

Technische Universität München
Fakultät für Mathematik
Lehrstuhl für Geometrie und Visualisierung

Multimediale,
multicodale,
multimodale
und interaktive Komponenten
in mathematischen Lernumgebungen

Vanessa Krummeck

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

Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigte Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Rupert Lasser

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Jürgen Richter-Gebert
2. Univ.-Prof. Dr. Kristina Reiss,
Ludwig-Maximilians-Universität München

Die Dissertation wurde am 17.12.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Mathematik am 10.03.2008 angenommen.

Danksagung

Mein Dank gilt vor allem meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Dr. Jürgen Richter-Gebert für die gute Betreuung meiner Dissertation im Allgemeinen sowie die kreativen Diskussionen und richtungsweisenden Kommentare im Speziellen.

Frau Prof. Dr. Kristina Reiss danke ich für ihr Interesse an dieser Dissertation und die anregenden Gespräche, insbesondere für die Übernahme des Koreferates.

Ein sehr herzlicher Dank gilt meinen Eltern, meiner Schwester und der Familie im weitesten Sinne sowie meinem Lebensgefährten und meinen Freunden und Kollegen, die alle auf ihre besondere Art und Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Manche Menschen sind Engel, manche davon wissen es gar nicht.
(*Wolfgang J. Reus*)

Ismaning, Dezember 2007

Vanessa Krummeck

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	8
I Medien und Didaktik	11
1 Der Multimediabegriff	13
1.1 Begriffsabgrenzung Multimedia	14
1.1.1 Begriffsdefinitionen in der Literatur	16
1.1.2 Mediaspekt, Integrations- und Präsentationsaspekt und Anwendungsaspekt nach Klimsa	19
1.2 Der Mediaspekt	21
1.2.1 Medien in der Technik	22
1.2.2 Medien im Allgemeinen	28
1.2.3 Medien im Kontext von Lernumgebungen	30
1.2.4 Codes und Symbolsysteme	31
1.2.5 Sinnesmodalität	34
1.2.6 Multimedialität, Multicodalität, Multimodalität und mediales Angebot nach Weidenmann	35
1.3 Konstruktion eines Multimediakonzepts für den Kontext von Lernumgebungen	37
1.4 Hypertext- und Hypermediasysteme	40
1.4.1 Aus der Geschichte des Hypertexts	40
1.4.2 Hypertext und Hypertextsysteme	42
1.4.3 Hypermedia und Hypermediasysteme	46
1.4.4 Einsatz von Hypertext-/ Hypermediasystemen	46
1.4.5 World Wide Web und Web 2.0	48
1.5 Mathematik und Computer	51
1.5.1 Mathematik als eine Wissenschaft mit vielen Facetten	52
1.5.2 Mathematik und Computer im Allgemeinen	55
1.5.3 Mathematik und Computer im Speziellen	63

1.5.4	Die Trias TK - CAS - DGS	64
1.5.5	Computereinsatz im Mathematikunterricht: Chancen und Risiken	65
1.6	Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen	67
1.6.1	Der Computer als Medium und Werkzeug	67
1.6.2	Besonderer Einsatz des Mediums Computer in der Mathematik	69
1.7	Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen	74
2	Wirkweise von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität	75
2.1	Medienforschung	76
2.2	Mentale Repräsentation	77
2.2.1	Die Theorie der Doppelcodierung nach Paivio	77
2.2.2	Engelkamps multimodale Gedächtnistheorie	78
2.2.3	Interne Codierungen und Mentale Modelle	80
2.2.4	Integratives Modell des Text-, Bild- und Diagrammverstehens nach Schnotz	85
2.3	Wirkweisen	89
2.3.1	Naive Annahmen vs. wissenschaftliche Beiträge	89
2.3.2	Verbale und piktoriale Lesefähigkeit	96
2.3.3	Multicodalität	98
2.3.4	Multimodalität	100
2.3.5	Gestaltung von Texten	102
2.3.6	Gestaltung von Bildern und Diagrammen	105
2.3.7	Kriterien für das Verstehen von Bildern	106
2.3.8	Kriterien für das Verstehen von Diagrammen	118
2.3.9	Einsatz von Audio-Elementen	122
2.3.10	Gestaltungsprinzipien nach Mayer et al.	124
2.3.11	Mathematikspezifische Untersuchungen	133
2.4	Wirkweise von Hypertext-/ Hypermediasystemen	143
2.5	Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen	146
2.5.1	Mathematical Literacy	147
2.5.2	Erzählen	148
2.6	Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen	149
3	Didaktische Konzepte	151
3.1	Medien in der Didaktik - ein Überblick	152
3.1.1	Der Multimediabegriff in der Didaktik: Mediendidaktik und Multimedia-Didaktik	153

3.1.2	Didaktische Strukturen in medialen Angeboten	160
3.1.3	Die Jasper-Woodbury-Serie	162
3.1.4	Motivationale Aspekte	163
3.2	Lehren und Lernen	164
3.2.1	Instruktionspsychologie	166
3.2.2	Lerntheorien	168
3.2.3	Behaviorismus	168
3.2.4	Kognitivismus	170
3.2.5	Konstruktivismus	175
3.2.6	Tabellarischer Vergleich	179
3.2.7	Problemorientiertes Lehren und Lernen	179
3.2.8	Selbstgesteuertes und kooperatives Lernen	183
3.2.9	Narrative Ansätze	188
3.2.10	Instruktionsparadigma und Problemlöseparadigma	194
3.2.11	Lehrfunktionen	195
3.2.12	Lernstile und andere Lernereigenschaften	197
3.3	Möglichkeiten didaktischer Konzepte in medialen Angeboten	203
3.3.1	Verwendung mentaler Modelle	203
3.3.2	Instruktionsmodell und Projektmodell	204
3.3.3	Modell von Lernanwendungen nach Euler	204
3.3.4	Grundlegende didaktische Strategien	205
3.4	Mathematiklernen	208
3.4.1	Arten des Mathematiklernens	210
3.4.2	Mathematische Prozesse: Kommunizieren, Problemlösen, Begriffsbilden	213
3.4.3	Sprache und Mathematik	218
3.4.4	Konzeptuelles und prozedurales Wissen als Grundlage mathematischer Kompetenzen	223
3.4.5	Überblick über Konzepte und Prinzipien des Mathematikunterrichts	224
3.4.6	Auswahl von Konzepten und Prinzipien für den Mathematikunterricht	226
3.4.7	Lernziele von Mathematikunterricht	233
3.4.8	Individuelle Voraussetzungen	237
3.5	Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen	238
3.5.1	Einfluss neuer Technologien auf didaktische Prinzipien im Mathematikunterricht	238
3.5.2	Vermittlung von konzeptuellem und prozeduralem Wissen	241

3.5.3	Sinnvoller Einsatz von Bildern und Diagrammen	243
3.5.4	Lernstile und Lernereigenschaften in der Mathematik	244
3.5.5	Haptische Komponenten	245
3.5.6	Erzählen	245
3.6	Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen	247

II Computer und Lernumgebungen 249

4 Lernumgebungen 251

4.1	Begriffsabgrenzung	251
4.2	Gestaltung von Lernumgebungen	254
4.2.1	Instruktionsdesign	254
4.2.2	Didaktische Funktionen	258
4.2.3	Das kybernetische Modell	259
4.2.4	Strukturprinzipien situierten Lernens	261
4.2.5	Konkrete Ansätze situierten Lernens	264
4.2.6	Leitlinien problemorientierter Lernumgebungen	268
4.2.7	Problemorientiertes Lernen in Lernzyklen	271
4.2.8	Offene Lernumgebungen	272
4.3	Adaptation	273
4.3.1	Makro-Adaptation: Adaptierbarkeit	275
4.3.2	Mikro-Adaptation: Adaptivität	276
4.3.3	Adaptationsmaßnahmen und Modelle adaptiven Lernens	276
4.3.4	Schnittstellen-Adaptivität, Statische Lerner-Adaptivität und Dynamische Lerner-Adaptivität	277
4.3.5	Kritische Anmerkungen	278
4.4	Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen	280
4.5	Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen	281

5 E-Learning 283

5.1	Zur Begrifflichkeit von „E-Learning“	284
5.2	Offline- und Online-Lernen	286
5.2.1	Telemedien	288
5.2.2	Telelernen, Fernunterricht und Blended Learning	289
5.2.3	Lernplattformen	290
5.3	Die Rolle des Computers	291
5.3.1	Der Computer als Lerngegenstand	291
5.3.2	Der Computer als Lernwerkzeug	291

5.3.3	Der Computer als Lernmedium	292
5.4	Lernsoftware	292
5.4.1	Präsentations- und Visualisierungssoftware	294
5.4.2	Hypertext und Hypermedia	294
5.4.3	Drill-and-Practice-Programme	295
5.4.4	Animationen, Simulationen und Mikrowelten	296
5.4.5	Tutorielle Systeme (CBT)	299
5.4.6	Interaktive Lernumgebungen	306
5.4.7	Lernspiele und Edutainment	306
5.4.8	Test-Software	307
5.4.9	Andere Kategorisierungen von Lernsoftware	308
5.5	Einfluss von Lerntheorien auf Lernsoftware	310
5.5.1	Einfluss Behaviorismus	310
5.5.2	Einfluss Kognitivismus	310
5.5.3	Einfluss Konstruktivismus	311
5.5.4	Tabellarischer Vergleich	313
5.5.5	Kritische Anmerkungen	316
5.6	Einsatz des Computers im Unterricht	318
5.6.1	Programmierter Unterricht	318
5.6.2	Computerangereicherter Unterricht	319
5.6.3	Computerunterstützter Unterricht (CUU/CAI)	319
5.6.4	Computergestützter Unterricht (CGU/CBI)	320
5.6.5	Computergesteuerter Unterricht (CGU/CMI)	320
5.6.6	Computerunterstütztes Lernen (CUL/CAL)	321
5.7	Mathematische Lernsoftware	322
5.8	Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen	328
6	Interaktivität und Cinderella	329
6.1	Begriffsabgrenzung Interaktivität	329
6.1.1	Mensch-Maschine-Kommunikation	334
6.1.2	Interaktive Medien	335
6.1.3	Steuerungs- und Didaktische Interaktionen	336
6.1.4	Beispiele von Adaptierbarkeit und Adaptivität	338
6.1.5	Interaktive Aufgaben	341
6.2	Didaktische Aspekte von Interaktivität	342
6.2.1	Konstruktivismus und Interaktivität	344
6.2.2	Wechselwirkung Präsentation - Interaktion	346
6.3	Taxonomie von Interaktivität	348

