschaulichung. Mit ihnen können abstrakte und komplexe Zusammenhänge ex-

²Diese sind umso erstaunlicher, wenn man beachtet, wie aufwendig und mühsam es ist, visuelle “Fähigkeiten” durch Computerprogramme zu realisieren – ganz im Gegensatz zur rein numerischen Rechenleistung, bei der selbst ein einfacher Taschenrechner dem Menschen weit überlegen ist.

³Dessen ungeachtet gibt es sowohl eher visuell als auch vorwiegend akustisch ausgerichtete Lernertypen.

emplarisch oder vereinfachend, aber auch abstrahierend und auf wesentliche Punkte konzentriert, dargestellt werden. Sie unterstützen damit den Prozess des Verstehens. Da die visuelle Aufnahme- und Merkfähigkeit des Gehirns sehr ausgeprägt ist, kann auch bereits Verstandenes durch Visualisierungen weiter gefestigt werden.

Komplexe Formen der Visualisierung münden fließend in den in den Bereich der “Experimentierszenarien” (vergl. Kap. 3.4) ein. Sie ermöglichen zusätzlich die Interaktion mit visuellen Objekten und unterstützen damit das Verständnis von Wirkungsweisen und Zusammenhängen.

Visualisierungen werden nicht erst seit dem Aufkommen der Neuen Medien eingesetzt. Es sind jedoch erst die großen Fortschritte im Hard- und Softwarebereich, die es – mit immer mächtigeren Werkzeugen – zunehmend gestatten, didaktisch hochwertige, inhaltlich präzise und ästhetisch ansprechende Visualisierungen mit vertretbarem Aufwand zu erstellen.

3.4 Experimentierszenarien

Verständnisprozesse sind vor allem durch die *eigenständige* Auseinandersetzung und das selbständige *aktive* Anwenden bestimmt. Das Experiment und besonders das eigene Experimentieren⁴ gehören daher in den Natur- und Ingenieurwissenschaften zu den wichtigsten Elementen in der Ausbildung.

In den theoretischen Zweigen dieser Disziplinen und vor allem in der Mathematik gab es hierzu lange Zeit keine Möglichkeiten. Die Entwicklung des Computers erlaubte zunächst nur “numerische Experimente”, die allerdings zunächst nur wenigen (i.A. nur den Wissenschaftlern und Entwicklern) zur Verfügung standen. Erst die Entwicklung leistungsstarker Personal-Computer ermöglichte ihren breiten Einsatz. Heute gehören PCs zur persönlichen “Grundausrüstung”.⁵

Heutige PCs sind so leistungsfähig, dass sie – in Verbindung mit komplexen Softwarepaketen – umfangreiche Möglichkeiten zur Durchführung von Computer-Experimenten bieten. Programme wie etwa Java-Applets bieten eine einfache Möglichkeit, Simulationen direkt im Browser des Benutzers laufen zu lassen – unabhängig vom verwendeten Betriebssystem. In Kombination mit dem durch das WWW verfügbaren “Wissensraum” erschließt sich ein großes Potential für den Einsatz experimenteller Komponenten auch für eher theoretische Disziplinen.

Die Möglichkeiten zum Experimentieren mit Hilfe des Computers sind sehr vielfältig. Grundsätzlich sind alle Programme als Computer-Experimente aufzufassen, die dem Nutzer eine Einflussmöglichkeit auf den Programmablauf durch die Änderung von “Parametern”⁶ erlauben und die Auswirkung dieses “Experimentierens” darstellen.

Computer-Experimente bieten nicht nur die Möglichkeit, für eher theoretische Disziplinen und Mathematik experimentelle Szenarien zu schaffen: Sie ermöglichen auch die Durchführung von “Experimenten” in sehr allgemeinem Sinne in bereits experimentell orientierten Disziplinen, in denen sie jedoch aus verschiedenen Gründen (Kosten, Gefährdung und Unzugänglichkeit seien hier beispielsweise genannt) schwer durchführbar sind. Die beliebige und (bis auf Rechnerbelastung) kostenlose Wiederholbarkeit, die Möglichkeiten zur bequemen Aufzeichnung von Ergebnissen und ihre Auswertung durch angebundene Software sind weitere Vorteile, die für ihren Einsatz sprechen. Zur Durchführung wird i.a. lediglich ein Computer benötigt; ein Internetzugang gestattet dann den zeit- und ortsunabhängigen Zugriff auf eine Vielzahl solcher virtuellen “Labore”.

⁴Dies kann in einem sehr weiten Sinn verstanden werden. Demnach stellt auch die praktische Durchführung einer Befragung für einen Soziologen ein Experiment dar.

⁵So lag im Sommersemester 2000 in Deutschland der Anteil der Studierenden mit einem eigenen PC bereits bei 84 % (s. [Mid02]).

⁶Als einfachste Form sollen hierzu auch Parameter verstanden werden, die einen Einfluss auf die Darstellung haben. In diesem allgemeinen Sinne sind daher auch Programme als Computer-Experimente aufzufassen, die “nur” die Betrachtung etwa geometrischer Objekte aus verschiedenen Blickwinkeln und bei verschiedenen Vergrößerungen erlauben, etwa die sog. “Virtual Reality Theaters” aus dem Umfeld der Industrie.

Die Möglichkeiten zum Experimentieren sind bei den verschiedenen Ausprägungen “virtueller Labore” sehr unterschiedlich. Bei einfachen Ansätzen wie einzelnen Applets etwa werden i.a. nur wenige einzelne Parameter manipuliert, um deren Auswirkungen zu untersuchen. Hierfür existieren zahlreiche Beispiele, die bereits in der Lehre eingesetzt werden, in unterschiedlicher Qualität hinsichtlich des didaktischen Ansatzes und der technischen Umsetzung.

Das größte Potential steckt jedoch in Programmen und Umgebungen, die “reale” Labore – etwa aus Naturwissenschaften – zum Vorbild haben. In solchen Laboren werden eigene, aber auch aus verschiedenen Quellen stammende Komponenten und Software-Werkzeuge vernetzt und bereitgestellt, um eine komplexe Experimentierumgebung zu realisieren.

Solche umfassenden Experimentierumgebungen sind bisher nur ansatzweise realisiert (für einige Beispiele vergleiche Kap. 4.2.5). Einer der umfassendsten Ansätze liegt dem Teilprojekt “Math-Science Labs” in der europäischen Forschungsinitiative “Multiverse” (s. Kap. 11) zugrunde: Hier sind virtuelle Labore ein Teil einer ganzen virtuellen und kooperativen Arbeitsumgebung, die sowohl in der Lehre als auch in der Forschung eingesetzt werden kann.

3.5 Informationsmanagement

Der Lernprozess beruht auf der Aufnahme von Informationen, ihrer Verarbeitung und der resultierenden Verständnisbildung. Der Zugang zu Informationen und die Möglichkeit zu ihrem Austausch bilden daher eine Grundlage des Lernens.

Der reine Zugang zu Informationen (s. Kap. 3.1) allein ist dabei noch nicht ausschlaggebend: Entscheidend ist die Möglichkeit zum Auffinden der gerade benötigten Informationen. So bieten uns heute die verschiedenen Informationsquellen – traditionelle wie Bibliotheken und neue wie große Archive und das Internet als weltumfassende Informationsquelle – zwar eine Flut an Informationen; sinnvoll nutzbar werden diese Quellen jedoch erst durch intelligente Hilfsmittel zu ihrer effektiven Durchsuchung. Ein sinnvolles Arbeiten mit den persönlich gesammelten und erarbeiteten Informationen setzt deren geeignete Verwaltung und leichte Durchsuchbarkeit voraus.

Heute liegen die meisten Informationen digital vor. Zunehmend werden auch individuelle Informationen digitalisiert oder gleich digital erstellt. Hierzu gehören beim Lernenden etwa Skripte, Mitschriften, Ausarbeitungen von Hausaufgaben, Seminar- oder Projektarbeiten bis hin zu größeren Abschlussarbeiten wie Studien-, Diplom- und Promotionsarbeiten. Auch bei Lehrenden liegen die Informationen in immer größerem Maße in Form von Skripten, Vorträgen, Aufgabensammlungen, Visualisierungen und Programmen, die in der Lehre eingesetzt werden, digital vor.

Der starke Zuwachs an Informationen, der maßgeblich auf der Erhöhung ihrer Verbreitungsgeschwindigkeit beruht, führt zwangsläufig auf neue Formen der Informationsverwaltung: Wissenschaftliche Erkenntnisse werden nicht erst nach Durchlaufen eines langwierigen Publikationsprozesses allgemein verfügbar. Die bisherige Praxis der Verbreitung von Preprints an meist nur eingeweihte Fachkollegen wird durch öffentlich zugängliche Preprintserver zumindest ergänzt, stellenweise sogar abgelöst. Derartige Archive sind außerdem leicht durchsuchbar. Hinzu kommt die permanente Zugriffsmöglichkeit auf alle "klassischen" Datenbestände durch Digitale Bibliotheken (vergl. Kap. 12.4). Solange der Zugang zu Computer und Internet gewährleistet ist, steht der globale Datenspeicher Internet zur Verfügung (s. auch Abschnitt 3.1).

Mit dem weiteren technischen Fortschritt bei der Entwicklung mobiler Computer ist damit der zeitunabhängige Zugang zu einer persönlichen Arbeitsumgebung gegeben, die sämtliche relevanten eigenen Informationen sowie die extern zur Verfügung stehenden umfasst. Die meisten persönlichen Arbeitsumgebungen auf einem Computer stellen zumindest für das Durchsuchen von Textdokumenten Werkzeuge zur Verfügung. Die meisten großen Bibliotheken, deren Kataloge auch über das Internet zugänglich sind, bieten die Durchsuchung ihrer Bestände an. Das Internet selbst als die inzwischen größte Informationssammlung bietet ausgefeilte Dienste zum Auffinden von Informationen (vergl. S. 4.2.2). Informationsverzeichnisse sind kaum in der Lage, mit dem starken Informationswachstum des Internet Schritt zu halten. Die raffinierten Suchalgorithmen von Suchmaschinen erschließen bereits sehr gut auto-

matisch die weiter wachsende Informationsflut. Das automatische Erschließen von Informationen kann jedoch bis heute nur für *Texte* erfolgen, das Auffinden etwa von Computerprogrammen und Bildern muss sich deshalb noch auf die Auswertung der sie beschreibenden Texte beschränken. Bei der Entwicklung von Standards für Metainformationen und Werkzeugen zur semantischen Auswertung von Texten, so dass eine “intelligente” Suche im riesigen Wissensspeicher Internet möglich wird, liegt sicher das größte Potential der nächsten Zukunft (vergl. Kap. 5.1). Die automatisierte inhaltliche Erschließung von Bildern erfordert voraussichtlich noch umfangreiche technologische Entwicklungen (vergl. Kap. 5.2).

Für spezifischen Zwecke entwickelte Informationsumgebungen, zu denen auch Teile von Lehr-Lern-Umgebungen zu zählen sind, können über zusätzliche Formen der Informationsverwaltung verfügen, die sich aus dem Systemdesign selbst ableiten: So können z.B. Ontologien (vergl. Kap. 6), bei der Strukturierung der Informationen zugrunde gelegt werden; die ontologischen Strukturen stehen dann zusätzlich zur Auffindung der relevanten Informationen zur Verfügung. Metadaten können systemweit abgeglichen (und damit sinnvoll verwendet) werden. Strikte Vorgaben an die Strukturierung von Texten (vergl. Kap. 8.1.2, 8.1.3) ermöglichen ebenfalls alternative Suchstrategien.

3.6 Kommunikations- und Kooperationsmöglichkeiten

Der Mensch ist nicht allein als “soziales Wesen” auf die Kommunikation und Zusammenarbeit mit seinen Mitmenschen angewiesen. Auch das Lernen ist in einen sozialen Gesamtprozess eingebettet, Lernende und Lehrende agieren in einem sozialen Umfeld. Grundlage eines solchen Zusammenspiels und der daraus resultierenden Kooperation ist die Kommunikation aller Beteiligten. Sie stellt einen direkten Informationsaustausch unter Berücksichtigung des sozialen Umfeldes dar.

In der heutigen Berufswelt ist der einzelne Arbeitende, der weitgehend auf sich selbst gestellt ist, kaum mehr anzutreffen. Selbst das Bild des isolierten Forschers im Elfenbeinturm ist in der Regel Fiktion. Die weltweite Globalisierung hat diese Entwicklung verstärkt. Bedeutende Forschungs- und Entwicklungsergebnisse werden nur in enger Kooperation auch über Länder- und Kulturgrenzen hinweg erzielt. Die Entwicklung sozialer und kommunikativer Kompetenzen gehört daher ebenso zu den Ausbildungszielen wie die Vermittlung von Fachkompetenzen.

Die Entwicklung des Internet hat nicht nur die Globalisierung weiter vorangetrieben. Das Internet selbst stellt auch gleichzeitig die Grundlage für neue Formen der Kommunikation und Kooperation zur Verfügung, die diese erst in dem heutigen Ausmaß ermöglichen. Mit Verbreitung des Internet gehört Email zu den alltäglichen Kommunikationsmitteln und ersetzt immer mehr die gewöhnliche Post. Selbst zur authentifizierten Versendung vertraulicher Dokumente werden Mechanismen entwickelt, die den dabei nötigen hohen Sicherheitsanforderungen genügen. Es ist daher abzusehen, dass die Bedeutung von Email weiter stark zunehmen wird. Sehr komplexe Projekte wie beispielsweise die Entwicklung eines ganzen Autos werden bereits heute durch einen ständigen Datenaustausch und die zugehörige Kommunikation über Kontinente hinweg durchgeführt. Durch das Internet wurde auch die Entwicklung sogenannter *OpenSource*-Projekte erst möglich, an denen in der Regel – vorwiegend ohne das direkte Ziel einer kommerziellen Verwendung – eine Vielzahl Freiwilliger über die ganze Welt verteilt arbeitet.

Bei den Kommunikationsformen sind grundsätzlich asynchrone (die Kommunikation erfolgt mit größeren Abständen zeitversetzt) und synchrone (die Kommunikation erfolgt gleichzeitig) zu unterscheiden. Als moderne Formen sind bei der asynchronen Form Email und Foren, bei der synchronen Chats zu nennen.

Sehr fortgeschrittene Ideen zielen darauf ab, die neuen Möglichkeiten der Kommunikation mit den Möglichkeiten zur Kooperation direkt zu verbinden. Dazu sollen neuartige “virtuelle Räume” entwickelt werden, in denen sich mehrere Personen zur Kommunikation und Kooperation treffen können. Ein solch umfassender Ansatz wird in der europäischen Forschungsinitiative *Multiverse* verfolgt (s. Kap. 11, insbesondere Abschnitt 11.2.3).

Bereits heute sind einfache Formen der Kooperation möglich. Viele Lehr-Lern-Plattformen bieten bereits die Möglichkeit zur Verwaltung von Dokumenten und

zur Bereitstellung für Mitglieder solcher virtuellen Lernergemeinschaften.

Neben – heute bereits fast ganz selbstverständlich genutzten – Formen der Kommunikation wie Email und Foren bergen virtuelle Wissensräume das größte Potential. In ihnen ist nicht nur die Kommunikation, sondern auch die direkte Zusammenarbeit mit Lernenden und Lehrenden möglich. Es können moderne Software-Werkzeuge integriert werden, die eine direkte Übernahme von Daten in andere Programme und damit eine Weiterverarbeitung erlauben. Durch neu zu entwickelnde Mensch-Computer-Schnittstellen wird die unmittelbare Kommunikation zwischen Mensch und Computer erleichtert, insbesondere die Eingabe komplizierter mathematischer Formeln kann dann in natürlicher Form (Handschrift, Sprache) erfolgen. Insgesamt werden damit die existierenden Medienbrüche überwunden.

Aber auch ohne derart fortgeschrittene Arbeitsumgebungen bieten sich Möglichkeiten, die in der Ausbildung noch zu wenig genutzt werden. Hierzu zählt insbesondere das kooperative Lernen, das frühzeitige Zusammenarbeiten – auch über Universitäten und Länder hinweg – in Projekten. Hierbei können einfache Mechanismen und Hilfsmittel (z.B. Email, Foren, Chats, Dokumentenmanagementsysteme, Versionsverwaltungssysteme wie CVS) eingesetzt werden, wie sie auch in der Praxis Anwendung finden. Damit wird nicht nur der Einsatz solcher Instrumente geübt, noch viel wichtiger ist die Ausbildung von Softskills wie Kommunikations-, Präsentations-, Konfliktbewältigungs- und Managementfähigkeiten – auch über Sprach- und Kulturbarrrieren hinweg.

Kapitel 4

Multimediale Lehr- und Lernszenarien

Die Integration moderner IuK-Technologien eröffnet vielfältige Einsatzmöglichkeiten in der universitären Ausbildung. Design und Funktionalitätsumfang multimedialer Komponenten sind nicht nur durch technologische Machbarkeiten bestimmt, sondern spiegeln verschiedene Aspekte der Ausbildung und unterschiedliche Sichten auf den Lernprozess wider.

Wir diskutieren zunächst verschiedene Klassifikationsansätze multimedialer Lehr- und Lernszenarien (Kap. 4.1). Hauptgegenstand des Kapitels ist dann die Darstellung der Vielfalt existierender multimedialer Technologien in die universitäre Ausbildung (Kap. 4.2). Dabei werden Beispiele für die verschiedenen Einsatzbereiche insbesondere aus dem Umfeld der TU Berlin gegeben, um so gleichzeitig den derzeitigen Stand der Integration Neuer Medien in die Lehre an einer großen deutschen technologisch ausgerichteten Universität zu dokumentieren.

Der Text basiert auf einer Studie (s. [Tho04]), die für die TU Berlin im Rahmen einer Zielvereinbarung mit dem 1. Vizepräsidenten von der Autorin gemeinsam mit Frau S. Morgner, R. Seiler und C. Thomsen (Fakultät II, TU Berlin) erarbeitet wurde.

4.1 Klassifikationsmodelle multimedialer Lehr- und Lernszenarien

Allgemein lassen sich die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten von Multimedia in der Lehre in die folgenden Bereiche differenzieren (vergl. auch [Ham01a]):

- **Informationsplattformen:**
(Meist WWW-gestützte) Informationsplattformen verändern die Organisation und Koordination von einzelnen Teilen der Lehre bis hin zur Reorganisation kompletter Bildungsszenarien.
- **Web-basierte Wissens- und Materialbeschaffung:**
Die Neuen Medien erlauben eine neuartige Art der Wissens- und Materialbeschaffung. Es entwickeln sich zusätzliche Recherchemethoden, die für klassische Materialien (etwa Buchinhalte) (bisher) nicht zur Verfügung stehen. Die meisten großen Bibliotheken stellen inzwischen zumindest Kataloge ihrer Bestände über das WWW bereit; die Digitalisierung der *Inhalte* ganzer Bibliotheken ist Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsprojekten.
- **Präsentationsumgebungen:**
Multimediale Präsentationstechniken gewinnen zunehmend an Bedeutung, da ihre interaktiven Komponenten erweiterte Möglichkeiten bieten. Sie integrieren traditionelle Präsentationsmedien wie etwa Tafel, Folien, Dias oder Video und Applikationssoftware (vergl. etwa E-Kreide, [eKr]).
- **Lehr- und Lernplattformen:**
Multimediale Lehr- und Lernplattformen stellen große Mengen von allgemeinen Datenbeständen on- oder offline zur Verfügung. Auf multimediale Dokumente kann räumlich und zeitlich flexibel zugegriffen werden. Contentmanagementsysteme und Suchmaschinen erleichtern das Auffinden relevanter Inhalte.
- **Applikationssoftware:**
Fachspezifische Software mit hohem Experimentier- und Interaktivitätsgrad erlaubt die Behandlung komplexer Fachfragestellungen. Hierzu zählen in der Mathematik etwa ComputerAlgebraSysteme, Visualisierungssoftware (z.B. Cinderella) und Numeriktools.
- **Kommunikationsumgebungen:**
Verschiedenste multimediale Technologien erlauben räumlich und zeitlich flexible Kommunikation. Konferenztechnologien ermöglichen verteilte Lehrszenarien.
- **Kooperationsumgebungen:**
Sog. "lernförderliche Infrastrukturen" sind auf die Förderung der Kooperation (zwischen Lernenden bzw. zwischen Lernenden und Lehrenden) ausgelegt; sie erlauben die Einrichtung kooperativer virtueller "Räume" mit gemeinsamer

Verweis auf
Kapitel mit
E-Kreide
einbauen?

Datenerzeugung, -modifikation und -ablage unter Verwendung verschiedener Kommunikationsstrategien.

In der Realisierung, d.h. in Plattformen, Portalen und sonstigen Lehr-Lern-Umgebungen kommen diese verschiedenartigen Einsatzszenarien teilweise nur isoliert vor (Bsp.: Applikationssoftware existiert immer (auch) als Stand-Alone-Tool); typischer ist eher die Kombinationen der verschiedenen Ansätze (Bsp.: Kooperationsumgebungen mit integrierten Kommunikationstools, integrierter Applikationssoftware und Anbindung an Digitale Bibliotheken).

Dieser szenarien-orientierten Klassifikation steht nun eine eher “funktionalitäten-orientierte” gegenüber, die sich an ihren Fähigkeiten gegenüber dem Nutzer orientiert: multimediale Lern- und Lernformen können charakterisiert sein durch

- ihre orts-, zeit- und umfeld-unabhängige Verfügbarkeit
- ihre Individualisierbarkeit und Adaptivität ihrer Präsentation
- ihre Individualisierbarkeit und Manipulierbarkeit der Inhalte
- ihre Fähigkeit zu intelligentem Feedback
- ihre Unterstützung bei der Erzeugung “neuen” Wissens, durch ihrer Fähigkeit zu experimentellen Szenarien

Der Vergleich dieser Charakterisierung mit den vorangestellten Einsatzszenarien liefert das folgende Bild:

Gemeinsam ist allen Szenarien ihre permanente Verfügbarkeit – praktisch alle multimedialen Lernszenarien sind orts-, zeit- und umfeldungebunden, die Mobilität der Lernenden deutlich erhöht – gewisse Einschränkungen sind lediglich durch fehlende Plattformunabhängigkeit gegeben. Die verschiedenen Szenarien variieren aber deutlich in ihren Ansprüchen und Möglichkeiten hinsichtlich der weiteren Kriterien. Ihr Leistungsspektrum spiegelt verschiedene Aspekte der Lerninfrastruktur und unterschiedliche Aspekte von Lernprozessen wider:

Informationsplattformen richten sich weniger an den Lernprozess als vielmehr an dessen organisatorische Einbettung. Sie sind i.a. nicht interaktiv und nur wenig personalisierbar, ihr Schwerpunkt liegt auf der reinen Bereitstellung administrativer Informationen.

Vergleichbar damit liegt bei Plattformen der **Web-basierten Wissens- und Materialbeschaffung** der Schwerpunkt auf der Bereitstellung fachorientierter Informationen, Interaktivität ist auf die Auswahl von Material beschränkt.

Präsentationsmedien dienen der Darstellung und der Vermittlung von Wissen (nicht gleichbedeutend mit Wissenserwerb) in zumeist von einzelnen Personen getragenen Lernsituationen.

Lehr- und Lernplattformen stellen Lehrmaterialien zur (fast ausschließlich) *lesenden* Verfügbarkeit bereit.¹ Ihre Individualisierbarkeit hinsichtlich Präsentation und Darstellung ist stark abhängig von der konkret betrachteten Plattform.

Applikationssoftware zielt auf die interaktive, experimentelle Auseinandersetzung mit Inhalten und auf eigenständigen Erkenntniserwerb ab.

Kommunikations- und Kooperationsumgebungen sehen Lernen als sozialen Prozess, der entscheidend durch die Möglichkeiten des Austausches beeinflusst wird, und realisieren verschiedene Kommunikationsformen sowie die gemeinsame Entwicklung und den Austausch von Material.

¹Sie lassen – jedenfalls heute – mehrheitlich eine eigenständige Auseinandersetzung nur begrenzt zu, weil die Lernenden nicht aktiv auf die Materialien einwirken, sie verändern oder re-arrangieren können. Keil-Slawik bezeichnet das in einer frühen Arbeit zu dieser Thematik (vergl. [Eng95]) sogar als die Modernisierung des “Nürnberger Trichters”: Der Zugriff auf Dokumentenbestände wird mit der Aneignung von Wissen gleichgesetzt. Allerdings zeichnen sich hier inzwischen beachtliche Veränderungen ab (vergl. auch Kap. 12.1.6): etwa die in der Multimedia-Arbeitsgruppe der TU Berlin, Institut für Mathematik entwickelte Lernplattform “Mumie”, die in Kap. 10 detailliert beschrieben wird, unterscheidet sich hier bereits sehr maßgeblich von den herkömmlichen Systemen.

4.2 Beispiele multimedialer Lehr- und Lernszenarien

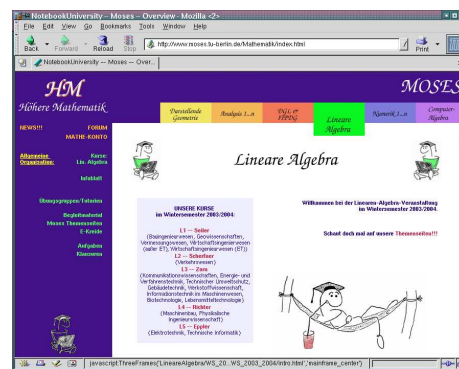
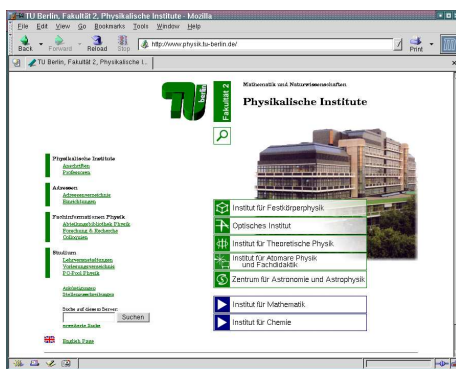
Wir werden in diesem Abschnitt die einzelnen Einsatzmöglichkeiten von IT-Technologien in der Lehre vertiefen und mit Beispielen belegen. Dabei legen wir die in Kap. 4.1 entwickelte Klassifikation zugrunde.

Dieses Kapitel verfolgt den Anspruch, die heutige Situation des Einsatzes multimedialer Technologien in der universitären Ausbildung zu beleuchten, stellt damit also eine State-of-the-Art-Analyse dar. Die gewählten Beispiele dienen der Illustration und sind austauschbar. Wir haben vorrangig Beispiele aus den aktuellen Ansätzen an der Technischen Universität Berlin verwendet, um damit gleichzeitig die derzeitige inhaltliche Breite und die Verbreitung des Einsatzes von IT-Technologien in der Lehre am Beispiel einer deutschen Universität zu dokumentieren.

4.2.1 Informationsplattformen

(Meist WWW-gestützte) Informationsplattformen verändern die Organisation und Koordination von einzelnen Teilen der Lehre bis hin zur Reorganisation kompletter Bildungsszenarien. Hierzu sind auch DocumentManagementSysteme zu zählen, sofern sie vor allem der Bereitstellung und Distribution von studienorganisatorisch relevanten Informationen (nicht der Wissensbereitstellung oder dem eigentlichen Lernprozess) dienen (vergl. [Enc00a]).

- **Homepages für Lehrveranstaltungen, Studiengänge und Institute**
Zeit- und ortsunabhängig verfügbare Informationsangebote über Fachgebiete, Fachgruppen, Wissenschaftler einerseits, zu konkreten Lehrveranstaltungen und deren Organisation andererseits, stellen eine wichtige Unterstützung der Studienorganisation für die Studierenden und deren Orientierung an der Universität dar.



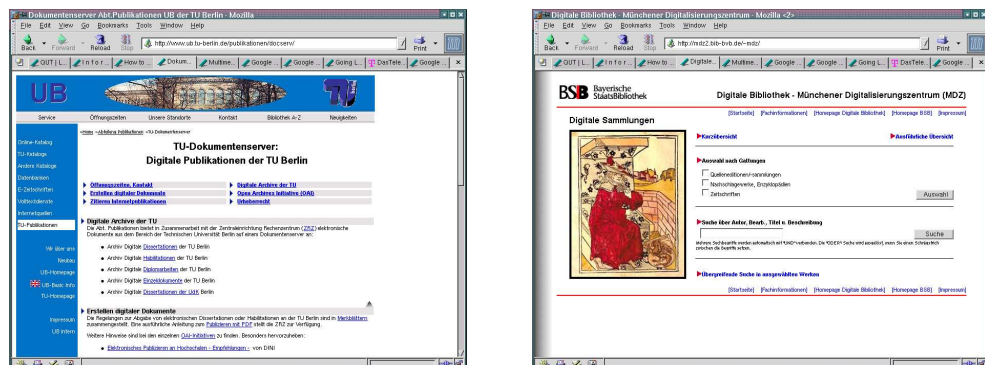
Screenshots aus verschiedenen TU-Angeboten, exemplarisch

4.2.2 Web-basierte Wissens- und Materialbeschaffung

Die Neuen Medien erlauben eine völlig andere Art der Informationsbeschaffung auch im fachlichen Bereich. Zudem haben sich die Recherchemethoden geändert. Auch DocumentManagementSysteme zählen hierzu, sofern sie vor allem der Bereitstellung und Distribution von Arbeitsmaterialien (nicht dem eigentlichen Lernprozess) dienen.

- **Nutzung digitaler Bibliotheken und Archive**

Mit der Entwicklung der Computer- und Telekommunikationstechnologie zu immer leistungsfähigeren PCs und komplexen Datennetzen sowie der Kombination von Multimedia- und Kommunikationstechnologie im WWW seit Anfang der neunziger Jahre sind Technik- und Medienbedingungen entstanden, die diese neuen Möglichkeiten nicht nur für Lehre und Lernen, sondern auch für die Literaturversorgung eröffnet haben. Hochschulbibliotheken müssen ihren Teil dazu beitragen, dass die Informationsversorgung in internetbasierte multimediale Studienangebote integriert wird. Hierzu gehören auch Dienstleistungen wie z.B. Online-Kataloge und elektronische Dokumentenlieferung, aber auch CD-ROM- und WWW-Datenbanken.



Screenshots: Bibliotheksportal TU Berlin, Münchner Digitalisierungszentrum

- **DocumentManagementSysteme**

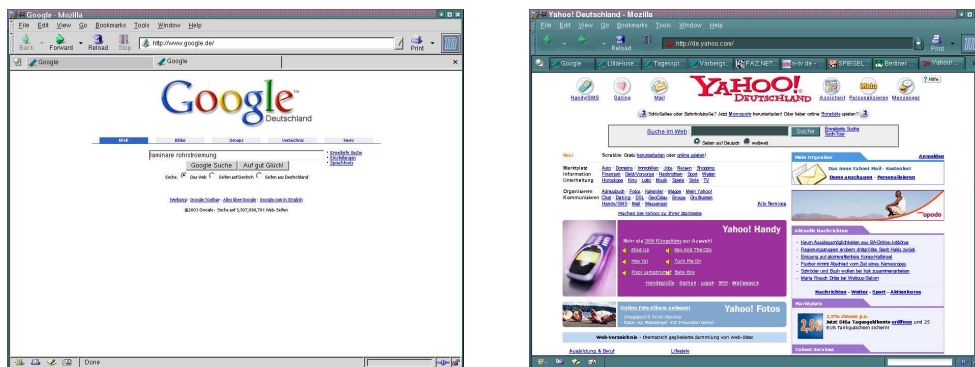
Immer größer werdende Informations- und Materialmengen zwingen zur Einführung von Strukturen und Kategorisierungen, die das Auffinden relevanter Informationen in dieser Informationsflut ermöglichen und Inhalte bedarfsgerecht zusammenstellen. DocumentManagementSysteme (DMS) dienen der Erstellung, Verwaltung und Versendung von Dokumenten. Nach dem Bausteinprinzip können Dokumente aus vorgefertigten Komponenten zusammengestellt werden. Einfacheres und schnelleres Suchen und Anzeigen von Dokumenten gehören zu den Grundfunktionalitäten. DocumentManagementSysteme bieten Prüfung und Kontrolle für den Zugriff auf die Dokumente. Einige DocumentManagementSysteme sind auf den Einsatz in der Lehre optimiert. Sie dürfen jedoch nicht mit interaktiven, multimedialen, pädagogisch optimierten Lernplattformen verwechselt werden, sondern dienen der Auslieferung von

i.a. statischen Dokumenten an simultan arbeitende Autoren/Nutzer.

- **Inhaltliche Nutzung des Internet-Informationsraums**

Das WWW und darauf agierende, immer mächtiger werdende Suchmaschinen sind heute ein zentrales Mittel zur Beschaffung insbesondere auch von Fachinformationen. Wichtiger Aspekt der Ausbildung wird damit aber auch die Kompetenz zur Beurteilung der *Qualität* einer Quelle: im Gegensatz zu Lehrbüchern oder referierten Journalen, in denen Qualitätssicherung durch Refereesysteme, Lektoren oder vergleichbare Mechanismen weitgehend sichergestellt werden kann, ist diese Einschätzung hier alleine dem Nutzer überlassen. Dies stellt i.a. kein Problem für einen „Spezialisten“ dar, der die Qualität aufgrund fachlicher Korrektheit einschätzen kann, wohl aber für einen Lernenden im Anfängerstadium, der genau diese Möglichkeit nicht hat, sondern erst geeignet angeleitet werden muss (siehe auch [Fis01], [Eng95]).

Die wissenschaftliche Bedeutung publizierter Arbeiten kann auch daran gemessen werden, wie häufig sie von anderen Wissenschaftlern zitiert werden – hierfür stehen weltweit verschiedenen, oft auf einzelne Fachgebiete spezialisierte Server zur Verfügung, die jedermann zugänglich sind. Die Zitationshäufigkeiten tragen wesentlich zur objektiven Bewertung wissenschaftlicher Tätigkeit und der Bedeutung eines Faches oder eines Wissenschaftlers bei.



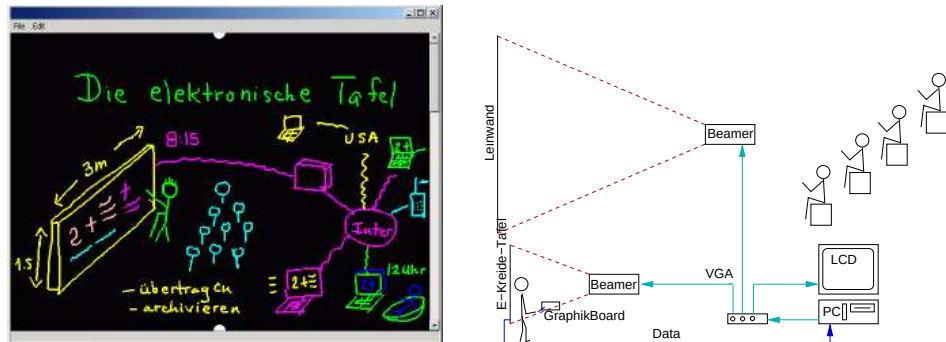
Screenshots der Startseiten der Suchmaschinen „Google“ und „Yahoo“

4.2.3 Multimediale Präsentationsumgebungen und -techniken

Multimediale Präsentationstechniken gewinnen zunehmend an Bedeutung, da ihre interaktiven Komponenten erweiterte Möglichkeiten bieten. Sie integrieren traditionelle Präsentationsmedien wie etwa Tafel, Folien, Dias oder Video.

- **eKreide**

Der Lehrende schreibt mit einem elektronischen Stift an einer elektronischen Tafel – statt mit Kreide an einer herkömmlichen. Alternativ kann ein graphisches Zeichentablett/Display anstelle der elektronischen Tafel verwendet werden; der Lehrende kann sich damit den Zuhörern permanent zuwenden. In großen Hörsälen wird außerdem simultan und für alle lesbar auf eine zusätzliche Großleinwand projiziert. Das Tafelbild wird aufgezeichnet, optional auch mit Audio- und/oder Video-Mitschnitt, so dass eine Komplett-Aufzeichnung der Veranstaltung entsteht.



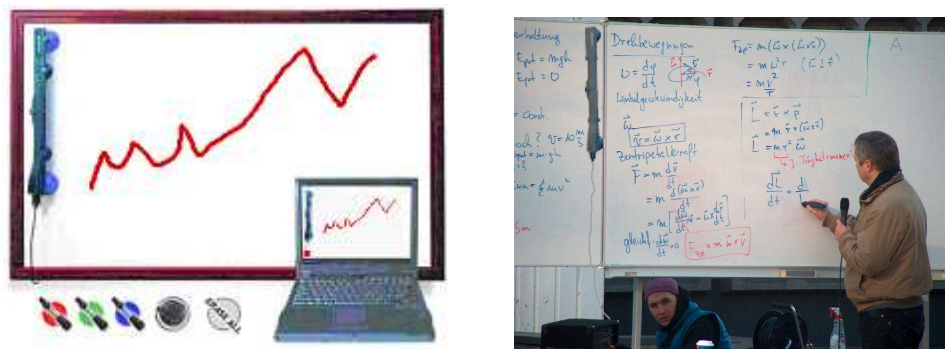
Links: Demopage des E-Kreide-Projektes (FU); rechts: bautechnische Integration in Hörsaal

Wesentliche Vorteile dieser Form der Unterrichtsaufzeichnung sind:

- Die Lehrveranstaltung kann beliebig wiedergegeben werden: als pdf-File, oder aber als virtuelle Wiederholung des Vortrages, die durch den Zuhörer gesteuert werden kann.
- Die Aufzeichnungen können direkt in beliebige WWW-Sites, etwa die der zugehörigen Lehrveranstaltung, eingebunden werden.
- Da die eKreide (über WLAN oder Festnetz) angebunden ist, können Inhalte aus dem Internet *live* in die Veranstaltung integriert werden, die dann zum Bestandteil der elektronischen Mitschrift werden.
- eKreide verfügt über Schnittstellen zu verschiedener fachspezifischer Software. Damit kann auch diese direkt in den Unterricht integriert und ihr Einsatz demonstriert werden.
- Das eKreide-System stellt eine unendlich lange Tafel zur Verfügung. Damit werden nicht zwangsweise Wissensblöcke einer DIN A4-Größe erzeugt (wie etwa bei der Verwendung traditioneller Folien); die Größe der Wissensblöcke wird durch deren Umfang und Komplexität, also durch den Inhalt und nicht durch die technischen Rahmenbedingungen, bestimmt.

- **eFilz**

Mit einer handelsüblichen weissen Tafel können Filzschreiber-erzeugte Texte aufgezeichnet werden. Diese können simultan auf vorhandenen Rechnern oder mitgebrachten Laptops angezeigt werden. Diese Form der elektronischen Mitschrift eignet sich für kleine und große Veranstaltungen; der Inhalt kann im Nachhinein für die Studierenden ins Netz gestellt werden.



Mimio-Board, links: notwendige Ausstattung; rechts: Einsatz in der Lehre

- **Smart Systeme**

Mit dem Smart System wird der Computer selbst zum interaktiven Medium. Zur Smart Software wird eine interaktive (berührungsempfindliche) Fläche (Whiteboard oder Grafiktablett) benötigt. Sämtliche Medien und Geräte, die mit dem Computer in Verbindung stehen, können genutzt und in einem File abgespeichert werden. Das Computerbild wird auf die interaktive Fläche projiziert. Jede Anwendung kann der Verwendung einer Maus mit dem Finger oder einem Smartstift gesteuert werden. Damit ist die Verknüpfung des Schreibmechanismus mit den vielseitigen Möglichkeiten eines Computers gegeben.

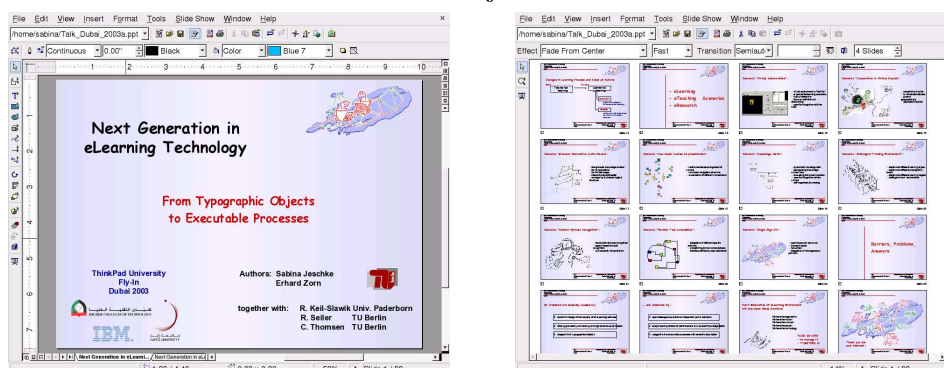
Informationen aus verschiedenen Programmen können gesammelt, beschriftet und strukturiert werden. Es ist z.B. möglich, in einer PowerPoint Präsentation handschriftliche Ergänzungen während des Vortrages einzuarbeiten oder aus dem Internet eine Java Applikation zu beschriften oder mit Messsoftware projizierte Diagramme zu beschriften. Die so entstandenen Bilder können gespeichert werden, die Ergänzungen können auch wieder verworfen werden.

Beim Brainstorming sammelt man üblicherweise an Tafeln oder Flipcharts Informationen. Mit dem Smart System können diese Informationen nachträglich strukturiert und Teile kopiert werden. Die entstandenen "Tafelbilder" können in allen gängigen Formaten (html, pdf, gif, jpeg) gespeichert werden.

Auch das Einbinden von Filmen ist möglich. Zur Zeit ist die Integration von eKreide noch nicht möglich (soll aber bald möglich sein). Man erhält, ähnlich wie bei eFilz einzelne statische Tafelbilder, nicht wie bei der eKreide einen Film.

• Präsentationssoftware

Eine interessante und gleichzeitig einfache Alternative zum Einsatz von konventionellen Overhead-Folien sind elektronische Präsentationsprogramme (PowerPoint aus dem Office-Paket von Windows, Impress aus StarOffice/OpenOffice). Mit diesen oder ähnlichen Programmen vorgefertigte Präsentationen werden in einigen Lehrveranstaltungen ergänzend oder ganz eingesetzt. Sie bieten sich ebenso für Vorträge und Präsentationen durch Studierende im Rahmen von Seminaren und Projekten an.²



Screenshots aus typischer Präsentationssoftware

²Eine gewisse Vorsicht ist jedoch beim Einsatz dieser Programme geboten: Präsentationen sind grundsätzlich geeignet für moderne Darstellungen von Lehrinhalten, laufen aber, insbesondere bei ausschließlicher Verwendung, Gefahr, zu schnell und mit zu hoher Informationsdichte verwendet zu werden. Die Inhalte solcher Präsentationen werden i.a. nicht während des Unterrichtes entwickelt, vielmehr werden fertige Vorträge zur Veranstaltung mitgebracht – der Aspekt des *Entwickelns von Gedanken* bei gleichzeitiger Vermittlung der Inhalte wird zurückgedrängt. Der Kontakt zwischen Lernenden und Lehrenden wird oft reduziert, weil “synchrones Durchdenken” unterbleibt.

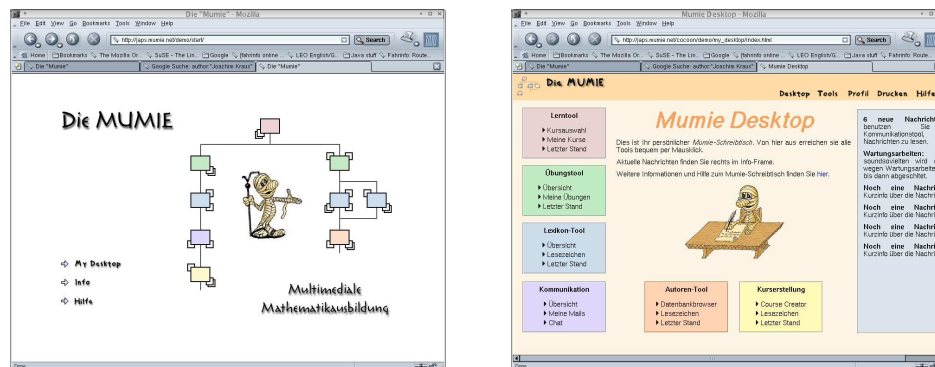
4.2.4 Multimediale Lehr- und Lernumgebungen

Multimediale Lehr- und Lernplattformen stellen große Mengen von allgemeinen Datenbeständen *on-* oder *offline* zur Verfügung. Auf multimediale Dokumente kann räumlich und zeitlich flexibel zugegriffen werden, Suchmaschinen erleichtern das Auffinden relevanter Inhalte. Hierzu sind auch Content Management Systeme zu zählen, sofern sie vor allem der interaktiven, experimentellen und selbständigen Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsgegenstand dienen. Multimediale Lehr- und Lernumgebungen finden vor allem Anwendung in Lehr- und Trainingsszenarien:

- **Multimediale Lehrszenarien in Lernplattformen**

Feingranulare, interaktive, manipulierbare Wissensbausteine bieten viele verschiedene Einsatzmöglichkeiten: Lehrende komponieren Kurse oder Begleitmaterial zu ihren Lehrveranstaltungen oder verwenden einzelne Bausteine zu Visualisierungs- und Demonstrationszwecken in ihrer Lehrveranstaltung. Lernende können solche Bausteine zur Vor- und Nachbereitung und zur Intensivierung und Vertiefung ihrer Kenntnisse, verwenden. Der Fokus liegt (im Gegensatz zu Inhaltsbausteinen innerhalb von typischen DokumentManagementsystemen) auf der “Multimedialität” der Bausteine, ihrer Interaktionsfähigkeit und ihrer Dynamik, Flexibilität und Rekombinationsfähigkeit.

An der TU werden insbesondere in der Mathematik seit 1998 verstärkt Multimedia-Projekte durchgeführt, die diese Zielsetzung verfolgen (Mumie-Projekt, s. Kap. 10, vergl. [Jes00]).



Screenshots aus der Mathematik-Lernplattform “Mumie”, Lerntool, TU Berlin

- **Semantic Retrieval Systems in Lernplattformen**

Ein wichtiger Aspekt solcher Wissenssammlungen sind “intelligente Lexikontools”: Ein semantisches Lexikontool (*semantic retrieval system*) bietet Studenten und Lehrenden die Möglichkeit, neben der klassischen Funktion des Nachschlagens von Begriffen durch sogenannte Wissensnetze Themenzusammenhänge und -abhängigkeiten darzustellen (s. hierzu [AORV02], [GRS00], [WM02]).

einem breiten Einsatz solcher Tools bisher aus technischen Gründen Grenzen gesetzt. Eine wichtige Forschungsaufgabe ist in diesem Zusammenhang die semantische Codierung fachwissenschaftlicher Inhalte (s. Kap. 5.1, vergl. auch [Mata], [Ope], [Saa]).

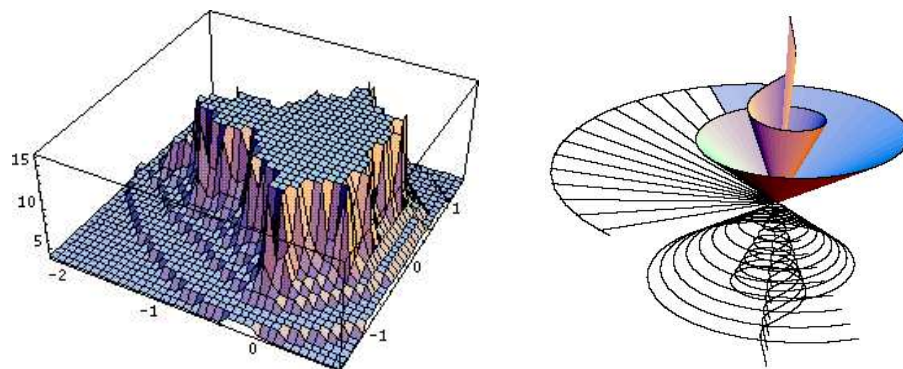
4.2.5 Einsatz von Applikationssoftware

Fachspezifische Software mit hohem Experimentier- und Interaktivitätsgrad erlaubt die Behandlung komplexer Fachfragestellungen. Auch Applikationssoftware findet Anwendung in Trainings- und Prüfungsszenarien.

- **CAS & Numerische Tools**

Computeralgebrasysteme (CAS) sind die Programme, die wohl bislang am stärksten den Mathematik-Unterricht beeinflusst haben. Sie unterscheiden sich von den zahlreichen Programmen zum numerischen Rechnen dadurch, dass sie (auch) symbolisch rechnen. Sie können Terme umformen, Gleichungen und Gleichungssysteme lösen, differenzieren, integrieren, Taylorreihen bilden, Differentialgleichungen lösen, 2D- und 3D-Graphen plotten und vieles mehr. Zudem ermöglichen sie die Visualisierung mathematischer Konzepte, die an der Tafel nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich sind. Es gibt inzwischen eine ganze Reihe von Computeralgebra-Systemen, die sich in ihrer Mächtigkeit, Kosten, Integrationsfähigkeit mit anderen Anwendungen etc. erheblich unterscheiden (siehe z.B. <http://www.fachgruppe-computeralgebra.de/systeme/systeme.html>).

Die “*mathematical power*”, die durch den Einsatz solcher Systeme erreicht werden kann, ist sehr groß. Genau hier liegt aber auch ein zentrales Problem: Solche Tools arbeiten zunächst als “*Black Boxes*”. Getreu dem Motto “Der Rechner hat immer Recht!” werden Lösungen vielfach einfach akzeptiert und weiterverwendet, aber nicht hinterfragt und reflektiert ([Boo90]). Sowohl Computeralgebrasysteme als auch numerische Tools verändern damit nicht nur den Unterricht, sie erfordern (und vermitteln) auch eine neue Art der naturwissenschaftlicher Kompetenz, die der nötigen kritischen Betrachtungsweise nämlich.



Screenshots aus dem ComputerAlgebraSystem Mathematica, exemplarisch

- **Virtual Labs**

Virtuelle Laborpraktika erlauben die interaktive Durchführung von Experimenten am Computer. Sie können damit einerseits die bestehenden Probleme bei der Durchführung realer Praktika, wie fehlende Praktikumsplätze, veraltete Laborausstattung, begrenzte Hilfestellungen, unzureichende Zugangszei-

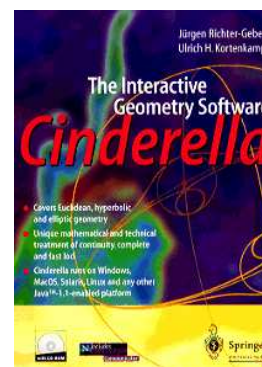
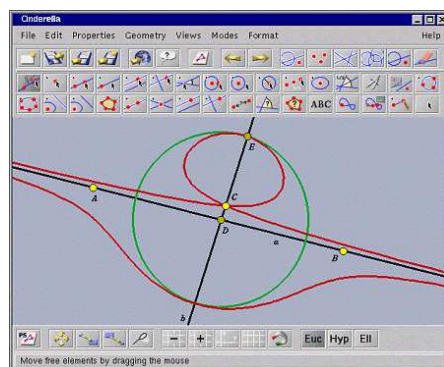
ten etc. teilweise kompensieren. Sie ermöglichen andererseits selbstbestimmtes Verfolgen eigener Neigungen und Interessen, weil keine räumlichen oder zeitlichen Einschränkungen die Entdeckungslust hemmen. Außerdem können Experimente durchgeführt werden, die aus den verschiedensten Gründen (Kosten, Sicherheit etc.) nicht durchführbar sind.

Virtuelle Labore kommen in zwei “extremalen” Ausprägungen vor: als vollständig virtuelle Labore, bei denen das Experiment selber virtueller Natur ist, und als solche, bei denen ein reales Experiment virtuell gesteuert wird. Dazwischen existieren viele Mischformen.

Die Vielzahl von Ansätzen in diesem Bereich erlaubt keine vollständige Darstellung aller vorhandenen oder sich in Entwicklung befindlichen Produkte. Hier sollen einige exemplarisch beschrieben werden, insbesondere solche, die an der TU maßgeblich (mit-)entwickelt wurden:

– Cinderella

Cinderella ist eine Software für interaktive Geometrie mit dem Computer. Mit Cinderella können mathematische Zusammenhänge einfach konstruiert und visualisiert werden. Dadurch werden sie nicht nur sichtbar, sondern erfahrbar. Weiterhin ist es möglich, physikalische Simulationen durchzuführen. Das Programm ist für das Internet ausgelegt und generiert Java Applets; mit dem integrierten Autorensystem können Konstruktionsbeispiele, Animationen, interaktive Übungsaufgaben mit Lösungskontrolle sowie Simulationen direkt als WWW-Seiten exportiert werden. Dadurch wird die einfache Erstellung von Lehr-/Lernmaterial unterstützt, von einzelnen Webseiten über CD-ROM-Applikationen bis hin zu kompletten Websites. Der Fokus liegt auf der experimentellen Erforschung der Geometrie durch den Lernenden und der Visualisierung geometrischer Konzepte. Cinderella wird auch an vielen Schulen im Mathematikunterricht eingesetzt.

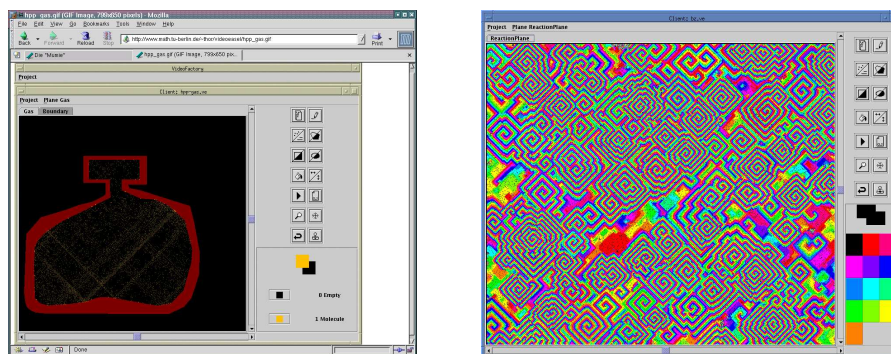


Screenshot aus dem Geometriepaket “Cinderella” und Cover, Weiterentwicklung an der TU

– VideoEasel

VideoEasel ist ein virtuelles Labor mit einem speziellen Designansatz: Mit Hilfe des Konzeptes Zellulärer Automaten werden hier wichtige phy-

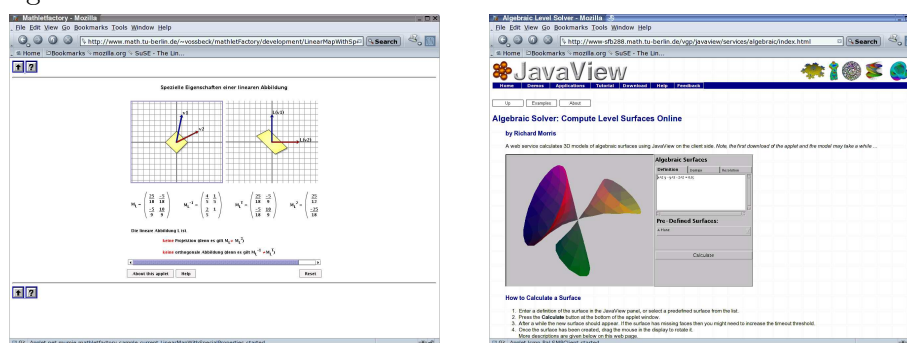
sikalische und mathematische Sachverhalte (etwa der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik, Phasenübergänge, Zeitumkehr in Vielteilchensystemen etc.) thematisiert und simuliert. Das Projekt wird aktuell durch die DFG im DFG-Forschungszentrum “Mathematik für Schlüsseltechnologien” gefördert.



Screenshots aus dem Virtuellen Labor “VideoEasel”, DFG-Forschungszentrum

– AppletFactory & JavaView

Die im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes “Mumie” entwickelt AppletFactory ist ein Authoring-Tool für mathematische Applets. Lehrende *ohne* größere Programmierkenntnisse sollen in die Lage versetzt werden, komplexe mathematische Sachverhalte als Applet modulieren zu können, um dieses in der Lehrveranstaltung zur Illustration oder zu Übungszwecken einzusetzen. JavaView verfolgt einen ähnlichen Ansatz, wurde allerdings stärker unter den Einfluss der Fachdisziplin Differentialgeometrie entwickelt.



Screenshots AppletAuthoringTools “AppletFactory” und “JavaView”, entwickelt an der TU

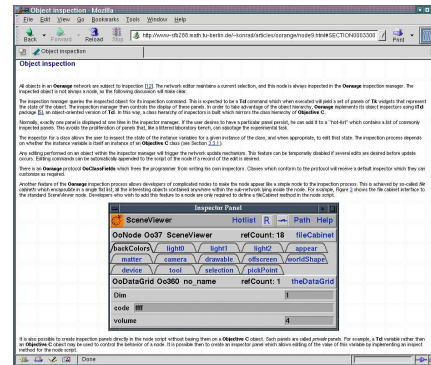
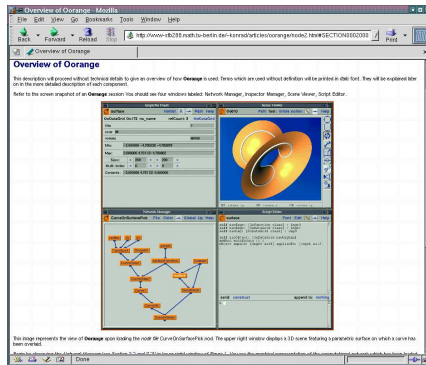
– Oorange

Oorange wurde designed als ein virtuelles Labor für Experimentelle Mathematik. Designansatz ist “grafisches Programmieren”, die Festlegung von Programmstrukturen erfolgt visuell als Datenflussgraph, deren Knoten die Funktionen des Programms repräsentieren.

Oorange erlaubt mathematische Experimente in Echtzeit. Dabei können

nicht nur Parameter variiert, sondern neue Objekte und Relationen in das Programm integriert und die Veränderung der Lösung sofort sichtbar gemacht werden.

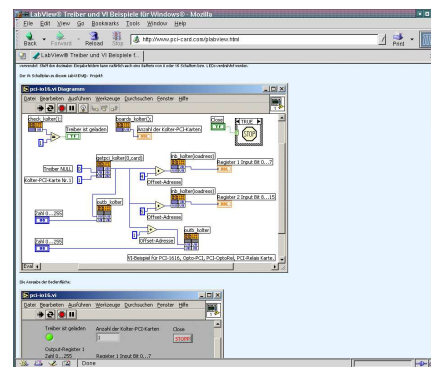
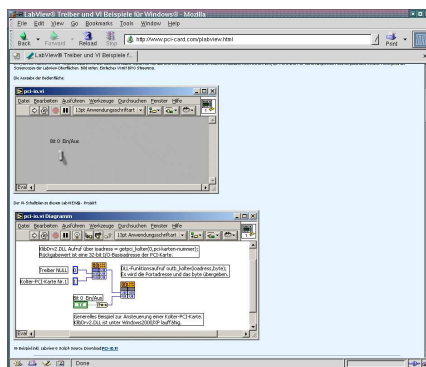
Oorange operiert auf einer beliebigen JavaBibliothek. Es ist damit auch als Entwicklungs- und Navigationsinstrument für andere virtuelle Labore einsetzbar.



Screenshots aus dem Virtuellen Labor "Oorange", entwickelt an der TU

– Labview

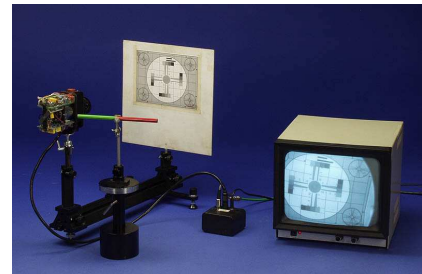
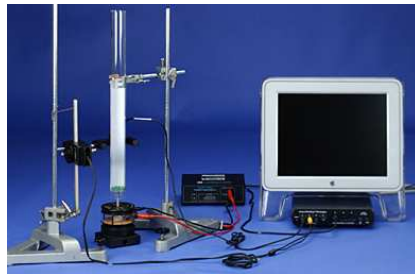
Das *Interfacing* von Computern mit modernen elektronischen Messgeräten kann mit einer flussdiagrammbasierten kommerziellen Computersprache bewerkstelligt werden, die sich gleichzeitig zur Aufnahme und anspruchsvollen Verarbeitung von Daten eignet. Hier sind Versuche im Freien interessant, die von Studierenden mit Laptops und selbstgeschriebenen Datenaufnahmeroutinen durchgeführt werden können. Gleichzeitig können (reale) Experimente über WWW gesteuert werden – geographische Barrieren entfallen. Eine besonders interessante Möglichkeit ist in diesem Zusammenhang das Vor- und Durchführen von Experimenten aus der Spitzenforschung für bzw. durch Studierende, die in Kooperation mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Industriepartnern realisiert werden könnte. LabView wird bereits intensiv in der experimentellen Physik eingesetzt.



Screenshots aus dem Interfacing-Labor "Labview"

– Interaktive Bildschirmexperimente

Interaktive Bildschirmexperimente (IBE) werden an der TU im ehemaligen Institut für Fachdidaktik und Lehrerbildung des Fachbereichs Physik und jetzt in der Fakultät II entwickelt. Sie haben eine Reihe internationaler und nationaler Preise gewonnen und sind inzwischen auch kommerziell erhältlich. IBEs sind ein Beispiel für die Vorreiterrolle der TU beim Einsatz moderner Medien. In den IBEs werden reale Situationen mit Video aufgezeichnet und in Programme eingebettet, die es dem Nutzer erlauben, selber zu experimentieren, also selber Knöpfe auf den dargestellten Geräten zu drücken und die *tatsächlichen* (also nicht simulierte) Auswirkungen zu sehen.



Screenshots aus dem Virtuellen Labor "IBE's"

Die Erstellung solcher virtueller Labore ist heute noch ausgesprochen zeitaufwendig und teuer. Aktuell wird an vielen Orten an Methoden und Werkzeugen geforscht, die effiziente und damit kostengünstige Entwicklung virtueller Labore erlauben (an der TU: Applet Factory, JavaView, Oorange, Cinderella und Interaktive Bildschirmexperimente).

4.2.6 Kommunikations- und Kooperationsumgebungen

Kooperation und insbesondere die Kommunikation auf virtueller Ebene hat sich inzwischen so eingebürgert, dass auf eine ausführliche Darstellung verzichtet wird.

- **Virtuelle Kommunikationsumgebungen**

Verschiedenste multimediale Kommunikationstechnologien erlauben räumlich und zeitlich flexible Kommunikation. Email, *online* Konferenztechnologien und Videoübertragungen ermöglichen verteilte Lehr- und Interaktionsszenarien.

- **Virtuelle Kooperationsumgebungen**

Virtuelle Kooperationsumgebungen sind auf Kooperationsförderung (zwischen Lernenden bzw. zwischen Lernenden und Lehrenden) ausgelegt; sie erlauben die Einrichtung kooperativer virtueller “Räume” mit gemeinsamer Datenerzeugung, -modifikation und -ablage unter Verwendung verschiedener Kommunikationsstrategien.

Virtuelle Kooperationsumgebungen werden heute noch *nicht* in einem wünschenswerten Umfang eingesetzt: ein objektiver Grund dafür liegt darin, dass solche Tools von ihrer Natur hochgradig integrativ gegenüber verschiedener Software, Dokumentenformaten etc. sein müssen. Hierfür fehlen aber vielfach noch die Standards (bisweilen werden Standardisierungsbemühungen sogar unterlaufen und vorhandene Standards aus wirtschaftlichen Gründen ignoriert).

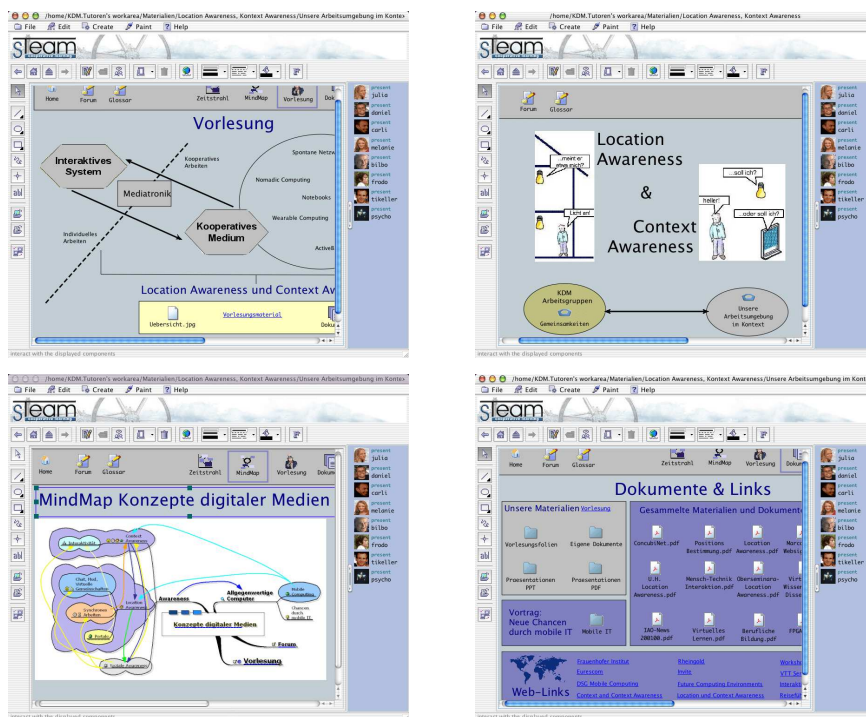
Im folgenden wollen wir einige wenige, insbesondere an Universitäten entwickelte bzw. für den universitären Einsatz optimierte Werkzeuge dieser Art vorstellen:

- **sTeam**

sTeam ist eine Open Source Umgebung für den Aufbau und die Pflege virtueller Wissensräume. Sie stellt eine Fülle unterschiedlicher Mechanismen zur Unterstützung von kommunikativen und kooperativen Lern- und Arbeitsprozessen zur Verfügung. Virtuelle Wissensräume vereinigen synchrone und asynchrone Formen der Zusammenarbeit mit der Verwaltung hypermedialer Dokumente. Studierende und Lehrende treffen sich in virtuellen Wissensarealen, wo sie netzgestützt Dokumente ablegen und aktiv bearbeiten können, indem sie sich gemeinsame Sichten auf sie verschaffen, sie austauschen, arrangieren, gegenseitig kommentieren und durch Verweise verknüpfen. Dabei tragen Verfahren der Berechtigung wie Nutzergruppen und Zugriffsrechte dieser Form des offenen und kooperativen Umgangs mit Materialien Rechnung ([Ham01a], [Hama], [Bre90]).

Der Schwerpunkt liegt auf Verfahren der verteilten Wissensverwaltung und der Etablierung einer Arena für die Ausprägung netzgestützter Kooperationspraktiken. Das Prinzip der Selbstadministration gestattet es, individuelle Wissensstrukturen für Gruppen und Einzelpersonen anzulegen und virtuelle Gemeinschaften aufzubauen. Im Zentrum der Forschung

stehen unter anderem Mechanismen der sozialen Wahrnehmung, synchrone Zeichenflächen und kooperative Konstruktionstechniken. sTeam wurde mit Unterstützung des DFN-Vereins unter der Bezeichnung opensTeam an der Universität Paderborn entwickelt.



Screenshots aus "sTeam"

– DISCO

Mit der an der Universität Paderborn entwickelten Software DISCO (Digitale Infrastruktur für computerunterstütztes kooperatives Lernen) steht ein an Universitäten erprobtes Tool zur Realisierung kooperativer Lernszenarien zur Verfügung, die die durchgängige Verfügbarkeit multimediale Lernmaterialien an allen Lernorten und zu jedem Zeitpunkt gewährleistet.

Kernpunkte dieser Infrastruktur sind neben Netzkomponenten, Multimediaservern und einem Multimedialabor auch interaktive Seminarräume und Hörsäle. Mit Hilfe dieser Infrastruktur ist es möglich, mehrere Tausende von Dokumenten zu verwalten und Lehrveranstaltungsunterlagen samt Audio-Annotationen sowohl über das Netz als auch auf CD-ROM (etwa mit der letzten Vorlesung) zur Verfügung zu stellen.

In den interaktiven Hörsälen wird die klassische Vorlesung zum vielfachen Dialog. Vernetzte und zusätzlich mit einer interaktiven Steuerung ausgestattete PCs ermöglichen es Studierenden, eine aktive Rolle einzunehmen, indem sie Sender wie Empfänger, Sprecher wie Zuhörer, Vortragende wie Zuschauer sein können. Menschen interagieren mit Menschen,

nicht Menschen mit Maschinen – gleichzeitig werden aber alle technologischen Möglichkeiten der “Neuen Medien” genutzt.



“Disco” im Einsatz in der Lehre

Kapitel 5

Wissenschaftliche, institutionelle & soziale Herausforderungen

Die Chancen, die die Neuen Medien bzw. Informations- und Kommunikationstechnologien für die Entwicklung innovativer Lehr- und Lernmethoden bieten, sind längst unumstritten – viele der Möglichkeiten sind aber heute noch “Zukunftsmusik”:

Wir wollen in diesem Kapitel verschiedene Bereiche diskutieren, die zu den zentralen Themen erfolgreicher Umsetzung “intelligenter” multimedialer Lernszenarien zählen. Dabei analysieren wir vornehmlich technische Aspekte, zeigen aber exemplarisch auch auf, dass die Schwierigkeiten bei der Realisierung keinesfalls nur auf technische, sondern auch auf organisatorische Probleme zurückzuführen sind.

Wir beginnen mit der Untersuchung semantischer Codierung multimedialer Inhalte, wobei nicht nur textbasierte, sondern auch visuelle Anteile betrachtet werden (Kap. 5.1, 5.2). Der Aspekt der Strukturierung der Inhalte nimmt in dieser Arbeit ohnehin einen breiten Raum ein (Kap. 6, 7, 8.1, 9.2), weshalb wir ihn in Kap. 5.3 lediglich kurz zusammenfassen. Die Problematik monolithischen Software-designs wird in Kap. 5.4 behandelt. Als Abschluss des technischen Teils diskutieren wir intelligente Mensch-Maschine-Schnittstellen vor den speziellen Anforderungen der Kommunikation mathematischer Fachinhalte (Kap. 5.5). Wir beleuchten Notwendigkeit und Einfluss von Kontinuität und institutioneller Integration in Kap. 5.6. Abschließend setzen wir uns mit den Chancen, aber auch den Problemen und speziellen Anforderungen behinderter Menschen bei der Nutzung multimedialer Lernumgebungen auseinander (Kap. 5.7).

Die in diesem Kapitel aufgeworfenen Fragen haben Anlass gegeben für die Vorbereitung einer Anzahl von Forschungsanträgen (“DFG-Cluster”, S. Jeschke, U. Kortenkamp, T. Richter, R. Seiler et.al., [Jes04b], [Jes04i], [Fel04], [Jes04h], [Kli04], [Dah04]).

5.1 Semantische Formulierung mathematischer Sprache

Viele der in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Anwendungen und Szenarien setzen semantische Kodierung mathematischer Inhalte voraus. Wir wollen das exemplarisch deutlich machen:

- **Verknüpfungen verschiedener Applikationen:**

Benutzer von semantisch orientierten Softwaresystemen wie z.B. diversen ComputerAlgebraSystemen können erstmals Formeln aus einer WWW-Seite in das ComputerAlgebraSystem kopieren, z.B. um das in dieser Formel dargestellte Ergebnis zu überprüfen oder zu visualisieren.

- **Verknüpfungen verschiedener Inhaltsbestände:**

Im WWW können Dokumente, z.B. Lernbausteine oder zentrale wissenschaftliche Ergebnisse, mit einer Art formal-semantischem Abstract verknüpft werden: Die Assoziation einer semantischen Inhaltsangabe mit einem Dokument stellt einen wesentlichen qualitativen Wertgewinn für das so beschriebene Dokument dar.

- **Verbindung von Mensch und Maschine:**

Auf semantischer Dekodierung basierende "natürliche Mensch-Maschine-Interfaces", etwa stift- oder sprachbasierte Eingabemechanismen (vergl. Kap. 5.5), erlauben eine direktere, schnellere, weniger formalisierte und endgerätunabhängigere Interaktion mit dem Computer. Gerade im Bereich der Eingabe mathematischer Inhalte kommt diesem Aspekt wegen der Komplexität der Eingabe von Formeln über die Tastatur eine besondere Bedeutung zu.

- **Kommunikation und Kooperation:**

Die semantische Beschreibung von Objekten, also die Reduktion auf die eigentliche Bedeutung eines Gegenstands unter Abspaltung seiner Darstellung, ist die Grundlage für (wissenschaftliche) Kommunikation und, darauf basierend, Kooperation. Unterschiedliche Bezeichnungen und Notationen desselben Gegenstands werden ineinander überführt, eine gemeinsame Sprachbasis geschaffen.

Die semantische Kodierung von Inhalten ist also Grundlage für eine Erweiterung der gegenwärtigen Informations- und Kommunikationstechnologien, in denen Information eine wohldefinierte Bedeutung hat, so dass Computer und Menschen besser interagieren können.

Insbesondere das W3C-Konsortium erarbeitet – in Kooperation mit einer großen Zahl von Wissenschaftlern und Industriepartnern – derzeit Standards und Technologien, um Daten in einer Weise zu definieren und miteinander zu verknüpfen, dass sie für effektivere Such-, Automatisierungs- und Integrationsprozesse genutzt und über mehrere Anwendungen hinweg wiederverwendet werden können: das volle Potential

multimedialer Anwendungen wird sich uns erst erschließen, wenn Daten sowohl von automatischen Werkzeugen als auch von Menschen nutzbar und bearbeitbar sind.

Derzeit existieren zwei Ansätze zur semantischen Beschreibung mathematischer Inhalte:

- **MathML**

MathML (<http://www.w3.org/Math/>) ist eine vom W3C-Konsortium verabschiedete XML-Spezifikation für die Beschreibung mathematischer Formeln ([Mata]), die in Kooperation mit Herstellern großer ComputerAlgebraSysteme (etwa Wolfram Research/Mathematica) entwickelt wurde (offizieller Standard).

Diese objektorientierte Auszeichnungssprache wird häufig nur in ihrer Bedeutung für die Darstellung mathematischer Formeln im Browser wahrgenommen.¹ MathML verfolgt aber durchaus auch das Ziel, mathematische Inhalte semantisch zu kodieren.

MathML existiert deshalb in zwei verschiedenen Ausprägungen: “Presentation Markup” kodiert die mathematischen Zeichen und ist damit Grundlage der Darstellung von Formeln in Webseiten. “Content Markup” kodiert darüberhinaus den mathematischen Inhalt, die Bedeutung der Zeichen, und ist damit Grundlage von Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen verschiedenen Anwendungen. Dabei ist “Presentation Markup” als eine Teilmenge des “Content Markup” definiert, oder anders ausgedrückt: durch entsprechende Ergänzungen lässt sich “Presentation Markup”-Code zu “Content Markup”-Code erweitern.

Der Sprachumfang von MathML orientiert sich zunächst am sog. “K–12”-Standard (Kindergarten bis Klasse 12). Dieses abgeschlossene kleine Vokabular ist für wissenschaftliche Lehr- und Forschungszwecke und Fachkommunikation keinesfalls ausreichend – derzeit einer der großen Kritikpunkte am MathML-Standard. MathML verfügt jedoch über eine Schnittstelle für Erweiterungsvokabulare, die z.B. durch die Content Dictionaries von OpenMath (s.u.) spezifiziert werden können. Ein weiterer zentraler Kritikpunkt ist, dass es letztlich keinen syntaktisch fixierten MathML-Standard für den Inhalt eines Content-Tags gibt – MathML muss als semantische Beschreibungssprache noch weitere Stufen der Spezifikation und Standardisierung durchlaufen.

¹Die Darstellung mathematischer Formeln in HTML-Seiten war zunächst nur durch Verwendung von Bildern möglich, weil HTML keine Formeldarstellung unterstützt. Aus verschiedenen Gründen ist das eine unbefriedigende Lösung: zunächst skalieren Bilder nicht mit, wenn die Fontgrößen verändert werden. Die Positionierung von Formeln “inline”, also innerhalb eines Textblocks, ist problematisch. Bilder sind nicht maschinenlesbar, so dass die Formeln keinerlei Interaktion erlauben; sie können weder gesucht, kopiert, manipuliert noch automatisch ausgewertet werden. Weitere Probleme sind hierbei lange Ladezeiten und schlechte Qualität des Druckes.

- **OpenMath**

Schwerpunkt der Entwicklung von OpenMath (<http://www.openmath.org>) liegt auf der Kommunikation zwischen verschiedenen mathematischen Computer-Programmen. OpenMath versteht sich als eine semantische Metasprache der Mathematik, die als Datenaustauschformat fungieren kann, mit einfacher Erweiterbarkeit. OpenMath wurde im universitären Umfeld unter großem Einfluß des DFKI Saarbrücken entwickelt.

Die Semantik mathematischer Objekte wird über sog. “Content Dictionaries” (CDs) kodiert. Zur Definition neuer Objekte werden CDs importiert und verwendet, es entsteht ein semantisches Netzwerk. Sog. “Phrasebooks” agieren als Interface zwischen einer Software-Applikation und OpenMath. Basierend auf den Content Dictionaries, übersetzen sie OpenMath-Objekte in eine für die spezifische Software geeignete interne Darstellung. Die OpenMath-Objekte selbst sind geteilt in einen formellen (FMP, “formal mathematical property”) und informellen Teil (CMP, “commented mathematical property”); der FMP-Teil codiert dabei die Semantik, der CMP-Teil liefert eine allgemeine Beschreibung (einfacher Text).

Ein Nachteil von OpenMath gegenüber MathML liegt in der fehlenden Präsentationsfähigkeit; dies kann jedoch teilweise ausgeglichen werden, da OpenMath in MathML konvertiert werden kann. Ein anderes Problem liegt in der aktuell eher geringen Akzeptanz: trotz gelungenen Ansatzes und mächtigen Sprachdesigns ist es der OpenMath-Community bisher nicht gelungen, eine mit MathML vergleichbare Verbreitung zu erreichen. Dies liegt z.T. darin begründet, dass die auf unterschiedlichen Anforderungen und Konzepten basierenden Modelle MathML und OpenMath als Konkurrenz zueinander diskutiert wurden: dabei wurden MathML – wegen der stärkeren Industrieunterstützung – die besseren Chancen eingeräumt, obwohl der inhaltliche Ansatz längst nicht so weitreichend ist wie derjenige von OpenMath. Inhaltlich sinnvoller ist es, OpenMath als Erweiterung von MathML weiterzuentwickeln und damit eine Schwäche von MathML – das nicht-ausreichende Fachvokabular – zu reduzieren.

Über beide Ansätze muss abschließend gesagt werden, dass die derzeit zur Verfügung stehenden Eingabewerkzeuge von mathematischen Formeln absolut unbefriedigend sind und keine Rücksicht auf die für Mathematiker gewohnte L^AT_EX-Notation nehmen, was in einer großen Barriere für den Einsatz dieser Metasprachen resultiert – außerhalb des wissenschaftlichen Bereichs ist der Einsatz semantischer Kodierung mathematischer Inhalte nicht zuletzt deshalb rar.

Für die semantische Beschreibung mathematischer Inhalte existieren also umfangreiche Vorarbeiten, eine konsistente vollständige Formulierung steht aber noch aus: vor diesem Hintergrund wurde der Begriff *DIMES* (“*D*igital *M*athematical *E*xpression*S*”) im Frühjahr 2003 bei der Vorbereitung eines neuen Forschungsvorhabens ([Jes03g], vergl. Auch Kap. 11) gemeinsam mit Prof. Reinhard Keil-Slawik, Universität Paderborn geprägt, das die Untersuchung von Interaktionsmöglichkeiten mit mathematischen Objekten zum Ziel hat.

5.2 Semantische Beschreibung von Bildern, Animationen & Simulationen

Wie in dem Begriff “Multimedia” bereits deutlich wird, zeichnen sich die Neuen Medien gerade durch eine Kombination verschiedener Medientypen aus. Inhalte werden nicht nur textbasiert, sondern vor allem auch visuell dargestellt.

Eng verwandt mit der in Kap. 5.1 dargestellten Problematik der semantischen Kodierung mathematischer textbasierter Inhalte ist deshalb die semantische Beschreibung graphischer, visueller Anteile:

- **Bilder**

Bilder und Diagramme spielen für das Verständnis mathematischer Inhalte eine entscheidende Rolle. Komplizierte, abstrakte Zusammenhänge und Konzepte können anhand eines einzelnen Bildes oft besser vermittelt werden als durch seitenlange Texte.