6.4	Interaktivität in dynamischer Geometriesoftware	354
6.4.1	Dynamische Geometriesoftware	354
6.4.2	Didaktische Aspekte dynamischer Geometriesoftware	360
6.4.3	Die dynamische Geometriesoftware <i>Cinderella</i>	363
6.4.4	Interaktivität versus Interaktivität	371
6.5	Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen	379
6.6	Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen	380
7	Navigation	381
7.1	Begriffsabgrenzung	381
7.2	Arten von Navigation	382
7.2.1	Informationszugriff	382
7.2.2	Navigationstypen	383
7.3	Metaphern	383
7.3.1	Arten von Metaphern	384
7.3.2	Einfluss von Metaphern auf die Navigation	387
7.3.3	Wirkweise von Metaphern	387
7.4	Lernprobleme	388
7.4.1	Desorientierung	388
7.4.2	Kognitive Überlast	390
7.5	Orientierungs- und Navigationsmittel	390
7.5.1	Freies Explorieren versus Guided Tours	393
7.6	Einfluss von Lernereigenschaften	393
7.7	Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen	394
7.8	Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen	395
III	Einblicke und Ausblicke	397
8	Konzept Symmetrie in der Schulmathematik	399
8.1	Grundschule	399
8.2	Hauptschule	403
8.3	Realschule	405
8.4	Gymnasium	410
8.5	Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen	415
8.6	Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen	416
9	Die mathematische Lernumgebung	
	<i>Symme</i> TRICKS	417

9.1	Leitgedanken	417
9.1.1	Motivation	417
9.1.2	Zielsetzung	419
9.2	Wesentliche Merkmale des Konzeptes	420
9.2.1	Navigationskonzept & Hohe Transparenz	420
9.2.2	Personifizierung von Mathematik	422
9.2.3	Erzählen	424
9.2.4	Auditive Komponenten	426
9.2.5	Haptische Komponenten	426
9.2.6	<i>Cinderella</i>	426
	Literatur	429

Einleitung

Die beiden Begriffe *Multimedia* und *E-Learning* sind Schlagworte moderner Lernkultur. Sie werden oft verwendet, ohne dabei jedoch tiefer reflektiert zu werden. Insofern gibt es sehr unterschiedliche Auffassungen darüber, was unter „Multimedia“ und „E-Learning“ genau zu verstehen ist. Eine genaue Definition und Begriffsabgrenzung sind jedoch insbesondere dann notwendig, wenn neue Technologien nicht nur nach einem intuitiven Verständnis, sondern gezielt und bewusst nach wissenschaftlichen Erkenntnissen für das Lehren und Lernen eingesetzt werden sollen.

Diese Arbeit geht der Frage nach, welche Aspekte beim Erstellen einer mit dem Computer medial aufbereiteten mathematischen Lernumgebung zu berücksichtigen sind. Dabei ist der Begriff der *Lernumgebung* ein weiterer Terminus, der genau abzugrenzen ist. Wie für fast alle der im Kontext des Lehrens und Lernens mit dem Computer gebräuchlichen Begriffe zeichnet auch er sich durch einen großen Facettenreichtum aus.

Ganz konkret begann die vorliegende Arbeit dabei mit der klar umrissenen Zielsetzung, eine mit dem Computer medial aufbereitete mathematische Lernumgebung zum Thema *Symmetrie* zu entwickeln. Dabei sollten alle hierzu „wesentlichen“ Aspekte berücksichtigt werden. Bei der Zusammenstellung dieser Aspekte stellte sich heraus, dass neben technischen Gesichtspunkten didaktische sowie mathematikdidaktische als auch fachmathematische Faktoren eine wichtige Rolle spielen. Informationen zu den jeweiligen Gebieten finden sich in der Literatur jedoch nur sehr verteilt auf die jeweiligen Fachgebiete, insbesondere auf der technischen und medialen Ebene meist mit sehr wenig Bezug zur Mathematik.

Zudem wurde sehr schnell deutlich, dass sich die aufgezählten Aspekte nicht einfach nachschlagen und nachlesen lassen, sondern dass viele der gebräuchlichen Schlagworte meist nicht viel mehr als „Überschriften“ zu einer Vielzahl von möglichen Definitionen und Interpretationen sind, allen voran die beiden Schlagwörter *Multimedia* und *E-Learning*.

Somit sollten zunächst einmal alle notwendigen Begriffe geklärt werden, was letztlich zu einer groß angelegten Begriffsexploration führte, deren Ergebnis nun mit dieser Arbeit vorliegt. Dabei wurde gleichzeitig eine mögliche Sortierung der einzelnen Aspekte vorgenommen, die sich wiederum in der Reihenfolge und Gliederung dieser Arbeit widerspiegelt. Generell geht sie vom Allgemeinen ins Spezielle, wobei das Allgemeine so weit beleuchtet und dargelegt wird, wie es für eine Darstellung des Speziellen notwendig ist. Ganz bewusst wird dabei von einer Präsentation der

„reinen Existenz“ von Sachverhalten abgesehen; stattdessen werden jedes Mal die wesentlichen Grundzüge der jeweiligen Thematik erläutert. Damit sollen die einzelnen Themenbereiche nicht nur oberflächlich präsentiert, sondern letztlich miteinander verwoben werden. Allgemeine wissenschaftliche Erkenntnisse aus den weniger mathematischen Richtungen werden zudem auf mathematische Kontexte übertragen.

Das ursprüngliche Ziel der Entwicklung und Erstellung einer *konkreten Lernumgebung* rückte dadurch zwangsweise mehr und mehr in den Hintergrund. Stattdessen wurden die ursprünglichen Ansätze und Ideen des geplanten Kurses am Ende jedes Kapitels im Hinblick auf die im jeweiligen Kapitel behandelten Themen auf ihren sinnvollen Einsatz hin überprüft und - sofern nicht schon direkt im Kapitel selbst behandelt - jeweils in einem Unterkapitel *Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen* berücksichtigt und vorgestellt. Zudem findet sich am Ende der Arbeit das Gesamtkonzept der geplanten Lernumgebung.

Die Arbeit selbst gliedert sich somit nun in drei Teile: Teil I: *Medien und Didaktik*, Teil II: *Computer und Lernumgebungen*, Teil III: *Einblicke und Ausblicke*.

Teil I konzentriert sich dabei zunächst auf die Verknüpfung von Medien und Didaktik im Allgemeinen. Dazu wird zunächst in Kapitel 1 der *Multimediebegriff* ausführlich beschrieben und diskutiert. Ausgehend von den vorhandenen Definitionen und Klassifizierungen der Literatur wird ein neues Begriffskonzept entwickelt, das sich in fünf Aspekte aufgliedert: den *Medienaspekt*, der sich selbst wiederum aus den drei Komponenten *Multimedialität*, *Multicodalität* und *Multimodalität* zusammensetzt, dem *Anwendungsaspekt*, der *Navigation*, der *Interaktivität* und dem *didaktischen Konzept*. Mit diesem Multimediakonzept lassen sich mediale Angebote nun gut nach ihren äußerlichen Merkmalen beschreiben und klassifizieren, wobei die einzelnen Aspekte noch näher zu erläutern sind, was im weiteren Verlauf der Arbeit geschieht. Im Kontext von Medien geht Kapitel 1 insbesondere auch auf *Hypertext- und Hypermediasysteme* ein.

Kapitel 2 stellt wissenschaftliche Ergebnisse zur *Wirkweise von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität* vor. Dabei geht es im Wesentlichen darum, *wie* Medien und ihre einzelnen Komponenten wirken, aber noch nicht so sehr darum, *wann* und *warum* und *zu welchem Zweck* sie eingesetzt werden sollten. Die Beantwortung derartiger Fragen ist Inhalt von Kapitel 3. Hier werden Grundlagen *didaktischer Konzepte* eingeführt und vermittelt.

Um die vorgestellten Ergebnisse vor einem *mathematischen Hintergrund* betrachten zu können, werden die charakteristischen Merkmale dieses Faches zunächst in Kapitel 1 aufgezeigt. Dabei wird der Einfluss des Computers und seines Einsatzes im Mathematikunterricht aufgegriffen. Die Wirkweisen aus Kapitel 2 werden an mathematischen Beispielen erläutert, und Kapitel 3 widmet sich in einem eigenen Unterkapitel den Besonderheiten des Mathematiklernens.

Auf diesem Fundament baut Teil II *Computer und Lernumgebungen* auf: Mit den Kapiteln *Lernumgebungen* (Kapitel 4), *E-Learning* (Kapitel 5), *Interaktivität und Cinderella* (Kapitel 6) sowie *Navigation* (Kapitel 7) steht der Computer als Medium nun im Mittelpunkt. Gleichzeitig konzentriert sich dieser Teil weniger auf das Lernen

im Allgemeinen, als auf die konkrete Gestaltung von Lernumgebungen. Im Rahmen dieser vier Kapitel geht es insbesondere auch um die Diskussion von *Adaptierbarkeit und Adaptivität*, *Lernsoftware* und *dynamische Geometriesoftware*.

Teil III gibt abschließend *Einblicke und Ausblicke* für eine ganz konkrete Gestaltung einer mit dem Computer medial aufbereiteten Lernumgebung zum Thema *Symmetrie*. Dabei beziehen sich die *Einblicke* auf die Darstellung der Behandlung des Themas *Symmetrie* im Schulunterricht und die *Ausblicke* auf didaktisch sinnvolle Ansätze, Ideen und Möglichkeiten für ein derartiges Kurs-Konzept.