- **Animationen**

Oft sind auch Animationen, automatisiert ablaufende Folgen von Bildern, geeignet, komplexe Zusammenhänge, zeitliche Abläufe oder Wirkungsweisen von Operationen zu visualisieren.

- **Simulationen**

Die Integration von Simulationen, z.B. durch Java-Applets, in Webdokumente entwickelt sich – insbesondere im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich – zu einem wichtigen Instrumentarium, um wissensbasierte Inhalte dynamisch darzustellen und interaktive, experimentelle Beschäftigung mit den Gegenständen zu ermöglichen.

Zwei grundsätzliche Nutzungsformen sind zu unterscheiden: Zum einen zielt semantische Kodierung visueller Inhalte auf Durchsuchbarkeit von Materialbeständen und alternative Präsentationen ab. Zum anderen können semantische Beschreibungen von Bildern, Animationen und Simulationen Basis potentieller Interaktion mit diesen Objekten und Grundlage der Weiterverwendung ihrer dargestellten Inhalte etwa innerhalb anderer Applikationen sein.

Und zwei grundlegende Herangehensweisen sind zu unterscheiden: Zum einen können visuelle Objekte von ihren Entwicklern mit einer semantischen Kodierung versehen werden. Zum anderen kann versucht werden, Mechanismen automatischen Bildverständnisses für die Gewinnung semantischer Beschreibungen zu nutzen. Neben der Darstellung visueller Inhalte durch semantische Beschreibungssprachen ist also die automatisierte Generierung der semantischen Beschreibung eine wichtige Forschungsfrage.

Zunächst müssen also geeignete semantische Beschreibungen spezifiziert werden: Im Gegensatz zu textbasierten Dokumenten, bei denen die Bereitstellung der Beschreibungen direkt auf der zugrunde liegenden Sprache aufgebaut werden kann, müssen für visuelle Elemente neue Beschreibungskonzepte entwickelt werden. Ein bereits existierendes Modell ist der MPEG7-Standard, der auf den XML- und RDF-Techniken aufbaut. Forschungsvorhaben zur semantischen Beschreibung von Java-Applets mathematischen Inhalts sind derzeit nicht bekannt.

Bildverstehen ist ein kompliziertes und weitgefächertes Forschungsgebiet, dessen Probleme trotz jahrzehntelanger Bemühungen noch lange nicht als gelöst betrachtet werden können. Es ist per se unmöglich, ein beliebiges Bild ohne jegliche Vorkenntnisse seines Inhalts zu verstehen.

Andererseits wird jeder Teilschritt der Analyse eines Bilds um so einfacher, je mehr Vorkenntnisse über den Inhalt zur Verfügung stehen; Bilder mathematischen Inhalts haben daher gewisse Vorteile:

Zum einen sind sie i.a. künstlichen Ursprungs, so dass die Spezifika computergenerierter Bilder bei der Analyse zugrunde gelegt werden können. Zum zweiten basieren sie auf einer stark eingeschränkten Menge typischer Objekte, z.B. Graphen, Kurven, Flächen, einfachen drei-dimensionalen Objekten. Und schließlich werden sie mit der gezielten Intention der Verständlichkeit erzeugt: Ihr Inhalt soll für einen menschlichen Betrachter leicht erkennbar sein, was natürlich auch das automatische Verständnis durch den Computer erleichtern sollte.

Aus diesen Gründen erscheint die Auto-Generierung semantischer Information visueller Objekte mathematischen Inhalts nicht völlig aussichtslos.

Schließlich bildet die Entwicklung von Methoden, visuelle Inhalte semantisch zu beschreiben und automatisch natursprachliche Beschreibungen beliebiger Inhalte zu erzeugen, einen grundlegenden und essentiellen Bestandteil in allen Bemühungen, Barrieren für sehbehinderte Menschen zu entfernen und ihnen alle Formen von visuellen Daten zugänglich zu machen (vergl. Kap. 5.7).

5.3 Strukturen von Wissensgebieten und ihren Inhalten

Fehlende Strukturierung von Wissensgebieten und ihren Inhalten sind eines der zentralen Probleme heutiger Lernumgebungen. Diesem Aspekt kommt ein so großes Gewicht zu, dass wir ihm – abstrakt und konkret für Strukturen in der Mathematik – im Rahmen dieser Arbeit eine detaillierte Diskussion in mehreren Kapiteln widmen (Kap. 6, 7, 8.1, 9.2) und hier nur eine Zusammenfassung geben wollen:

Der Wunsch nach Wiederverwendbarkeit, Weiterverarbeitung und hoher Interaktivität von Inhaltsbausteinen führt auf die Notwendigkeit fein(st)granularer, in ihrer Binnenstruktur formalisierter Wissensbausteine (vergl. Kap. 8.1, 9.2). Die (insbesondere auch daraus resultierende) große Anzahl von Inhaltsfragmenten verlangt übersichtliche, nachvollziehbare Strukturen der Verwaltung dieser Objekte, damit diese einer vielfältigen Nutzung überhaupt zugänglich sind.

Obwohl die zugrunde gelegten Ziele praktisch “Konsens” in der Community der Entwickler, Betreiber und Autoren von Lernumgebungen sind, spielen in einer Majorität der Projekte die Modellierung geeigneter Strukturen und deren Implementation eine deutlich untergeordnete Rolle.

Dafür gibt es verschiedene Ursachen:

Zum einen ist die Notwendigkeit oft nicht klar, weil die Zusammenhänge nicht erkannt werden: Die Entwicklung insbesondere fachspezifischer Lernumgebungen und fachspezifischer Software findet vorwiegend durch Wissenschaftler des entsprechenden Fachgebiets statt. Diesen sind aber häufig die Auswirkungen fehlender Strukturierung – insbesondere hinsichtlich Ausbau- und Erweiterbarkeit sowie Adaption an neue Technikgenerationen – nicht bewusst.

Zudem bewirkt die Verwendung strikter Strukturierungen und Formalisierungen der Fachinhalte auch Veränderungen der “Practice” (Art und Weise, wie eine Disziplin betrieben wird) und der eigenen Arbeitsweise, die teilweise als störend, teilweise auch als einschränkend empfunden werden: Selbst in einer Disziplin wie der Mathematik, in der formale Strukturierung und Formalisierung einen wesentlichen Teil des Wesens der Disziplin ausmachen und damit eigentlich auf hohe Akzeptanz stoßen sollten, sind strikt modulare Konzepte, wie etwa in Kap. 8.1 vorgestellt, nicht leicht umzusetzen, weil sie auf der strukturellen Ebene eine Standardisierung bewirken und damit individuelle Vorstellungen in den Hintergrund drängen.

Schließlich ist die Analyse der innerfachlichen Strukturen eines Gebiets und die konzeptionelle Entwicklung einer Fach-Ontologie (Kap. 6) eine zeitlich aufwendige, inhaltlich komplexe und schwierige Aufgabe, die noch dazu unbedingt von den Fachwissenschaftlern einer Disziplin geleistet werden muss – und gerade sie stehen der Notwendigkeit einer solche Entwicklung vielfach skeptisch gegenüber, womit wir wieder beim ersten Punkt der Argumentation angekommen wären.

5.4 Integrationstechnologien

Lange Zeit dominierten “Monolithische Alleskönner” die Szene der sog. Lernplattformen. Plattformen wie WebCT, Clix oder Blackboard sind weder auf fachspezifische noch auf fachdidaktische Bedürfnisse hin ausgelegt: Es handelt sich dabei eher um eine Studienorganisationssoftware mit angeschlossenem DokumentenManagement-Center als um eine “echte” Lernumgebung, bei der der eigentliche Lernprozess im Vordergrund steht.

Der Ansatz führt – nun konkret für die Wissensvermittlung in der Mathematik, und darüberhinaus in Natur- und Ingenieurwissenschaften – dazu, dass aktuell keine dieser Plattformen zur Verfügung steht, die über ein befriedigendes Werkzeug für das Editieren mathematischer Formeln verfügt, die Anbindung von ComputerAlgebra-Systemen und andere fachspezifischer Software erlaubt und die Integration eigener Navigationskonzepte ermöglicht – um nur einige Beispiele zu nennen.

Zunehmend setzt sich heute die Erkenntnis durch, dass – statt “einer einzigen Software für alles” – vielmehr die Möglichkeit der freien Komposition von Einzelapplikationen zu einem gemeinsamen Ganzen, die über Schnittstellen miteinander kommunizieren, wichtig ist: sog. “Portaltechnologien” rücken in den Blickpunkt. Dabei können verschiedene heterogene Einzelanwendungen beliebig miteinander kombiniert werden, sofern sie nur gewisse, einheitliche Standards bedienen – die Autarkie der Entwicklungen ist weitgehend unberührt, das Portal selber fungiert vor allem als Kommunikationsschnittstelle (vergl. Kap. 12.3 sowie Kap. 11.2.4).

Die grundsätzlichen Möglichkeiten der Portal-Konzepte sind heute weitgehend erkannt, die Vorteile klar sichtbar. Dennoch setzen sich Portale erst langsam durch: Eine Ursache ist, dass zwar das Konzept von Portaltechnologien verstanden, dass aber die konkreten Implementierungen noch in der Entwicklung sind. Umfangreiche Testphasen müssen durchlaufen und komplexe Standardisierungsfragen gelöst werden, um die angestrebte “Kombinationsfähigkeit” auch tatsächlich zu ermöglichen.

5.5 Mensch-Maschine-Schnittstellen

Aufgabe der Schnittstellentechnologie ist die Übertragung der Informationen vom Menschen in eine maschinengerechte Form und umgekehrt die Umwandlung der Signale der Maschine in eine vom Menschen wahrnehmbare Form.

Dabei stellt insbesondere der erste dieser beiden Übertragungsprozesse (Mensch $\rightarrow$ Maschine) in der Mathematik eine besondere Herausforderung dar: Zum einen kann Mathematik ohne mathematische Formeln nicht notiert werden. Zum zweiten spielen Graphiken eine große Rolle bei der Vermittlung mathematischer Inhalte (Kap. 5.2). Zwar stehen für beide Anforderungen prinzipiell Editier-Methoden zur Verfügung – der Quasi-Standard $\text{\LaTeX}$ für die Formulierung von Formeln, geeignete Graphikprogramme für Bilder – nur muss deren Bedienung zunächst erlernt werden und ist selbst für “Profis” äußerst zeitaufwendig, Anfängern nicht zuzumuten. Kommunikative Szenarien mit schneller Abfolge von Aktion und Reaktion sind auf dieser Basis nicht möglich. Interaktive Practice-Szenarien (Kap. 9) und Virtuelle Labore (Kap. 11.2.2) benötigen schnelle, flexible Eingabeverfahren (Kap. 9.3).

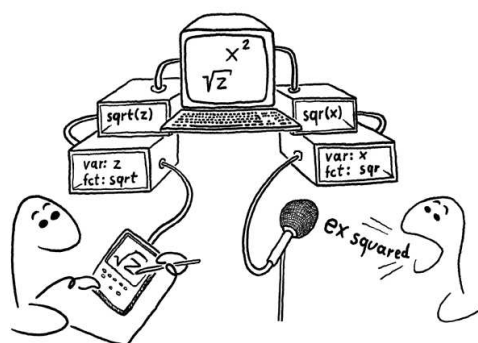


Abb. 5.1: Semantische Interpretation natürlicher Eingabeformen

Die Entwicklung “natürlicher” Mensch-Maschine-Schnittstellen, etwa auf Basis handschriftlicher oder auditiver Eingaben, ist deshalb ein wichtiges Forschungs- und Entwicklungsgebiet (vergl. Kap. 11.2.1). Während für die Alltagssprache bereits Lösungen zur Verfügung stehen, existieren für handschriftliche oder gesprochene Formeln sowie handgezeichnete mathematische Graphiken bisher kaum Ansätze.²

Wieder stellt sich auch die Frage der semantischen Codierung von Inhalten sowohl textueller, formelhafter als auch visueller Natur (vergl. Kap. 5.1, 5.2): Die Verwaltung der Eingaben in Form von Audio-Streams oder Bild-Formaten las-

sen keine weitere Verwendung der Objekte zu. Nur wenn die Objekte in ihrer Bedeutung erfasst werden, ist ihre sinnvolle Nutzung möglich.

Schließlich ist diese Problematik auch nicht auf die Mathematik allein beschränkt: in anderen Disziplinen ist ebenfalls die Formulierung fachspezifischer Sprachstrukturen nötig. Beispiel hierfür sind z.B. Formeln in der Chemie, Noten in der Musik oder UML-Diagramme in der Informatik.

²Eine Ausnahme stellt das an der FU von Prof. Rojas geleitete Projekt “eKreide” ([eKr]) dar, innerhalb dessen aktuell ein “Handschrift2 $\text{\LaTeX}$ -Converter” entwickelt wird.

5.6 Nachhaltigkeit und institutionelle Integration

Die Entwicklung, Erarbeitung und Erprobung des Einsatzes von Multimedia ist eine Zukunftsinvestition – in die Qualität der Lehre einer Universität, aber auch in die Qualität der Forschung. Es müssen daher nicht nur Maßnahmen ergriffen werden, die kurzfristig die Integration von Multimedia in Lehre und Forschung erleichtern – vielmehr müssen konsequent Maßnahmen zur dauerhaften Sicherung dieses Prinzips entwickelt und praktiziert werden.

Eine sehr große Zahl heutiger Multimedia-Initiativen an Universitäten ist derzeit auf Projektbasis organisiert. Obwohl diese Organisationsform auch große Vorteile in sich birgt, ist die “Projekthaftigkeit” selber bereits ein zentrales Problem: Projekte eignen sich zum Ausloten neuer Möglichkeiten, zum Erproben neuer Ideen, zur raschen Umsetzen eines Einzelaspektes – aber sie sind nicht geeignet, langfristige Strukturen aufzubauen und erworbene Kenntnisse und Kompetenzen dauerhaft für die Universität zu sichern.

Dazu stellt sich vielerorts ein weiteres Problem: die Majorität der Aktivitäten wird derzeit durch Drittmittel finanziert, die ausnahmslos eine begrenzte Laufzeit haben. Zudem handelt es sich nach dem Verständnis der Drittmittelgeber oftmals ohnehin nur um Anschubfinanzierungen.

Damit bleibt als Fazit, dass die Universitäten an dieser Stelle selber einen höheren Beitrag leisten müssen, wenn sie die Dauerhaftigkeit der Integration von Multimedia in Forschung und Lehre erreichen müssen: *Programm* statt *Projekt*.

Dabei liegt die Verantwortung der Universitäten keineswegs nur im finanziellen Bereich: Die erfolgreiche Integration Neuer Medien und Neuer Technologien in die Lehre steht und fällt mit der Einbindung der Mitarbeiter einer Universität in die multimediale Lehre und Forschung. Hierzu sind einerseits Anreizmechanismen, gleichzeitig aber die Bereitstellung der notwendigen technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen notwendig.

Die nachfolgende Liste skizziert die zentralen Aspekte, die maßgeblich für die fehlende Nachhaltigkeit und unzureichende institutionelle Integration verantwortlich sind:

- **Fehlende Honorierung der Lehrleistung**

Die Entwicklung, Erarbeitung und Erprobung des Einsatzes von Multimedia bedeutet eine Investition von Zeit, das Erweitern von zur Gewohnheit gewordenen Unterrichtsformen und das Erlernen von neuen Möglichkeiten der Wissensvermittlung. Nach wie vor basierten aber z.B. Berufungen auf Professorenstellen fast ausschließlich auf den wissenschaftlichen Leistungen, Lehrleistungen spielen nur eine untergeordnete Rolle. Die Leistungen von Lehrenden, die sich den o.g. Aufgaben im größerem Stil widmen, müssen Eingang finden in die entsprechenden “Leistungskriterien” in Lehre und Forschung und hier ent-

sprechend “gewürdigt” werden: in Leistungserfassungssystemen, als Kriterium bei Berufungen oder Stellenbewertungen.

- **Fehlende Kompetenz und Schulung**

Kenntnisse im Umgang mit Neuen Medien in Unterrichtsszenarien können nicht pauschal vorausgesetzt werden. Damit Lehrende die elektronischen Medien für Studierende gewinnbringend einsetzen können, müssen sie die Gelegenheit haben, die neuen Möglichkeiten kennenzulernen und den Umgang mit ihnen zu erlernen.

- **Unzureichende Ausrüstung der Lernenden**

Damit Lernende die elektronischen Medien nutzen können, müssen ihnen die notwendigen, modernen Arbeitsmaterialien auch zur Verfügung stehen. PC-Pools sind die falsche Antwort, wenn Computer als individuelles Werkzeug in den Lernprozess integriert werden sollen. Zwar verfügen heute an einer technischen Universität nahezu alle Studierenden (auch der Anfangssemester) über Desktop-Rechner mit Internetzugang – zunehmend nehmen aber die sog. “mobilen” Lehr- und Lernszenarien (vergl. Kap. 3.1) einen immer breiteren Raum ein, und gerade sie sind es, von denen ein großer didaktischer und auch sozialer Mehrwert ausgeht.

- **Unzureichende technische Infrastruktur**

Integration von Multimedia in Lehre und Forschung bedarf einer hierfür geeigneten Infrastruktur. Im Sinne der Nachhaltigkeit bedarf es eines eindeutigen *commitments* der Universität zu einer – den Anforderungen angepassten – Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur, inklusive Vernetzung, Hardware, Software, etc. sowie den anfallenden Service, wie Wartung und Reparaturen, Hilfestellung und Schulungen, damit nicht technische und organisatorische Barrieren den Erfolg eines Multimediakonzepts verhindern.

- **Mangelhafte IuK-Konzeption**

Die nachhaltige Integration von Multimedia in Lehre und Forschung verlangt eine stabile, integrative Information- und Kommunikationsstruktur. IuK kann und darf daher auch nicht mehr – wie vielfach in der Vergangenheit geschehen – von rein technischen und organisatorischen Gesichtspunkten aus betrachtet werden (vergl. Kap. 13). Vielmehr muss die “eigentliche Aufgabe” einer Universität, Lehre und Forschung, die Aufgaben von IuK und die IuK-Struktur bestimmen – Multimedia in Lehre und Forschung ist dabei eine wichtige Schwerpunktaufgabe.

- **Fehlende Integration in Studien- und Prüfungsordnungen**

Multimediale Anteile müssen – nach erfolgreicher Erprobung – in Curricula, Studien- und Prüfungsordnungen sowie Modulbeschreibungen und Studienzielen als verbindliche Handlungsgrundlage ausgewiesen werden. Dabei müssen die Maßnahmen verbindlich festgelegt, dabei aber nicht zu eng fixiert wer-

den, sondern vielmehr einer zu erwartenden, kontinuierlichen Entwicklung der Neuen Technologien Rechnung tragen.

- **Fehlende Integration in das Gesamtprofil**

Eine Universität braucht ein gemeinsames Verständnis über die Bedeutung und den Wert multimedialer Technologien für die Lehre und Ausbildung der Studierenden und für das Forschungspotential.

Dazu muss Multimedia in Lehre und Forschung ein integraler Bestandteil des universitären Profils werden, die Universität muss sich klar zu ihren Vorstellungen bekennen, sie muss die notwendige Unterstützung bei der Umsetzung leisten, und sie muss ihre Visionen klar in der Innen- und in der Außendarstellung kommunizieren.

5.7 Barrierefreiheit

Menschen mit Behinderungen haben – trotz Gleichstellungsgesetz und vieler anderen Bemühungen und Initiativen – deutlich reduzierte Bildungs- und Ausbildungschancen.³ Die Problematik verschärft sich sogar, denn die – insbesondere durch den Wandel von Industrie- zu Wissensgesellschaft getriebene – Revision zahlreicher Berufsbilder geht mit einer zusätzlichen *Steigerung* des Anforderungsniveaus einher. Die Integration behinderter Menschen in das soziale Leben setzt aber deren uneingeschränkte Partizipation an der Arbeitswelt voraus.

Moderne Informations- und Kommunikationstechnologien präsentieren sich derzeit als Fluch und Segen zugleich:

Einerseits ist für viele Menschen mit Handicaps der Zugang zu elektronischen Informations- und Bildungsangeboten oft beträchtlich erschwert, teilweise komplett verschlossen. Dabei nimmt gleichzeitig deren Einsatzumfang und Wirkungsbereich immer mehr zu, viele Angebote stehen inzwischen praktisch ausschließlich elektronisch zur Verfügung.

Andererseits ermöglichen Informations- und Kommunikationstechnologien vielen behinderten Menschen überhaupt erst Autonomie und Selbstbestimmung. Gerade der Einsatz von IT-Technologien im Bildung- und Ausbildungsbereich stellt für Menschen mit Behinderungen eine große Chance dar: “Intelligente” multimediale Lernszenarien sind in vielerlei Hinsicht wesentlich adaptiver als traditionelle Lernformen und -materialien.

Dabei ist die Zeit- und Ortsunabhängigkeit – von großer Bedeutung, insbesondere für mobilitätsbehinderte Menschen – nur die offensichtlichste Form der Adaption, hier im Sinn von “Flexibilisierung” (vergl. Kap. 3.1).

Der Einsatz verschiedener Medientypen zur Darstellungen eines Gegenstandes ermöglicht Zugang für Menschen mit unterschiedlichen sensorischen Behinderungen, und die Präsentation der Inhalte ist – abhängig vom jeweiligen Medientyp – steuer- und veränderbar und erlaubt die Anpassung an individuelle Bedürfnisse: der Einsatz von Computertechnologie realisiert erstmals die konsequente Trennung zwischen Darstellungsmedium und Darstellungsinhalt – während es im Gegensatz dazu nicht denkbar ist, den Text eines Buches losgelöst von Papier und Schrift wahrzunehmen.

Auch wird alternativen Heran- und Vorgehensweisen, die aus den teilweise veränderten Erfahrungswelten behinderter Menschen resultieren, durch das grundlegende Wesen eines Hypertextes Rechnung getragen: das Konzept der Nicht-Linearität ist die Grundlage für einen explorativen Zugang zum Wissen, der nicht durch starre, vorgegebene Reihenfolgen determiniert ist.

³Ein drastisches Beispiel mag das illustrieren: Ungefähr 80.000 Gehörlose leben nach Angaben des Deutschen Gehörlosenbundes in Deutschland. Ungefähr 1% dieser Menschen verfügt über einen Hochschulabschluss – in der hörenden Bevölkerung sind es rund 25% eines Altersjahrganges! Vergleichbar schlechte Ergebnisse ergeben sich praktisch bei fast allen übrigen Behinderungsformen.

Wir unterscheiden hier also drei Formen der Adaptivität:

- **Adaption durch Verfügbarkeit**
- **Adaption der Präsentation**
- **Adaption der inhaltlichen Anordnung**

Dabei ist die hohe Adaptivität i.w. begründet durch:

- **Räumliche und zeitliche Unabhängigkeit**
- **Trennung von Darstellungsmedium und Darstellungsinhalt**
- **Nichtlinearität des Hypertextes**

Dem hier skizzierten *Potential* des Einsatzes von IT-Technologien im Bereich der Bildung und Ausbildung wollen wir nun aber die *gegenwärtige Situation* gegenüberstellen, die ein weit weniger positives Bild liefert:

- Zwar *könnten* sich multimediale Lernumgebungen durch flexible Präsentation den behinderungsspezifischen Anforderungen anpassen – dies setzt allerdings eine strikte konzeptionelle Trennung von Inhalt und Layout, etwa durch den Einsatz von XML und XSL-Transformationen und dynamische Seitengenerierung voraus.
- Zwar *könnten* gleiche Inhalte in unterschiedlichen Medientypen vorliegen – der hiermit verbundene Aufwand ist jedoch so hoch, dass mit einem flächendeckenden Einsatz solcher Angebote erst zu rechnen ist, wenn Automatismen mindestens teilweise in der Lage sind, verschiedene Darstellungsformen ineinander zu konvertieren oder sie aus einem gemeinsamen “Ur-Dokument” zu erzeugen, was in weiten Teilen eine semantische Codierung der Inhalte nötig macht.
- Zwar *könnten* individuelle Lernprozesse selbstgesteuertes Lernen unterstützen – nur müssen dann die Inhaltsbausteine auch wirklich feingranular, die Plattformen modular gestaltet werden.

Diese Liste ließe sich weiter fortsetzen.

Weitere technische Probleme wie etwa die Entwicklungen behindertengerechter Eingabegeräte und geeigneter alternativer Ausgabegeräte sind zu lösen: multimediale Lernumgebungen stellen hier besondere Ansprüche. Während von einer beliebigen Informations-Website erwartet werden kann, dass sie mithilfe eines Screenreaders und einer Braillezeile immerhin “lesbar” ist, ist ein solches Verfahren für komplexe und interaktive Fachinhalte keinesfalls ausreichend. Besondere Schwierigkeiten stellen dabei Bilder und Simulationen dar, die aus inhaltlichen oder funktionellen Gründen nicht in beliebigen anderen Medientypen dargestellt werden können. Taktile Eingabe- sowie Ausgabegeräte wie etwa Stiftplatten und Drucker mit taktilem Ausgabe befinden sich erst in der Entwicklung.

Schließlich müssen Konzepte multimedialer behindertengerechter Didaktik und Fachdidaktik entwickelt werden. Die vom Gesetzgeber (Richtlinien der Bundesregierung mit der Prioritätsstufe I und II, [Bun02b]) und vom W3C (“14-Gebote-Konzept”, [Wor99]) vorliegenden Richtlinien und Standards (Stichwort: “Accessibility”, Barrierefreiheit) sind auf den Zugang zu Informationsportalen optimiert, enthalten aber keine Empfehlungen für Wissens-, Lern- und Fachportale und sind für eine behindertengerechte Umsetzung hochgradig interaktiver Lehr- und Lernangebote und stark an Experimentalszenarien orientierter Software weder gedacht noch geeignet.

Universitäten sind hier in mehrfacher Weise in der Verantwortung:

- Aufgrund der großen Vielfalt hochqualifizierter Berufsbilder sind sie ein attraktiver Ausbildungsort insbesondere für Menschen mit Behinderungen, ihren Absolventen bieten sich gute Verdienstmöglichkeiten und hohe soziale Anerkennung.
- Als ein zentraler Ausbildungsort im deutschen Bildungssystem müssen sich Universitäten für notwendige pädagogische Veränderungen einsetzen und sie effizient umsetzen.
- Als wichtiger Stützpunkt interdisziplinärer Forschung müssen Universitäten die notwendigen technologischen und informationstheoretischen Entwicklungen selbst steuern und aktiv vorantreiben.

TEIL C

Kapitel 6

Ontologien – Strukturebenen mathematischer Inhalte

Ontologien in der Informatik sind formal definierte Systeme von Objekten und Konzepten, ihren Relationen und ihren Regeln. Die Verwendung einer Ontologie erlaubt es, Kontextwissen wie z.B. die Beziehung zwischen Ober- und Unterbegriffen, die Verwandtschaft von Themengebieten usw. formalisiert zu spezifizieren und damit, stark vernetzte Informationssysteme aufzubauen. Zudem bieten Ontologien die Rahmenbedingungen für Kommunikation und Kooperation: Ohne gemeinsame Sprache ist kein Wissensaustausch möglich – Ontologien bieten gerade diese gemeinsame Sprachgrundlage.

Wir diskutieren zunächst die verschiedenen Problemstellungen und Zielsetzungen, die zur Entwicklung von Ontologien führen (Kap. 6.1), und beleuchten den Begriff der “Ontologie” im Detail (Kap. 6.2). Anschließend beschreiben wir die Strukturebenen mathematischer Textinhalte (Kap. 6.3.1) und setzen diese in Relation zu den Strukturen anderer Fachdisziplinen (Kap. 6.3.2).

Dieses Kapitel stellt eine Einführung in die Strukturierung von Wissensdomänen dar. Darauf aufbauend diskutieren wir in Kap. 7, 8 und 9 konkrete Realisationen der verschiedenen Stufen ontologischer Strukturierungskonzepte für die Mathematik als Fachdisziplin vor dem Hintergrund multimedialer Lern- und Forschungsumgebungen.

6.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Realisierung interaktiver, adaptiver, experimenteller Lern- und Forschungsszenarien mit weitreichender Unterstützung kommunikativer und kooperativer Prozesse (‘‘Next Generation’’ der eLearning-Technologie, vergl. Kap. 12.1.2) stellt hohe Ansprüche an Softwaredesign und technische Umsetzung:

- Grundfunktionalitäten von Wissensplattformen:
 - (schnelle, einfache) Lokalisation von Inhalten
 - Wiederverwendbarkeit und Rekombination von existierenden Inhalten
 - Ergänzung von Inhalten
- Software-Integration und Kompatibilität:
 - Interoperabilität (Einsatz in verschiedenen Systemlandschaften)
 - Datenaustausch mit fachspezifischen Tools (ComputerAlgebraSysteme, numerische Software)
 - Clusterung und Vernetzung verschiedener Software (cross application integration, ‘‘capi’’)
- Individualisierbarkeit und Kooperation:
 - Adaptivität und Individualisierbarkeit von Inhalten und Darstellungen
 - Darstellung von und Transformation zwischen verschiedenen Darstellungen und Verkörperungen desselben Objektes
 - Darstellung und Visualisierung von inhaltlichen Zusammenhängen (TopicMaps, ConceptMaps, MindMaps, KnowledgeNets)
 - Manipulation, Annotation, Variation und Transformation von Inhalten
 - Kooperation (Verwaltung gemeinsamer Inhalte, Content-Sharing)
 - Co-Produktion (gemeinsame Entwicklung von Inhalten)
- Nachhaltigkeit und Erweiterbarkeit:
 - Nachhaltigkeit von Software und Inhalten (Wartbarkeit, Anpassbarkeit)
 - Erweiterbarkeit auf spätere, zum Zeitpunkt der Entwicklung noch nicht bekannte Verwendungszwecke
- Realisierung künftiger Anforderungen:
 - Inferenz (Generation neuer Erkenntnisse aus bestehendem: Umstrukturierung von Wissen, Generierung neuer Hypothesen, Entwicklung von Generalisierungen)
 - Einsatz von multi-agent systems (für intelligentes Tutoring, Virtual Labs, automatisches Problemlösen)

Das Erreichen dieser Ziele setzt ein hohes Maß an inhaltlicher Strukturierung voraus. Die Entwicklung ontologischer Strukturen von Wissensbereichen (sog. “knowledge domains”) ist also maßgeblich vor dem Hintergrund folgender Fragestellungen geprägt:

- **Modularität:**
Wie bleiben Inhalte (bei zunehmender Menge und Größe der Gesamtplattform) handhabbar und kontrollierbar?
- **Verteilbarkeit, CrossApplicationIntegration:**
Wie können Inhalte verteilt bearbeitet werden?
- **InterOperabilität:**
Wie können Objekte auf beliebigen Systemen verwendet werden?
- **SoftwareIntegration:**
Wie können Objekte zwischen verschiedener fachspezifischer Software ausgetauscht werden, so dass deren Vernetzung möglich ist?
- **Manipulierbarkeit:**
Wie können vorhandene Objekte erweitert/verändert/in neue Kontexte gestellt werden?
- **Interaktivität der Objekte:**
Wie werden aus hypermedialen typographischen Zeichen digitale dynamische Objekte mit Funktionalitäten?

6.2 Definition des Ontologie-Begriffes

Wichtige Teile der hier beschriebenen Strukturierungen und Formalisierungen inhaltlicher Strukturen und ihrer Relationen werden in der Softwareentwicklung mit dem Stichwort “Ontologie” bzw. “Ontologieentwicklung” bezeichnet. Wir wollen diese Begriffe deshalb einführen und unseren eigenen Arbeitsansätze innerhalb dieser Terminologie einordnen.

Der Begriff “Ontologie” stammt ursprünglich aus der Philosophie (ontos griech., das Seiende; Lehre des Sein) und bezeichnet dort Natur und Organisation des Seins: Ontologie ist die Wissenschaft, Theorie und Untersuchung dessen, was ist, wie es ist, wie es aufgebaut ist, etc. In der Informatik taucht dieser Begriff Ende der achtziger Jahre zusammen mit der rasanten Entwicklung der Künstlichen Intelligenz (KI; auch Artificial Intelligence, AI) im Kontext “Kommunikation zwischen Mensch und Maschine – gemeinsame Sprachbasis” auf.

In der Informatik bezieht sich der Begriff der “Ontologie” i.a. weniger auf die formalisierte Darstellung der expliziten Inhalte (Skizze S. 93, Stufe 4) als vielmehr auf die Analyse der inhaltlichen Strukturierung eines Gebietes und der inhaltlichen Zusammenhänge (Skizze S. 93, Stufe 1, 2 & 3):

Menschen können sich gespeichertes Wissen zunutze machen, indem sie auf ihr Grund- und Kontextwissen des jeweiligen Wissensbereichs zurückgreifen, Lehrbücher, Regelwerke, Lexika und Schlagwortregister verwenden und mit den gespeicherten Inhalten verbinden. Sollen dagegen Automaten Such-, Kommunikations- und Entscheidungsaufgaben in Bezug auf das gespeicherte Wissen übernehmen oder Daten austauschen, die selbst Information darüber enthalten, wie sie zu strukturieren und zu interpretieren sind, so benötigen sie dazu eine Repräsentation der zugrunde liegenden Begriffe und derer Zusammenhänge. Dafür hat sich in einigen Zweigen der Informatik in den letzten Jahren der Begriff Ontologie eingebürgert.

(Wolfgang Hesse 2002, [Hes02])

Nach Gruninger und Lee ([Gru02]) ergeben sich drei zentrale Anwendungsfelder für Ontologien in der Informatik:

- **Kommunikation**
- **Automatisches Schließen und Repräsentation**
- **Wiederverwendung von Wissen**

Nach dieser eher “motivierenden Beschreibung” einer Ontologie wollen wir versuchen, den Begriff zu definieren. Die Definition des Ontologie-Begriffes in der Literatur der Theorie Künstlicher Intelligenz ist nicht einheitlich. Die (ursprünglich auf Genesereth und Nilsson ([Gen87]) und Gruber et.al. ([Gru93], [Nec91]) basierenden) Charakterisierungen sind heute jedoch die gängigsten und meist-zitierten:

Definition Ontologie:

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

‘Conceptualisation’ refers to an abstract model of some phenomenon in the world which identifies the relevant concepts of that phenomenon.

‘Explicit’ means that the type of concepts used, and the constraints on their use are explicitly defined.

‘Formal’ refers to the fact that the ontology should be machine readable.

‘Shared’ reflects the notion that an ontology captures consensual knowledge, that is, it is not private to some individual, but accepted by a group.”

(Borst 1997, Studer et.al. 1998, Fensel 2001)

Aufbau Ontologie:

“We consider ontologies to be domain theories that specify a domain-specific vocabulary of entities, classes, properties, predicates, and functions, and to be a set of relationships that necessarily hold among those vocabulary terms. Ontologies provide a vocabulary for representing knowledge about a domain and for describing specific situations in a domain.”

(Fikes & Farquhar 1999)

Eine Ontologie beschreibt also einen Wissensbereich (knowledge domain) mit Hilfe einer standardisierenden Terminologie sowie Beziehungen und Ableitungsregeln zwischen den dort definierten Begriffen. Sie stellt eine formale Beschreibung der Gegenstände und Beziehungen dar, die für eine Person oder Gruppe von Personen begriffsbildend sind (Begriffs-Beziehungsgeflechte gemeinsamen Verständnisses). Das gemeinsame Vokabular ist in der Regel in Form einer Taxonomie (s. S. 92) gegeben, die als Ausgangselemente (modelling primitives) Klassen, Relationen, Funktionen und Axiome enthält.

Ontologische Strukturen verfolgen das Ziel, die tatsächliche Struktur realer Bereiche zu modellieren – möglichst unabhängig vom späteren Verwendungszweck, weil dieser einer ständiger (Weiter-)Entwicklung unterworfen und somit zum Zeitpunkt der Entwicklung einer Ontologie nicht bekannt ist, und unabhängig von den Nutzergruppe, die sich entsprechend verändert. Ontologische Strukturen orientieren sich deshalb

nicht an subjektiven, individuellen Sichtweisen oder speziellen Erfordernissen, sondern an “objektivierbaren”, etwa logischen oder innerfachlichen¹: die “Inhaltlichkeit” steht im Vordergrund.

Zur inhaltlichen Abgrenzung wollen wir abschließend einige in diesem Kontext häufig verwendete Begriffe diskutieren:

- **Taxonomie:**

Traditionell bezeichnet “Taxonomie” die Wissenschaft von der Einteilung von Organismen in “Taxa” (Sing.: Taxon), also Gruppen in einen bestimmten Rang (Art, Gattung, Familie). In der KI wird der Begriff auf zweierlei Weise verwendet: einerseits für eine i.a. hierarchische Gliederung eines Wissensgebietes (vergl. Skizze S. 93, Stufe 1), andererseits für die Ausgangselemente (“modelling primitives”) wie Klassen, Relationen, Funktionen und Axiome einer konkreten Ontologie (Regelwerk der Strukturbildung). I.f. werden wir den Begriff der Taxonomie im erstgenannten Sinn verwenden.

- **Nomenklatur, Terminologie:**

Die Gesamtheit der Benennungen in einem Fachgebiet (das Fachvokabular) bilden eine Terminologie. Die Benennungen werden i.a. frei gewählt; die Namensgebung kann aber auch gewissen Regeln und Gesetzmäßigkeiten folgen: Der Begriff “Nomenklatur” bezeichnet ein Regelwerk, nach denen sich die Benennung von Objekten in einem bestimmten Themengebiet richten soll (z.B. Nomenklatur der Lebewesen, Nomenklatur chemischer Verbindungen). Existierende Nomenklaturen stellen i.a. innerfachliche Relationen und Regeln dar und bilden deshalb häufig eine Vorstufe einer Ontologie-Entwicklung.

- **Epistemologie:**

Der Begriff der “Epistemologie” wird im KI-Kontext bisweilen synonym zum Begriff der Ontologie verwendet. “Epistemologie” (Erkenntnistheorie) bezeichnet in der Philosophie die Lehre von Wissen und Erkenntnis. Epistemologie setzt sich mit den Möglichkeiten und Grenzen menschlichen Wahrnehmens und Erkennens auseinander. Hierdurch soll unterschieden werden zwischen der Struktur, wie sie “an sich” ist (Ontologie), und ihrer Erscheinung für uns (Epistemologie). Da auch die Ontologie auf das menschliche Erkenntnisvermögen angewiesen ist, wird diese Unterscheidung jedoch häufig als nicht kohärent kritisiert.

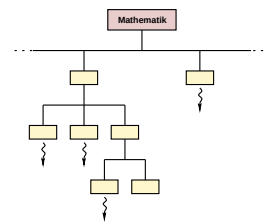
¹Allerdings ist eine vollständige Objektivität der Beschreibung nie erreichbar. Dementsprechend ist die Entwicklung einer Ontologie für einen Bereich auch nie eindeutig, und es gibt i.a. immer verschiedene Wege, in sich konsistente Ontologien eines realen Gebietes zu erstellen.

6.3 Strukturebenen

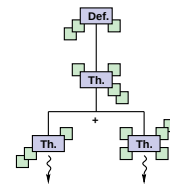
6.3.1 Strukturebenen mathematischer Texte

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die Notwendigkeit einer mehr-schichtigen Strukturierung und Formalisierung der Mathematik (Strukturierung mathematischer Inhalte und Formalisierung mathematischer Sprache) für die Entwicklung mathematischer eLearning-, eTeaching- und eResearch-Software, die wir hier zunächst in einer Graphik zusammenfassen und anschließend im Detail diskutieren wollen:

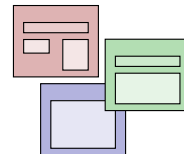
Stufe 1: Taxonomie des Fachgebietes
(inhaltliche Struktur und thematische Zusammenhänge)



Stufe 2: Entitäten und ihre Anordnungsregeln
(Struktur der Fachtexte und Beziehungen der Textabschnitte)



Stufe 3: Binnenstruktur der Entitäten
(Struktur der Abschnitte innerhalb einer Entität)



Stufe 4: Syntax und Semantik der Sprache der Mathematik
(Bedeutungen der Zeichen und Beziehungen zwischen den Zeichen)

Theorem:[←-rolle]

```
for_all(a,
  for_all(b,
    for_all(c,
      (a in R
       ∧ b in R
       ∧ f in CD((a..b),R)
       ∧ f(a)<0
       ∧ f(b)>0)
    -> exists(c,
      c in (a..b)
      ∧ f(c) = 0 )))
```

(Example of QMath input language,
by Paul Libbrecht, DFKI, 2003)

Abb. 6.1: Stufenweise Formalisierung der Mathematik

Mathematik ist – als Sprache und als Wissenschaft – hochstrukturiert:

Die Sprache der Mathematik ist von formalsprachlicher strukturierter Formulierung gekennzeichnet (s. z.B. [Bou70], [Edw80]). Sie läßt keinen Spielraum für Interpretation und persönliche Auslegungen und erreicht dadurch eine Genauigkeit, die sie von den Alltagssprachen, aber auch vielen anderen Fachsprachen unterscheidet – und sie in natürlicher Weise in die Nähe von Computer- und maschinenlesbaren Sprachen bringt.

Für Mathematik als Wissenschaft ist die klare durchgängige Strukturierung ihrer Inhalte/Erkenntnisse und das darauf operierende Begriffs-Beziehungsgeflecht charakteristisch. Formale Strukturalisierung im Sinne der Strukturerofassung und Strukturbildung ist nicht nur die zentrale Aufgabe der Mathematik, sondern beschreibt gleichzeitig das “Wesen” der Mathematik, stellt also eine Art “Selbstbildnis” dar. Mathematik bringt dadurch natürliche Voraussetzung für die Entwicklung einer (kanonischen) Strukturierung und Formalisierung mit:

Der erste Schritt besteht in der inhaltlichen Gliederung des Fachgebietes Mathematik und der Analyse der Zusammenhänge einzelner Teilgebiete, die wir, in Anlehnung an die Einteilung von Organismen in der Biologie, als “Taxonomie” bezeichnen. Die Suche nach einer möglichst “objektiven”, nachvollziehbaren Struktur führt auf eine nach strikt fachlogischen innermathematischen Gesichtspunkten organisierte Strukturierung des Inhaltes².

Im zweiten Schritt wird die Struktur von Fachtexten analysiert (s. Kap. 8.1.2 und 9.2.2): die “typischen” Entitäten (in der Mathematik etwa Theorem, Definition, Beweis) werden bestimmt, ihre Zusammenhangsregeln (etwa: Theoreme haben stets Beweise) ermittelt.

Im dritten Schritt wird die Binnenstruktur der Entitäten untersucht: mathematische Entitäten zeichnen sich häufig durch innere “Blockstrukturen” aus (etwa: Voraussetzung, Definitionsgegenstand, definierender Text bei einer Definition). Bilder, Animationen und interaktive Objekte, die Inhalt transportieren, sind Teil einer Entität und somit Teil der Binnenstruktur, allerdings mit “optionalem” Charakter.

Schließlich muss in einem vierten Schritt der tatsächliche mathematische Inhalt formalisiert werden, d.h., die Bedeutung der durch Zeichen repräsentierten Objekte (etwa: v ist ein Vektor, ein Vektor ist Element eines Vektorraumes) und die Beziehungen der Objekte (etwa: $\Rightarrow$, $\forall$) untereinander werden erfasst (vergl. auch Kap. 5.1). Bilder, Animationen und interaktive Objekte weisen eine grundsätzlich andere Problematik auf und sind daher Gegenstand einer separaten Analyse (vergl. auch Kap. 5.2).

²Dieser Ansatz erscheint kanonisch, dennoch ist ein solches Vorgehen auch heute eher eine Ausnahme und stellt eine der absoluten Besonderheiten der Lehr- und Lehrplattform “Mumie” dar (vergl. Kap. 10): Tatsächlich werden die Strukturen der meisten multimedialen Plattformen gerade *nicht* unter strikt innerfachlichen Kriterien definiert. Stattdessen werden vielfach andere, weniger objektive und weniger allgemein akzeptierte Strukturierungsmaßstäbe verwendet: z.B. Strukturierung nach traditionellen Lehrplänen (mit all ihren gewachsenen und lokal verschiedenen Besonderheiten), Strukturierungen nach (subjektiv empfundenen) Schwierigkeitsgraden oder Strukturierungen nach didaktisch motivierten Vorstellungen.

Das Ergebnis dieser mehrstufigen Analyse ist ein Gerüst, in dem Themengebiete zweifelsfrei eingeordnet und wiedergefunden, die einzelnen Teile der Fachinhalte eindeutig klassifiziert und die Inhalte selbst maschinenlesbar notiert werden können.

6.3.2 Strukturebenen in anderen Fachdisziplinen

Mathematik ist als Sprache von formalsprachlicher, strukturierter Darstellung und als Wissenschaft von durchgängiger Strukturierung und einem klaren Begriffs-Beziehungsgeflecht gekennzeichnet. Sie bringt dadurch natürliche Voraussetzungen für eine “vollständige Formalisierung” mit. In anderen Fachdisziplinen sind die Voraussetzungen oft weniger günstig.

Für die Entwicklung multimedialer Lehr- und Lernmaterialien und – allgemeiner – fachspezifischer Software – ist die Strukturierung der Fachinhalte von zentraler Bedeutung (vergl. Kap. 6.1). Wir wollen deshalb hier kurz untersuchen, inwieweit sich die von uns eingeführte Strukturierungsstufen auch auf andere Fachdisziplinen anwenden lassen:

Stufe 1: Taxonomie des Fachgebietes

In allen Fächern, im weiten Spektrum von Geisteswissenschaften über Planungs-, Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften bis hin zu den Naturwissenschaften und der Mathematik, hat sich eine Taxonomie der einzelnen Fachgebiete herausgebildet. Sie spiegelt sich national wie international – mit nur geringen Abweichungen auf Grund lokaler und kultureller Unterschiede – beispielsweise in der Organisation von Instituten, Arbeitsgruppen und Lehrstühlen an Universitäten und wissenschaftlichen Einrichtungen oder in der Klassifikation von Fachartikeln in wissenschaftlichen Zeitschriften wider. Neue Forschungsgebiete ordnen sich im Laufe der Zeit in die vorhandene Taxonomie ein und führen so zu deren Ergänzung bzw. Erweiterung. Die inhaltliche Strukturierung eines Gebietes und die Ausarbeitung der thematischen Relationen ist für jede Fachdisziplin erreichbar. Allerdings verfügen viele Fachdisziplinen nicht über eine mit der Mathematik vergleichbar Basisstruktur, die eine Ontologie in fast kanonischer Weise “induziert”. In diese Stelle muss dann eine Konvention treten, die in der entsprechenden scientific community abgestimmt ist.³

Stufe 2: Entitäten und ihre Anordnung

Fachtexte verschiedener Fachdisziplinen weisen grundsätzlich gewisse “Grundelemente” – Textblockstrukturen innerhalb der Texte – auf. So benötigen etwa alle Fachsprachen Textabschnitte von Charakter einer Definition zur Festlegung und Erweiterung ihrer Fachnomenklatur. Nicht in allen Fachsprachen werden die Textabschnitte aber gegenüber anderen Inhalten streng gekapselt, vielmehr werden Definition, Interpretation und Bedeutung von Objekten oft im Kontext diskutiert; die strikte Trennung zwischen den Entitäten einerseits und den Anordnungsregeln andererseits wird dadurch aufgebrochen.

Die Zerlegung von Fachtexten in “Entitäten” (Stufe 2) ist also für nicht-

³Damit ist die Situation schließlich doch nicht so verschieden zur der der Mathematik, denn deren innerfachliche Logik läßt durchaus die Definition verschiedener, gleichermaßen sinnvoller Ontologien zu, über die dann auch eine Einigung erzielt werden muss.

mathematische Fachtexte bereits wesentlich komplizierter. Auch sie ist grundsätzlich erreichbar, jedoch i.a. weniger kanonisch: “willkürliche” Festlegungen und Konventionen durch die entsprechende scientific community sind notwendig. Die Einführung von (möglichst wenigen) streng gekapselten Entitätentypen und festen Anordnungsregeln führt in vielen Fachdisziplinen auf eine neuartige, deutlich veränderte Darstellung von Inhalten (vergl. Tab. S. 6.3.2) und greift damit in die forschersische Tätigkeit eines Gebietes ein, denn die Entwicklung neuer Erkenntnisse und deren Darstellung sind stets miteinander verbunden.

Stufe 3: Binnenstruktur der Entitäten

Die für mathematische Entitäten charakteristischen “inneren Substrukturen” (etwa: Voraussetzung, Definitionsgegenstand, definierender Text bei einer Definition) sind in Fachtexten anderer Fachdisziplinen wesentlich schwerer auszumachen (was zum Teil natürlich bereits in der schwächeren “Entitätenstruktur” begründet liegt). Das Spektrum möglicher Binnenstrukturen reicht von Nicht-Existenz (nur “triviale Binnenstruktur”) über die Möglichkeit vielfältiger Binnenstrukturen für dieselbe Entität bis hin zu einer eindeutigen Binnenstruktur für eine Entität.

Stufe 4: Syntax und Semantik der Fachsprache

Syntax (Grammatik) und Semantik (inhaltliche Bedeutung) sind grundsätzliche Eigenschaften jeder Sprache und damit Bestandteil jeder Gemeinsprache und jeder Fachsprache. Wenn wir hier – im Kontext der Formalisierung eines Wissensgebietes – nach Syntax und Semantik fragen, so fragen wir nicht nach deren Existenz, sondern nach vorhandenen formalen Strukturen und/oder nach der Formalisierbarkeit von Syntax und Semantik einer Fachsprache (vergl. Abb. 6.1, Stufe 4, Beispiel für streng formalisierte Fachsprache). Dazu ist festzustellen, dass keine andere Fachsprache über eine mit der Mathematik vergleichbare hohe Formalisierung verfügt – dies beruht insbesondere darauf, dass die Mathematik die möglichst einfache, strikte, eindeutige Formalisierung ihrer Fachsprache zum Gegenstand ihrer Fachgebietes deklariert.

Auf einer Skala, die durch Formalsprachen auf der einen Seite und durch die Gemeinsprache auf der anderen Seite begrenzt wird, steht unter allen Fachsprachen die der Mathematik den Formalsprachen am nächsten. Die Fachsprachen anderer Disziplinen verteilen sich auf den gesamten verbliebenen Bereich: Naturwissenschaften und die Rechtssprache (Jura) weisen einen eher höheren, Wirtschaftswissenschaften einen eher durchschnittlichen, Geisteswissenschaften einen eher geringeren Formalisierungsgrad auf⁴.

⁴Diese Aussagen beschreiben lediglich grundsätzlichen Tendenzen: so können z.B. Teilgebiete innerhalb einer Fachdisziplin einen wesentlich höheren, aber auch einen wesentlichen geringeren Formalisierungsgrad aufweisen als die zugehörige Gesamtdisziplin im Durchschnitt

Wir fassen die Ergebnisse tabellarisch zusammen (“+” Struktur vorhanden, “o” Struktur nur teilweise ausgeprägt, “–” Struktur eher nicht vorhanden):

	Geistes-, Sozial- & Planungswissenschaften	Wirtschaft- & Ingenieurwissenschaften	Natur- & Rechtswissenschaften	Mathematik
Stufe 1: Taxonomie des Fachgebietes	+	+	+	+
Stufe 2: Entitäten und ihre Anordnung	o	+	+	+
Stufe 3: Binnenstruktur der Entitäten	–	o	+	+
Stufe 4: Syntax und Semantik der Fachsprache	–	–	o	+

Kapitel 7

Taxonomische Strukturen der Mathematik

Die Modellierung der zentralen inhaltlichen Strukturen der Mathematik entscheidet nicht zuletzt darüber, ob die hochgesteckten Ziele, die man mit dem Einsatz von Multimedia und IT-Technologien in Lehre und Forschung verbindet, erreicht werden können. Die Modelle werden – als zugrundegelegte (Datenbank-)Struktur – Kernstück der Implementierung multimedialer Lehr- und Forschungsplattformen.

Wir beschreiben hier zunächst verschiedene abstrakte Taxonomiemodelle (Kap. 7.1), die sich insbesondere in ihrer Vernetzungsfähigkeit der Inhalte, aber auch in ihrer Realisierbarkeit unterscheiden. Anschließend stellen wir – exemplarisch am Teilgebiet “Lineare Algebra” – die Entwicklung einer Fachtaxonomie vor (Kap. 7.2).

Die hier vorgestellten Modelle basieren auf Konzepten, die von der Autorin gemeinsam mit Prof. R. Seiler und Dipl.-Phys. Erhard Zorn (Fakultät II, TU Berlin) für das BMBF-geförderte Projekt “Mumie” (vergl. Kap. 10) entwickelt und im Rahmen dieses Projektes von cand. Dipl.-Math. Fritz Lehmann-Grube und Dipl.-Chem. Tilman Rassy implementiert wurden.

7.1 Taxonomische Modelle der Mathematik

7.1.1 Modell einer hierarchischen Taxonomie

Wir beschreiben zunächst ein Modell einer hierarchischen Klassifikation mathematischer Fachinhalte:

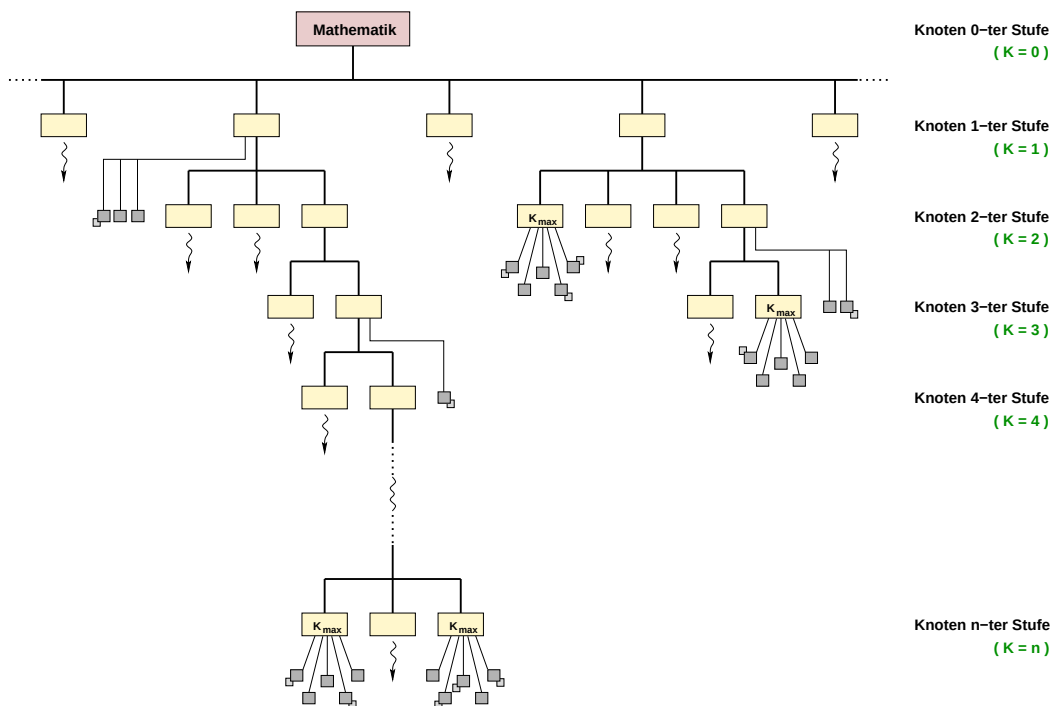


Abb. 7.1: Graphische Darstellung des hierarchischen Modells

Dabei bezeichnen die gelben Boxen die “Knoten”, mathematische Gebiete und Teilgebiete also (sie tragen selber keine Inhalte, sondern lediglich eine Bezeichnung). Die grauen Boxen dagegen stellen die eigentlichen, inhaltetragenden “Elemente” (siehe Tab. S. 117, 132) dar.

Knoten verfügen über die für Taxonomien typischen “Ränge”, hier als “Stufe” bezeichnet. Die Tiefe der inhaltlichen Schachtelung ist nicht fest, sondern flexibel vom jeweiligen mathematischen Teilgebiet abhängig. K_{max} kennzeichnet den Knoten tiefster Hierarchiestufe eines einzelnen Teilastes (diese Knoten werden i.f. auch als “Elementcontainer” bezeichnet, weil diese Knoten per Definition *ausschließlich* Elemente enthalten).

Elemente können sich innerhalb solcher Elementcontainer befinden, aber auch Knoten mit $K < K_{max}$ zugeordnet sein. Die genauen Anordnungsregeln inkl. inhaltlicher Begründung entnehme man Kap. 8.1.2 ff, 9.2.2 ff.

Knoten haben damit 1 bis n Kinder, die Knoten, Elemente oder eine Kombination beider Gruppen sein können. Wir haben hier unseren ursprünglichen Ansatz im Verlauf der Entwicklungen am konkreten Modell verändert: Es erschien zunächst konsequenter, als Nachfolger eines Knoten entweder nur Knoten oder aber nur Elemente zuzulassen. Die resultierenden Schwierigkeiten werden etwa bei der Zuordnung von Elementen des Types “history” (s. Tab. S. 117) zu einem größeren Themenkomplex deutlich. Wir werden in folgenden Kapitel sehen, dass eine ähnliche Überlegung zur Diskussion einer wesentlich weitergehenden Öffnung des taxonomischen Modelles Anlass gibt.

7.1.2 Modell einer netzartigen Taxonomie

Das in Kap. 7.1.1 beschriebene hierarchische Strukturmodell hat den Vorteil großer Übersichtlichkeit und Transparenz. Die starre Hierarchisierung stellt zudem eine wesentliche Vereinfachungen bei der technischen Umsetzung (Implementation als Datenbankmodell) dar.

Das Modell unterliegt jedoch gewissen Einschränkungen: Quervernetzungen *zwischen* Wissensgebieten können darin nicht direkt abgebildet werden.

Ein möglicher Lösungsansatz liegt in der Verwendung von Meta-Daten. Knoten werden dabei zunächst in das hierarchische Modell eingeordnet (das bedeutet insbesondere, dass *einer* der vorhandenen Zusammenhänge als zentral ausgewählt werden muss – was bereits eine gewisse Einschränkung an die Realitätstreue des Modells darstellt). Für die Abbildung gewünschten Zusatzvernetzungen sind dann zusätzliche Metadaten zuständig.

Wir wollen hier nicht die komplexe Problematik von Metadaten diskutieren, sondern nur bemerken, dass dieser Ansatz i.a. nicht empfehlenswert ist, weil sie leicht zu Inkonsistenz (innerhalb der Metadaten, zwischen den Metadaten verschiedener Knoten) und Desintegrität (der Inhaltsstruktur) führt.

Eine inhaltlich vollständige Strukturdarstellung der Mathematik kann konsequenterweise nur auf einer netzartigen, mehrdimensionalen Anordnung der Knoten basieren.

In der praktischen Anwendung führt dieser Ansatz jedoch auf erhebliche Schwierigkeiten. Nicht nur wird die technische Implementation der Struktur wesentlich komplexer, auch die gesamte Navigation und Benutzerführung wird (wegen des Visualisierungsproblems von mehr als 2 Dimensionen auf dem Monitor) deutlich komplizierter und unübersichtlicher.

Einen Kompromiss stellt der in der folgenden Graphik skizzierte Ansatz dar: lässt man (zwar nicht beliebige Knoten, aber) zusätzlich die Elemente der Class I (s. Kap. 8.1.2, Tab. S. 117, 132) auch als “verbindenden Elemente” mehrerer Knoten zu, so entsteht eine drei-dimensionale Struktur, die die Zusammenhangskomponenten zwischen den mathematischen Gebieten trägt.

Die Beschränkung auf Elemente der Class I stellt dabei i.a. keine Einschränkung an den Umfang des Inhaltes des Gesamtnetzes dar, weil ein Gebiet mit über Class-I-Elemente hinausgehenden Inhalten selber i.a. bereits wieder als eigenes Teilgebiet behandelt wird.

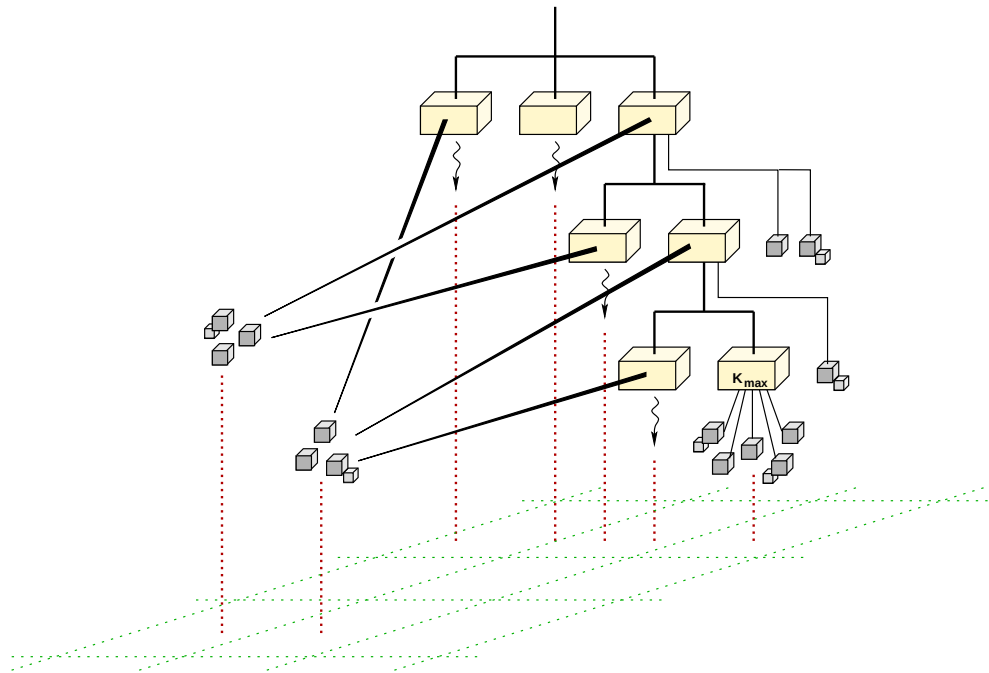


Abb. 7.2: Graphische Darstellung des 3-D-Netz-Modells

Im Gegensatz zu einem vollständig netzbasierten Konzept sind die Visualisierungs- und Navigationsprobleme hier eher lösbar.

7.2 Modell einer Taxonomie für die Lineare Algebra

Der “Würfel der Linearen Algebra” beschreibt exemplarisch die Taxonomieentwicklung für das Gebiet der (endlichdimensionalen) Linearen Algebra.

Was sind die grundlegenden Strukturelemente der Linearen Algebra? Wir wollen hier noch einmal betonen, dass die Gestaltung von Ontologien und Taxonomien nicht eindeutig sind. Die Frage nach dem “eigentlich wichtigen, zentralen” eines Wissensgebietes unterliegt stets einer gewissen Subjektivität, die auf verschiedene Strukturierungskonzepte führen kann. Wir wollen i.f. *ein* Strukturierungsmodell vorstellen und die Kanonizität dieses Ansatzes begründen.

Dazu starten wir mit einer Überlegung, über die vermutlich wenig Dissens bestehen dürfte: Ausgangspunkt der Linearen Algebra *ist* das Konzept des Linearen Raumes. Wir stellen deshalb den Linearen Raum in die Mitte unseres Strukturkonzeptes und bauen darauf auf:

- **Dualitätsprinzip**

Basierend auf dem Linearen Raum wird der Dualraum (als Menge aller linearen Abbildungen von einem Vektorraum in den entsprechenden Körper), entsprechend der Raum der Bi- und Multilinearformen als Dualraum des 2- bzw. n -fachen Kreuzproduktes eines Vektorraumes definiert. Diese Räume nehmen in der Linearen Algebra einen zentralen Stellenwert ein, wobei das – neben dem Vektorraumkonzept – zentrale Element der Linearen Algebra, die Lineare Abbildung, strukturstiftend wirkt. Schließlich ist ein solches Konzept einer “induktiven Sequenz” ($\mathbf{0}$ über $\mathbf{1}$ zu $\mathbf{n}$) in der Mathematik an vielen Stellen anzutreffen; es liegt daher nahe, eine solche Struktur bei der Taxonomieentwicklung zugrunde zu legen.

- **Räume und ihre Strukturhaltung – abstrakt und konkret**

Ausgehend vom Linearen Raum führt die Betrachtung der Abbildungen zwischen (verschiedenen) Vektorräumen auf Konzepte der “Strukturhaltung”: lineare Abbildungen auf linearen Räumen erhalten die Wirkung von Addition und Skalarmultiplikation unabhängig von der Ausführungsreihenfolge über die Operation der linearen Abbildung hinweg.

Eine weitere zentrale Rolle spielt die “Koordinatisierung”: Koordinatenvektoren sind Darstellungen von Vektoren, Matrizen Darstellungen linearer Abbildungen bzgl. einer Basis. Darin spiegelt sich zudem ein weiteres mathematisches Prinzip: Abstraktion versus Konkretisierung.

- **Geometrische Struktur**

Das Konzept des Vektorraumes beinhaltet zunächst keine geometrische Struktur. Erst durch die Ausstattung eines Linearen Raumes mit zusätzlicher Struktur, durch Einführung einer Norm, wird Längenmessung möglich und damit der Abstandsbegriff konkretisiert, durch eine weitere, durch Einführung des

inneren Produktes, entsteht das Konzept des Winkels. Unterschiedliche “Geometrisierungsstufen” eines Linearen Raumes entsprechen also einem “mehr” oder “weniger” an Struktur. Auch dieses Konzept ist charakteristisch in der Mathematik: Mengen werden beispielsweise zunächst mit einer Topologie ausgestattet, in einem weiteren Schritt mit einer Metrik, mit einer Norm, mit einem Skalarprodukt. Jedesmal nimmt der Grad der Struktur zu, je mehr Struktur vorhanden ist, desto weitreichendere Aussagen sind möglich.

Diese Kerngedanken induzieren eine dreidimensionale Darstellung für das Ontologiemodell, die wir i.f. als “Würfel der Linearen Algebra” bezeichnen wollen:

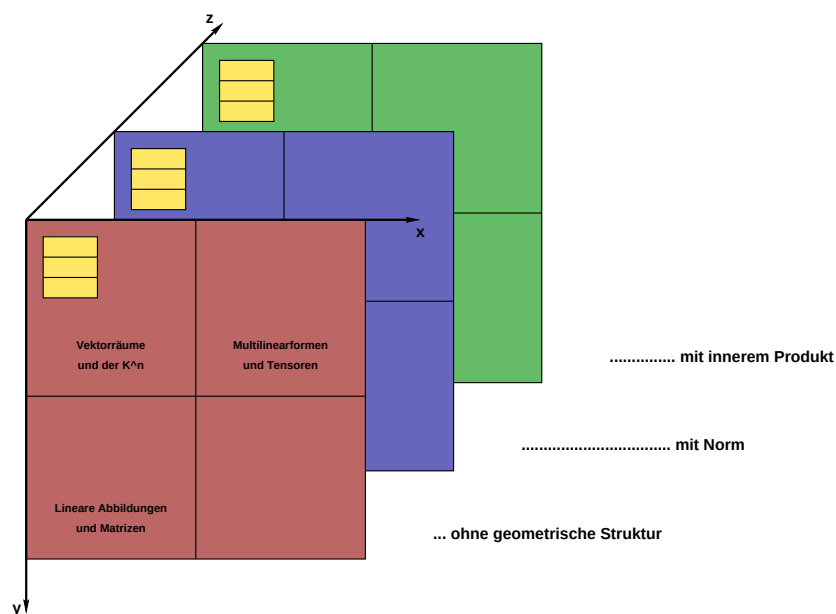


Abb. 7.3: Die Dimensionen des “Würfels der Linearen Algebra”

Die Achsen folgen dabei der Reihenfolge der eingangs formulierten Ideen:

Die x-Achse bildet die Sequenz “Linearer Raum – Dualraum – Raum der Bilinearformen – Raum der Multilinearformen” ab.

Die y-Achse repräsentiert den Zusammenhang zwischen Linearen Räumen und ihren strukturhaltenden Abbildungen jeweils in abstrakter und koordinatisierter Darstellung: “abstrakter Vektorraum – konkreter Vektorraum mit Koordinatisierung – lineare Abbildungen zwischen Vektorräumen – Matrixdarstellung der linearer Abbildungen”.¹

¹Der Leser mag einwenden, dass hier zwei völlig verschiedene, für die Mathematik gleichsam bedeutende Konzepte zusammengefasst werden und dass doch diese Betrachtung eigentlich besser auf zwei unabhängigen Dimensionen im Modell führen sollte – eine für die Betrachtung des Linearen Raumes und der linearen Abbildungen darauf, eine zweite für den Übergang zwischen unkoordinatisierter und koordinatisierter Darstellung. Nun, da hat er Recht. Hier hat das daraus

Die z-Achse stellt die Zunahme an geometrischer Struktur dar: wir betrachten die Lineare Algebra “ohne weitere Struktur – mit Norm – mit innerem Produkt”.

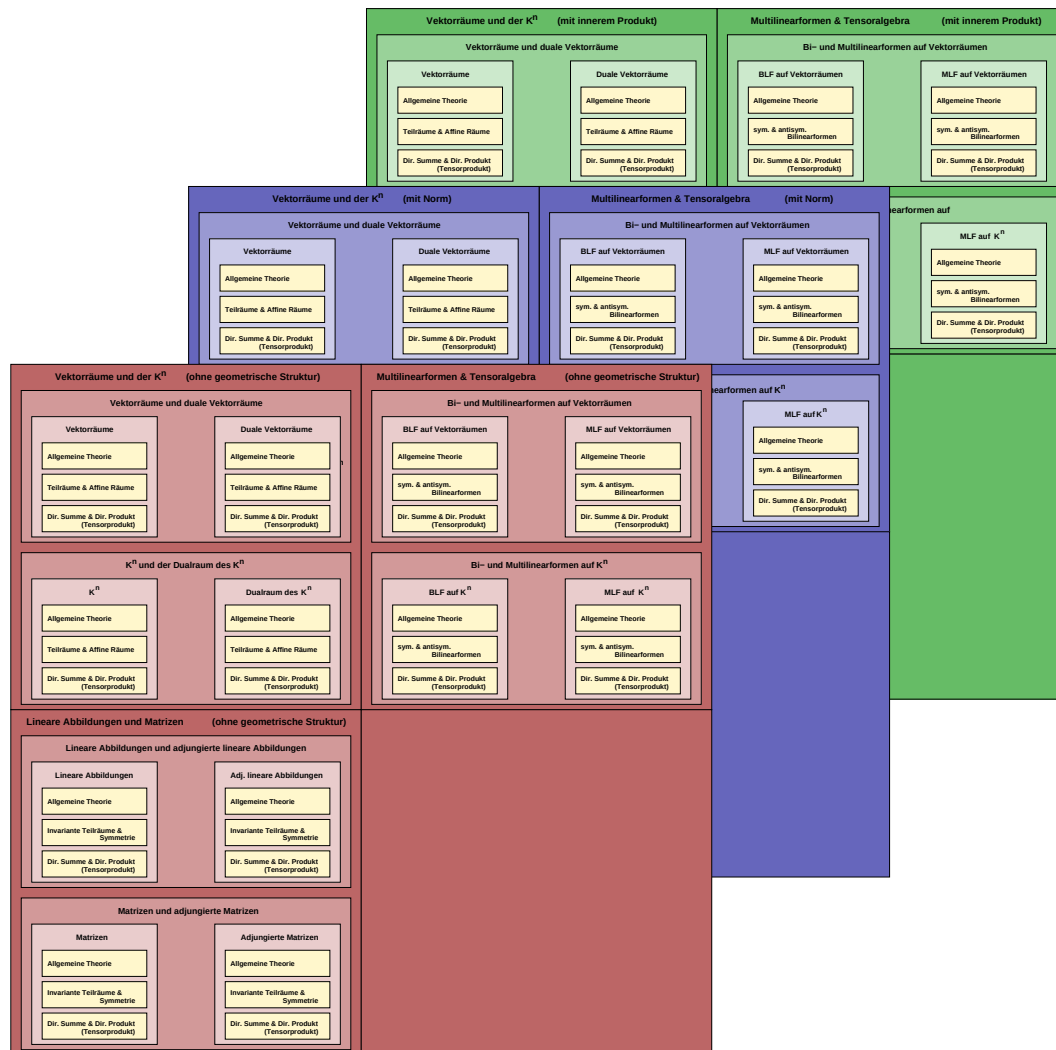


Abb. 7.4: Der “Würfel der Linearen Algebra”

resultierende Darstellungsproblem “gewonnen”: Ein 4-dimensionaler Würfel zeichnet sich nun einmal so schlecht...

Wir illustrieren hier zunächst die verschiedenen geometrischen Schichten. Bei der Einordnung der Inhalte ist zu beachten, dass diese Schichten sich “additiv” zueinander verhalten: Inhalte werden stets an der Schicht mit der geringsten notwendigen geometrischen Struktur behandelt, in der sie behandelbar sind. Die einzelnen hintereinander liegenden Schichten sind im Aufbau identisch, die verschiedenen geometrischen Zusatzstrukturen führen jedoch auf zusätzliche Eigenschaften der Objekte.

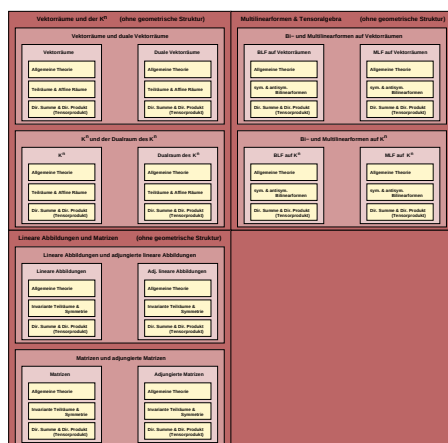


Abb. 7.5: Lineare Algebra “ohne geometrische Struktur”

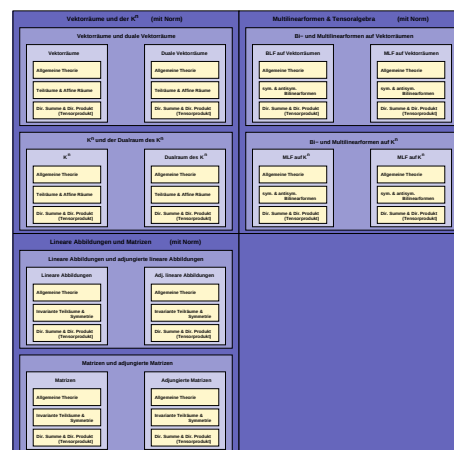


Abb. 7.6: Lineare Algebra “mit Norm”

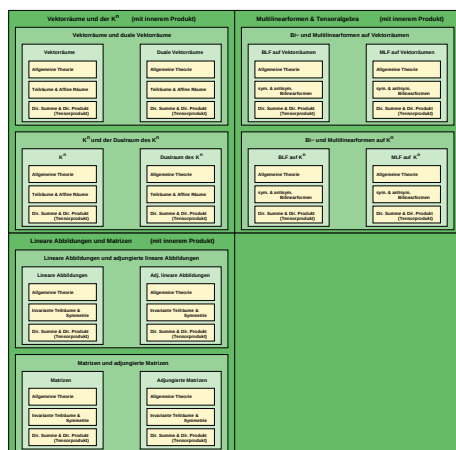


Abb. 7.7: Lineare Algebra “mit innerem Produkt”

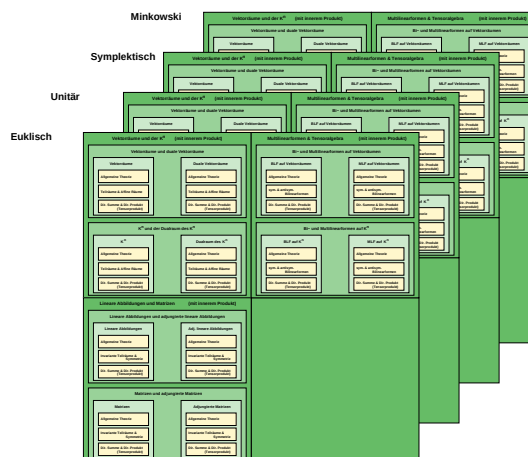


Abb. 7.8: Verschiedene innere Produkte

Bei der geometrischen Zusatzstruktur “Skalarprodukt” unterscheiden wir verschiedene Formen (euklidisch, unitär, symplektisch und minkowskisch/orthogonal), die jeweils in einer eigenen “Ebene” dargestellt werden.

Wir beschreiben nun die einzelnen “Quadranten” jeder Schicht des Würfels:

Im ersten Quadranten finden wir Vektorraum und seinen Dualraum als abstrakten Objekte in der oberen Hälfte, in der unteren die zugehörigen (isomorphen) Konkretisierungen $\mathbb{K}^n$.

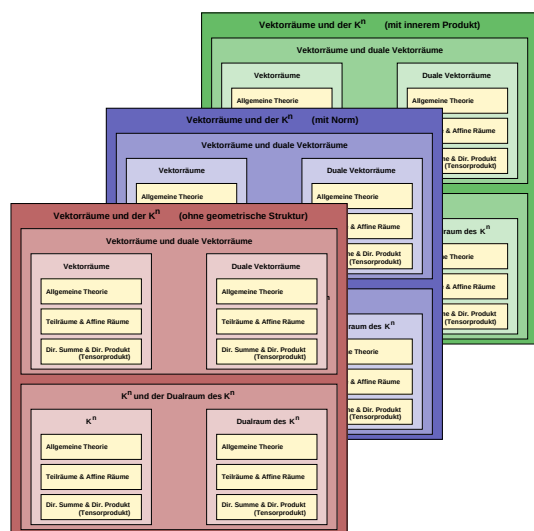


Abb. 7.9: Vektorräume und der $\mathbb{K}^n$ – Übersicht der Schichten

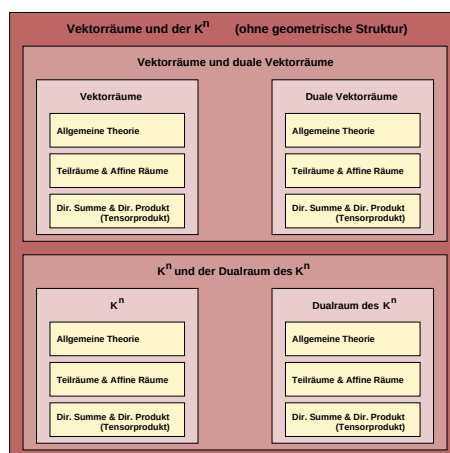


Abb. 7.10: Vektorräume und der $\mathbb{K}^n$ (ohne geometrische Struktur)

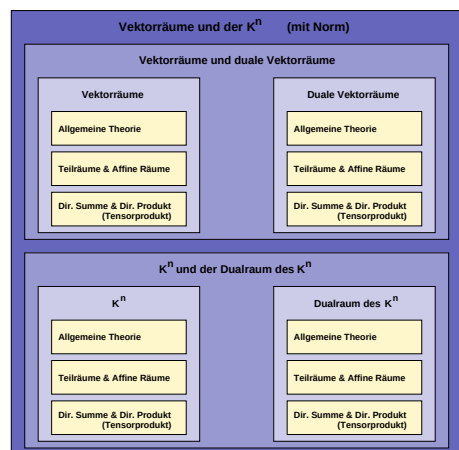


Abb. 7.11: Vektorräume und der $\mathbb{K}^n$ (mit Norm)

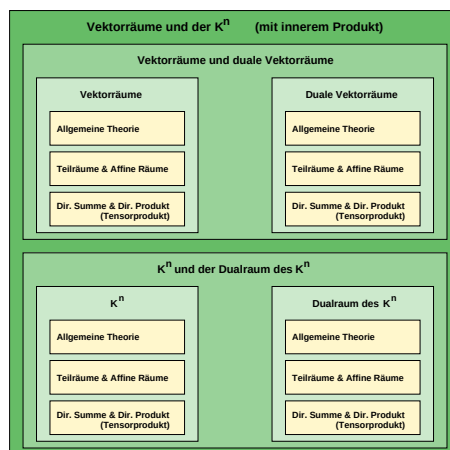


Abb. 7.12: Vektorräume und der $\mathbb{K}^n$ (mit innerem Produkt)

Im zweiten Quadranten befinden sich die Bi-/Multilinearformen, in der unteren Hälfte findet man ihre Konkretisierungen auf $\mathbb{K}^n$. Auf der linken Seite sind dies die Bilinearformen, auf der rechten Seite die zugehörigen Multilinearformen.

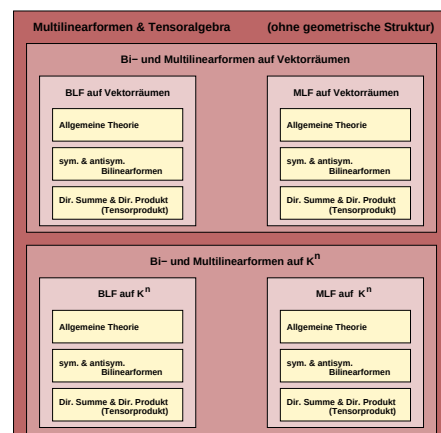
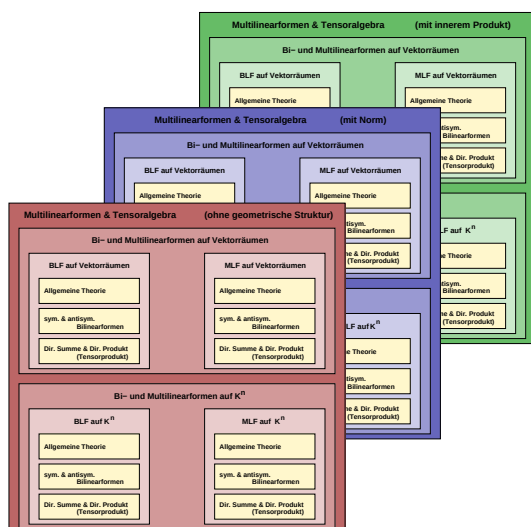


Abb. 7.13: Multilinearformen und Tensoralgebra – Übersicht der Schichten

Abb. 7.14: Multilinearformen und Tensoralgebra (ohne geometrische Struktur)

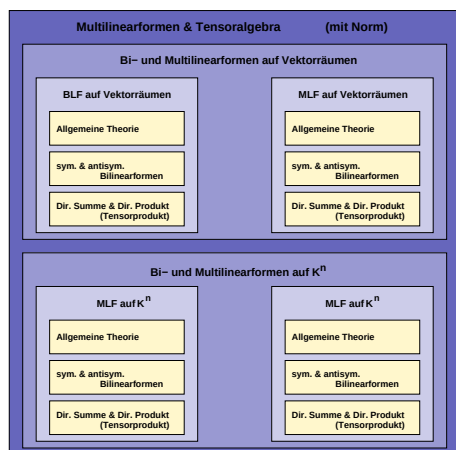


Abb. 7.15: Multilinearformen und Tensoralgebra (mit Norm)

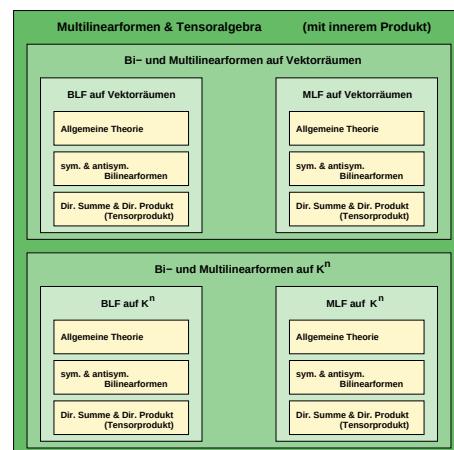


Abb. 7.16: Multilinearformen und Tensoralgebra (mit innerem Produkt)

Im dritten Quadranten befinden sich als strukturerhaltende Abbildungen zwischen den Objekten der Linearen Algebra die linearen Abbildungen. In der unteren Hälfte findet man als Konkretisierungen von linearen Abbildungen zwischen (endlichdimensionalen) Vektorräumen (ihre darstellenden) Matrizen über $\mathbb{K}$. Auf der linken Seite sind dies die Abbildungen zwischen den “reinen” Vektorräumen (bzw. $\mathbb{K}^n$'s). Auf der rechten Seite sind es ihre entsprechenden Duale.

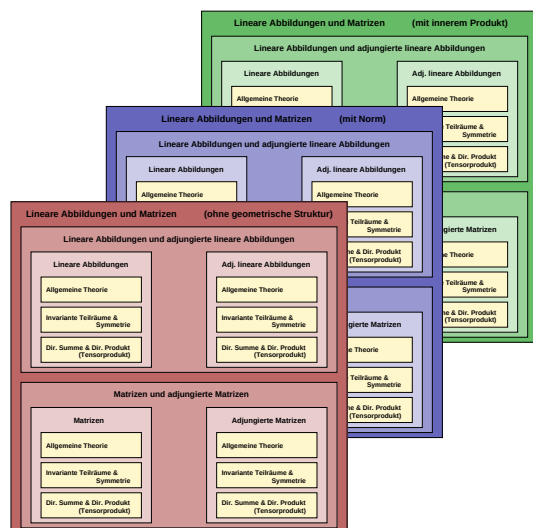


Abb. 7.17: Lineare Abbildungen und Matrizen – Übersicht der Schichten

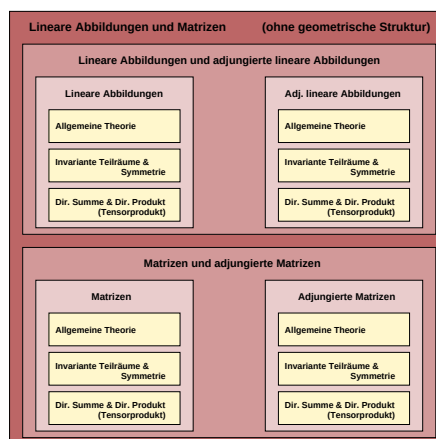


Abb. 7.18: Lineare Abbildungen und Matrizen (ohne geometrische Struktur)

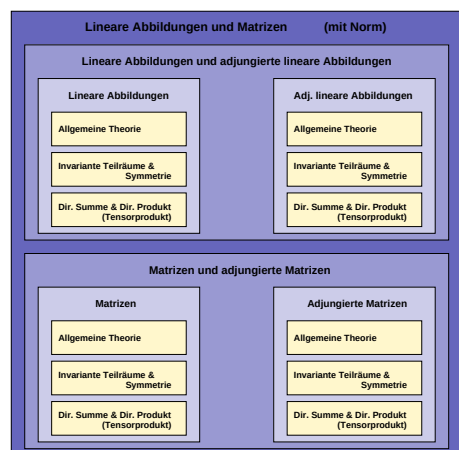


Abb. 7.19: Lineare Abbildungen und Matrizen (mit Norm)

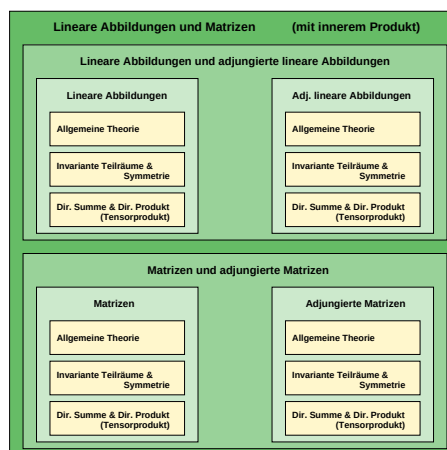


Abb. 7.20: Lineare Abbildungen und Matrizen (mit innerem Produkt)

Wir wollen es im Rahmen dieser Arbeit bei der Angabe dieser “oberen” Strukturierungsebenen” belassen: gerade hier wird das Konzept eines Ontologiedesign, das auf innerfachlichen Zusammenhängen basiert, besonders deutlich.

Eine vollständige Version der Feinstruktur der vorderen Ebene findet sich unter http://www.math.tu-berlin.de/~sabina/Mumie/Lineare_Algebra/.

Kapitel 8

Multimediale Content-Szenarien

Wir wenden nun die in Kap. 6.3.1 entwickelten Stufen der Strukturierung und Formalisierung der Mathematik an:

- **Einordnung in die Fach-Taxonomie:**

In Kap. 8.1.1 werden die Fachinhalte innerhalb einer fachspezifischen Taxonomie angeordnet, um die Verwandtschaft von Themengebieten zu spezifizieren (vergl. auch Kap. 9.2.1 für die entsprechende Einordnung der Practice-Szenarien).

- **Entitäten:**

In Kap. 8.1.2 werden die typischen Einheiten der Fachinhalte und ihre Zusammenhänge ermittelt (vergl. auch Kap. 9.2.2 für die entsprechende Einordnung der Practice-Szenarien).

- **Binnenstruktur:**

In Kap. 8.1.3 werden die inneren Strukturen der Elemente analysiert und dargestellt (vergl. auch Kap. 9.2.3 für die entsprechende Einordnung der Practice-Szenarien).

- **Semantik und Syntax:**

Semantik und Syntax mathematischer Sprache sind nicht Gegenstand dieser Arbeit. Ein Überblick über die Entwicklungen in diesem Gebiet wird in Kap. 5.1 gegeben (insb. OpenMath [Ope], Content MathML [Mata]).

Die hier vorgestellten Konzepte basierten auf Vorarbeiten und Styleguides für die Lernplattform “Mumie”, die in Kap. 10 eingehend beschrieben wird.

8.1 Strukturierungskonzepte

8.1.1 Einbettung mathematischer Inhalte in die Fach-Taxonomie

Die Einbettung der mathematischen Inhalte (Entitäten, vergl. Kap. 8.1.2) in die Taxonomie wurde bereits in Kap. 7.1 eingeführt (oben: hierarchisches Modell, unten: netzartiges Modell):

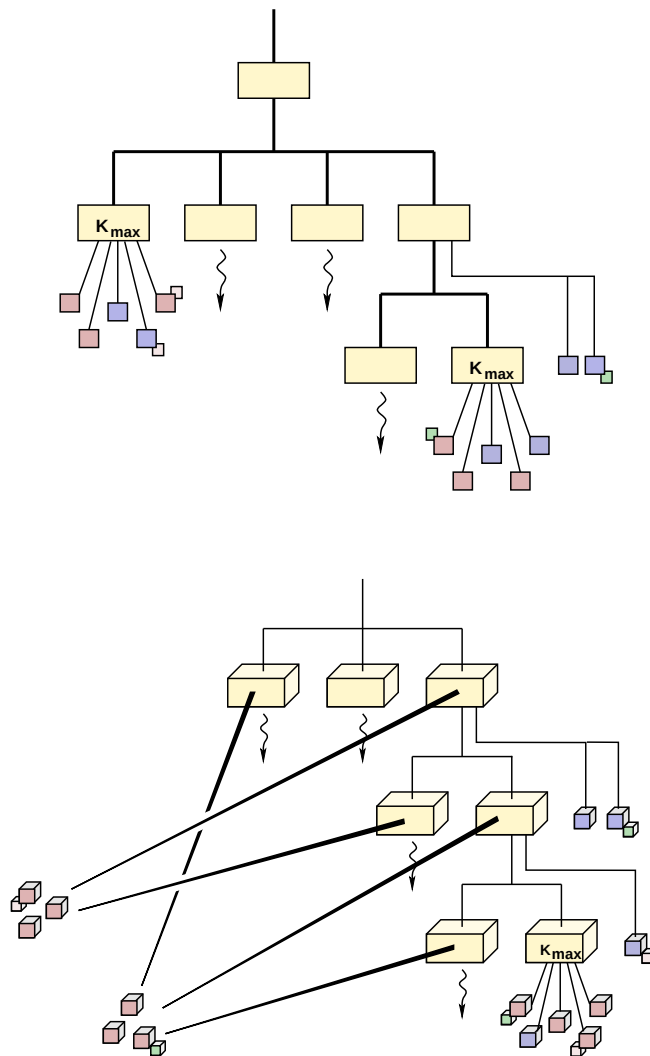


Abb. 8.1: Elemente in der Taxonomie (blau, rot, grün)

Die Beschränkung auf eine hierarchische Anordnung ist einfacher und übersichtlicher, bewirkt allerdings, dass Inhalte mit “zusammenfassendem” Charakter nicht eindeutig zugewiesen werden können.

8.1.2 Die Entitäten mathematischer Inhalte

Die Entitäten der Mathematik, i.f. auch als “Elemente” bezeichnet, sind definiert dadurch, dass sie Träger der eigentlichen (Fach-)Inhalte sind (im Gegensatz zu den Knoten der Ontologie, die “nur” strukturierenden Charakter haben, selber aber nicht Inhaltsträger sind.).

Wir wollen hier zunächst eine grundsätzliche Binnengliederung mathematischer Fachtexte entwickeln. Im der Darstellung der Realisation des “Mumie”-Projektes (s. Kap. 10.2.3.1) werden wir jedoch darstellen, dass gewisse Einschränkungen an diesem allgemeinen Modell aus verschiedenen Gründen durchaus sinnvoll sein können.

Verschiedene Klassifikationen der Entitäten sind möglich: Sie unterscheiden sich z.B. in ihrer “mathematischen Strenge”, in ihrer primären Zielgruppe oder durch ihre inhaltliche Anordnung innerhalb des Netzwerkes.

Für die Systematisierung ist dabei der letztgenannte Aspekt von besonderem Interesse, weil er auf klare “Anordnungsregeln” führt, die einen Bestandteil der ontologischen Relationen ausmachen.

Vor dem Hintergrund ihrer Anordnung in den von uns vorgestellten fachtaxonomischen Modellen (vergl. Kap. 7) zerfallen die Entitäten der Mathematik in drei Gruppen:

- **Class-I-Elemente:**

Class-I-Elemente können an Knoten beliebiger Hierarchiestufe sowie an beliebige (andere) Elemente angehängen werden.

Sie haben motivierenden, ergänzenden, erläuternden und/oder überblicksartigen Charakter. Sie beziehen sich auf eine gemeinsame Thematik, stehen aber zueinander i.a. nicht in strikten logischen Abhängigkeiten.

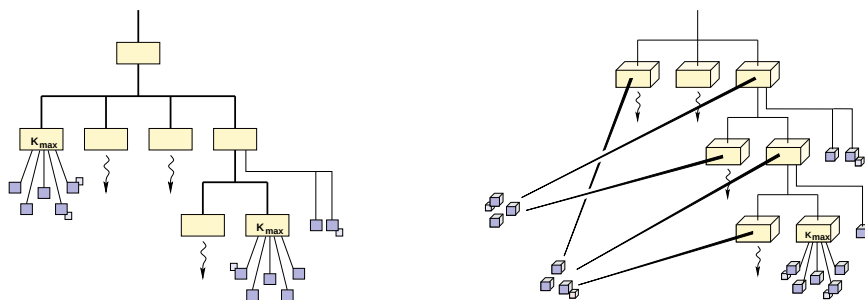


Abb. 8.2: Mögliche Positionen von Class-I-Elementen (blau)

- **Class-II-Elemente:**

Class-II-Elemente können nur an Knoten mit $K = K_{max}$ (Elementcontainer) angehängen werden.

Sie beinhalten den mathematischen Kernteil einer Thematik in mathematischer Formalisierung und stehen zueinander in strikten logischen Abhängigkeiten.

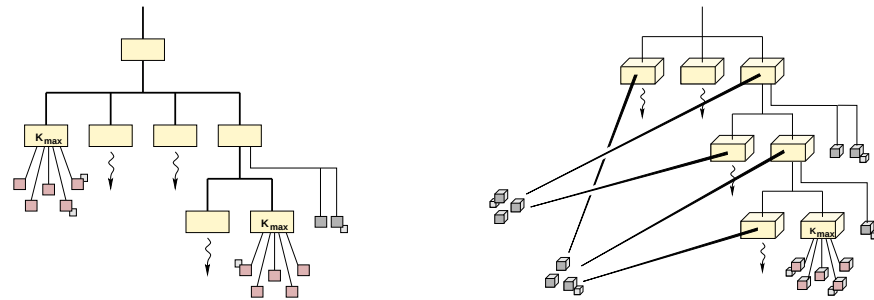


Abb. 8.3: Mögliche Positionen von Class-II-Elementen (rot)

- **Class-III-Elemente:**

Class-III-Elemente können nur an andere Elemente angehängen werden. Sie haben den Charakter eines “strikten Subelements”, da sie ohne zugehöriges Parent-Element nicht logisch sinnvoll auftreten können.

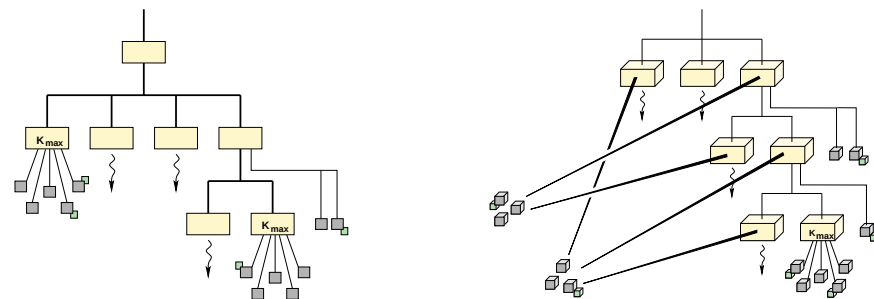


Abb. 8.4: Mögliche Positionen von Class-III-Elementen (grün)

Im folgenden beschreiben wir die Elemente im einzelnen. Bei einigen von ihnen lassen sich verschiedenen Subtypes unterscheiden, die wir als sog. “flavour” bezeichnen und als Attribut auffassen.

Class I:

- **motivation:**

Motivations stellen einen natürlichen Einstieg in eine Thematik dar. Sie sind i.a. mathematisch nicht formalisiert.

- **application:**

Applications sind Anwendungen der zuvor entwickelten mathematischen Theorie und stehen daher i.a. eher am Ende eines Themenkreises.

- **remark:**

Remarks sind ergänzende und erläuternde Bemerkungen. Wir unterscheiden folgende Typen von *Remarks*:

- **alert:** Hinweis auf typische Mißverständnisse und Fehler, Warnung
- **reflektive:** Reflexion eines Gegenstandes, Hinterfragung der zugrundeliegenden Idee, Diskussion von Variationen, Vertiefung von Einzelaspekten, Einbettung in Gesamthematik
- **associative:** Verknüpfung zu anderen Begriffen und/oder Themengebieten (inner- und außerhalb der Mathematik)
- **general:** Bemerkungen, die nicht unter die übrigen Kategorien fallen

- **history:**

History umfasst sowohl historische Aspekte zu mathematischen Gegenständen und Gebieten als auch biographische Beschreibungen von Mathematikern und Mathematikerinnen. Wir unterscheiden folgende Typen von *History*:

- **biography:** Biographie von Mathematikern und Gruppen
- **field:** Historische Entwicklung eines mathematischen Gebietes
- **result:** Historische Entwicklung eines bedeutenden Einzelresultates

Class II:

- **definition:**

Definitions (definitio lat., Bestimmung) sind begriffliche Festlegungen von mathematischen Objekten und Methoden in mathematischem Formalismus.

- **theorem:**

Theorems sind in mathematischem Formalismus formalisierte mathematische Aussagen, die eines mathematischen Beweises (einer substantiellen Begründung) bedürfen. Wir unterscheiden folgende Typen von *Theorems*¹:

¹Die Grenze der u.s. Typen des Theorem-Elements sind nicht scharf und zudem von verschiedenen Konventionen und individuellen Sichtweisen abhängig. So ist das “Lemma von Zorn” etwa eigentlich gerade kein Lemma... Aus diesen Grund wird diese – in der Mathematik trotz ihrer

- **theorem:** vollwertiger mathematischen “Satz”
- **lemma:** mathematischer “Hilfssatz”
- **corollar:** einfache Folgerung, “Nebenresultat”, aus einem Satz
- **algorithm:** Verfahren, Berechnungsvorschrift²

- **axiom:**

Axioms (axioma griech., Grundsatz, Grundwahrheit) sind in mathematischem Formalismus formulierte, nicht beweisbare Aussagen, deren Gültigkeit aber vorausgesetzt wird.

Class III:

- **proof:**

Proofs weisen die Gültigkeit aller Elemente der *theorem*-Umgebung nach.

- **pre-sketch (Herleitung):** dem Theorem vorangestellter Gültigkeitsnachweis, als Herleitungsskizze
- **pre-complete (Herleitung):** dem Theorem vorangestellter Gültigkeitsnachweis, vollständig
- **post-sketch (Beweis):** dem Theorem nachgestellter Gültigkeitsnachweis als Beweisskizze
- **post-complete (Beweis):** dem Theorem nachgestellter Gültigkeitsnachweis, vollständig

- **demonstration:**

Demonstrations veranschaulichen einen mathematischen Gegenstand. Dies kann in unterschiedlicher Form geschehen:

- **example:** ein exemplarisches Beispiel (für den Gegenstand einer Definition, für die in einem Theorem oder Axiom formulierte Aussage)
- **visualization:** eine visuelle Darstellung (des Gegenstand einer Definition, einer in einem Theorem oder Axiom formulierten Aussage)

Unschärfe sehr verbreitete – Unterscheidung in verschiedene Typen von “theorem” nur als Attribut, nicht aber als eigenständiges Element vorgenommen. Die gemeinsame Behandlung der verschiedenen Typen unter einem einzigen Element ermöglicht systematischen Umgang mit dieser Klassifikationsungenauigkeit bei gleichzeitiger Beibehaltung der Differenzierung.

²Die Gültigkeit eines Verfahrens oder einer Berechnungsvorschrift muss ebenfalls bewiesen werden, daher ist die – möglicherweise im ersten Moment überraschende – Klassifikation des Algorithmus als Untergruppe von “theorem” korrekt.

Übersicht:

Class	Element-Name	Attribut “Flavour”	Parent Object
I	motivation	—	bel. Knoten, bel. Element
I	application	—	bel. Knoten, bel. Element
I	remark	alert reflective associative general	bel. Knoten, bel. Element
I	history	biography field result	bel. Knoten, bel. Element
II	definition	—	Elementcontainer ($K = K_{max}$)
II	theorem	theorem lemma corollar algorithm	Elementcontainer ($K = K_{max}$)
II	axiom	—	Elementcontainer ($K = K_{max}$)
III	proof	pre-sketch (Herl.) pre-complete (Herl.) post-sketch (Beweis) post-complete (Be- weis)	Element name=theorem
III	demonstration	example visualization	beliebiges Element

8.1.3 Binnenstruktur der Entitäten

Wir wollen hier die für den Content-Teil des Mumie-Projektes (vergl. Kap. 10) entwickelte Binnenstrukturierung der Entitäten angeben.

Die grundsätzliche Zielsetzung dabei ist, die Entitäten so stark wie möglich zu strukturieren. Das gilt in besonderer Weise für die strikt mathematisch formulierten Entitäten (Definitionen, Theoreme etc.), bei denen fachlogische Aspekte eine Binnenstruktur in kanonischer Weise nahelegen. Für den Authoring-Prozess bedeutet das gewisse Einschränkungen an den persönlichen Stil. Umgekehrt wird durch eine Standardisierung der Darstellung größere Übersicht, bessere Vergleichbarkeit und die Wiederverwendbarkeit auch von Teilen von Entitäten ermöglicht.

Die folgenden Abbildungen dienen lediglich der Visualisierung der Struktur innerhalb der Entitäten. Sie sind nicht mit einer “Layout-Anweisung” zu verwechseln – im Gegenteil: die strikte Kapselung der Einzelteile dient der Entkoppelung von Inhalt und späterer Verwendung und Präsentation.

Class-I-Entitäten:

“motivation”

Entitäten dieses Typs haben keine feste Binnenstruktur – freestyle.

“application”

Entitäten dieses Typs haben keine feste Binnenstruktur – freestyle.

“remark”

Entitäten dieses Typs haben keine feste Binnenstruktur – freestyle.

“history”

Die Entitäten des Typs history sind insbesondere auch für den Retrieval-Bereich (auch “Lexikontool”, vergl. Kap. 10.2.5) von besonderer Bedeutung. Die unterschiedlichen flavours dieser Entität führen auf verschiedene Binnenstrukturen:

- **biography:**
 - **Lebensdaten**
 - **Übersicht:** allg. Daten, zentrales Wirkungsfeld, Zugehörigkeit zu (mathematischer) Schule, Lehrer, bekannte Schüler, Einbettung in wissenschaftliches Umfeld
 - **Fachliches Werk:** Darstellung des mathematischen Gesamtwerkes, mit inhaltlich klar voneinander abgegrenzten Abschnitten; ergänzend jeweils detaillierte Darstellung dieser Abschnitte

- **Überfachliche Bedeutung** (optional): kulturhistorische Bedeutung, gesamtgesellschaftliches Wirken
- **Bild**
- **field:**
 - **Übersicht:** allgemeine Informationen, Daten zur Entwicklung des Gebietes, ursprüngliche Fragestellung und deren Weiterentwicklung, berühmte Wissenschaftler dieses Gebietes
 - **Mathematisches Gebiet:** Übersicht über das mathematische Gebiet mit inhaltlich klar voneinander abgegrenzten einzelnen Abschnitten; ergänzend jeweils detaillierte Darstellung dieser Abschnitte
 - **Überfachliche Bedeutung** (optional): historische und gesamtgesellschaftliche Bedeutung
- **result:**
 - **Einzelner Abschnitt:** keine feste Binnenstruktur – freestyle

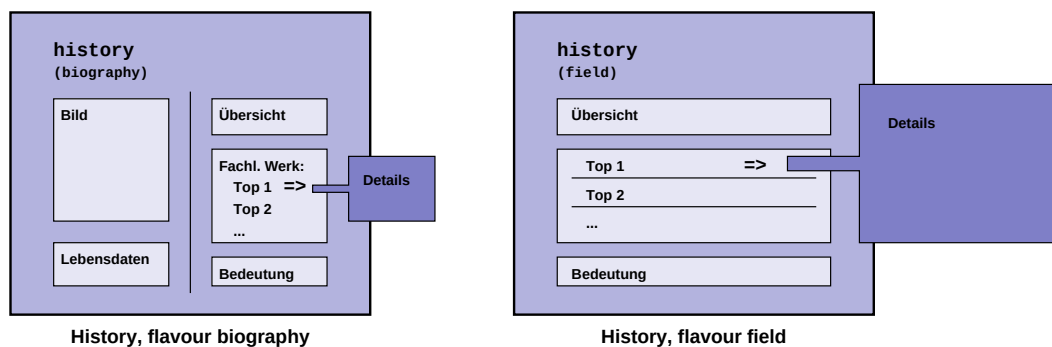


Abb. 8.5: Binnenstruktur der Entität "History"

Class-II-Entitäten:

“definition”

Definition führen i.a. genau einen zu definierenden Begriff ein, um eine möglichst hohe Modularität zu erreichen. Ausnahmen (“Doppeldefinition”, vergl. Graphik, analog “Tripeldefinition etc.”) sind nur dann sinnvoll, wenn die betreffenden Definitionen praktisch “immer” gemeinsam eingeführt werden und dadurch kein wirklicher Widerspruch zur Modularität entsteht (Bsp.: Zeilenrang und Spaltenrang).

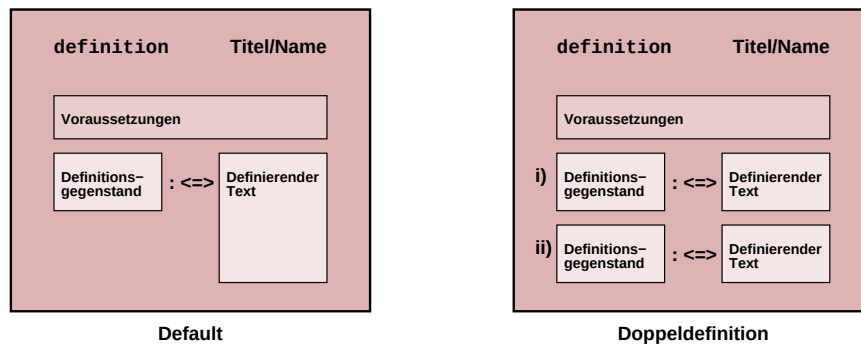


Abb. 8.6: Binnenstruktur der Entität “Definition”

Verschiedene äquivalente Definitionen werden nicht in einer einzigen Definition, sondern in getrennten Definitionen vorgestellt. Zusätzlich müssen entsprechende Theoreme formuliert werden, die die Äquivalenz der Aussagen beweisen.

“theorem”

Auch hier gilt, dass in einem Theorem i.a. genau eine Aussage vorgestellt wird. Ausnahmen sind dann sinnvoll, wenn die betreffenden Aussagen inhaltlich so stark verknüpft sind, daß sie praktisch “immer” gemeinsam zitiert werden.

Die theorem-flavour “theorem”, “lemma” und “corollar” weisen gleichartige Strukturen auf, wobei jeweils zu unterscheiden ist zwischen Implikationen und Äquivalenzaussagen:

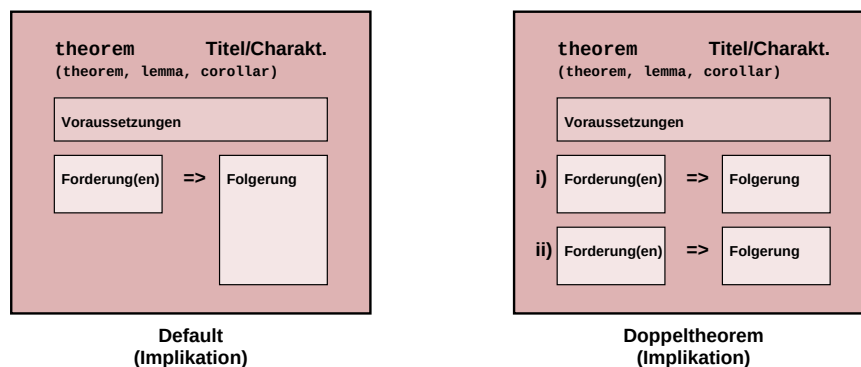


Abb. 8.7: Binnenstruktur der Entität “Theorem”, Implikation, flavour theorem, lemma, corollar

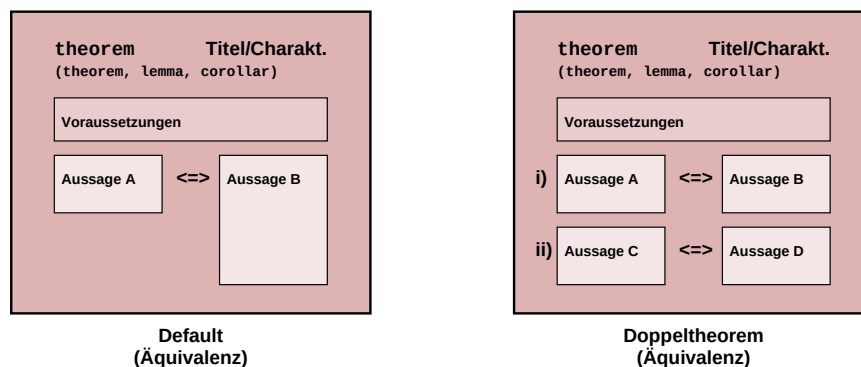


Abb. 8.8: Binnenstruktur der Entität “Theorem”, Äquivalenz, flavour theorem, lemma, corollar

Es ist dabei zu beachten, dass die Abgrenzung der “Voraussetzungen” gegenüber den “Forderungen” bei Implikationstheoremen nicht eindeutig ist; auch die Voraussetzungen sind mathematische Anforderungen an das gegebene Szenario. Für verschiedene Zwecke ist jedoch eine Unterscheidung in “allgemeine Voraussetzungen”, die häufig für mehrere Sätze gleichermaßen gültig sind, und “spezielle Voraussetzungen = Forderungen”, die in besonderer Weise charakteristisch für ein spezielles

Theorem sind, inhaltlich sinnvoll und für die Formulierung der Mathematik typisch. Auch diese Charakterisierung erzielt jedoch keine absolute Eindeutigkeit; die hier vorgestellte Abgrenzung setzt das Einhalten von Konvention voraus, die separat spezifiziert werden müssen.

Etwas abweichend formulieren wir die Binnenstruktur für Theoreme des flavours “algorithm”:

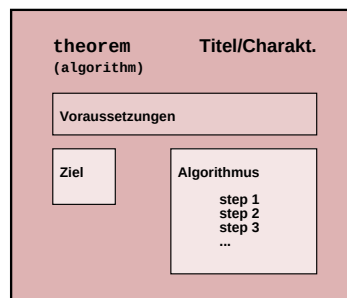


Abb. 8.9: Binnenstruktur der Entität “Theorem”, flavour algorithm

“axiom”

Die Binnenstruktur von Axiomen ist eng verwandt mit der von Theoremen:

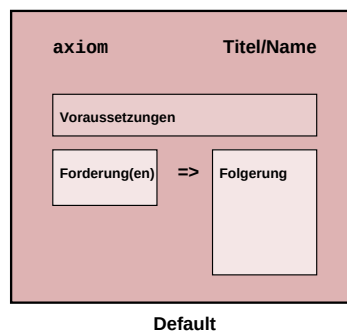


Abb. 8.10: Binnenstruktur der Entität “Axiom”

Für die Abgrenzung von “Voraussetzungen” gegenüber den “Forderungen” gelten die Bemerkungen der Theorem-Entität analog.

Class-III-Entitäten:**“proof”**

Beweise werden zunächst in ihren zentralen Schritten skizziert; in einem zweiten Schritt werden die einzelnen Schritte im Detail ausgeführt:

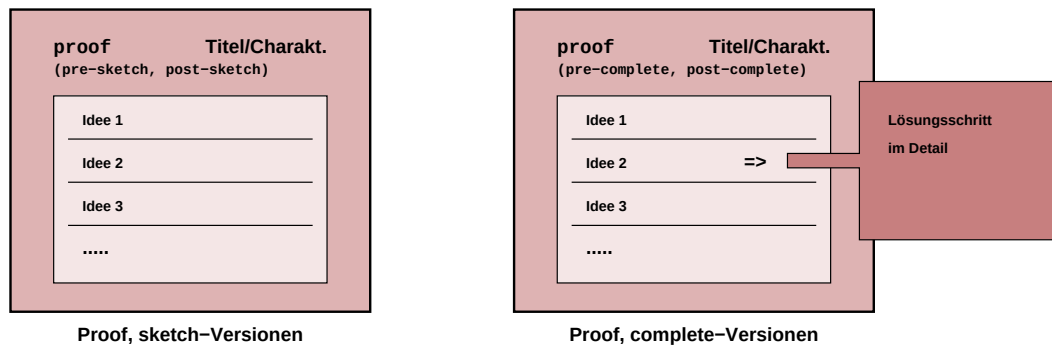


Abb. 8.11: Binnenstruktur der Entität “Proof”

“demonstration”

Entitäten dieses Typs haben keine feste Binnenstruktur – freestyle.

Kapitel 9

Multimediale Practice-Szenarien

In den Modellen des entdeckenden, selbstgesteuerten, experimentellen Lernens stehen nicht so sehr die Abspeicherung fertiger Informationseinheiten als Endprodukte im Vordergrund, sondern vielmehr der Informationserwerb als Mittel der Problemlösung. Dabei ist nicht nur der experimentelle, entdeckende Lernzugang als solcher entscheidend, sondern auch die Individualisierbarkeit des Prozesses. Es setzt sich zudem die Ansicht durch, dass Hypertext-Systeme ein ideales Medium für das entdeckende Lernen sind ([Sch02]).

Wir wollen diese verschiedene Modelle in diesem Kapitel als sog. Practice-Szenarien zusammenfassen:

Wir entwickeln zunächst eine Übersicht über die verschiedenen mathematischen Problemstellungen (Kap. 9.1).

Anschließend diskutieren wir analog zu Kap. 8 (“Content-Szenarien”) die verschiedenen Stufen der Strukturierung und Formalisierung, die zur Entwicklung geeigneter Lernumgebungen für den Practice-Bereich notwendig sind (Kap. 9.2).

9.1 Klassifikation mathematischer Problemstellungen

Mathematische Probleme lassen sich nach ihrer Zielsetzung klassifizieren:

- **“WAS”**

Die weitreichendste Problemstellung ist die der “Entwicklung qualifizierter Vermutungen”. Bevor entschieden werden kann, *ob* eine bestimmte Vermutung gilt, muss diese aufgrund bekannter Zusammenhänge, exemplarischer Tests und beobachteter Indizien zunächst einmal entstehen. Problemstellungen diesen Typs können angegangen werden durch:

- **Experimentelle Szenarien:** Experimentelle Entwicklung von Vermutungen

- **“OB” incl. “WARUM”**

Ziel einer solchen Problemstellung ist der Erkenntnisgewinn darüber, *ob* eine Vermutung gilt und *warum* sie gilt. Probleme diesen Typs werden gelöst durch:

- **Beweise:** komplexe Argumentationsketten
- **Begründungen:** plausibles Argumentieren

Die Grenze ist fließend: aus mathematischer Sicht ist auch eine “plausible Argumentation” ein (kurzer, einfacher) Beweis. Auf einer subjektiven Ebene wird hier jedoch durchaus unterschieden.

- **“WIE”**

Ziel dieser Problemstellung ist die Entwicklung der Lösung eines Problems, und die Lösung selber. Probleme diesen Typs induzieren einen zweistufigen Lösungsprozess:

- **Entwicklung von Lösungsverfahren und -algorithmen:**
Gegeben ist hier ein allgemein formuliertes Problem, gesucht das allgemeine Lösungsverfahren.
- **Durchführung der entsprechenden Berechnungen:**
Gegeben ist hier ein konkret formuliertes Problem, gesucht die explizite Lösung. Dieser Schritt setzt die Kenntnis des vorher beschriebenen voraus.

- **“BASIS”**

Alle obigen Problemstellungen setzen die sichere Kenntnis der mathematischen Objekte und Methoden voraus, mit denen sie sich befassen. Diese Kenntnis wird trainiert durch:

- **Repetieren** von Eigenschaften mathematischer Objekte und Methoden

Innerhalb eines aufgabenorientierten Practice-Tools führen diese Zielsetzungen in natürlicher Weise auf eine Klassifikation der Aufgabentypen:

- **Aufgaben zur Entwicklung von Vermutungen**
- **Aufgaben mit komplexen Beweisführungen**
- **Aufgaben zum plausiblen Argumentieren**
- **Aufgaben zur Erarbeitung systematischer Lösungswege**
- **Rechenaufgaben**
- **Aufgaben zum Trainieren von Basiswissen**

Diese Klassifizierung ist Grundlage der in Kap. 9.2.2 vorgestellten Festlegung von Entitäten für Practice-Szenarien.

9.2 Strukturierungskonzepte

Analog zu den in Kap. 8 entwickelten Anordnungs- und Strukturierungskonzepten stellen sich auch für multimediale Practice-Szenarien entsprechende Fragen:

- **Einordnung in die Fach-Taxonomie:**
Aufgaben müssen – analog zu Inhalten in contentorientierten Szenarien, vergl. Kap. 8.1.1 – innerhalb einer fachspezifischen Taxonomie angeordnet werden, um den Aufbau flexibler, stark vernetzter Wissenssysteme zu ermöglichen. Details werden in Kapitel 9.2.1 behandelt.
- **Entitäten:**
Analog zu den Entitäten der contentorientierten Szenarien (vergl. Kap. 8.1.2) werden auch für die Practice-Szenarien entsprechende Feinstrukturen benötigt. Details werden in Kapitel 9.2.2 behandelt.
- **Binnenstruktur:**
Entsprechend den contentorientierten Szenarien (vergl. Kap. 8.1.3) wird die Binnenstruktur von Entitäten der Practice-Szenarien in Kap. 9.2.3 behandelt.
- **Semantik und Syntax:**
Im Zusammenhang mit dem Themenkreis “Validierungstools” (vergl. Kap. 9.3) ist dieser Aspekt von einer zentralen Bedeutung für die Integration intelligenter Feedback-Mechanismen in Practice-Szenarien. Wir wollen die semantische Formulierung der Mathematik im Rahmen dieser Arbeit aus Komplexitätsgründen nicht analysieren, ein Überblick über die Entwicklungen in diesem Gebiet wird in Kap. 5.1 gegeben (insb. OpenMath [Ope], Content MathML [Mata]).
- **Einordnung in das “Aufgabennetzwerk”**
Ein bei Practice-Szenarien neuartig auftretender Strukturierungsaspekt, für den es *kein* Analogon bei den contentorientierten Szenarien gibt, ist die Vernetzung der einzelnen Aufgaben zueinander in *direkter Weise* (nicht ausschließlich abstrakt über die Ontologie wie im ersten Punkt dieser Liste). Die Notwendigkeit hierfür ergibt sich wiederum aus dem Wunsch eines möglichst intelligenten tutoring systems. Details werden in Kapitel 9.2.4 behandelt.

9.2.1 Einbettung mathematischer Problemstellungen in die Fach-Taxonomie

Analog zu den Entitäten in contentorientierten Szenarien (vergl. Kap. 8.1.1) müssen auch Aufgaben innerhalb der zugrundegelegten fachspezifischen Taxonomie angeordnet werden. Dadurch werden Relationen zwischen den Contentblöcken und den Practice-Anteilen einer Lehrplattform ermöglicht.

Während in den contentlastigen Szenarien die einzelnen Entitäten (mit Ausnahme der “Zusammenhangselemente”) eindeutig einzelnen Knoten zugeordnet werden – gerade das ist ein Kriterium für die Eignung der gewählten Ontologie – müssen mathematische Probleme i.a. komplexen Zuordnungsregeln genügen. Nur die wenig komplexen, geringes Zusammenhangswissen voraussetzenden Aufgaben können eindeutig einem einzigen Elementcontainer (vergl. S. 100) zugeordnet werden, alle komplexeren Aufgaben jedoch benötigen Vorkenntnisse aus unterschiedlichen Bereichen und müssen daher mehreren Knoten verschiedener Hierarchiestufen zugeordnet werden können (s. Graphik, Aufgaben grün).

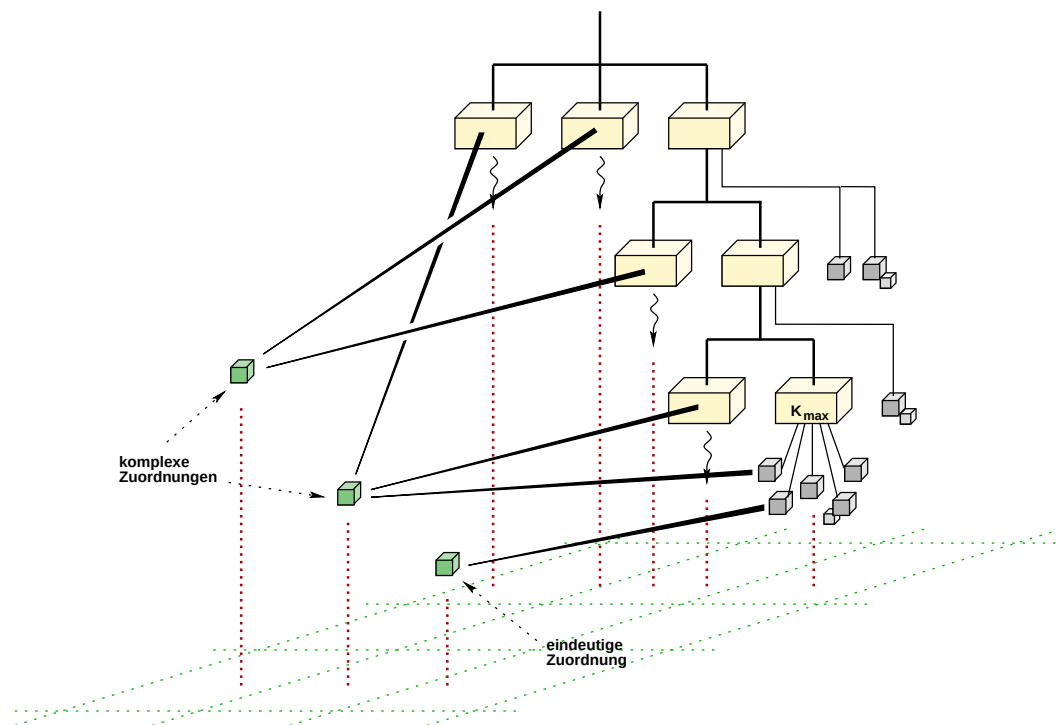


Abb. 9.1: Graphische Darstellung der Aufgabenanordnung in die Fachtaxonomie

Für die Implementation solcher Systeme führt die Komplexität der Zuordnung auf zusätzliche Probleme. Zwar kann eine solche flexible, komplexe Zuordnung grundsätzlich einfach realisiert werden, indem Aufgaben in eigenen Datenbanktabel-

len organisiert und ihre Zuordnungen zu den verschiedenen Ontologieknoten durch ein array von pointern von diesen Knoten verwaltet werden. Die Übersicht über die vorhandenen Aufgaben wird jedoch erschwert. Intelligente Such- und Darstellungsmechanismen sind nötig, um Transparenz in diese hochgradig vernetzte Strukturen zu bringen.

Andererseits induziert eine solche komplexe Zuordnung eine (nicht die einzige) natürliche “Schwierigkeitsklassifikation”: Wählt man im ersten Schritt alle Aufgaben aus, die auf einen einzigen, festen Knoten zeigen, im zweiten alle, die auf diesen und einen weiteren Knoten zeigen usw., so ergibt sich eine Hierarchisierung der Aufgaben nach ihrem Komplexitätsgrad. Eine weitere Verfeinerung dieser Hierarchisierung ist möglich, indem – über Gewichtsfunktionen auf den Ontologieknoten oder geeignete Abstandsfunktionen auf dem Ontologieknotennetz – die weiteren Knoten bei den Hinzunahme im oben beschriebenen Prozess nicht gleichbehandelt werden, sondern nach ihrem “inhaltlichen Abstand” in das System einfließen. Solche Gewichts- und/oder Abstandsfunktionen sind dann Bestandteil der Ontologie.

Eine solche Klassifikation ist von großer Bedeutung: Zum einen wird der durch den Lernenden subjektiv empfundene Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe stark durch die Komplexität einer Fragestellung definiert, gleichzeitig dient eine solche Klassifikation als Gradmesser dafür, ob und inwieweit das Anwenden der erworbenen Kenntnisse über den engen, isolierten Kontext hinaus erlernt wurde.

9.2.2 Die Entitäten mathematischer Problemstellungen

Für die in Kap. 9.1 entwickelte Klassifikation der Aufgabentypen wollen wir hier die auftretenden Entitäten analog zu Kapitel 8.1.2 beschreiben und behalten grundsätzlich auch die dort eingeführten Gruppen (Classes) bei.

Es treten bei den Practice-Szenarien allerdings keine Class II-Elemente auf (es existieren keine Element-Typen, die ausschließlich an Elementcontainer angehängen werden können).

Wir führen folgende Elemente ein:

Class I:

- **question:**

Questions beinhalten den Aufgabentext. Wir unterscheiden nach Kap. 9.1 folgende Typen von *questions*:

- **development:** Aufgaben zur Entwicklung von Vermutungen
- **proof:** Aufgaben mit komplexen Beweisführungen
- **argue:** Aufgaben zum plausiblen Argumentieren
- **system:** Aufgaben zur Erarbeitung systematischer Lösungswege
- **calculation:** Rechenaufgaben
- **basics:** Aufgaben zum Trainieren von Basiswissen

Class III:

- **remark:**¹

Remarks sind ergänzende und erläuternde Bemerkungen zu einer Aufgabe. Wir unterscheiden folgende Typen von *Remarks*:

- **alert:** Hinweis auf typische Mißverständnisse und Fehler, Warnung
- **reflective:** Reflexion eines Aufgabengegenstandes, Hinterfragung der zugrundeliegenden Idee, Diskussion von Variationen, Einbettung in Gesamtthematik
- **associative:** Verknüpfung zu anderen Begriffen und/oder Themengebieten (inner- und außerhalb der Mathematik)
- **history:** Hinweis auf historische Aspekte einer Fragestellung
- **general:** Bemerkungen, die nicht unter die übrigen Kategorien fallen

¹Remarks wurden im Content-Bereich als Class I-Elemente eingeordnet, hier allerdings zählen sie zu den Class III-Elementen. Das ist korrekt: im Practice-Bereich fungieren diese Ergänzungselemente als reine Subelemente, weil sie sich – per Definition – nur auf die Aufgaben selber beziehen sollen.

- **hint:**

Hints beinhalten Hinweise zur Lösung einer Aufgabe. Mehrere Hints zu der gleichen Aufgaben werden – nach dem Umfang der gegebenen Hilfestellung – angeordnet.

- **solution:**

Solutions beinhalten die Lösungen einer Aufgabe. Wir unterscheiden folgende Typen von *Solutions*:

- **sketch:** Lösungsskizze, enthält nur die wesentlichen Ideen
- **complete:** vollständige Lösung mit allen Zwischenschritten

Übersicht:

Class	Element-Name	Attribut “Flavour”	Parent Object(s)
I	question	development proof argue system calculation basics	bel. Knoten, bel. Element
III	remark	alert reflective associative history general	Element name=question
III	hint	–	Element name=question
III	solution	sketch complete	Element name=question

Für die Subelemente (Class-III-Entitäten) tritt eine zusätzliche Eigenschaft auf, die bei den Content-Entitäten nicht in gleichem Maße von Bedeutung ist und darum dort nicht diskutiert wurde: verschiedene Subelemente müssen sich aufeinander beziehen können. Zwischen einer Aufgabe und ihren Class-III-Elemente besteht eine $1 : n$ -Beziehung, d.h. es können stets mehrere Bemerkungen, Hilfestellungen oder Lösungswege existieren. Es muss daher sichergestellt werden, dass hints und die verschiedenen solution-Typen zueinander in Relation gesetzt werden können:

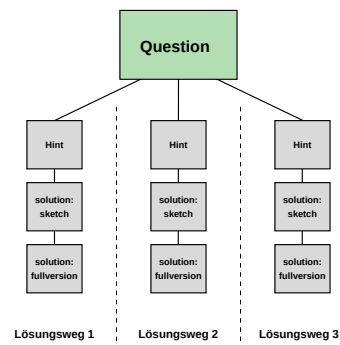


Abb. 9.2: Aufgabe mit multiplen Lösungswegen

9.2.3 Binnenstruktur der Entitäten

Auch die Entitäten der Practice-Szenarien verfügen mehrheitlich über eine formalisierbare Binnenstruktur (vergl. Kap. 8.1.3 für die Binnenstruktur im Content-Bereich).

Ein wichtiger Unterschied ist hier allerdings zu beachten: Vereinheitlichte Binnenstrukturen der Entitäten tragen im Content-Bereich wesentlich zu Übersicht und Transparenz bei, sie vereinfachen den “Erstkontakt”, erleichtern den Wissenserwerb und unterstützen den Verständnisprozess. Vereinheitlichte und strikte Binnenstrukturen sind deshalb für den Content-Bereich aus didaktischen Gründen wichtig.

Im Practice-Bereich besteht jedoch ein zentraler Teil der eigentlichen Aufgabe in der genauen Analyse eines gegebenen Problems; eine sehr strikte inhaltliche Unterstruktur nimmt dem Lernenden aber gerade Teile dieses wichtigen Schrittes ab und ist damit u.U. sogar didaktisch kontraproduktiv. Das bedeutet auch, dass “FreeStyle-Versionen” insbesondere für die komplexeren Fragestellungen in Practice-Szenarien eine sinnvolle Ergänzung darstellen, während wir sie Content-Bereich bewusst ausgeschlossen haben.

Wir geben hier nun eine Binnenstruktur der Entitäten für Practice-Szenarien an:

“question”

Für alle flavour der Entität “question” gilt folgende Binnenstruktur:

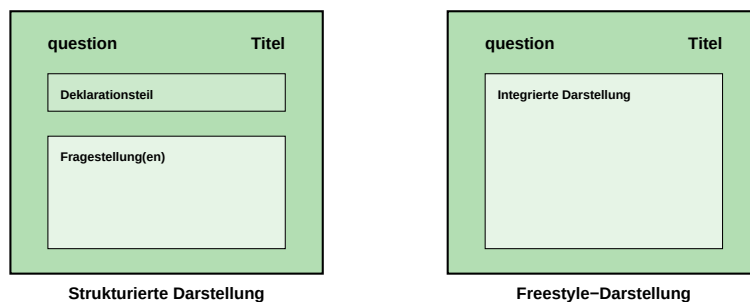


Abb. 9.3: Binnenstruktur der Entität “Question”

“remark”

Entitäten dieses Typs haben keine feste Binnenstruktur – FreeStyle.

“hint”

Entitäten dieses Typs haben keine feste Binnenstruktur – FreeStyle.

“solution”

Lösungsskizzen beinhalten lediglich die zentralen Schritte einer Argumentations- oder Berechnungskette, die “Vollversionen” übernehmen diese Struktur, stellen aber zusätzlich vollständige Lösungen zu den einzelnen Zwischenschritten dar. Ihre Struktur ist ähnlich der der Herleitung bzw. des Beweises (vergl. Kap. 8.1.3).

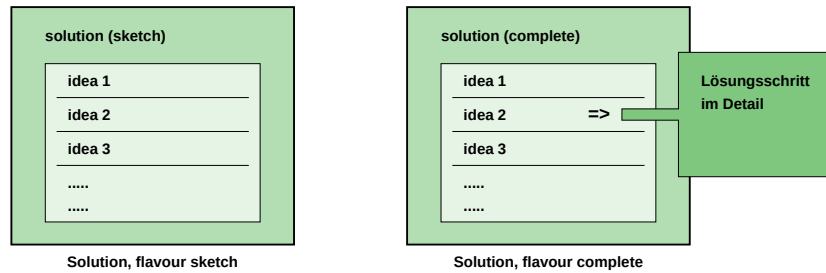


Abb. 9.4: Binnenstruktur der Entität “Solution”

9.2.4 Das Aufgabennetzwerk

Zusätzlich zur Einordnung der Aufgaben in die zugrundegelegte Fachtaxonomie (vergl. Kap. 9.2.1) ist es sinnvoll, die einzelnen Aufgaben in *direkter Weise* zu vernetzen. Für diesen Strukturierungsaspekt gibt es *kein* Analogon bei den contentlastigen Szenarien.

Eine solche Vernetzung erlaubt ein “intelligentes tutoring system”, und das nicht auf der Basis komplexer KI-Algorithmen, sondern durch einfaches Herunterbrechen von komplexen Problemen auf ihre Teilprobleme. Dieser Prozess muss ggf. mehrfach wiederholt werden; schließlich bricht er ab, weil jedes Teilproblem zurückgeführt wird auf ein Grundwissen aus unzerlegbaren Basisaufgaben (diese lassen sich i.a. eindeutig einem Elementcontainer zuordnen, vergl. Graphik S. 129).

Die folgende Graphik soll diese Vernetzung illustrieren:

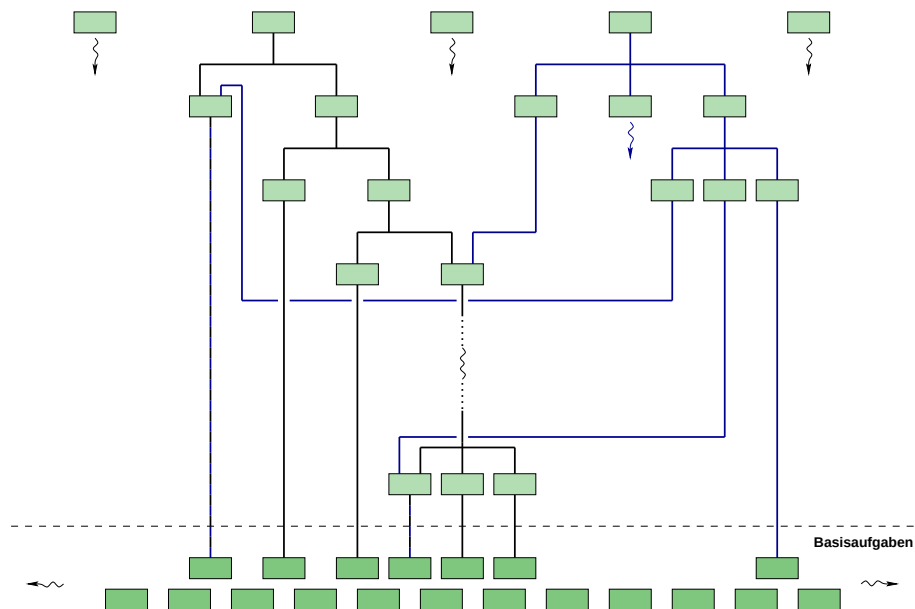


Abb. 9.5: Graphische Darstellung des Aufgabennetzwerkes

Die Graphik läßt erkennen, dass für diese Vernetzung keine Hierarchie mit festen Niveaus (wie für die Knoten der Content-Hierarchie, vergl. Kap. 7.1.1) existiert; vielmehr handelt es sich hier um ein “echtes Netz”, in dem gleiche Elemente kontextabhängig auf verschiedenen Hierarchiestufen zu finden sein können.

In der konkreten Anwendung bewirkt dieses Anordnungsprinzip, dass Lernende sich sukzessive Problemlösungen selber erarbeiten können. Im Gegensatz zu der (technisch einfacheren) Auslieferung von Musterlösungen wird durch diese Struktur ein “sinnvolles” Problemlösungsverfahren trainiert.

9.3 Eingabe- und Validierungsverfahren mathematischer Problemstellungen

Gegenstand des folgenden Kapitels ist die Auseinandersetzung mit zwei weiteren zentralen Fragen multimedialer Practice-Umgebungen:

“Wie können Antworten eingegeben, d.h. an das System übermittelt werden” und
“Wie können Antworten ausgewertet werden?”

Wir wenden uns zunächst einer Analyse der möglichen Eingabeverfahren zu (Kap. 9.3.1), diskutieren dann die verschiedenen Möglichkeiten der Überprüfung der Antworten (Kap. 9.3.2) und untersuchen anschließend die Frage, welche Eingabe- und welche Validierungsverfahren sich für welche Aufgabentypen eignen (Kap. 9.3.3). Wir beenden den Abschnitt mit einer kurzen Zusammenfassung und einer Diskussion über die voraussichtlichen weiteren Entwicklungen auf diesem Gebiet (Kap. 9.3.4).

9.3.1 Eingabeverfahren

- **Multiple Choice**

Es lassen sich verschiedene Formen unterscheiden:

- **Auswahl aus vorgegebenen Antworten:**

1 bis n Antworten werden (i.a. durch Anklicken von aktiven Elementen) aus vorgegebenen ausgewählt,
vorgegebene Antworten reichen von einfachem “ja/nein” bis zu hochgradig multipler Auswahl

- **Anordnen von Elementen:**

multimediale Objekte (Texte, Formeln, Bilder, etc.) werden in eine bestimmte Anordnung gebracht,
typische Formen sind Zuordnungen (aus einer Auswahl aus vorgegebenen Objekten müssen einzelne ausgewählt und korrekt positioniert werden) und Reihungen (vorgegebene Objekte müssen in eine korrekte Reihenfolge gebracht werden)

Multiple Choice-Eingaben wirken extrem einschränkend auf die Kreativität, denn alle Antworten sind grundsätzlich “vorgegeben”. Problematisch ist weiter oftmals, dass die Existenz vorgegebener Antworten die Überlegungen des Lernenden bereits auf bestimmte Bahnen lenken, statt ihn diese selbst entwickeln zu lassen. Zudem verführen Multiple Choice-Eingaben zu einer Bearbeitung per “Ausschlussprinzip” – was nicht grundsätzlich negativ ist, wie wir von Sherlock Holmes wissen, aber nicht dazu beiträgt, sich in erster Linie mit dem *korrekten* Lösungsweg auseinanderzusetzen. Multiple Choice-Eingaben können zu einer “try-and-error”-Strategie führen, bei der gemachte Fehler nicht hinrei-

chend hinterfragt werden. Schließlich lassen sich viele Fragestellungen schlecht oder gar nicht in einer Multiple Choice-Formulierung stellen.

Andererseits können Multiple Choice-Eingaben dennoch in bestimmten Situationen und/oder für bestimmte Fragetypen sinnvoll sein. Psychologisch bieten Multiple Choice-Aufgaben insbesondere Einsteigern in eine neue Thematik einen Vorteil: jeder Lernende kann eine solche Aufgabe beantworten – notfalls falsch; eine FreeStyle-Text-Eingabe aber hätte den Neuling vor wesentlich größere Probleme gestellt. Multiple Choice-Aufgaben bieten sich als Einstiegsfragen in eine Thematik an, weil die vorgegebenen Antworten als “Guide” fungieren. Weiter sind Multiple Choice-Eingaben schnell und unkompliziert zu bedienen, auch die Validierung ist technisch sehr schnell, einfach und zuverlässig. Zudem werden einige der obigen Kritikpunkte mit steigender Anzahl der Auswahlmöglichkeiten deutlich gemindert. Multiple Choice-Eingaben sind insbesondere dann unproblematisch, wenn die möglichen Antworten aus didaktischen Gründen ohnehin bewußt sehr eng eingegrenzt wurden.

- **FreeStyle Text (typed, written, audio)**

Wir diskutieren hier zunächst nur den Fall einer FreeStyle-Eingabe über die Tastatur. Für handschriftliche oder auditive Eingaben (vergl. Kap. 5.5) müssen geeignete Tools diese in eine maschinenverständliche, semantisch codierte digitale Form konvertieren. Danach kann ihre Behandlung auf die der Tastatureingaben zurückgeführt werden.

Wir unterscheiden auch hier zwei verschiedene Formen:

- **Short-Strings:**

Eingabe einer Zahl, eines Wortes, eines kurzen mathematischen Ausdrucks u.ä.

- **Long-Strings:**

Eingabe eines komplexen mathematischen Textes mit Textteilen und Formeln

Short-String-FreeStyleeingaben sind die natürliche Erweiterung der Multiple Choice-Verfahren. Es bestehen damit auch hier gewisse, teilweise vergleichbare Beschränkungen, insbesondere an die Art der Fragestellung, die durch einen Short-String sinnvoll beantwortbar ist. Diese Einschränkungen werden durch die Long-String-Eingaben grundsätzlich überwunden. FreeStyleeingaben ermöglichen insgesamt die selbstständigere Formulierung von Antworten und damit eine höhere Eigenleistung.

Die Probleme von FreeStyle-Eingaben allgemein liegen in zwei Bereichen: zum einen in der Eingabe selbst, zum zweiten in der Auswertung der Eingabe.

Die Eingabe von FreeStyle-Ausdrücken ist insbesondere in der Mathematik deshalb kompliziert, weil auch Formeln eingegeben werden müssen. Das aber setzt – wir beschränken uns weiter auf die Untersuchung tastaturgestützter Eingaben – entweder die Kenntnis einer wissenschaftlichen Formelnotation wie

$\text{\TeX}/\text{\LaTeX}$ voraus, oder aber die Integration eines graphisch orientierten Formeleditors. Die Verwendung eines Quasistandards wie $\text{\LaTeX}$ ist zwar fortgeschrittenen Lernenden durchaus zuzumuten, für Anfänger aber problematisch, die Einstiegshürde sehr hoch. Graphische Formeleditoren sind derzeit stark in der Entwicklung (z.B. MathType). Schwierigkeiten bereitet hier vor allem die Integration solcher externen Tools in bestehende Lehr-Lern-Umgebungen, einerseits aus technischer, andererseits aus lizenzrechtlicher und kostentechnischer Sicht.

Die Überprüfung der Richtigkeit solcher Strings ist nicht trivial; sie wird umso schwieriger, je komplexer eine Antwort ist. Es müssen Eingabekonventionen an Syntax und Semantik vorausgesetzt werden, die streng beachtet werden müssen. Für Short-Strings lassen sich mithilfe solcher Regeln zufriedenstellende Validierungsergebnisse erzielen. Jedoch ist bis heute praktisch keine vollautomatische Überprüfung komplexer Eingaben (Long-Strings) möglich (vergl. Kap. 5.1).

- **Applets und vergleichbare Simulationstechniken**

Wir wollen hier insbesondere Applets als verbreitetste und für mathematische Anwendungen geeignetste Möglichkeit diskutieren: Applets können nicht nur zur Visualisierung genutzt werden, ihre Interaktionsfähigkeit bietet ebenfalls die Möglichkeit, sie als Eingabemethode zu verwenden.

Wir diskutieren hier die drei wesentlichen Formen²:

- **Steuerungs- und Regelungsmechanismen:**
Beantwortung von Fragestellungen durch Steuern der Szenerie mit geeigneten Schaltinstrumenten
- **Markierungen:**
Beantwortung von Fragestellungen durch das Markieren von Bereichen innerhalb einer gegebenen Visualisierung
- **Graphische Elemente:**
Beantwortung von Fragestellungen durch Einzeichnen von Objekten in einen gegebenen Rahmen/ein gegebenes Szenario

Applets eignen sich als Eingabetool, wenn eine Frage sich eine relativ konkrete Angabe in einer gegebenen, i.a. graphischen Szenerie beantworten lassen (etwa: “variieren das Feld so, das es wirbelfrei ist”, “wo sind diese Wirbel dieses Feldes” bzw. “male ein Feld so, dass es überall wirbelfrei ist”). Sie eignen sich eher nicht für Aufgaben, die komplexe Argumentationsketten als Antwort erwarten.

²Ein Applet kann auch dazu verwendet werden, um z.B. Multiple Choice zu realisieren, indem Objekte herungeschoben/an ihren richtigen Platz geschoben werden sollen. Diesen Fall wollen wir nicht noch einmal diskutieren, sondern uns auf die *zusätzlichen* Möglichkeiten konzentrieren, die durch Applets gegeben sind.

Der Einsatz von Applets stellt auf der technischen Seite immer noch eine Herausforderung dar: Die Unterstützung durch die verschiedenen Browser ist nicht gleichermaßen gegeben; häufig wird – wegen seiner hierfür günstigen Eigenschaften – der Browser Mozilla als Entwicklungsumgebung verwendet, der derzeit am weitesten verbreitete Browser Internet Explorer wird ohne die Java Virtual Machine geliefert und benötigt ein zusätzliches Plug-In. Die Ladezeiten von Applets sind teilweise erheblich, die Performance damit nicht immer ideal. Die Entwicklung von Applets ist verhältnismäßig aufwendig (vergl. Kap. **10.3.6**).

Der Einsatz von Applets und vergleichbaren Technologien als Eingabetool induziert konstruktive Typen von Fragestellungen: Applets eignen sich nicht nur zur Eingabe von Zwischen- und Endresultaten, sondern ermöglichen den experimentellen Zugang zur Lösung, es entsteht ein fließender Übergang zu einem “Virtual Lab” (vergl. Kap. **11.2.2**). Der kreative, experimentelle und spielerische Umgang mit Mathematik steht im Vordergrund, entdeckendes und exploratives Lernen wird unterstützt.

9.3.2 Validierungsverfahren

Wir diskutieren nun die möglichen Validierungsverfahren. Dabei gehen wir zunächst auf die “Vergleichsmethode” ein, die auch außerhalb der Mathematik in beliebigen Disziplinen breite Anwendung findet. Wir untersuchen dann die Möglichkeit, insbesondere externe Validationstools in Form von ComputerAlgebraSystemen o.ä. als Validationsmechanismus heranzuziehen. Diese zweite Methode ist auf Teile der technischen und naturwissenschaftlichen Disziplinen verallgemeinerbar:

- **Statisch: Vergleich mit hinterlegten Antworten**

Die klassische Validierungsmethode besteht im Vergleich der eingegebenen Antwort mit *statisch* hinterlegten, *vorgefertigten* Vergleichsantworten.

- **Für Multiple Choice-Eingaben:**

Für die Auswertung statischer Multiple Choice-Aufgaben ist die Vergleichsmethode sinnvoll und unproblematisch.

- **Für FreeStyle Text-Eingaben:**

Der Vergleich mit hinterlegten Antworten wird auch verwendet, um FreeStyle-Ausdrücke zu überprüfen. Die Probleme sind offensichtlich und liegen in der unzureichenden Toleranz gegenüber Notationsvariationen einerseits, in der Vor-Definition von Antworten andererseits: Kleine Abweichungen in der Notation können zur Nicht-Erkennung einer an sich korrekten Antwort führen. Lediglich für “erwartete Fehler” kann bei deren Auftreten eine passende Hilfestellung gegeben werden, ungewöhnliche Fehler hingegen können nur als solche gekennzeichnet, nicht aber inhaltlich kommentiert werden.

- **Für Applet-Eingaben:**

Als Validator bei Eingaben durch Applets kann sich der Vergleich auf den durch den Lernenden markierten Bereich oder auf die Positionen der Steuerungselemente beziehen. Hier entstehen eher wenige Probleme: das liegt zum einen in der für Applet-Einsatz typischen Formulierung von Problemstellungen begründet, hat seine Ursache aber auch darin, dass ganze Regionen potentieller Eingabebereiche (Teilgebiete der graphischen Darstellung) sehr einfach mit geeigneten Kommentaren und Hilfestellungen hinterlegt werden können.

Die meisten der heute in Lehr-Lern-Plattformen eingesetzten Validierungsmechanismen verwenden vergleichende Methoden. Sie sind gut dort, wo sie ohne Einschränkung an die Didaktik einsetzbar sind, denn sie sind technisch einfach zu realisieren, sie sind schnell und stabil.

Vergleichsverfahren sind durch die vordefinierten Antworten beschränkt und können damit auch in der Fehleranalyse nur sehr eingeschränkt unterstützen. Sie sind ebenfalls nur sehr begrenzt nutzbar in experimentellen Lernszenarien.

- **Dynamisch: Einsatz (in- und) externer Validierungstools**

Eine weitere Möglichkeit der Validierung besteht in der Verwendung in- oder externer Tools, die *dynamisch* und *on-the-fly* die Richtigkeit einer Aussage überprüfen³. In der Mathematik kommen hier insbesondere ComputerAlgebraSysteme, automatische Beweiser und fachspezifische Software der Numerik, der Visualisierung etc. zum Einsatz.

- **Für Multiple Choice-Eingaben:**

Zur Auswertung von Multiple Choice-Aufgaben ist ein solches Verfahren – wegen des höheren technischen Aufwandes – nur dann sinnvoll, wenn vergleichende Methoden nicht möglich sind. Ein solcher Fall ist z.B. gegeben, wenn die in einer Multiple Choice-Aufgabe verwendeten Zahlenwerte ihrerseits zufällig und *on-the-fly* generiert werden sollen (sinnvoll bei typischen Trainingsaufgaben wie der Inversenbestimmung einer Matrix; dem Lernenden soll hier die Möglichkeit gegeben werden, ein solches Problem beliebig oft zu trainieren). In einem solchen Fall ist die Hinterlegung von Antworten für allen möglichen auftretenden Fälle praktisch nicht möglich, die Lösung muss errechnet werden.

- **Für FreeStyle Text-Eingaben:**

Der Einsatz dynamischer Validierungstools erlaubt eine wesentlich weitergehende Überprüfung von FreeStyle Text-Eingaben:

Eingaben können umfassender auf Korrektheit hin überprüft werden. Fehlerquellen können eher ermittelt werden, wobei nun auch keine grundsätzliche Beschränkung mehr auf die “bekannten Fehler” besteht: intelligentes, useradaptives Feedback wird dadurch erst wirklich möglich. Zusätzliche Funktionalitäten von ComputerAlgebraSystemen und anderer mathematischer Software können in die Validierung einbezogen werden: so kann der Gegenstand der Eingabe etwa visualisiert werden, um auf Fehler hinzuweisen oder auch die Korrektheit einer Antwort zu illustrieren.

- **Für Applet-Eingaben:**

Für den Einsatz dynamischer Validierungstool bei Eingaben, die im Rahmen interaktiver Applets vorgenommen wurden, gilt der vorangegangene Absatz sinngemäß. Auch hier kommt es zu einer wesentlichen Flexibilisierung der Validierung und damit auch zu neuen Möglichkeiten für die darauf basierenden Feedbacks. Häufig stattet man das Applet selbst mit gewissen Validierungsfähigkeiten aus.

Das hier skizzierte Validierungsszenario ist vermutlich das “Szenario der Zukunft”, heute noch eher die Ausnahme. Pilotprojekte werden an vielen Orten, u.a. von der Universität Haifa/Israel, vom DFKI/Saarbrücken und an der TU Berlin (“Cinderella”) betrieben.

Wieder liegt eine zentrale Schwierigkeit im Fehlen einer gemeinsamen se-

³Bsp.: Bei der Aufforderung, eine Funktion anzugeben, die zwar stetig, aber nicht differenzierbar ist, wird die Antwort im Hintergrund mit numerischen Verfahren getestet, anschließend das Ergebnis der Analyse mitgeteilt.

mentisch formulierten Hochsprache für die Mathematik begründet (vergl. Kap. 5.1). In Abhängigkeit des verwendeten externen Tools müssen für die Eingaben jeweils unterschiedliche Notationen verwendet werden. Dem Anwender ist das nicht zuzumuten – daher müssen verschiedene Konverter die Eingaben des Anwenders für die verschiedenen Tools aufbereiten. Der damit einhergehende Aufwand ist abschreckend.

Dem deutlich größeren technischen Aufwand steht jedoch eine wesentliche höhere Adaptionfähigkeit an den User gegenüber, sowohl im Validierungsprozess als auch bei der Unterstützung der Fehleranalyse. Szenarien experimentellen Lernens können in weiten Teilen nur durch dynamische Softwaretools validiert werden.

9.3.3 Anwendung auf verschiedene Aufgabentypen

Auf der Basis der Klassifikation der Aufgabentypen (vergl. Kap. 9.1) untersuchen wir nun deren Zusammenhang zu den verschiedenen Eingabe- und Validierungsverfahren:

Für einfache, repetierende Fragestellungen wie etwa das Trainieren von Basiswissen stehen unterschiedliche Eingabemechanismen und Validierungsverfahren zur Verfügung. Es existiert keine zwangsläufige Beschränkung auf Multiple Choice-Eingaben (derzeit das einzige verwendete Verfahren in vielen Lehr-Lern-Plattformen), vielmehr können solche Aufgaben vielseitig gestaltet und auf unterschiedliche Weise bearbeitet werden.

Bis heute stehen keine geeigneten Mittel zur Verfügung, um komplexe Argumentationsketten auf ihre Korrektheit hin automatisiert zu überprüfen. Das betrifft insbesondere Aufgaben mit komplexen Beweisführungen, aber auch Aufgaben zur Erarbeitung systematischer Lösungswege, wenn die Erarbeitung weitgehend selbst formuliert werden soll, und komplexe Berechnungsaufgaben, bei denen der komplette Rechenweg Gegenstand der Überprüfung ist.

Experimentelle Szenarien können bereits heute grundsätzlich mit hohem Interaktivitätsgrad und effizienten Validierungs- und Feedbackmechanismen realisiert werden; im Vordergrund stehen hier Applettechnologien.

Wir fassen die Ergebnisse in einer Übersicht zusammen:

	MultipleChoice	FreeStyle	Applet	Statisch	Dynamisch
Entwicklung von Vermutungen	–	–	+	o	+
Komplexe Beweisführungen	–	+	–	–	(+)
Plausibles Argumentieren	+	+	–	+	(+)
Erarbeitung system. Lösungswege	+	+	o	+	(+)
Berechnungsaufgaben (incl. Weg)	+	+	o	+	(+)
Trainieren von Basiswissen	+	+	+	+	+

Dabei bezeichnet “+” eine gute, “o” eine mäßige und “–” eine eher schlechte Eignung; “(+)” bedeutet eine grundsätzlich hohe Eignung, wobei aber heute die technische Realisation nicht oder nur sehr eingeschränkt gegeben ist.

9.3.4 Status und Ausblick

Als Zusammenfassung der Möglichkeiten, der derzeitigen Situation und der größten Hürden lässt sich formulieren:

Gegenwärtig ist eine der größten Herausforderungen im Bereich der Entwicklung multimedialer Lehr-Lern-Plattformen, die dynamischen Validierungsmethoden solcher Tools voranzutreiben. Nur ein kleiner Teil mathematischer Fragestellung lässt sich über *Multiple Choice*, einfache *string-checker* oder vergleichbare Mechanismen prüfen – diese Methoden dominieren aber heute das Feld. Damit sind einem breiten Einsatz von komplexen Trainingsszenarien bisher aus technischen Gründen Grenzen gesetzt.

Die Möglichkeiten, die durch externe Softwareanbindung an eine Practice-Umgebung gegeben werden, werden aktuell noch zu wenig eingesetzt. Eine Ursache liegt auch hier in der fehlenden Schnittstellendefinition zwischen Lehr-Lern-Plattformen einerseits und den externen Tool andererseits (vergl. Kap. 5.1). Eine andere Ursache besteht in den hier auftretenden Lizenzfragen und entstehenden Lizenzkosten.

Die Toleranz gegenüber verschiedenartigen Notationen und verschiedenen Formulierungen desselben Gegenstandes ist eine bedeutende Eigenschaft intelligenter Validierungstools. Eine zufriedenstellende Toleranz ist insbesondere bei komplexen Antworten nur erreichbar, wenn erstens die Antworten semantisch codiert sind und zweitens das Validierungstool diese Semantik interpretieren kann (vergl. Kap. 5.1). Eine wichtige Forschungsaufgabe ist also auch hier die semantische Codierung fachwissenschaftlicher Inhalte (vergl. auch [Mata], [Ope], [Saa]). Viele der hier entwickelten Ansätze wurden im Projekt “Mumie” (vergl. Kap. 10) analysiert und partiell weiterentwickelt.

TEIL D

Kapitel 10

Die Mumie

“Mumie” ist eine auf die Vermittlung von Mathematik und Naturwissenschaften optimierte multimediale Lehr- und Lernplattform der “Next Generation” (vergl. Kap. 12.1.2). Feingranulare interaktive Inhaltsbausteine werden in fachlogisch definierten Strukturen verwaltet (vergl. Kap. 7) und mittels intelligenter Werkzeuge für verschiedene Szenarien flexibel komponiert. Nicht-lineare Navigationskonzepte erlauben die Visualisierung innerfachlicher Zusammenhänge. Die Vermittlung des Verständnisses mathematischer Konzepte steht im Vordergrund des didaktischen Ansatzes.

Wir fassen zunächst die zentralen Prinzipien des Designs der Plattform zusammen (Kap. 10.1). Der Beschreibung des Aufbaus der Gesamtplattform (Kap. 10.2.1, 10.2.2) folgt die detaillierte Beschreibung der verschiedenen Lern-Bereiche (Kap. 10.2.3, 10.2.4, 10.2.5). Wir skizzierten schließlich verschiedene Aspekte der technischen Realisation (Kap. 10.3), die insbesondere vor dem Hintergrund der in Kap. 10.1 formulierten Zielsetzungen zu betrachten ist.

10.1 Philosophie

Die mathematisch-naturwissenschaftlich Plattform “Mumie” verfolgt das Ziel, den Erwerb der in Kap. 2.1 dargestellten mathematischen Kompetenzen zu unterstützen. Damit fokussiert das Projekt auf eine Intensivierung des mathematischen Verständnisses und der mathematischer Fähigkeiten.

Wir wollen hier zunächst eine Übersicht über die wichtigsten Prinzipien und Herangehensweisen angeben, bevor wir diese anschließend im einzelnen ausführen:

- **Allgemeine Designansätze:**
 - Unterstützung multipler Lernszenarien
 - Unterstützung der Präsenzlehre
- **Fachpädagogisches Konzept:**
 - Visualisierung innerfachlicher Zusammenhänge
 - Nichtlineare Navigation
 - Visualisierung mathematischer Objekte und Konzepte
 - Support experimenteller Lernszenarien
 - Support explorativen Lernens
 - Adaption an individuelle Lernprozesse
- **Inhaltliches Konzept:**
 - Modularität – Granularität
 - Mathematische Strenge und Präzision
 - Aufspaltung der Rollen “Dozent – Autor”
 - Aufspaltung von “Inhalt – Einsatz”
- **Technische Konzept:**
 - Fachlogische Datenbankstruktur
 - XML-Technologie
 - Dynamische Seitengenerierung “on-the-fly”
 - Strikte Trennung von Inhalten und Layout
 - Useradaption der Präsentation
 - MathML zur Darstellung mathematischer Symbole
 - $\text{\LaTeX}$ als Autorenwerkzeug
 - Offenheit und Heterogenität

Wir beschreiben die Ansätze nun im einzelnen:

- **Allgemeine Designansätze:**

- **Unterstützung multipler Lernszenarien:**

Mathematische Objekte und Methoden werden in individuellen Lerneinheiten mittels multimedialer Darstellungskonzepte durch Kombination von Texten mit Visualisierungen und explorativen Umgebungen präsentiert (Content-Szenario). Diese inhaltliche Präsentation wird durch Bereiche ergänzt, in denen die eigenständige Auseinandersetzung mit mathematischen Inhalten im Vordergrund steht (Practice-Szenario). Die Gegenstände der Mathematik werden losgelöst vom Kurs-Kontext hinsichtlich übergreifender innerfachlicher Zusammenhänge und Kontexten wie etwa historischen Abläufen etc. dargestellt (Retrieval-Szenario).