Aufgrund der Fülle des in dieser Arbeit präsentierten Materials findet sich zu Beginn jedes Kapitels eine Einleitung, die die Struktur des jeweiligen Kapitels darstellt. Es handelt sich hierbei um eine Art *Advance Organizer*, wie er in Kapitel 2.3.5, S.104, und Kapitel 3.2.4, S.172, vorgestellt wird. Dem *Prinzip des produktiven Übens und Wiederholens* (siehe Kapitel 3.4.6, S.231) folgend findet sich am Ende jedes Kapitels eine Zusammenfassung der wesentlichen Inhalte. Zudem sind die einzelnen Kapitel durch zahlreiche Querverweise miteinander *verlinkt* (siehe Kapitel 1.4.2, S.43), so dass eine rein lineare Bearbeitung nicht zwingend vorgeschrieben, aber dennoch im Sinne einer *Guided Tour* (siehe Kapitel 7.5.1, S.393) sehr zu empfehlen ist.

Ziel dieser Arbeit ist eine Darstellung aller wesentlichen Aspekte, die bei einer insbesondere mit dem Computer medial erstellten und aufbereiteten mathematischen Lernumgebung Berücksichtigung finden sollten. Dabei sollen diese Aspekte nicht nur oberflächlich erwähnt, sondern in ihren inhaltlichen Grundzügen präsentiert werden. Es sollen sowohl allgemeine als auch daraus abgeleitete spezielle Prinzipien von technischen, didaktischen, mathematik- und fachdidaktischen Aspekten derart aufgezeigt werden, dass sie als Grundlage für eine konkrete Umsetzung einer solchen Lernumgebung dienen können.

Teil I

Medien und Didaktik

Kapitel 1

Der Multimediabegriff

Der Begriff *Multimedia* wurde 1995 zum Wort des Jahres gewählt. Dies zeigt sowohl seine Popularität im allgemeinen Sprachgebrauch als auch seine Allgegenwärtigkeit. Daran hat sich bis heute nicht viel geändert. Dennoch ist „Multimedia“ noch immer ein sehr facettenreicher Begriff, für den es schwierig scheint, eine präzise Begriffsbestimmung zu finden. In diesem Kapitel soll daher zunächst eine Begriffsabgrenzung gefunden werden.

Hierzu werden in Kapitel 1.1 verschiedene Quellen zitiert, die eine Definition dieses Begriffes vornehmen. Die Vor- und Nachteile sowie unterschiedliche Sichtweisen dieser Definitionen werden diskutiert. Zusammenfassend wird in Kapitel 1.1.2 ein Ansatz von Klimsa (2002) vorgestellt, der den Multimediabegriff in drei Aspekte aufgliedert: den *Medienaspekt*, den *Integrations- und Präsentationsaspekt* sowie den *Anwendungsaspekt*.

Im weiteren Verlauf setzt sich Kapitel 1 vor allem mit dem Medienaspekt auseinander. Dazu wird in Kapitel 1.2 zunächst auf den Medienbegriff eingegangen: Hier werden *Medien* sowohl in einem technischen als auch in einem allgemeingültigen Kontext betrachtet sowie in ihrer speziellen Funktion in Lernumgebungen. Dabei stellt sich heraus, dass bei der Klassifikation von Medien neben den Medien an sich *Codes und Symbolsysteme* sowie die jeweils durch die Medien angesprochenen *Sinnesmodalitäten* eine wichtige Rolle spielen. Dies nimmt wiederum Einfluss auf den Medienaspekt des Multimediabegriffes: Kapitel 1.2.6 stellt zusammenfassend einen Ansatz von Weidenmann (2001, 2002b) vor, der die drei Begriffe *Multimedialität*, *Multicodalität* und *Multimodalität* sowie den Begriff des *medialen Angebots* etabliert, um mit ihnen den Multimediabegriff darzustellen bzw. abzulösen.

In Kapitel 1.3 werden die beiden Ansätze von Klimsa (2002) und Weidenmann (2001, 2002b) zu einem neuen Ansatz eines Multimediakonzepts zusammengeführt, das vor allem den Kontext von Lernumgebungen berücksichtigt.

Im Anschluss daran geht Kapitel 1.4 auf die besondere Rolle des Computers und der damit verbundenen Darstellung von Informationen in Form von *Hypertext* und *Hypermedia* ein. Nach einem kurzen historischen Überblick werden diese beiden Begriffe näher vorgestellt und erläutert sowie Einsatzmöglichkeiten beschrieben. Kapitel 1.4.5 skizziert dabei die neueren Entwicklungen des *World Wide Web*, die unter

dem Stichwort *Web 2.0* verstanden werden.

Mit Kapitel 1.5 wird die Verbindung zur Mathematik hergestellt. Hierzu werden zunächst einige wesentliche Merkmale von Mathematik als Wissenschaft und als Unterrichtsfach dargestellt und der Computer sowohl als *Medium* als auch als *mathematisches Werkzeug* charakterisiert. Dabei werden verschiedene Einsatzmöglichkeiten des Computers innerhalb der Mathematik vorgestellt.

Kapitel 1.6 zieht Schlussfolgerungen, betont und nennt solche Aspekte, die in diesem Zusammenhang insbesondere im Kontext von mit dem Computer medial aufbereiteten mathematischen Lernumgebungen zu berücksichtigen sind. Kapitel 1.7 fasst die zentralen Inhalte abschließend kurz zusammen.

1.1 Begriffsabgrenzung Multimedia

Der Begriff „Multimedia“ lässt sich in seine beiden Bestandteile „multi“ und „media“ (engl. für Medien) zerlegen und insofern als „viele Medien“ übersetzen. Um eine Begriffsabgrenzung des Multimediabegriffs vorzunehmen, ist es demnach notwendig, zunächst den Medienbegriff näher zu bestimmen, und dann vor diesem Hintergrund die Bedeutung von „viele“ zu klären: Wie viele Medien müssen letztlich zusammenkommen, um „viele Medien“ zu sein? Spielt es eine Rolle, auf welche Medien dabei zurückgegriffen wird? Gibt es Bedingungen oder Anforderungen in der Zusammenstellung der beteiligten bzw. verwendeten Medien? Geht es dabei mehr um technische Aspekte oder eher um Wirkweisen?

Dabei scheint der Medienbegriff selbst zunächst nicht näher erklärt werden zu müssen: Im Kontext der Vermittlung und Darstellung von Informationen werden Medien als Träger dieser Informationen und als Mittel zur Kommunikation verstanden. Als mittlerweile klassische Medien gelten beispielsweise Buch, Zeitung, Radio, Telefon und Fernsehen. Möglichkeiten der Informationsvermittlung, die auf der Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien der letzten Jahre beruhen, werden in Abgrenzung dazu gerne als *Neue Medien* bezeichnet. Dabei wird vor allem der Computer mit all seinen Möglichkeiten fokussiert.

Eine Definition von Medien als „Träger von Informationen“ und „Mittel zur Kommunikation“ ist zwar zutreffend, aber so weit gefasst, dass sie viele Interpretationsmöglichkeiten zulässt: Demnach müssten beispielsweise nicht nur Videorekorder, Beamer, Overhead-Projektor und Tafel zu den Medien gezählt werden, sondern ebenso zum Beispiel Kreide, Folie und Lehrpersonen, denn alle vermögen den Transport von Informationen zu bewerkstelligen (Weidenmann, 2001, S.418). Ebenso ist der Begriff der *Neuen Medien* näher zu spezifizieren: Im Laufe der Zeit entwickeln sich immer wieder „neue“ Medien; insofern bleibt die Frage, was die heutigen „neuen“ Medien zu „Neuen Medien“ werden lässt (zur näheren Beschreibung des Begriffes der *Neuen Medien* siehe Kapitel 1.2, S.27).

In der Tat ist der Medienbegriff ein Begriff, der in der Literatur sehr facettenreich dargestellt wird. Verschiedene Fachrichtungen fokussieren dabei verschiedene Merkmale (siehe hierzu Kapitel 1.2). Dieser Facettenreichtum überträgt sich folglich auf

den Multimediabegriff, und so setzen auch verschiedene Ansätze, den Begriff „Multimedia“ zu definieren, je nach fachwissenschaftlicher Perspektive unterschiedliche Schwerpunkte. Meistens setzen sie dabei einen Medienbegriff voraus, ohne auf diesen jedoch näher einzugehen.

Wenn unterschiedliche Medien zur Informationsvermittlung eingesetzt werden, entstehen zunächst einmal unterschiedliche *mediale Präsentationen* dieser Informationen. Die oben bereits angesprochene Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien, insbesondere die der Digitalisierung von Informationen wie beispielsweise von Text, Ton, Bild und Bewegtbild, haben einen großen Einfluss auf die Gestaltungsmöglichkeiten solcher medialen Präsentationen. Insbesondere der Computer eröffnet hier ganz neue Möglichkeiten: Zum einen lassen sich verschiedenartige Darstellungen miteinander kombinieren, und zwar nicht nur als einfaches „Nebeneinander“, sondern in der Form einer *Integration* der einzelnen Darstellungen zu einer in sich geschlossenen Präsentation. Zum anderen ermöglicht der Computer darüber hinaus verschiedene Möglichkeiten der *Interaktivität* (zur Definition und Vielschichtigkeit dieses Begriffs siehe Kapitel 6).

Im Zusammenhang medialer Präsentationen mit dem Computer sind an dieser Stelle die Begriffe *Hypertext* und *Hypermedia*, *E-Learning* und insbesondere *Lernsoftware* zu nennen (zur Definition und Vielschichtigkeit dieser Begriffe siehe Kapitel 1.4 und Kapitel 5, insbesondere Kapitel 5.4).

Vor diesem Hintergrund komplexer medialer Präsentationen ist es zutreffender, nicht mehr nur von einer medialen Präsentation, sondern vielmehr von einem *medialen Angebot* zu sprechen (siehe hierzu auch Kapitel 1.2.6). Genau diese Art der medialen Angebote versuchen solche Begriffe wie „multimediales Angebot“, „multimediale Anwendung“ oder eben einfach nur „Multimedia“ begrifflich zu fassen und näher zu definieren. Dabei ist die jeweils entstehende Definition abhängig von dem Kontext, in dem solche („multi“)medialen Angebote betrachtet werden, und der daraus resultierenden Sichtweise.