- **Unterstützung der Präsenzlehre:**

“Mumie” ist eine Plattform, die auf die Unterstützung der Präsenzlehre hin konzeptioniert wird (nicht auf deren “Ersatz” wie etwa im Rahmen eines Einsatzes einer reinen Virtual University oder einer Fernuniversität). Die Rolle des Lehrenden im Lernprozess wird nicht durch die Plattform kompensiert¹. Durch die Bereitstellung hochwertiger multimedialer Wissensbausteine wird der Lehrende vielmehr in die Lage versetzt, ein erhöhtes Gewicht auf die Moderation des Unterrichtes und auf die Steuerung der sozialen, kommunikativen und koordinativen Prozesse zu legen.

- **Fachpädagogisches Konzept:**

- **Visualisierung innerfachlicher Zusammenhänge:**

Die Grundlage der Entwicklung neuer Erkenntnisse liegt weniger in der isolierten Kenntnis aller Einzelfakten als vielmehr in der Kenntnis ihrer Zusammenhänge. Umgekehrt kann auch formuliert werden, dass ein tiefes Verständnis der Einzelkomponenten erst erreicht werden kann, wenn die Strukturen der Gesamthematik verstanden werden.²

Die Vermittlung der Strukturen und der Zusammenhänge in der Mathematik ist ein komplexes Problem, was in der sehr großen Abstraktion

¹Wir wollen an dieser Stelle nicht diskutieren, ob und inwieweit das überhaupt möglich ist und in diesem Kontext nur auf Kap. 12.1.5 hinweisen.

²Diese Aussagen sind für alle Disziplinen gültig, in der Mathematik allerdings besonders augenfällig: mathematische Darstellungen sind in besonderer Weise strukturiert, die Trennung zwischen Objekten einerseits und ihren Zusammenhängen andererseits ist Bestandteil der mathematischen Fachsprache.

mathematischer Objekte und Methoden von ihren möglichen Anwendungen begründet liegt; viele andere Wissenschaftsbereiche basieren auf einer wesentlich stärkeren Kontextualisierung ihrer Inhalte.

Darstellung und Vermittlung von Strukturen und Zusammenhängen sind deshalb für das Design der Plattform von entscheidender Bedeutung.

– **Nichtlineare Navigation:**

Mathematische Strukturen sind nicht nur Grundlage des Datenbankdesign, sondern auch des Navigationskonzeptes: Der Nicht-Linearität mathematischen Wissens wird durch sog. “Navigationsnetze” Rechnung getragen, Anwählen (“click”) von Content-Objekten ist Navigation “in der Mathematik”. Navigationsstrukturen sind nicht länger reduziert auf ihre funktionale Bedeutung, sondern werden auf diese Weise selbst zum Träger mathematischer Inhalte.

– **Visualisierung mathematischer Objekte und Konzepte:**

Visualisierungen mathematischer Inhalte spielen eine zentrale Rolle: die Visualisierung abstrakter Sachverhalte trägt maßgeblich zu einem tieferen Verständnis mathematischer Konzepte bei. Der Einsatz von Visualisierungen ist nicht auf die bloße Verdeutlichung von mathematisch-naturwissenschaftlichen Daten und Fakten beschränkt, sondern erlaubt die Darstellung der strukturellen Eigenschaften von Objekten und Methoden. Räumliches Denkvermögen und visuelle Vorstellungskraft werden trainiert. Visualisierungen fördern insbesondere bei Anfängern die Motivation, weil sie eine *schnelle* erste Anschauung eines bis dahin unbekannten Gegenstandes ermöglichen. Schließlich rücken mit den graphischen Darstellungen auch ästhetische Gesichtspunkte in den Vordergrund.

– **Support experimenteller Lernszenarien:**

Experimentelles Lernen gilt heute als eine der wirksamsten Formen des Lernens. Aktives Einbeziehen der Lernenden in den Lernprozess durch Simulationen sichert Lernerfolg schneller und insbesondere nachhaltiger ab. Neue Technologien in der Lehre schaffen die technischen Grundlagen für einen breiten Einsatz experimenteller Lernszenarien (vergl. Kap. 3). Experimentelles Lernen beginnt mit interaktiven Visualisierungen zu einzelnen Wissensbausteinen und reicht über Simulationen in Practice-Umgebungen bis hin zur Durchführung komplexer Projekte in sog. “Virtual Labs”.

– **Support explorativen Lernens:**

Im Gegensatz zum expositorischen Lernen hat der Lernende beim explorativen (entdeckenden) Lernen die Möglichkeit, sich frei im Wissensraum

zu bewegen: Es wird keine Reihenfolge der Wissenseinheiten vorgegeben, was dem Wesen eines Hypertextes entspricht – der Fokus liegt auf der selbstständigen Erschließung des Stoffes. Exploratives Lernen setzt die Übersicht über die zur Verfügung stehenden Wissenseinheiten voraus. Support explorativen Lernens bedeutet also insbesondere Entwicklung geeigneter Navigationsstrukturen sowie Darstellungstechniken von Struktur und Anordnung der vorhandenen Wissenseinheiten.

– **Adaption an individuelle Lernprozesse:**

Der Support unterschiedlicher Lernstile (ebenso wie Adaption an unterschiedliche Interessensgebiete, unterschiedliche Studienrichtungen etc.) ist herausragendes Potential des Einsatzes multimedialer Technologien in der Lehre (vergl. Kap. 3). Die Realisierung dieses Anspruches verlangt nicht nur eine genaue Analyse der verschiedenen individuellen Verständnisprozesse für das Gebiet der Mathematik, sondern auch die Entwicklung einer breiten Auswahl an Inhaltsbausteinen, intelligenten Auswahlwerkzeugen und die Implementation verschiedenartiger Lernszenarien für denselben Unterrichtsgegenstand.

• **Inhaltliches Konzept:**

– **Modularität – Granularität:**

Fachinhalte werden feingranular entwickelt und verwaltet: eine Definition, ein Theorem etc. sind Beispiele solcher granularen Bausteine. Die Bausteine werden in einem zweiten Schritt – je nach Zielgruppe und Unterrichtsziel – flexibel zu Lerneinheiten komponiert.

Ein wichtiges Ziel dieser extrem feinen Inhaltsstruktur liegt in der Wiederverwendbarkeit der Bausteine: weil der Aufwand der Entwicklung qualitativ hochwertiger multimedialer Lehrmaterialien sehr hoch ist und die Zusammenarbeit verschiedener Personen benötigt, kann diese Entwicklung nicht zeitgleich zum tatsächlichen Unterrichtsablauf geleistet werden. Die Chance liegt vielmehr darin, in bibliotheksartiger Weise “fertige” Bausteine zur Verfügung zu stellen, für die durch den Dozenten nur noch die Auswahl geleistet werden muss.

Mathematik bietet sich für einen solchen Ansatz in besonderer Weise an: die Inhalte unterliegen einer hohen Stabilität, es kommen zwar neue Erkenntnisse hinzu, die bestehenden werden dadurch aber nicht tangiert. Zudem sind mathematische Inhalte in ihrer Bedeutung vollständig standardisiert und durch die formalen Strukturen der mathematischen Fachsprache in ihrer Darstellung sehr homogen.

– **Mathematische Strenge und Präzision:**

Ziel der Plattform ist die Vermittlung des Wissensgebietes Mathematik,

seiner Fachsprache und die “Mathematical Practice” (Art und Weise, wie eine Disziplin betrieben wird). Der Gegenstand der Plattform, die Mathematik, wird in ihrer vollen formalen Strenge und inhaltlichen Präzision unter konsequenter Verwendung ihrer Fachsprache dargestellt.³ Dieser Aspekt ist didaktisches Konzept ebenso wie eine zentrale Voraussetzung für die Wiederverwendbarkeit der Einzelbausteine: nur eine standardkonforme Darstellung der Fachinhalte hat die Chance, über weite Teile der “scientific community” hinweg akzeptiert zu werden.

– **Aufspaltung der Rollen “Dozent – Autor”:**

Die Entwicklung qualitativ hochwertiger multimedialer Lehrmaterialien setzt nicht nur fachliche, sondern auch technische Kompetenzen voraus. Diese können nicht von jedem Dozenten verlangt werden. Umgekehrt werden bei der Entwicklung auch Techniker und Medienspezialisten benötigt, die i.a. nicht direkt in den mathematischen Unterrichtsprozess involviert sind. Die Aufteilung des Entwicklungsprozesses (Autoren entwickeln die Inhaltsbausteine, Dozenten komponieren sie zu geeigneten Einheiten für spezifische Unterrichtssituationen) bildet diese verschiedenen Anforderungen ab und ist integrativer Bestandteil des Rollenkonzepts der Mumie (vergl. Kap. 10.3.3).

Damit die Inhaltsbausteine in dieser Weise rekombiniert werden können, müssen sie strikt unabhängig voneinander sein. Das bedeutet insbesondere, dass der – im Unterricht oft verbale, in Büchern durch Bindeabschnitte realisierte – “Glue” zwischen den einzelnen Objekten zunächst entfällt. Es sind allerdings Annotationssysteme für die komponierten Kurse (nicht die Einzelbausteine) denkbar, die diese Funktion übernehmen können. Ein solches Vorgehen wäre insbesondere dann absolut unerlässlich, wenn eine solche Plattform nicht in der Präsenz-, sondern in der Distanzlehre zum Einsatz kommen soll.

– **Aufspaltung von “Inhalt – Einsatz”:**

Hinter der Aufspaltung der Rollen “Dozent – Autor” verbirgt sich das allgemeinere Prinzip der Trennung zwischen Inhaltsdesign und Inhaltsentwicklung einerseits und dem späteren Einsatz der Inhaltsbausteine andererseits. Die Modularität des Inhalts lässt nicht nur verschiedene Rekombination der Bausteine für verschiedene Kurse zu, sondern erlaubt auch ihren Einsatz in anderen Kontexten wie etwa in Trainingsszenarien, Virtual Labs und Retrieval Systems und sogar über Systemgrenzen hinweg.

³Motivation und Verständnis werden über didaktische Konzepte wie Visualisierung abstrakter Konzepte, Integration explorativen Lernens etc. unterstützt und erleichtert, nicht aber über “Ver-simplifizierung” des Fachgegenstandes.

Technisches Konzept:

– Fachlogische Datenbankstruktur:

Interaktive, adaptive, experimentelle Lern- und Forschungsszenarien setzen ein hohes Maß an inhaltlicher Strukturierung der Fachinhalte voraus. Diese müssen das Ziel verfolgen, die tatsächliche Struktur realer Bereiche zu modellieren – idealerweise unabhängig vom späteren Verwendungszweck, weil dieser einer ständigen (Weiter-)Entwicklung unterworfen ist, und unabhängig von speziellen Nutzergruppen, die sich entsprechend verändern (vergl. Kap. 6.1). Hierzu ist die Entwicklung fachspezifischer Ontologien notwendig (vergl. Kap. 7), und ihre Implementation als Grundlage der Content-Organisation, d.h. als Basis des verwendeten Datenbankmodells.

– XML-Technologie:

Die Verwendung der Metasprache XML (eXtensible Markup Language, offener Standard des W3C, [Mar00]) erlaubt die Definition strukturierter Dokumentformate. Layout – und allgemeiner, späterer Verwendungszweck – werden völlig von der Dokumentstruktur getrennt.

XML selbst ist “nur” eine Metasprache: auf der Basis ihrer Spezifikation muss ein eigener, “lokaler Dialekt” für die eigenen Dokumente erstellt werden. Neben der Darstellung von Dokumenten (in Kombination mit XSL-Transformationen, eXtensible Stylesheet Language) eignet sich XML besonders zum Austausch von strukturierten Dokumenten zwischen verschiedenen Anwendungen.

– Dynamische Seitengenerierung “on-the-fly”:

Viele der genannten Zielsetzungen – hohe Interaktion, Support experimenteller Szenarien, Unterstützung von Kommunikations- und Kooperationsszenarien sind ohne dynamische Seitengenerierung gar nicht möglich.

– Strikte Trennung von Inhalten und Layout:

Für die Wiederverwendbarkeit und Kontextunabhängigkeit ist eine strikte Trennung von Layout und Inhalten notwendig, um die gewünschte Flexibilität zu erhalten. Sie wird durch die Verwendung der XML-Technologie und XSL-Transformation optimal unterstützt.

– Useradaption der Präsentation:

Ein den KDE-Manager vergleichbares “Theme-Konzept” erlaubt die Adaption der Präsentation an die Wünsche des Benutzers. Die Realisierung eines solchen Konzeptes verlangt die Definition und Implementation von standardisierten Schnittstellen bei allen Einzelkomponenten.

– **MathML zur Darstellung mathematischer Symbole:**

Bis vor wenigen Jahren war die Darstellung mathematischer Formeln im Browser nur sehr unzureichend möglich. Die einzige browserunabhängige Realisierung bestand in der Verwendung statischer Bilder. Neben den Nachteilen großer Ladezeiten, fehlender Fontskalierung etc. schließt dieses Vorgehen jedoch Interaktion, Manipulation oder Weiterverwendung von mathematischen Formeln, etwa als Input für ComputerAlgebraSysteme, vollständig aus.

Mit der Entwicklung von MathML (Mathematical Markup Language, vergl. auch Kap. 5.1), eines 1998 vom W3C-Konsortium verabschiedeten XML-Dialektes, hat sich diese Situation grundsätzlich verändert. Mit dem OpenSource-Browser Mozilla steht auch ein geeigneter Browser zur Verfügung.⁴ Die Darstellung mathematischer Symbole erfolgt in der Plattform “Mumie” ausschließlich in MathML.

– **L^AT_EX als Autorenwerkzeug:**

L^AT_EX ist Quasi-Standard bei der Formulierung mathematischer Texte und Standard-Textsatzsystem aller Mathematiker. L^AT_EX bietet sich deshalb in kanonischer Weise für die Formulierung von Textanteilen multimedialer Inhaltsgestaltungen an.⁵ In L^AT_EX formulierte Texte können nicht direkt im Browser dargestellt werden, sondern müssen nach MathML konvertiert werden (s. Kap. 10.3.4).

– **Offenheit und Heterogenität:**

Ziel ist die Entwicklung einer offenen heterogenen eLearning-Plattform: Schnittstellen werden konzeptioniert, um bestehende Software, die erforderliche Funktionalitäten bereits realisiert, integrieren zu können. Das Softwaredesign ist auf ständige Erweiterbarkeit ausgelegt. Die Technische Plattform ist strikt modular, damit geeignete Teilfunktionalitäten mit externer Software vernetzt und so auch in anderen Kontexten oder anderen Projekten Anwendung finden können. “Mumie” ist OpenSource und steht unter GPL-Lizenz.

⁴Zwar unterstützen heute noch nicht alle Browser diese Erweiterungen, es ist jedoch zu erwarten, dass künftige Versionen anderer Browser den MathML-Standard zunehmend implementieren, insbesondere, weil MathML inzwischen auch außerhalb der Formeldarstellung im Web an Bedeutung gewonnen hat: ComputerAlgebraSysteme und andere mathematik-spezifische Software unterstützen MathML, das hier i.w. als mathematisches “Datenaustauschformat” fungiert. Einige Browser wählen einen Mittelweg: sie haben keinen “Built-In”-MathML-Interpreter, es existieren aber Plugins, mit deren Hilfe die Darstellung möglich ist.

⁵Die Verwendung von L^AT_EX als Eingabeformat bringt auch gewisse Schwierigkeiten mit sich: (Standard-)L^AT_EX stellt keine semantische Kodierung mathematischer Inhalte dar. Diese ist mindestens mittelfristig jedoch unbedingt erforderlich (vergl. Kap. 5.1). Derzeit existieren aber keine Alternativen, die eine ausreichend komfortable semantische Textbeschreibung unterstützen würden.

10.2 Aufbau

10.2.1 Die Lernbereiche der Mumie

Die Lernplattform “Mumie” verfügt über drei zentrale Lern-Bereiche:

- **Content-Bereich (Kap. 10.2.3):**

Der Content-Bereich stellt den Lernenden verschiedene Kurse zur Verfügung, die von ihren Dozenten mittels des “Course-Creators” (s. Kap. 10.2.3.3) auf der Basis der in der zentralen Datenbank vorliegenden Inhaltsbausteine (s. Graphik S. 180) komponiert wurden. Von besonderem Interesse ist die Realisierung nicht-linearer Navigationsstrukturen (vergl. Kap. 10.2.3.2).

Die zugrundelegende Strukturierung der Inhaltsbausteine wurde bereits in Kap. 7, die Festlegung der verfügbaren Entitäten in Kap. 8 beschrieben.

- **Practice-Bereich (Kap. 10.2.4):**

Im Practice-Bereich werden dem Lernenden Aufgaben und Projekte angeboten, die vergleichbar zur Kurs-Komposition vom Dozenten zusammengestellt werden, aber jederzeit die Möglichkeit bieten, eigenen Neigungen zu folgen. Auch hier spielt die Darstellung logischer Zusammenhänge (realisiert durch das Aufgabennetzwerk, vergl. Kap. 9.2.4) eine zentrale Rolle. In einer weiteren Ausbaustufe der “Mumie” werden hier verstärkt virtuelle Labore (s. Kap. 11.2.2) exploratives und experimentelles Lernen unterstützen.⁶

Die zugrundegelegte Ontologie für die Anbindung und Zuordnung der Aufgabenbausteine ist identisch zu der des Content-Bereiches (Kap. 7), die Festlegung der verfügbaren Entitäten wurde in Kap. 9 beschrieben.

- **Retrieval-Bereich (Kap. 10.2.5):**

Der Retrieval-Bereich erfüllt einerseits Aufgaben eines klassischen “Fachlexikons”, geht aber andererseits darüber weit hinaus: Wissensnetze erlauben die Darstellung von Zusammenhängen, logischen Abhängigkeiten, Widersprüchen etc. unter Gesichtspunkten, die vom Benutzer *selbst* definiert werden können. Das Retrieval-System operiert insbesondere auf den Inhaltsbausteinen der Datenbank, verwendet also dieselben Strukturen und Entitäten (Kap. 7, 8). Zusätzlich integriert es externe Quellen, um die Wissensbasis zu verbreitern.

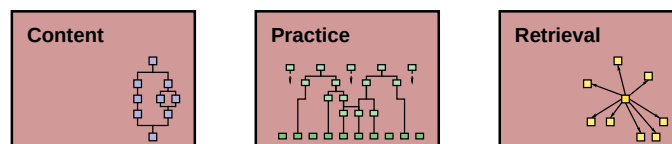


Abb. 10.1: Lernbereiche der Plattform “Mumie”

⁶Hierfür sind jedoch noch einige technische Probleme zu lösen, vergl. auch Kap. 5, 11, 9.3.2.

Die einzelnen Lernbereiche sind vielfältig miteinander vernetzt, was erst durch ihre gemeinsame Basisstruktur (Kap. 7) möglich ist:

Inhaltsbausteine (Content) binden Aufgaben (Practice) an, um eine direkte Form der Wissensüberprüfung zu ermöglichen. Elementcontainer (Content) binden ebenfalls Aufgaben an, und zwar gerade diejenigen, die mittels der Inhaltsbausteine eines Elementcontainers bearbeitet werden können, nicht aber durch einen einzelnen von ihnen.

Aufgaben und Projekte (Practice) verweisen auf Inhaltsbausteine oder Elementcontainer (Content) als Bestandteil des internen hint-systems, und zwar i.a. auf einen vom Lernenden spezifizierten Kurs, ggf. einen Defaultkurs (wenn kein Kurs spezifiziert wurde). Alternativ wird auf Wissensnetze oder auf einzelne Elemente in lexikographischer Darstellung (Retrieval-System) verwiesen.

Das Retrieval-System basiert auf den Inhaltsbausteinen der Datenbank (Content) und integriert sie direkt, wobei die Bausteine in lexikon-typischer Weise zusammengestellt werden. Auch das Retrievaltool bindet Aufgaben und Projekte zur Überprüfung des erworbenen Verständnisses an.

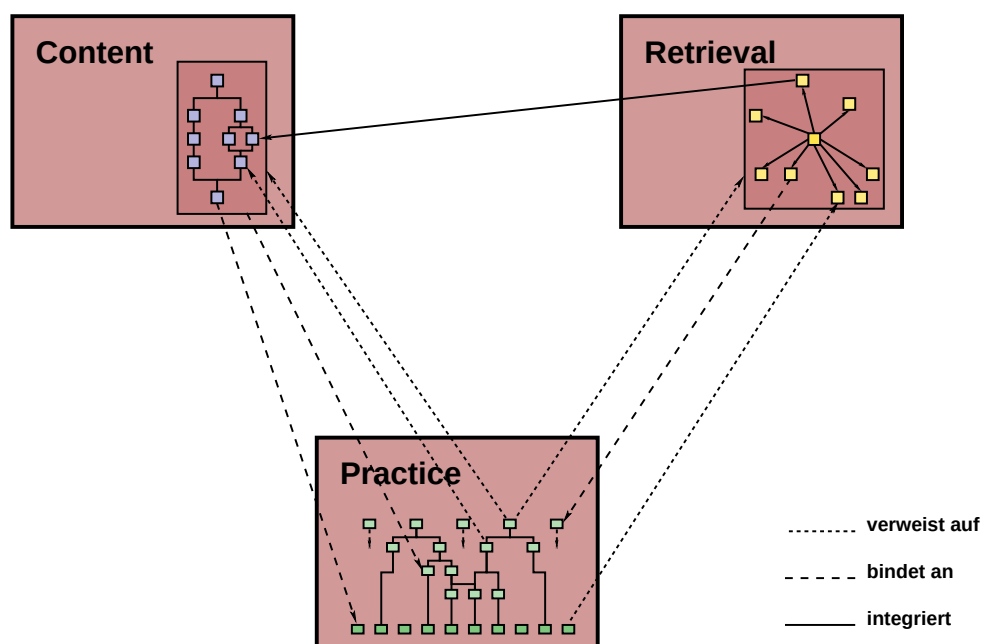


Abb. 10.2: Vernetzung der Lernbereiche

Verweise, Anbindungen und Integration werden dynamisch generiert. Sie werden *nicht* "hart-codiert", sondern aus den inneren Strukturen und semantischer Analyse ermittelt und automatisiert gesetzt. Auf diese Weise können neue Inhalte oder Aufgaben integriert werden, ohne die bestehenden Objekte direkt antasten zu müssen (selbstwachsendes Netz), was ab einer gewissen Komplexität der Materialien ohnehin nicht mehr möglich ist.

10.2.2 Der Eingangsbereich

Wir wollen hier einen kurzen Eindruck des Interfacedesigns des Eingangsbereiches der “Mumie” geben. Die hier verwendeten Graphiken sind rein funktionale Darstellungen ohne Bezug zum tatsächlichen Layout-Design der Plattform:⁷

Die Plattform ist über eine globale, d.h. für alle verschiedenen Nutzer und Usertypen einheitlichen Einstiegsseite erreichbar:

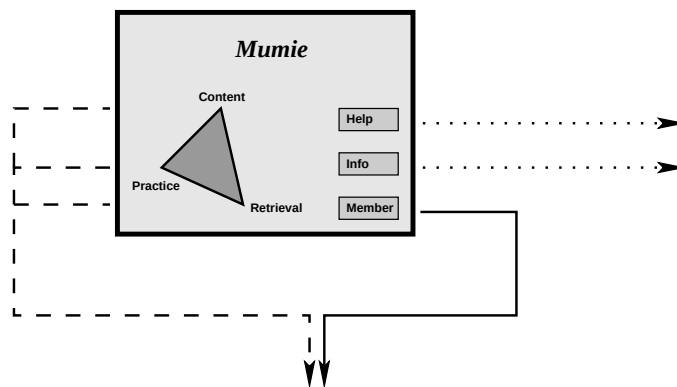


Abb. 10.3: Übersicht über die Startseite und die direkten Folgeseiten

Die Authentifizierung erfolgt entweder direkt oder nach vorheriger Auswahl eines Lernbereiches:

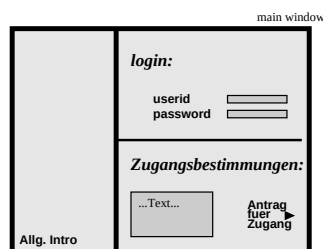


Abb. 10.4: Direkte Authentifizierung

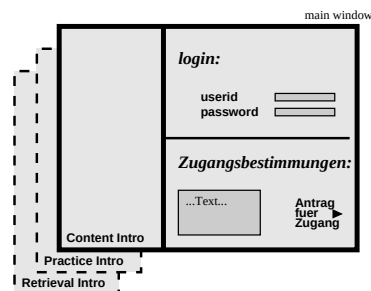


Abb. 10.5: Authentifizierung über einen Lernbereich

Besucher können über ein Defaultaccount auf das System zugreifen (Daten für Demozugang werden auf der Login-Seite angegeben). Die Aufnahme als Member muss beantragt werden (Formular an Admin). Falsche Angaben beim login führen zu Fehlermeldung des Authentifizierungsprozesses:

⁷Ein solches Layout-Design existiert streng genommen gar nicht, das “theme”-Konzept ermöglicht jedem Betreiber einer “Mumie”-Plattform, das Design den eigenen Vorstellungen anzupassen.

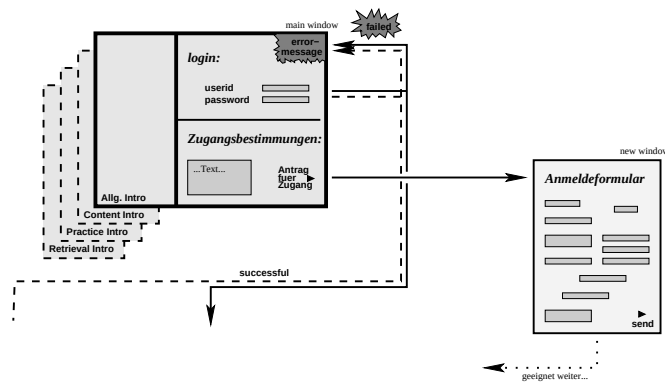


Abb. 10.6: Login-Bereich

Erfolgreicher Login führt entweder zu einer zentralen “Desktop”-Seite (s. S.182) oder direkt in den angewählten Bereich:

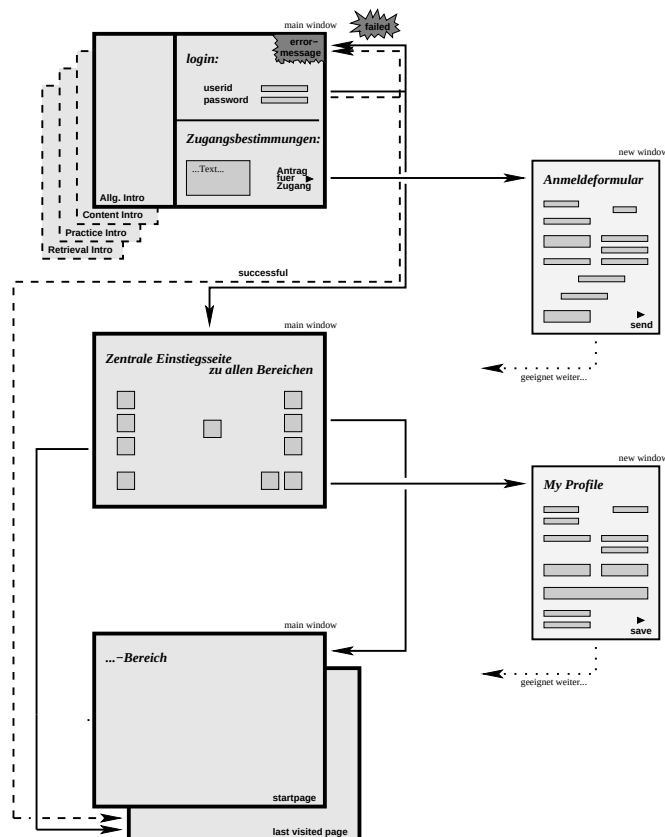


Abb. 10.7: Verschiedene Zugänge

Zusammenfassung des Eingangsbereiches:

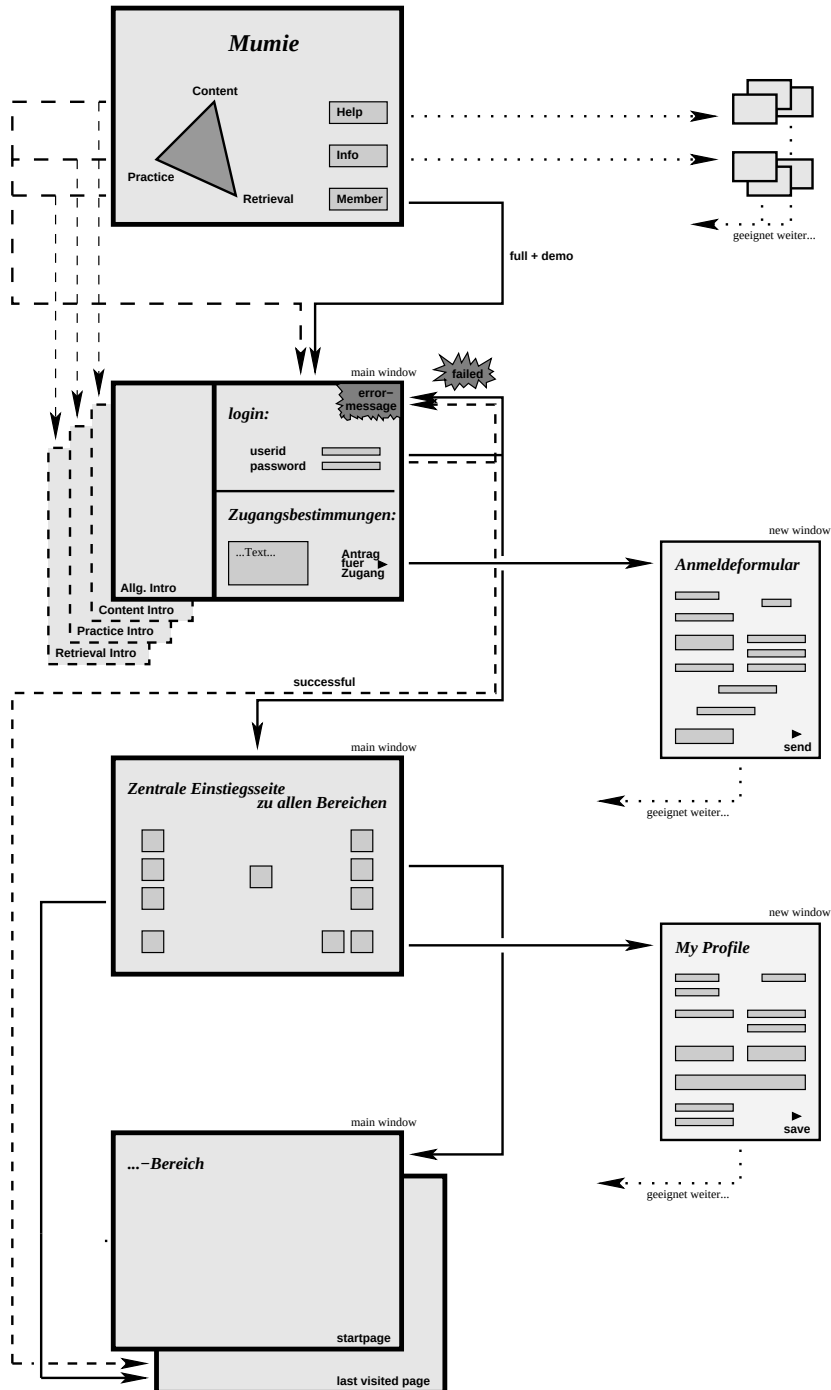


Abb. 10.8: Übersicht über das Portal und die Folgeseiten 1. und 2. Stufe

10.2.3 Content-Szenario

10.2.3.1 Inhaltlicher Aufbau

Die in Kap. 8.1.2 beschriebenen Entitäten werden von den Dozenten mittels des Course-Creators (vergl. Kap. 10.2.3.3) zu Elementcontainern, und diese wiederum zu Kursen oder sonstigen Lerneinheiten zusammengesetzt. Lernende können direkt die für sie vorbereiteten Kurse anwählen.

Die Kurse werden elementcontainer-weise präsentiert.⁸ Bei der Darstellung eines Elementcontainers unterteilt sich der Browser in folgende Bereiche:

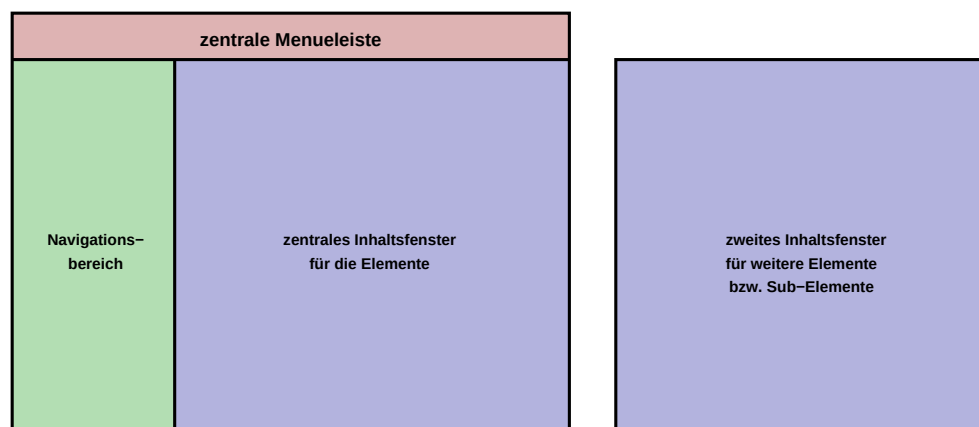


Abb. 10.9: Content-Szenario, Sicht eines Elementcontainers

Die einzelnen Bereiche sind:

- **zentrale Menüleiste:** für globale Optionen
- **Navigationsbereich:** für die interaktive Präsentation des gewählten Elementcontainers
- **zentrales Inhaltsfenster:** für die Darstellung eines Elements oder Subelements
- **weitere Inhaltsfenster:** für die parallele Darstellung weiterer Elemente oder Subelemente

⁸Hier wären komplexere Sichten wünschenswert, um größere Ausschnitte des Gesamtwissensnetzes visualisieren zu können; dieser Wunsch stößt aber auf ein Darstellungsproblem.

Auch Anordnungs- und Positionierungsregeln für das Anhängen der Subelemente an ihre Elemente vermitteln mathematische Struktur:

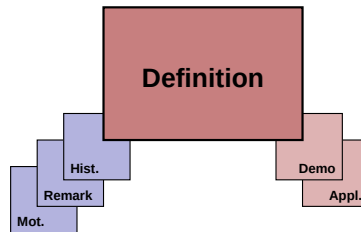


Abb. 10.10: Definition

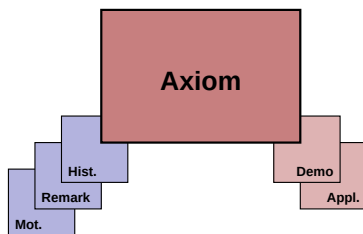


Abb. 10.11: Axiom

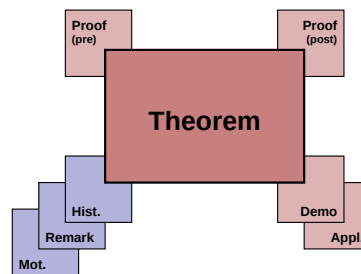


Abb. 10.12: Theorem

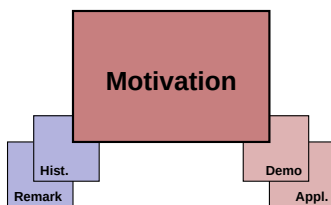


Abb. 10.13: Motivation

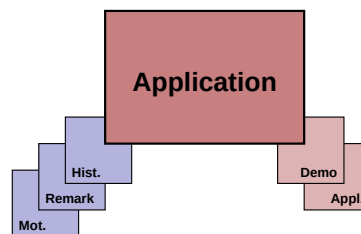


Abb. 10.14: Application

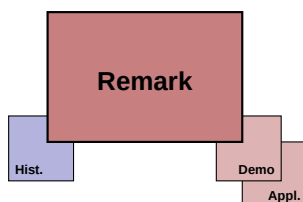


Abb. 10.15: Remark

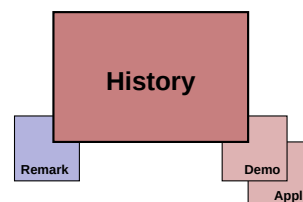


Abb. 10.16: History

10.2.3.2 Navigationssystem

Das Navigationssystem innerhalb des Content-Bereiches wird auf durch eine netzartige Anordnung realisiert. Alternativ existiert auch eine linearisierte Darstellung:

- **Navigationnetz:**

Die Netzdarstellung erlaubt das orientierte Navigieren im gewählten Kurs, stellt aber zusätzlich weitere Elemente und alternative Wege dar, die jederzeit mit angewählt werden können.

Die Netzstruktur dient insbesondere der Vermittlung von mathematischen Zusammenhängen: die logischen Abhängigkeiten der Elemente werden als "logisches Netz" dargestellt.

Der Pfad des durch einen Dozenten definierten Kurses wird zusätzlich durch einen "Roten Faden" visualisiert.

Forward/Backward-Aktionen beziehen sich stets auf den Kurspfad.

- **lineare Navigation:**

Alternativ stellt die lineare Darstellung nur die Elemente des Elementcontainers dar, die für den gewählten Kurs vorgesehen sind. Alternative Wege und/oder weitere vorhandene Elemente sind in dieser Darstellung unsichtbar. Die lineare Navigation ist notwendig, um einem möglichen "Lost-in-Cyber-space"-Effekt entgegenzuwirken.

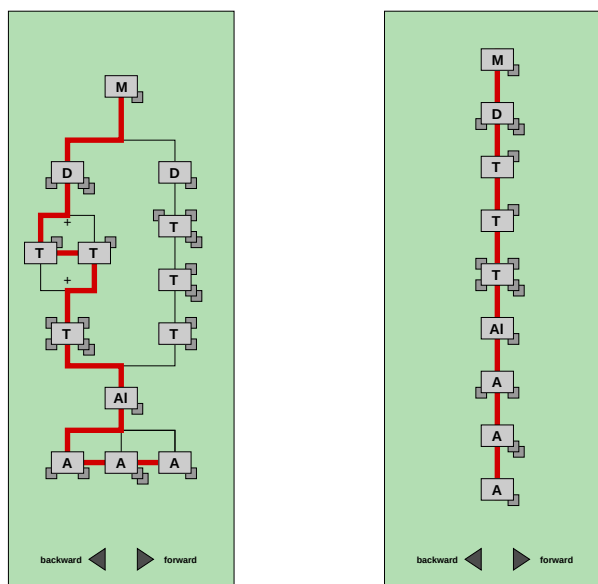


Abb. 10.17: Navigationsnetz, Netz und Linearisierung

Alternative Kurspfade auf demselben Navigationsnetz sind möglich:

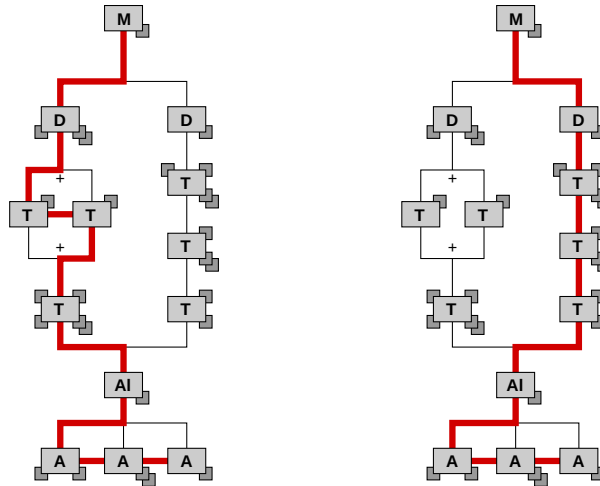


Abb. 10.18: Alternative Kurspfade

Insbesondere bei komplexen Netzen werden die Einzelelemente so klein, dass ihre Subelemente nicht mehr kenntlich sind; dem wird durch einen Zoom-Effekt bei “mouse-over” begegnet:

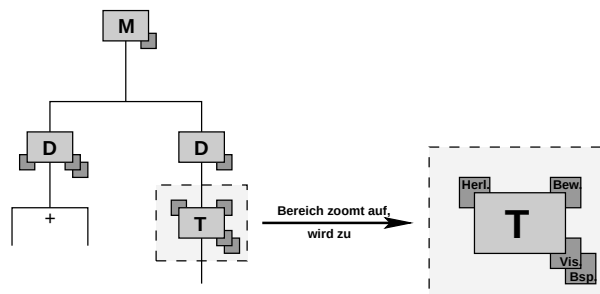


Abb. 10.19: Detailansicht bei Mouse-Over

10.2.4 Practice-Szenario

10.2.4.1 Didaktische Zielsetzung

Die didaktische Zielsetzung von Practice-Szenarien muss mehrschichtig betrachtet werden. Die zu erwerbenden Kompetenzen liegen in verschiedenen Bereichen und auf verschiedenen Ebenen:

- Ziel ist die Unterstützung der verschiedenen Stufen des Lernprozesses nach dem Modell “*Motivieren – Verstehen – Anwenden*”, wobei die *selbstständige, aktiv praktizierende* Auseinandersetzung mit den Inhalten im Vordergrund steht. Um die verschiedenen Stufen dieses Lernprozesses ideal zu unterstützen, müssen jeweils adäquate Aufgabentypen (vergl. Kap. 9.1) gewählt werden.
- Von zentraler Bedeutung sind für den Lernprozess die Förderung der eigenständigen *Entwicklung von Problemlösungsstrategien* sowie die Förderung der “*Kunst des Erfindens*”, d.h. die Förderung der Entwicklung neuer, eigener Erkenntnisse. Hierbei handelt es sich um didaktische “Meta-Ziele”: Wenngleich bestimmte Problemstellungen und -typen hier in besonderer Weise nützlich sind, so ist die Vermittlung solcher Kompetenzen insgesamt nicht Ziel und Inhalt einzelner Aufgaben oder Aufgabentypen, sondern muss vielmehr als Leitgedanke in alle relevanten Teilaspekte einfließen⁹.
- Schließlich muss auch die Entwicklung und Stärkung der *überfachlichen Kompetenzen* (vergl. Kap. 2, 2.4) unterstützt werden, insbesondere sind hier Kommunikationsvermögen und Teamfähigkeit zu nennen. Auch diese Zielsetzung ist von übergeordneter Natur und wirkt sich auf die gesamte Trainingsumgebung aus.

Ebenso wie bei anderen Teilen multimedialer Lehr- und Lernsysteme muss das System die unterschiedlichen Vorkenntnisse, Lerneigenschaften und Lernziele eines Lernenden angemessen berücksichtigen – gerade für explorativen Lernen ist das ein absolutes Muss. Übungsumgebungen brauchen dabei eine hohe “Intelligenz”, weil der Lernende als korrigierender Faktor teilweise ausfällt: in content-lastigen Lehr-Lernumgebungen wird eine Fehlauswahl des Systems (ein nicht-gewünschtes Element) leicht vom Anwender als solche erkannt und (durch Neuauswahl o.ä.) korrigiert, in Übungsumgebungen ist das deutlich schwieriger, denn die eigentliche Schwierigkeit wird erst in der Lösung deutlich, die aber zur Einschätzung nicht zur Verfügung steht.

⁹Dazu zählen die Formulierung von Problemstellungen, deren Vielfalt, fachliche Breite und inhaltliche Tiefe, An- und Zuordnungsstrukturen von Aufgaben ebenso wie etwa die Wahl der Antwort- und der Kontrollmechanismen, die Art und Weise des feed-backs (“intelligent tutoring system”) und - aus dieser Komplexität heraus – schließlich auch das gesamte Softwaredesign.

Diese Zielsetzungen erfordern – neben klarer Darstellung, fachlicher Breite, Tiefe und Exaktheit – für multimediale Practice-Szenarien insbesondere

- **Hohen Interaktivitätsgrad**
- **Umfassende experimentelle Anteile**
- **Flexible Eingabemechanismen**
- **Intelligente Kontrollalgorithmen**
- **Intelligente feed-back-Mechanismen**
- **Integration von kommunikativen Anteilen**
- **Integration von kollaborativen Szenarien**
- **Hohe Useradaptivität**

10.2.4.2 Inhaltlicher Aufbau, Navigationssystem und Komposition von Übungseinheiten

Zur Vermeidung von Doppelungen wollen wir den Practice-Bereich nur verkürzt skizzieren:

Die in der Graphik S. 162 dargestellte Aufteilung des Browsers gilt analog für Practice-Szenarien (Aufgaben erscheinen im “zentralen Inhaltsfenster”, hints, zusätzliche Visualisierungen etc. in “weiteren Inhaltsfenstern”).

Die Zuordnung der Subelemente an die Elemente ist kanonisch: Elemente sind stets von typ “question”, sie können beliebige viele Subelemente der Kategorien “remark”, “hint” und “solution” tragen (vergl. Tab. S. 132). Da verschiedene Lösungen eines Problems existieren können, muss die Abhängigkeit der “hints” zu “solutions” berücksichtigt werden (vergl. Graphik S. 133).

An die Stelle der fachlogischen Navigationsnetze von Elementcontainern treten geeignete Ausschnitte aus dem Aufgabennetzwerk (vergl. Kap. 9.2.4): sie beinhalten die absteigenden Verbindungen (als Bestandteil des hint-Systems, Zurückspielen einer komplexen Aufgabe auf ihre Teilprobleme), die aufsteigenden Verbindungen (als Visualisierung der komplexeren Anwendungsmöglichkeiten des gerade bearbeiteten Problems) und schließlich eine Auswahl weiterer, inhaltlich verwandter Aufgaben (zur Vertiefung und Intensivierung des individuellen Lernfortschritts).

Während die ab- und aufsteigenden Beziehungen durch das Aufgabennetzwerk bereits vollständig definiert sind, erfordert die Ermittlung inhaltlich verwandter Probleme zusätzliche Algorithmen, etwa Vergleich der involvierten mathematischen Objekte, statistische Untersuchungen “häufiger Gruppierungen” durch den “Practice-Creator” (siehe unten) etc.

Die Navigation innerhalb einer Aufgabe entspricht sinngemäß der Navigation zwischen einem Element und seinen verschiedenen Subelementen.

Mit einem dem CourseCreator vergleichbaren Tool, dem sog. “PracticeCreator”, (vergl. Kap. 10.2.3.3) können Aufgaben durch den Dozenten zu größeren Übungseinheiten zusammengefaßt werden, die beispielsweise auch auf spezielle Kurse abgestimmt werden können.

10.2.5 Retrieval-Szenario

10.2.5.1 Wissensnetze

Die Visualisierung von Zusammenhängen zwischen mathematischen Objekten und mathematischen Aussagen kann mittels sog. "Wissensnetze" realisiert werden. Wissensnetze werden automatisiert, unter Nutzung der ontologischen Strukturen einerseits, und durch syntaktische und semantische Analyse der Wissensbausteine andererseits, generiert.

Wissensnetze können für die Illustration bestimmter Zusammenhänge vordefiniert werden, aber auch mittels geeigneter Eingaben durch den Nutzer spezifiziert werden: Letzteres ist für die Unterstützung explorativen Lernens von zentraler Bedeutung.

Wissensnetze bilden Relationen ab; dabei sind verschiedene Typen von Relationen von Interesse. Wir beschreiben hier eine Anzahl von Wissensnetzen, die unterschiedliche Relationen darstellen:

- **Netze auf mathematischen Objekten:** Allgemein werden hier Darstellungsformen gesucht, die mathematische Objekte miteinander in Relation setzen.
- **Logisches Netz auf mathematischen Objekten:**
Ziel ist die Visualisierung der mathematischen Zusammenhänge zwischen mathematischen Objekten, die durch binäre Operatoren definiert werden können (Implikation, Äquivalenz, Element von ..., Teilmenge von... etc.):

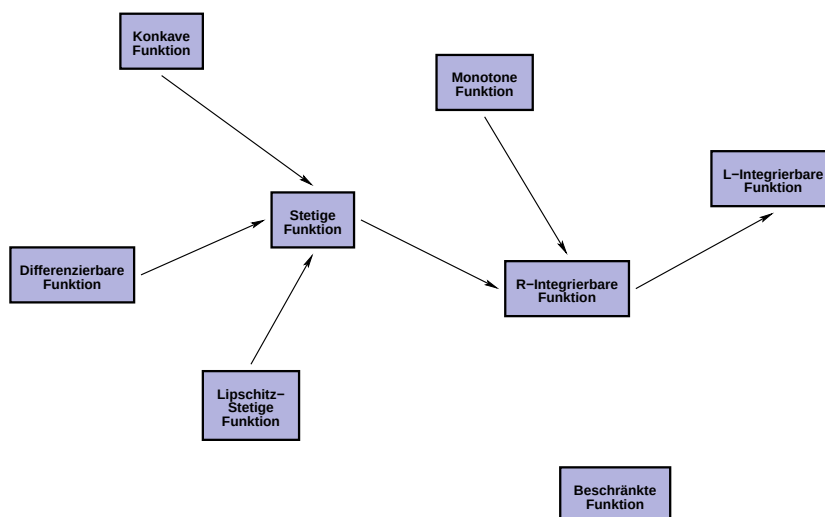


Abb. 10.22: Beispiel: Eigenschaften von Funktionen

– **Netz der Fachzusammenhänge auf mathematischen Objekten:**

Oft ist nicht die Darstellung der “strengen” mathematischen Zusammenhänge gewünscht, sondern ein breiterer, liberalerer Beziehungsbegriff der Form “... steht im Zusammenhang mit...”:

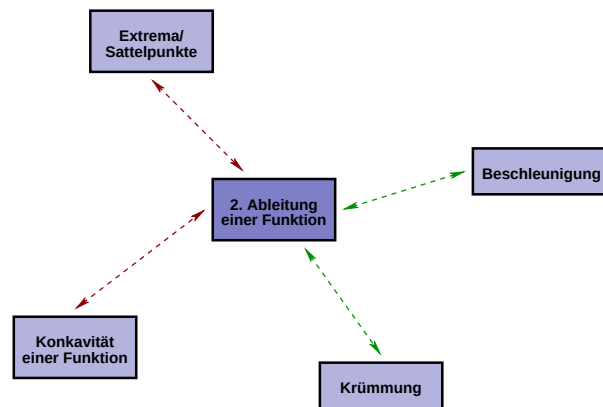


Abb. 10.23: Beispiel: Zusammenhänge der 2. Ableitung

– **Netz der Beispiele und Visualisierungen:**

Eine spezielle Form eines solchen Beziehungsbegriffes, die für praktische Zwecke von großer Relevanz ist, ist die Beziehung “... ist Beispiel/Visualisierung für...”:

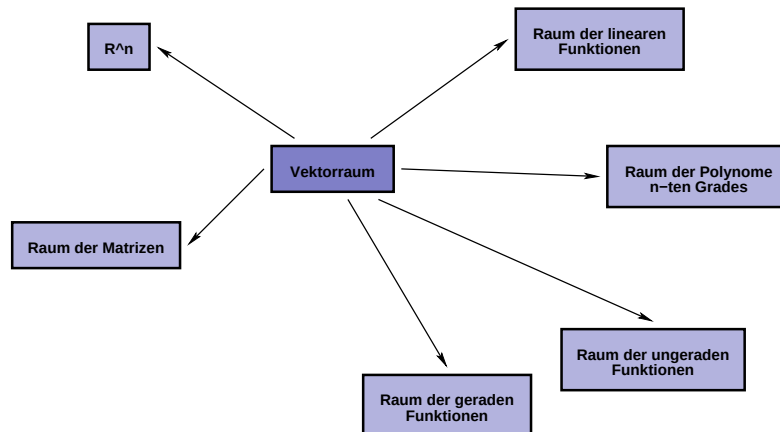


Abb. 10.24: Beispiel: Beispiele eines Vektorraumes

- **Netze auf mathematischen Aussagen:**

Gesucht sind zusammenfassende Darstellungen mehrerer Theoreme, so dass erkennbar wird, wie diese untereinander zusammenhängen.

- **Logisches Netz mathematischer Aussagen:**

Analog zum erstgenannten Netz auf mathematischen Objekten werden hier Zusammenhänge zwischen Theoremen mittels Implikation und Äquivalenz formuliert. Auch die Abbildungen von Zusammenhängen zwischen Axiomen wird hierunter subsumiert:

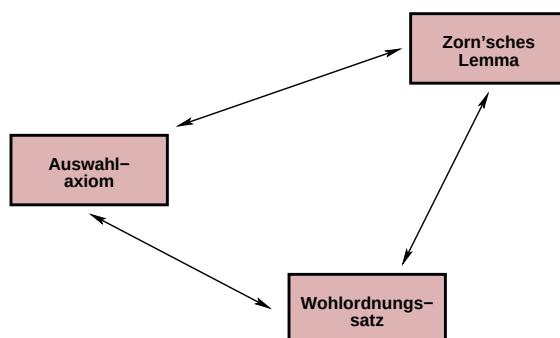


Abb. 10.25: Beispiel: Äquivalenzen zum Auswahlaxiom

- **Netz auf der Binnenstruktur mathematischer Aussagen:**

Eine Verfeinerung des eben behandelten Netzes stellt die Darstellung von Zusammenhängen zwischen Theoremen dar, die auf der Analyse der Binnenstruktur der Elemente (vergl. Kap. 8.1.3) basiert. Die Graphik illustriert dabei die folgende Situation: bei gleichem allgemeinen Szenario (liegender Balken im oberen Feld), aber unterschiedlich starken Voraussetzungen (das größere Kästchen im blauen Feld visualisiert die stärkeren Forderungen) ergeben sich verschiedene Folgerungen (Kugeln im grünen Feld), wobei wieder die eine die andere impliziert.

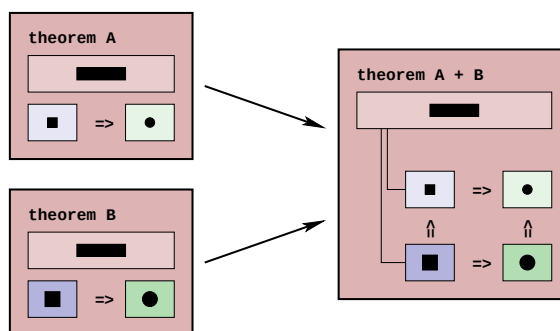


Abb. 10.26: Beispiel: Zusammenhang von Theoremen auf Binnenstruktur-Ebene

10.2.5.2 Aufbau und Navigationssystem

Der Retrieval-Bereich beinhaltet drei verschiedene Nutzungsszenarien:

- **Lexikon:**

Das Retrieval-System der Mumie beinhaltet zunächst diejenigen Funktionalitäten, die heute Grundlage jedes professionellen multimedialen Lexikons sind: Assoziative Verknüpfung der Einzelbausteine, Verknüpfung unterschiedlicher Medientypen, intelligente Suchalgorithmen. Dabei stellt insbesondere die Bereitstellung effizienter Suchstrategien auf *mathematischen* Inhalten eine besondere Herausforderung dar: Damit auch nach mathematischen Symbolen gesucht werden kann (z.B. nach " $\mathbb{R}^n$ "), muss (mindestens teilweise) ein spezieller Editor integriert werden.

Suchen sind möglich nach Alphabet, Medientypen, Volltextsuche, Schlagwortregister, Themenkreisen oder durch direkte Navigation auf der zugrundeliegenden taxonomischen Struktur (vergl. Kap. 7, 7.2).

In der Lexikonsicht illustrieren Wissensnetze die vorhandenen Zusammenhänge zu einem angewählten Eintrag des Lexikons. Sie übernehmen hier die Rolle der Verweise Pfeile klassischer Lexika in graphischer Weise. Die Netze dienen dabei – über die Visualisierung der Zusammenhänge hinaus – auch als (weiteres) Hyperlink-Navigationssystem innerhalb des Lexikons.

- **Support für Content- und Practice-Bereich:**

Das Retrieval-System ist direkt mit Content- und Practice-Bereich verbunden (vergl. Graphik S. 158). Anklicken mathematischer Objekte und Fachtermini führt den Nutzer in den Retrieval-Bereich, in dem Definition, Bedeutung etc. zusammengefaßt werden. Das ist insbesondere für das "Nachschlagen" von eigentlichen bereits bekannten Inhalten von Bedeutung, weil diese häufig nicht Bestandteil der aktuellen Lerneinheit sind.

Wissensnetze treten hier insbesondere als "hint" zu einer Problemstellung aus dem Practice-Bereich auf. Solche Wissensnetze können autogeneriert sein, ggf. aber auch von dem Autor einer Aufgabe vordesigned werden, um spezielle Aspekte zu beleuchten. Für letzteres wird ein geeignetes Editierwerkzeug analog zu CourseCreator (vergl. Kap. 10.2.3.3) und PracticeCreator entwickelt.

- **WissensnetzLabor:**

Das Retrieval-System verfügt schließlich über einen Bereich für die kreative, selbstgesteuerte Entwicklung von Wissensnetzen durch den Lernenden. Über verschiedene Masken können individuelle Sichtweisen auf mathematische Zusammenhänge abgebildet werden.

10.3 Technische Realisation

Wir werden im Rahmen dieser Arbeit keine komplette Softwarespezifikation der Mumie angeben, sondern nur die wesentlichen technischen Ansätze skizzieren:

Das technische Design der Plattform “Mumie” basiert auf (Java-)Application-Server-Technologie ([Hal01]): Kernstück der Architektur sind Datenbank und Application Server. Die Browseranfragen werden an den Application Server gesendet und hier bearbeitet: bei requests nach Inhalten wird eine Datenbankabfrage gestartet, die die notwendigen Daten aus der Datenbank holt; bei upload-Anfragen übernimmt der Application Server das Einfahren von Daten in die Datenbank incl. des hierfür notwendigen Rechtemanagements; weitere Browseraktionen steuern administrative Aufgaben innerhalb der Datenbank, wie etwa Kurskomposition, id-management und pipeline-Design.

Die Anbindung an die Datenbank erfolgt dabei über JDBC (Java Database Connectivity), eine API der Java-Plattform, die eine einheitliche Schnittstelle zu standardkonformen relationalen Datenbanken verschiedener Hersteller bietet.

Der JAPS übernimmt die Generierung der im Browser dargestellten XHTML-Webseiten (“eXtensible HyperText Markup Language”) dynamisch (“on-the-fly”), was ein hohes Maß an userspezifischer Adaption in Präsentation, inhaltlicher Auswahl und inhaltlicher Darstellung ermöglicht.

Ein zentrales Ziel dieses Ansatzes ist die relative Unabhängigkeit von Plattform und Browser: die Plattformunabhängigkeit wird durch die Verwendung der auf Java basierenden Servlet-Technologie ([Hal01]) realisiert, die einfache Adaption an unterschiedliche Browser durch das verwendete Servlet Cocoon ([Bro03], [Moc03], [Lan03]) ermöglicht (s. Kap. 10.3.1).

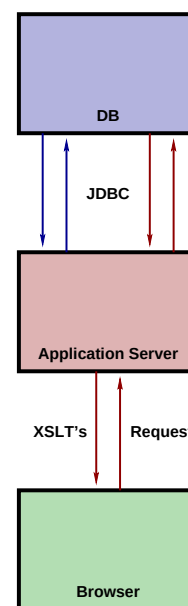


Abb. 10.27: Skizze Architektur Mumie

10.3.1 Application-Server-Technologie

Application Server sind Webserver, deren Funktionalität vor dem Hintergrund hoher Userzahlen und komplexer Anwendungen erweitert und optimiert wurden.

Kernstück eines Application Servers stellt das sog. Servlet ([Hal01]) dar. Es erweitert “normale Server” durch in der Programmiersprache Java formulierte Programme, vergleichbar zu Applets, die nun aber serverseitig laufen.

Servlets sind eingebettet in einen sog. Servlet-Container. Dieser stellt eine “Ablaufumgebung” dar, in der die Servlets mit Anfragen versorgt werden.

Diese Architektur wird in einen bestehenden Webserver integriert.

Damit besteht der als Application Server bezeichnete Bereich aus einem folgenden Schalenmodell:

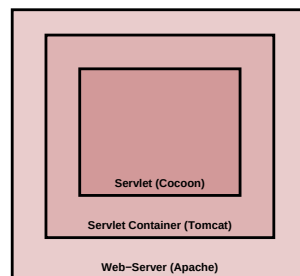


Abb. 10.28: Aufbau des Application Servers

Der derzeit am weitesten verbreitete Webserver ist Apache, der aus einem Projekt des National Center for Supercomputing Applications (NCSA) hervorgegangen ist. Im Rahmen des Jakarta-Projektes (Teil der Apache-group) wurde die Servlet-Engine Tomcat ([Roe02]) entwickelt, die die offiziellen Servlet- und JavaServerPages-Spezifikationen von SUN implementiert und inzwischen Referenzimplementation eines Servlet-Containers geworden ist.

Cocoon ([Bro03], [Moc03], [Lan03]) ist ein vom XML-Projekt der Apache-Group entwickeltes Servlet, das insbesondere auf die Verarbeitung von XML ([Mar00]) spezialisiert ist. Es basiert auf einer strikten Trennung von Inhalt, Logik und Layout.

Die Verarbeitung von Dokumenten in Cocoon erfolgt durch ein sog. “Pipeline-Konzept”:

Jede Pipeline beginnt mit genau einem Generator. Hier wird der aufgenommene XML-Datenstrom für die Transformationen aufbereitet, die notwendig sind, um das Dokument in die gewünschte Form zu konvertieren. Die umgeformten Daten werden nach Abschluss aller Transformationen an den Serializer weitergeleitet. Dieser liefert das fertig verarbeitete Dokument an den Client.

Zwischen Generator und Serializer liegen kein, ein oder mehrere Transformationen. Dabei kann es sich um einfache XSLT-Transformationen ([Kay01b]), aber auch um den Aufruf hochkomplexer Transformationsaktionen handeln.

Der Serializer ist der Abschluss einer Pipeline, er muss genau zu einem Generator gehören. Die vom Transformer kommenden Events werden durch ihn an den Client geliefert.

Zusätzlich könnten Selectoren in Pipelines integriert werden, die eine zusätzliche Flexibilisierung des Konzeptes ermöglichen. Selectoren realisieren logische Strukturen wie z.B. if-then-else-Entscheidungen. Eine wichtige Einsatzmöglichkeit ist der Einsatz eines Selectors als sog. “Browserweiche”.

In einer sog. “Sitemap”, einem XML-Dokument, wird festgelegt, welche Arbeitsschritte für eine URI auszuführen sind, d.h. welche Pipeline für die Ausgabe eines angeforderten Dokuments durch einen Client verwendet wird.

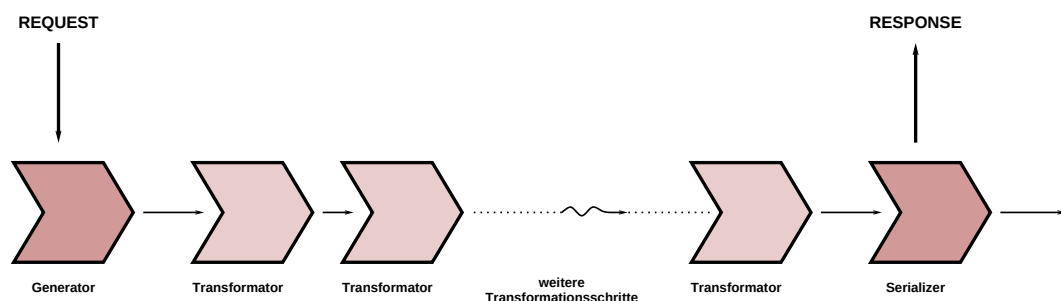


Abb. 10.29: Visualisierung des Pipeline-Konzeptes

Die folgende Graphik stellt die Erstellung und Auslieferung der Dokumente aus der Datenbank dar. Dabei wird XML ([Mar00]) als Grundlage für *alle* im Erstellungsprozess beteiligten Komponenten verwendet, d.h. insbesondere auch für die Erstellung der zur Auslieferung der Dokumente benötigten Javaklassen und die verwendeten XSLT-Stylesheets.

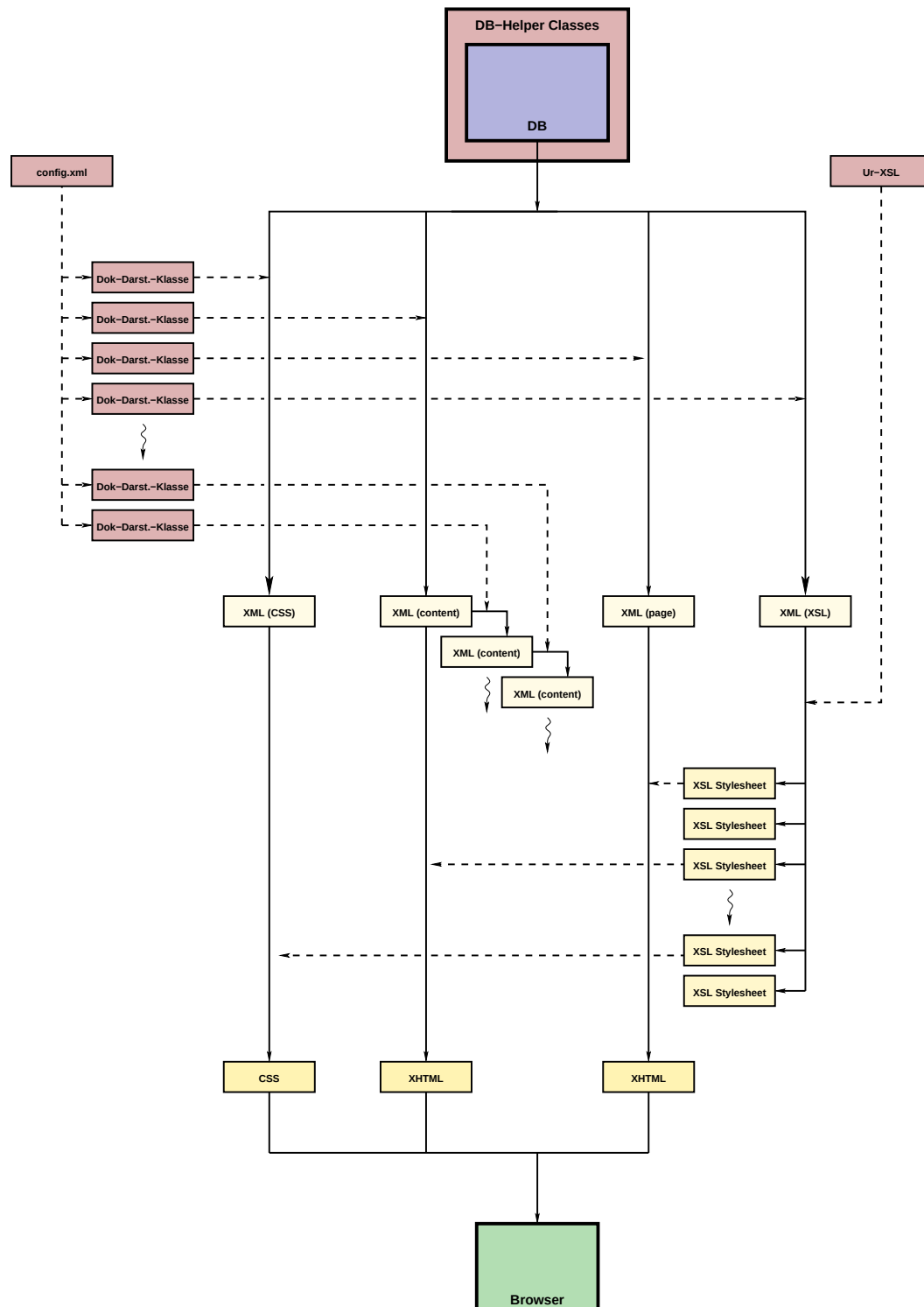


Abb. 10.30: Erstellung und Auslieferung der Dokumente

Dokumente werden auf zwei verschiedenen Wegen in die Datenbank eingefahren: Für die Erstinstallation der Software ist der “built-CheckIn” zuständig; die Erweiterung der eigentlichen Fachinhalte erfolgt über den online-CheckIn:

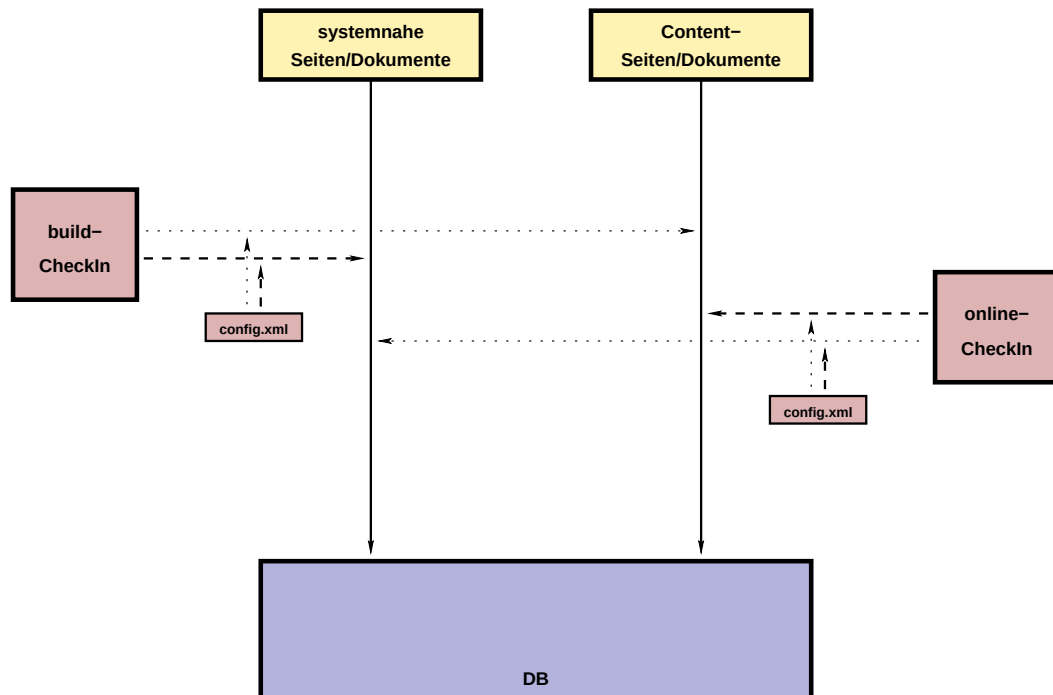


Abb. 10.31: Einfahren von Dokumenten in die Datenbank

Der auf ant¹⁰ basierende Installationsprozess, als “built-CheckIn” bezeichnet, übernimmt die Einrichtung des Systems. Er erstellt die spezifischen Datenbanktabellen, compiliert die zentralen Java-Klassen und checkt die Systemseiten (optional auch Inhalte) ein.

Der Online-CheckIn übernimmt vorrangig das Einchecken von Inhalten (Texte, Bilder, Applets, Kursstrukturen etc.) nach der Erstinstallation, und löst dabei die in Form von Metadaten vorliegenden internen Referenzierungen unter den verschiedenen Dokumenten und Dokumenttypen auf.

¹⁰Dabei handelt es sich um ein “make”-artiges Tool auf Java-Basis.

10.3.2 Datenbank-Modell

Das im Mumie-Projekt verwendete relationale Datenbankmodell ([Ste01b]) verwendet die innerfachlichen Beziehungen der Mathematik als zentrales Strukturierungselement, um eindeutige Zuordenbarkeit und schnelles Wiederauffinden der Inhalte zu realisieren (vergl. Kap. 6.1). Ordnungsprinzip der Datenbank ist somit eine mathematische Fachontologie (s. Kap. 6.2) nach dem in Kap. 7.1 beschriebenen Ansatz.

Alle Inhalte liegen in der Datenbank granular als Dokumente mit Metainformationen vor. Textbasierte Dokumente, insbesondere auch Layoutkomponenten und Styles werden als valides XML ([Mar00]) gespeichert.

Um Flexibilität und Datenintegrität zu sichern, werden alle Referenzen auf andere Dokumente in XML-Texten nur mit lokalen IDs angegeben.

Die meisten Dokumenttypen können - insbesondere wenn sie als Komponenten in anderen referenziert werden - in generischer (abstrakter) Form vorliegen. Solche generischen Dokumente werden erst 'on the fly' abhängig vom Benutzerspezifischen 'theme' zu konkreten Dokumenten aufgelöst.

Soweit möglich werden Strukturinformationen als Tabelleninhalte gespeichert, um die Datenstruktur nachträglich flexibel modifizieren zu können.

Die Datenbank verfügt über ein Version-Control-System, das den Überblick über die einzelnen Versionen der Dateien erlaubt und die Arbeit von ggf. verschiedenen Entwicklern koordiniert.

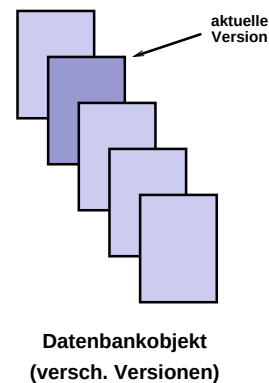


Abb. 10.32: Datenbankseitiges Version-Control-System

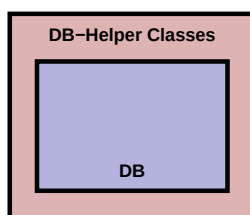


Abb. 10.33: Kapselung der DB

Eine sog. DB-Helper Klasse ist für das Öffnen der Datenbank und die Durchführung der Transaktionen zuständig. Sie bündelt und kontrolliert alle Lese- und Schreibzugriffe auf die Datenbank und vermeidet dadurch Inkonsistenzen durch z.B. gleichzeitige Transaktionen.

Durch den Einsatz einer DB-Helper Klasse wird die verwendete Datenbank (postgresql) gekapselt. Die Trennung zwischen Request-Entgegennahme einerseits und Datenbankabfrage andererseits ist Grundlage für eine relative Datenbankbankunabhängigkeit: die Auswirkungen der Verwendung datenbankspezifischer SQL-Dialekte wird auf diese eine Klasse begrenzt, ein Austausch führt

nur hier zu Veränderungen.

Die folgende Graphik skizziert die zentralen Datenbankstrukturen. Schwarze Verbindungen repräsentieren harte Referenzierung, rote sog. "weiche" Referenzen über lokale IDs. Versionskontrolle (violett) ist vorrangig notwendig für von Autoren und Dozenten erstellte (Fach-)Dokumente.

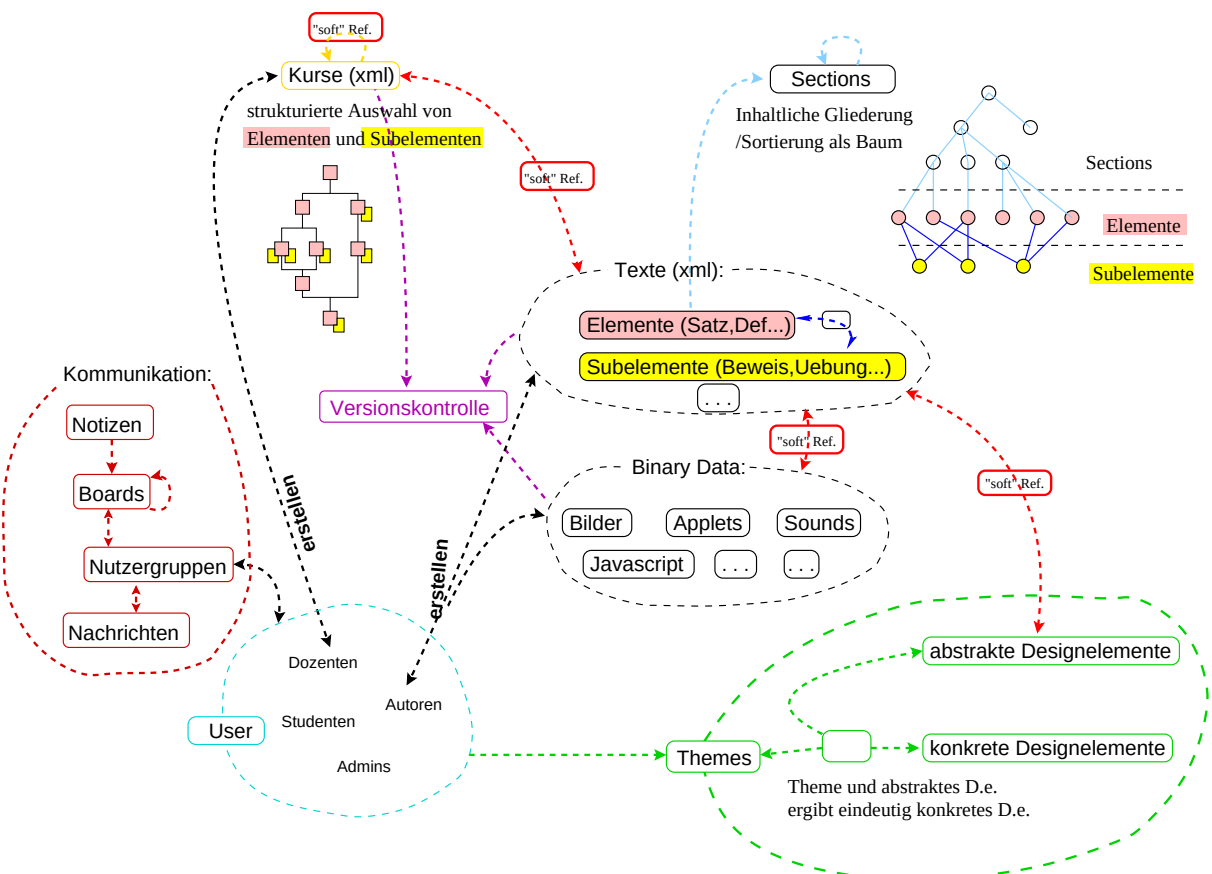


Abb. 10.34: Übersicht Datenbank (nach [Leh03])

10.3.3 User- und Rechtemanagement

Multimediale Plattformen werden von verschiedenen Usergruppen genutzt:

- **Gast:**

Gäste besuchen eine Plattform in einem isolierten Kontext und sind dem System nicht bekannt. Ihnen steht *gemeinsam* ein Gastzugang zur Verfügung. Gäste haben Zugang zu den inhaltsnahen Bereichen. Die Gast-Rolle unterscheidet sich erheblich von allen anderen Rollen der Plattform, weil hier keinerlei eigenes Nutzerprofil zur Verfügung steht und somit auch keine Adaption an den individuellen User erfolgen kann.

- **Student:**

Studierende nutzen die inhaltsnahen Bereiche. Sie verfügen über einen individuellen Zugang und ein eigenes Nutzerprofil, das insbesondere die Adaptivität hinsichtlich inhaltlicher Auswahl (spezielle Kurse, studienfachspezifische Adaption) und hinsichtlich der Präsentation ermöglicht. Sessionmanagementtools erlauben Useradaptivität auf organisatorischer Ebene (“back to last event” etc.). Eigene Speicherbereiche erlauben das Ablegen von eigenen Inhalten (etwa Lösungen von Aufgaben).

- **Dozent:**

Dozenten nutzen die Tools der Komposition von Inhalten zur Entwicklung von “Coursesections”, die auf ihren individuellen Unterricht abgestimmt sind. Sie sehen die inhaltsnahen Bereiche in derselben Weise wie die Studierenden (insbesondere als Testumgebung der von ihnen entwickelten Kompositionen). Dozenten verfügen über ein eigenes Nutzerprofil. Die komponierten Kurse oder Übungsblöcke stehen systemweit zur Verfügung.

- **Autor:**

Autoren entwickeln die eigentlichen Fachinhalte. Sie haben dazu zusätzlich direkten Zugang zur Datenbank, zum CheckIn für Im- und Export von Material sowie zu einem Status- und Refereesystem, das den Entwicklungsprozess der Fachinhalte koordiniert. Autoren verfügen ebenfalls über ein eigenes Nutzerprofil. Die entwickelten Fachinhalte stehen systemweit zur Verfügung.

- **Administrator:**

Administratoren haben vollständigen Zugriff auf alle Bereiche der Datenbank und des Application Servers. Besondere Bedeutung kommt dabei der Userverwaltung (Anlegen neuer User, Wechsel von Userrollen etc.) zu.

Die Rollenaufteilung ist in weiten Teilen kanonisch. Neuartig ist hier jedoch die Unterscheidung zwischen Dozenten einerseits und Autoren anderseits. Die Aufspaltung resultiert aus dem “legokastenartigen” Ansatz der Mumie, feingranulare Inhaltsbausteine (durch die Autoren) zur Verfügung zu stellen, die dann (von den Dozenten) beliebig komponiert werden können.

Diese Rollenstruktur kann durch ein hierarchisches “inkludierendes” Rechteprinzip abgebildet werden. Auf der technischen Ebene muss – ähnlich dem Unix Rechtssystem – für jeden Typ von Dokumenten festgelegt werden, welche Userrollen diesen sehen, ihn lesen oder darauf schreiben können.

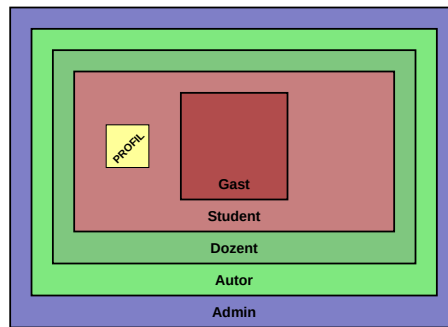


Abb. 10.35: Rechtesystem der verschiedenen Usergruppen

Der Zugang zu den verschiedenen Bereichen erfolgt über ein zentrales Desktop-Konzept:

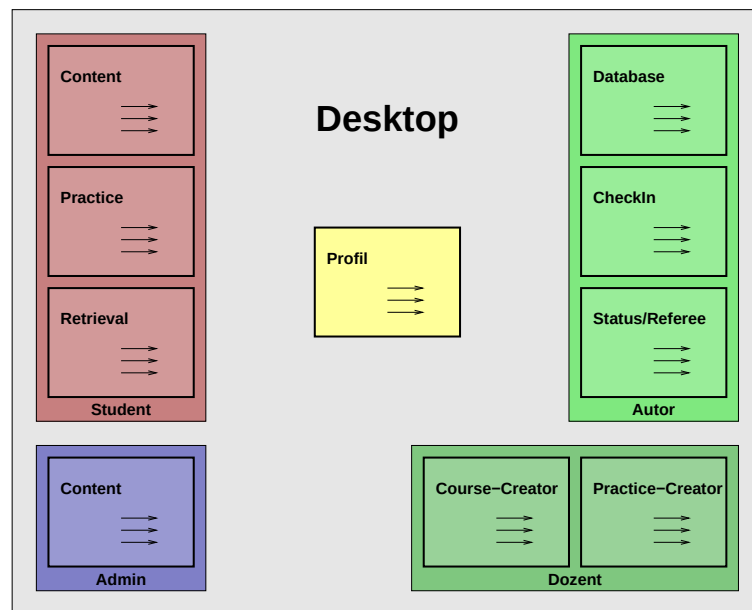


Abb. 10.36: Stilisierter Desktop, alle Bereiche sichtbar

Je nach Gruppenzugehörigkeit sind ggf. nur Teile des Desktops sichtbar:

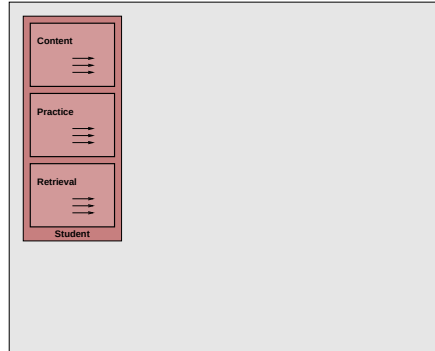


Abb. 10.37: Gastansicht

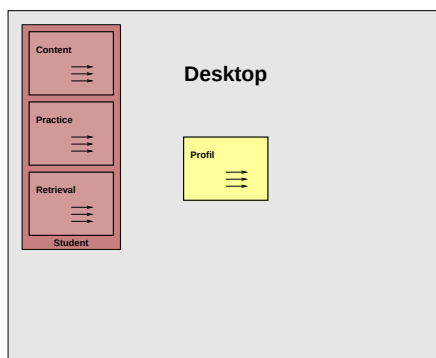


Abb. 10.38: Studentenansicht

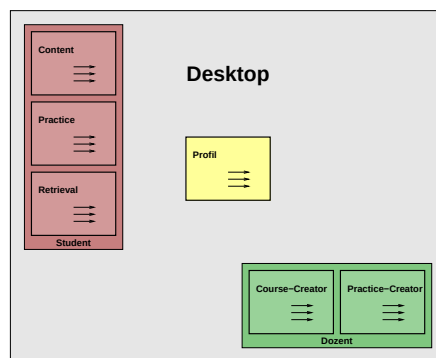


Abb. 10.39: Dozentenansicht

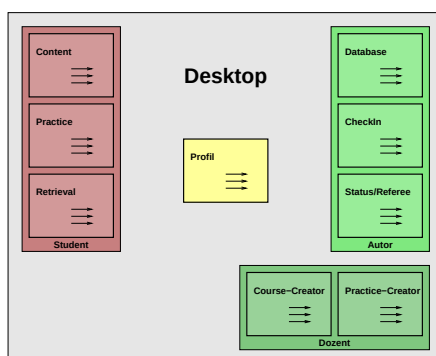


Abb. 10.40: Autorenansicht

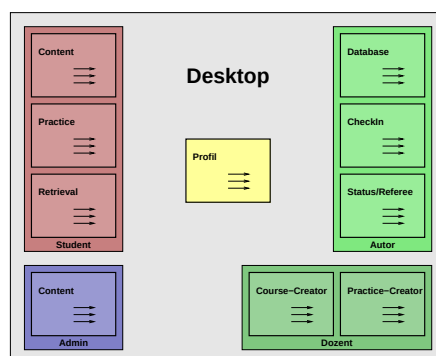


Abb. 10.41: Adminansicht

10.3.4 $\text{\LaTeX}$ -Konvertierung

Der Authoring-Prozess multimedialer Lehr- und Lernplattformen muss auf den Arbeitsweisen der beteiligten scientific community basieren. Umgekehrt muss die Darstellung der Inhalte im Browser realisiert werden. Dazu werden die in $\text{\LaTeX}$ erstellten Inhalte mittels des im Rahmen des “Mumie”-Projektes entwickelten “mmtex”-Konverters nach XML/MathML ([Mata], [Mar00]) überführt. Dabei wird ein spezieller, für die Mumie entwickelter $\text{\LaTeX}$ -Dialekt zugrundegelegt, der auf die spezifischen pädagogischen Zielsetzungen hin optimiert wurde (bildhafter Aufbau der Elemente und Subelemente, vergl. Kap. 8.1.3, 9.2.3).

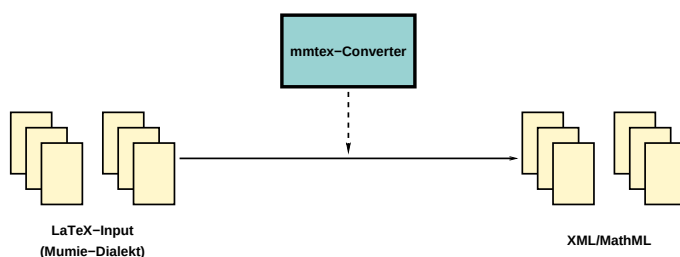


Abb. 10.42: TeX2XML-Konvertierung

Das Design des Konverters ist generisch und lässt die Erweiterung auf beliebige andere $\text{\LaTeX}$ -Dialekte oder andere Eingabeformen (wie etwa openMath) grundsätzlich (nach Erweiterung der Bibliotheken und Tokenhandler) zu.

Die Konvertierung basiert auf einem modular angelegten Perl-Code. Unterschiedliche Abhängigkeit vom gewählten Eingabeformat wird durch unterschiedliche Module gekapselt, so dass nur einzelnen Komponenten ausgetauscht werden müssen, wenn andere TeX-Styles oder grundlegend andere Datenformate verarbeitet werden sollen:

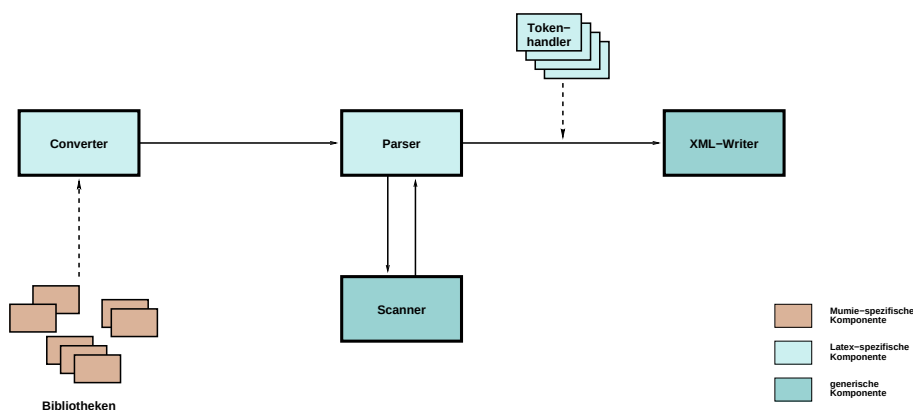


Abb. 10.43: TeX2XML-Konvertierung

Das $\text{\LaTeX}$ -Dokument wird eingelesen und mittels Scanner und Parser in einzelne “Tokens” (bestimmte Textabschnitte) zerlegt. Dabei wird die Information darüber, nach welchen Tokenklassen zu suchen ist, vom Parser an den Scanner übermittelt: der Scanner verfügt also über keine eigenen Informationen hinsichtlich des zu untersuchenden Dokumentes. Aufgabe des Scanners ist die Suche nach bestimmten Tokens. Gesuchte Token werden an den Parser zurückgemeldet. Dieser ruft den jeweils entsprechenden Tokenhandler auf, der (ggf. nach weiterem Aufruf einiger Untermodule) die Konvertierungsinformation an den XML-Writer übergibt, der die Konvertierung als Serialisierer ausführt. Auch der XML-Writer ist unabhängig von der auszuführenden Konvertierung, er ist lediglich darauf festgelegt, (valides) XML auszugeben.

Der sog. Converter realisiert die Anbindung der Bibliotheken, die über die eigentlichen Informationen (Mumie-TeX-Styles sowie Transformationsinformationen) verfügen. Der Converter selber ist nur insofern $\text{\LaTeX}$ -spezifisch als er den Präambelbefehl der $\text{\LaTeX}$ -Syntax “documentclass” kennt und im Parser einträgt.

10.3.5 Im- und Export von Fachinhalten

Die in Kap. 10.3.4 vorgestellte Konvertierung der $\text{\LaTeX}$ -Sources in XML/MathML-Darstellung ist zentrales Instrument des Im- und Exports mathematischer Texte.¹¹

$\text{\LaTeX}$ -Sources werden nach XML/MathML konvertiert und über den Java Application Server in die Datenbank eingefahren (vergl. CheckIn-Prozesse, S. 178), dort werden sowohl $\text{\LaTeX}$ - als auch XML/MathML-Sources über Versionskontrolle verwaltet (s. S. 179). Zu Zwecken der Modifikation werden die $\text{\LaTeX}$ -Sources wieder exportiert.

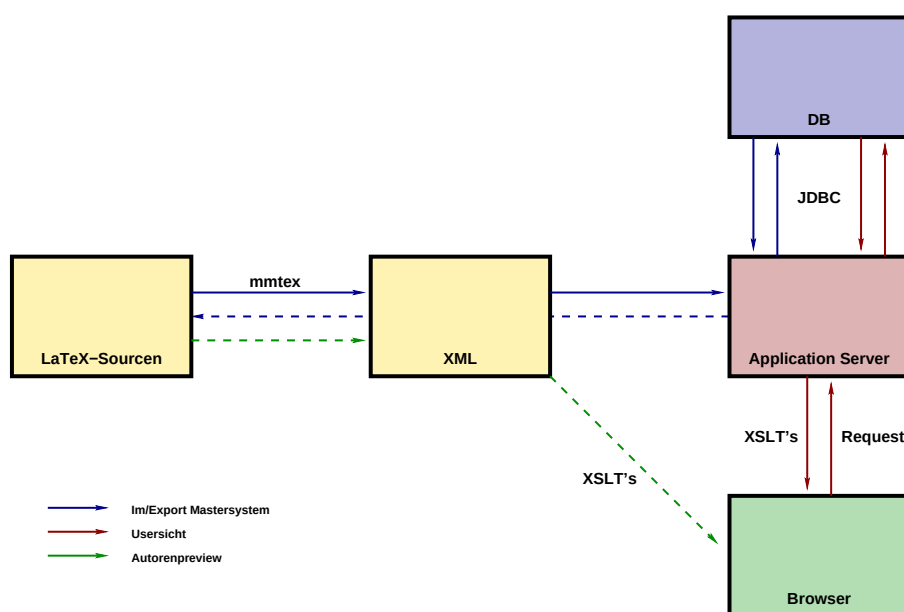


Abb. 10.44: Mumies Architektur mit Inhaltsim- und Export

Ein zusätzlicher Autoren-Preview ermöglicht die Entwicklung der Fachinhalte zu einem gewissen Umfang auch ohne die komplette Application Server-Technologie. Allerdings können auf diese Weise nur einzelne Inhaltsdokumente ohne Zusammenhänge angezeigt werden, zudem ist hier keinerlei Theme-Auswahl und sonstige Useradaptivität möglich, weil diese Informationen nur über das Gesamtsystem zur Verfügung stehen.

¹¹Die nicht-text-basierte mathematische Inhalte werden i.a. über den online-CheckIn (vergl. S. 178) analog eingecheckt, lediglich der Konvertierungsschritt durch den mmtex-Konverter entfällt.

10.3.6 Applet-Factory

Applets stellen ein wichtiges Werkzeug bei der Erstellung interaktiver, experimenteller Lernumgebungen dar. Sie dienen der Visualisierung abstrakter Sachverhalte und der Bereitstellung von Simulationsumgebungen ebenso wie als Grundlage komplexer Virtueller Labore und intelligenter Eingabe- und Validierungstools (vergl. Kap. 9.3.1). Ihre Entwicklung ist aufwendig und technisch anspruchsvoll. Die notwendigen technischen Kenntnisse liegen nicht bei jedem Lehrenden vor, zudem erfordert die Entwicklung eines Applets ohne bereits bestehende Basisklassen einen großen Zeitaufwand.

Die Applet-Factory ist ein Editierwerkzeug zur vereinfachten Entwicklung von Applets, und zur Modifikation bereits bestehender. Sie basiert auf einer großen Anzahl von bereits vorgefertigten Basisklassen, die von Autoren zu Applets komponiert werden können. Die Applet-Factory stellt somit einerseits eine mathematische Klassenbibliothek, andererseits ein interaktives Entwicklungs-Framework dar.

Die der Mumie zugrundeliegende Philosophie des “Legokastens”, in dem die Kombination kleiner standardisierter Einzelbausteine flexibel individuelle Resultate ermöglicht, wurde auch in der Applet-Factory konsequent umgesetzt. Diese Komposition basiert derzeit auf der Basis einer Applet-Factory-spezifischen “Java-Macro-Sprache”. Das stellt zwar eine deutliche Vereinfachung gegenüber der Programmierung des gesamten Codes dar, ist aber noch nicht ideal: zum einen setzt auch die Anwendung einer solchen Macro-Sprache eine nicht geringe technische (i.w. Java-) Kompetenz voraus. Zum anderen sind mathematische Experimente in Echtzeit auf diese Weise nicht möglich, was aber gerade für den Unterrichtseinsatz wünschenswert wäre. Als nächster Schritt wird deshalb die visuelle Komposition (z.B. auf der Grundlage von Oorange, vergl. S. 62) angestrebt.

Der User kommuniziert mit den mathematischen Objekten und Relationen durch visuelle Interaktion, die durch eine Familie von Event-Handlern verarbeitet wird. Das Handler-Konzept ist so konstruiert, dass bei einem Event das zugehörige Objekt zum Master wird: Updater-Ketten steuern dann die Anpassungen der weiteren beteiligten Objekte und Relationen einer Szene, die notwendig werden, um die verschiedenen Relationen und Abhängigkeiten zu berücksichtigen.

Die Klassenstruktur der Appletfactory basiert – analog zum Strukturansatz der Mumie-Plattform – auf den fachlogischen Strukturen und Relationen der Mathematik. Die Klassen berücksichtigen die mathematischen Eigenschaften der Objekte, die sie modellieren.

Neben euklidischer Geometrie können auch andere Geometrien, etwa sphärische oder hyperbolische, generisch visualisiert werden.

Die Architektur ist durch die strikte Trennung von mathematischem Inhalt einerseits und Interaktions- und Darstellungsschicht gekennzeichnet (sog. Modell-View-Controller Muster, [Bus98]):

Die eigentlichen mathematischen Objekte werden getrennt von der Geometrie aufgefasst, unter der sie später betrachtet werden. Die Darstellung eines mathematischen Objekts bei gegebener Geometrie (Rendering) ist wiederum von der mathematischen Modellierung abgegrenzt und stellt den dritten Schritt in der unten dargestellten Kette dar:

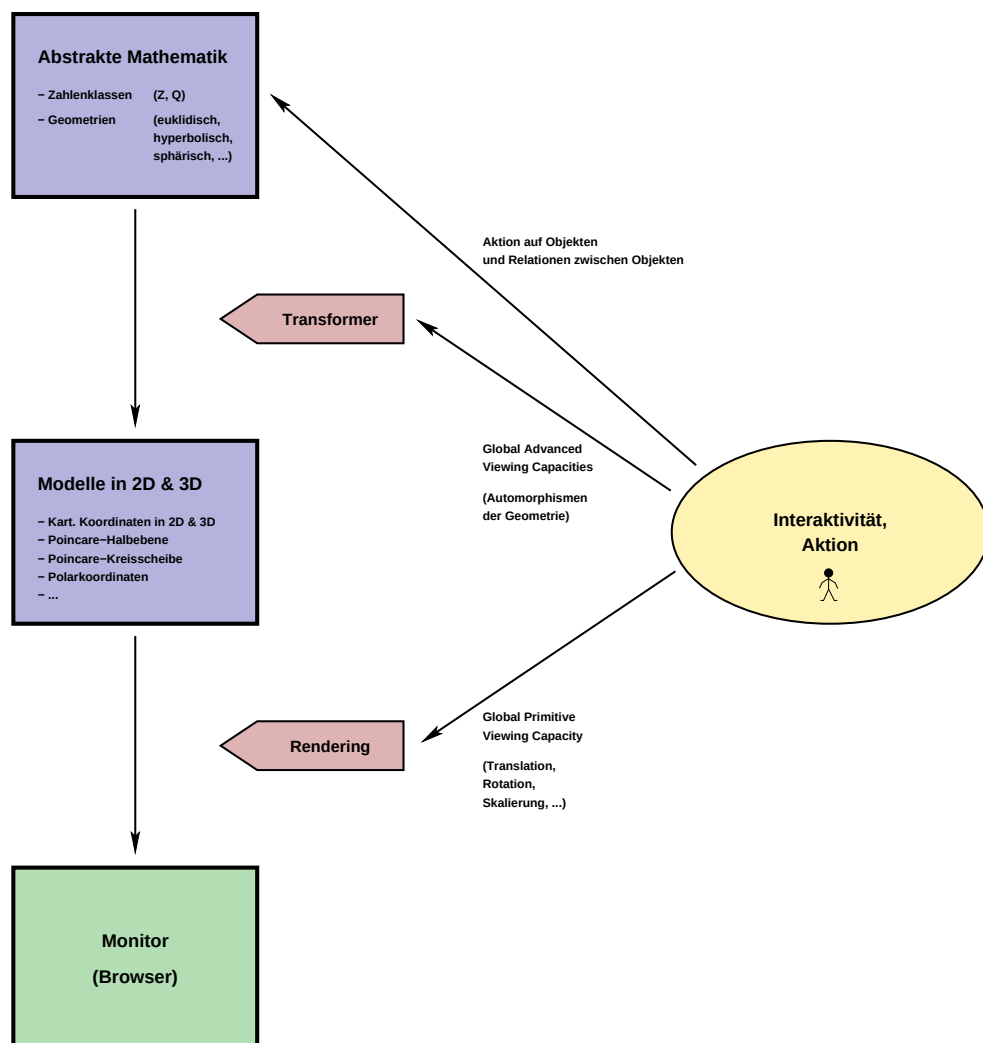


Abb. 10.45: Applet-Factory Rendering-Kette (aus [Hol01])

Ein Modell aus Controllern, Handlern und Updatern organisiert das Zusammenspiel von Benutzer und den mathematischen Objekten: Durch den Benutzer ausgelöste Events (Veränderungen von Objekten oder Relationen) werden von einem Controller empfangen und an den zugehörigen Handler weitergegeben. Der Handler bewirkt die Veränderung des MMObjektes. Über eine Liste von Updatern werden die abhängigen Objekte und Relationen angepasst.

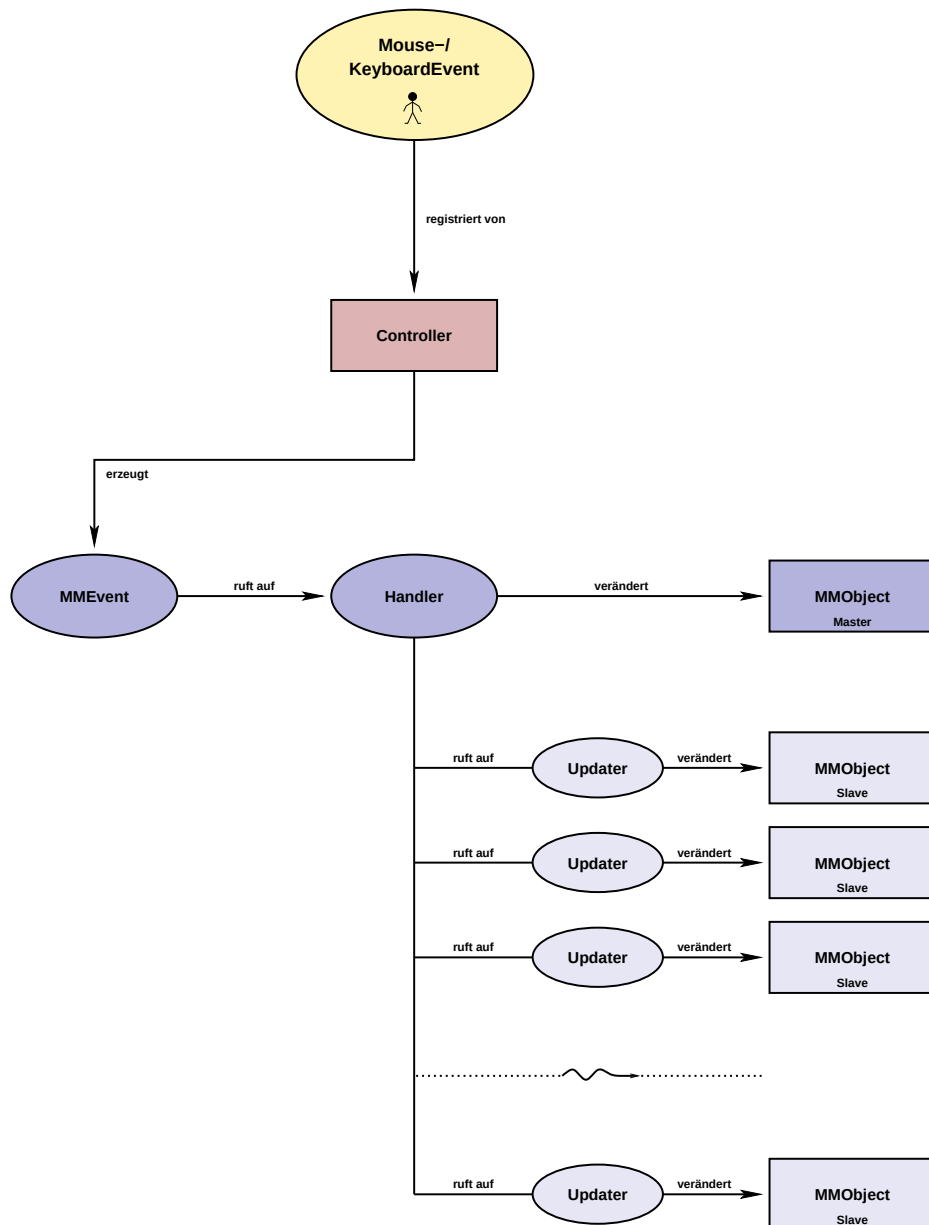


Abb. 10.46: Updater-Modell (aus [Hol01], [Kli04])

Einige Beispiele sollen die Arbeitsweise der Appletfactory abschließend veranschaulichen.

Beispiele aus der Linearen Algebra:

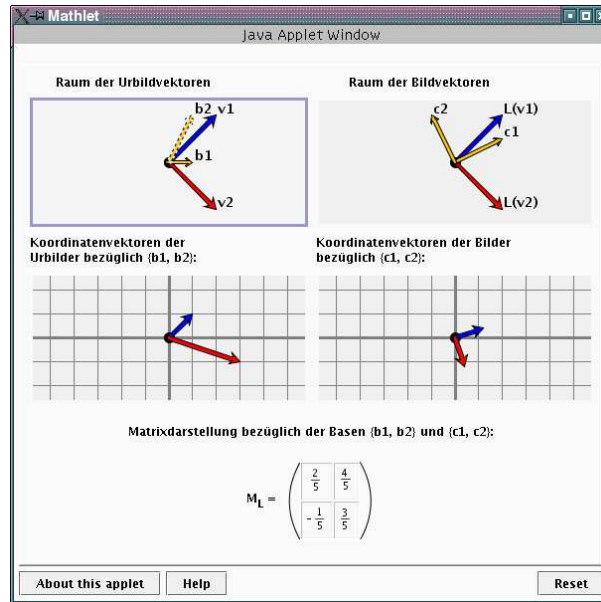


Abb. 10.47: Basisabhängigkeit einer linearen Abbildung

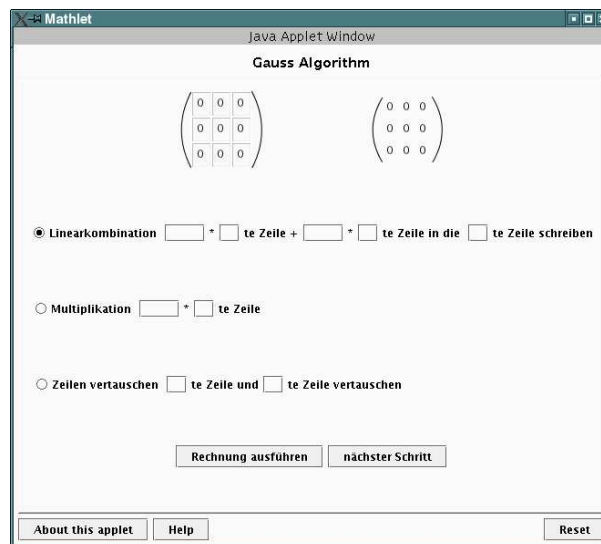


Abb. 10.48: Gaußalgorithmus

Beispiele aus der Analysis:

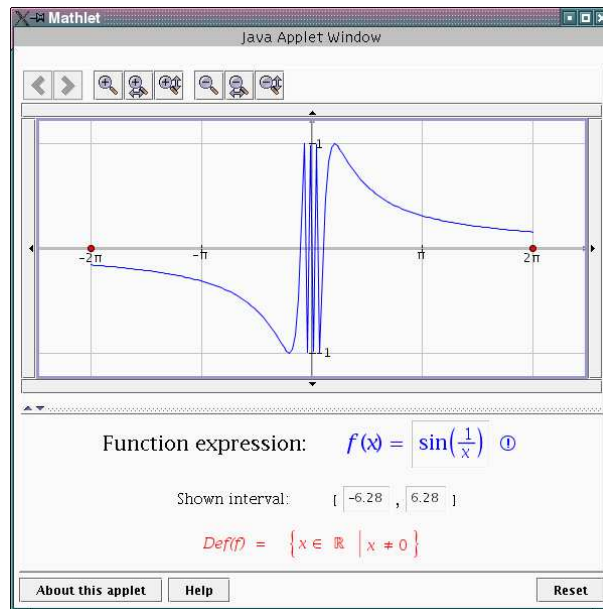


Abb. 10.49: Funktionenplotter

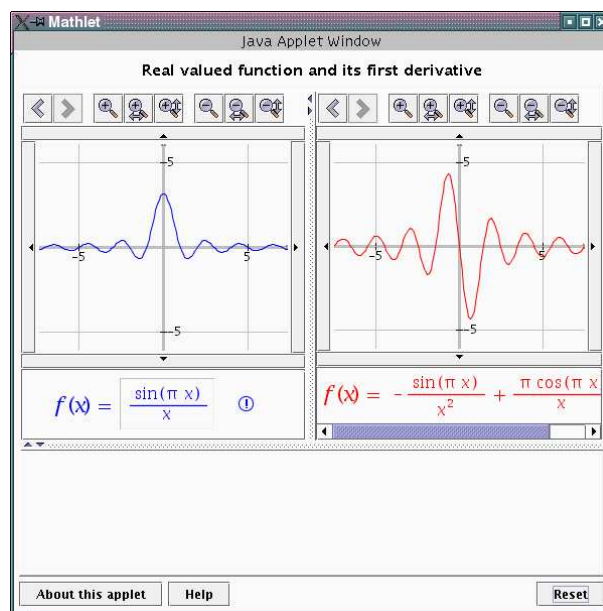


Abb. 10.50: Funktion und Ableitung

Kapitel 11

Das Multiverse-Konzept

eLearning und eTeaching sind weit mehr als die Entwicklung einzelner technischer Komponenten und Inhaltsbausteine: Gerade die Kombination verschiedener Tools und Techniken macht das eigentliche Potential des Einsatzes Neuer Medien und Neuer Technologien in der Lehre aus: Gesucht sind Modelle, die aus bestehenden und zukünftigen Einzelkomponenten virtuelle Lehr-, Lern- und Forschungsumgebungen entstehen lassen, in denen die explorative, kooperative Erkenntnisgewinnung im Vordergrund steht.

Gleichzeitig verlangt die Globalisierung unserer Gesellschaft für die zukünftige Gestaltung von Lehre und Forschung neuartige Denkansätze in internationaler Kooperation.

Der vorliegende Text beschreibt ein solches Konzept, das in Rahmen einer EU-Antragsstellung "FP6: Technology Enhanced Learning" ([Jes03g]) von der Autorin gemeinsam mit R. Keil-Slawik (Universität Paderborn), R. Seiler und C. Thomsen (beide Fakultät II, TU Berlin) entwickelt wurde.

Wir fassen dazu zunächst die zentralen wissenschaftlichen (Kap. 11.1.1) und technologischen Ziele (Kap. 11.1.2) des Konzeptes zusammen und skizzierten den inhaltlichen und organisatorischen Aufbau des Gesamtansatzes (Kap. 11.1.3, 11.1.4).

In Kap. 11.2 beschreiben wir dann die einzelnen Arbeitsschwerpunkte im einzelnen. Die hier vorgestellten Ideen wurden zusätzlich zu den o.g. Autoren gemeinsam mit G. Friedland, C. Keitel, L. Knipping (alle FU Berlin), D. Shapiro (University of Lancaster) und W. Veen (Delft University of Technology) erarbeitet.

11.1 Ziel und Konzept

11.1.1 Wissenschaftliche Ziele

Die Überwindung geographischer, fachwissenschaftlicher und technologischer Barrieren beim Einsatz der Neuen Medien in eLearning, eTeaching und eResearch führen auf neue wissenschaftliche Zielsetzungen:

- **Verteiltes multimediales mathematisches Wissen:**
Mathematisches Lehrbuchwissen wird von seiner traditionellen Dokumentenform in multimediale, feingranulare mathematische Objekte umgesetzt (vergl. Kap. 8.1.2), um eine flexible Nutzung im Rahmen von Content-, Practice- und Retrieval-Szenarien zu ermöglichen.
- **Aktive mathematische Objekte:**
Ziel ist Konzeption und Realisierung aktiver mathematischer Objekte, die nicht nur “konsumiert” und rekombiniert, sondern auch modifiziert und zwischen verschiedenen Applikationen ausgetauscht werden können (DIMES, vergl. Kap. 11.2.1).
- **Neue Arten interaktiver Lehr-, Lern- und Forschungssoftware:**
Die Realisierung virtueller Labore in den angewandten mathematischen Wissenschaften erlaubt selbstgesteuertes, exploratives Lernen und die Bearbeitung modernster Forschungsfelder über kulturelle und gesellschaftliche Grenzen hinweg.
- **Lehr- und Lernkonzepte für kooperative virtuelle Wissensräume:**
Gesucht sind Konzepte für ein kooperatives Lernen über geographische Grenzen hinweg, in denen neue Technologien eine stetige und intensive Zusammenarbeit ermöglichen und die geographischen Grenzen reduzieren bzw. eliminieren.
- **Transparenz und Kompatibilität der mathematischen Ausbildung:**
Eine europaweite “single sign-on infrastructure” und die Stärkung der Mobilität von Studierenden und Lehrenden unterstützen die Umsetzung der Bologna-Deklaration [EU], deren Ziel die Transparenz und Kompatibilität der Hochschulausbildung auf der europäischen Ebene ist.
- **Support lebenslangen Lernens:**
Im Gegensatz zum letzten Jahrhundert wird die berufliche Tätigkeit eines Menschen längst nicht mehr alleine durch die Erstausbildung bestimmt: Die Ausbildung in Europa muss daher Methoden und Werkzeuge für ein lebenslanges Lernen entwickeln.

11.1.2 Technologische Ziele

Die technologischen Ziele basieren auf einer Anzahl essentieller technologischer Fortschritte, die einen völlig neuen Umgang mit Computer-Technologien ermöglichen:

- **Neue multimediale Objekte & Formen ihrer Verwaltung:**
 - Verschiedene Darstellungen und unterschiedliche Funktionalitäten desselben Grundobjektes (DIMES, vergl. Kap. 11.2.1) werden realisiert, indem der Übergang von dokumenten-basierten “Docuverses” zu prozessorientierten “Multiverses” vollzogen wird: Mathematische Inhalte werden semantisch kodiert, um sie flexibel zwischen verschiedenen Applikationen auszutauschen und unterschiedliche Ein- und Ausgabeformen zu unterstützen.
 - Ontologische Inhaltsverwaltung erlaubt die Ausnutzung fachimmanenter Strukturen bei der Auswahl und Rekombination der Wissensbausteine zur flexiblen Erstellung von Lerneinheiten, Kursen und Wissensnetzen.
- **Neue Arten interaktiver Lehr-, Lern- und Forschungssoftware:**
 - Die Entwicklung virtueller Labore in Mathematik und Naturwissenschaften erlaubt nicht nur einen explorativen Lernzugang, der in dieser Form insbesondere in der Mathematik neuartig ist, sondern stellt darüber hinaus virtuelle Umgebungen bereits, in denen gefährliche, teure oder aus anderen Gründen i.a. unzugänglichen Experimente, wie etwa die Untersuchung quantenmechanischer Systeme, möglich sind.
 - Konzepte wie etwa das der AppletFactory (Kap. 10.3.6) oder Cinderellas (S. 61) erlauben das Erstellen eigener mathematischer oder physikalischer Applets ohne tiefere Programmierkenntnisse.
 - Durch die Integration der “Mumie” (Kap. 10) steht eine moderne Lernumgebung als zentrale Basistechnologie zur Verfügung.
 - Moderne 3-D Spiele-Engines können verwendet werden, um virtuelle mathematische Welten zu erzeugen. Solche Welten sind interaktiv erkundbar und sind mit mathematischen Modellen, Demonstrationsobjekten und Effekten angefüllt. Durch das Hinzufügen detaillierter mathematischer Erklärungen und Anweisungen auf Anforderung wird die Engine-Umgebung zu einem mächtigen Werkzeug. Schöpferisches Talent, intellektuelle Neugier und Spielinstinkt werden Teil der Lernprozesses.
 - Mathematische Experimente können durch andere mit minimalem Aufwand wiederholt oder modifiziert werden, d.h. durch Just-in-time-Programmierung des Anwenders (Oorange, s. S. 4.2.5).
 - Intelligente und kooperative virtuelle Wissensräume (DIKES, vergl. Kap. 11.2.3) werden mit interaktiven Applikationen für Forschung und Lehre sowie Tools zum Support wissenschaftlicher Kommunikation ausgestattet.

- **Neue Formen von Mensch-Computer-Schnittstellen:**

- Optische Zeichenerkennung und Spracherkennung beschleunigen die Interaktion mit dem Computer sehr effektiv. In allen wissenschaftsbezogenen Gebieten sind sie für ein kreatives Arbeiten und für einen guten Unterricht unerlässlich.
- Formelerkennung auf Handschrift- und Audio-Basis erlaubt es, mathematische Ausdrücke nicht länger ausschließlich über die Tastatur einzugeben, sondern in einer “natürlichen” Form, die in einem zweiten Schritt in eine semantische Interpretation überführt wird.
- Mehrsprachigkeit von Mensch-Computer-Schnittstellen liefert einen wichtigen Beitrag dazu, dass die neu entwickelten Werkzeuge in der Ausbildung breit eingesetzt werden können.

- **Neue Formen kooperativer Nutzung:**

- Mit Single-sign-on-Technologie wird es möglich, Plattformen verschiedener Organisationen unabhängig vom Betriebssystem und den lokalen Gegebenheiten miteinander zu verbinden. So werden Konzepte räumlicher Unabhängigkeit in Lehre und Forschung realistisch, aber auch eine Intensivierung von Kooperationen sowohl für die Lehre als auch für die Forschung.

11.1.3 Die Multiverse-Matrix

Mehr als zehn Jahre sind vergangen, seit sich das World Wide Web – ausgehend von der europäischen Forschungseinrichtung CERN im Zentrum Europas – weltweit ausbreitet hat. In dieser Zeit hat sich das WWW zur zentralen Informations- und Kommunikationsstruktur und damit zur Schlüssel-Infrastruktur des 21. Jahrhunderts entwickelt.

Konzepte wie “Multiverse” leiten nun die nächste Generation in der WWW-Entwicklung ein, mit aktiven Objekten als Wissensbausteinen (DIMES, vergl. Kap. 11.2.1) und kooperativen virtuellen Wissensräumen als allgemeiner Rahmen für web-basierte Lehr-, Lern- und Forschungsumgebungen (DIKES, vergl. Kap. 11.2.3).

Dazu müssen unterschiedliche Forschungsfelder interdisziplinär kooperieren. Um die verschiedenen Fachgebiete, Expertisen und Technologien zu integrieren, wurde die folgende Matrix-Struktur entworfen, die wir im folgenden im Detail vorstellen:

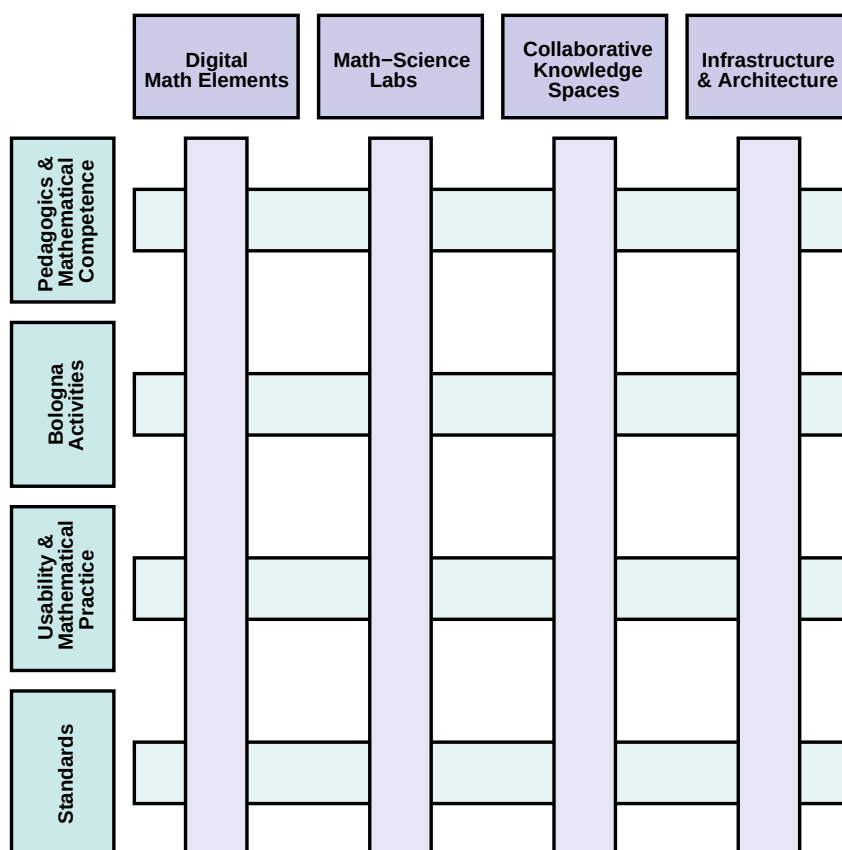


Abb. 11.1: Matrixstruktur der Teilbereiche

“Multiverse” besteht aus vier Hauptgebieten in **Innovation und Forschung** (orig. “Fields of Innovation and Research”), vertikale Säulen:

Basierend auf fein-strukturierten mathematischen Entitäten (DIMES), die die Mittel zur Kommunikation im neuen Web-Wissensraum darstellen werden (Gebiet *Digital Math Elements*), werden hochgradig interaktive virtuelle Labore (Gebiet *Math Science Labs*) für eLearning, eTeaching und eResearch entwickelt. Diese Labore werden in virtuelle Räume (DIKES) integriert, in denen sie mit anderen Applikationen, Werkzeugen und Darstellungstechniken zu interaktiven, kommunikativen, kooperativen Arbeitsumgebungen vernetzt werden (Gebiet *Kooperative Wissensräume*). Konzepte portaltechnologischer Einbettung (Gebiet *Infrastruktur und Architektur*) stellen eine europaweite Verwendbarkeit und Integration individueller lokaler Arbeitsräume durch ein europaweites Single Sign On sicher.

Vier transversale Gebiete im Bereich **Integration und Forschung** (orig. “Fields of Integration and Research”) stellen einen übergreifenden, interdisziplinären Forschungsansatz sicher (horizontale Säulen):

Dem grundlegende Wandel der Mathematikausbildung (vergl. Kap. 2.1) wird durch gezielte Forschung im Bereich *Pädagogik & mathematische Kompetenz* Rechnung getragen. Die Europa-weite Integration und Harmonisierung dieser Lernkonzepte wird durch die Implementierung der *Bologna-Aktivitäten* sichergestellt. Die neuen Lernkonzepte machen state-of-the-art Mensch-Computer-Schnittstellen notwendig. Das Design und der Einsatz verteilter kooperativer Lernszenarien wird im Gebiet *Usability & Mathematical Practices* entwickelt werden. Im Gebiet *Standards* werden alle Initiativen von “Multiverse” gebündelt, die das Zusammenspiel zwischen verschiedenen Teilen der neuen Lerntechnologie durch Standards und Referenzarchitekturen sicherstellen.

11.1.4 Übersicht über die Multiverse-Gebiete

Die vier Säulen innerhalb der **Fields of Innovation and Research** konzentrieren sich auf die Entwicklung von Lerntechnologien:

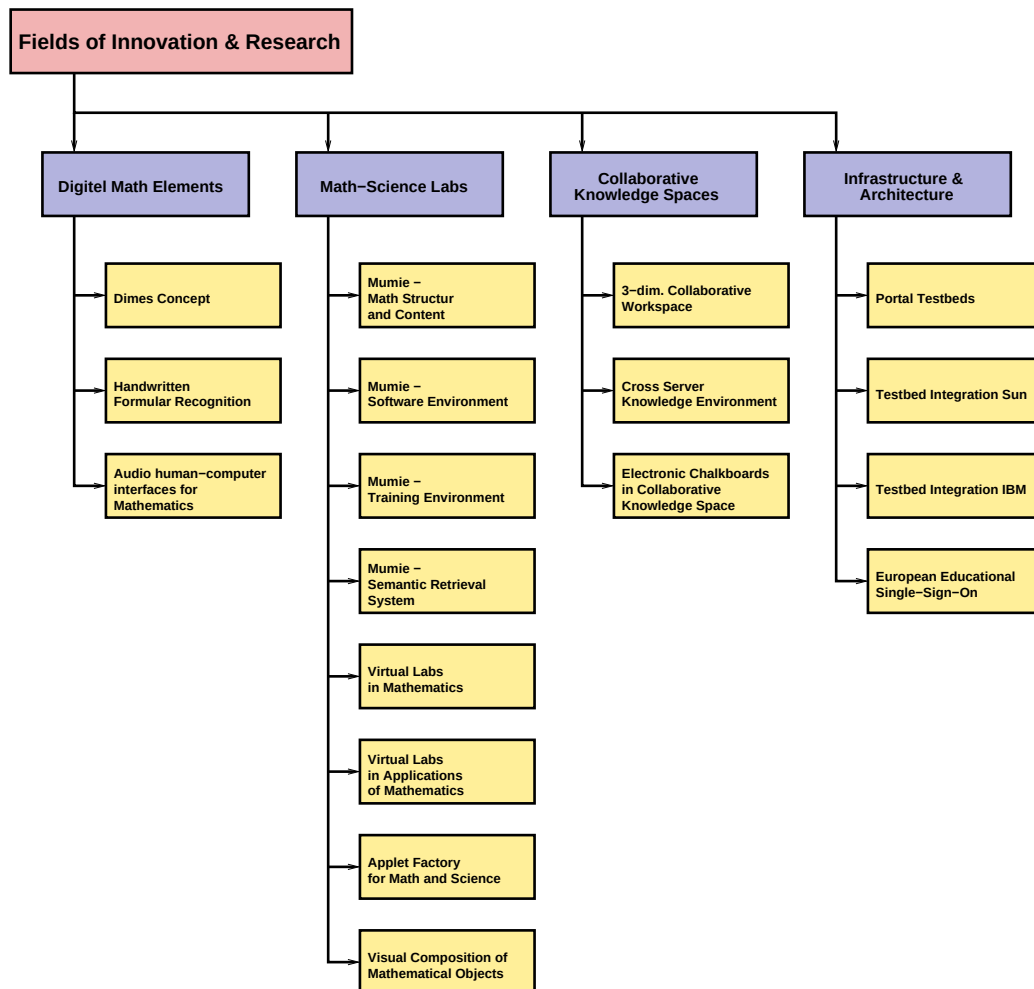


Abb. 11.2: Fields of Innovation and Research

Digital Math Elements

Zusätzlich zu Portaltechnologien und Dienstinfrastrukturen muss Integration durch das Bereitstellen eines allgemeinen Frameworks zur Erzeugung und Handhabung aktiver mathematischer Objekte in unterschiedlichen Umgebungen geleistet werden. Hier wird besonderes Gewicht auf das Entwickeln neuer Formen von “Component Ware” gelegt, die die Implementation von DIMES mittels state-of-the-art Softwaretechnologien ermöglicht. Digital Math Elements (DIMES) stellen Mathematikern

standardisierte wirkungsvolle Mittel zur Verfügung, um unterschiedlichste Arten semantisch kodierter mathematischer Objekte in verschiedenen Umgebungen zu erzeugen, auszutauschen und zusammenzusetzen. Dieses Gebiet steht in engem Bezug zu den Gebieten “Math-Science Labs” und “Standards”. *Details S. 203*

Math Science Labs

Math Science Labs bieten komplexe Lehr- und Forschungsumgebungen auf Basis feingranularer Bausteine mathematischen Wissens und mathematischer Methoden. Sie reichen über integrierte Content-, Practice- und Semantic-Retrieval-Umgebungen bis hin zu virtuellen Laboren mit komplexer Interaktion zur selbständigen Exploration von Wissensgebieten und zur Durchführung von eResearch. Das Feld “Math Science Labs” umfaßt ebenfalls Werkzeuge zur Entwicklung und Modifikation solcher Bausteine ebenso wie Tools zur Rekombination dieser Einheiten in unterschiedlichen Lehr- und Forschungsszenarien. *Details S. 205*

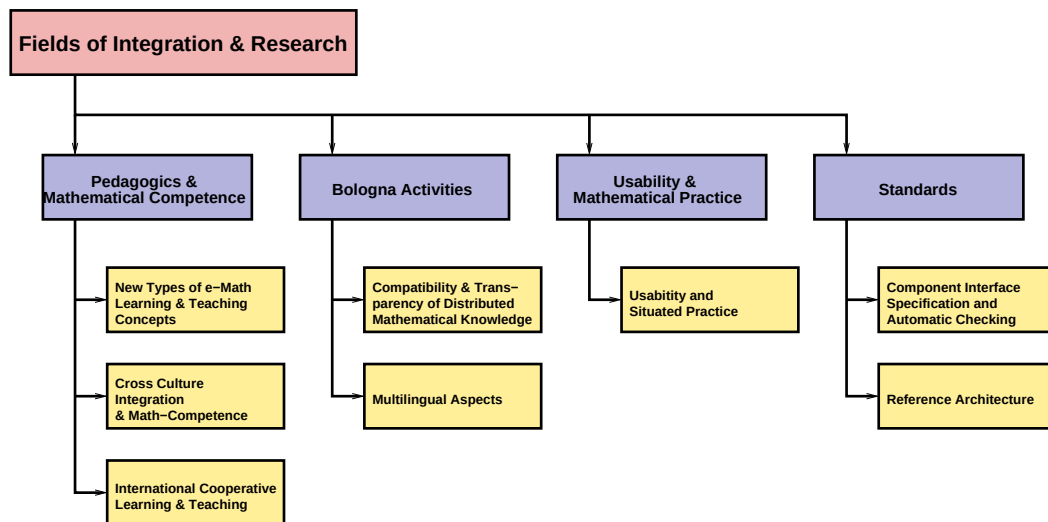
Kooperative Wissensräume

Kooperative Wissensräume bilden ein Framework für web-basierte Lehr-, Lern- und Forschungsumgebungen. Sie verbinden die Idee einer raum-orientierten (gebietsorientierten) virtuellen Welt mit den grundlegenden Funktionalitäten von Dokumentenmanagement und neuen Formen der Interaktion mit komplexen Objekten. Die Metaphern von Raum und Ort werden hier auf sehr allgemeine Weise kombiniert: Möglichkeiten zur 3-D-Anordnung von Objekten und darauf operierenden Interaktionsformen werden bereitgestellt. Komplexe verteilte Wissensstrukturen werden möglich durch das Schaffen von Material-Containern und spezifische Zugangsrechte. Verteilte elektronische Tafelsysteme, das Anlegen virtuelle “Treffpunkte” sowie die Implementation von Awareness Mechanismen, die über verschiedene lokale Umgebungen hinweg arbeiten, erlauben neue Formen des Austauschs über geographische Barrieren hinweg. *Details S. 207*

Infrastruktur & Architektur

Um komplexe kooperative Lehr-, Lern- und Forschungsszenarien zu ermöglichen, müssen diese Wissensumgebungen in individuelle lokale Umgebungen derart integriert werden, dass ein europaweiter Zugriff (single sign on) und verschiedene Formen verteilter Zusammenarbeit und verteilten Lernens stattfinden können. Dazu muss ein Architektur-Framework definiert und implementiert werden, das die globale Integration individueller lokaler Lernumgebungen erlaubt. Applikationen müssen – plattformunabhängig – als Web Services definiert sein, die ihren modularen Charakter und ihre Fähigkeit zur Integration in zukünftige universitäre Portale sicherstellen. *Details S. 210*

Die liegenden Säulen der Matrix, **Fields of Integration and Research**, beschäftigen sich mit interdisziplinären Fragestellungen und Querschnittsfragen, die mehrere Aktivitätsfelder betreffen:



Pädagogik & mathematische Kompetenz

Beurteilung und Bewertung von Lehr- und Lernpraktiken sowie das Erforschen neuer Wege des Lernens in verteilten kooperativen Umgebungen sind von entscheidender Bedeutung, um die mathematische Ausbildung zu verbessern und zu intensivieren. Ziel ist es, virtuelle Lernumgebungen zu schaffen, indem didaktische Methoden und technologische Mittel kombiniert werden. Beispielsweise erforscht der Zweig der sogenannten “realistischen mathematischen Ausbildung” neue Lernmöglichkeiten, bei denen die Lernenden durch eigene Konstruktionen und soziale Interaktion sich von Kontexten und Beispielen bis hin zu höherem mathematischem Denken vorarbeiten.

Details S. 212

Bologna-Aktivitäten

Dieses Gebiet ist von besonderer Bedeutung für die Integration verschiedener Lernumgebungen über ganz Europa hinweg. Eines der Hauptziele von “Multiverse” ist es, das hohe Qualitätsniveau von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren in Europa durch eine solide mathematische Ausbildung zu erhalten und zu verbessern. Um dies zu erreichen, werden Lehr-/Lernplattformen eingesetzt, die durch moderne IT-Technologien unterstützt werden. Dabei besteht das zentrale Problem darin, mit multilingualen Umgebungen angemessen umzugehen und neue Wege zu finden, die neuen Technologien so einzusetzen, dass mathematisches Wissen über nationale und kulturelle Grenzen hinweg indiziert und wiederaufgefunden werden kann.

Details S. 215

Usability & Mathematical Practice

In diesem Gebiet werden die nötigen Grundlagen für alle Gebiete erarbeitet, die sich mit dem Design von Mensch-Computer-Schnittstellen und dem Einsatz verteilten kooperativen Lernens befassen. Dem kommt eine besondere Bedeutung zu, da der Einsatz neuer Technologien in der Mathematikausbildung dadurch erschwert wird, dass die Tastatur noch immer als hauptsächliches Eingabegerät dient, andererseits jedoch die Tafel bisher die einzige sinnvoll einsetzbare Möglichkeit zum kooperativen Erzeugen mathematischen Wissens darstellt. Es wird untersucht, welche Funktionen und Schnittstellen in der Lage sind, kooperatives Lehren, Lernen und Forschen in der Fachwissenschaft Mathematik und ihrer Practice zu unterstützen.

Details S. 217

Standards

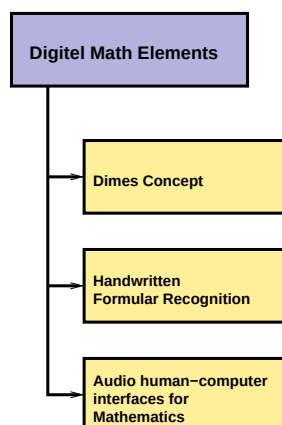
Standards sind Bindeglieder für die Zusammenführung der verschiedenen Teile von “Multiverse”. Um eine breite Akzeptanz der “Next Generation” von eLearning- und eResearch-Lerntechnologien (vergl. Kap. **12.1.2**) zu erreichen, muss eigene Software konform zu bestehenden Standards der Informationstechnologie entwickelt werden. Gleichzeitig muss aktive Beteiligung an der Entwicklung neuer Standards Einfluss stattfinden, u.a. durch die Implementation von Referenz-Applikationen. Referenzarchitekturen und Konformitäts-Checker sind zu entwickeln, um die Integration verschiedener Komponenten in unterschiedlichen Umgebungen zu validieren.

Details S. 219

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die Organisation von “Multiverse” als Matrix die Kohärenz und Qualität über die verschiedenen Aufgaben hinweg sichergestellt wird. Die Matrixstruktur stellt zudem sicher, dass wichtige Querschnittsfragen nicht lediglich als “Anhängsel” technologielastriger Gebiete behandelt werden, sondern als eigene Schwerpunkte explizit verankert sind, was ihnen ein entsprechendes Gewicht verleiht. Dadurch wird nicht nur die Qualität der Forschung hinsichtlich dieser Querschnittsfragen erhöht, gleichzeitig wird auch die wissenschaftliche Anbindung an die verschiedenen beteiligten Fachdisziplinen erleichtert.

11.2 Die Multiverse-Gebiete

11.2.1 Digital Math Elements



Lehr-/Lernumgebungen der ersten Generation sind von Hypermedia-Dokumenten geprägt (vergl. Kap. 12.1.1). Die Entwicklung dieser Umgebungen wurde europaweit in vielen Projekten gefördert. Zu diesen Entwicklungen gehören zahlreiche Autorenwerkzeuge, Plattformen für Inhaltsverwaltung und -verteilung sowie Metadatenstandards, um den Erhalt und die Zugreifbarkeit von Lernmaterialien zu sichern. Hypermedia-Materialien werden jedoch von einzelnen Autoren geschaffen, um sie Nutzern allein zum Lesen/Betrachten zur Verfügung zu stellen. Für den Nutzer ist jedoch keine Möglichkeit vorgesehen, Hypermedia-Dokumente zu verändern, sie mit eigenen Anmerkungen zu versehen, verschiedene neu zusammenzustellen oder sie gar einem Programm gleich “auszuführen”. Die Erfahrung mit Lehr-/Lernumgebungen der ersten Generation zeigen jedoch, dass sehr viel höhere Anforderungen bestehen: Es müssen sehr komplexe Ausdrücke etwa in einem Vortrag oder einer Diskussion entwickelt werden, wobei Schreiben, Visualisierung, freies Anordnen und “Ausführen” eng verzahnte Prozesse sind.

Räumlich angeordnete Symbole müssen in ausführbare Anweisungen oder computer-generierte Bilder umgewandelt werden, die eine interaktive Weiterbearbeitung erlauben. Sowohl einzelne Nutzer als auch Gruppen von Anwendern müssen in der Lage sein, unabhängig von Serverstrukturen ihre eigenen Wissensstrukturen zu schaffen, in denen sie ihre Dokumente und Werkzeuge selbst finden, verwalten, bearbeiten und anderen zur Verfügung stellen können. Lehr-/Lern- und Forschungsumgebungen der zweiten Generation erfordern daher ergänzend zu reinen Hypermedia-Dokumenten ein “Dimes”-Konzept:

Entscheidend für eine plattformübergreifende Nutzung mathematischer Objekte ist ihre Granularität. Sie muss den Wissensstrukturen ihrer Anwender so angepasst sein, dass sie den Umgang mit ihnen ideal unterstützt. Durch die Verwendung von **Dimes** (Digital mathematical expressions) soll die Möglichkeit gegeben werden, mathematisches Wissen flexibler und dynamischer zu verarbeiten. Mathematisches Wissen wird durch Einheiten wie Theoreme, Beweise, Abbildungen oder Algorithmen repräsentiert. Diese Einheiten besitzen verschiedene Darstellungen bzw. Sichtweisen wie typographische Zeichenketten, räumlich angeordnete Formeln, einen Rechenprozess, 3D-Visualisierungen etc. Um mit Mathematik effektiv arbeiten zu können, muss man in der Lage sein, diese verschiedenen Einheiten in ihren verschiedenen Ausprägungen problemlos in einander zu überführen. Hierzu werden Werkzeuge und Umgebungen benötigt, die es erlauben, größere und komplexere Einheiten aus kleineren mathe-

Entscheidend für eine plattformübergreifende Nutzung mathematischer Objekte ist ihre Granularität. Sie muss den Wissensstrukturen ihrer Anwender so angepasst sein, dass sie den Umgang mit ihnen ideal unterstützt. Durch die Verwendung von **Dimes** (Digital mathematical expressions) soll die Möglichkeit gegeben werden, mathematisches Wissen flexibler und dynamischer zu verarbeiten. Mathematisches Wissen wird durch Einheiten wie Theoreme, Beweise, Abbildungen oder Algorithmen repräsentiert. Diese Einheiten besitzen verschiedene Darstellungen bzw. Sichtweisen wie typographische Zeichenketten, räumlich angeordnete Formeln, einen Rechenprozess, 3D-Visualisierungen etc. Um mit Mathematik effektiv arbeiten zu können, muss man in der Lage sein, diese verschiedenen Einheiten in ihren verschiedenen Ausprägungen problemlos in einander zu überführen. Hierzu werden Werkzeuge und Umgebungen benötigt, die es erlauben, größere und komplexere Einheiten aus kleineren mathe-

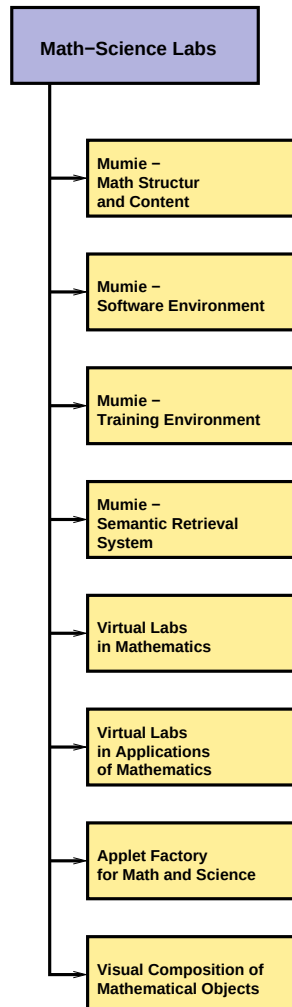
matischen Einheiten zu bilden. Dimes sind also nicht mehr rein typographische Objekte, sondern Träger ihrer eigenen Funktionalitäten und Verarbeitungsalgorithmen. Standards und Protokolle müssen so erweitert werden, dass Objekten zusätzlich zu reinen Attributen auch Methoden und Algorithmen zugeordnet werden können. Der Dimes-Ansatz ist charakterisiert durch den Übergang von rein typographischen Zeichenketten hin zu Datenobjekten, die Attribute mit sich führen, die von einer reinen Beschreibung seiner Eigenschaften bis hin zu komplexen Algorithmen reichen.

In Forschung und Lehre werden dieselben mathematischen Objekte in sehr unterschiedlicher Weise verwendet. Multimediale Lehre benötigt zudem die Unterstützung sehr unterschiedlicher Lernprozesse. Daher ist eine sorgfältige Analyse der verschiedenen Einsatzszenarien sowohl in Forschung als auch Lehre erforderlich, um die gemeinsamen Grundlagen aller Anwender beim Umgang mit diesen digitalen Welten herauszuarbeiten. In einem europäischen Wissensraum ist die Möglichkeit zum Zugriff auf verteilte Objekte in unterschiedlichen Wissensumgebungen über Sprachbarrieren hinweg von entscheidender Bedeutung. In diesem Projekt soll daher auch die Infrastruktur für mehrsprachiges knowledge mining und ein europaweites single sign on entwickelt werden. Mathematische Ideen werden vor allem in mathematischen Formeln in sehr komprimierter Form dargestellt. Bei der Entwicklung dieser Ideen und bei der Kommunikation über Mathematik werden daher immer noch vorwiegend handschriftliche Formeln, Skizzen etc. eingesetzt. Dies trifft sowohl für die Kommunikation zwischen (forschenden) Mathematikern als auch für die Kommunikation zwischen Lehrern und Lernenden zu (beliebtestes, weil effektivstes Hilfsmittel) ist dabei immer noch die Kreidetafel. Es gibt jedoch bisher keine effektive Eingabemöglichkeit, um handschriftliche Formeln in Computerprogramme einzugeben. Als Ausweg bietet sich ein elektronischer Stift an, mit dem Formeln zur Aufbereitung durch Handschriftenerkennung an den Computer übermittelt werden können. Bei der Handschriftenerkennung zerfällt das Problem in die reine Erkennung einzelner Symbole (unter Berücksichtigung verschiedener Schreibvarianten nicht nur verschiedener Anwender, sondern bereits eines einzelnen) und in die syntaktische und semantische Verarbeitung.

Ein weiterer, bei der Entwicklung der meisten Werkzeuge und eLearning-Umgebungen vernachlässigter Kommunikationsweg ist die gesprochene Sprache. Sie spielt auch in der Mathematik eine wichtige Rolle, die sich in der Lehre in den traditionellen Lehrformen (Vorlesung, Tutorien, Seminare) und in der Forschung in den wichtigsten Kommunikationsformen (Vorträge, Arbeitstreffen) widerspiegelt. Die Möglichkeit zur Integration akustischer Informationen stellt daher eine Herausforderung bei der Entwicklung moderner Lehr-/Lernumgebungen dar, die den Nutzer in idealer Weise in seinen natürlichen Kommunikationswegen unterstützen würde.¹

¹Dieser Textabschnitt (Kap. 11.2.1) wurde für die Antragstellung des EU-Antrages "Multiverse" gemeinsam mit R. Keil-Slawik (Universität Paderborn) und C. Zick (FU Berlin) formuliert.

11.2.2 Math-Science Labs



“Math science labs” stellen eine neuartige Möglichkeit für einen experimentellen Zugang zur Mathematik dar. Ein “spielerischer” Zugang über Experimente war bisher den Naturwissenschaften vorbehalten. Erst die rasanten Entwicklungen der letzten Jahre in den Bereichen Hard- und Software ermöglichen auch in der Mathematik einen experimentellen Zugang sowohl in Lehre als auch Forschung. “Math science labs” bilden einen wichtigen Bestandteil von “Multiverse”, sie basieren entscheidend auf dem Dimes-Konzept und bilden auf der anderen Seite einen wichtigen Grundstein für die kooperativen Wissensräume und die allgemeine Infrastruktur/Architektur von “Multiverse”. Bei der Entwicklung der “math science labs” müssen insbesondere Standardisierungsaspekte berücksichtigt werden, um Tools und Werkzeuge nur einmal entwickeln zu müssen, um sie dann in die verschiedene Labore integrieren zu können.

- Labore selbst sind effiziente und kostengünstige Elemente einer Lehr-/Lernplattform. Sie bieten eine Auswahl an intuitiv zugänglichen Komponenten, aus denen der Lehrende eine seinen Bedürfnissen angepasste Auswahl frei zusammenstellen kann.
- Ihre Benutzung ist, unabhängig von einer realen Laborausstattung, jederzeit und an jedem Ort möglich.
- Sie stellen eine Form grundlegender Elemente der kooperativen Wissensräume dar. Das Konzept virtueller Labore, die in “Multiverse” für Mathematik und angewandte Wissenschaften eingesetzt werden, ist leicht auf andere Gebiete übertragbar, wodurch die Vision eines vollständig virtuellen europäischen Wissensraumes in der Bildung erreichbar wird.

- Die Entwicklung technologischen Grundlagen virtueller Labore, wie etwa Software zur Erstellung von Simulationen, natürliche Mensch-Computer-Schnittstellen und Standards, ist ebenfalls Teil des “Multiverse”-Konzeptes.
- Virtuelle Labore integrieren pädagogische und technologische Ergebnisse aus den anderen Teilgebieten von “Multiverse” und bilden ihrerseits eine wichtige Grundlage für die kooperativen Wissensräume.

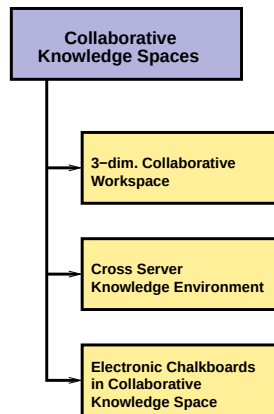
Im Gebiet “Math Science Labs” werden sowohl bereits erfolgreiche Einzelprojekte weiter ausgebaut als auch völlig neue entwickelt. Hierzu gehören u.a.:

- Die Lehr-Lern-Plattform “Mumie” (Kap. 10) ist mit dem Dimes-Konzept kompatibel. Mathematische Inhalte werden multimedial umgesetzt und in einem mathematischen Klassifikationsschema gespeichert. Mumie stellt graphische Werkzeuge zur Verfügung, mit denen einzelne Dimes verwaltet werden können. Diese Werkzeuge verwenden Java-basierte Technologien (Tomcat, Cocoon, Kap. 10.3.1). Schnittstellen zu Standardsoftware werden implementiert, Integration von Sprach- sowie Handschriftenerkennung ist geplant.
- In ihrem Practice-Bereich (Kap. 10.2.4) bietet “Mumie” die Möglichkeit, sich eigenständig mit Übungsaufgaben auseinanderzusetzen. Als Hilfestellung können Problemstellungen in Teilprobleme zerlegt werden, die direkt auf den Dimes des Lerntools basieren. Hierdurch wird die Fähigkeit zum selbstorganisierten autonomen Studium gefördert.
- Mit “Mumies” semantischem Retrieval System (Kap. 10.2.5) können mathematische natursprachliche Texte analysiert werden. Ein Ergebnis der Analyse sind Wissensnetze, die die Zusammenhänge des granularen Wissens übersichtlich darstellen.
- Im Teilprojekt “AppletFactory” (Kap. 10.3.6) ermöglicht eine Javaklassen-Bibliothek die Erstellung mathematischer Applets auch für Nichtspezialisten. Diese wichtigen Grundbausteine virtueller Labore können damit einfach und einheitlich in der notwendigen großen Anzahl erstellt werden.
- Physik stellt ein ideales Testgebiet für den Einsatz virtueller Labore außerhalb der Mathematik dar, da einerseits mathematische Methoden eine zentrale Rolle in allen physikalischen Fragestellungen spielen, andererseits Labore in einer Wissenschaft mit hohem Experimentalanteil zum Grundwerkzeug gehören. Virtuelle Physik-Labore bieten sich daher in besonderer Weise an, die Übertragbarkeit von Virtual Labs auf Einsatzszenarien außerhalb der Mathematik zu untersuchen.
- Mit “Oorange” steht ein virtuelles Labor für Experimentelle Mathematik zur Verfügung, das die Durchführung mathematischer Experimente in Echtzeit durch “grafisches Programmieren” ermöglicht (s. S. 4.2.5).

Der Einsatz virtueller Mathematik-“Labore” hat einen entscheidenden Einfluss auf die Weiterentwicklung mathematischer Ausbildung, sowohl für Mathematikstudenten als auch für Studierende, die Mathematik als Anwender in den Natur- und Ingenieurwissenschaften benötigen. Bei ihrem Einsatz übernimmt der Lehrende die Rolle eines “Vermittlers”, der den Lernenden motiviert, anleitet und unterstützt. Durch den Einsatz von Laboren werden experimentelle Gesichtspunkte der Mathematik stärker berücksichtigt.²

²Dieser Textabschnitt (Kap. 11.2.2) wurde für die Antragstellung des EU-Antrages “Multiverse” gemeinsam mit C. Thomsen (TU Berlin) formuliert.

11.2.3 Kooperative Wissensräume



Die Diskussionen um den Einsatz von Technologie in der Lehre zentriert sich um zwei Hauptparadigmen: Einerseits sollen hypermediale Systeme den individuellen Lernprozess unterstützen. Besondere Bedeutung kommt dabei der Kombination verschiedener Medientypen wie Text, Graphik, Audio, Video, Applets etc. zu. Andererseits erlauben Netzwerktechnologien neue Formen des Informationszuganges und eröffnen den Lernenden und Lehrenden neue Kommunikationsmöglichkeiten. An dieser Stelle entsteht ein gewisses Paradoxon in der Argumentationskette: Netzwerktechnologien haben zwar grundsätzlich das Potential, neue Formen der Kooperationen zu realisieren; die aus der Vernetzung resultierende räumliche und zeitliche Unabhängigkeit bewirkt aber

auch eine größere Unabhängigkeit, die sich auch in größerer Unabhängigkeit von enger Kooperation (etwa durch die Reduktion physischer Treffen) auswirkt.

Der einzelne Lernende kann zwar sein Lerntempo selbst wählen und bestimmt Zeit und Ort des “Unterrichts” selbst, jedoch zeigen viele Studien, die die Rolle neuer Technologien im Lernprozess untersuchen, keinen klaren Zusammenhang zwischen dem notwendigen Aufwand zur Erstellung hochwertiger multimedialer Lehrmaterialien und der Unterstützung des Lernenden. Die Güte multimedialer Lehre ist nicht durch einzelne technologische Komponenten bestimmt, sondern durch eine Kombination aus Didaktik, Einsatz technologischer Komponenten, inhaltliche Auswahl des Unterrichtsmaterials und – last but not least – durch Lehrende und Lernende.

Darüber hinaus wird der Lernprozess – weder in der Präsenzlehre zwischen Lehrendem und Lernenden noch bei der individuellen Beschäftigung des Lernenden mit multimedialen Materialien – durch einzelne Aspekte allein bestimmt. Vielmehr sind verschiedene Aktivitäten der Beteiligten entscheidend, die nicht etwa auf die Bearbeitung eines einzelnen Dokumentes beschränkt sind. Lehrende und Lernende erzeugen neue Objekte, tauschen sie untereinander aus, versehen sie mit Anmerkungen und verändern sie gemeinsam. Zusätzlich verwenden sie digitale Bibliotheken, verschiedene Werkzeuge, die von rein bearbeitenden Tools bis hin zu sehr komplexen Softwarepaketen reichen können. Kooperatives Lernen spiegelt sich folgerichtig in den Überlegungen der Technology Enhanced Learning Group der EU (siehe “Vision FP6: Research in Technology Enhanced Learning”, http://www.cordis.lu/ist/ka3/eat/training_fp6.htm) wider.

Es darf also nicht darum gehen, den Präsenzunterricht zu ersetzen. Stattdessen muss der soziale Prozess unterstützt werden, in dem Lehrende und Lernende sowohl physisch als auch virtuell zusammenarbeiten. Nicht nur die praktische Erfahrung, sondern auch theoretische Betrachtungen zeigen, dass der sozialen Einbettung des Lern-

prozesses eine entscheidender Bedeutung zukommt. Dabei ist stets zu beachten, dass durch den Technologieeinsatz nur technische Probleme gelöst werden können, didaktische Probleme benötigen didaktische Lösungen. Engagierte Lehre kann nicht durch Technik ersetzt werden, sie kann aber durch ihren qualifizierten Einsatz unterstützt und bereichert werden. Die Einbettung von Technologie in den Lehr-/Lernprozess steht noch am Anfang, die dazu nötigen didaktischen Konzepte müssen erst entwickelt und in ihrem Praxiseinsatz sorgfältig untersucht werden.

Im wesentlichen ist unter verteilter Wissensorganisation die gemeinsame Erzeugung, Verwaltung und Bearbeitung künstlicher Wissens Elemente jedweder Art zu verstehen. Die zeitliche Komponente jeder Aktion der Lehrenden/Lernenden bzw. deren Kommunikation ist ebenso wie die räumliche Unterscheidung der Zusammenarbeit als ein weiterer wesentlicher Faktor im Lernprozess anzusehen. Die z.Z. existierenden Lehr-/Lernplattformen sind im allgemeinen entweder synchron, d.h. auf zeitgleiche, aber an verschiedenen Orten lokalisierte, oder asynchron, d.h. zeitlich versetzte, aber am gleichen Ort (der Dokumente) lokalisierte Bearbeitung der kooperierenden Partner ausgelegt. Verteilte virtuelle Wissensräume zielen auf die Integration der räumlichen und zeitlichen Trennung der Lernenden ab. Asynchrone Mechanismen zur Behandlung multimedialer Lernelemente bzw. Hypertext-Dokumente sind vom Dokumentenmanagement vertraut. Diese Mechanismen werden stark synchronen Ansätzen verbunden, wie beim Session-Management bekannt. Eine Verbindung dieser beiden Ansätze erlaubt neue, bisher wenig eingesetzte Hybridformen der kooperativen Lernens.

Kooperative Wissensräume verbinden die Idee einer raum-basierten virtuellen Welt mit den grundlegenden Funktionalitäten eines Dokumentmanagementsystems und mit neuen Formen zur Handhabung von 3D-Objekten. Virtuelle Räume fungieren nicht nur als sozialer Treffpunkt und als Zentrum einer virtuellen Lerngemeinschaft, sie dienen auch als gemeinsamer "Speicher", ausgestattet mit den wichtigsten Funktionalitäten für kooperatives Lernen.

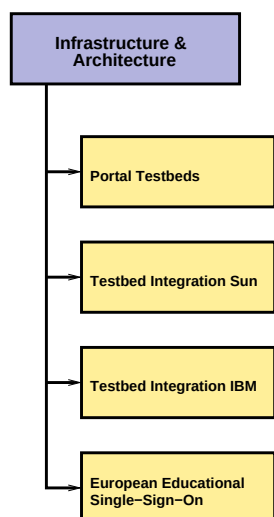
Virtuelle Räume ermöglichen neue Formen kooperativen Lernens. So ist es in den verschiedenen virtuellen Räumen für den Einzelnen möglich zu erkennen, welcher der kooperativen Partner welche Dokumente (Dimes) bearbeitet – sofern er dies erlaubt. Eine Anwendung dieses Mechanismus ist etwa ein virtuelles Seminar, in dem alle Teilnehmer in speziellen Räumen eine virtuelle Bewertung von Dokumenten vornehmen können. Als eine andere Anwendung ist eine gemeinsame Tafel denkbar, an der nicht nur die (synchron) anwesenden Lernenden, sondern auch (asynchron) weitere Teilnehmer die Möglichkeit haben, Objekte zu bearbeiten oder aus ihrem eigenen Arbeitsbereich dorthin zu verschieben, um es einer Gruppe von Lernenden zur gemeinsamen Bearbeitung zur Verfügung zu stellen. Beispielsweise könnte das Kopieren eines Verweises aus dem eigenen Bereich auf die gemeinsame Tafel einen entsprechenden Link im gemeinsamen Raum erzeugen, in dem die Tafel lokalisiert ist.

Das Konzept verteilter kooperativer Wissensräume bietet dem einzelnen Nutzer um-

fangreiche Möglichkeiten zur Selbstverwaltung. Im Idealfall können sich die Teilnehmer einer virtuellen Gemeinschaft von Lernenden ihre eigene Lernumgebung schaffen. Dies beginnt bei der Erzeugung eines virtuellen Raumes und umfasst das Verarbeiten von Objekten wie Dokumenten, mathematischen Objekten, Graphiken, Folien etc., sowie die Auswahl gemeinsamer Werkzeuge, die während des gesamten Lernprozesses zur Verfügung stehen. Wesentlich hierfür ist die nahtlose Integration ganz neuartiger dreidimensionaler Arbeitsbereiche, um mit 3D-Objekten umgehen zu können, aber auch, um Elemente in mehr als zweidimensionalen Strukturen anordnen zu können. Virtuelle Räume verbinden also die Möglichkeiten zur individuellen Anordnung und Bearbeitung von Elementen und erlauben es, neue Formen des Lernens mit aktiven Objekten zu schaffen.³

³Dieser Textabschnitt (Kap. 11.2.3) wurde für die Antragstellung des EU-Antrages “Multiverse” gemeinsam mit R. Keil-Slawik (Universität Paderborn) formuliert.

11.2.4 Infrastruktur & Architektur



Als Basis einer Testimplementation einer “Multi-verse” Umgebung werden die aktuellen Architektur-Frameworks von SUN und IBM, SunONE und IBM Websphere, verwendet. Ziel ist es, auf offenen Standards basierende Software-Architekturen zu verwenden, um die einfache Integration bestehender Applikationen zu ermöglichen. Das Architektur-Framework richtet sich an die in der Realität zum Einsatz kommenden heterogenen Systemarchitekturen, die sich in allen universitären Umgebungen wiederfinden, sowie an die verschiedenen Typen von gegenwärtig und in der Zukunft zum Einsatz kommenden Instrumenten zur Unterstützung der Lehre – seien sie mobil oder stationär.

Die Frameworks verwenden J2EE⁴ als Hilfsmittel, um existierende Applikationen zu integrieren und mit neu geschaffenen Web Services zu einer kohärenten, leicht zu nutzenden Lernumgebung zu verbinden. Web Ser-

vices sind selbstbeschreibende Softwarekomponenten, die automatisch andere Web-Komponenten identifizieren und mit ihnen zusammenarbeiten können, um sehr komplexe Aufgaben über das WWW zu erfüllen.

Die Architekturen basieren auf offenen Standards wie eXtended Markup Language (XML) und Simple Object Access Protocol (SOAP), um die Kommunikation zwischen Web Services zu realisieren, die selbst auf XML basieren. Zusätzlich werden andere offene Standards eingesetzt wie “Web Services Description Protocol” (WDSL) für die Definition der Business Funktionen eines Webservers, “Universal Description, Discovery and Identification” (UDDI) für das Erkennen von Services sowie das XML-basierte Framework “Security Assertion Markup Language” (SAML) für den Austausch von Sicherheitsinformationen.

Auf diesem Framework baut die Testbettimplementation auf. Sie wird die applikationsorientierten Interface-Komponenten verwenden, wie sie im Arbeitsgebiet “Standards” (siehe 11.2.8) entwickelt werden, um heterogene Komponenten zu integrieren.