Aus technischer Sicht beispielsweise steht die Technologie im Vordergrund: Welche technischen Komponenten lassen aus einer medialen Präsentation ein („multi“)mediales Angebot werden? Wie lassen sich diese Technologien nutzen, um damit schnelle, effiziente und zuverlässige Realisierungen von („multi“)medialen Angeboten unter Berücksichtigung der aktuellen Computertechnik zu gestalten? Informatik und Elektrotechnik sind Fachwissenschaften, die sich mit diesen technischen Aspekten auseinandersetzen. Für die Telekommunikationsbranche und die Unterhaltungselektronik beispielsweise sind gerade diese technischen Merkmale von signifikanter Relevanz.

Aus kognitionspsychologischer Perspektive sind andere Kriterien von Bedeutung: Hier geht es um die Wahrnehmungs-, Verarbeitungs- und Denkprozesse, die beim Betrachter durch solche mit neuer Technologie angereicherten medialen Präsentationen ausgelöst werden.

Für die Kommunikationswissenschaft ist beispielsweise die Mensch-Maschine-Kommunikation vor dem Hintergrund der neuen Technologien von Bedeutung, aber auch deren Effekte auf den Betrachter. Sowohl hinsichtlich der Wirkung auf die brei-

te Öffentlichkeit als auch bezüglich des Medienaspektes an sich ist „Multimedia“ natürlich auch ein Themengebiet der Medienwissenschaft.

Für die Pädagogik und Pädagogische Psychologie sind die inhaltlichen Strukturen und pädagogischen Konzepte, die („multi“)medialen Anwendungen zugrunde liegen, von großem Interesse, vor allem aber auch ihr pädagogischer Nutzen.

Jeder Ansatz, den Begriff „Multimedia“ zu definieren, wird also fachwissenschaftliche Schwerpunkte setzen. Dabei gibt es jedoch oft fließende Übergänge, wie die folgenden Beispiele zeigen.

1.1.1 Begriffsdefinitionen in der Literatur

Eine Definition, die eher technisch motiviert zu sein scheint, ist beispielsweise die folgende Definition von Hornung (1994):

Multimedia - unter diesem Begriff versteht man die Integration von Text, Grafik, Pixelbildern, Video und Audio. (Hornung, 1994, S.2)

Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass hier verschiedene Merkmalsbereiche miteinander vermischt werden: Während die Begriffe Text und Grafik jeweils eine bestimmte Form der Darstellung von Inhalten beschreiben, charakterisiert das Pixelbild eine sehr spezifische und technische Art einer Darstellung; ein Video hingegen kann als Medium verstanden werden, während sich der Begriff Audio sowohl auf ein noch näher zu bestimmendes Medium als auch auf eine der Sinneswahrnehmungen beziehen kann. Außerdem wird von einer Integration der aufgezählten Elemente gesprochen, was ein reines Nebeneinander ausschließt und bereits eine gewisse Struktur voraussetzt. Insofern hat diese Definition zwar einen technischen Schwerpunkt, bezieht andere Gebiete aber auch ansatzweise mit ein.

Eine weitere Definition mit auf den ersten Blick ebenfalls eher technischem Hintergrund gibt Jeffcoate (1995):

A computer platform, communications network or software tool is a multimedia system if it supports the interactive use of at least one of the following types of information - audio, still image or motion video - in addition to text and graphics. (Jeffcoate, 1995, S.8)

Hier beschreiben die technisch spezifizierten Begriffe der Computer-Plattform, des Kommunikationsnetzes und des Programmentwicklungssystems zunächst ein multimediales System. Gleichzeitig wird die Darstellung von Inhalten fokussiert: Text, Grafik, Bild, Video und Audio werden hier alle als „Informationsarten“ beschrieben. Während sich den Darstellungsformen Text, Grafik und Bild jedoch eindeutig Symbolsysteme zuordnen lassen (Texte bestehen aus Buchstaben, Grafiken und Bilder aus piktorialen Elementen), ist eine solche Zuordnung für Video und Audio schwierig. Wie in der Definition von Hornung beziehen sich diese Begriffe eher auf Medien und Sinneswahrnehmung. Somit werden wieder verschiedene Merkmalsbereiche miteinander vermischt. Wichtiger Bestandteil der Definition ist indessen der Aspekt der

Interaktivität, der hier dazukommt und dem Multimediabegriff zwingend zugeordnet wird.

Eine weitere technisch motivierte Definition mit dennoch anderem Schwerpunkt ist folgende Definition von Steinmetz (2000):

Ein Multimedia-System ist durch die rechnergesteuerte, integrierte Erzeugung, Manipulation, Darstellung, Speicherung und Kommunikation von unabhängigen Informationen gekennzeichnet, die in mindestens einem kontinuierlichen (zeitabhängigen) und einem diskreten (zeitunabhängigen) Medium kodiert sind. (Steinmetz, 2000, S.13)

Diese Definition spezifiziert insbesondere den technischen Einsatz des Computers als Vermittler zwischen darzustellender Information und Betrachter und hebt die Unabhängigkeit der Informationen hervor. Gleichzeitig betont sie die Verwendung von zeitabhängigen und zeitunabhängigen Medien. Zeitabhängige Medien sind dabei beispielsweise Video, Animation und Ton, zeitunabhängige Medien zum Beispiel Text und Grafik. Die Verwendung mindestens eines Mediums aus jeweils einer dieser beiden Gruppen ist ein wesentlicher Bestandteil dieser Definition. Bei Jeffcoate ist diese gleichzeitige Verwendung zeitabhängiger und zeitunabhängiger Medien möglich und auch in der Definition verankert, aber nicht zwingend vorgeschrieben.

In anderen Definitionen rückt die technische Komponente in den Hintergrund zugunsten der Betonung anderer Schwerpunkte. Ein vorrangig kognitionspsychologischer Ansatz findet sich zum Beispiel bei Eichhorn (1997), zitiert nach Lehner (2001):

Multimedia-Systeme sind moderne Mediensysteme, in denen unterschiedliche Darstellungs- und Wahrnehmungssysteme auditiver und visueller Natur technisch und inhaltlich durch einen PC digital verknüpft sind und auf die interaktiv zugegriffen werden kann. (Lehner, 2001, S.3)

In dieser Definition geht es weniger um eine genaue Festlegung der Darstellungsformen im Einzelnen als um die auditive und visuelle Wahrnehmung an sich. Betont wird neben der technischen aber auch die inhaltliche Verknüpfung sowie die Interaktivität.

Wieder andere Definitionen konzentrieren sich auf die innere Struktur multimedialer Angebote und setzen somit einen pädagogischen Schwerpunkt. Folgende Definition von Helmert (1992) ist hierfür ein Beispiel:

Multimedia ist die Integration von verschiedenartigen Medien. Voraussetzung dabei ist, dass die Medien einen inhaltlichen Bezug zueinander haben, der didaktisch begründbar ist. Multimedia ohne sinntragende Inhalte ist nicht möglich. (Helmert, 1992, S.58)

Diese recht kurze Definition verzichtet ganz auf eine nähere Beschreibung einzelner Komponenten einer multimedialen Anwendung, sondern stellt sowohl den inhaltlichen Bezug als auch die didaktische Begründbarkeit in den Vordergrund.

Diese Beispiele von Definitionen zeigen, dass dem Begriff „Multimedia“ eigentlich ein ganzer Begriffskanon mit unterschiedlichen Schwerpunkten zugeordnet ist. Dass es bis heute keine einheitliche Festlegung gibt, zeigt Hasebrooks Eintrag im „Handwörterbuch Pädagogische Psychologie“ (Rost, 2006) zum Stichwort „Multi-Media“. Hasebrook (2006) wählt hier eine zweigeteilte Definition und unterscheidet informationstechnische und psychologische Sicht:

„Multi-Media“ wird aus informationstechnischer Sicht als Computerprogramm (oder Programmsystem) aufgefasst, das neben Bild und Text mindestens ein zeitabhängiges Medium (wie Video, Ton, Animation und Simulation) enthält sowie Möglichkeiten zur direkten Beeinflussung der Informationsdarbietung bereitstellt. (Hasebrook, 2006, S.516)

Da diese technische Definition aus psychologischer Sicht nicht hilfreich sei, weil sie die Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung der Information nicht berücksichtige, erweitert Hasebrook sie wie folgt:

Multi-Media kann in psychologischen Begriffen definiert werden als eine vom Lernenden unmittelbar beeinflussbare Computeranwendung, die Informationen durch mehrere Symbolsysteme, d.h. bildlich-analog oder sprachlich-sequentiell, vermittelt und dabei verschiedene Sinne anspricht. (Hasebrook, 2006, S.516)

Damit berücksichtigt diese Definition unterschiedliche Symbolsysteme und insbesondere die verschiedenen Sinnesmodalitäten, die durch die einzelnen Medien angesprochen werden. Beides ist ein wesentlicher Bestandteil dieser Definition.

Eine andere Möglichkeit, den Begriffskanon „Multimedia“ zusammenzufassen und auf einen Punkt zu bringen, wählt Mayer (2005a) in seiner Definition:

I define multimedia as the presentation of material using both words and pictures. (Mayer, 2005a, S.2)

Für Mayer (2005a) sind „Wörter“ dabei geschriebener oder gesprochener Text und „Bilder“ sowohl ruhende Bilder wie Illustrationen, Grafiken, Fotos, Pläne oder Karten als auch bewegte Bilder wie Video und Animationen. Seine Definition ist so weit gefasst, dass dabei sowohl ein Lehrer, der mit Kreide einen Tafelvortrag hält, als auch ein Buch mit Text und Bildern unter „Multimedia“ fallen.

Diese Beispiele zeigen die Vielschichtigkeit der Definitionen und betonen damit gleichzeitig die verschiedenen Komponenten, die dabei berücksichtigt werden können. Zusammengefasst spielen die *Art und Auswahl der beteiligten Medien*, insbesondere der *Einsatz des Computers, Symbolsysteme*, die angesprochenen *Sinnesmodalitäten*, die *Integration der Medien* bei der Darstellung von Informationen sowie deren *digitale Verknüpfung, Interaktivität* und *didaktische Begründbarkeit* eine Rolle.