Die Testbettimplementation wird durch die Entwicklung und Erprobung eines europäischen Single Sign On Systems für den universitären Bildungsbereich ergänzt. Hierbei spielt das Identifikationsmanagement eine Schlüsselrolle. Die Handhabung

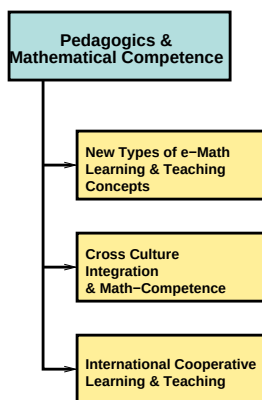
⁴Java 2 Platform, Enterprise Edition, abgekürzt J2EE, ist ein Standard, um mit modularen Komponenten verteilte, mehrschichtige Anwendungen zu entwickeln. J2EE setzt auf bereits etablierte Standards wie z.B. JDBC oder CORBA auf und ermöglicht dem Entwickler den Zugriff auf weitere Funktionalitäten wie z.B. Enterprise Java Beans, Java Servlets, JSP und XML (Definition nach [aka]).

von Fragen wie Identitätsnachweis, Anonymität und Privatsphäre, intellectual Property, Copyright und ethische Standards üben hier auf administrativer Seite einen entscheidenden Einfluss aus. Die wesentlichen Aspekte ergeben sich jedoch aus Sicht des Anwenders: Wie kann eine einzelne, leicht handhabbare “Internet-Identität” geschaffen werden, die über verschiedene Systeme hinweg existiert und die Sicherheit seiner persönlichen Informationen garantiert, die unauthorisierte Nutzung von Ressourcen im Internet verhindert und die Rechte des geistigen Eigentums schützt, um die Verletzung eines “digitalen” Copyrights zu unterbinden.

Eine “Netzwerk-Identität” bildet die Grundlage, um nutzer-zentrierte Internet-Dienste zu ermöglichen. Bildungseinrichtungen können damit die verschiedenen verstreuten Daten ihrer Nutzer effektiver bündeln, um den verschiedenen Gruppen wie Studierenden, Wissenschaftlern, Mitarbeitern und Alumni auf sie abgestimmte Dienste anzubieten. Das Zusammenführen von Nutzerinformationen über das gesamte Netz hinweg gestattet die Schaffung eines persönlicheren Zuganges, über den sich der Einzelne identifizieren kann.⁵

⁵Dieser Textabschnitt (Kap. 11.2.3) wurde für die Antragstellung des EU-Antrages “Multiverse” gemeinsam mit W. Schäfer (Universität Paderborn) formuliert.

11.2.5 Pädagogik & mathematische Kompetenz



Neue Erkenntnisse über Erziehung und Lernen finden nur sehr langsam ihren Weg in die universitäre Lehre. IuK Technologien werden jedoch zunehmend auch in der Lehre eingesetzt. Dort finden sie besonders zur Unterstützung (neuer) pädagogischer Konzepte wie projekt-basiertem, problemorientierten und kooperativem Lernen ihre Anwendung. Diese Entwicklungen wirken sich auch auf die mathematische Ausbildung aus.

Lehrer haben traditionell ihre eigenen Methoden, um Mathematik zu unterrichten. Während der letzten Jahrzehnte basierte die zu Grunde liegende Pädagogik darauf, dass der Lernende vom Lehrer als Experten, der Wissen frontal darstellt, lernt und dieses in Übungen individuell anwendet und vertieft. Es wachsen jedoch neue Genera-

tionen von Studierenden heran, geübt im Umgang mit digitalen Medien, die das Beschaffen von Informationen je nach Bedarf – und damit keine Wissensanhäufung – gewohnt sind. Die meisten Studierenden (vor allem unter den reinen Anwendern) betrachten Mathematik an sich als nicht interessant genug, um sich in traditioneller Weise ein umfangreiches mathematisches Grundwissen zu erarbeiten, das bei Bedarf abgerufen werden kann. Hohe Abbrecherraten unter den Studierenden lassen sich unter anderem auch darauf zurückführen. Andererseits fordert eine Wissensgesellschaft die Fähigkeit, kreativ zu denken, sich rasch neues Wissen zu erarbeiten und neues Wissen zu produzieren. Gerade die kreative Anwendung von Wissen kann jedoch nicht an Hand streng vorgegebener Strukturen geübt werden, die einseitig auf die Vermittlung spezieller Inhalte fokussiert sind – ein solcher Ansatz geht zu Lasten eines tiefen Verständnisses für die Konzepte der Mathematik und ihres Potentials. Legt man Wert auf Kreativität in der mathematischen Ausbildung, muss man eine gewisse Vielfalt und Ungewissheit beim einzelnen Fachwissen akzeptieren. Diese wird jedoch durch den Erwerb von Methoden und die Fähigkeit, neues Wissen sich schnell selbst zu erwerben, mehr als ausgeglichen. Für die universitäre Ausbildung bedeutet dies, dass pädagogische Ansätze angepasst, neue Formen des Wissenserwerbs, der Wissensverteilung – insbesondere nicht-lineares Lernen – und neue Arten der Bewertung von erworbenem Wissen und Fähigkeiten eingeführt werden müssen.

In “Multiverse” sollen neue pädagogische Konzepte der mathematischen Ausbildung an Universitäten entwickelt und umgesetzt werden. Der Einsatz erfolgt dabei an sehr unterschiedlichen Universitäten in den verschiedenen Ländern der beteiligten Partner. Dabei werden flexible multimediale Materialien für die Mathematikausbildung entwickelt, die an vielen Universitäten quer über Europa eingesetzt werden können. “Multiverse” wird ein pädagogisches Konzept einführen, das auf kreatives Denken und Lernen auf hohem Niveau abzielt. Dies schließt die Implementation von kontext-orientierten Inhalten, problem-basiertem, kooperativem Lernen und Prinzi-

prien nicht-linearen und über Kulturgrenzen hinwegreichenden Lernens ein. Virtuelle Wissensräume unterstützen diese virtuelle Lerner-Gemeinschaft, in der den Studierenden und den Lehrenden neue Rollen und Funktionen zukommen. Die Lehrenden werden mehr zu Moderatoren, während die Studierenden bereits frühzeitig in einem Lernumfeld auch als junge Experten einbezogen werden, die Kompetenzen entwickeln und Erkenntnisse unter Gleichgestellten über ganz Europa teilen. Sie werden zu aktiv Lernenden, die durch komplexe mathematische Probleme herausgefordert werden und gemeinsam nach Lösungen suchen, die nicht auf eine Weise vorgegeben sind.

Die Entwicklung neuer pädagogischer Konzepte für die Mathematikausbildung an Universitäten umfasst:

- **Realistische mathematische Ausbildung**
Für die Entwicklung neuer mathematischer Konzepte in der universitären Mathematikausbildung werden die Erkenntnisse und Erfahrungen des Freudenthal Institutes (FI) in den Niederlanden genutzt. Das FI hat das pädagogische Konzept der sog. “Realistischen mathematischen Ausbildung” entwickelt. Es basiert auf der Idee, dass Studierende angeleitet werden sollen, um Mathematik “wiederzuentdecken”, indem sie sie selbst “betreiben” und sich damit befassen, sinnvolle Probleme zu lösen. Ausgehend von kontext-bezogenen Lösungen entwickeln die Studierenden schrittweise mathematische Werkzeuge und Verständnis auf einem eher formalen Niveau.
- **Problem-basiertes Lernen**
Problem-basiertes Lernen ist ein didaktisches Konzept, das die Verwendung von realen Alltagsproblemen in den Vordergrund stellt. Nicht die abstrakte Theorie, sondern das konkrete Problem aus dem Alltag bildet hier den Ausgangspunkt. Die Theorie wird zur Lösung eines konkreten Problems herangezogen, nicht zur Behandlung der allgemeinen, abstrakten Situation. Die Verwendung realer und komplexer Probleme motiviert die Lernenden und führt sie zu einem höheren Verständnis.
- **Kooperatives Lernen**
Das gemeinsame Lösen mathematischer Probleme in Gruppen unterstützt das aktive Lernverhalten der Lernenden und fördert ihre Motivation. Kooperatives Lernen kann unterschiedlichste Gestalten annehmen, wobei der Kernpunkt immer das Lernen als “sozialer Prozess” ist. Im allgemeinen existiert für ein mathematisches Problem nicht eine “richtige” Lösung, so dass es wichtig und interessant ist, verschiedene Herangehensweisen zu vergleichen. Beim kooperativen Lernen wird gerade die Entwicklung verschiedener Lösungsansätze und ihr Vergleich gefördert.
- **Nicht-lineares Lernen**
Im theoretischen Ansatz des “brain-based learning” betrachtet bildet das menschliche Gehirn ein komplexes Netzwerk aus Neuronen, das auf hochgradig nicht-lineare Weise arbeitet. Gemäß dieser Lerntheorie sollten Lernprozesse

darauf abgestimmt geplant und an das neuronale Netzwerk und die kognitiven Schemata im Bewusstsein des Lernenden angepasst werden; denn sie bestimmen, wie mathematische Konzepte konstruiert werden. Insbesondere Mathematik kann der Untersuchung des nicht-linearen Lernens dienen, denn Mathematik beschäftigt sich gerade mit dem Auffinden von Problemlösungen durch Anwenden von assoziativem und kreativem Denken. Durch einen nicht-linearen Zugang wird das kreative Denken am besten unterstützt.

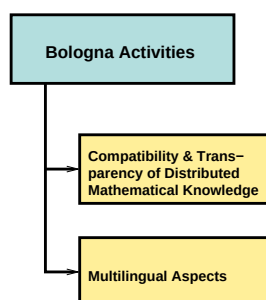
Untersuchungen der Kompetenzen, die in den praktischen Anwendungsgebieten der Mathematik wie etwa Natur- und Ingenieurwissenschaften benötigt werden, zeigen, dass die fachliche Wissensbasis allein unzureichend ist. Benötigt werden Schlüsselkompetenzen wie der “vernünftige und kritische Gebrauch analytischer Methoden und Verfahren” und “Denken vom höheren Standpunkt”, “fortwährendes selbstorganisiertes Lernen”, das starke Verbindungen zu mathematischen Konzepten und Tätigkeiten erfordert (vergl. Kap. 2.1)

Für den Einsatz von IuK-Technologien werden nicht nur technische Fähigkeiten benötigt. Vielmehr müssen ihr Einsatz und die Bewertung verschiedener Werkzeuge in sinnvoller und vernünftiger Weise geplant, die Ergebnisse angemessen und kompetent interpretiert sowie mögliche Alternativen diskutiert werden. Rein rechnerische Fähigkeiten oder sinnlose praktische Modellierungsbeispiele erzeugen noch kein mathematisches Verständnis darüber, wie Werkzeuge intelligent und angemessen eingesetzt werden, oder wie ein höheres mathematisches Meta-Wissen entwickelt werden kann: Mathematische Kompetenzen wie rechnerische Fähigkeiten und mathematische literacy konzentrieren sich auf die exemplarische Funktion des Inhalts beim selbstgesteuerten Lernen.

Reformaktivitäten zielen zusätzlich auf die Verbesserung der Lehr-/Lernbedingungen an den Universitäten und eine Beendigung des ineffektiven Unterrichts ab, der aus reiner Vorlesung und unreflektierter Wiederholung bis hin zum Memorieren in Prüfungen besteht.⁶

⁶Dieser Textabschnitt (Kap. 11.2.5) wurde für die Antragstellung des EU-Antrages “Multiverse” gemeinsam mit W. Veen (Delft University of Technology) und C. Keitel (FU Berlin) formuliert.

11.2.6 Bologna-Aktivitäten



Auch wenn es leicht verständlich ist, wie die Verwendung der Neuen Technologien ein einzigartiger Weg sein können, das Erlernen von Mathematik in Europa zu standardisieren und zu demokratisieren, sobald sie einmal in ganz Europa zur Verfügung stehen, gibt es einige Schwierigkeiten, die eng mit der europäischen Vielfalt verknüpft sind.

Europa ist durch eine Vielzahl von Kulturen charakterisiert, deren Unterschiede sich auch in der Unterrichtung von Mathematik widerspiegeln. Im Gegensatz dazu stellen Forschungseinrichtungen ein einheitlicheres Um-

feld für die Spitzenforscher dar, die an ihnen arbeiten. Beispielsweise haben Länder wie Deutschland, Frankreich und Großbritannien, die eine sehr wichtige Rolle bei der Entwicklung der mathematischen Wissenschaften spielten, sehr unterschiedliche Zugänge zur Mathematikausbildung entwickelt. Weniger leicht erkennbar, aber mindestens ebenso wichtig (und vielleicht als eine direkte Folge dieses letzten Punktes) stellt sich diese Vielfalt aus Sicht der Studierenden dar: Verschiedene Lerntypen profitieren von einzelnen Unterrichtsmethoden verschieden stark. Während der eine etwa einen abstrakteren Zugang bevorzugt, profitiert der andere eher von einer ersten heuristischen Herangehensweise. Eines der Hauptanliegen von “Multiverse” ist es, diese verschiedenen Herangehensweisen beim Erlernen von Mathematik zu berücksichtigen.

Es kann nicht das Ziel sein, eine standardisierte Vermittlung von Mathematik in ganz Europa einzuführen, da das wahrscheinlichste Ergebnis die Einigung auf den kleinsten gemeinsamen Nenner sein würde. Ganz im Gegensatz dazu muss die Vielfalt der verschiedenen Unterrichtsmethoden genutzt werden, indem wir sie kompatibel machen und eine Umgebung schaffen, in der sie sich gegenseitig befruchten. Dazu ist ein vielfältiges (mehrschichtiges) und gut organisiertes (hierarchisches) virtuelles Wissenssystem zu entwickeln, das auf Mathematik und ihre Anwendungen ausgerichtet ist. Ein solcher “virtueller Wissensraum” wird dann für jedermann zugänglich sein. Mit all dem Wissen, das gemeinsam verfügbar gemacht wird, ist zu erwarten, dass die Mobilität (sowohl von Studierenden als auch von Lehrenden) als Folge davon gefördert wird und dass so die Kooperation zwischen den verschiedenen europäischen Universitäten im Ausbildungsbereich nachhaltig gestärkt wird.

Die virtuellen Umgebungen müssen die notwendige Flexibilität sicherstellen, um eine weit verbreitete Akzeptanz und damit Verbreitung zu erreichen. Dies erfordert jedoch ein gemeinsam akzeptiertes Ziel, das präzise beschrieben sein muss, Richtlinien für die Projektentwicklung, Werkzeuge, die einen unmittelbaren, nicht-diskriminierenden Zugang ermöglichen, eine dynamische Struktur und ein flexibles Management, das aktiv mit Veränderungen in der Technologie und im Wissen umgeht. Unter all diesen Voraussetzungen ist zu hoffen, dass ein solches Projekt aktiv

zur Schaffung eines europäischen Ausbildungsraumes beitragen wird, der durch die Bologna-Deklaration angestoßen wurde.

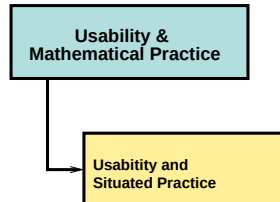
Dazu muss ein Referenzsystem mathematischer Inhalte ausgearbeitet werden, das eine genaue Interpretation zur Anrechnung von Leistungspunkten (ECTS) – einem Eckstein der Bologna-Erklärung – erlaubt. Hierbei darf nicht nur der reine Wissenserwerb einfließen, sondern es muss auch die Fähigkeit zur Anwendung mathematischer Werkzeuge (operability) berücksichtigt werden. Es müssen Standards gesetzt werden, die weite Akzeptanz im gesamten europäischen Ausbildungssystem erfahren. Diese Standards müssen von allen Teilnehmern akzeptiert und auf jeder Entwicklungsstufe von “Multiverse” implementiert werden. Dies macht es nötig, Richtlinien zu definieren, die die Kohärenz und die Kompatibilität jedes vorgeschlagenen elementaren Inhaltes sicherstellen – unabhängig vom Standort und Hintergrund seines Entwicklers. Der Zugriff auf alle Elemente muss innerhalb von “Multiverse” so gestaltet werden, dass keine Barrieren durch unterschiedliche Sprachen entstehen. Es muss ein multilinguales Lexikon entwickelt werden, das nicht nur Übersetzungen in den verschiedenen Sprachen der Europäischen Gemeinschaft anbietet, sondern auch Handhabungsanweisungen unter Berücksichtigung kultureller Unterschiede gibt.

Die Ziele von “Multiverse” beziehen alle Studierenden ein, die an Mathematik, Natur- und Ingenieurwissenschaften interessiert sind. Dazu müssen Werkzeuge entwickelt werden, die mathematisches Wissen unter Berücksichtigung ganz unterschiedlicher Zugänge implementieren. In “Multiverse” müssen diese Zugänge deshalb von heuristischen Betrachtungen und Beispielen bis hin zu vollständig abstrakten Darstellungen reichen. Da Mathematik für die Naturwissenschaften die Schlüsselsprache darstellt, werden insbesondere Beispiele aktueller Modellierungen realer Probleme verwendet. Es ist von wesentlicher Bedeutung, dass den Studierenden die Möglichkeit gegeben wird, in mathematische Themen, die sie nicht verstehen, “hineinzuzoomen”, um ihnen Beispiele und Erläuterungen zur Klärung bestimmter Aspekte zugänglich zu machen. Dadurch wird ein gleichwertiger und kompatibler Zugang zu Wissen möglich – unabhängig von der Vorbildung und der Verbreitung des Wissens. Die “Kluft” zwischen den Erfahrungen von Ingenieuren und Mathematikern werden durch den Einsatz einer experimentellen Komponente, wie sie virtuelle Labore bieten, überwunden. Dadurch wird mathematisches Verständnis erhöht, und die Mathematik wird vom Status eines reinen Rechenwerkzeuges gelöst.

Es ist zu beachten, dass viele Aspekte von “Multiverse” leicht an andere Wissenschaften angepasst werden können. Zusätzlich zu seinem Interesse an mathematischer Bildung kann “Multiverse” als Eckstein und Leitprojekt für eine allgemeine europäische Bildung angesehen werden, die einen festen Rahmen für zukünftige Forschung im Bildungsbereich gibt.⁷

⁷Dieser Textabschnitt (Kap. 11.2.6) wurde für die Antragstellung des EU-Antrages “Multiverse” gemeinsam mit R. Seneor (Ecole Polytechnique Paris) formuliert.

11.2.7 Usability & Mathematical Practice



Der erfolgreiche Einsatz von Computersystemen basiert zu einem großen Teil auf der Identifizierung geeigneter funktioneller Anforderungen und einem guten Design des User-Interfaces, um den Benutzerbedürfnissen zu genügen. Produktivität und Usability sind also mit einander streng verknüpft. Dies gilt nicht nur für die traditionelle Arbeitspraxis, sondern auch für das Unterrichten und Lernen selbst. Insbesondere beim Einsatz digi-

taler Medien müssen diese Faktoren ernsthaft berücksichtigt werden – zusätzlich zu pädagogischen und didaktischen Methoden.

Grob gesprochen zentriert sich Usability auf den einzelnen Anwender, auf Mensch-Computer-Interaktionen und auf eine individuelle Wahrnehmung und das zugehörige wissenschaftliche Bezugssystem wie etwa Denkmodelle. Der Computer wandelt sich jedoch mehr und mehr vom interaktiven Gerät hin zu einem kooperativen Medium. Kooperation in diesem allgemeinen Sinn bezieht alle asynchronen und synchronen Formen sozialer Interaktion ein, die durch den Einsatz von Computern möglich sind. Gleichzeitig verschiebt sich im Bereich eLearning die Hauptbetonung von individueller Lernsoftware immer mehr hin zu neuen Möglichkeiten kooperativer sozialer Interaktion, die durch den Einsatz von Computernetzwerken ermöglicht werden. Daher werden die Mittel und Methoden zum Erlernen sozialer Interaktion im Zusammenhang mit dem Gebrauch digitaler Medien höchst wichtig. Heutzutage integrieren Computersysteme hauptsächlich individuelle und kooperative Funktionen. Verteilte kooperative Arbeitsräume und ebenso Wissensräume sind typische Formen einer solchen Integration.

Zwei wesentliche Probleme müssen hierbei berücksichtigt werden. Erstens müssen die technische Entwicklung und analytische Untersuchungen stark miteinander verknüpft werden. Die Verwendung neuer kooperativer Techniken wie etwa E-Kreide und verteilte gemeinsame Whiteboards erfordern in besonderer Weise die Kombination verschiedener Formen der Analyse und differenzierte Laborausstattung, um innovative Lösungen zu testen. Zweitens müssen Bezugssysteme verschiedener Disziplinen integriert werden. Individuelle Wahrnehmung und situationsbedingte Handlung müssen einander ergänzen, um die geeigneteste Lösung bei der Berücksichtigung aller relevanten Faktoren zu finden.

Der Entwurf einer erfolgreichen technischen Plattform zur Unterstützung der Mathematik hängt davon ab, ein genaues Verständnis davon zu haben, wie Mathematiker arbeiten. Dies ist keineswegs so offensichtlich wie es erscheinen mag. Während die Regeln und Beweise in der Mathematik einer genauen Logik folgen und während die Elemente, die mathematische Objekte ausmachen, sehr klar sein mögen, folgt daraus nicht, dass Konzeptbildungen und Vorstellungskraft der Mathematiker sich in diesen Objekten direkt widerspiegeln oder mit ihrer letztendlichen Anordnung und Abfolge

in Einklang stehen. Die Tätigkeit, “Mathematik zu betreiben”, ist “fließend”, der Mathematiker “spielt” mit den Objekten in einer Weise, die nicht unbedingt immer mit den logischen Strukturen im Einklang steht.

Ähnlich verhält es sich, wenn Mathematiker zusammen arbeiten und lernen. Dabei bedienen sie sich oft Formen, die nicht im Einklang mit der Strenge der Disziplin zu stehen scheinen. Beispielsweise verwenden Mathematiker Abkürzungen, die unvollständig oder “semi-korrekt” sein können, die ihnen jedoch im Zusammenhang völlig klar sind; sie notieren ggf. lediglich Fragmente eines Problemszenarios, das gelöst werden soll, und lassen dabei alles andere als “selbstverständlich” weg. Zusätzlich kann dies sehr unterschiedlich in verschiedenen Bereichen der Mathematik, bei verschiedenen Personen und in unterschiedlichen Phasen eines Problem es geschehen.

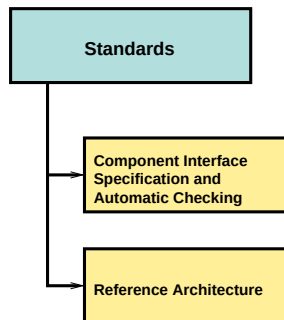
Diese Prozesse müssen jedoch nicht für immer verlorengehen als eine Art “unergründliches Geheimnis”. Wir bezeichnen sie als “mathematische Practice”, und sie sind bis zu einem gewissen Grad der Beobachtung zugänglich, beispielsweise bei Gesprächen und dem üblichen Gedankenaustausch, den Mathematiker untereinander pflegen, durch die Objekte, die sie zeichnen, durch die Gesten, die sie während einer Darlegung oder Erläuterung machen, durch die Art der Missverständnisse, die dabei auftreten, und durch die Art, wie sie gelöst werden.

Unterrichten und Erlernen von Mathematik mag danach streben, sich näher an der “reinen” logischen Struktur zu orientieren, weil sie sich direkter auf die Normen der Disziplin bezieht, aber es wird immer bis zu einem gewissen Grade ein Kompromiss zwischen “formalen” und “informalen” Tätigkeiten bleiben. Um ein “voller” Mathematiker zu sein, muss man in mancher Hinsicht lernen, in diesen beiden Welten zu Hause zu sein.

Dies hat Auswirkungen auf das Design eines technischen Supports. Beispielsweise kann es als gute Idee erscheinen, Systeme zu haben, die eine bestimmte Struktur oder einen logischen Zusammenhang erzwingen. In der Praxis jedoch kann ein solches System es unmöglich machen, sich mit anspruchsvoller Mathematik zu beschäftigen und sie zu unterrichten. Es bedarf einer sorgfältigen Untersuchung, welche vorgegebenen Regeln eines Systems hilfreich bzw. hinderlich und unter welchen Umständen.⁸

⁸Dieser Textabschnitt (Kap. 11.2.7) wurde für die Antragstellung des EU-Antrages “Multiverse” gemeinsam mit D. Shapiro (University Lancaster) formuliert.

11.2.8 Standards



Heutzutage sind Softwaresysteme oft riesige monolithische Programme mit beschränkter Funktionalität. Die unterstützten Funktionen sind nicht sauber getrennt und hängen sehr voneinander ab. Das Hinzufügen neuer oder die Änderung bestehender Funktionalitäten ist oft sehr schwierig oder gar gänzlich unmöglich. Weiter können bereits existierende Systeme, die erforderliche Funktionalitäten teilweise realisieren, auf Grund technischer Inkompatibilitäten oder wegen fehlender Schnittstellen nicht in neue Systeme integriert werden.

Um diese Probleme zu vermeiden, kann ein System in klar getrennte funktionelle Teile aufgeteilt werden, von denen jedes durch eine getrennte Softwarekomponente implementiert wird. Die Komponenten wechselwirken über wohldefinierte Schnittstellen, um das Funktionieren des gesamten Systems zu gewährleisten. Bestimmte Systemteile (Komponenten) können unabhängig voneinander ausgetauscht werden ohne oder mit nur geringem Einfluss auf andere Teile (solange ihre Schnittstellen unverändert bleiben).

Die Integration existierender und neu zu entwickelnder heterogener Softwarekomponenten stellt eine hauptsächlich technische Herausforderung bei der Implementation von "Multiverse" dar. Das "Multiverse"-Projekt befasst sich mit dem Integrationsproblem durch (1) Entwicklung einer Referenzarchitektur, die die funktionalen Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Komponententypen beschreibt, (2) durch Definition von Protokoll- (oder Interface-) Spezifikationen für eine standardisierte Kommunikation zwischen Komponenten und (3) durch Bereitstellung automatisierter Checks von Interface-Spezifikationen in existierenden Softwarepaketen, die in die "Multiverse"-Umgebung integriert werden sollen.

Eine Referenzarchitektur muss Software-Engineering Prinzipien berücksichtigen, etwa eine Schichtenarchitektur, die die Trennung der Benutzerschnittstelle von der Applikationslogik beinhaltet, Modularität, Kapselung und Zugriffsbeschränkung, Kohäsion, freie Kopplung, Skalierbarkeit, Verwendung offener Standards etc. Im Zusammenhang mit diesem Projekt muss zusätzlichen Anforderungen Genüge geleistet werden. Die Komponenten müssen in einer Weise integriert werden, dass sie zusammen einen funktionalen Teil eines Gesamtsystems darstellen. Der technische Fortschritt und sich ändernde Anforderungen werden sowohl das Ersetzen existierender Komponenten als auch die Integration neu zu entwickelnder Komponenten erfordern. Diese Änderungen müssen ohne zu starke Wechselwirkungen mit anderen Komponenten durchführbar sein. In Organisationen existieren oft bereits Systeme, die bestimmte Teile neu erforderlicher Funktionalitäten vorsehen. Diese Systeme sollten integriert werden, insbesondere wenn sie riesige Datenmengen verarbeiten, z.B. das Mitgliederverzeichnis einer Organisation. Die Daten sollten nicht noch einmal in

einem neuen System gespeichert werden, um Redundanz und Konsistenzprobleme zu vermeiden.

Damit die verschiedenen Komponenten eines Systems zusammenarbeiten können, müssen die von den Komponenten angebotenen Schnittstellen klar definiert werden. Außerdem muss ein Protokoll für die Kommunikation von Komponenten spezifiziert werden, das den Zugriff auf die Schnittstellen anderer Komponenten ermöglicht. Ein solches Protokoll sollte auf offenen Standards basieren, die weit bekannt und gut dokumentiert sind. Um die Integration bereits existierender Komponenten oder gänzlich ererbter Systeme zu unterstützen, sollten die Protokollstandards so unabhängig wie möglich von spezifischen Programmiersprachen, Plattformen oder Betriebssystemen sein. Damit können existierende (vererbte) Systeme erweitert werden, um die Kommunikationsprotokolle zu unterstützen.⁹

⁹Dieser Textabschnitt (Kap. **11.2.8**) wurde für die Antragstellung des EU-Antrages “Multiverse” gemeinsam mit R. Keil-Slawik und W. Schäfer (Universität Paderborn) formuliert.

TEIL E

Kapitel 12

IT-Technologien im universitären Umfeld

IT-Technologien und multimediale Plattformen spielen in modernen Universitäten eine immer größere Rolle. Dabei umfasst ihr Einsatz Forschung und Lehre, Studienorganisation und Verwaltung sowie Informationsmanagement und modernes Bibliothekswesen. Zunehmend wird außerdem deutlich, dass die Quervernetzungen dieser Gebiete koordiniert und gesteuert werden müssen.

Wir geben in diesem Kapitel eine Übersicht über die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten der Neuen Technologien in den Hochschulen. Dazu fassen wir zunächst die derzeitige Situation in Lehre und Studienorganisation zusammen (Kap. 12.1), skizzieren den Einfluss der Neuen Medien in der Forschung und als Instrument der Forschung (Kap. 12.2), geben dann einen Abriss der derzeitigen IT-Situation in der universitären Verwaltung (Kap. 12.3) und enden mit einer Betrachtung des Bibliothekswesens (Kap. 12.4).

Dieses Kapitel wird ergänzt durch die Betrachtung der notwendigen Organisationsstrukturen (Kap. 13, Kap. 14).

Der vorliegende Text basiert in wesentlichen Teilen auf einer Studie (s. [Tho04]), die für die TU Berlin im Rahmen einer Zielvereinbarung mit dem 1. Vizepräsidenten von der Autorin gemeinsam mit Frau S. Morgner, R. Seiler und C. Thomsen (Fakultät II, TU Berlin) erarbeitet wurde. Zusätzlich fließen Teile der Konzeption einer IuK-Struktur (s. [Jes04g]) ein, die für die TU Berlin im Rahmen der Ausschreibung "Leistungszentren für Forschungsinformationen" der DFG wiederum gemeinsam mit R. Seiler und C. Thomsen (Fakultät II, TU Berlin) entwickelt wurde.

12.1 IT-Technologien in Lehre und Studienorganisation

Wir wollen in diesem Abschnitt aufzeigen, ob und inwieweit die Herausforderung der Integration von Multimedia in Lehre und Forschung an Universitäten bereits erfolgt ist und wie Multimedia in die Gesamt-Informations- und Kommunikationsstruktur eingebettet ist. Schließlich wollen wir – soweit möglich – zukunftsweisende Trends und Tendenzen aufzeigen, die voraussichtlich die nächste Generation multimedialen Einsatzes in Lehre und Forschung begleiten werden.

Eine Erkenntnis soll dabei deutlich vorweg genommen werden: eLearning ist erst wenige Jahre alt, und für eine so junge Unterrichtsform dürfen noch keine ausgereiften didaktischen Modelle erwartet werden, die das Potential von Multimedia optimal ausnutzen. Eines ist jedoch deutlich erkennbar: so groß die Zahl an eLearning-Materialien, eLearning-Plattformen und eLearning-Initiativen ist, so gering ist derzeit die systematische Erforschung und Erprobung sinnvoller eLearning-Konzepte. Als Resultat wird heute in den allermeisten Fällen das Potential von eLearning und eTeaching absolut unzureichend genutzt. An den meisten Orten beschränkt sich eLearning auf die elektronische Vermittlung von Skripten, Übungen und allenfalls eine webgestützte Leistungskontrolle.

Organisatorisch unterscheiden wir verschiedene Entwicklungsgenerationen und Stufen organisatorischer Einbettung von eLearning:

12.1.1 Die erste Generation der eLearning-Technologie

Die erste Generation der eLearning-Technologie umfasst vor allem die Bereitstellung und Verteilung von Informationen (WWW-Sites mit Angaben zu Ort, Zeit, generellem Ablauf einer Lehrveranstaltung) und statischen Lehr-Dokumenten (Skripte, Übungsaufgaben, weitere Lehrtexte). Der Umfang des Einsatzes solcher DokumentManagementCenter, oftmals als “eLearning-Plattformen” bezeichnet, ist dabei durchaus unterschiedlich: teilweise werden nur einzelne ausgewählte Materialien und Informationen bereitgestellt, in einigen Fällen werden wiederum vollständige Vorlesungsinhalte abgedeckt.

Mit klassischen eLearning-Plattformen (einige weitverbreitete sind WebCT, Blackboard und Clix) können bestimmte Arbeitsabläufe von Universitäten sowie Dokumentenverwaltung leicht, allerdings auch verhältnismäßig teuer durchgeführt werden. Es handelt sich hier um weitgehend geschlossene Software, die externe Tools, zusätzliche Software etc. nur schwer bis gar nicht integrieren kann.

Die Tools und Technologien dieser Entwicklungsstufe müssen kritisch gesehen werden: Sie lassen mehrheitlich eine eigenständige Auseinandersetzung nur begrenzt zu, weil die Lernenden nicht – über das reine gemeinsame Editieren von Texten hinaus – (inter-)aktiv auf die Materialien einwirken, sie verändern oder re-arrangieren können

– der Zugriff auf Dokumentenbestände wird vielfach mit der Aneignung von Wissen verwechselt (vergl. [Eng95]).

Diese “First-Generation”-Methoden werden heute nahezu weltweit – mindestens in Teilen der Lehrveranstaltungen einer Universität – eingesetzt. Sie dienen oftmals auch der Veranstaltungs- und Studienorganisation. Umgekehrt muss auch festgestellt werden, dass die überwiegende Anzahl der von uns untersuchten Universitäten im In- und Ausland heute bestenfalls exemplarisch über diese erste Stufe multimedialer Lehr- und Lerntechnologien hinauskommt.

12.1.2 “Next Generation” der eLearning-Technologie

Das Potential der Integration von Multimedia in die Lehre ist sehr viel größer und wird durch die Technologien der *ersten Generation* längst nicht ausgeschöpft: Interaktivität, Interoperabilität, Re-Usability und Flexibilität der Inhaltskomponenten sowie User-Adaptivität sind die Herausforderungen, aber auch die Chancen.

“Next Generation” der eLearning-Technologie bezeichnet somit hochgradig interaktive, adaptive Lehrmaterialien, die Realisierung explorativer Lehr- und Lernszenarien, multimediale Unterstützung kommunikativer und kooperativer Lehr- und Arbeitsprozesse und die Möglichkeit zur aktiven Bearbeitung und Veränderung multimedialer Objekte (vom “statischen Objekt” zum “dynamischen Prozess”).

Die “nächste Generation” der eLearning-Technologie könnte im Ansatz wie folgt beschrieben werden: Selbst-administrierte virtuelle Wissensräume erlauben kooperatives Erstellen, Manipulieren und Organisieren komplexer Dokumente, auch über geographische Grenzen hinweg. Virtuelle Labore bieten neue Möglichkeiten selbstbestimmten, (inter-)aktiven Lernens. Neue Typen semantischer medialer Objekte schließen Brücken zwischen verschiedenen Repräsentationen und Funktionalitäten des konzeptuell gleichen Objektes. Spezielle Tools erlauben “natürliche” Mensch-Maschine-Interfaces (Audio, Handschrift). Neue Formen von “Knowledge Retrieval Systems” ermöglichen Übersicht und Zugang zu hochgradig granularen Wissensbausteinen und neuartige Darstellungsformen der inhaltlichen Zusammenhänge. Integrative Technologien ermöglichen die Vernetzung verschiedener Einzelkomponenten zu komplexen eLearning-Netzen.

An Hochschulen sind solche Einsatzszenarien heute noch die Ausnahme. Es wird zunehmend deutlich, dass genau hier künftige Entwicklungen ansetzen müssen. Eines der weitestgehenden Projekte im Europäischen Raum ist das an der TU entwickelte Konzept “Multiverse” (Mathematics in Collaborative Virtual Knowledge Spaces), das – positiv vorevaluiert – im Jahre 2004 als *Integrated Projekt* bei der EU beantragt werden wird (siehe [Jes03g], vergl. auch Kap. 11).

12.1.3 Multimedia in der Veranstaltungs- und Studienorganisation

An vielen internationalen Universitäten wird heute die Studienorganisation durch IuK-Technologien unterstützt. Dabei werden – neben einer möglichst vollständigen elektronischen Darstellung der Lehrinhalte – auch Übungen und Leistungskontrollen interaktiv und webgestützt abgewickelt. Teilweise wird darüber hinaus die gesamte Organisation aller Kurse, Vorlesungsverzeichnis, Raumvergabe, Immatrikulation und Teile der Prüfungsleistungserfassung etc. unter entsprechender Eigenbeteiligung der Lehrenden und Lernenden webbasiert durchgeführt.

An deutschen Universitäten fristen diese Möglichkeiten bis heute eher ein Schatten-dasein. Das hat seine Ursache zumindest teilweise in fehlenden Informations- und Kommunikations-Infrastrukturkonzepten, die sich in Deutschland gerade erst *jetzt* im Wandel befinden. Zudem gilt es, die relativ strengen deutschen Datenschutzrichtlinien mit der höheren Effizienz solcher Infrastrukturen in sachgerechten Einklang zu bringen.

12.1.4 Notebook-Universitäten

Notebook-Universitäten sind traditionelle Hochschulen, deren Präsenzlehre insbesondere um *mobile* Lehr- und Lernszenarien erweitert werden ([Tav01]). Die Bezeichnung referiert deutlich den verstärkten Einsatz mobiler Computerausstattung (i.a. wird aber gleichzeitig eine verstärkte Integration moderner Informations- und Kommunikationstechnologien in Lehre und Studienorganisation damit verbunden). Ansatz ist auch hier, dass durch Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien erhebliche qualitative Mehrwerte in der Lehre erreicht werden können, dass die tatsächlich erreichten Verbesserungen aber stark von der *ständigen* Verfügbarkeit von Computern und Computertechnologie abhängen – weshalb diese sicherzustellen ist ([Kra02]).

In Deutschland wurden Notebook-University-Konzepte vor allem durch das BMBF seit Mitte 2002 systematisch gefördert (vergl. S. 35). Im Rahmen von Notebook-University-Konzepten haben sich zunehmend weitreichende Industriekooperationen entwickelt, bei denen der Industriepartner weder ein reiner “Geldgeber” noch ein reiner “Verkäufer” ist, sondern eher ein Partner einer komplexen organisatorischen Aufgabe. Ein entsprechender Ansatz ist auch in IuK-Gesamtmodellen implementieren (vergl. Kap. 13.2.6). International sind ebenfalls Notebook-Universities verbreitet, insbesondere in den USA und in Kanada, an der ETH Zürich in der Schweiz und in verschiedenen Ländern der Middle-East-Region.

12.1.5 Virtuelle Universitäten

Die bekannteste virtuelle Universität ist die 1998 in Phoenix/Arizona gegründete Universität *Phoenix Online*. An dem grundsätzlichen Konzept virtueller Hochschu-

len scheiden sich die Geister – so ist auch nicht verwunderlich, dass Phoenix von einigen als Erfolg (vor allem in wirtschaftlicher Hinsicht), von anderen als gescheitert (vor allem in Hinblick auf das Leistungsniveau) betrachtet wird. Das Niveau der Kursinhalte ist für den wissenschaftlich orientierten Unterricht an einer deutschen Universität unzureichend – allerdings ist in Phoenix die Zielgruppe vielfach eine andere. Außer Phoenix gibt es keine nennenswerten weiteren virtuellen Hochschulen im engeren Sinne. Die Fernuniversitäten (z.B. Fernuniversität Hagen) verwenden zunehmend elektronische Lehrmaterialien und werden – quasi formal – zu “Virtuellen Universitäten”.

12.1.6 Fazit, Trends und Tendenzen

Die gegenwärtig bereits verwendeten eLearning Plattformen und Szenarien gehören fast ausschließlich der ersten Generation an, d.h. sie dienen vor allem einer (mehr oder weniger effizienten) Verwaltung multimedialer Lehr- und Lernmaterialien. Gute, dem Medium angepasste, didaktisch hochwertige Einsatzszenarien sind nur in Ansätzen und an wenigen Orten erkennbar. Dort, wo solche Ansätze bereits gemacht werden, ist die Resonanz unter Studierenden und Lehrenden sehr vielversprechend.

Die Schwächen der *First Generation eLearning Technology* werden immer deutlicher. Insbesondere setzt sich die Erkenntnis durch, dass mit diesen Ansätzen zwar die *Studienorganisation* effizient gestaltet werden kann, dass diese Technologie aber nicht in der Lage ist, den eigentlichen *Lernprozess* zu unterstützen. Gleichzeitig aber wird das eigentliche Potential der Informations- und Kommunikationstechnologien immer deutlicher und wahrnehmbarer, erstens, weil die technischen Möglichkeiten sich weiter verbessert haben, zweitens, weil inzwischen einige Beispiele der “Next Generation” existieren, und drittens, weil eine sehr aktive, weiter wachsende *scientific community* begonnen hat, die Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologien (insbesondere in Bezug auf die Unterstützung von Lernprozessen) wissenschaftlich zu untersuchen und zu untermauern.

Eine immer zentralere Rolle spielen Fragen der *Softwareintegration*. Eine einzelne Lernumgebung wird niemals in der Lage sein, *alles* zu leisten – das Potential der Neuen Medien kann nur dann ideal genutzt werden, wenn verschiedene Tools miteinander kommunizieren können, wenn also Ergebnisse eines Programmes in einem anderen weiter verwendet werden können und Inhaltsbausteine innerhalb verschiedener Lernumgebungen einsetzbar sind (vergl. [Fue00], [Gru93], [Bre90]).

Probleme sind hierbei vor allem das monolithische Softwaredesign von eLearning Software, fehlende Granularität der Inhaltsbausteine und unzureichende Strukturierung sowie die Verwendung statischer typographischer Objekte. Benötigt werden deshalb offene heterogene plattform-unabhängige Portallösungen, Analyse der selbststimmanten Strukturen der Wissensgebiete und interaktive, semantisch kodierte Inhaltselemente (vergl. [Jes03d]).

12.2 IT-Technologien in der Forschung

Die neuen Medien haben den Bereich “Forschung und Entwicklung” bereits nachhaltig verändert: Innovationszyklen haben sich dramatisch verkürzt – begründet durch den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien einerseits, durch den rasanten Fortschritt in der Leistungsfähigkeit mächtiger Softwarepakete andererseits. Es setzt sich national und international die Erkenntnis durch, dass universitäre Forschung nur konkurrenzfähig ist, wenn sie mit dieser Tempoänderung Schritt halten kann. Forschungsorientierte Multimedia-Kompetenz der Wissenschaftler wird zu einer zentralen Bedingung für effiziente Forschungs- und Entwicklungstätigkeit.

Während IuK-Technologien schon seit geraumer Zeit in ihrer Bedeutung als Instrument der Forschung bekannt und anerkannt sind, setzt sich nun langsam die Erkenntnis durch, dass IuK in ihrer Anwendung selbst ein Gegenstand aktiver inter- und multidisziplinärer Forschung sind.

Drei zentrale Aspekte von IT-Technologien als Instrument der Forschung und/oder in der Forschung zeichnen sich derzeit ab:

- **I: IuK-Technologien im Informationsmanagement**
- **II: Multimedialer Einsatz in Forschungsszenarien**
- **III: Multimedia als Forschungsgegenstand**

Im folgenden wollen wir diese Bereiche im Detail beschreiben.

12.2.1 IuK-Technologien im Informationsmanagement

Eine wichtige Voraussetzung für effiziente Forschung ist effizientes Informationsmanagement. Der Einsatz von Multimedia spielt dabei heute eine zentrale Rolle:

- **Zugriff auf wissenschaftlichen Quellen und Daten:**
Kommunikations- und Informationstechnologien sind heute *die* technische Grundlage für den Zugriff auf Publikationen, Forschungsergebnisse, Präsentationen und Dokumentationen (elektronische Bibliotheken, Fachinformationssysteme usw.). Ohne den Zugriff auf solche Informationssysteme, die sich kontinuierlich weiterentwickeln, ist moderne Forschung nicht mehr denkbar (vergl. auch Kap. 12.4 und 13.2.3).
- **Multimediale Kommunikation:**
Multimediale Kommunikation ist zu einem wichtigen Instrument in der wissenschaftlichen Forschung und Entwicklung allgemein geworden (Videoconferencing, verteilte elektronische Blackboards etc.)

- **Forschungskooperation:**

Multimediale Kommunikations- und Informationstechnologien sind heute Voraussetzung für eine effiziente Forschungskooperation (Online-Foren, Video-konferenzen, Workgroup-Software usw.). Sie ermöglichen dabei überregionale, disziplin-, institutions- und grenzüberschreitende Kooperationen in einem Umfang, der mittels klassischer Kommunikationsmethoden nicht erreicht werden kann, und verändern damit Art, Qualität und Quantität von Forschungskooperationen.

Diese Form der multimedialen Kommunikation hat auch einen positiven Einfluss auf internationale Projekte. "Klassische" Kooperationen werden wieder intensiviert, weil die neuen Medien schnelleren Austausch und Zugriff auf Ergebnisse – zeit- und ortsunabhängig – ermöglichen. Ort und Zeitverschiebung des Projektpartners spielen eine immer geringere Rolle.

12.2.2 Multimedialer Einsatz in Forschungsszenarien

Eine sich immer stärker entwickelnde Einsatzrichtung mit großem Potential, insbesondere an der TU, ist Multimedia als aktives Werkzeug in naturwissenschaftlich-technischer Forschung:

- **Experimentelle Forschung in virtuellen Laboren**

Virtuelle Labore ermöglichen experimentelle Forschung ohne geographische oder zeitliche Einschränkungen. Dies verbessert die Forschungsbedingungen für die entsprechenden Fachwissenschaftler. Auch die Interdisziplinarität der Forschung wird unterstützt, denn virtuelle Labore sind – im Gegensatz zu ihren realen Äquivalenten – auch für Wissenschaftler anderer Disziplinen verfügbar. Virtuelle Labore erlauben sicherheitskritische und gefährliche Untersuchungen, die anderenfalls nicht oder nur im geringen Umfang möglich wären, und es lassen sich Versuche und Vorversuche realisieren, die aus Kostengründen anderenfalls nicht oder nur in sehr eingeschränktem Umfang möglich wären.

- **Technologie-Design, Testbeds & Qualitätssicherung**

Bevor neue technologische Entwicklungen im Ingenieurbereich als Prototypen realisiert werden, ist es heute von großer Relevanz, ihre Eigenschaften mittels virtueller Prototypen vorauszubestimmen. Multimediale Repräsentation erlauben dem Forscher, das Verhalten des Systems in unterschiedlichen Situationen und Kontexten zu erproben.

Virtual Realities ermöglichen neue Verfahren und eine neue Qualität von Test-szenarien und damit eine andere Qualität der Forschungsleistung insbesondere beim Übergang von der "Erprobungsphase" einer Technologie zum "Regelbetrieb"¹.

¹Stand der Technik ist dabei heute, einen Mix aus realer und virtueller Umgebung zur Erprobung zu nutzen (Augmented Reality), um die Unsicherheiten der VirtualReality-Szenarien zu reduzieren.

- **Unterstützung der Problemlösung**

Eine integrierte Umgebung von Kommunikationsanwendungen mit virtuellen Laboren und relevanten Informationsdiensten stellt eine wichtige Unterstützung von Problemlösungsprozessen in Forschung und Entwicklung dar.

- **Erweiterung wissenschaftlicher Methodik**

Der Einsatz neuer Medien lässt neue Forschungsmethodiken in traditionellen Fachgebieten entstehen: So erlaubt der Einfluss von Informations- und Kommunikationstechnologien die Erforschung der Mathematik etwa mit Methoden, die bisher den experimentellen Wissenschaftsausrichtungen vorbehalten waren. Die deskriptive Phänomenseite gewinnt an Bedeutung gegenüber der traditionell gepflegten, erklärenden Theorieseite: Vergleichbar mit den großen naturwissenschaftlichen Disziplinen wird nun auch die Mathematik als theoretische *und* experimentelle Disziplin betrieben.

- **Präsentationstechnologien**

Der Einsatz multimedialer Präsentationstechnologien ermöglicht effektive, anschauliche Darstellungen und Dokumentationen von Forschungsergebnissen für unterschiedliche Zielgruppen (Wissenschaftler, Kooperationspartner, Industriepartner, Studierende, Öffentlichkeit).

12.2.3 Multimedia als Forschungsgegenstand

Schließlich wird Multimedia, wegen der mit dem Einsatz verbundenen, weitreichenden Auswirkungen, Chancen und Potentiale, auch selber zum Gegenstand interdisziplinärer Forschung, wie man der u.s. Liste entnehmen kann. Der Multimedia-Einsatz wirft neue Fragen – in verschiedenen Forschungsbereichen – auf, die zunehmend Gegenstand vielfältiger internationaler Forschungsfragen werden:²

- **Informatik**

Es liegt in der Natur der Sache, dass praktisch alle Forschungsergebnisse aus der Informatik direkt oder indirekt Einfluss auf das Medium “Multimedia” nehmen. Umgekehrt induziert aber der Wunsch nach multimedialem Einsatz in der Lehre auch bestimmte Forschungsfragen: So spielt etwa die Konzeption neuartiger Dienste-Infrastrukturen – als Voraussetzung für die Integration von Einzelkomponenten – eine zentrale Rolle. Immer größer werdende Mengen existierender multimedialer Bausteine erfordern eine algorithmische Analyse und eine semantische Beschreibung von Fachinhalten. Die Entwicklung stift- oder audiobasierter, allgemeiner “natürlicher” Eingabetechniken, ist von entscheidender Bedeutung für den Erfolg multimedialer Lehrszenarien, bei denen aktive Auseinandersetzung und Kommunikation im Vordergrund stehen.

Weitere Forschungsfragen stellen sich z.B. im Zusammenhang mit (verteilter)

²Auch die aktuellen Förderprogramme der EU (FP6, NEST u.a.) beweisen das eindrucksvoll.

Produktion multimedialer Inhalte (AuthoringTools), neuen Verfahren web-basierten Testens, Sicherheitskonzepten, mobilen Multimedia-Anwendungen, plattformunabhängigem Softwaredesign, OpenSourceDevelopment etc.

- **Neue Forschungsfragen in den Fachdisziplinen**

Die durch den Einsatz von neuen Medien entstehenden neuen Forschungsmethodiken werfen ihrerseits neuartige Forschungsfragen in den entsprechenden Fachdisziplinen auf: so hat die Integration computergestützter, experimenteller mathematischer Vorgehensweisen die “experimentelle Mathematik” inzwischen zum eigenständigen Forschungsgebiet werden lassen, in das Fragestellungen aus Numerik, Optimierung, Simulation und Visualisierung einfließen.

- **Soziologie**

Zunehmend wächst das Bewusstsein dafür, dass der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien nicht nur eine Reihe von technischen Problemen induziert, sondern vor allem auch Fragen hinsichtlich menschlichen Handelns und Verhaltens aufwirft: Welche Auswirkungen hat ein breiter Einsatz von Multimedia in Lehrkontexten auf das Verhalten der Lehrenden und Lernenden? Welche sozialen Kompetenzen werden dadurch gefördert, mit welchen Problemen und negativen Effekten ist dabei zu rechnen? Wie kann diesen begegnet werden?

Insbesondere auch die als “Usability-Studies” bekannten Untersuchungen in der Soziologie und Informatik nehmen einen breiten Raum ein: Wie müssen Hardware, Software und allgemein die Einsatzszenarien gestaltet sein, damit sie für Menschen gut “nutzbar” sind?

- **Pädagogik & Didaktik**

Die Pädagogik muss sich grundsätzlichen Fragen stellen: Welche (weiteren) Formen multimedialen Einsatzes sind denkbar? Welche Medien (bzw. deren Kombination und Darbietung) sind für welche didaktischen Zwecke geeignet? Welche Themen/Inhalte eignen sich besonders für eine Aufbereitung als multimediales Lernsystem? Welche eher weniger? Welche Zielgruppen werden durch Multimedia in der Lehre erreicht? Wie, wo, in welchem Umfang, ab welchem Alter, in welchem Kontext sollte Multimedia als Lehr- und Lernunterstützung eingesetzt werden? Wie sehen *lernfördernde* Gestaltungen von hypermedialen Lehr- und Lernsystemen tatsächlich aus? Was sind – möglicherweise unerwünschte – Konsequenzen und Seiteneffekte?

- **Fachdidaktik**

In den Fachdidaktiken stellt sich vor allem die Frage, welche möglichen Formen des Multimediaeinsatzes in der entsprechenden Fachdisziplin besonders geeignet sind, die vorrangigen Unterrichtsziele zu erreichen. So werden sich etwa für Förderung und Training des Abstraktionsvermögens in Mathematik und Naturwissenschaften andere multimediale Einsatzszenarien anbieten als z.B. für das Vermitteln gesellschaftlicher Kontexte für Geschichts- und Poli-

tikwissenschaften.

- **Medienwissenschaften**

Welche Interaktions- und Navigationsformen sind bei welchen didaktischen Szenarien empfehlenswert? Welche Rahmenbedingungen (in Bezug auf didaktische, technologische und institutionelle Voraussetzungen) müssen für eine Effektivitätssteigerung und Innovation der Lehre gegeben sein?

- **Kommunikationswissenschaften**

Die auf dem Einsatz der Neuen Medien basierenden Kommunikationsmethoden sind ein zentraler Forschungsgegenstand: Physiologische, psychologische und ergonomische Aspekte der Kommunikation sind dabei mit zu untersuchen. Auch hier spielen die “Usability-Studies” eine wichtige Rolle: Wie kommunizieren Fachwissenschaftler verschiedener Disziplinen über ihren jeweiligen Forschungsgegenstand? Wie müssen also virtuelle Kommunikationsprozesse für diese Gruppen organisiert werden?

- **Wirtschaftswissenschaften & Management**

Software für multimediale Lernszenarien wird vielfach, multimediales Lehr- und Lernmaterial für Universitäten fast ausschließlich an Universitäten entwickelt. Diese “Produkterzeugung” stellt neue Fragen: Wie funktioniert Projektmanagement an Universitäten? Welche Verwertungs- und Vermarktungsformen bieten sich wofür an? Wie können Service- und Wartungsprozesse organisiert werden? Wie erreichen die universitären Prototypen “Produktreife”?

- **Rechtswissenschaften**

Auch in den Rechtswissenschaften stellen sich neue Fragen: Insbesondere sind “Intellectual Properties”- und Copyright-Aspekte bei verteilter kooperativer Entwicklung multimedialer Software und Lerninhalte zu untersuchen. Lizenzierung von Software und Nutzungsrechte sind nationale und internationale Forschungsgegenstände.

12.3 IuK in der Universitätsverwaltung

In den achtziger Jahren hat elektronische Datenverarbeitung flächendeckend in den öffentlichen Dienst und damit auch in die Hochschulen Einzug gehalten. Seit dem Ende der neunziger Jahre werden nicht mehr nur die einzelnen Arbeitsabläufe in der Universitätsverwaltung softwaretechnisch unterstützt, auch alle Kommunikations- und Informationsprozesse sind durch IuK-Technologien bestimmt.

In der frühen Phase dieses Einsatzes sind die meisten Anwendungen zunächst “organisch gewachsen”: die verschiedenen Teilaspekte wurden mit immer anderen Methoden, anderer Software, anderen Systemarchitekturen angegangen. Das Fehlen einheitlicher Richtlinien macht sich auch heute noch in einem ganz erheblichen “Wildwuchs” bemerkbar, weil vielfach noch die alten Systeme im Einsatz sind. Einzelne, isolierte Systeme bestimmen vielerorts noch die Szene.

Das führte – je mehr der Einsatz von IuK-Technologien *alle* Bereiche bestimmte – zu immer größeren Problemen: Inkompatibilität der verschiedenen Anwendungen, Redundanzen und/oder Widersprüchlichkeiten, fehlende Zugriffe auf Informationen, finanzielle und/oder personalwirtschaftliche Ineffizienz waren (und sind teilweise immer noch) das Resultat.

Diese Schwierigkeiten führten zunächst zu einem Versuch der “Vereinheitlichung”: gesucht wurden große, durchgängige Softwarepakete, die auf einheitlichen Systemarchitekturen laufen, die flächendeckend für alle Bereiche einer Verwaltung eingesetzt werden können und die kooperative Nutzung gemeinsamer Daten durch Zentralisierung ermöglichen – kurz: “monolithische Alleskönner – Durchgängigkeit durch Homogenität”.

Die Schwierigkeiten und Probleme dieses Ansatzes sind inzwischen ebenfalls hinreichend erkannt: die Geschäftsprozesse verschiedener Einrichtungen, die Anforderungen und die unternehmenskultur-abhängigen Unterschiede sind zu groß. Eine einzige Software ist nicht in der Lage, mit allen Spezifika umzugehen – wenn aber die IT-Technologien nicht den natürlichen Arbeitsprozessen folgen, sinken Motivation und Engagement der Mitarbeiter erheblich.

Zunehmend setzt sich heute die Erkenntnis durch, dass – statt “einer einzigen Software für alles” – vielmehr die Möglichkeit der freien Komposition von Einzelapplikationen zu einem gemeinsamen Ganzen, die über Schnittstellen miteinander kommunizieren, wichtig ist: sog. “Portaltechnologien” rücken in den Blickpunkt. Dabei können verschiedene heterogene Einzelanwendungen beliebig miteinander kombiniert werden, sofern sie nur gewisse, einheitliche Standards bedienen – die Autarkheit der Entwicklungen ist weitgehend unberührt. Das Portal selber fungiert vor allem als Kommunikationsschnittstelle. Moderne Portalkonzepte zeichnen sich vor allem auch durch ihre Plattformunabhängigkeit aus. Beispiele sind heute u.a. Su-

nOne, IBMWebsphere (kommerziell) und JetSpeed (open source)³. Durchgängigkeit – um bei diesem terminus technicus zu bleiben – wird hier “trotz Heterogenität” erreicht.

Hier zeigt sich auch die Parallele zu der in Kap. 12.1.1 definierten “Erste Generation” und “Next Generation” im eLearning-Bereich: die skizzierte Entwicklung ist nicht auf bestimmte IuK-Aspekte beschränkt, sondern vielmehr kennzeichnend für einen globalen Wandel in der Philosophie modernen Software-Designs.

Die grundsätzlichen Möglichkeiten der Portal-Konzepte sind heute weitgehend erkannt, die Vorteile klar sichtbar. Dennoch setzen sich Portale erst langsam durch: Ursache ist, dass zwar das Konzept von Portaltechnologien verstanden, dass aber die konkreten Implementierungen noch in der Entwicklung sind. Umfangreiche Testphasen und vor allem komplexe Standardisierungsfragen müssen gelöst werden, um die angestrebte “Kombinationsfähigkeit” auch tatsächlich zu ermöglichen.

Auf Portaltechnologien basierende Prozesse gewinnen nochmals an Bedeutung, wenn der Auftrag der EU, verbunden mit dem Stichwort “Bologna-Prozess” ([EU]), tatsächlich nachhaltig realisiert werden soll: Einfacher und unbürokratischer Austausch von Studierenden, Umsetzung von interuniversitären Anerkennungsregeln, Gastimmatrikulation für Einzel-Kurse an geographisch verteilten Hochschulen, Wissenschaftler austauschprogramme, single-sign-on-Modelle etc. werden erst dann im großen Umfang möglich, wenn die bürokratischen Hürden reduziert werden können – und dazu sind Abstimmungen und Spezifikationen von Schnittstellen zwischen den DV-Systemen der verschiedenen beteiligten Hochschulen eine wichtige Grundlage.

Schließlich soll hier nur noch angedeutet werden, dass die Bereiche “Security” und “Privacy” zu einer zentralen Herausforderung moderner Verwaltungen werden. Wer die Mehrwerte von der Informations- und Kommunikationstechnologie ausgiebig nutzen will, kommt nicht daran vorbei, sich auch mit dem möglichen Missbrauch der vorhandenen Informationen und Infrastrukturen auseinanderzusetzen. Wir wollen an dieser Stelle dieses Thema seiner Komplexität wegen nicht inhaltlich vertiefen, aber abschließend bemerken, dass sowohl national als auch international der gesamte IuK-Sicherheitsaspekt als wichtige Aufgabe erkannt wurde, der sich ein modernes IuK-Management stellen muss.

³Portaltechnologien finden derzeit schon im Bereich der Webportale breite Anwendung – hier werden i.w. verschiedene Informationsdatenbestände miteinander vernetzt. Die eigentliche Idee hinter diesem Konzept geht aber weit über die Anwendung hinaus – Kernidee ist die Verzahnung von Einzelapplikationen ganz verschiedenen Typs. Portaltechnologien sind aktuell ein zentraler Forschungs- und Entwicklungsgegenstand in Hochschulen und Industrie, u.a. auch ein wichtiger Forschungsgegenstand des EU-Antrages Multiverse (vergl. Kap. 11).

12.4 IuK in modernen Bibliotheks- und Informationsversorgungskonzepten

Die zunehmende Verbreitung elektronischer Medien und die damit einhergehende Digitalisierung bewirken derzeit tiefgreifende Veränderungen im klassischen Bibliothekswesen. Es setzt sich die Erkenntnis durch, dass sich gerade wissenschaftliche Fachbibliotheken nicht nur über ihren Bestand an Literatur und Fachzeitschriften profilieren können, sondern auch über ihre Kompetenz in der Erfassung und Bewertung von Informationen sowie in der Bereitstellung von Räumlichkeiten, in denen Lernen und Forschen aktiv und passiv unterstützt und gefördert werden.

Schon seit längerem stellen viele Bibliotheken nationaler und internationaler Einrichtungen den Katalog ihres Bestandes online zur Verfügung. Dazu kommt in immer größerem Maße die Verfügbarkeit der Fachliteratur in digitaler Form. Dabei gibt es mehrere Probleme, die in den letzten Jahren in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht und für die teilweise Lösungsmöglichkeiten entwickelt wurden:

In der Vergangenheit war eines der wesentlichen Hindernisse für die einfache und gleichzeitig effiziente Nutzung derartiger Angebote die fehlende Vernetzung der Bibliotheken. Gut sortierte Online-Kataloge ermöglichten die Auswahl aus digital verfügbaren Fachartikeln, jedoch nur über die der eigenen lokalen Bestände, nicht aber über solche anderer Einrichtungen.

Inzwischen werden hier neue Wege beschritten: Das von der DFG und dem BMBF geförderte Projekt "vascoda" (www.vascoda.de) zahlreicher leistungsstarker wissenschaftlicher Bibliotheken und Informationseinrichtungen etwa vernetzt die Bestände von mittlerweile 40 renommierten wissenschaftlichen Einrichtungen über einen "single access point". Hier ist es möglich, nach Fachliteratur und Fachartikeln zu suchen, sie einzusehen oder zu bestellen. "Vascoda" strebt im nächsten Schritt die Internationalisierung dieses Zugangs an und arbeitet bereits an der Realisierung dieses Ziels.

Eine weitere Problemstellung ist das Auffinden relevanter Informationen: Die "Informationsflut" unserer Informationsgesellschaft führt zunehmend dazu, dass das eigentliche Problem weniger Verfügbarkeit von und Zugang zu Informationen und Materialien ist, sondern vielmehr im (fehlenden) Überblick über das vorhandene Material liegt. Sogenannte Information Retrieval Systeme und geeignetes Datenbankmanagement sind daher heute ein wichtiger Forschungsgegenstand im modernen Bibliothekswesen, zusammen mit der Entwicklung geeigneter Metadaten (Dublin Core, RDF von W3C, TEI u.a.) und weiterer Standards (Stanford, University of Michigan u.v.a.).

Eng verknüpft mit der Einrichtung eines zentralen Zugangs für wissenschaftliche Literatur ist aber auch eine rechtliche/finanzielle Problematik. Viele Fachjournale werden von renommierten Verlagshäusern vertrieben, die zwar ein vitales Interesse an der Verbreitung von bei ihnen erschienenen Artikeln haben, deren Überleben aber von einer angemessenen Vergütung ihres Aufwandes abhängt. Biblio-

theken und wissenschaftliche Einrichtungen in Deutschland und Europa sind sich dieser Problematik bewusst und haben ihren Wunsch nach einer einvernehmlichen Lösung in der sogenannten "Berliner Erklärung über offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen" vom 22.10.2003 zum Ausdruck gebracht (siehe auch www.bibliotheksverband.de/dbv/aktuelles/BerlinDeclaration.dt.pdf).

Verbunden mit der immer fortschrittlicheren Vernetzung aktueller Bestände ist die Diskussion über den Umgang mit diesen Informationen und die Fähigkeit von Benutzern, Informationen zu finden und zu bewerten. Dabei definieren sich immer mehr Bibliotheken als "Information Literacy – Kompetenzzentren". Sehr deutlich wird dies am Beispiel der University of Queensland/Australien, deren Bibliothek das Training der Studenten und Wissenschaftler im Umgang mit Informationen als einen ihrer Schwerpunkte betrachtet (siehe auch www.library.uq.edu.au).

Ein Punkt der aktuell geführten Diskussion, dem sich aus aktuellem Anlaß auch die TU Berlin stellt, ist die Frage nach Raumnutzungskonzepten für moderne Bibliotheken. Auch "klassisch" ist eine Fachbibliothek mehr als eine Lehrmittelsammlung, die man nach Erhalt der gesuchten Information wieder verlässt: Vielmehr ist eine Kernaufgabe der Bibliothek, Möglichkeiten zu bieten, in ihr zu verweilen, zu recherchieren, Kontakt zu anderen Wissenschaftlern aufzunehmen und anhand aktuellen Materials zu diskutieren. Dieses Konzept muss erweitert und an moderne Bedürfnisse angepasst werden. Beispielhaft für die Umsetzung dieser Erkenntnisse kann das Georgia Institute of Technology genannt werden oder die Konzeption des Bibliothekneubaus der Universität Helsinki.

Kapitel 13

IuK-Strukturen für Universitäten

Die wachsende, weitgefächerte Vernetzungen des Einsatzes von IT-Technologien in Forschung und Lehre mit verschiedenen technischen Abteilungen, Verwaltungsbereichen und Bibliotheken einer Universität erfordern vielfach eine Reform bestehender IuK-Strukturen an Universitäten.

Dabei stehen die folgenden Aspekte im Vordergrund:

- *IuK-Gebiete müssen gesamtheitlich begriffen werden – in ihrer Bedeutung für die Kernaufgaben Forschung und Lehre und für die unterstützenden Arbeitsgebiete und Tätigkeitsfelder in der universitären Organisation und Verwaltung.*
- *IuK-Technologien und ihre Anwendungen müssen in das Zentrum von Forschung und Lehre gestellt werden. Eine zentrale Rolle kommt dabei der Integration von IuK in Lehre und Studienorganisation einerseits und als Instrument und Gegenstand der Forschung andererseits zu.*
- *Durch ein innovatives Organisationsdesign müssen Fachdisziplinen mit Verwaltungs- und Managementbereichen, Wissenschaftler und Lehrende mit den Trägern der Organisationsaufgaben verwoben werden.*

Der vorliegende Text behandelt die TU als Fallbeispiel einer IuK-Reform an einer Universität. Er beinhaltet eine Ursachenanalyse (Kap. 13.1.1, 13.1.2), eine Beschreibung des Vorgehens (/Kap. 13.1.3), die Konzeption eines Organisationsmodells (Kap. 13.2) und ausgewählte Aspekte der Durchführung (Kap. 13.3). Das Modell basiert auf der Konzeption einer IuK-Struktur (s. [Jes04g]), die für die TU Berlin im Rahmen der Ausschreibung “Leistungszentren für Forschungsinformationen” der DFG von der Autorin gemeinsam mit R. Seiler und C. Thomsen (Fakultät II, TU Berlin) entwickelt wurde. Das Modell orientiert sich an den Gegebenheiten der TU, ist aber auf Übertragbarkeit auf andere Universitäten ausgerichtet – Details, die eine TU-spezifische Umsetzung betreffen, werden daher nicht ausgeführt.

13.1 Hintergrund

13.1.1 Problemskizze

Das offensichtliche Potential des Einsatzes Neuer Medien in der Bildung (vergl. Kap. 3) hat zu einem breiten Engagement der verschiedenen Leistungsträger in diesem Bereich geführt: Lehr- und Lernplattformen, multimediale Fachinhalte und die Entwicklung fachspezifischer Software für Forschung und Lehre wurden konzipiert und befinden sich derzeit in verschiedenen Stadien der Entwicklung und des Einsatzes. Unterstützt und beschleunigt wurde dieser Prozess zusätzlich durch vielfältige Förderungsmöglichkeiten solcher Projekte durch verschiedene öffentliche Mittelgeber, darunter insbesondere durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung).

Vor allem Projekte, die auf der Schnittstelle von “Entwicklung/Anwendung multimedialer Lern- und Lernmaterialien” zu “Veränderung von Lernszenarien/Lernprozessen” liegen (wie u.a. die Majorität der sog. “Notebook-University-Projekte”, vergl. S. 35) machen in ihrem Verlauf sehr deutlich, dass solche Initiativen einer gesamt-universitären Einbettung bedürfen:

Hierzu ist einerseits die Einbindung in Curriculum und Forschungslandschaft einer Hochschule zu zählen. Dieser Aspekt einer *inhaltlichen Integration* wurde in Kap. 5.6 bereits ausführlich thematisiert.

Ein zweiter zentraler Aspekt betrifft nun die Integration der “Neuen Medien in Forschung und Lehre” in die Infrastruktur einer Hochschule und in ihre organisatorischen Abläufe: *organisatorische und infrastrukturelle Integration* ist notwendige Voraussetzung dafür, dass sich die Chancen und Potentiale des Einsatzes der neuen Technologien überhaupt entfalten können.

Wir wollen hier die zentralen Vernetzungspunkte diskutieren:

- **Technische Ausstattung:**

Der *Einsatz* der Neuen Medien führt zu weitreichende Voraussetzungen an die Ausstattung der Universität, an die Ausstattung der Studierenden und an die der Lehrenden:

- **Netzwerke & Netzwerkzugang:**

Für Lehrende und Studierende muss der Zugang zum universitären Netzwerk gegeben sein – unabhängig von Zeit und Aufenthaltsort. Die vielfältigen Nutzungsszenarien, die sich u.a. durch hohe räumliche Flexibilität auszeichnen, führen auf die Notwendigkeit eines Campus-weiten Netzwerkkonzepts, das Gebäude wie Campus-Freiflächen ebenso umfasst wie den Zugang zum universitären Netz von Standorten außerhalb der Universität.

Dazu müssen existierende lokale Netzwerke (Fest- und Funknetze oder lokale Netzwerke einzelner Teileinrichtungen einer Universität) zusam-

mengeführt und ihr Zugang durch ein zentrales ID-Management vereinheitlicht werden. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit einer gewissen Zentralisierung von Funktionalitäten (vergl. Kap. 13.1.2). Dabei ist die Einbeziehung der späteren Nutzungsszenarien – und damit die Einbeziehung der Fachwissenschaftler – von zentraler Bedeutung für die Gestaltung des Gesamtkonzeptes.

– **Computer & Computerzugang:**

Die Integration multimedial gestützter LehrLernSzenarien setzt voraus, dass sowohl Lehrende als auch Studierende im notwendigen Umfang über Rechnerzugang verfügen. Eigenen, mobilen Computern kommt eine immer größere Bedeutung zu, und dies nicht nur als Konsequenz explizit “mobiler Lernszenarien” (vergl. Kap. ??), sondern auch als Resultat der Entwicklung, dass mobile Computereinheiten zunehmend die Funktion eines “tragbaren Arbeitsplatzes” einnehmen. Dennoch muss die Universität selbst für eine geeignete Ausstattung mit Rechnerarbeitsplätzen sorgen; auch wenn das Modell der “Rechnerräume” und “Rechnerpools” in der jetzigen Form mittelfristig eher der Vergangenheit angehören dürfte, so besteht dennoch die Notwendigkeit zur Ausstattung von Fachräumen mit speziellen Anwendungen und zur Ausstattung der öffentlichen Bereiche (etwa Bibliothek, Infosäulen etc.).

Vergleichbar zur Netzwerkthematik besteht hier universitätsweiter Koordinationsbedarf. Insbesondere in der Ausstattung von Fachräumen zeigt sich die enge Verflechtung dieses Aufgabenfeldes mit den Instituten und Fakultäten.

– **Software & Lizenzen:**

Multimediale Lehr-, Lern- und Forschungsszenarien erfordern Zugang insbesondere zu fachspezifischer Software. Kosten- und Effizienzgründe legen den Betrieb campusweiter Lizenzserver für die Distribution notwendiger Software nahe: auf diese Weise können preisgünstige Classroom- und Campuslizenzen eingesetzt und den Studierenden zur Verfügung gestellt werden; neue Software oder Updates bereits vorhandener Software wird nur einmal getestet und eingespielt. Während Betrieb und Wartung solcher Server zentralistisch organisiert sind, müssen Art und Umfang der benötigten Software wiederum von den Trägern von Forschung und Lehre spezifiziert werden.

– **Spezielle Unterrichtsraumausstattung:**

Schließlich ergeben sich Anforderungen an die Ausstattung von Unterrichtsräumen: hierzu zählen Technologien, die für die Vermittlung, Darstellung und Visualisierung multimedialer Fachinhalte benötigt werden (eKreide-Systeme, Caves etc.) sowie Technologien, die kommunikative und kooperative Prozesse unterstützen (Conferencing-Technologien u.ä.). Hier treffen didaktische und fachspezifische Aspekte insbesondere auf bauliche und architektonische Veränderungen, die mit den entsprechen-

den Fachabteilungen koordiniert werden müssen.

– **Rechnerleistung:**

Ausreichende Rechnerleistung stellt eine zentrale Voraussetzung für erfolgreiche Forschung dar. Dies gilt allgemein, trifft aber technologisch ausgerichtete Fakultäten in besonderer Weise. Die benötigten Rechnerleistungen sind – trotz der enormen Leistungssteigerung der Computer in den vergangenen Jahren – i.a. nicht durch einzelne Arbeitsplatzrechner gewährleistet. Vielmehr müssen “SuperComputer”, Computer-Cluster oder Methode der delokalen Clusterung von Rechnern (Grid-Computing, vergl. Kap. 13.2.2) campusweit zur Verfügung stehen.

- **Studienorganisation & allgemeine Verwaltung**

Mannigfache Vernetzungen existieren zwischen inhaltlichen und organisatorischen Aspekten von Studium und Lehre: Sie betreffen insbesondere Immatrikulation und Rückmeldung, Anmeldung für Lehrveranstaltungen, Veranstaltungsorganisation und Prüfungsverwaltung.

Zunehmend werden nun Teile dieser Bereiche durch elektronische Tools unterstützt. So werden zunehmend Anmeldungen zu speziellen Veranstaltungen WWW-gestützt koordiniert. Bestimmte Unterrichtsformen setzen die Nutzung speziell ausgestatteter Fachräume voraus, was Konsequenzen für die Raumverwaltung nach sich zieht. Studienrelevante Leistungen werden etwa im Rahmen virtueller Practice-Tools erbracht, über die das Prüfungsamt informiert werden muss. Diese Liste lässt sich beliebig fortsetzen.

Die Virtualisierung der Studienorganisation bewirkt somit zahlreiche Vernetzungen mit inhaltlichen Aspekten der Lehre. Die heute noch gängige Praxis einer “Studienorganisationsverwaltungseinheit” fern der Fakultäten und Institute ist nicht mehr haltbar. Vielmehr müssen kooperative Strukturen zwischen Verwaltungsbereichen und Trägern der Lehre die verschiedenen Aufgaben und Ansätze koordinieren und steuern.

- **Wissenschaftliches Informationsmanagement**

Schneller, vollständiger und unbeschränkter Zugriff auf wissenschaftliches Material war stets eine wesentliche Voraussetzung erfolgreicher Forschung. Grundlage dafür sind heute elektronische Informationssysteme, die nicht nur den Zugriff, sondern auch wissenschaftliche Kommunikation und Kooperation unterstützen (vergl. Kap. 12.2.1). Damit werden enge Kooperationen zwischen universitären Bibliotheken (vergl. Kap. 12.4) und den einzelnen Fakultäten notwendig.

- **Fachwissenschaftliche Kooperationen:**

Die *Entwicklung* multimedialer Fachinhalte und fachspezifischer Software kann vielfach – zum Teil aus Kosten- und Effizienzgründen, aber auch, weil das notwendige KnowHow nicht überall gleichermaßen vorhanden ist¹ – nur in Ko-

¹So fällt etwa auf, dass die Anzahl von Multimedia-Projekten in den Geisteswissenschaften der-

operation mit anderen Wissenschaftsbereichen erfolgen.

Der *Einsatz* der multimedialen Entwicklungen führt ebenfalls auf kooperative Strukturen, wenn diesbezüglich Konsistenz und “Durchgängigkeit” eines Studienganges gegeben sein sollen (an dem typischerweise mehrere Fakultäten beteiligt sind).

Damit werden Strukturen notwendig, die wissenschaftlich geprägt sind, die aber vertikal zu den tradierten Fakultäts- und Institutsebenen verlaufen. Der Einsatz der Neuen Medien induziert damit weitreichende Strukturveränderungen, die aufgegriffen und gesteuert werden müssen.

Als Fazit bleibt festzustellen, dass die mannigfachen Vernetzungen zwischen den verschiedenen Bereichen einer Universität koordiniert und gesteuert werden müssen. Die Majorität der Universitäten verfügt derzeit über Strukturen, die diesen neuen Aufgaben nicht gerecht werden, weil ihnen gerade die Vernetzung der Einzelbereiche und -aufgaben nicht gelingt. Strukturelle Veränderungen in der Organisation von Universitäten sind notwendig: die institutionelle Trennung der Einzelbereiche muss aufgebrochen, um Kooperation auf der Basis einer gemeinsamen Zielsetzung zu ermöglichen.

Wir vertreten hier keine Einzelmeinung: Die DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) hat 2002 und 2003 große Förderungsvorhaben ausgeschrieben ([DFG]), die zum Ziel haben, die vielfach diskutierten neuen Modelle des Zusammenführens von universitärer Bibliothek, Rechen- und Medienzentrum, Fakultäten und Verwaltung zu realisieren. Dabei dienen die ausgeschriebenen Mittel explizit der Strukturbildung einer Universität (und eben nicht dem Ausbau technologischer Bereiche). Der Ausschreibung liegt u.a. eine Empfehlung des Wissenschaftsrates ([Wis]) zugrunde, der sich ebenso für hochschulinterne Kooperationen und die Entwicklung interdisziplinärer Kompetenzzentren ausspricht.

Ziel der Initiative der DFG ist (nachfolgende Liste zitiert nach [DFG]) Aufbau und Förderung von

- **integrativen Strukturen,**
durch die gleichartige Aufgaben zusammengefasst und konzentriert, zusammenwirkende Prozesse koordiniert werden
- **Kooperation oder Zusammenführung**
von Rechenzentrum, Bibliothek, Medienzentrum, Fakultäten und Verwaltung
- **Einführung eines Generalverantwortlichen**
für den IuK-Bereich mit Darstellung der Rechte, Kompetenzen und Finanz-

zeit unproportional gering ist. Eine zentrale Ursache liegt darin, dass in diesen Forschungsgebieten vielfach das vorhandene technologische KnowHow zur Entwicklung multimedialer Lehranteile nicht ausreicht. Natur- und Ingenieurwissenschaften etwa sind hier deutlich im Vorteil, weil die notwendigen Kompetenzen zu einem signifikanten Teil ohnehin Bestandteil des eigenen Forschungsgebietes bzw. der eigenen Forschungsmethodik sind.

mittel

- **Institutionalisierung der Kooperation,**
d.h. Veränderung der universitären Strukturen

Was haben wir nun durch diese Betrachtungen gewonnen? Wir haben gesehen, dass die Integration von IT-Technologien in die Lehre und in die Forschung nicht isoliert von der Gesamt-IuK-Konzeption betrachtet werden darf. Vielmehr muss dieses Aufgabenfeld strukturell angebunden sein, über eine funktionierende IuK-Struktur, es muss organisatorisch eingebunden sein, über eine funktionierende Vernetzung von Fakultäten und Verwaltungsbereichen, und es muss wissenschaftlich angebunden sein, über enge Kooperation der Institute untereinander und mit den übrigen Einrichtungen.

13.1.2 Herausforderungen & Ziele

Auf der Grundlage unserer eigenen Erfahrungen und in intensiver Kooperation mit unseren nationalen und internationalen Gesprächspartnern aus Hochschulen und Wirtschaft (s. Kap. 13.1.3) konnten die untenstehenden acht Punkte als die wichtigsten Herausforderungen moderner IuK-Strukturen herauskristallisiert werden:

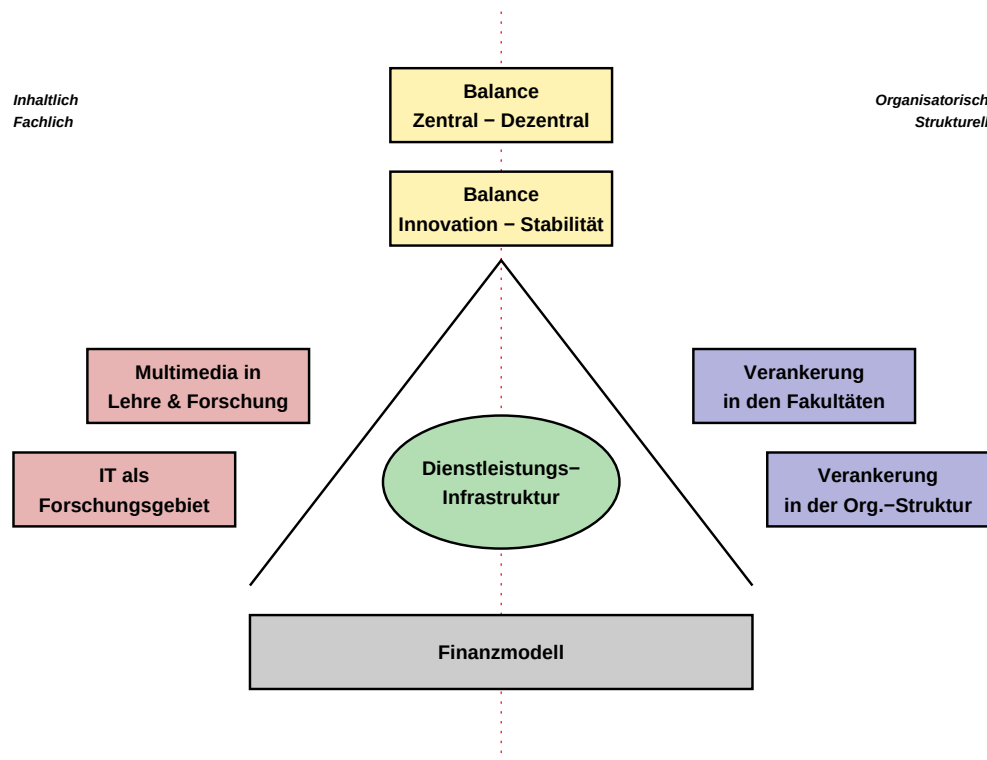


Abb. 13.1: Herausforderungen in der Übersicht

- **Balance zentraler und dezentraler Konzepte**

Zentralistische Strukturen an Universitäten haben in der Vergangenheit immer wieder ein grundsätzliches Problem offenbart: Abläufe und Prozesse werden vielfach zu "wissenschaftsfern" organisiert, die Orientierung an den Kernaufgaben einer Universität, Lehre und Forschung, gelingt nur unzureichend. In den vergangenen zehn Jahren waren aus diesem Grund umfangreiche Dezentralisierungskonzepte an vielen nationalen und internationalen Hochschulen zu beobachten. Bei der Organisation IuK-naher Tätigkeitsfelder stehen wir jedoch vor einem gewissen Dilemma: Fachlich-inhaltliche Aspekte und Effizienzgründe legen vielfach eine eher zentralistische Herangehensweise nahe (vergl.

Kap. 13.2.5). Diese aber beinhaltet wiederum die oben skizzierten Probleme. Zentrale Herausforderung ist somit die Balance zentraler und dezentraler Konzeptanteile und deren Koordination und Kommunikation.

- **Innovation versus Stabilität**

Wissenschaftler streben nach raschen Neuerungen und üben einen hohen Innovationsdruck auf ihre Einrichtungen aus. Der administrative Arm einer Einrichtung hingegen muss sich um sichere, langfristig stabile Lösungen und Modelle bemühen: Diese beiden Wünsche, hohe Innovation einerseits, möglichst große Stabilität andererseits, führen daher insbesondere an Universitäten zu einem “natürlichen” Konflikt. Dieser ist paradoxerweise “gutartig” – denn beide Wünsche sind außerordentlich berechtigt, und ein Ausbleiben dieses Konfliktes wiese i.a. darauf hin, dass entweder keine Innovation mehr stattfindet – oder aber keine Stabilität gegeben ist.

Eine zentrale Herausforderung moderner Organisationsstrukturen an Universitäten ist daher, diesen Konflikt zu balancieren: Es muss ein offenes, innovationsfreudiges Klima geschaffen werden, damit Mechanismen entwickelt werden können, die die kurzfristige Erprobung innovativer Ansätze ermöglichen und diese – sofern erfolgreich – in stabile Regellösungen überführen.

- **IT und Multimedia in Lehre und als Instrument der Forschung**

IuK-Technologien verändern Lehre und Forschung essentiell: eLearning und eTeaching sind zunehmend integrativer Bestandteil moderner Lehrkonzepte. Zunehmend setzt sich die Erkenntnis durch, dass multimediale Lehr- und Lernkonzepte den “Lernprozess” entscheidend unterstützen und intensivieren können. Komplexe fachspezifische Software ist heute in vielen Wissenschaftsgebieten eine Voraussetzung erfolgreicher Forschung.

Dem entschlossenen Engagement individueller Lehrender, moderne Lehre und Forschung voranzutreiben, und den in den vergangenen Jahren vielfältigen Förderprogrammen (etwa BMBF, EU, DFG) steht allerdings gegenüber, dass es an vielen Universitäten an einem erkennbaren Gesamtengagement mangelt. Zu sehr prägen Einzelinitiativen den Multimediaeinsatz; das Gesamtbild der Universität aber bleibt weitgehend unverändert.

Im Wettbewerb um die besten Studierenden und um die besten Wissenschaftler wird eine Universität international langfristig nur attraktiv sein, wenn es gelingt, IT und Multimedia in Lehre und als Instrument der Forschung nachhaltig zu verankern.

- **IuK als Feld multi- und interdisziplinärer Spitzenforschung**

IuK-Technologien und Multimedia sind selbst Gegenstand der Forschung: eine moderne technische Universität kann sich nicht der Weiterentwicklung der Technologien entziehen, die unsere Gesellschaft derzeit am nachhaltigsten verändern und alle gesellschaftlichen Bereiche tangieren. Im Gegenteil, sie ist verpflichtet, an der sachgerechten Weiterentwicklung zu arbeiten und Innovationen zu entwickeln.

Dabei stellt die hier notwendige Forschung eine besondere Herausforderung dar, weil sie hochgradig inter- und multidisziplinärer Natur ist. Sie verläuft damit quer zur typischen Strukturierung einer Universität durch die klassischen Disziplinen.

Universitäre Forschung wird mittelfristig nur konkurrenzfähig bleiben, wenn sie sich der Aufgabe stellt, multi- und interdisziplinäre IuK-nahe Fragestellungen zum Bestandteil ihres universitären Profils zu machen.

- **Verankerung von IuK in den Fakultäten, bei den Wissenschaftlern, im Zentrum von Forschung und Lehre**

In der Vergangenheit wurde vielfach der Fehler begangen, IuK zunächst als eine i.w. technische, später als eine i.w. administrative Aufgabe einer Universität zu begreifen – das Scheitern zahlloser IuK-Initiativen und -Reformen liegt gerade in diesem Punkt begründet.

IuK muss sich an den Kernaufgaben einer Universität, der Lehre und der Forschung, orientieren ([Wis], [DFG]). Daraus resultiert, dass die Wissenschaftler als Träger von Lehre und Forschung Verantwortung in diesem Bereich übernehmen müssen. IuK ist gemeinschaftliche Aufgabe einer Universität und muss – zusätzlich zu ihrer Verankerung in der Verwaltung – aktiv im Wissenschaftsarm einer Universität, in den Fakultäten, bei den Wissenschaftlern, im Zentrum von Forschung und Lehre verankert sein.

- **Verankerung von IuK in die Organisationsstruktur der Universität**

Ein weiterer zentraler Schwachpunkt bisheriger IuK-Organisationsansätze ist die mangelnde, unverbindliche Einbindung in die Organisationsstruktur der entsprechenden Universität. Die Ernennung von IuK-Beauftragten mit unklaren Befugnissen ist völlig unzureichend: Wenn Richtlinienkompetenzen nicht geklärt sind, wenn Aufgabenfelder nicht verbindlich spezifiziert sind, wenn Weisungsbefugnis (auf- wie absteigend) fehlt, wenn Kontrollmechanismen fehlen und Kommunikationswege nicht definiert sind, kann eine effiziente Organisation solcher hochkomplexen und vielfach vernetzten Prozesse, wie sie im IuK-Bereich auftreten, nicht erwartet werden.

Eine wichtige Herausforderung einer funktionierenden, effizienten IuK-Struktur ist daher deren Integration in die Gesamt-Organisationsstruktur einer Universität und die Etablierung einer IuK-Leitung mit ausreichender Weisungs- und Entscheidungskompetenz.

- **Aufbau einer engagierten Dienstleistungsstruktur**

Der Dienstleistungscharakter universitärer IuK-Strukturen ist bisher (z.B. Rechen- und Medienzentren) oft nicht klar genug als Anforderung definiert. IuK-nahe Einrichtungen leiten ihre Aufgabenstellung oft zu wenig direkt aus den Kernaufgaben ihrer Einrichtung ab.

Zentrale Herausforderung einer modernen IuK-Struktur ist daher die Unterstützung und Steuerung des notwendigen Mentalitätswandels hin zum Aufbau einer engagierten Dienstleistungsstruktur.

- **Finanzierung des Gesamtmodelles**

Schließlich stellt der Aufbau einer richtungsweisenden IuK-Organisationsstruktur, einer modernen IuK-Infrastruktur und erstklassiger IuK-Kompetenzzentren auch eine finanzielle Herausforderung dar.

13.1.3 Methodisches Vorgehen

Wichtige Vorbereitung einer Neukonzeption, wie sie hier vorliegt, ist zunächst die Ist-Analyse der entsprechenden Einrichtung: die bestehenden Kompetenzbereiche, aber auch die Workflows von Entscheidungen und Prozessen müssen Gegenstand einer gründlichen Untersuchung sein.²

Als weitere Vorbereitung der nachfolgenden Überlegungen diene eine ausführliche, nationale und internationale State-of-the-Art-Analyse.

Grundlage waren neben vielfältigen internationalen Kontakten einiger sehr aktiver Gruppen an der TU Berlin in den Bereichen Multimedia, Informatik und Kommunikationstechnologien intensive Gespräche mit hochrangigen Vertretern renommierter internationaler Universitäten, die (neben anderen) im IuK-Bereich weltweit führend sind. Die Gespräche wurden mit dem jeweiligen CIO, seinem Mitarbeiterstab bis hin zu Anwendern auf verschiedenen Stufen geführt.

Partner dieser Analyse waren das Georgia Institute of Technology (Atlanta/Georgia, USA), das MIT (Boston/Massachusetts, USA), Rice University (Houston/Texas, USA), Stanford University (Kalifornien, USA), das Technion (Haifa, Israel), die Universität von Helsinki (Finnland), Zayed University Dubai (UAE) und die ETH Zürich (Schweiz) als internationale Standorte. Die Auswahl erfolgte u.a. nach Innovationsgrad (etwa ETH Zürich mit dem Projekt "ETH World"), weltweit führender Position in einzelnen Bereichen (etwa MIT als "Erfinder" von Netzwerktechnologien) sowie technologischer Ausrichtung im Studienangebot und damit Vergleichbarkeit mit der TU Berlin. Die Anzahl der Studierenden reicht von ca. 1/10 derjenigen der TU Berlin (etwa Rice University) bis hin zu vergleichbarer Anzahl (MIT, ETH Zürich, Georgia Tech). Von der Finanzsituation waren sowohl private (von mittlerer bis extrem hoher Finanzkraft) als auch öffentliche Universitäten (ETH Zürich, Georgia Tech, Technion Haifa) vertreten.

Zusätzlich wurde auch die engen Kooperationen zwischen der TU und mehreren nationalen Universitäten für eine umfassende Analyse genutzt; hier sind insbesondere die Universität Paderborn, TU München und RWTH Aachen zu nennen.

²Wir verzichten hier auf die Darstellung dieser Analyse, weil sich diese zwangsläufig konkret auf die TU beziehen muss – wir wollen aber nicht mit der Philosophie des allgemeinen Ansatzes dieses Kapitels brechen.

Die Analyse zeigte, dass ein derart breites Vorgehen tatsächlich notwendig ist: Derzeit existiert weltweit keine Universität, die als exzellentes Modell in *allen* IuK-Bereichen bezeichnet werden kann. So verfügt die Rice University in den USA über ein ausgezeichnetes Konzept zur Integration von IT-Technologien in Forschung und als Instrument der Forschung, Georgia Tech zeichnet sich durch besonders innovative und flächige Konzepte zur Modernisierung der Lehre und der Studienorganisation durch IT-Einsatz aus, Stanford gilt als führend im Bereich “Digitale Bibliotheken & ePublishing” – um nur einige Aspekte zu nennen.

Die vielfältigen Beispiele ließen viele wertvolle Erkenntnisse zu, die für die vorliegende Konzeption eines IuK-Modelles von fundamentaler Bedeutung waren. Wir möchten deshalb an dieser Stelle unseren nationalen und internationalen Gesprächspartnern außerordentlich für ihr großes Engagement, ihre Hilfsbereitschaft und ihre hohe Kollegialität danken.

13.2 Das IuK-Matrix-Modell

13.2.1 Die IuK-Matrix

Die unten abgebildete IuK-Matrix stellt das inhaltliche Kernelement des vorliegenden IuK-Konzeptes dar: Basierend auf den Empfehlungen des Deutschen Wissenschaftsrates wird hier ein kooperatives Organisationsmodell geschaffen, das eine neuartige Verbindung verschiedener universitärer Bereiche realisiert.

IuK-Tätigkeitsfelder werden Servicegruppen (vertikal) bzw. Forschungszentren (horizontal) zugeordnet: Dabei umfassen **Servicegruppen** die “klassischen” IuK-Felder wie Zentrale Netzwerke, IuK-nahe Baumaßnahmen, betriebswirtschaftliche Software etc., während **Zentren** IuK-Felder mit hoher Innovationskraft und klarem Forschungsanteil definieren.

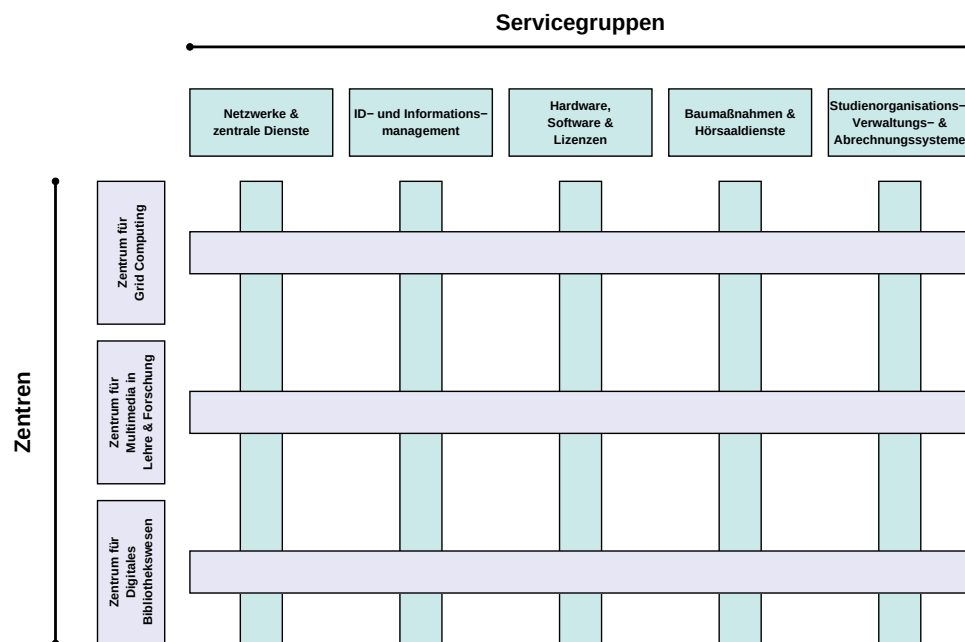


Abb. 13.2: Die IuK-Matrix

Servicegruppen (siehe Detailbeschreibung Kap. 13.2.2) werden durch Mitglieder der Verwaltung wissenschaftsnah geleitet. Sie arbeiten dienstleistungsorientiert in enger Kooperation miteinander und mit den Zentren. Ihre Leiter werden durch den CIO in Absprache mit dem Exekutiv-Komitee benannt (Details zur Organisationsstruktur s. Kap. 13.2.4). Von ihnen wird neben der Steuerung des Routine-Betriebes erwartet, dass sie für auftretende komplexe Fragestellungen innerhalb der IuK-Matrix Lösungen erarbeiten und ggf. auch die Umsetzung koordinieren.

Zentren (siehe Detailbeschreibung Kap. 13.2.3) sind an Fakultäten gebunden. Die Zuordnung der Zentren erfolgt durch interne Ausschreibung und somit internen Wettbewerb unter den Fakultäten. Das Modell sieht vor, Zentren durch eine Juniorprofessur leiten zu lassen, wodurch sie automatisch zunächst auf einen Zeitraum von sechs Jahren befristet sind.

Das Instrument der Juniorprofessur wird hier in einer völlig neuartigen Weise erprobt: nicht nur erlaubt dieses Vorgehen eine kurzfristige, kostengünstige Implementation dieser Zentren, es ermöglicht auch die flexible Gestaltung eines solchen Forschungsschwerpunktes am Ende einer sechsjährigen Erprobungsphase, und schließlich erhalten Juniorprofessoren eine frühzeitige Chance, sich nicht nur wissenschaftlich, sondern auch im Forschungsmanagement, insbesondere bei Drittmiteleinwerbung und Industriekooperationen, zu beweisen.

Die Zentren sind die Träger der Forschungskomponente des Modelles. Gleichzeitig besitzen sie einen klaren Dienstleistungsauftrag, der im Konzept selbst, aber auch bereits in ihrer fachlichen Ausrichtung begründet liegt.

Es werden i.f. (Kap. 13.2.3) drei geplante Zentren vorgestellt. Das Modell sieht vor, dass weitere Zentren zu aktuellen Forschungsgebieten künftig in analoger Weise implementiert werden können. Analog können an anderen Universitäten andere Forschungsgebiete entsprechend unterschiedliche Schwerpunkte definieren – der Grundsatz der IuK-Matrix bleibt dabei erhalten.

Die einzelnen Bereiche der IuK-Matrix werden durch das Exekutiv-Komitee (bestehend aus den Leitern der Zentren und den Leitern der Servicegruppen) unter Führung des CIO koordiniert (Details s. Kap. 13.2.4). Der CIO hat dabei weitreichende Entscheidungsbefugnisse, um die gemeinsamen Interessen in Sinne der Gesamtuniversität zu bündeln.

Die Institutionalisierung der Kooperation durch das Matrix-Modell verfolgt das Ziel, die IuK-Bereiche der Universität gleichberechtigt in enge fachliche Nähe zu den wissenschaftlichen Instituten einerseits zu bringen und gleichzeitig in der Verwaltung zu verankern – die Integration der verschiedenen am Prozess beteiligten Mitglieder ist eine notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche, schnelle Umsetzung eines neuen IuK-Konzeptes.

13.2.2 Die Servicegruppen der IuK-Matrix

Im folgenden stellen wir eine mögliche thematische Aufteilung als Grundlage der einzurichtenden Servicegruppen – zur besseren Übersicht stichwortartig – vor:

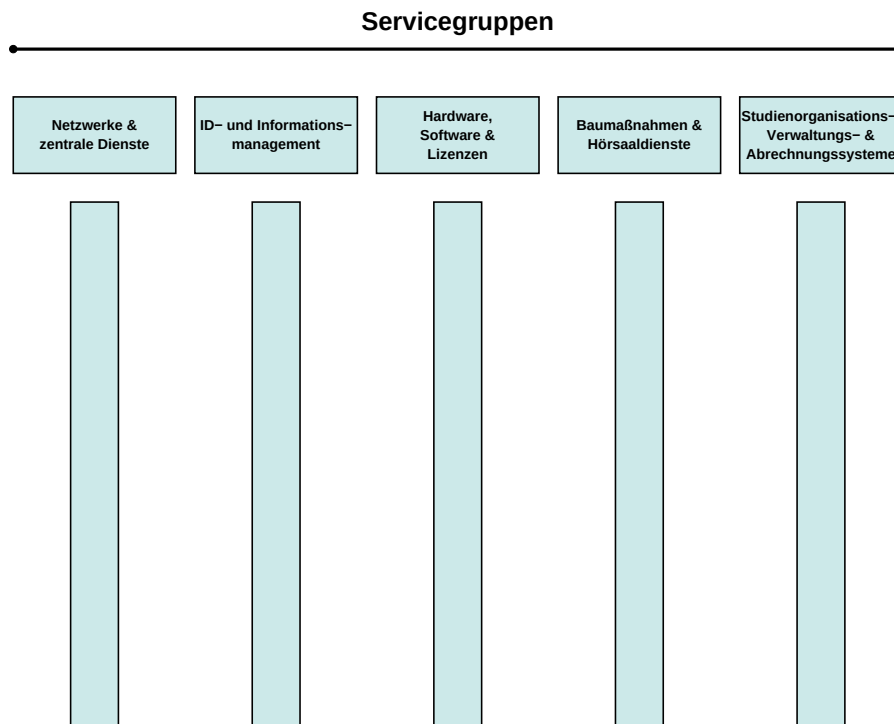


Abb. 13.3: Die Servicegruppen

- **Netzwerke & zentrale Dienste (Servicegruppe I):**
 - Netzwerke (wired & wireless)
 - Zentrale Dienste (web, mail, ...)
 - Telefon, FAX
 - Netzwerksicherheit
 - Sicherheit des email-Service (Viren, Spam, ...)
 - Betreuung der Supportgruppen der dezentralen Fakultätsnetze
 - HelpDesk
- **ID- und Informationsmanagement (Servicegruppe II):**
 - Zentrales ID-Management

- SingleSignOn, LDAP, zentrale Verzeichnisdienste
- Zentraler Basic-Fileserver
- Zentrales BackUp für Basic-Fileserver
- Zentrales Informations-Management
- **Hardware, Software & Lizenzen (Servicegruppe III):**
 - Tests und Auswahl von Software
 - Bereitstellung von Software
 - Betrieb Lizenzserver
 - Angebot zentraler Hardwarebeschaffung auf Basis von Rahmenverträgen
 - Beratung in Lizenzfragen für TU-entwickelte Software
 - Konzeption aktiver OpenSource-Politik
 - Beratung, HelpDesk
- **Baumaßnahmen & Hörsaaldienste (Servicegruppe IV):**
 - Auswahl von geeigneten IuK-Technologien für Hörsäle, Seminarräume, Freiflächen
 - Koordination IuK-naher Baumaßnahmen
 - Betreuung der IuK-Ausstattung in Hörsälen und Seminarräumen
 - Einrichtung und Betreuung studentischer Arbeitsbereiche
 - Video-Conferencing Center & Video-Conferencing Dienste
 - Beratung und Support der Lehrenden, HelpDesk
- **Studienorganisations-, Verwaltungs- & Abrechnungssysteme (Servicegruppe V):**
 - Auswahl und Tests
 - Koordination und Integration von Einzellösungen, Migrationskonzepte
 - Support der Studienorganisation
 - Betriebswirtschaftliche Software, Enterprise Resource Planning
 - Human Resource Management
 - Security-Konzepte, Datenschutz
 - Einbindung in zentrales Informationsmanagement
 - Betreuung, Schulung und Support der Mitarbeiter, HelpDesk

13.2.3 Die Zentren der IuK-Matrix

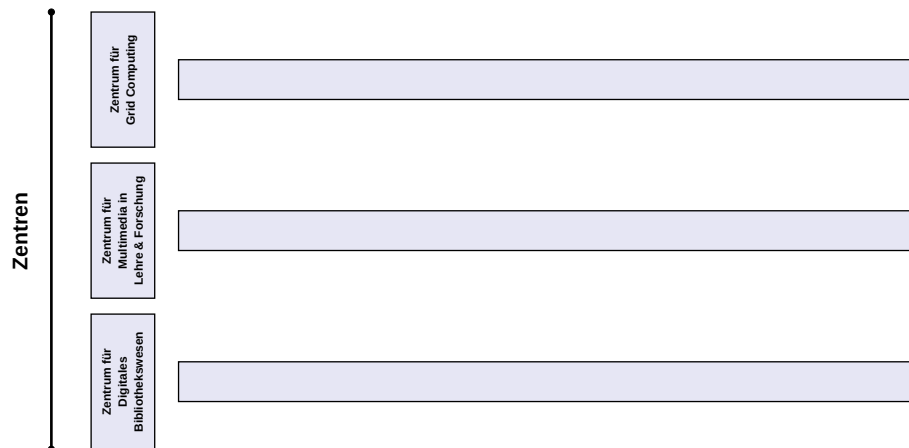


Abb. 13.4: Die Zentren

Zentrum für Grid Computing (GriCo):

Erfolgreiche und innovative Forschung ist – insbesondere an einer *Technischen* Universität – heute eng mit der Verfügbarkeit ausreichender Rechnerleistung verbunden: In immer mehr Bereichen wird der Einsatz von Hochleistungsrechnern zur kostengünstigen, systematischen und teilweise oft schneller zum Ziel führenden Alternative gegenüber zeitraubenden, teuren und oft umweltbelastenden Experimenten. Die Computersimulation hat in den letzten zwei Jahrzehnten einen enormen Aufschwung erfahren und steht heute in der Forschung methodisch gleichberechtigt neben Theorie und Experiment. High Performance Computing ist somit eine Voraussetzung für international konkurrenzfähige Forschung.

Nachdem die “erste Phase” computerunterstützter wissenschaftlicher Arbeit praktisch ausschließlich vom Einsatz einzelner, großer “SuperComputer” geprägt war, hat die schnelle und vor allem kostengünstige Entwicklung von PCs zusätzlich zu einer großen Verbreitung von sog. “Rechner-Clustern” geführt.

Wir stehen heute an vielen Universitäten vor der Situation, dass etliche Lehrstühle inzwischen über einen eigenen, lokalen Rechnercluster verfügen. Damit ist i.a. zwar ausreichende Rechnerkapazität für die entsprechende Gruppe gesichert, die Leistungsfähigkeit der lokalen Cluster wird aber auf weiten Zeitstrecken nicht ausgeschöpft: die freie Rechnerkapazität geht verloren, während sie an anderen Stellen fehlt. Ebenso verfügen einige Institute über verschiedene Großrechner, die jedoch von anderen Wissenschaftlern derselben Universität derzeit noch kaum genutzt werden.

In den letzten Jahren haben sich jedoch Konzepte entwickelt, die grundsätzlich in der

Lage sind, solche Probleme zu lösen: Grid Computing bezeichnet die effiziente Nutzung geographisch verteilter Rechenressourcen. Der Begriff 'Grid Computing' ist eine Analogie zu herkömmlichen Stromnetzen (engl. power grids): Dem Anwender soll größtmögliche Rechenleistung uneingeschränkt und ortsunabhängig zur Verfügung stehen. Dazu wird ein Netzwerk aus unabhängigen Rechnern geschaffen, die durch geeignete Middleware zu integrierten Ressourcen verbunden werden. Aufgrund weitreichender und flexibler Vernetzungsmöglichkeiten erlaubt Grid Computing außergewöhnlich hohe Rechenkapazitäten, wie sie für Simulationen und aufwendige Berechnungen in einer Wissenschaftseinrichtung benötigt werden.

In Europa ist vor allem das Kernforschungszentrum Cern in Genf ein wichtiges Entwicklungszentrum für Grid Computing. Das neue Infrastruktur-Konzept unterstützt insbesondere auch "virtuelle Organisationen", etwa Gruppen von räumlich verteilten Wissenschaftlern oder von Unternehmen, die in einem gemeinsamen Projekt zusammenarbeiten.

Obwohl Grid Computing heute eine bekannte Methode ist (die erste umfassende Darstellung des Grid-Konzepts erschien 1999 unter dem Titel "The Grid - Blueprint for a New Computing Infrastructure", [Fos99]), stellen sich dennoch wichtige Forschungsfragen: verteilte Systeme unterschiedlicher Rechnerarchitekturen, heterogene Anwendungen auf verteilten Systemen, Optimierungsfragen etwa hinsichtlich der Auslastung der Netzkomponenten, Ausfallsicherheitskonzepte, effiziente Administration und Wartung sind hier nur einige Aspekte. Grid Computing ist damit ein aktuelles und innovatives Forschungsgebiet mit hohem Anwendungsbezug in Wissenschaft und Industrie. Weitere Fragen stellen sich insbesondere im Kontext der Standardisierung: Für die umfassende Realisierung der "Grid-Vision" müssen sich Entwickler und Anwender noch auf eine ganze Reihe von bisher erst vorgeschlagenen, derzeit also offenen Standards einigen (etwa "Open Grid Services Architecture" Standards, IEEE Computer Society Standardisierungsbemühungen für Cluster und Grids).

Wichtiger nationaler Partner beim Aufbau dieses Zentrums sind der D-Grid-Lenkungsausschuss (s. [Heg03])³ und das Zuse-Institut Berlin (ZIB).

Ein Zentrum für Grid Computing stellt zudem eine herausragende Chance für die Etablierung von effizienten Kooperationen mit Industrie und Wirtschaft dar. Insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen stellt der Betrieb eigener Höchstleistungsrechner oft eine kaum überwindbare Hürde dar. Durch Bereitstellung entsprechender Ressourcen kann hier eine konkrete, schnelle Problemlösung geboten werden, die ihrerseits vielfältige neue Kooperationsprojekte anstößt.

³Hierbei handelt es sich um eine Kooperation mehrerer wissenschaftlichen Einrichtungen in Deutschland, die sich unter Leitung von Hegering (LMU/LRZ München), Hiller (AWI Bremerhaven), Maschuw (FZK Karlsruhe), Reinefeld (ZIB Berlin) und Resch (HLRS Stuttgart) für den Aufbau eines Grid-basierten eScience-Frameworks engagieren.

Zentrum für Multimedia in Lehre & Forschung (MuLF):

Multimedia in Lehre und Forschung spielt heute weltweit eine immer wichtigere Rolle. Es zeichnet sich die Erkenntnis ab, dass Multimedia-unterstützte Module - wenn sie den hohen Ansprüchen universitärer Lehre genügen - ein enormes Potenzial haben, Lehre und Forschung entscheidend voranzubringen (vergl. auch Kap. 3).

Der Einsatz der "Neuen Medien" ist damit heute selbst ein aktives, hochgradig interdisziplinäres Forschungsgebiet. Dabei spielt wiederum die Bündelung bestehender Kompetenzen einer Universität eine zentrale Rolle: ein solches Zentrum muss auch im Forschungsbereich zunächst seiner Rolle als "Koordinator", damit verbunden aber auch als "Katalysator", multi- und interdisziplinärer Forschung gerecht werden.

Mit dem Zentrum für Multimedia in Lehre & Forschung (MuLF) entsteht eine institutionelle Einbettung für die nachhaltige Integration hochwertiger multimedialer Lerninhalte und Lernformen in die Präsenzlehre der Universität und ein wissenschaftlicher Rahmen für moderne, disziplinübergreifende Multimedia-Forschung.

MuLF umfaßt die drei zentralen Bereiche "Service & Dienstleistungen", "Forschung, Entwicklung & Lehre" und "Organisation & Management" (siehe Kap. 14 für Details):

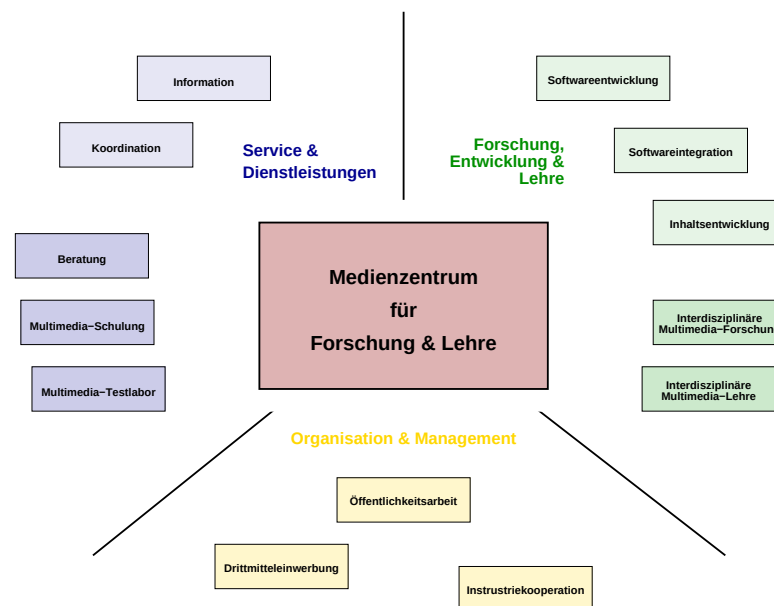


Abb. 13.5: Aufgabenbereiche im Zentrum MuLF

Die Entwicklung, Erarbeitung und Erprobung des Einsatzes von Multimedia ist eine Zukunftsinvestition – in die Qualität der Lehre, aber auch in die Qualität der Forschung. Eine Universität muss daher nicht nur Maßnahmen ergreifen, die kurzfristig die Integration von Multimedia in Lehre und Forschung erleichtern – sie muss viel-

mehr konsequent Maßnahmen zur dauerhaften Sicherung dieses Prinzips entwickeln und praktizieren. Von besonderer Bedeutung sind:

– **Integration:**

Eine erfolgreiche Umsetzung des vorliegenden Konzeptes steht und fällt mit der Einbindung von Dozenten, Wissenschaftlichen Mitarbeitern und Studierenden der Universität in die multimediale Lehre und Forschung.

– **Curriculare und strukturelle Verankerung:**

Wichtige Aspekte einer dauerhaften Sicherung sind neben den technischen Voraussetzungen die Festschreibung multimedialer Anteile in Studien- und Ausbildungsplänen, Studien- und Prüfungsordnungen, aber auch die Verankerungen von Forschungsanteilen, etwa in Leitlinien oder Strukturplänen.

– **IuK- und Infrastruktur:**

Ein Multimediakonzept für Lehre und Forschung stellt Voraussetzungen an die Infrastruktur einer Universität und braucht eine klare IuK-Struktur als "Operationsbasis".

– **Universitäres Profil:**

Eine Universität muss ein Selbstverständnis entwickeln, in dem Multimedia in Lehre und Forschung gewollter und akzeptierter Grundpfeiler künftiger wissenschaftlicher Ausbildung und Forschung ist.

Zentrum für Digitales Bibliothekswesen (DiBi):

Kommunikations- und Informationstechnologien sind heute *die* technische Grundlage für den Zugriff auf Publikationen, Forschungsergebnisse, Präsentationen und Dokumentationen – und damit eine zentrale Grundlage moderner, effizienter und erfolgreicher Forschung.

Zunehmend wird deutlich, dass der institutionellen Vernetzung verschiedener Hochschuleinrichtungen dabei eine zentrale Rolle zukommt:

So spricht sich etwa der deutsche Wissenschaftsrat in seiner richtungsweisenden Schrift “Empfehlungen zur digitalen Informationsversorgung durch Hochschulbibliotheken” (2001, vergl. [Wis]) eindeutig dafür aus, die strenge institutionelle Trennung von Bibliotheken, Rechenzentren und Medienzentren aufzubrechen, und er empfiehlt eine Kooperation zwischen den Dienstleistungszentren im engen Kontakt mit den Fakultäten.

Mit der Gründung der Deutschen Initiative für Netzwerkinformation (DINI) 1999 nach dem Vorbild der US-amerikanischen Coalition for Networked Information (CNI) wurde in Deutschland der Dialog zwischen Bibliotheken, Rechenzentren und Medienzentren auf der einen Seite und der Wissenschaft auf der anderen Seite maßgeblich vorangetrieben.

Den Empfehlungen dieser Einrichtungen wird hier Rechnung getragen:

Als eines der drei interdisziplinären Querschnittszentren wird ein “Zentrum für Digitales Bibliothekswesen” (DiBi) konzeptioniert. Das DiBi-Zentrum, eng eingebunden in bestehende Universitätsbibliotheken und die Fakultäten, ist ein maßgebliches Instrument zum Aufbau eines Kompetenzzentrums für die notwendige Umstellung auf neue Medientypen und Publikationsformen im Bibliotheks- und Publishingwesen.

Dabei liegt der Fokus eines solchen Zentrums nicht darauf, die vielfältigen nationalen und internationalen Bemühungen bestehender digitaler Bibliotheken oder kommerzieller Anbieter ein weiteres Mal zu wiederholen. Vielmehr ist der Auftrag des Zentrums, Kooperationskonzepte zwischen diesen bestehenden Einrichtungen zu entwickeln, die Wissenschaftlern und weiterführend weiten Teilen der Bevölkerung den ungehinderten, orts- und zeitunabhängigen Zugriff auf weltweit verteilte wissenschaftliche Information der verschiedenen Medientypen ermöglichen. Aufgaben dieses Zentrums sind somit:

- Entwicklung und Implementation von Kooperationskonzepten zwischen den verschiedenen lokalen, nationalen und internationalen Einrichtungen digitaler und multimedialer Distribution wissenschaftlicher Informationen
- Digitalisierung und Langzeitarchivierung wissenschaftlichen Materials
- Weiterentwicklung von Information Retrieval Systemen für geeignete Graphical User Interfaces auf den Datenbeständen
- Beteiligung an der Harmonisierung von Metadaten zur Erschließung digitaler

und digitalisierter Ressourcen in wissenschaftlichen Bibliotheken⁴

- Beteiligung an Konzeption und Betrieb von Preprint-, Dokument-, Publikations- und Multimedia-Servern
- Entwicklung und Realisierung moderner Dienstleistungsangebote im Bereich Informationsmanagement, etwa ePublishing (support, peer review Konzepte) und print-on-demand
- Konzeption und Erprobung moderner, neuartiger Bibliotheksnutzungskonzepte

⁴In einem Bericht des Projektes “DL-Konzepte” ebenso wie in der Strategiestudie zur “Zukunft der wissenschaftlichen und technischen Informationen in Deutschland” im Auftrag des BMBF wird ausdrücklich auf die Bedeutung der Mitarbeit öffentlicher Einrichtungen in Standardisierungsgremien hingewiesen.

13.2.4 Die IuK-Organisationsstruktur – Organe, Gremien und Entscheidungsfindungsprozesse

Wir stellen hier zunächst das IuK-Leistungszentrum dar:

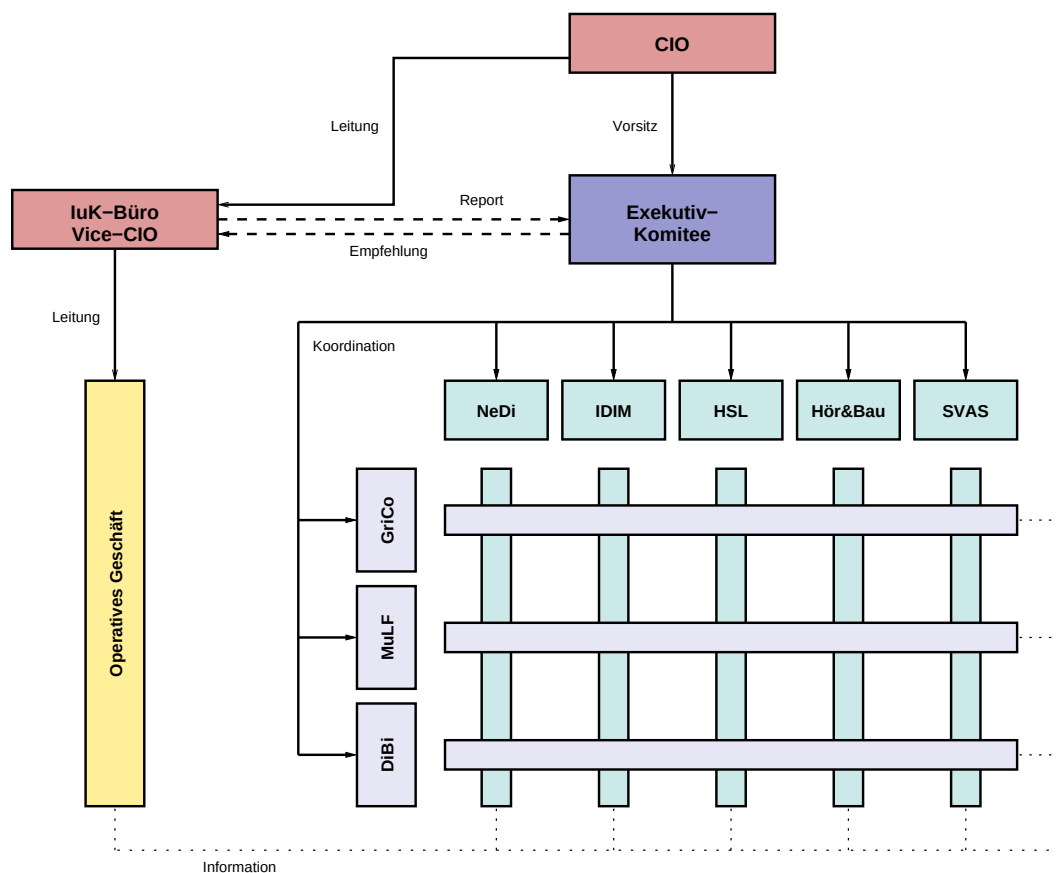


Abb. 13.6: Das IuK-Leistungszentrum

CIO: Das IuK-Leistungszentrum wird von einem CIO (Chief Information Officer) mit weitreichenden Entscheidungs- und Weisungskompetenzen geleitet. Der CIO ist professorales Mitglied der TU und wird vom Präsidenten zunächst für einen Zeitraum von drei Jahren benannt. Er führt den Vorsitz über das Exekutivkomitee (s.u.) und benennt die Leiter der Servicegruppen. Im operativen Geschäft wird der CIO durch das IuK-Büro unterstützt.

Der CIO verfügt über einen eigenen Haushalt. Besondere Bedeutung kommt dabei der Förderung von innovativen “Querschnittsprojekten” (Projekte unter Beteiligung mehrerer Servicegruppen und/oder Zentren) zu, über deren Förderung der CIO nach einem internen Auswahlverfahren entscheidet.

Exekutivkomitee: Das Exekutivkomitee dient der Koordination und Kommunikation der verschiedenen IuK-Tätigkeits- und Forschungsbereiche. Es setzt sich aus den Leitern der Servicegruppen sowie aus den Leitern der Zentren zusammen, den Vorsitz führt der CIO.

IuK-Büro: Das IuK-Büro nimmt das operative Geschäft des IuK-Bereiches wahr, etwa im Bereich Finanzen & Controlling, Koordination & Integrationsaufgaben innerhalb der IuK-Matrix, Verwaltung von Drittmitteln und Organisation bei Industriekooperationen, Innenkommunikation, interne Schulungen, Ausrichtung von Konferenzen, Meetings und Ausstellungen, PR & Knowledge Transfer. Das IuK-Büro wird vom Vice-CIO geleitet. Er übernimmt im Vertretungsfall alle Aufgaben des CIO.

Die folgende Graphik stellt die Einbettung der Gesamt-IuK-Struktur in die Universitätsorganisation dar:

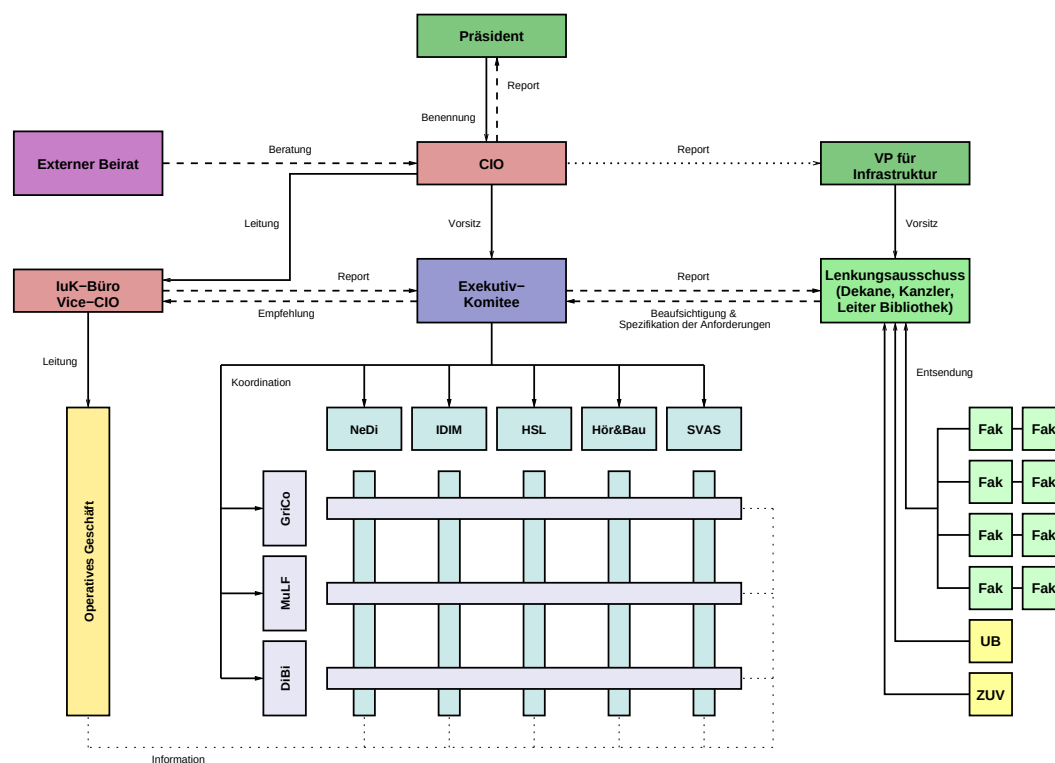


Abb. 13.7: IuK-Gesamt-Organigramm und Einbettung

Der Chief Information Officer wird vom Präsidenten – zunächst für einen Zeitraum von drei Jahren – benannt und berichtet direkt an den **Präsidenten**.

Zusätzliche Verankerung im Präsidium ist durch die Position des neueinzurichtenden

Vizepräsidenten für Infrastruktur gegeben, dem der CIO auf einer sog. “dotted line” berichtet.

Der **Vizepräsident für Infrastruktur** sitzt einem sog. **Lenkungsausschuss** vor, der sich aus den Dekanen der Fakultäten, dem Leiter der Bibliothek und dem Kanzler zusammensetzt. Aufgabe des Lenkungsausschusses ist einerseits die Steuerung der mittel- und langfristigen strategischen Ausrichtung des IuK-Bereiches, andererseits ein inhaltliches Controlling der geleisteten Arbeit.

Der CIO wird in seiner Arbeit unterstützt durch einen **externen Beirat**, der sich aus nationalen und internationalen ranghohen Vertretern aus Hochschule und Industrie zusammensetzt und beratend tätig ist. Aufgabe des externen Beirates ist das Einbringen neuer, innovativer Ansätze und Konzepte sowie ein “State-of-the-Art-Controlling”. Wichtige Effekte solcher Kooperationen sind zusätzlich die Förderung nationaler und internationaler Hochschul- und Industrie-Kooperationen, Interdisziplinarität und Internationalisierung.

13.2.5 Kooperation & Koordination zentraler und dezentraler IuK-Bereiche

Die Abgrenzung von zentralen und dezentralen IuK-Bereichen einerseits, deren Kooperation & Koordination andererseits ist eine der zentralen Herausforderungen einer funktionierenden IuK-Struktur (vergl. Kap. 13.1.2).

Informations- und Kommunikationsversorgung ist heute fester Bestandteil der technischen Infrastruktur einer modernen Industriegesellschaft. Die Entwicklung unserer Gesellschaften hat über Jahrhunderte hinweg gezeigt, dass Infrastrukturaspekte stets “global, übergeordnet, zentral” angegangen werden müssen: die anderenfalls entstehenden Inkompatibilitäten reduzieren den Wirkungsgrad einer Maßnahme drastisch, u.U. bis zum kompletten Misserfolg.

Neben “rein-fachlichen” Aspekten spielen hier jedoch vor allem psychologische Faktoren eine bedeutende Rolle: die Verantwortung für dezentrale IuK-Bereiche liegt entweder bei Fakultäten oder Instituten oder auch direkt bei einzelnen Lehrstühlen. In jedem Fall gilt, dass in dezentralen Strukturen die beteiligten Wissenschaftler ihre persönliche Arbeitsumgebung sehr direkt beeinflussen – für viele Wissenschaftler *die* Voraussetzung für eine kreative und erfolgreiche Forschungstätigkeit. Negative Konsequenzen (geringe finanzielle und personelle Effizienz, Nichterreichen des möglichen Mehrwertes) werden aufgrund deren komplexer Verflechtungen teilweise nicht erkannt, vielfach aber auch zugunsten des eigenen Gestaltungsspielraumes notfalls in Kauf genommen.

Es sollte über eine Anreizschaffung für einzelne Hochschullehrer nachgedacht werden, die sich in bestimmte Bereiche der IuK-Matrix einbringen können.

Es ist von entscheidender Bedeutung,

- IuK-Felder, die “verlustfrei” dezentral organisiert werden können, zu ermitteln und in dezentrale Organisationsformen einzubetten
- für IuK-Felder, die zentralistisch angegangen werden müssen, Strukturen zu schaffen, die die Leistungsträger in Lehre und Forschung in Planungs- und Entscheidungsprozesse so integrieren, dass wiederum die Kernaufgaben einer Universität, Lehre und Forschung, das Design der Gesamtstrukturen bestimmen.

13.2.6 Innovative Kooperationsmodelle

Kooperationen mit anderen Hochschulen, aber auch mit Industriepartnern werden immer bedeutender. Praktisch alle großen Fördereinrichtungen bestehen dementsprechend immer mehr auf der Vernetzung von Projekten zu Verbundprojekten und der Einbindung von Industriepartnern. Organe wie der Wissenschaftsrat weisen in Publikationen und öffentlichen Äußerungen nachdrücklich auf die Wichtigkeit hin, die Kooperation zwischen den Hochschulen und die Kooperationen mit der Industrie zum beiderseitigen Vorteil zu intensivieren.

Kooperationen mit anderen Hochschulen erlauben einer Einrichtung, im anspruchsvollen internationalen Wettbewerb zu bestehen. Ähnlich wie die enge Wechselwirkung von Hochschullehrern innerhalb einer Fakultät fördern Hochschulk Kooperationen neue Ideen, verhindern Verkrustungen und stellen ein Regulativ für eigene Innovationen dar.

Für Universitäten ist die Ausweitung ihrer Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen von großer Bedeutung. Die Hochschule bekommt auf diese Weise eine enge Verbindung zur Praxis: sie verbessert den Wissenstransfer in die Wirtschaft, die praxisorientierte Ausbildung ihrer Studierenden und kann ihre Lehre am Anforderungsprofil der Anwender ausrichten. Zudem bietet Zusammenarbeit die Chance, Forschungsmittel aus der Wirtschaft einzuwerben. Die industriellen Partner verbinden mit intensiven Hochschulk Kooperationen in erster Linie zusätzliche Man-Power, die kurz- bis mittelfristig für neue, innovative Trends zur Verfügung steht, und effizienten KnowHow-Transfer. Image-Gewinn ist ein weiterer zentraler Aspekt. Beide Seiten gewinnen an "externer Expertise".

Gerade im Bereich IuK lassen sich wegen der Breite der Aufgabenstellung vielfältige Kooperationsformen realisieren. Für die Universitäten ist dabei ein entscheidender Aspekt, dass solche Kooperationen, nachdem sie einmal initiiert wurden, ggf. auch für andere, IuK-fernere Projekte zur Verfügung stehen.

Bei der Umsetzung mancher Konzepte ist eine Zusammenarbeit mit erfahrenen IT-Wirtschaftsunternehmen nicht nur von Vorteil, sie ist aus verschiedenen Gründen nahezu unerlässlich:

Um z.B. den gesellschaftlichen Veränderungen wie der Verschmelzung von Arbeits- und Lernwelt und dem lebenslangen Lernen gerecht zu werden, sind Kooperationen mit am Bildungsmarkt agierenden Wirtschaftsunternehmen absolut notwendig.

Der rasante Technologiewandel führt auf immer kürzere Entwicklungszyklen. Schnelle Entwicklung von der "forscherischen Innovation" bis zum "marktreifen Produkt" kann aber nur in enger Verflechtung von Universitäten und Industriepartnern erfolgen.

Auch Partnerschaften für Aufgaben im technischen und organisatorischen Bereich können sich positiv auswirken, da hier stark ausgeprägte Kompetenzen im Bereich der Wirtschaft vorliegen, die an Hochschulen oft erst mühsam erarbeitet werden müssen.

Insbesondere die Erfahrungen, die im Rahmen von Notebook-University-Konzepten gewonnen werden konnten (vergleiche etwa das Projekt Moses, Kap. 3.1), haben neue Wege aufgezeigt: Kooperationen, bei denen der Industriepartner weder ein reiner “Geldgeber” noch ein reiner “Verkäufer” ist, sondern Partner einer komplexen organisatorischen Aufgabe.

Schließlich stellt der Aufbau einer richtungsweisenden IuK-Organisationsstruktur, einer modernen IuK-Infrastruktur und erstklassiger IuK-Kompetenzzentren auch eine finanzielle Herausforderung dar. Die Entwicklung alternativer und innovativer Finanzierungskonzepte, etwa durch neuartige Kooperationsmodelle und/oder strategische Allianzen mit Industriepartnern, ist daher von besonderer Bedeutung.

13.3 Umsetzungsmodell – ausgewählte Aspekte

13.3.1 Zeitplan

Um die Vorstellung eines universitären IuK-Modelles abzurunden, wollen wir abschließend kurz einige Aspekte der Umsetzung diskutieren.

Die Graphik gibt einen Überblick über den zeitlichen Ablauf der Umsetzung des Modelles (Beginn fiktiv, TU-Gegebenheiten entsprechend):

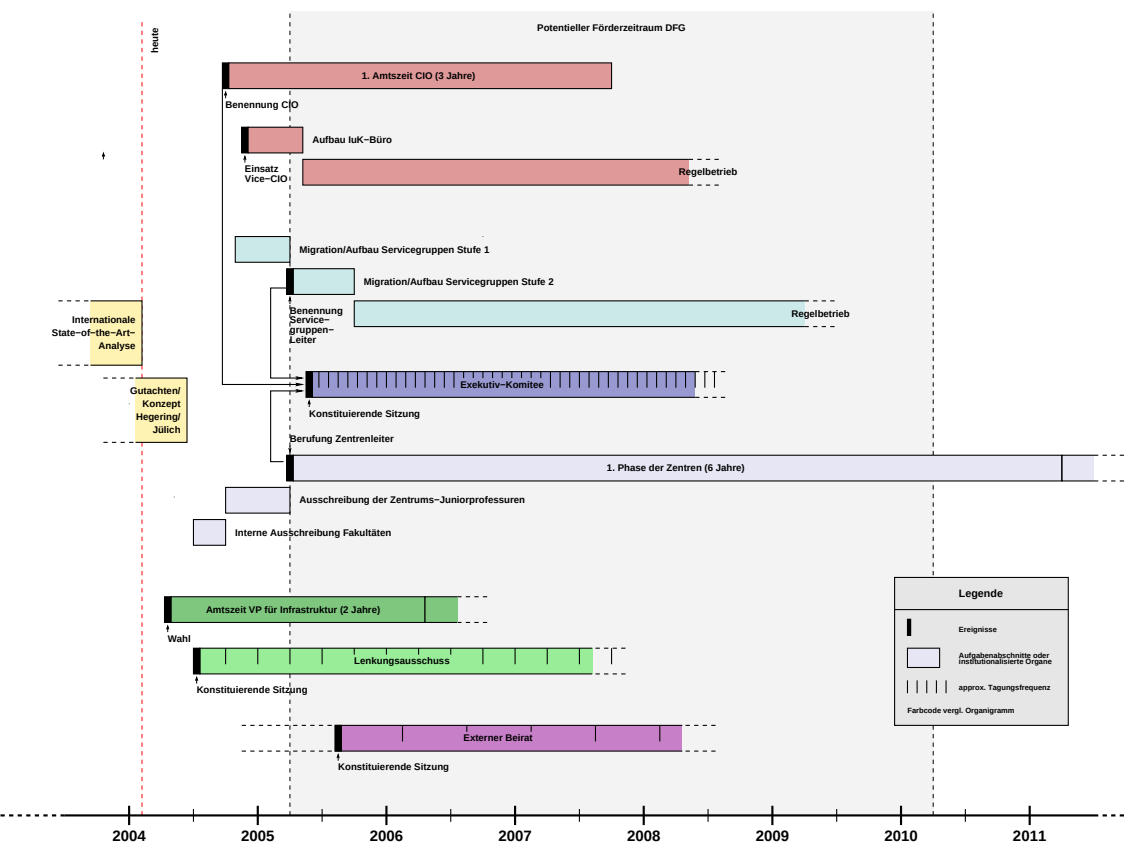


Abb. 13.8: Zeitplan der Umsetzung

Wir wollen nun die einzelnen Phasen der Umsetzung kurz im Zusammenhang mit den Einzelaktivitäten beschreiben:

- **Phase A: Vorbereitungsphase, bestehend aus**

- **Phase A1: Analyse**

Die Vorbereitungen zur Reform der IuK-Struktur beginnen mit einer Analyse-Phase. Ziel ist einerseits, Kompetenz und Leistungsfähigkeit internationaler Hochschulen auf dem Gebiet IuK zu ermitteln, andererseits die Analyse aller verzahnten Geschäfts- und Arbeitsprozesse der Universität (vergl. Kap. 13.1.3).

- **Phase A2: Konzeptionierung**

In der Konzeptionierungsphase wird das strategische Vorgehen für die Umsetzung einer neuen IuK-Struktur geplant. Dabei ist besonders die Einbindung der vorhandenen Kompetenzzentren zu berücksichtigen. Der Migrationsprozess ist im Detail zu strukturieren und vorzubereiten.

Die Lenkung erfolgt durch den Vizepräsidenten für Infrastruktur. Unter seiner Leitung erfolgt die Ausschreibung der einzurichtenden Zentren und die Auswahl der sich bewerbenden Fakultäten. Unterstützt wird der Vizepräsident für Infrastruktur dabei durch den Lenkungsausschuss, der – als erweiterte Dekan-Runde – sofort zur Verfügung steht (vergl. Kap. 13.2.4).

Von zentraler Bedeutung ist in dieser Phase die intensive Beteiligung aller involvierten Gruppen, insbesondere der zentralen Universitätsverwaltung, der Bibliothek, der Fakultäten und der bestehenden Kompetenzzentren, um eine nachhaltige Akzeptanz zu erreichen (vergl. Kap. 13.3.2).

- **Phase A3: Initialisierung**

Wichtige Initialereignisse sind die Ernennung des CIO und des Vice-CIO (vergl. Kap. 13.2.4).

Während der Initialisierungsphase findet die Ausschreibung der Zentrums-Juniorprofessuren durch die entsprechenden Fakultäten statt, das IuK-Büro wird unter CIO und Vice-CIO aufgebaut, außerdem erfolgt die erste Stufe des Migrationsprozesses der bestehenden Einrichtungen in die neuen Strukturen (vergl. Graphik Zeitplan: Migration/Aufbau Servicegruppen Stufe I).

Die Initialisierungsphase endet mit der Berufung der Junior-Professuren als Leiter der Zentren (vergl. Kap. ??) und der Benennung der Servicegruppenleiter (vergl. Kap. 13.2.2).

- **Phase B: Übergangsphase in den Regelbetrieb**

Diese Übergangsphase beginnt im 2. Quartal 2005 und dient insbesondere dem Zusammenwachsen der neuen Struktur zu einem Gesamtteam, zur Entwicklung eines gemeinsamen “Spirits” und der Konvergenz der Einzelbereiche: Es darf nicht erwartet werden, dass mit der Berufung der verschiedenen Leiter auf den

AChtung:
hier ist eine
Referenz
kaputt!

verschiedenen Ebenen bereits die Reform des IuK-Bereiches erfolgt ist. Ebenso können nicht alle Teilreformen sofort und gleichzeitig umgesetzt werden. Vielmehr muss zunächst die Grundlage zum Aufbau der Koordinierungsstruktur einer disziplin- und einrichtungsübergreifenden Zusammenarbeit der verschiedenen beteiligten Kompetenzzentren gelegt werden. Modelle zum schrittweisen Aufbau eines neuen Rollenverständnisses und einer “Dienstementalität” müssen entwickelt, moderiert und umgesetzt werden.

Ein gemeinsamer Zeitplan für die weiteren Migrationsschritte muss entwickelt und anschließend schrittweise umgesetzt werden, so dass am Ende der Übergangsphase die zentralen Migrationsprozesse beendet sind.

Der Aufbau internationaler Kooperationen mit Industrie- und Hochschulpartnern, der bereits in den vorhergehenden Phasen kontinuierlich vorbereitet wird, ermöglicht nun die Gründung des Externen Beirates (vergl. Kap. 13.2.4), der ca. halbjährlich tagt.

Die Übergangsphase beinhaltet vielfache Teilevaluierungen der Einzelbereiche. Sie endet mit der Beendigung der zentralen Migrationsprozesse.

• Phase C: Vom “Projekt” zum “Programm”

Nach der Initialisierungs- und Übergangsphase wird die volle Konzentration des zentralen Projektteils auf der Ausführung der IuK-Matrix mit Projektaufgaben liegen.

Durch den Lenkungsausschuss haben alle Universitätsmitglieder – Fachgebiete wie Verwaltung gleichermaßen – die Möglichkeit, vernetzte Projekte einzubringen. Kooperative und disziplinübergreifende Initiativen werden dadurch stärker gefördert als singuläre Maßnahmen, die Partikularinteressen dienen.

Exemplarisch sollen hier einige konkrete Matrixaktivitäten der Phase C genannt werden:

- Durchgängiges Informationsmanagement für Studierende, elektronisierte Prüfungsverwaltung (Vernetzung von MuLF mit Servicegruppen II und V)
- Erstellung eines Prototypen für Campus-weites GridComputing (Vernetzung von GriCo mit Servicegruppe I)
- Flächendeckende Ausstattung von Hörsälen mit innovativer IuK-Technologie (Vernetzung von MuLF mit Servicegruppe III)
- Bereitstellung von Lizenzservern für Verwaltung und Fachdisziplinen (Vernetzung von GriCo, MuLF und DiBi mit Servicegruppe III)
- Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für personenbezogene Daten und andere datenschutzrelevante Fragestellungen (Vernetzung der Servicegruppen II und V unter Beteiligung von MuLF)
- Einbindung der bestehenden Einzelapplikationen in Wissenschaft und Verwaltung in das zentrale Informationsmanagement (Vernetzung der Servicegruppen II und V unter Beteiligung von MuLF und DiBi)

Einige der Projekte laufen bereits an, andere werden durch die Juniorprofes-

suren, die die Zentren leiten werden, definiert und umgesetzt werden. Wieder andere sollen durch die starke Vernetzung innerhalb der Matrix entstehen oder durch den Input von Lenkungsausschuss oder Beirat initiiert werden.

Langfristige Evaluierungskonzepte sind zu entwickeln: so sind Evaluierungen der Zentren im Abstand von 3 Jahren vorzusehen, die zu eventuell nötigen Korrekturen genutzt werden müssen. Ggf. sind neue Zentren einzurichten, bestehende zu verlängern. Evaluierungen der Servicegruppen werden eher häufiger notwendig sein, sich aber dafür eher auf Einzelaspekte beziehen, um mit der schnellen technologischen Entwicklung Schritt halten zu können.

Steuerungsinstrumente müssen ggf. angepasst werden. Neubenennungen bzw. Verlängerungen von CIO und Vice-CIO sowie die Wahl des Vizepräsidenten für Infrastruktur sind regelmäßig notwendig.

Nachdem die Strukturen geordnet sind, kommt dem Aufbau der internen Kompetenzförderung (vergl. Kap. 13.3.3) eine bedeutende Rolle zu, die nicht nur in der Umsetzungs- und Aufbauphase relevant ist, sondern sich als eine Daueraufgabe einer professionellen IuK-Organisation etablieren muss.

13.3.2 Partizipations- und Integrationsprozesse

Die Partizipation und Integration der Mitglieder einer Einrichtung ist bei weitreichenden Reformen des Arbeitsumfeldes von besonderer Bedeutung. Dies gilt umso mehr, wenn die geplanten Reformen massiv in die gewohnten Arbeitsprozesse und spezifischen Arbeitsgewohnheiten des Einzelnen eingreifen. IuK-Technologien berühren heute den gesamten Berufsalltag – gerade hier ist eine frühzeitige Einbindung aller Beteiligten unbedingt erforderlich.

Die folgende Graphik zeigt einen möglichen Zeitplan für den Partizipations- und Entscheidungsprozess einer Universität bei der Umsetzung einer IuK-Reform:

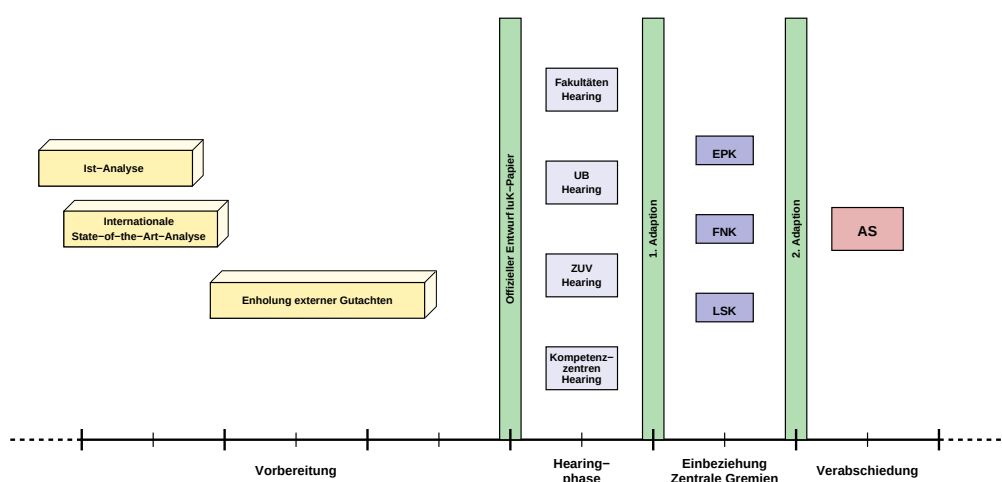


Abb. 13.9: Zeitplan Partizipation

Nach Beendigung der externen Analysen wird ein offizieller Entwurf der zukünftigen IuK-Struktur erarbeitet und universitätsweit vorgestellt. Der nächste Schritt ist die Integration der einzelnen universitären Bereiche: parallel werden ausführliche Hearings mit den Dekanen (für die Fakultäten), der Universitätsbibliothek, der Zentralen Universitätsverwaltung und den bestehenden Kompetenzzentren durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Hearing-Phase fließen in die weitere Ausgestaltung des IuK-Konzeptes ein (1. Adaption). In einer zweiten Hearing-Phase wird das IuK-Konzept mit den zuständigen Gremien diskutiert und ggf. modifiziert (2. Adaption). Abschließend beschließt das zuständige Entscheidungsgremium über den IuK-Strukturplan.

Ziel des gesamten Partizipationsprozesses ist nicht nur die Integration der Beteiligten, sondern auch die Einleitung der Entwicklung einer gemeinsamen Kultur: eine Universität muss ein Selbstverständnis entwickeln, in dem der breite professionelle Einsatz von IuK-Technologien kein "Modetrend" ist, sondern ein gewollter und akzeptierter Grundpfeiler künftiger wissenschaftlicher Ausbildung und Forschung – Identifikation mit den gemeinsamen Zielen ist notwendige Bedingung für dauerhafte Sicherung und Erfolg.

13.3.3 Kompetenzentwicklung

Es ist von zentraler Bedeutung für den Erfolg eines solchen Modelles, ein detailliertes Konzept zur Kompetenzentwicklung der Mitarbeiter zu entwickeln. Folgende Aspekte sind hier wesentlich und sollten Grundlage eines solchen Modelles sein:

- **Technologische Adaption**

Der IuK-Bereich ist durch einen sehr raschen technologischen Wandel geprägt. Weiterbildung und Weiterqualifikation sind absolut unerlässlich, wenn ein hohes Niveau erreicht und moderne Verfahren verwendet werden sollen. Das Erreichen des “state-of-the-art” sowohl im technologischen Bereich (Technologien und ihre Anwendungen) als auch in Fragen von Management und Organisation ist in hohem Maße von der ständigen Aktualisierung des Wissensstandes der Mitarbeiter abhängig.

- **Interdisziplinarität**

Interdisziplinäre Kenntnisse und Fähigkeiten spielen heute in praktisch allen Gebieten eine immer größere Rolle – gerade aber in komplex vernetzten Gebieten wie dem IuK-Bereich. Ein mindestens grundsätzliches Verständnis für die Rolle der Einzelgebiete und gewisse Grundlagenkenntnisse der verschiedenen Bereiche steigert die Chance signifikant, das komplexe Aufgabengebiet zu vernetzen und darauf als effizientes Team zu agieren. Mitarbeitern müssen in die Lage versetzt und motiviert werden, diese Kenntnisse zu erwerben.

- **Social Skills**

Die zunehmende Interdisziplinarität, Internationalisierung und Globalisierung führt zu einer Neubewertung sozialer Kompetenzen – die sog. “Social Skills” werden immer bedeutsamer. Darunter sind hier besonders Teamfähigkeit, Kreativität, Innovationsfähigkeit, Kommunikationsvermögen, Konfliktlösungsstrategien, ganzheitliches Denkvermögen und fortwährende Lernbereitschaft hervorzuheben. Die Förderung dieser sozialen Kompetenzen muss als Teil der Weiterqualifikation begriffen und implementiert werden.

- **Bewältigung des Change Management**

Der IuK-Bereich einer Universität wird auch mittel- und langfristig immer wieder Gegenstand umfassender Umstrukturierungsprozesse sein – bedingt durch die schnelle Entwicklung dieses Gebietes. Es gilt daher, eine Unternehmenskultur zu entwickeln, in denen Veränderungen nicht als potentielle Bedrohung, sondern als die Normalität und Chance begriffen werden. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, dass sich die Mitarbeiter ihrer eigenen Leistungsfähigkeit und ihres Potenziales bewusst werden – insbesondere ihres Potenziales, Veränderungen zu meistern. Verschiedene Maßnahmen sind dazu notwendig – Kompetenzvertiefung durch Weiterqualifikation trägt hierzu entscheidend bei.

Kapitel 14

Medienzentren für Lehre und Forschung

In Kap. 13.2.3 haben wir bereits die Idee eines Medienzentrums für Lehre und Forschung (Zentrum für Multimedia in Lehre & Forschung, kurz: “MuLF”) skizziert.

Als den Abschluß dieser Arbeit wollen wir dieses Zentrum im Detail beschreiben, da es vor dem Hintergrund der Gesamtzielsetzung dieser Arbeit unter den verschiedenen Zentren des vorgestellten IuK-Modelles eine herausragende Rolle für Lehre und Forschung einer Universität einnimmt.

Nachdem Potential (Kap. 3), State-of-the-Art (Kap. 12.1) und Einsatzszenarien (Kap. 4, 12.2) bereits ausgeführt wurden, wird hier nun die universitäre Ausgangslage für eine weitreichende Integration von IT-Technologien in Lehre und Forschung beleuchtet (Kap. 14.1). Basierend auf dieser Ausgangssituation entwickeln wir die Kernaufgabenfelder eines Kompetenzzentrums (Kap. 14.2).

Das Modell basiert auf der Konzeption eines Medienzentrums für Lehre und Forschung (s. [Tho04]), die für die TU Berlin im Rahmen einer Zielvereinbarung mit dem 1. Vizepräsidenten von der Autorin gemeinsam mit Frau S. Morgner, R. Seiler und C. Thomsen (Fakultät II, TU Berlin) entwickelt wurde.

14.1 Hintergrund und Ausgangssituation

Viele Universitäten verfügen über eine durchaus günstige Ausgangssituation, soweit es Erfahrungen, Kompetenz und Engagement mit dem Einsatz von Multimedia in der Lehre und weiterführend auch in der Forschung betrifft:

- **Existenz bestehender Projekte:**

An vielen Hochschulen existiert eine Anzahl von i.a. drittmittelgeförderten Projekten, die von Infrastrukturmaßnahmen über multimediale Inhaltsentwicklung bis zur Entwicklung kompletter, fachdidaktisch optimierter Lernplattformen reichen. Unter ihnen sind typischerweise vermehrt kleinere bis mittlere Einzelinitiativen, an einigen Einrichtungen aber auch größere Entwicklungsprojekte und hochschulübergreifende Kooperationen zu finden.

- **Engagierte Lehrende:**

An vielen Hochschulen besteht ein hohes Engagement individueller Lehrender, moderne Lehre voranzutreiben und eine optimale multimediale Lerninfrastruktur – auch mittels eigens dazu eingeworbener Drittmittel – zu erzeugen.

- **Unterstützung durch die Leitungsebene:**

An vielen Hochschulen sind Potential und Chancen in der Leitungsebene bekannt, Initiativen werden vielfach (i.a. als Einzelmaßnahmen) unterstützt und gefördert.

- **Akzeptanz durch die Studierenden:**

An vielen Hochschulen werden die Ergebnisse der Multimedia-Projekte von den Studierenden angenommen und geschätzt.

Andererseits fehlt es vielen Universitäten an einem erkennbaren Gesamtengagement. Dieser ersten – positiven – Bilanz steht daher ein anderes, wesentlich schwächeres Bild gegenüber:

- **Fehlende IuK-Organisationsstrukturen**

Versäumte Reformen der gesamten Informations- und Kommunikationsstruktur (vergl. S. 241f) haben fehlende Strukturen zur Folge. Diese Strukturdefizite sind dort besonders gravierend, wo verschiedene Bereiche der Universität betroffen sind, die eigentlich gemeinschaftlich agieren müssten: Es gelingt nur selten, größere Projekte für Multimedia-Anwendungen in Lehre, Studium und Weiterbildung auf Basis einer fach- und hochschulübergreifenden Zusammenarbeit zu initiieren und zu koordinieren – die Tendenz zu Insellösungen und Doppelentwicklungen ist unübersehbar.

- **Unzureichende IuK-Infrastruktur**

Die gegenwärtige Situation ist für die Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnik in Lehre und Forschung vielerorts unzureichend. Das betrifft

sowohl die IuK-Infrastruktur an der Hochschule selbst als auch die strukturellen organisatorischen Voraussetzungen und das Dienstleistungsangebot der Rechenzentren, Bibliotheken und Medienstellen.

- **Fehlendes Nachhaltigkeits- und Kompetenzerhaltungskonzept**

Die Majorität der Multimedia-Initiativen wird an vielen Hochschulen aktuell durch externe Drittmittel finanziert. Im Rahmen dieser – von DFG, BMBF, EU u.a. Förderungseinrichtungen unterstützten Projekte – wurden erhebliche Kompetenzen entwickelt. Eine Basis für den Übergang von *Projekt* zu *Programm* steht aber aus. Den Universitäten droht, die erworbenen Kompetenzen nach Auslaufen der Projekte wieder vollständig zu verlieren, weil ein Konzept zur breiten Kompetenzentwicklung und dauerhaften Kompetenzsicherung unter den Mitarbeitern fehlt.

- **Fehlende Integration in das universitäre Profil**

Den Universitäten fehlt eine klare Orientierung, ein Selbstverständnis für den Wert Neuer Medien in ihrer Ausbildung und Forschung und Vertrauen in ihr Potential, diese anzuwenden und weiterzuentwickeln. Multimedia in Lehre und Forschung ist bisher kein für alle erkennbarer integraler Bestandteil des universitären Profils; vor diesem Hintergrund ist das Engagement einer breiten Mehrheit ihrer Mitarbeiter nicht zu erwarten. Zu sehr prägen Einzelinitiativen den Multimediaeinsatz; das Gesamtbild der Universitäten aber bleibt weitgehend unverändert.

Vor dem Hintergrund dieser Betrachtungen ist die Notwendigkeit der Bündelung und Vernetzung der verschiedenen Aktivitäten zwingend.

Ein Medienzentrums für Forschung & Lehre kann die Aufgabe übernehmen, die traditionelle Lehre durch moderne Medien kompetent zu erweitern und deren Bündelung und Vernetzung zu steuern. Ein solches Zentrum muss organisatorisch angebunden sein – über eine funktionierende IuK-Struktur, und es muss wissenschaftlich angebunden sein, über enge Kooperation mit den Instituten und über erfolgreiche Forschung und Lehre.

Dabei ist die “vertikale Einbindung” des Zentrums in die universitären Strukturen von besonderer Bedeutung: nur wenn ein solches Zentrum auch ein Forschungszentrum ist, kann die Ein- und Anbindung an die Institute gelingen, und das wiederum ist *die* zentrale Voraussetzung für das zentrale Anliegen des Zentrums, die erfolgreiche Integration multimedialer Elemente in Lehre und Forschung.

Im folgenden wollen wir das Modell eines solchen Zentrums beschreiben.

14.2 Leistungsschwerpunkte des Medienzentrums

Die wichtigste Aufgabe eines solchen Zentrum sind die ständige Erweiterung der entsprechenden Medienkompetenz der Mitglieder einer Universität, die Koordination einzelner Initiativen, technische Integration, Untersuchung multimedialer Technologien für Forschung und Lehre sowie die Darstellung der Medienkompetenzen nach innen und außen.

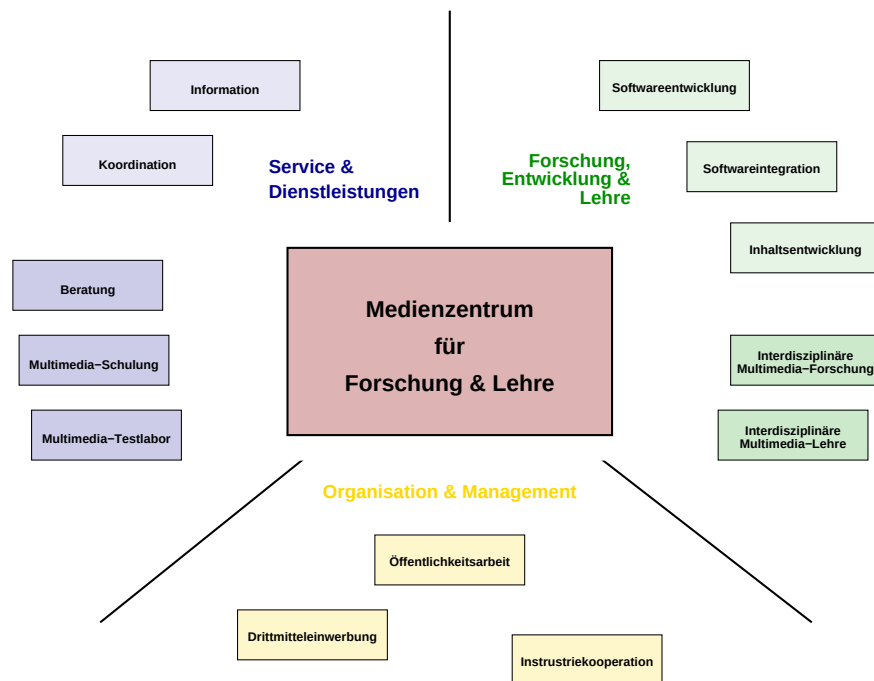


Abb. 14.1: Herausforderungen in der Übersicht

Im folgenden wollen wir die Einzelbereiche dieses *TU-Medienzentrums für Forschung & Lehre* genauer beschreiben.

14.2.1 Bereich “Service & Dienstleistungen”

Ein modernes Kompetenzzentrum muss sich in erster Linie als Dienstleister gegenüber den Vertretern der Kernaufgaben einer Universität, Forschung und Lehre, verstehen. Die zentralen Aufgaben liegen dabei im Bereich von Information und Koordination einerseits, im Bereich der Unterstützung der Mitarbeiter andererseits.

- **Information**

Die existierenden Möglichkeiten für den Einsatz von Multimedia in Lehre und Forschung sind nicht allen Lehrenden bekannt – aber nur wer weiß, welche Möglichkeiten bestehen, kann erwägen, sie auch einzusetzen. Das Medienzentrum muss daher über Öffentlichkeitsarbeit, Ausstellungen zum “Anfassen” etc. informieren und interessieren.