Um nun verschiedene („multi“)mediale Angebote miteinander vergleichen und wissenschaftlich untersuchen zu können, bedarf es einer klaren Strukturierung und Abgrenzung dieser einzelnen Komponenten. Klimsa (2002) und Weidenmann (2002b, 2001) wählen hierzu zwei unterschiedliche Ansätze:

Klimsa (2002) versteht „Multimedia“ weniger als einen alleinstehenden Begriff, sondern vielmehr als ein ganzes Konzept, das folgende drei Aspekte miteinander vereint: den *Medienaspekt*, den *Integrations- und Präsentationsaspekt* sowie den *Anwendungsaspekt*. Hinsichtlich des Medienaspektes unterscheidet er dabei aber nur zwischen *zeitabhängigen* und *zeitunabhängigen Medien* (siehe hierzu Kapitel 1.2, S.26). Weidenmann (2001, 2002b) konzentriert sich stärker auf den Medienaspekt und unterscheidet hier *Medialität*, *Codierung* und *Modalität*. Auf dieser Grundlage etabliert er den Begriff des *medialen Angebotes* letztlich als Alternative bzw. Ersatz für einen Multimediabegriff.

Beide Ansätze werden im Folgenden vorgestellt. Dabei wird zunächst auf den Ansatz von Klimsa (2002) eingegangen. Anschließend wird der Medienaspekt vertiefend aufgegriffen und in diesem Rahmen der Medienbegriff in seiner Vielschichtigkeit dargestellt. Der Ansatz von Weidenmann (2001, 2002b) bietet hier eine gute Lösung für den Umgang mit dieser Vielschichtigkeit an. Beide Ansätze werden dann in Kapitel 1.3 zu einem Ansatz zusammengeführt, der besonders den Kontext von medialen Lernumgebungen berücksichtigt.

1.1.2 Medienaspekt, Integrations- und Präsentationsaspekt und Anwendungsaspekt nach Klimsa

Klimsa (2002, S.5–7) untergliedert den Multimediabegriff in zwei Dimensionen und drei Aspekte (siehe Abbildung 1.1).

Die erste Dimension ist die *Dimension der Technik*. Mit ihr verknüpft sind zwei Aspekte: der *Medienaspekt* und der *Integrations- und Präsentationsaspekt*.

Unter den *Medienaspekt* fällt die Hard- und Software-Technologie, die für den Zusammenschluss digitaler Medien verwendet wird. Dabei wird zwischen zeitabhängigen und zeitunabhängigen Medien unterschieden.

Unter den *Integrations- und Präsentationsaspekt* fallen Interaktivität, Parallelität im Sinne paralleler Medienpräsentation und Multitasking im Sinne der gleichzeitigen Ausführung mehrerer Prozesse.

Diese technische Dimension stand in den 90er-Jahren im Vordergrund. Schlagworte dieser Zeit sind beispielsweise *optische Speichermedien*, *Rechnerarchitekturen*, *Betriebssysteme*, *Netzwerke*, *Datenkompression*, *Video- und Audio-Technik*, *multimediale Dokumentenformate* oder auch *Synchronisation*.

Im Kontext der Nutzung und Anwendung medialer Angebote stehen vor allem Aspekte der *Programmierung* und *Modellierung* sowie der *Benutzerschnittstellen* oder Fragen der technischen Abstraktionsebenen bei der Realisation wie beispielsweise *Objektorientierung* im Mittelpunkt. Diese Begriffe zielen bereits auf die zweite Dimension, die *Dimension der Anwendung*.

In diese Dimension fällt der *Anwendungsaspekt*. Für Klimsa ist ein Computer mit Tonausgabe und einem eingebauten CD-ROM-Laufwerk noch kein Multimediasystem. Erst die entsprechende Anwendung konkretisiert für ihn den Begriff. So sind *Datenbanksysteme*, *Kommunikationssysteme*, *Hypermediasysteme*, *Umgebungen* und

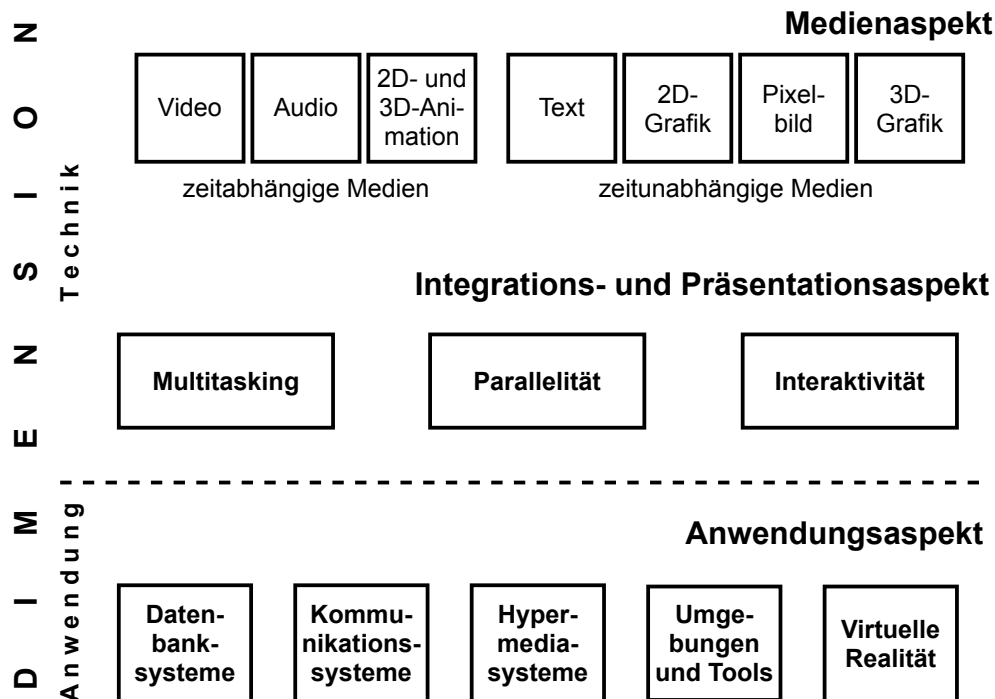


Abbildung 1.1: Multimedia als ein Konzept, das technische und anwendungsbezogene Dimensionen integriert (Klimsa, 2002, S.5–7); Abbildung in Anlehnung an Klimsa (2002, S.6).

Tools sowie *virtuelle Realität* Beispiele für Anwendungen, die er dieser Ebene und diesem Aspekt zuordnet.

Insofern stellt sich „Multimedia“ nun weniger als ein einzelner Begriff, sondern als ein ganzes Konzept dar, „das nicht nur die digitalen Medien, sondern auch die gesamte technische und die anwendungsbezogene Dimensionen integriert“ (Klimsa, 2002, S.6). Darüber hinaus lassen sich als Bereiche, in denen dieses Konzept Einsatz findet, die Bereiche *Information*, *Kooperation*, *Lernen* und *Unterhaltung* angeben.

Nun sind diese Teilbereiche natürlich selber wieder näher zu spezifizieren und auf den Kontext von Lernumgebungen anzuwenden. Gerade in diesem Kontext sollte aber aufgrund der vorherigen Diskussion zunächst noch eine weitere Kategorie hinzugenommen werden, nämlich die Kategorie des didaktischen Konzepts. Klimsa (2002) äußert sich hierzu wie folgt:

Die Anwendungen ergeben sich dabei sozusagen als Folge der technischen Gegebenheiten. Seltener werden dagegen gestalterische und didaktische Faktoren bei der Anwendungsentwicklung berücksichtigt. Noch seltener greift man bei der Entwicklung auf psychologische Implikationen der Nutzung multimedialer Systeme zurück. (Klimsa, 2002, S.7)

In der Tat ist es natürlich so, dass der Stand der Technik immer nur bestimmte Anwendungsmöglichkeiten zulässt und insofern einen Weg von der Technik hin zur

Anwendung vorgibt. Durch die rasante technische Weiterentwicklung der letzten Jahre ist es aber heute möglich, diesen Weg auch anders herum zu beschreiten und zuerst ein didaktisches Konzept zu erarbeiten, um dann nach geeigneten technischen Mitteln zu suchen, dieses umzusetzen.

Mögliche didaktische Konzepte sowie daraus ableitbare Umsetzungen für Lernumgebungen im Allgemeinen und E-Learning im Speziellen werden vertieft in den Kapiteln 3, 4 und 5 vorgestellt. Ebenso befasst sich Kapitel 6 ausführlich mit dem Aspekt der Interaktivität. In diesem Kapitel soll nun zunächst der Medienaspekt weiter vertieft werden, bevor in Kapitel 1.3 eine zusammenfassende Darstellung des Multimediabegriffs gegeben wird.

1.2 Der Medienaspekt

In Kapitel 1.1 wurde bereits darauf hingewiesen, dass die unterschiedlichen Definitionen des *Multimediabegriffs* zu einem Großteil in einer uneinheitlichen Definition des *Medienbegriffs* begründet sind. Ganz allgemein wird der Begriff *Medien* in seiner Pluralform meist im Zusammenhang der Vermittlung und Darstellung von Informationen verstanden. Ein *Medium* ist insofern ein Träger von Informationen, ein Mittel zur Kommunikation. Meyers Enzyklopädisches Lexikon definiert wie folgt:

MEDIUM[lat.: *das in der Mitte Befindliche*], *allgemein Mittel, vermittelndes Element, insbesondere (in der Mehrzahl) Mittel zur Weitergabe oder Verbreitung von Information durch Sprache, Gestik, Mimik, Schrift und Bild (...)* (Meyers Enzyklopädisches Lexikon, Band 15, 1975)

In seiner Definition als „vermittelndes Element“ findet der Begriff des Mediums auch in anderen Fachrichtungen zahlreiche Verwendung: So ist ein Medium in der Biologie eine Nährlösung oder ein Nährboden für Bakterien, Pilze oder Pflanzen. Die Chemie verwendet den Begriff als Sammelbegriff für Stoffe, die andere Stoffe aufnehmen können. Ein Medium in der Physik ist ein Träger von Wellen, ein Medium in der Technik ein Sammelbegriff für flüssige, gasförmige oder fein zerteilte feste Stoffe. In einem ganz anderen Kontext ist das Medium in der Parapsychologie eine Person, von der behauptet wird, dass sie Verbindungen zu spirituellen Wesen aufbauen könne. Die Beispiele zeigen, dass allen diese Definitionen letztlich der Gedanke und die Bedeutung einer „Mittlerrolle“ zugrunde liegt.