Die wichtigen Themenkreise sind dabei:

- **Laufende Projekte,**
die sich auf die multimedialen Ausbildung beziehen, Darstellung, Verlinkung, Benennung der Ansprechpartner
- **Das “Who-is-Who” des TU-Multimedia,**
in dem Ansprechpartner, Projektbetreiber und andere Multimedia-Kompetenzträger einer Universität mit Kontaktdaten benannt werden
- **Einsetzbare Applikations-Software,**
die in besonderer Weise auch für den Einsatz in der Lehre geeignet ist, mit Kurzbeschreibung, Systemvoraussetzungen und Lizenzbedingungen
- **Infrastrukturübersicht & Hörsaalausstattung,**
übersichtliche Darstellung über lokale technische Gegebenheiten, etwa Bereitstellung von Funknetz (WLAN), Ausstattung der Hörsäle mit multimedia-nutzbaren Elementen (mit Lageplänen, Einsatzmöglichkeiten, Nutzerhinweisen etc.)
- **Aktuelle Ausschreibungen,**
die sich auf Multimedia in Lehre und Forschung beziehen (idealerweise als Auszug einer Gesamtdatenbank mit aktuellen Förderungsinstrumenten)
- **Laufende Projekte an anderen Einrichtungen,**
die für den Multimediaeinsatz in Lehre und Forschung der eigenen Universität von großem Interesse sind

- **Koordination**

“Koordination” umfasst hier i.w. die folgenden Aufgabengebiete:

- **Strukturelle Koordination der Aktivitäten**
Wir befinden uns heute in einer “zweiten Phase” des Einsatzes von Multimedia in Lehre und Forschung: in den vergangenen Jahren sind viele Pilotprojekte durchgeführt worden, die Infrastruktur hat sich in einigen Teilen den neuen Anforderungen angepasst, die ersten praktischen Erfahrungen im Umgang mit den Möglichkeiten der Neuen Medien exi-

stieren. Diese Aktivitäten sind aber – fast ausnahmslos – durch inselartige Designansätze gekennzeichnet. Das ist keineswegs als ein Vorwurf an die Projektbetreiber zu verstehen: *ohne* solche Pilotverfahren wären wir heute nicht in der Lage, qualifiziert über die Integration zu einem sinnvollen Ganzen nachzudenken. “Integration” kann nicht “globale Vereinheitlichung”, “komplette Standardisierung” bedeuten – das lässt die fachliche Verschiedenheit nicht zu. Gleichzeitig ist aber eine Integration von Einzelmaßnahmen dringend notwendig – erst dann wird nämlich das eigentliche Potential von Multimedia in Forschung und Lehre sichtbar und nutzbar. Die Koordination von Kooperationen innerhalb einer Einrichtung ist daher unbedingt erforderlich. Eine Aufgabe eines Medienzentrums ist es, einen Katalog von konkreten Maßnahmen auszuarbeiten. Am wichtigsten sind hier z.B. die Bündelung der verschiedenen an der Universität angesiedelten Kompetenzen durch regelmäßige Treffen, Organisation von Meetings, Workshops, Konferenzen und Ausstellungen, die Koordination gemeinsamer, disziplinübergreifender Anträge, gemeinsame Schulungskonzepte etc.

– **Koordination zum Zweck der Drittmittelinwerbung**

Die Koordinierung von verschiedenen Partnern (inneruniversitär, aber auch über die Grenzen der Hochschule hinaus zu universitären Verbänden) zur Einwerbung weiterer Mittel für den Ausbau des Einsatzes von Multimedia in Lehre und Forschung stellt ebenfalls eine zentrale Aufgabe des Zentrums dar. Hier zeichnet sich nämlich ein Paradigmenwechsel ab, er hat in Teilen auch bereits stattgefunden: während in den ersten Förderungsphasen verschiedener Drittmittelgeber viele kleine, “inselartige” Projekte finanziert wurden, kommen zunehmend nur noch große Verbundprojekte, große nationale und internationale Kooperationen zum Zuge. Damit können Antragstellungen überwiegend nicht mehr über einzelne Personen laufen: beträchtliche Teile werden überwiegend nur noch für gesamtuniversitäre oder transnationale Konzepte ausgeschrieben. Universitäten müssen in der Lage sein, an solchen Ausschreibungen zu partizipieren – die Kenntnis über potentielle passende Partner sowie der Aufwand der Partnerkoordination überfordert aber vielfach die Möglichkeiten, insbesondere dort, wo Multimedia-Aktivitäten erst begründet werden sollen.

• **Beratung**

Der gelungene Einsatz mit *Lernmehrwert* für Studierende erfordert von den Lehrenden Entwicklungsarbeit. Oft ist nicht Unwille, sondern Unkenntnis im Umgang der Grund für eine Zurückhaltung im Einsatz moderner Lehrmittel. Es besteht Beratungsbedarf:

– **Beratung im Umgang mit Software und Tools**

Gerade der erste Einsatz von Multimedia oder Auswahl und Ersteinsatz eines speziellen Tools/einer speziellen Software stellt den Lehrenden vor

Schwierigkeiten. Hier soll das Medienzentrum durch die an der TU gesammelten Erfahrungen Hilfestellung geben und insbesondere Ansprechpartner vermitteln.

- **Technische Beratung**

Häufig ist der Aufwand im Erlernen des Umgangs mit speziellen Computerfeatures, WLAN oder die Erarbeitung einer gelungen Homepage für eine Lehrveranstaltung ein Hemmschuh für den Einsatz moderner Medien. Wie gestaltet man eine multimediale Präsentation auch aus darstellungstechnischer Hinsicht? Wie baut man netzbasierte Kommunikationsmöglichkeiten (Foren, Chatrooms) auf? Kommt man im Hörsaal xy auch ins Funknetz? Wenn ja, wie?

- **Didaktische Beratung für Multimediaeinsatz**

Der Einsatz von Multimedia in der Lehre ist sehr vielseitig (vergl. Kap. 4). Umso schwieriger ist es, abzuschätzen, welchen Lernmehrwert sich ein Lehrender bzgl. der eigenen, konkreten Veranstaltung erhoffen darf. Wieder ist Hilfestellung und das Vermitteln kompetenter Ansprechpartner erforderlich.

- **Beratung zu juristischen Fragen von Inhalts- und Softwareerstellung**

Die Klärung von Urheberrechts-, Copyright- und Lizenzierungsfragen wird zunehmend wichtig für Universitäten, wenn ihre Mitglieder Software oder multimediale Lerninhalte (weiter-)entwickeln. Während diese Fragen etwa für lehr- und lernorientierte Printmedien gut geklärt sind, stellt sich im softwarenahen Multimedia-Bereich die Rechtslage als vielfach noch unklar dar und ändert sich teilweise auf sehr kurzen Zeitskalen. Versäumnisse hier sind oftmals mindestens "ärgerlich" (weil z.B. eine ungewollte Fremdnutzung zu Imageschäden führt), können aber auch zu ernsthaften Problemen führen – z.B. wenn aus Unkenntnis Lizenzverletzungen begangen werden, für die dann die Universität aufkommen muss.

- **Beratung über das Schulungsangebot**

Schließlich kann auch der Vorschlag zu geeigneten Weiterbildungen zum Einsatz von modernen Lehrmitteln im Unterricht (vergl. folgender Absatz) Gegenstand der Beratung sein.

- **Multimedia-Schulung**

Analog zum Beratungsbedarf stellt sich auch potentieller Schulungsbedarf dar: Schulungsbedarf kann vor allem entstehen in den Bereichen

- **Umgang mit Software und Tools**

- **Allgemeine Technik**

- **Didaktik/Fachdidaktik Multimedia**

Auch hier muss es in erster Linie um eine *Vermittlung* des Angebots – Schulungskoordination also – durch *links* gehen, da eine umfassende Ausbildung

erstens kaum zu leisten wäre und zweitens existierende Angebote unnötig doppelten würde.

Besteht umgekehrt die Erkenntnis, dass es einen konkreten Schulungsbedarf zu einem bestimmten Tool, einer konkreten Technologie, einer bestimmten Fragestellung gibt, der durch bestehende Schulungsangebote *nicht* abgedeckt werden kann, wäre es Aufgabe des Zentrums, eine solche Weiterbildung zu initiieren, indem es die Organisation einer solchen Veranstaltung übernimmt.

- **Multimedia-Testlabor**

Die Integration von multimedialen Elementen in die Lehre erfordert nicht nur *abstrakte* Beratung – vielmehr ist es absolut notwendig, dass Lehrende die verschiedenen Tools selbst ausprobieren können, *bevor* sie sich zu einem größeren Einsatz im Unterricht entscheiden. Dazu benötigt man ein Testcenter für Multimedia-nahe Technologien, ein “Multimedia-Testlabor”:

- **Spezielle Software und Tools**

State-of-the-Art-Applikationssoftware, spezielle eTeachingTools, eLearning-Plattformen etc. stehen – unter verschiedenen Betriebssystemen mit der neusten lauffähigen Version – bereit, um von dem interessierten Lehrenden getestet zu werden.

- **Tools zur Hörsaalausstattung**

Entsprechend muss Lehrenden auch die Möglichkeit gegeben werden, Hörsaaltechnologien – in Verbindung mit den von ihnen geplanten Lehr-einsätzen – zu testen.

Ein solches Testlabor hat zwei wichtige zusätzliche Funktionen: so wie die auf S. 275 beschriebene Informationsplattform über die Multimedia-Aktivitäten einer Universität informiert, so informiert ein solches Zentrum über den aktuellen technischen “State-of-the-Art”. Zudem fungiert es als aktives Testcenter neuer Software und neuer Software-Releases, ein Aspekt, der in Zukunft von zentraler Bedeutung sein wird, wenn die Verwendung solcher Tools weiter ansteigt.

14.2.2 Bereich “Forschung, Entwicklung & Lehre”

Dass ein Medienzentrum für Forschung & Lehre auch *Forschung & Entwicklung* (Forschung im F&E-Sinne) betreiben muss, liegt auf der Hand: nur so können die großen Herausforderungen vor allem der Softwareintegration geleistet werden.

Der Einsatz der “Neuen Medien” ist heute aber auch selbst ein aktives, hochgradig interdisziplinäres Forschungsgebiet (vergl. Kap. 12.2.3). Zu glauben, man könne “Multimedia” als bloßes Tool einer besseren Unterrichtsvermittlung benutzen, ohne die genaue Wirkungsweise zu hinterfragen, ist bestenfalls naiv, möglicherweise aber auch gefährlich. Auch einfaches Übertragen von (bisher ebenfalls raren!) Konzepten, die sich möglicherweise im Bereich “Schulen” oder im Bereich “Berufliche oder interne Aus- und Weiterbildung” bei Industriebetrieben bewährt haben, sind nicht automatisch Konzepte einer modernen Universität, die sich mit internationalen Spitzenleistungen messen muss – im Gegenteil.

Eine weitere wichtige Aufgabe des Zentrums liegt damit in aktiver Forschungsarbeit. Dabei spielt aber wiederum die Bündelung bestehender Kompetenzen eine zentrale Rolle: ein solches Zentrum muss auch im Forschungsbereich zunächst seiner Rolle als “Koordinator”, damit verbunden aber auch auch “Katalysator” interdisziplinärer Forschung gerecht werden.

Schließlich müssen Forschung und Forschungsergebnisse auch wieder in die Lehre zurückfließen, wie es die Einheit von Lehre und Forschung vorsieht.

Der Komplex “Forschung, Entwicklung & Lehre” umfasst daher die folgenden Bereiche:

- **Softwareentwicklung**

Wir unterscheiden hier die folgenden Aspekte:

- **eLearning-Plattformen und -Anwendungen**

Trotz eines riesigen Angebotes an verschiedener Lern- und Lehrsoftware und verschiedenster eLearning-Plattformen – eine Revolution fachdidaktisch optimierte Lehr- und Lernplattformen, die in der Lage wären, “echt multimediale” Inhalte auf universitärem Niveau auch geeignet einzusetzen, steht noch aus. Universitäten sind hier gefragt, Entwicklungen voranzutreiben, die ihren fachlichen Ansprüchen gerecht werden. Hieraus ergibt sich die wichtige Aufgabe der (Weiter-) Entwicklung solcher, i.a. auch fachspezifischer eLearning-Software.

- **Autorenwerkzeuge**

Eine besonders wichtige Software-Gruppe stellen die sog. “Autorenwerkzeuge” dar: Wissenschaftler müssen für die Erstellung multimedialer Lehr- und Lerninhalte gewonnen werden. Das wird signifikant erschwert, wenn keine einfachen Werkzeuge hierzu bereitstehen. Teilweise setzt die heutige Erstellung multimedialer Inhalte heute Fachkenntnisse voraus, deren Erwerb einen unzumutbar hohen Zusatzaufwand bedeutet, als Bei-

spiel darf die Erstellung von (didaktisch hochwertigen, hochgradig interaktiven) Applets gelten. Die Entwicklung geeigneter Hilfsmittel (Beispiel z.B. “AppletFactory”, s. S. 62) ist eine zentrale Voraussetzung für qualitativ hochwertige multimediale Inhalte.

– **Fachspezifische Applikationssoftware**

Fachspezifische Applikationssoftware ist von besonderer Bedeutung für die Entwicklung von Software an Universitäten, weil es sich hier um ein wesentliches Bindeglied zur Forschung an einer Universität handelt. Gerade Wissenschaftler sind gefragt, aber auch fachlich in der Lage, fachspezifische Software zu designen, die modernsten Forschungsansprüchen genügt.

• **Softwareintegration**

Eine der zentrale Herausforderungen exzellenter multimedialer Lernumgebungen liegt heute in der Vernetzung und der Softwareintegration bestehender oder in Entwicklung befindlicher Einzelkomponenten. Tatsächlich stehen wir heute vielfach vor der Situation, dass das eigentliche Potential multimedialer Komponenten nicht zum Einsatz kommen kann, weil die verschiedenen Komponenten nicht untereinander vernetzt werden können. So können bereits Ergebnisse aus dem CAS Mathematica nicht ohne Schwierigkeiten in ein anderes CAS, etwa Maple, exportiert werden. Noch schwieriger gestaltet sich die Situation, wenn zwischen zwei fachlich weiter entfernten Softwaretools kommuniziert werden soll. Ein anderes wichtiges Beispiel für die Notwendigkeit der Vernetzung von Software ist der Austausch von Inhaltsbausteinen zwischen verschiedenen “Lernplattformen”.

Als zu organisierende Tätigkeitsfelder ergeben sich:

– **Aktive Integration von Einzelkomponenten**

Die Ursache für einen guten Teil der o.g. Schwierigkeiten liegt im Ansatz eines monolithischen Softwaredesigns der Einzelkomponenten. Gesucht sind Software-Modelle, die sich auf dem Ansatz möglichst hohen Interoperabilität begründen. Auch hier münden die universitären Bedürfnisse, die aus dem Einsatz von Multimedia in Lehre und Forschung resultieren, in aktuellste Forschungsfragen ein.

– **Standardisierung**

Eine zweite, zentrale Ursache liegt in der fehlenden Definition offener Schnittstellen und Austauschformate. Als zu organisierendes Tätigkeitsfeld ergibt sich damit auch die Beteiligung an nationalen und internationalen Standardisierungsbemühungen.

• **Inhaltsentwicklung**

Hieraus ergibt sich für Universitäten die wichtige Aufgabe von der (Weiter-)Entwicklung technischer Voraussetzungen multimedialer Inhaltserstellung und des tatsächlichen Designs multimedialer Inhalte:

– **Inhaltsentwicklung in Kooperation mit den Instituten**

Auf dem Niveau *universitärer*, „echt multimedialer“, also hochgradig interaktiver, zur eigenständigen Entdeckung von Wissen geeigneter Lehre stehen viele Materialien heute vielfach noch nicht zur Verfügung. Diese Materialien werden auch auf absehbare Zeit *nicht* von Verlagen oder auf Wissensmanagement spezialisierten Softwaregesellschaften angeboten werden. Der Grund liegt nicht nur in einer geringen Gewinnerwartung, sondern auch in fehlender fachlicher Expertise: schließlich werden Fachbücher ja auch nicht von Verlagsmitarbeitern geschrieben, sondern i.a. von Mitgliedern der entsprechenden *scientific community* an den Universitäten.

– **Technische Voraussetzungen der Inhaltsentwicklung**

Die eigentliche Entwicklung multimedialer Lehr- und Lerninhalte wirft oft technische Schwierigkeiten auf, wenn es um die Realisierung inhaltlicher Spezialanforderungen geht. Ein Beispiel aus Multimedia-Projekten im Bereich der Mathematik ist die Darstellung von Formeln – die WWW-Sprache „HTML“ ist nicht in der Lage, mathematische Symbole darzustellen. Lange Zeit war der praktizierte Work-around die Darstellung von Formeln als Bild – mit den entsprechenden Konsequenzen an Ladezeiten und Nicht-Skalierbarkeit des abgebildeten Schriftsatzes. MathML, ein Dialekt von XML, ist inzwischen als Standard verabschiedet – Mathematik wird aber i.a. im dem wissenschaftlichen Text-Satz-System LaTeX geschrieben. Verwendung bestehender mathematischer Texte war praktisch unmöglich, die Begeisterung der Mathematiker als Autoren multimedialer Inhalte zurückhaltend – denn es existierten bis vor kurzer Zeit keine LaTeX-MathML-Parser. Im Projekt „Mumie“ (vergl. Kap. 10) wurde deshalb inzwischen ein solcher entwickelt, der als Open-Source-Software zur Verfügung steht. Im strengen Sinn handelt es sich hier wiederum um Softwareentwicklung, aber mit eindeutigem „Tool-Charakter“.

• **Interdisziplinäre Multimedia-Forschung**

Die Forschungsfragen, die sich im Zusammenhang mit dem Multimedia-Einsatz in Lehre und Forschung stellen, wurden in Kap. 12.2.2 und insbesondere in Kap. 12.2.3 ausführlich beschrieben – auf eine Doppelung soll hier verzichtet werden.

Stattdessen soll hier betont werden, warum wir eine solche Forschung brauchen: In den vergangenen Jahren sind eine Vielzahl von Artikeln, Büchern und anderen Veröffentlichungen erschienen, die sich mit möglichen Modellen der Integration von Multimedia in die Lehre befassen. Der Stand der Forschung verändert sich auf kürzesten Zeitskalen dramatisch. Es stellen sich dabei drei zentrale Fragen: Welche der derzeit diskutierten Modelle sind tatsächlich erfolgversprechend? Und zweitens: Welche dieser Modelle sind für eine Universität, speziell für eine technische Universität, in besonderer Weise geeignet? Und schließlich auch: Welche – bisher von der Forschung unbeantworteten Fragen – sind nötige Voraussetzung zur technischen Umsetzung?

Damit kommt der Analyse, (Weiter-)Entwicklung und Evaluation multimediale Lehr- und Lernformen eine zentrale Aufgabe zu. Das hohe Forschungsaufkommen in diesem Gebiet macht zudem eine permanente Weiterbetrachtung notwendig und zugleich zweckdienlich. Damit ein "Multimediatekonzept" greifen kann, muss also Multimedia selbst Gegenstand von Forschung und Entwicklung einer Universität sein, und zwar technologischer, medienwissenschaftlicher, pädagogischer und fachdidaktischer Art.

- **Integration von Multimedia-Forschung in die Lehre**

Die Weiterentwicklung von Lehre an Universitäten geschieht allgemein dadurch, dass Erkenntnisse, die in der Forschung gewonnen werden, über kurz oder lang in die Lehre fließen. Dies wird bewirkt durch das Interesse des Lehrenden, bei den Studierenden immer bessere und aktuellere Themen vermitteln zu können, sowie durch die Neugier und Nachfragen der Lernenden. Dies gilt für Multimedia als Lernform sowie als Forschungsgegenstand in den entsprechenden Fächern. Die Einheit von Forschung und Lehre im Multimediabereich wird hier innerhalb der Universität gesichert.

14.2.3 Bereich "Organisation & Management"

- **Öffentlichkeitsarbeit**

Das Engagement einer Einrichtung hinsichtlich ihrer Modernisierung der Lehre und Forschung durch die Integration vom Multimedia muss – nach innen und nach außen – deutlich werden. Wichtige Mittel sind hier:

- **WWW-basiertes Informationssystem**

Präsentationen wie das auf S. 275 beschriebene Informationssystem leisten hier hervorragende Beiträge, wenn sie so gestaltet werden, dass sie (oder mindestens gewisse "Publik-Teile") auch für eine breite Öffentlichkeit verständlich sind.

Ein solcher Auftritt sollte Antwort auf einige zentrale Fragen geben: Wie werden verschiedene Disziplinen multimedial unterstützt? Welche Software wird in welcher Veranstaltung verwendet? Welche Kompetenz kann in der Lehrveranstaltung zusätzlich zur inhaltlich-fachspezifischen erworben werden (z.B. Umgang mit spezieller Software)? Wie wird die Studienorganisation multimedial unterstützt (Online-Registrierungen, email-Services etc)? Als Vorbild kann hier z.B. das MIT in Cambridge/Massachusetts gelten.

- **Ausstellungen, Messen, Konferenzen**

Einrichtungen wie das auf S. 278 vorgestellte Multimedia-Testlabor eignen sich hervorragend, um nicht nur den eigenen Mitarbeitern, sondern auch der Öffentlichkeit einen Einblick in die Möglichkeiten multimedialer Lehr-, Lern- und Forschungsszenarien zu geben.

Ein Medienzentrum für Forschung & Lehre muss außerdem systematisch

auf Messen, Ausstellungen (Online Educa, Learntec etc.) national und international präsent sein – mit einem zusammenhängenden Ausstellungsstandkonzept, das die Vielfalt und gleichzeitig die Kooperation der Teile verdeutlicht.

Mitglieder des Zentrums sollten an nationalen und internationalen Konferenzen – möglichst als Vortragende – teilnehmen.

Das Zentrum selber sollte Raum bieten für kleine Ausstellungen, Seminare, Workshops etc., die sich nicht nur an die Mitarbeiter, sondern an größere, interessierte Teile der Bevölkerung wenden.

- **Edutainment**

Eine weitere, wichtige Möglichkeit, weite Teile der Bevölkerung zu erreichen und über die Tätigkeiten der Universität im Bereich “Multimedia” zu informieren, lässt sich am besten mit dem Begriff “Edutainment” umschreiben. Im weitesten Sinne sind hierunter Aktionen zu verstehen, die in “spielerischer” Weise Wissenschaft, wie sie an der Universität betrieben wird, vermitteln. Besonders geeignet erscheinen Themen mit gewissem Anwendungsbezug zum Alltag oder hoher Aktualität.

- **Drittmittelinwerbung**

Die gegenwärtig existierende Hardware und die erarbeitete Softwarekompetenz sind vielfach nur durch das Einwerben von Drittmitteln möglich geworden. Drittmittelinwerbungen sind von zentraler Bedeutung für das Medienzentrum, ausgewählte Aspekte sind dabei:

- **Weiterentwicklung didaktischer Konzepte**

Die Weiterentwicklung didaktischer Konzepte in der multimedialen Ausbildung wird durch eine Reihe von Mittelgebern finanziert. Eine Koordination von ingenieur- oder naturwissenschaftlichen Inhalten mit neuen Ideen aus dem Bereich der Didaktik ist hier besonders vielversprechend und gleichermaßen notwendig für einen effizienten Einsatz der neuen Medien. Entsprechende Entwicklungen sind in den Geistes- und Sozialwissenschaften voranzutreiben.

- **Modernisierung der Hörsaalausstattung**

Zentrale Voraussetzung für den Einsatz der Neuen Medien ist eine sachgerechte Ausstattung der Hörsäle mit entsprechender Technologie. Die entstehenden Kosten sind außerordentlich hoch, können aber durch Sponsoring-Modelle mit Industriepartnern reduziert werden.

- **Ausstattung der Studierenden**

Auch auf Seiten der Studierenden sind Ausstattungsfragen zu klären. Im Rahmen einiger Förderprogramme konnten in der Vergangenheit teilweise sog. “Sozialkonzepte” finanziert werden, die die Studierenden teils etwas, teils erheblich bei der Anschaffung notwendiger Arbeitsmaterialien entlasteten. Sponsoring von Software durch Industriepartner ist eine weitere Möglichkeit, Kosten für die Studierenden zu reduzieren. Logistisch bietet

sich hier ein geschlossenes Konzept als Angebot für die Studierenden an – zu einem solchen gehört z.B. auch ein “CampusShop”, der zusätzlich zu einem angemessenen Hard- und Softwareangebot auch Service- und Wartungsleistungen erbringen kann.

– **Forschungsförderungsprogramme**

In der Vergangenheit war es häufig schwierig, Forschungsfragen aus dem Umfeld “Multimedia in Lehre und Forschung” in den Programmen zu platzieren (etwa DFG), weil aus Sicht der Gutachter häufig der “hart wissenschaftliche Forschungsanteil” nicht hinreichend erkennbar war. Zunehmend setzt sich aber bei potentiellen Geldgebern die Einsicht durch, dass es sich hier sehr wohl um Forschung – nicht nur Entwicklung und Implementation – handelt, und dass diese darüber hinaus von hoher gesellschaftlicher Relevanz ist.

• **Industriekooperation**

Die Umsetzung multimedialer Lehr-, Lern- und Forschungsszenarien stellt für die Universitäten einen zusätzlichen Aufwand dar, für den i.a. aber kaum zusätzliche Mittel zur Verfügung stehen. Viele Hochschulen bemühen sich daher um geeignete Kooperationen zur Bewältigung der gewachsenen Aufgaben. Eine naheliegende Kooperationsform ist dabei zunächst die Zusammenarbeit unter den Hochschulen. Zunehmend aber sind Kooperationen mit verschiedenen Wirtschaftszweigen von Interesse. Ein naheliegendes Beispiel ist etwa die Hard- und Softwareversorgung der Studierenden – hier löst der Industriepartner “Ausstattungsfragen”. Ganz andere Kooperationen zeichnen sich im Bereich von Projektorganisation und -management ab. Umgekehrt kann die in Universitäten vorhandene Fachkompetenz – in Verbindung mit der Fähigkeit zu professioneller Multimedia-Contenterstellung – für Industriepartner von großem Interesse sein (vergl. [Jes03a]). Bei der Umsetzung vieler interessanter Konzepte multimedialer Technologien ist eine Zusammenarbeit mit erfahrenen Wirtschaftsunternehmen nicht nur von Vorteil, sie ist aus verschiedenen Gründen teilweise sogar unerlässlich.

Literaturverzeichnis

- [Ada98] A. Adam. *Artificial Knowing: Gender and the Thinking Machine*. Routledge, London, New York, 1998.
- [aka] akademie.de. Net-Lexikon. <http://www.net-lexikon.de/>
- [Ale77] C. Alexander, S. Ishikawa, M. Silverstein, M. Jacobson, I. Fiksdahl-King, S. Angel. *A Pattern Language*. Oxford University Press, New York, 1977.
- [And83] J. R. Anderson. *The architecture of cognition*. Harvard Univ. Press, 1983.
- [And01] J. R. Anderson. *Kognitive Psychologie*. Spektrum Verlag, Heidelberg, Berlin, 3 edition, 2001.
- [Ant00] G. Antos. *Transferwissenschaft. Chancen und Barrieren des Zugangs zu Wissen in Zeiten der Informationsflut und der Wissensexplosion*. G. Antos & S. Wichter (Eds.), 2000.
- [AORV02] P. Auillans, P. Ossona de Mendez, P. Rosenstiehl, and B. Vatant. *A Formal Model for Topic Maps*. The Semantic Web - ISWC 2002: First International Semantic Web Conference, Sardinia, Italy, June 9-12, 2002. Proceedings. I. Horrocks and J. Hendler (Eds.), Springer-Verlag, Heidelberg, 2002.
- [AS77] R. Abelson and R. C. Schank. *Scripts, Plans, Goals, and Understanding: An Inquiry into Human Knowledge Structures*. Erlbaum, Hillsdale, July 1977.
- [Ast97] H. Astleitner. *Lernen in Informationsnetzen. Theoretische Aspekte und empirische Analysen des Umgangs mit neuen Informationstechnologien aus erziehungswissenschaftlicher Perspektive*. Lang, Frankfurt a.M., 1997.
- [Ati94] M. Atiyah. Responses to “theoretical mathematics”: Towards a cultural synthesis of mathematics and theoretical physics. In *Bulletin of the American Mathematical Society*, volume 30(2), pages 178–207, April 1994.
- [Baa80] D. Baacke. *Kommunikation und Kompetenz : Grundlegung einer Didaktik der Kommunikation und ihrer Medien*. . Juventa, München, 3rd edition, 1980.

- [Ban97] L.J. Bannon, S. Bødger. Constructing Common Information Spaces. Proceedings of the ECSCW '97, Fifth European Conference on Computer Supported Cooperative WorkGI – 20. Jahrestagung I, pages 81–96, Dordrecht: Kluwer, 1997.
- [Bar98] I. Barth, Jeschke, M. Schäfer, E. Zorn. AUFBAU EINES ZENTRUMS FÜR GEBÄRDENSPRACHE. Antrag auf Einrichtung eines Projekt-Tutoriums, TU Berlin, Mai 1998.
- [Bau97] J. Baumert, Rainer Lehmann et.al. *TIMMS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich*. Leske + Budrich, Opladen, 1. edition, 1997.
- [Bau99] J. Baur. Syntax und Semantik mathematischer Texte. Master's thesis, Universität des Saarlandes, Fachbereich Computerlinguistik, November 1999.
- [Bec01] B. Becker. *Virtuelle Gemeinschaften: Ein Mythos?*, pages 193–211. DIGITALE MEDIEN und gesellschaftliche Entwicklung – Arbeit, Recht und Gemeinschaft in der Informationsgesellschaft. R. Keil-Slawik (ed.), Münster: Waxmann-Verlag, 2001.
- [Ber00] Bertelsmann Stiftung / Heinz Nixdorf Stiftung (Hrsg). *Studium online - Hochschulentwicklung durch neue Medien*. Gütersloh, 2000.
- [Ber01] T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila. The semantic web. <http://www.scientificamerican.com/2001/0501issue/0501berners-lee.html>, Mai 2001.
- [Beu95] Albrecht Beutelspacher. „*Das ist o.B.d.A. trivial*“ – *Tips und Tricks zur Formulierung mathematischer Gedanken*. Vieweg, Braunschweig Wiesbaden, 3rd edition, 1995.
- [Bey93] J. Beynon. *Computers, dominant boys and invisible girls or ?Hannah, it's not a toaster, it's a computer!?*. Computers into Classrooms. More Questions than Answers. J./Mackay, H. (Eds.), Falmer Press, London, 1993.
- [Bie99] M. Biemans, H.T. Hofte. Tailorability: state of the art. A user's perspective on the design, use and evaluation of tailorable systems. Gigaport initiative, Telematica Instituut Netherlands, 1999.
- [BKI00] C. Beierle and G. Kern-Isberner. *Methoden wissensbasierter Systeme*. Friedr. Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig Wiesbaden, 2000.
- [Boo90] G. Booss-Bavnbek. Rationalität und Scheinrationalität durch computer-gestützte mathematische Modellierung. In *Informatik auf dem Weg zum Anwender*, GI – 20. Jahrestagung I, pages 148–167. A. Reuter, 1990.

- [Boo91] G. Booss-Bavnbek. Über die Risiken technologischer Lösungen im Grenzbereich unseres Wissens. *Wissenschaftliche Welt*, 32(2):2–9, 1991.
- [Boo94] G. Booch. *Object-Oriented Analysis and Design With Applications*. Addison-Wesley Object Technology Series. Boston: Addison-Wesley, 1994.
- [Boo98] G. Booch, I. Jacobson, J. Rumbaugh, J. Rumbaugh. *A Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley Object Technology Series. Boston: Addison-Wesley, 1998.
- [Bop00] T. Bopp. Prototypenhafte Entwicklung eines Servers für CSCW-Systeme – sTeam. Master’s thesis, Universität Paderborn, Paderborn, Mai 2000.
- [Bor77] L. Borkowski. *Formale Logik*. Verlag C. H. Beck, München, 1977.
- [Bou70] N. Bourbaki. *Theorie des ensembles*. Diffusion C.C.L.S, Paris, 1970.
- [Bre90] A. Brennecke, H. Selke. Individuell, Arbeitsteilig und Kooperativ: Ein integrierter Ansatz zur Erstellung, Pflege und Nutzung multimedialer Lehrmaterialien. In *Vernetztes Lernen mit digitalen Medien*, Proceedings der ersten Tagung “Computergestütztes Kooperatives Lernen (D-CSCL 2000)” Darmstadt, pages 129–143, Heidelberg: Physica-Verlag, 1990. S. Uellner, V. Wulff (eds.).
- [Bre00] J. Bresnan. *Lexical Functional Syntax*. Blackwell, London, 2000.
- [Bro01] Der Brockhaus, multimedial 2002 premium, 2001.
- [Bro03] B. Brogden, C. D’Cruz, M. Gaither. *Cocoon 2 Programming: Web Publishing with XML and Java*. Sybex, San Francisco, 2003.
- [Bru94] A. Bruckman. Programming for Fun: MUDs as a Context for Collaborative Learning. <ftp://ftp.media.mit.edu/pub/asb/papers/necc94.txt> as of Dec 1st 2001, 16. November 1994. presented at the National Educational Computing Conference in Boston, MA, USA, June 1994.
- [Bru01] P. Brusilovski. Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2):87–110, 2001.
- [Bü00] M. Büscher, M. Christensen, K. Grønbaek, P. Krogh, P. Mogensen, D. Shapiro, P. Ørbæk. Collaborative Augmented Reality Environments: Integrating VR, Working Materials, and Distributed Work Spaces. Proceedings of the Third International Conference on Collaborative Virtual Environments (CVE2000), September 10-12, 2000, San Francisco, USA, pages 47–56, San Francisco, USA. New York: ACM Press, 2000. E. Churchill, M. Reddy (eds.).

- [Bü02] D. Büse. Konzeption und prototypische Umsetzung eines Shared Whiteboards für eine kooperationsgestützte Lernumgebung. Master's thesis, Universität Paderborn, Paderborn, März 2002.
- [Bun] Bundesarbeitskreis „Lernen mit Notebooks“. Lernen mit Notebooks – Wege zum selbstständigen Lernen. http://www.e-nitiative.nrw.de/projekte_notebookleitfaden.php/
- [Bun02a] Statistisches Bundesamt (ed.). *Informationsgesellschaft*. Wiesbaden, 2002.
- [Bun02b] Bundesministerium des Innern. VERORDNUNG ZUR SCHAFFUNG BARRIEREFREIER INFORMATIONSTECHNIK NACH DEM BEHINDERTENGLEICHSTELLUNGSGESETZ. http://www.bmi.bund.de/dokumente/Artikel/ix_90156.htm, Juli 2002.
- [Bur99] L. Burton. *Mathematicians and their epistemologies – and the learning of mathematics*, pages 87–102. European Research in Mathematics Education I. Inge Schwank (ed.), Forschungsinstitut für Mathematikdidaktik Osnabrück, 1999.
- [Bus45] V. Bush. As We May Think. *Atlantic Monthly*, 176(1):101–108, 1945.
- [Bus98] F. Buschmann et. al. *Pattern-orientierte Software-Architektur – Ein pattern-System*. Addison-Wesley, Boston, 1998.
- [BWP97] H.-J. Bullinger, K. Wörner, and J. Prieto. *Wissensmanagement heute*. Fraunhofer Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation, Stuttgart, 1997.
- [Car98] B. Carpenter. *Type-Logical Semantics*. MIT Press, 1998.
- [Car00] J.M. Carroll, M.B. Rosson, P.L. Isenhour, C.A. Van Metre, W.A. Schafer, C.H. Ganoë. MOOsburg: Supplementing a real community with a virtual community. Proceedings of the Second International Network Conference: INC 2000, Plymouth, UK, pages 307–316. University of Plymouth / Internet Research, 2000.
- [Car01] K.-W. Carstensen, C. Ebert, C. Endriss, S. Ekat, R. Klabunde, H. Langer. *Computerlinguistik und Sprachtechnologie, Eine Einführung*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 2001.
- [Che99] C. Chen, L. Thomas, J. Cole, C. Chennawasin. Representing the semantics of virtual spaces. *IEEE Multimedia*, 6(2):54–63, 1999.
- [Cho57] N. Chomsky. *Syntactic Structures*. Mouton, The Hague, 1957.
- [Cla95] H.J. Claus. *Einführung in die Didaktik der Mathematik*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2. edition, 1995.

- [Con87] J. Conklin. *Hypertext: An Introduction and Survey*, pages 17–41. IEEE Computer 20. 1987.
- [Coo00] W. Cooper. MUDs, Metaphysics, and Virtual Reality. *The Journal of Virtual Environments*, 5(1), 2000. available at: <http://www.brandeis.edu/pubs/jove/HTML/v5/cooper.htm> as of Dec 1st 2001.
- [Cou01] G. Coulouris, J. Dollimore, T. Kindberg. *Distributed Systems, Concepts and Design*. Addison Wesley, Harlow: Pearson Education, 2001.
- [Cru96] D.A. Cruse. *Lexical Semantics*. Cambridge University Press, 1996.
- [D'A94] U. D'Ambrosio et al (eds.). *Science, Mathematics, Engineering, and Technology Education for the 21st Century*. US National Science Foundation Division of Education, Washington, 1994.
- [Dah04] N. Dahlmann, S. Jeschke, F. Lehmann-Grube, R. Seiler. SUCHMECHANISMEN AUF MATHEMATISCHEN ONTOLOGIEN (INTELLIGENTES AUTOMATISIERTES KURSDESIGN). DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [Dam98] B. Damer. *Avatars! Exploring and Building virtual worlds on the internet*. Peachpit Press, Berkeley, 1998.
- [Dam99] P. Damerow, W. Lefèvre. *Wissenssysteme im geschichtlichen Wandel*, pages 87–102. Enzyklopädie der Psychologie. Serie II: Band G: Wissenspsychologie. F. Klix, H. Spada (eds.), Hogrefe, Göttingen, 1999.
- [Dav89] P.J. Davis. *Applied Mathematics as a Social Contract*, pages 24–27. Mathematics, Education, and Society, Science and Technology Education Document Series No. 35. C. Keitel et al (eds.), Paris, UNESCO, 1989.
- [Dav95] J. Davies, R. Weeks, M.J. Revett. Communicating information agents for the WWW. volume 1 of *Proceedings of the 4th International World Wide Web Conference, December 1995, Boston, USA*, pages 473–482, Sebastopol CA, USA, 1995. O'Reilly.
- [DeM98] T. DeMarco. *Der Termin – Ein Roman über Projektmanagement*. Carl Hauser Verlag, München Wien, 1998.
- [Det02] Detecon & Diebold Consultants. *E-Learning – Die zweite Welle*. White Paper, Eschborn, 2002.
- [Dev92] K. Devlin. *Sternstunden der modernen Mathematik (Orig.: Mathematics – The Golden Age)*. Deutscher Taschenbuch Verlag (DTV), München, 1992. ISBN 3-423-04591-4.

- [DFG] DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft). Leitfaden zur Ausschreibung "Leistungszentren für Forschungsinformation", 2003. www.dfg.de/aktuelles_presse/download/leistungszentren_03.pdf
- [Dou92] P. Dourish, V. Bellotti. Awareness and Coordination in Shared Workspaces. Proceedings of the Conference on Computer-Supported Cooperative Work (CSCW 92), October 31 - November 4, Toronto, Canada, pages 107–114, New York: ACM Press, 1992. J. Turner, R. Kraut (eds.).
- [DtH92] M. Domenig and P. ten Hacken. *Word Manager: A system for Morphological Dictionaries*. Georg Olms Verlag AG, Hildesheim, 1992.
- [Dub] Dublin Core Metadata Initiative. Dublin Core Metadata Element Set. <http://dublincore.org/documents/2003/02/04/dces/>
- [Ebb94] H.-D. Ebbinghaus. *Einführung in die Mengenlehre*. Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus A.G., Mannheim, 3rd edition, 1994.
- [Ede96] W. Edelmann. *Lernpsychologie*. Psychologie Verlag, Weinheim, 5. edition, 1996.
- [Edw80] R.E. Edwards. *A formal Background to Mathematics*. Springer, 1980.
- [EG96] R. Evans and G. Gazdar. DATR: A language for lexikcal knowledge representation. *Computational Linguistics*, 22:167–216, 1996.
- [Ekl99] J. Eklund, J. Sawers, R. Zeiliger. NESTOR Navigator: A Tool for the Collaborative Construction of Knowledge Through Constructive Navigation. In A. Ellis, editor, *Proceedings of Ausweb '99*, The Fifth Australian World Wide Web Conference, pages 396–408, Lismore, Australia: Southern Cross University Press, 1999.
- [eKr] eKreide (R. Rojas, FU Berlin). eKreide. <http://www.ekreide.de/>
- [EL95] D. Epstein and S. Levy. Experimentation and proof in mathematics. *Notices of the AMS*, 42(6):670–673, 1995.
- [Ell] C. A. Ellis, S.J. Gibbs. Concurrency control in groupware systems. Proceedings of the 1989 ACM SIGMOD international conference on Management of data, May 31 - June 2, 1989, Portland, USA, pages 399–407.
- [Enc00a] José L. Encarnação et al. *Technologie und Infrastruktur: Standardisieren schafft Vorteile*. Studium online - Hochschulentwicklung durch neue Medien. Bertelsmann Stiftung, Heinz Nixdorf Stiftung (eds.), Gütersloh, 2000.
- [Enc00b] José L. Encarnação, Wolfgang Leidhold, Andreas Reuter. *Die Universität im Jahre 2005*. Studium online - Hochschulentwicklung durch neue Medien. Bertelsmann Stiftung, Heinz Nixdorf Stiftung (eds.), Gütersloh, 2000.

- [Eng95] D. Engbring, R. Keil-Slawik, H. Selke. Neue Qualitäten in der Hochschulausbildung: Lehren und Lernen mit interaktiven Medien. Heinz Nixdorf Institutsbericht 45, Universität Paderborn, 1995.
- [Enk01] C. Enklaar. Konzeption und Entwicklung einer Modulstruktur für die Clientseite des kooperativen Systems sTeam. Master's thesis, Universität Paderborn, Paderborn, Juli 2001.
- [Enq97] Enquete-Kommission „Zukunft der Medien in Wirtschaft und Gesellschaft – Deutschlands Weg in die Informationsgesellschaft / Deutscher Bundestag (ed.). *Medienkompetenz im Informationszeitalter*. Bonn, 1997.
- [Enz98] M. Enzenberger. ZUGBRÜCKE AUSSER BETRIEB – DIE MATHEMATIK IM JENSEITS DER KULTUR. FAZ, <http://www.mathe.tu-freiberg.de/~hebisch/cafe/zugbruecke.html/>, 1998.
- [Enz02] M. Enzenberger. *Die Elixiere der Wissenschaft*. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 2002.
- [Eß02] B. Eßmann. Semantische Strukturierung virtueller Räume – Konzeption und Umsetzung eines Navigationswerkzeuges für das sTeam-System. Master's thesis, Universität Paderborn, Paderborn, März 2002.
- [EU] EU. The Bologna Declaration – Joint declaration of the European Ministers of Education, 1999. http://www.bologna-berlin2003.de/pdf/bologna_declaration.pdf
- [Eur00] Europäische Kommission, Generaldirektion Bildung und Kultur (eds.). *Bericht über die Qualität der schulischen Bildung in Europa – Sechzehn Qualitätsindikatoren*, 2000.
- [Eur02] Europäische Kommission, Generaldirektion Bildung und Kultur (eds.). *Bericht über die Qualität der schulischen Bildung in Europa – Fünfzehn Qualitätsindikatoren für lebenslanges Lernen*, 2002.
- [Eva] R. Evard. Concurrency control in groupware systems. Proceedings of the Seventh Systems Administration Conference (LISA VII), November 1993, Monterrey, USA, pages 1–8.
- [Faca] Fachgruppe 2.5.4, Gesellschaft für Informatik. Information Retrieval. <http://www.is.informatik.uni-duisburg.de/fgir/>
- [Facb] Fachgruppe Computeralgebra. Webpräsentation der Fachgruppe Computeralgebra. <http://www.fachgruppe-computeralgebra.de/systeme/systeme.html>

- [Facc] Fachgruppe Medienpsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie. Fachgruppe Medienpsychologie. <http://www.fg-medienpsychologie.de/>
- [Fel98] C. Fellbaum, editor. *WordNet: An Electronic Lexical Database (Language, Speech, and Communication)*. MIT Press, 1998.
- [Fel04] C. Fellbaum, S. Jeschke, N. Natho, T. Richter, R. Seiler. COMPUTERGESTÜTZTE ANALYSE MATHEMATISCHER NATURSPRACHE. DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [FF63] E. A. Feigenbaum and J. Feldman, editors. *Computer and Thought*. McGraw-Hill Book Company, Inc, New York, San Francisco, Toronto, London, 1963.
- [Fis96] W.L. Fischer. *Mathematikdidaktik zwischen Forschung und Lehre (Ausgewählte Aufsätze)*. R. Loska, H.-G. Weigand (eds.). Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 1996.
- [Fis01] C. Fischer, R. Keil-Slawik, A. Richter. *Verhaltensprofile im Internet*, pages 65–80. DIGITALE MEDIEN und gesellschaftliche Entwicklung – Arbeit, Recht und Gemeinschaft in der Informationsgesellschaft. R. Keil-Slawik (ed.), Münster: Waxmann-Verlag, 2001.
- [Fit96] G. FitzSimons, H. Jungwirth, J. Maaß, W. Schlöglmann. *Adults and Mathematics (Adult Numeracy)*, pages 755–784. International Handbook of Mathematics Education. A. Bishop, K. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick, C. Laborde (eds.), Dordrecht: Kluwer, 1996.
- [Fos99] I. Foster, Carl Kesselman. *The Grid : Blueprint for a New Computing Infrastructure*. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 2. edition, 1999.
- [Fow97] M. Fowler. *Analysis Patterns: Reusable Object Models*. Object Technology Series. Addison-Wesley, 1997.
- [Fra00] M. Frankenstein. *In Addition to the Mathematics - Goals for a Critical Mathematical Literacy Curriculum*, pages 19–29. Cultural Diversity in Mathematics (Education), CIEAEM 51. A. Ahmed, J.M. Kraemer, H. Williams (eds.), Chichester: Ellis Horwood, 2000.
- [Fue00] L. Fuentes, J. Troya. Towards an Open Multimedia Service Framework. *ACM Computing Surveys*, 32(1es):Artikel 24, 1–6, 2000.
- [Gal01] P.L. Galbraith, C.R. Haines. The key skills agenda: Exploring implications for mathematics. *International Journal of Mathematics Education for Science and Technology*, 32(3):337–354, 2001.

- [Gam95] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, J. Vlissides. *Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Professional Computing Series. Addison-Wesley, 1995.
- [Gam00] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, J. Vlissides. *Design Patterns – Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison-Wesley, Boston, 2000.
- [Gen87] M.R. Genesereth, N.J. Nilsson. *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1987.
- [Gep02] A. Geppert. *Objektrelationale und objektorientierte Datenbankkonzepte und -systeme*. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2002.
- [Glo00] Peter Glotz. *Einführung*. Studium online - Hochschulentwicklung durch neue Medien. Bertelsmann Stiftung, Heinz Nixdorf Stiftung (eds.), Gütersloh, 2000.
- [Gö00] Günther Görz, Claus-Rainer Rollinger, Josef Schneeberger. *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München Wien, 3rd edition, 2000.
- [Gre98] S. Greenberg M. Roseman. Using a Room Metaphor to Ease Transitions in Groupware. Research report 98/611/02, Department of Computer Science, University of Calgary, Calgary (Al.), Canada, January 1998.
- [Gro03] IEEE Standard Upper Ontology Working Group. Sumo Ontology. <http://ontology.tcknowledge.com>, 2003.
- [GRS00] Günther Görz, Claus-Rainer Rollinger, and Josef Schneeberger. *Handbuch der künstliche Intelligenz*. Oldenbourg, München, Wien, 2000.
- [Gru93] T.R. Gruber. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2):199–220, 1993.
- [Gru02] M. Gruninger, J. Lee. Ontology - applications and design. *Comm. ACM*, 45(2):39–41, 2002.
- [Hab71] J. Habermas. *Vorbereitende Bemerkungen zu einer Theorie der kommunikativen Kompetenz*, pages 101–141. *Theorie der Gesellschaft oder Sozialtechnologie*. Habermas, J. & N. Luhmann (ed.), Frankfurt, 1971.
- [Hal01] M. Hall. *Servlets und JavaServer Pages*. Markt + Technik Verlag, München, 2001.
- [Hama] T. Hampel. TRES FACIUNT COLLEGIUM – Paderborn s Collaboration Centred Approach for New Forms of Learning. Proceedings of SITE 2001, March 5-10, 2001, Orlando, USA, pages 52–57. J. Price, D. Willis, N. Davis, J. Willis (eds.).

- [Hamb] T. Hampel, R. Keil-Slawik. sTeam – Designing an Integrative Infrastructure for Web-Based Computer Supported Cooperative Learning. Proceedings of the 10th International World Wide Web Conference, May 1-5, 2001, Hong Kong, pages 76–85.
- [Ham78] A. L. Hammond. *Mathematics - Our Invisible Culture*. Mathematics Today. Lynn A. Steen (ed.), Springer, 1978.
- [Ham98] T. Hampel, R. Keil-Slawik. Interaktive Animationen und Visualisierungen, eine neue Qualität und Spielweise für die Mechanik Ergebnisse der interdisziplinären Projektgruppe ChiLis. JIT'98 Java Informationstage (JIT), pages 155–163, Berlin: Springer, 1998. C.H. Cap (ed.).
- [Ham99a] T. Hampel, O. Nowaczyk. Explorationen für die Mechanikausbildung – eine neue Dimension interaktiver Lehrmaterialien. 44th International Scientific Colloquium, 3. Workshop Multimedia für Bildung und Wirtschaft. Technische Universität Ilmenau, pages 101–103, 1999.
- [Ham99b] T. Hampel, R. Keil-Slawik, F. Ferber. Explorations – A New Form of Highly Interactive Learning Materials. Proceedings of WebNet 99 – World Conference on the WWW and Internet, pages 463–468, Charlottesville: Association for the Advancement of Computing in Education, 1999. P. de Bra, J. Leggett (eds.).
- [Ham01a] T. Hampel. *Virtuelle Wissenräume – Ein Ansatz für die kooperative Wissenorganisation*. PhD thesis, Universität Paderborn, Paderborn, Dezember 2001.
- [Ham01b] T. Hampel, R. Keil-Slawik. *open* sTeam Ein Open Source-Projekt zur kooperativen Strukturierung von Informationen im Team. *DFN Mitteilungen*, (55):4–6, 2001.
- [Ham02] T. Hampel, R. Keil-Slawik. sTeam: Structuring Information in a Team - Distributed Knowledge Management in Cooperative Learning Environments. *ACM Journal of Educational Resources in Computing*, 1(2), 2002.
- [Han96] G. Hanna. The ongoing value of proof. In *Proceedings of the International Group of the Psychology of Mathematical Education*, volume 1, 1996.
- [Hau00] R. Hausser. *Grundlagen der Computerlinguistik*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Hau02] Matthias Haun. *Handbuch Wissensmanagement – Grundlagen u. Umsetzung, Systeme u. Praxisbeispiele*. Springer-Verlag, 2002.
- [Hay98] C. Haynes, J.R. Holmevik. *High Wired: On the Design, Use, and Theory of Educational Moos*. University of Michigan Press, February 1998.

- [Hay99] C. Haynes, J.R. Holmevik. *MOOniversity: A Student's Guide to Online Learning Environments*. Allyn & Bacon, Boston, 1999.
- [Heg03] G.H. Hegering, W. Hiller, R. Maschuw, A. Reinefeld, M. Resch. D-Grid: Auf dem Weg zur e-Science in Deutschland. Strategiepapier, D-Grid-Lenkungsausschuss, 2003.
- [Hei00] L. Heinemann. Analyse, Entwurf und prototypenhafte Umsetzung eines Sicherheitskonzepts für kooperationsunterstützende Systeme. Master's thesis, Diplomarbeit submitted to the Lehrstuhl für Informatik, Fachgruppe Informatik und Gesellschaft, Prof. Reinhard Keil-Slawik, Universität Paderborn, Oktober 2000.
- [Hel96] H. Helbig. *Künstliche Intelligenz und automatische Wissensverarbeitung*. Verlag Technik, Berlin, 1996.
- [Hen01] Wilfried Hendricks. *Chancen Deutschlands*. Anytime, Anywhere – IT-gestütztes Lernen in den USA. Uwe Thomas et al. (eds.), 2001.
- [Her79] H. Herrlich, G. E. Strecker. *Category Theory*. Heldermann Verlag, Berlin, 1979.
- [Hes97] F.W. Hesse, B. Garsoffky, A. Hron. *Interface-Design für computerunterstütztes kooperatives Lernen*, pages 253–267. Information und Lernen mit Multimedia. L.J. Issing, P. Klimsa (eds.), Weinheim: Psychologie Verlags Union, 1997.
- [Hes00] Friedrich W. Hesse, Heinz Mandl. *Neue Technik verlangt neue pädagogische Konzepte*. Studium online - Hochschulentwicklung durch neue Medien. Bertelsmann Stiftung, Heinz Nixdorf Stiftung (eds.), Gütersloh, 2000.
- [Hes02] Wolfgang Hesse. *“Ontologie(n)”*. Informatik Spektrum. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2002.
- [Hol01] M. Holschneider, C. v. Renesse, M. Vossbeck. Die AppletFactory - eine Javaklassen-Bibliothek zur Visualisierung mathematischer Inhalte. Preprint des Instituts für Mathematik 714-2001, TU Berlin, 2001.
- [Hub00] Christoph Hubig (Hrsg.). *Unterwegs zur Wissensgesellschaft – Grundlagen - Trends - Probleme*. Berlin, 2000.
- [Hug99] Kai Uwe Hugger. *Under Construction! Medienkompetenz – Neue Medien in Beruf, Hochschule und Gesellschaft*. Silke Schimpf (ed.), Köln, 1999.
- [Iss02] L. Issing, P. Klimsa. *Information und Lernen mit Multimedia*. Psychologie Verlags Union, 3rd edition, 2002.

- [Jab02] E. Jablonka, U. Gellert. *Defining Mathematical Literacy for International Student Assessment*, pages 119–124. Mathematical Literacy in the Digital Era: CIEAEM 53 (Commission Internationale pour l’Etude et l’Amélioration de l’Enseignement des Mathématiques). L. Bazzini, C. Whybrow-Inchley (eds.), Milano: Italy, Ghisetti & Corvi Editori, 2002.
- [Jab03] E. Jablonka. *Mathematical Literacy*, pages 77–104. Second International Handbook of Mathematics Education. A. Bishop, K. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick, F. Leung (eds.), Dordrecht: Kluwer, 2003.
- [Jac94] I. Jacobson, M. Ericsson, M. Jacobson. *The Object Advantage – Business Process Reengineering With Object Technology*. Addison-Wesley, 1994.
- [Jac00] I. Jacobson. *Unified Software Development Process*. Sigs Reference Series. Cambridge University Press, 2000.
- [Jan01] P. Janich. Wozu Ontologien für Informatiker? Objektbezug durch Sprachkritik. Informatik 2001, Tagungsband der GI/OCG-Jahrestagung, Bd. II, pages 765–769. Bauknecht, K., et.al (eds.), 2001.
- [Jes00] S. Jeschke, L. Oeverdieck, R. Seiler, E. Zorn. MUMIE – MULTIMEDIALE MATHEMATIKAUSBILDUNG FÜR INGENIEURE. BMBF-Antrag, <http://www.mumie.net/>, Juni 2000.
- [Jes02a] S. Jeschke. Moses – Auf der Suche nach dem “gelobten Land”: Organisationsstrukturen der NotebookUniversity an der TU Berlin (Talk). http://www.moses.tu-berlin.de/Talks/Cottbus_2002/, November 2002.
- [Jes02b] S. Jeschke, L. Oeverdieck, R. Seiler, J. Steinbach, E. Zorn. MOSES – MOBILE SERVICE FOR STUDENTS. BMBF-Antrag, <http://www.moses.tu-berlin.de/>, Januar 2002.
- [Jes02c] S. Jeschke, R. Seiler. Strukturen in der multimedialen Didaktik – oder: “Die Mumie im Legoland” (Talk). http://www.math.tu-berlin.de/~sabina/Talks/Erlangen_2002/, Mai 2002.
- [Jes02d] S. Jeschke, R. Seiler, E. Zorn. Moses meets Mumie (Talk). http://www.math.tu-berlin.de/~sabina/Talks/Hilton_2002/, September 2002.
- [Jes03a] M. Jeschke. Notebook-Universität – Kooperationsmodelle zwischen Hochschule und Industrie. Master’s thesis, FHTW Berlin, Berlin, Juli 2003.
- [Jes03b] S. Jeschke, E. Zorn. Moses meets Mumie at Multiverse (Talk). http://www.math.tu-berlin.de/~sabina/Talks/RhoneIsland_2003/, Juni 2003.

- [Jes03c] S. Jeschke, R. Keil-Slawik, R. Seiler, C. Thomsen, E. Zorn. Next Generation in eLearning Technology – Concepts and Visions for Math and Science (Talk). http://www.math.tu-berlin.de/~sabina/Talks/Talk_Helsinki_2003.ppt, Dezember 2003.
- [Jes03d] S. Jeschke, R. Keil-Slawik, R. Seiler, C. Thomsen, E. Zorn. Next Generation in eLearning Technology – From Typographic Objects to Executable Processes (Talk). http://www.math.tu-berlin.de/~sabina/Talks/Talk_Dubai_2003a.ppt, October 2003.
- [Jes03e] S. Jeschke, R. Keil-Slawik, R. Seiler, C. Thomsen, W. Veen. Multiverse – Mathematics in Collaborative Virtual Knowledge Spaces (EU-Hearing). http://www.math.tu-berlin.de/~sabina/Talks/EU-Hearing_2003.ppt, August 2003.
- [Jes03f] S. Jeschke, R. Seiler, C. Thomsen, E. Zorn. Moses meets Mumie – Concepts of a Notebook University at TU Berlin (Talk). http://www.math.tu-berlin.de/~sabina/Talks/Talk_Dubai_2003b.ppt, October 2003.
- [Jes03g] S. Jeschke, R. Seiler, C. Thomsen, E. Zorn. MULTIVERSE – MATHEMATICS IN COLLABORATIVE VIRTUAL KNOWLEDGE SPACES. EU-Antrag, April 2003.
- [Jes03h] S. Jeschke, T. Rassy. Next Generation in eLearning Technology – Concepts and Visions for Math and Science (Talk). <http://www.openmath.org/cocoon/openmath/meetings/bremen2003/index.htm>, November 2003.
- [Jes04a] S. Jeschke, C. Paladini, H. Vieritz, R. Seiler. MULTIMEDIALE LERNPLATTFORME FÜR BLINDE. DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [Jes04b] S. Jeschke, H. Vieritz, R. Seiler. BARRIEREFREIHEIT MATHEMATISCHER SOFTWARE. DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [Jes04c] S. Jeschke, L. Oeverdieck, R. Seiler, H. Vieritz, E. Zorn. BELEARNING – BARRIEREFREIES ELEARNING IN NATUR- UND INGENIEURWISSENSCHAFTEN. Antrag Europäischer Sozialfonds, April 2004.
- [Jes04d] S. Jeschke, N. Natho, T. Richter, R. Seiler. ADAPTIVE DARSTELLUNG MASCHINENGESPEICHERTER MATHEMATISCHER OBJEKTE UND IHRER ZUSAMMENHÄNGE. DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [Jes04e] S. Jeschke, N. Natho, T. Richter, R. Seiler. WISSENSMANAGEMENT MATHEMATISCHER OBJEKTE AUS NATURSPRACHLICHER ANALYSE. DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [Jes04f] S. Jeschke, R. Keil-Slawik. Next Generation in eLearning Technology – Die Elektrifizierung des Nürnberger Trichters und die Alternativen. Informationsgesellschaft. Alcatel SEL Stiftung, 2004.

- [Jes04g] S. Jeschke, R. Seiler, C. Thomsen. OSIRIS – OPEN SCIENTIFIC INFORMATION STRUCTURE. DFG-Antrag, Januar 2004.
- [Jes04h] S. Jeschke, R. Seiler, M. Wilke. SEMANTISCHE BESCHREIBUNG MATHEMATISCHER BILDER. DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [Jes04i] S. Jeschke, T. Richter, R. Seiler. VERÄNDERUNG DES VERSTÄNDNISSES VOM MATHEMATIK UNTER VERWENDUNG VON MULTIMEDIA. DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [Jes04j] S. Jeschke, T. Richter, R. Seiler. VISUALISIERUNG UNENDLICHER MATHEMATISCHER OBJEKTE. DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [JQ93] A. Jaffe and F. Quinn. “theoretical mathematics”: Towards a cultural synthesis of mathematics and theoretical physics. In *Bulletin of the American Mathematical Society*, volume 29(1), pages 1–13, July 1993.
- [Kay01a] J. Kay. Learner Control. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2):111–127, 2001.
- [Kay01b] M. Kay. *XSLT – Programmer’s Reference*. Wrox Press, Birmingham, 2. edition, 2001.
- [Kei93a] C. Keitel. *Implicit Mathematical Models in Social Practice and Explicit Mathematics Teaching by Application*, pages 19–30. New Trends in Teaching Mathematics by Modelling and Applications. J. de Lange, C. Keitel, I. Huntley, M. Niss. (eds.), Chichester: Ellis & Horwood, 1993.
- [Kei93b] C. Keitel, E. Kotzmann, O. Skovsmose. *Beyond the Tunnel-Vision: Analysing the Relationship Between Mathematics, Society and Technology*, pages 243–279. Learning from Computers: Mathematics Education and Technology. C. Keitel, K. Ruthven (eds.), Springer, Berlin, 1993.
- [Kei97] C. Keitel. *Numeracy and scientific and technological literacy*, pages 165–185. Innovations in Science and Technology Education. E. W. Jenkins, (eds.), Paris, UNESCO, 1997.
- [Kei98a] R. Keil-Slawik. *Multimedia als Steinbruch des Lernens*, pages 81–99. media@uni-multi.media? Entwicklung – Gestaltung – Evaluation neuer Medien. M. Hauff (ed.), Münster: Waxmann, 1998.
- [Kei98b] R. Keil-Slawik, H. Selke. Mythen und Alltagspraxis von Technik und Lernen. *Informatik Forum*, 12(1):9–17, 1998.
- [Kei98c] R. Keil-Slawik, H. Selke. Forschungsstand und Forschungsperspektiven zum virtuellen Lernen bei Erwachsenen. In Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management Berlin (eds.), editor, *Kompetenzentwicklung ’98 – Forschungsstand und Forschungsperspektiven*, pages 396–408, Münster: Waxmann-Verlag, 1998.

- [Kei00] C. Keitel. *Cultural diversity, internationalisation and globalisation: challenges and perils for mathematics education*, pages 41–60. Cultural Diversity in Mathematics Education. A. Ahmed, J.M. Kraemer, H. Williams (eds.), Chichester, Ellis & Horwood, 2000.
- [Kei01a] R. Keil-Slawik. *Neues Lernen und Neue Medien. – Anmerkungen zu einem kulturell unbewältigten Verhältnis*, volume Heft 67 of *Schriften zur beruflichen Weiterbildung*, pages 109–118. Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung e. V., Berlin, 2001.
- [Kei01b] C. Keitel, S. Jeschke, L. Oeverdieck, R. Seiler, M. Vossbeck, E. Zorn. SCIENCE.NET. BMBF-Antrag, Oktober 2001.
- [Kei03a] C. Keitel. *Higher education for the future: Coping with problems of mass education and increasing diversity of students*, pages 41–48. A challenge for mathematics education: To reconcile commonalities with differences. J. Gimenez, G. FitzSimons, C. Hahn (eds.), Barcelona: Graó (in press), 2003.
- [Kei03b] C. Keitel, E. Jablonka, S. Jeschke, R. Seiler, C. Thomsen, E. Zorn. MATHEMATIK IN GESELLSCHAFTLICHEN ENTSCHEIDUNGSPROZESSEN – ODER: WIEVIEL MATHEMATIK BRAUCHT EIN BUNDESKANZLER? BMBF-Antrag, Mai 2003.
- [Ker03] M. Kerres. *Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung*. Education Quality Forum. R. Keil-Slawik (ed.), Münster: Waxmann-Verlag, 2003.
- [KKP96] M. Kohlhase, S. Kuschert, and M. Pinkal. A type-theoretic semantics for lambda-DRT. In P. Dekker and M. Stokhof, editors, *Proceedings of the 10th Amsterdam Colloquium*, pages 479–498, 1996.
- [Kla01] Hans Gerhard Klaus. *Staatliche Initiativen. Anytime, Anywhere – IT-gestütztes Lernen in den USA*. Uwe Thomas et al. (eds.), 2001.
- [Kli04] F. Klich, S. Jeschke, U. Kortenkamp, R. Seiler. SEMANTISCHE BESCHREIBUNG MATHEMATISCHER APPLETS. DFG-Einzelantrag, in Vorbereitung 2004.
- [Koh00] M. Kohlhase. OMDoc: An Infrastructure for OPENMATH Content Dictionary Information. *Bulletin of the ACM Special Interest Group for Algorithmic Mathematics SIGSAM*, 2000.
- [Kra02] Peter Krause. *Notebooks als Lernwerkzeuge für die Wissenschaft*. Lernen mit Notebooks in Deutschland: Präsentation und Perspektiven. Initiative D21 (ed.), Frankfurt a.M., 2002.

- [KRG04] U. Kortenkamp and J. Richter-Gebert. *Cinderella Interactive Geometry*. Springer, 1999, 2004.
- [Lam95] J. Lamping, R. Rao, P. Pirolli. A focus+context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies. Conference Proceedings on Human Factors in Computing Systems, pages 401–408, New York, ACM Press/Addison-Wesley, 1995.
- [Lan03] M. Langham, C. Ziegeler. *Cocoon: Building XML Application*. New Riders Publishing, Indianapolis, 2003.
- [Leh03] F. Lehmann-Grube, T. Rassy. Datenbankmodell der “Mumie”, 2003. internal paper.
- [Mac71] S. Mac Lane. *Categories for the Working Mathematician*. Springer Verlag, 1971.
- [Mac91] S. Mac Lane, I. Moerdijk. *Sheaves in Geometry and Logic*. Springer Verlag, 1991.
- [Man94] B. B. Mandelbrot. Responses to “theoretical mathematics”: Towards a cultural synthesis of mathematics and theoretical physics. In *Bulletin of the American Mathematical Society*, volume 30(2), pages 178–207, April 1994.
- [Mar00] D. Martin, M. Birbeck, M. Kay, B. Loesgen, J. Pinnock, S. Livingstone, P. Stark, K. Williams, R. Anderson, S. Mohr, D. Baliles, B. Peat, N. Ozu. *Professional XML*. Wrox, Birmingham, 2000.
- [Mata] Math Working Group, W3C. MathML. <http://www.w3.org/Math/>
- [Matb] MathWeb Home Page. <http://www.mathweb.org/>
- [MB87] R. MacGregor and R. Bates. The loom knowledge representation language. *Technical Report ISI/RS-87-188, USC Information Sciences*, 1987.
- [Mia] Y. Miao, J.M. Haake. Supporting Problem Based Learning by a Collaborative Virtual Environment: A Cooperative Hypermedia Approach. Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-34), January 3-6, 2001, Maui, Hawaii, USA. R.H. Sprague, (eds.).
- [Mic83] R. S. Michalski. Understanding the Nature of Learning. In R. S. Michalski, J. Carbonell, and T. Mitchell, editors, *Machine Learning – An Artificial Intelligence Approach*. Morgan Kaufman, 1983.
- [Mid02] E. Middendorff. Computernutzung und Neue Medien im Studium, Ergebnisse der 16. Sozialerhebung des Deutschen Studentenwerks (DSW). http://www.bmbf.de/pub/computernutzung_und_neue_

- medien_im_studium.pdf, 2002. Herausgegeben vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn 2002.
- [MK01] A. Franke M. Kohlhase. MBase: Representing Knowledge and Context for the Integration of Mathematical Software Systems. *Journal of Symbolic computation*, 23(4):365–402, 2001.
- [Moc03] L. Moczar, J. Aston. *Cocoon Developer's Handbook*. Developer's Library, Indianapolis, 2003.
- [Mul] mcast2000 white paper – a survey of the history of internet multicast – a technology backgrounder. 4th Annual Summit on scalable infrastructure and accelerated content delivery, January 2000. Stardust Technologies Inc. available at <http://www.stardust.com/mcast2000/whitepaperfinal.PDF> as of Dec 1st 2001.
- [Nar96] B.A. Nardi. *Context and Consciousness: Activity Theory and Human-Computer Interaction*. Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [Nec91] R. Neches, R. Fikes, T. Finin, T. Gruber, R. Patil, T. Senatir, W. Swartout. Enabling technology for knowledge sharing. *AI Magazine*, 12(3):36–56, 1991.
- [Neu90] C.M. Neuwirth, D.S. Kaufer, R. Chandhok, J.H. Morris. Issues in the Design of Computer Support for Co-authoring and Commenting. Proceedings of the ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW 90), October 1990, Los Angeles, USA, pages 183–195, New York: ACM Press, 1990.
- [Ngu99] T.H. Nguyen. Erkenntnistheoretische und begriffliche Grundlagen der objektorientierten Datenmodellierung. Master's thesis, Universität Leipzig, Leibniz, Januar 1999.
- [Nis02] M. Niss, T.H. Jensen (eds.). Kompetencer og matematikloering. Uddannelsesstyrelsen temahæfteserie 18, pages 1–134, IMFUFA Roskilde, 2002. Ministry of Education, Danish KOM-Project.
- [NP01] I. Niles and A. Pease. Towards a Standard Upper Ontology. In C. Welty and B. Smith, editors, *Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS-2001)*, Ogunquit, Maine, October 2001.
- [OEC00] OECD – Organisation for Economics Co-operation and Development (eds.). *Literacy in the Information Age: Final Report of the International Adult Literacy Survey*, 2000.
- [Ope] OpenMath Society. OpenMath. <http://www.openmath.org/>

- [Pas00] D. Passig, H. Levin. Gender preferences for multimedia interfaces. *Journal of Computer Assisted Learning*, pages 64–71, 2000.
- [Pes02] Hans Josef Pesch. *Schlüsseltechnologie Mathematik*. Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Teubner-Verlag, Stuttgart Leipzig Wiesbaden, 2002.
- [Pol] K. Poltier. Javaview 3.0.
- [Pol57] G. Polya. *How to Solve It*. Princeton University Press, 2. edition, 1957. ISBN 0-691-08097-6.
- [Pro99] G. Probst, S. Raub, K. Romhardt. *Wissensmanagement*. Wiesbaden: Gabler, 1999.
- [Pum99] D. Pumplün. *Elemente der Kategorientheorie*. Spektrum-Verlag, 1999.
- [Que03] K. Quettling. Konvergenzen von Bibliotheken und Rechenzentren im Hochschulbereich. Master’s thesis, FH Potsdam, Potsdam, Juli 2003.
- [Ras03] T. Rassy, S. Jeschke. MmTeX – A LaTeX to XML Converter (Talk). <http://www.openmath.org/cocoon/openmath/meetings/bremen2003/index.htm>, November 2003.
- [Ray] E.S. Raymond. The cathedral and the bazaar. available at <http://www.tuxedo.org/~esr/writings/cathedral-bazaar/> as of Dec 1st 2001.
- [Rob91] G. Robertson, F. MacKinlay. Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Informations. *Proc. AMC Conf. Human Factors in Computing Systems*, pages 189–194, Chicago: ACM Press, 1991.
- [Rob01] M. Robinson, S. Pekkola, J. Korhonen, S. Hujala, T. Toivonen, M. Saarienen. *Extending the Limits of Collaborative Virtual Environments*, pages 21–42. *Collaborative Virtual Environments – Digital Places and Spaces for Interaction*. E. Churchill, D. Snowdown, A. Munro (eds.), Springer, London, 2001.
- [Roe02] P. Roessbach, A. Holubek, T. Poeschmann, L. Roewekamp, P. Tabatt. *Tomcat 4x – Die neue Architektur und moderne Konzepte für Webanwendungen im Detail*. Software und Support Verlag GmbH, Frankfurt, 2002.
- [Ros00] D. Rosenberg. *Open Source – The Unauthorized White Papers*. M&T Books, 2000.
- [Saa] Saarland Universität, TU Eindhoven, RISC Linz. OMDoc. <http://www.mathweb.org/omdoc/>

- [Sal99] S. Salganik, D.S. Rychen, U. Moser, J. Konstant. *Projects on Competencies in the OECD Context. Analysis of Theoretical and Conceptual Foundation*. OECD, Neuchâtel, 1999.
- [Sch99a] J.L. Scharf. Computation, Information, and Communication Technologies: Impacts on Undergraduate Mathematics. Talk & Article published at Carroll College Montana, 1999.
- [Sch99b] S. Schimpf (ed.). *Medienkompetenz – Neue Medien in Beruf, Hochschule und Gesellschaft*. Köln, 1999.
- [Sch00a] Friedrich Scheuermann (ed.). *Campus 2000 – Lernen in neuen Organisationsformen*. Münster, 2000.
- [Sch00b] R. Schulmeister. *Virtuelles Lernen aus didaktischer Sicht*. Universitätsentwicklung und neue Medien. G. Anker, U. Hugl, S. Laske (eds.), Wiesbaden, 2000.
- [Sch01a] H. Schelhowe. *Lerngemeinschaften fördern — Wissen strukturieren / Digitale Medien und die Rolle der Universitäten*, pages 41–60. Universitäten in der Wissensgesellschaft. Universität Erfurt und Heinrich Böll Stiftung (eds.), München, 2001.
- [Sch01b] D. Schinzel. *e-learning für alle: Gendersensitive Mediendidaktik*. Gender und Neue Medien. U. Ernst (eds.), Innsbruck, 2001.
- [Sch01c] D. Schinzel. *Informatik im Kontext der Genderforschung in Technik und Naturwissenschaft*, pages 19–28. FIFF-Kommunikation 4. 2001.
- [Sch01d] R. Schulmeister. *Virtuelle Universität – Virtuelles Lernen*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2001.
- [Sch02] R. Schulmeister. *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 3. aktualisierte edition, 2002.
- [Sha92] S. C. Shapiro, editor. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. John Wiley and Sons, 2 edition, 1992.
- [Shi99] H. Shiozawa, K. Okada, Y. Matsushita. Perspective Layered Visualization of Collaborative Workspaces. Proceedings of the ACM International Conference on Supporting Group Work (GROUP'99), November 14- 17, Phoenix, USA, pages 71–80, New York: ACM Press, 1999. S.C. Hayne (ed.).
- [Sli] Slicing Books. Slicing Information Technology. <http://www.slicing-infotech.de/>
- [Spa83] K. Sparck Jones. Intelligent retrieval. Intelligent Information Retrieval: Proceedings of Informatics, ASLIB, 1983.

- [Spe01] R. Spence. *Information Visualisation*. Addison-Wesley/ACM Press, Harlow, 2001.
- [Sta02] S. Staab. Wissensmanagement mit Ontologien und Metadaten. *Informatik Spektrum*, 25(3):194–209, 2002.
- [Ste87] M. Stefik, G. Foster, D.G. Bobrow, K. Kahn, S. Lanning, S. Suchman. Beyond the chalkboard: computer support for collaboration and problem solving in meetings. *Communications of the ACM*, 30(1):9–17, 1987.
- [Ste91] L. A. Steen. Twenty questions for computer reformers. In B. Waits F. Demana and John Harvey, editors, *Proceedings of the Conference on Technology in Collegiate Mathematics: Teaching and Learning with Technology.*, pages 16–19. Addison-Wesley, 1991.
- [Ste99] L. A. Steen. Twenty questions about mathematical reasoning. In Lee Stiff, editor, *Developing Mathematical Reasoning in Grades K-12*, pages 270–285. Reston, VA, 1999.
- [Ste01a] Jochen Steinbicker. *Zur Theorie der Informationsgesellschaft – Ein Vergleich der Ansätze von Peter Drucker, Daniel Bell und Manuel Castells*. Lehrtexte Soziologie. Opladen, 2001.
- [Ste01b] R. Stephans, R. Plew. *Datadase Desing*. Sams Publishing, Indianapolis, 2001.
- [Sti98] O. Stiemerling, V. Wulf. Beyond Yes and No - Extending Access Control in Groupware with Awareness and Negotiation. *Proceedings of the Third International Conference on the Design of Cooperative Systems (COOP'98)*, INRIA, volume I, pages 111–120. F. Darses, P.P. Zaraté (eds.), 1998.
- [SZ03] X. Shen and C. Zhai. Exploiting Query History for Document Ranking in Interactive Information Retrieval. <http://www.cs.cmu.edu/~czhai/paper/sigir2003-qh.pdf>, 2003.
- [Tan02] A. Tanenbaum, M. van Steen. *Distributed Systems – Principles and Paradigms*. Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [Tav01] Djamshid Tavangarian et al. Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von Notebooks in Lehre und Ausbildung an Hochschulen. Studie, Bundesministerium für Bildung und Forschung (ed.), Berlin, 2001.
- [The96] Y.L. Theng, H. Thimbleby, M. Jones. 'Lost in hyperspace': Psychological problem or bad design? *AP-CHI'96*, Singapore 1996, pages 387–396, New York: ACM-Press, 1996.

- [Tho94] R. Thom. Responses to “theoretical mathematics”: Towards a cultural synthesis of mathematics and theoretical physics. In *Bulletin of the American Mathematical Society*, volume 30(2), pages 178–207, April 1994.
- [Tho01] Uwe Thomas et.al. *Anytime, Anywhere – IT-gestütztes Lernen in den USA*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (ed.), 2001.
- [Tho04] C. Thomsen, R. Seiler, S. Jeschke, S. Morgner. MULTIMEDIA IN LEHRE UND FORSCHUNG AN DER TU BERLIN. Konzeptpapier, Januar 2004.
- [Top] Topicmaps.org (ed.). Xml topic maps. <http://www.topicmaps.org> as of Jun 1st 2003.
- [TPH⁺] The KANT Group, M. E. Pohst, F. Heß, et al. Kant (computational algebraic number theory).
- [Tur99] S. Turkle. *All MOOs are Educational – the Experience of Walking through the Self*, pages ix–xix. High Wired: On the Design, Use, and Theory of Educational Moos. C. Haynes J.R. Holmervik, University of Michigan Press, 199.
- [VM] Verbmobil. <http://verbmobil.dfki.de/>
- [Vos99] A. Voss, K. Nakata, M. Juhnke. Concept Indexing. Proceedings of the International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work (Group99), November 14-17, Phoenix, USA, pages 1–10. S.C. Hayne (ed.), 1999.
- [W3C03] W3C. OWL Web Ontology Language. <http://www.w3c.org/TR/owl-guide/>, 2003.
- [Wen98] E. Wenger. Communities of Practice: Learning as a Social System. *The Systems Thinker*, 9(5), 1998.
- [Wex99] A. Wexelblat. History-Based Tools for Navigation. IEEE’s 32nd Hawaii’ International Conference on System Sciences (HICSS’99), January 5-8, Hawaii, USA. IEEE Computer Society Press, 1999.
- [Wie98] H. Wiechert. 3D-Visualisierungstechniken zur Navigation in Hypertextstrukturen – Eine vergleichende Bewertung nach Software-ergonomischen Kriterien. Master’s thesis, Universität Paderborn, Paderborn, Dezember 1998.
- [Win92] P. H. Winston. *Artificial Intelligence*. Addison-Wesley Publishing, 3 edition, 1992.
- [Wis] Wissenschaftsrat. Empfehlungen zur digitalen Informationsversorgung durch Hochschulbibliotheken, 2001. <http://www.wissenschaftsrat.de/texte/4935-01.pdf>

- [WM02] Richard Widhalm and Thomas Mück. *Topic Maps: Semantische Suche im Internet*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2002.
- [Wor99] World Wide Web Consortium (W3C). WEB CONTENT ACCESSIBILITY GUIDELINES 1.0. <http://www.w3.org/TR/WCAG10/>, Mai 1999.
- [Wü02] R. Wüst. *Mathematik für Physiker und Mathematiker, Bd. 1 und 2*. Wiley-VCH, Weinheim, 2. edition, 2002.
- [XML] Extensible Markup Language (XML). <http://www.w3.org/XML/>
- [Zei93] D. Zeilberger. Theorems for a price: Tomorrow's semi-rigorous mathematical culture. *Notices of the Amer. Math. Soc.*, 40:978–981, 1993.
- [Zha99] Z. Zhang, E. Haffner, A. Heuer, T. Engel, C. Meinel. Role-based Access Control in Online Authoring and Publishing Systems vs. Document Hierarchy. Proceedings on the Seventeenth ACM Annual International Conference on Computer Documentation, September 12-14, 1999, New Orleans, USA, pages 193–198, 1999.