Wie schon in Kapitel 1.1 dargestellt, lassen sich nach der obigen allgemeinen Definition des Medienbegriffs sowohl ein Beamer als auch ein Stück Kreide oder eine Lehrperson gleichermaßen als „Medium“ bezeichnen. Um hier dennoch Unterschiede herausarbeiten zu können, ist eine nähere Klassifikation von Medien nach bestimmten Merkmalen notwendig. Welche Merkmale dazu verwendet werden, entscheidet die fachspezifische Richtung, aus deren Sicht heraus die Klassifikation vorgenommen wird.

Da der Medienaspekt ein wesentlicher Bestandteil eines medialen Angebotes ist, sollen hier nun die verschiedenen Facetten des Medienbegriffs dargestellt und eine

Klassifizierung gefunden werden, die es ermöglicht, Medien gut miteinander vergleichen und voneinander abgrenzen zu können.

1.2.1 Medien in der Technik

Auf rein technischer Ebene ist die optimale Koordination aller an einem medialen Angebot beteiligten Medien von entscheidender Bedeutung. Dies gilt insbesondere dann, wenn das mediale Angebot ein hohes Maß an Interaktivität aufweist. Es muss eindeutig geklärt und festgelegt sein, wie wann welches Medium mit welchem anderen Medium agiert. Diese Strukturinformation wird mithilfe einer Programmier- oder Skriptsprache beschrieben. Bei Wiedergabe einer medialen Präsentation wird dann ein entsprechendes Programm oder Skript in einer dazu passenden Laufzeitumgebung abgearbeitet. Die verschiedenartigen Programmier- und Skriptsprachen, die unterschiedlichen Laufzeitumgebungen sowie die Heterogenität medialer Angebote erschweren jedoch einen systemübergreifenden Austausch.

In den 90er-Jahren sollte deshalb ein standardisiertes Austauschformat für interaktive (multi)mediale Präsentationen erarbeitet werden - mit dem Ziel, die Speicherung, den Austausch und die Wiedergabe von (multi)medialen Informationen zu erleichtern. Es bildete sich eine Arbeitsgruppe der Internationalen Organisation für Normung (International Standardization Organization, ISO) mit dem Namen *Multimedia and Hypermedia information coding Expert Group*, kurz *MHEG*. Gleichzeitig wird mit diesem Kürzel auch der von dieser Gruppe erstellte Standard mit dem offiziellen Namen *Coding of multimedia and hypermedia information* und der Nummer *ISO/IEC 13522* bezeichnet.

Auf ihrer Internetseite definiert sich die Arbeitsgruppe selbst wie folgt:

WG12 is the ISO/IEC/JTC1SC 29 working group, commonly known as MHEG, which provides standards for the coded representation of multimedia hypermedia information objects that are interchanged among applications and services using a variety of media. The objects define the structure of multimedia hypermedia presentation. (Multimedia and Hypermedia Information coding Expert Group (MHEG), 2006)

Die MHEG-Standards zielen jedoch hauptsächlich auf interaktives Fernsehen. Die mit MHEG-5 bezeichnete Version des Standards definiert eine Skriptsprache, die in Großbritannien vom BBC für die Übertragung im digitalen Fernsehen genutzt wird. Im Jahr 2001 stellte die Gruppe ihre Arbeit jedoch ein und definierte sich neu als *MHEG Task Force*.

Parallel zum MHEG wurden andere Standards entwickelt wie beispielsweise der Multimedia-Home-Platform-Standard (MHP-Standard), der vom europäischen Digital-Video-Broadcasting-Projekt (DVB-Projekt) als Standard verabschiedet wurde. Er spezifiziert die Übertragung und Darstellung interaktiver Inhalte im digitalen Fernsehen auf Basis der Programmiersprache Java in Kombination mit HTML.

Das Beispiel des digitalen Fernsehen zeigt, wie wichtig eine genaue Einordnung der einzelnen Medien und die exakte Definition ihrer Schnittstellen ist, damit das Zu-

sammenspiel in einer multimedialen Anwendung funktioniert. Dazu müssen Medien zunächst einmal hinsichtlich ihrer Eigenschaften kategorisiert werden.

Medien-Kategorien

In Anlehnung an den MHEG-Standard unterscheidet Steinmetz (2000) hierzu sechs verschiedene Kategorien von Medien: *Perzeptions-, Repräsentations-, Präsentations-, Speicher-, Übertragungs- und Informationsaustauschmedien*. Dabei sind diese einzelnen Kategorien nicht notwendig disjunkt. Ausgewählte Eigenschaften bestimmen die Medien jeder einzelnen Kategorie, so dass ein und dasselbe Medium ein Element verschiedener Kategorien sein kann. Steinmetz (2000, S.7–9) formuliert zu jeder Kategorie eine sie definierende Frage.

▷ PERZEPTIONSMEDIEN

Wie nimmt der Mensch die Information auf?

In der Kategorie der *Perzeptionsmedien* werden Medien danach unterschieden, welche menschlichen Sinnesorgane sie bei der Informationsvermittlung ansprechen. Dabei wird primär zwischen Sehen und Hören und dementsprechend zwischen visuellen und auditiven Medien differenziert. Text, Einzelbild und Bewegtbild sind Beispiele für visuelle Medien. Musik, Geräusch und Sprache gehören zu den auditiven Medien. Diese Einteilung lässt sich weiter verfeinern. So bestehen Bewegtbilder beispielsweise aus Videosequenzen und diese wiederum aus Einzelbildern.

▷ REPRÄSENTATIONSMEDIEN

Wie wird die Information im Rechner codiert?

Für die Kategorie der *Repräsentationsmedien* ist die rechnerinterne Kodierung der Information entscheidend. Hierunter fällt zum Beispiel die Kodierung eines Textes in ASCII-Zeichen, die Kodierung eines Einzelbildes im JPEG-Format oder die Kodierung einer Audio-Video-Sequenz in verschiedenen Fernsehnormen wie beispielsweise PAL, SECAM oder NTSC.

▷ PRÄSENTATIONSMEDIEN

Über welches bzw. mithilfe welches Mediums wird Information von einem Rechner ausgegeben oder in einen Rechner eingelesen?

Die Schnittstelle zwischen Information und Rechner definiert die Kategorie der *Präsentationsmedien*. Dabei wird primär zwischen Ein- und Ausgabemedien unterschieden. Tastatur, Kamera und Mikrophon zählen beispielsweise zu den Eingabemedien, Papier, Bildschirm und Lautsprecher zu den Ausgabemedien.

▷ SPEICHERMEDIEN

Wo bzw. worauf wird die Information gespeichert?

Die Kategorie der *Speichermedien* unterscheidet die verschiedenen Datenträger.

Neben Diskette, Festplatte und CD-ROM zählen auch Mikrofilm und selbst Papier zu den Speichermedien, da auf allen genannten Medien Information auch längerfristig gespeichert werden kann.

▷ ÜBERTRAGUNGSMEDIEN

Worüber wird Information übertragen?

Die Kategorie der *Übertragungsmedien* ist bestimmt durch die Hardware, welche eine kontinuierliche Übertragung von Daten ermöglicht. Diese Kategorie schließt die Speichermedien bewusst aus. Es sind sowohl kabelgebundene Übertragungen als auch die im Funkverkehr einsetzbaren Medien zu berücksichtigen. Beispiele für Übertragungsmedien sind somit das Koaxialkabel und die Glasfaser, aber auch der Funkkanal.

▷ INFORMATIONSAUSTAUSCHMEDIEN

Welcher Informationsträger wird für den Austausch von Informationen zwischen verschiedenen Orten verwendet?

Zur Kategorie der *Informationsaustauschmedien* gehören solche Medien, die Information zwischen verschiedenen Orten transportieren können. Zwischenspeicherung ist dabei erlaubt. Speicher- und Übertragungsmedien gehören in diese Kategorie. Mikrofilm, Papier oder Diskette sind also ebenso Beispiele wie Koaxialkabel, Glasfaser oder Luft.

Weitere Unterscheidungsmerkmale

Steinmetz (2000, S.9–11) führt an dieser Stelle noch die Begriffe des *Darstellungsraumes*, des *Darstellungswertes* und der *Darstellungsdimension* ein. Auch diese Begriffe ermöglichen eine Kategorisierung von Medien: Jedes Medium definiert Darstellungswerte in Darstellungsräumen, die sich an die fünf Sinne Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Fühlen richten. Jeder Darstellungsraum wiederum hat seine eigene Darstellungsdimension. Zusätzlich lassen sich *zeitunabhängige* von *zeitabhängigen*, *diskrete* von *kontinuierlichen* Medien unterscheiden.

▷ DARSTELLUNGSRAUM

Medien appellieren an die menschlichen Sinne und stellen Informationen auf verschiedene Art und Weise dar. Eine Möglichkeit, die Art der Darstellung näher zu bestimmen, bietet die Beschreibung des *Darstellungsraums*. Papier und Bildschirm sind Beispiele für visuelle Darstellungsräume. Auch eine gesamte Leinwand wird bei einer rechnergesteuerten Diashow mit simultaner Projektion des Bildschirminhalts als Darstellungsraum gewertet. Stereo- und Quadrofonie bestimmen akustische Darstellungsräume. Im Sinne der oben definierten Präsentationsmedien bilden die Darstellungsräume einen Teil der Ausgabemedien dieser Kategorie.

▷ DARSTELLUNGSWERTE

Eine weitere Möglichkeit, die dargebotenen Informationen detaillierter zu beschreiben, ist mithilfe der *Darstellungswerte* gegeben. Sie beschreiben die konkrete Form, in der Medien Informationen vermitteln. Beispielsweise stellt das Medium Text einen Satz visuell als Folge von Buchstaben dar, während das Medium Sprache denselben Satz akustisch in Form von Druckwellen wiedergibt.

Um die jeweiligen Darstellungswerte wahrnehmen zu können, ist sowohl beim Text als auch bei der Sprache Vorwissen nötig: Um einen Text lesen zu können, muss das Symbolsystem der Buchstaben bekannt sein; um eine Sprache verstehen zu können, muss unter anderem die Bedeutung der einzelnen Vokabeln präsent sein. Gleiches gilt für die Gestik: Bestimmte Gesten haben oft ganz bestimmte Bedeutungen, die allerdings von Kultur zu Kultur sehr unterschiedlich sein können. Einige Darstellungswerte stehen aber auch für sich selbst und können vom Menschen ohne Vorwissen um ein entsprechendes Symbolsystem direkt interpretiert werden. Beispiele hierfür sind Geruch, Geschmack und Temperatur.

Darstellungswerte können diskret als Folge einzelner Werte oder als Kontinuum vorliegen. Medien können somit wertdiskret oder wertkontinuierlich sein. Druckwellenschwankungen, die akustische Signale bestimmen, treten beispielsweise nicht als einzelne Werte auf. Die Buchstaben eines Textes sind jedoch Folgen einzelner Werte.

▷ DARSTELLUNGSDIMENSIONEN

Jeder Darstellungsraum hat eine oder mehrere *Darstellungsdimensionen*. Beispiele aus der Literatur (zum Beispiel Steinmetz (2000, S.10)) ordnen einem Bildschirm zwei räumliche Dimensionen, Holografie und Stereophonie drei räumliche Darstellungsdimensionen zu. Insofern ist weniger die technische Dimension des Darstellungsraumes, sondern vielmehr dessen Wirkung auf den Empfänger zu berücksichtigen. Somit besitzt beispielsweise der Bildschirm genau wie eine bedruckte Seite Papier zwei räumliche Dimensionen.

Holografie ermöglicht es, durch die ihr eigene Aufnahmetechnik mithilfe von Laserlicht räumliche Informationen eines Gegenstandes aufzunehmen und via holografischer Bildplatte wiederzugeben. Im Gegensatz zu einer normalen Fotografie sieht der Betrachter kein zweidimensionales Bild, sondern hat einen Einblick in die dritte Dimension, den er durch eine Änderung des Blickwinkels in gewissem Rahmen sogar noch verändern kann. Insofern können Hologrammen drei Darstellungsdimensionen zugesprochen werden, auch wenn die Bildplatte selbst nur zweidimensional ist. Entscheidend ist dabei die Wahrnehmung des Betrachters, für den ein Hologramm im Gegensatz zu einer Fotografie über eine weitere, nämlich die dritte Dimension verfügt.

Ähnlich verhält es sich mit der Stereophonie. Akustische Signale können als zweidimensionale Schwingungen betrachtet werden. Mit Stereophonie werden nun solche Techniken bezeichnet, die mithilfe von zwei oder mehreren Schallquellen einen räumlichen Schalleindruck beim natürlichen Hören erzeugen. Insofern ist es wie-

der der Eindruck des Zuhörers, über den der Sterofonie drei Darstellungsdimensionen zugeordnet werden können. Zudem kann hier die räumliche und damit dreidimensionale Anordnung der Schallquellen berücksichtigt werden.

▷ ZEITUNABHÄNGIGE UND ZEITABHÄNGIGE MEDIEN

Jeder Darstellungsraum kann um eine zusätzliche Dimension erweitert werden, nämlich um die Dimension der Zeit. Diese Dimension liefert ein weiteres wichtiges Merkmal zur Kategorisierung von Medien: Es wird zwischen *zeitunabhängigen* und *zeitabhängigen* Medien unterschieden.

Zeitunabhängige Medien sind beispielsweise Text, Pixelbild, 2D- und 3D-Grafiken. Ihre Verarbeitung ist in der Regel zeitunkritisch, weil die Gültigkeit der übertragenen Daten nicht von einer Zeitbedingung abhängt, zumindest nicht im Rahmen sehr kurzer Zeitintervalle.

Zeitabhängige Medien sind zum Beispiel Video, Audio, 2D- und 3D-Animationen, aber auch Signale verschiedener Sensoren wie Lufruck-, Temperatur-, Feuchtigkeits-, Druck- oder Radioaktivitätssensoren. Ihre Verarbeitung ist in der Regel zeitkritisch, da die Richtigkeit der übertragenden Daten hier sehr wohl einer Zeitbedingung unterliegt. Die Information steckt nicht nur im einzelnen Wert, sondern auch im Zeitpunkt seines Auftretens. So kann beispielsweise ein zu spät übertragener Abtastwert eines Audiosignals als ungültig und somit falsch bewertet werden, wenn das zugehörige Signal bereits über den Lautsprecher ausgegeben worden ist.

▷ DISKRETE UND KONTINUIERLICHE MEDIEN

Steinmetz (2000, S.11) führt an dieser Stelle noch eine weitere Kategorie, die Kategorie der *kontinuierlichen Medien*, ein. Treten die einzelnen Darstellungswerte eines Mediums in einer kontinuierlichen Sequenz auf, so definiert dies den Begriff des kontinuierlichen Mediums. Ähnlich wie bei den Darstellungswerten zwischen wertdiskreten und wertkontinuierlichen Medien wird hier zwischen zeitdiskreten und zeitkontinuierlichen Medien unterschieden.

Dabei bestimmt nicht die interne Datenrepräsentation, ob ein Medium zeitdiskret oder zeitkontinuierlich ist, sondern der Eindruck, der beim Betrachter oder Zuhörer entsteht. Eine Videosequenz besteht zum Beispiel aus lauter Einzelbildern, die sich im Darstellungsraum als Funktion der Zeit ablösen. Die Trägheit des menschlichen Auges führt in diesem Beispiel bei einer Folge von mindestens 16 Einzelbildern pro Sekunde jedoch zum Eindruck der Kontinuität. Ein weiteres Beispiel für kontinuierliche Medien sind Audiosignale wie Sprache, Musik und Geräusche.

In der Regel sind zeitabhängige Medien auch kontinuierliche Medien. Es gibt aber auch Medien, die streng nach Definition zeitabhängig, aber nicht kontinuierlich sind. So erzeugen beispielsweise Druck- oder Temperatursensoren mit Schwellwertdetektoren bei der Überschreitung von zulässigen Grenzwerten zeitabhängige Darstellungswerte. Da diese Darstellungswerte nicht kontinuierlich auftreten,

können sie streng genommen nicht zu den kontinuierlichen Medien gezählt werden. Ein Beispiel für ein solches Medium ist die Computermaus. Oft treten solche nicht-kontinuierlichen Sequenzen von Darstellungswerten aber in kooperativer Anwendung mit einem zugehörigen Informationsfenster auf dem Bildschirm auf und werden insofern dennoch als kontinuierliche Medien gewertet.

In der Literatur werden die Begriffspaare *zeitunabhängig* - *zeitabhängig* und *(zeit)diskret* - *(zeit)kontinuierlich* meist nicht so genau unterschieden, sondern als Synonyme verwendet. Die Begriffe *diskret* und *kontinuierlich* beziehen sich dabei in der Regel auch immer nur auf die Dimension der Zeit und nicht auf die Darstellungswerte. Ein weiteres synonymes Begriffspaar, das in diesem Zusammenhang verwendet ist, ist das der *statischen* und *dynamischen Medien* (Lehner, 2001, S.58).

Mit diesen Begriffen und Kategorien lassen sich Medien nun auf einer technischen Ebene bezüglich ihrer verschiedenen Eigenschaften gut klassifizieren und einordnen. Es gibt viele weitere Einteilungen und Klassifizierungen von Medien, die die hier bereits vorgestellten technischen Konzepte verallgemeinern oder neue Konzepte definieren. Dabei steht oft ein Medienbegriff im Sinne der oben definierten Perzeptionsmedien im Vordergrund. Kapitel 1.2.2 nennt hierzu einige Beispiele. Bevor dazu übergegangen wird, soll hier noch auf den häufig anzutreffenden Begriff der *Neuen Medien* eingegangen werden.

Neue Medien

Der Begriff der *Neuen Medien* wird oft als eigenständiger Begriff verwendet: Es sind damit keine „neuen“ Medien im Allgemeinen gemeint, sondern *die* Neuen Medien im Speziellen, wobei „im Speziellen“ in diesem Kontext ein relativer Begriff sein muss: Nach Ratzke (1984) sind „alle Verfahren und Mittel (Medien), die mithilfe neuer oder erneuerter Technologien neuartige, also in dieser Art bisher nicht gebräuchliche Formen von Informationserfassung und Informationsbearbeitung, Informationsspeicherung, Informationsübermittlung und Informationsabruf ermöglichen“ neue Medien. Damit hat jede Epoche ihre eigenen „neuen Medien“, die sie wiederum als „Neue Medien“ bezeichnen kann.

Dementsprechend ist dieser Begriff auch nicht neu, sondern findet sich im Wandel der Zeiten immer wieder, indem er für neue Medien oder auch nur für neue Medientechniken eingesetzt wird. So wurde zunächst das Radio mit diesem Begriff bedacht, später das Fernsehen und anschließend Videotext und Bildschirmtext (BTX).

Die Digitalisierung von Informationen, insbesondere von Ton, Bild und Bewegtbild, sowie die schnelle Weiterentwicklung der Kompressionsverfahren ermöglichen heute eine Bewältigung auch sehr großer Datenmengen. Dies hat insofern einen großen Einfluss, als dadurch der Übergang von der Dienstleistungsgesellschaft in die Informationsgesellschaft eingeleitet wurde.

So wird der Begriff der *Neuen Medien* seit Mitte der 90er-Jahre im Speziellen für die digitalen Medien bzw. die verschiedenen Formen der Internet-Kommunikation

verwendet: In einem erweiterten Sinne werden damit meistens solche Medien bezeichnet, die auf Daten in digitaler Form zugreifen, wie beispielsweise E-Mail, DVD, CD-ROM, MP3 oder das World Wide Web (WWW). In einem engeren Sinne sind mit den Neuen Medien solche Dienste gemeint, die über das Internet möglich sind. Als besondere Kennzeichen der Neuen Medien lassen sich heute die *rechnergestützte Handhabung*, das *digitale Vorliegen* der Daten sowie die *Interaktivität* mit diesen Daten festhalten (zu interaktiven Medien siehe Kapitel 6.1.2).

Die Digitalisierung ermöglicht die Integration vieler verschiedener Kommunikationswege, wie beispielsweise Sprache und Text, Video und Audio, Telekommunikation, Unterhaltungselektronik und Computertechnik. Dieses Zusammenwachsen kennzeichnet die Angebote der neuen Informations- und Medienwelt. Insofern wird der Begriff der Neuen Medien manchmal auch als Synonym für einen Multimediabegriff verwendet. Damit ergeben sich dann wie beim Multimediabegriff ähnliche Fragen nach einer näheren Klassifizierung der oben genannten Merkmale.

1.2.2 Medien im Allgemeinen

Neben einer rein technischen Kategorisierung des Medienbegriffs spielen noch viele weitere Aspekte eine wichtige Rolle. Im *Jahrbuch Medienpädagogik 6* (Sesink, Kerres und Moser, 2007) unterscheidet Hug (2007) beispielsweise zwischen *medienphilosophischen* und *medienwissenschaftlichen* Begriffen.

Zu den *medienphilosophischen Begriffen* zählen allgemein-abstrakte Konzepte, die Medien als Anschauungsformen oder sinnliche Wahrnehmungsmedien in Raum und Zeit auffassen. Allgemeine Charakterisierungen, wie etwa die des Mediums als Mitte, Mittel und Mittler gehören auch in diesen Bereich.

Als *medienwissenschaftliche Begriffe* lassen sich *semiotisch-kulturalistische* und *technisch-apparative* Akzentsetzungen unterscheiden: Zur ersten Gruppe gehören semiotische Kommunikationsmittel wie beispielsweise Bild, Sprache, Schrift und Musik; zur zweiten Gruppe zählen technische Herstellungs-, Speicher- und Übertragungsmedien wie zum Beispiel Buchdruck, Radio, Film, Fernsehen, Computer und Internet.

Darüber hinaus gibt es die Gruppe der *Medienangebote*, die als Resultate der Verwendung von Kommunikationsmitteln wie Texten, Radio- und Fernsehsendungen oder Webseiten entstehen und in denen die genannten Akzentsetzungen in vielfältiger Weise aufgehoben sein können.

Mit dem Problem eines nicht einheitlich definierten Medienbegriffs hat sich vor allem die Medienpädagogik auseinanderzusetzen. Die Vielfältigkeit des Begriffs spiegelt sich insofern im *Jahrbuch Medienpädagogik 6* (Sesink, Kerres und Moser, 2007) wider, als dort das gesamte erste Kapitel mit vier verschiedenen Beiträgen der Standortbestimmung und Standortsuche der Medienpädagogik gewidmet ist. Hug (2007) äußert sich hierzu wie folgt:

Was die Medienpädagogik betrifft, so stand lange Zeit ein Verständnis von Medien im Sinne technischer Kommunikationsmittel im Vor-

dergrund. Mit der Verbreitung der digitalen Informations- und Kommunikationstechnologien wurde diese Tendenz vor allem im Kontext von e-Learning-Entwicklungen weitergeführt, andererseits kamen in der Medienpädagogik vermehrt auch andere Medienbegriffe zum Tragen bis hin zu medientheoretischen und medienphilosophischen Ansätzen. (Hug, 2007, S.13)

Spanhel (2007, S.39) konzentriert sich auf den Medienbegriff im Sinne von *Kommunikationsmedien* und unterscheidet in Anlehnung an Boeckmann (1994) folgende drei Komponenten:

Die *kognitiv-semiotische Komponente* ermöglicht den gedanklichen Bezug und bezieht sich auf die wahrnehmbaren Zeichen, die auf einer Verknüpfung von Materie und Bedeutung beruhen. Voraussetzung ist, dass im Kommunikationsprozess Sender und Empfänger über den gleichen Zeichenvorrat verfügen.

Die *materiell-sensorische Komponente* bezieht sich auf die Wahrnehmung und die Übertragung der Signale vom Sender zum Empfänger. Sie betrifft die mittlerweile vielfältigen Möglichkeiten der Aufzeichnung, Speicherung, Übertragung, Verbreitung, Be- und Verarbeitung und Produktion von Zeichensystemen. Dabei liegt keine Beschränkung auf sprachliche Zeichen vor. Bilder, Töne, Musik, gesprochene Sprache und indexikalische Zeichen sind mit einbezogen.

Die *soziale Komponente* bildet die Grundlage des medialen Prozesses und verweist auf das physisch-psychische Engagement der Kommunikationspartner. In unterschiedlichen Kontaktformen realisieren sich mediale Unterschiede von sozialer Bedeutung.

Für Meder (2007, S.56–58) sind Medien Räume, und zwar sinnliche Räume, die in ihrer Sinnlichkeit begrenzt sind. In Anlehnung an Plessner (1970) und Schneider (1989) beschreibt Meder die Wirkweise der beiden *Fernsinne* Sehen und Hören und der drei *Nahsinne* Tast-, Geruchs- und Geschmackssinn wie folgt:

Der *Sehsinn objektiviert*, indem er die Distanz zum Wahrgenommenen festhält. Sehen schafft insofern Gegenständlichkeit, als eine Unabhängigkeit zwischen dem Gesehenen und dem Betrachter existiert, da letzterer entscheiden kann, ob er überhaupt hinsehen möchte. Der Abstand zwischen dem Betrachter und dem Gesehenen bleibt beim Sehen erhalten.

Der *Hörsinn subjektiviert*, da er die Distanz zwischen Hörendem und Gehörtem insofern nicht wahr, als das Gehörte in den Hörenden „eindringt“ und dort Einfluss auf die „innere Befindlichkeit“ nimmt. Während das Auge bewusst geschlossen, der Blick bewusst gelenkt werden kann, sind die Ohren dem Akustischen passiv ausgesetzt. Für den Hörsinn ist der ganze Körper Resonanzboden. Das Beispiel von Musik und daraus resultierendem Tanz zeigt die Nähe des Akustischen zum Taktilen. Das akustische Zeichensystem erfüllt nicht nur den Raum, sondern stellt in ihm einen besonderen Raum dar.

Der *Tastsinn realisiert*, indem taktilen Empfinden meist nicht getäuscht werden kann. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Haut, an der „sowohl die Sachen und Sachverhalte [...] als auch [...] Leiblichkeit [real wird]“ (Meder, 2007, S.57f.)

Der *Geruchssinn intimisiert*, indem er über Anziehung und Abstoßung und damit über Sympathie und Antipathie eine bipolare Relation aufbaut („Ich kann dich nicht riechen“). Der Geruchssinn ist für den *Prozess* der räumlichen Anziehung und Abstoßung zuständig.

Der *Geschmackssinn ästhetisiert*, indem er das „Objektiv-Wohlgefällige“ mit dem „Subjektiv-Wohlgefälligen“ verbindet. Geschmack ist etwas, das im Inneren ästhetisch genossen werden kann (Meder, 2007, S.58).

Medien bestimmen sich in einem ersten Schritt darüber, welche Sinne sie ansprechen und welche Sinne sie als Raum-, Zeit- und Gegenständlichkeitsdimensionen zulassen. Viele Medien klammern dabei das Taktile aus oder verlagern diesbezügliche Sinneswahrnehmung in den instrumentellen Teil der Mediennutzung, wie etwa bei der Nutzung einer Computertastatur. Medien, die den Geruchs- oder Geschmackssinn ansprechen, sind noch sehr viel seltener.

In einem zweiten Schritt bestimmen sich die Medien über die Art und Weise, wie sie die verschiedenen Sinne aktualisieren. Sie können Wahrnehmungsräume einschränken oder erweitern, sie können diese verdichten oder abstrahieren.

Es ließen sich hier noch viele weitere Mediendefinitionen anführen. Wichtige Merkmale, die dabei in der ein oder anderen Form aber immer wieder auftreten und hervorgehoben werden, sind eine Differenzierung der Medien an sich, die Art und Weise, in der sie Information kodieren sowie die verschiedenen menschlichen Sinne, die sie dabei ansprechen.

1.2.3 Medien im Kontext von Lernumgebungen

Welche Bedeutung hat nun ein vielschichtiger Medienbegriff im Kontext von Lernumgebungen (zur Vielschichtigkeit des Begriffs „Lernumgebung“ siehe Kapitel 4)? Hier steht insbesondere die Wirkweise von Medien im Mittelpunkt des Interesses und die Frage, ob Medien einen deterministischen Einfluss auf das Lernen nehmen können. Wenn aber eine Vielzahl von Komponenten den Medienbegriff bestimmt, so lässt sich der Medieneinfluss nicht pauschal untersuchen. Vielmehr ist zu analysieren, welche Medienkomponente welche Reaktionen auslöst:

Verspricht Lernen mit dem Computer einen größeren Lernerfolg als Lernen mit einem Buch? Nimmt also bereits die Wahl des Mediums an sich (zum Beispiel Computer oder Buch) einen Einfluss auf den Lernerfolg? Oder sind es vielmehr die Codierungen, in der die zu vermittelnden Informationen dargestellt werden, die den Lernerfolg bestimmen? Ist beispielsweise Lernen mit Bildern besser als Lernen mit reinem Text? Welchen Einfluss nehmen die angesprochenen Sinneswahrnehmungen? Ist beispielsweise eine visuelle Aufnahme von Informationen besser als eine auditive? Oder ist der wesentliche Faktor für einen Lernerfolg nicht die äußere Form der Darstellung, sondern vielmehr die zugrunde liegende didaktische Struktur (zu unterschiedlichen didaktischen Konzepten siehe Kapitel 3, 4 und 5)? Oder sind die einzelnen Komponenten zu unterschiedlichen Teilen und unterschiedlicher Intensität am Lernerfolg beteiligt und wie sieht diese Aufteilung im Optimalfall aus?

Weidenmann (2001, S. 419) weist darauf hin, dass gerade auch im Kontext von Lehr-/Lernsituationen der Begriff *Medium* nicht einheitlich definiert ist. Manche verstehen darunter lediglich die *Hardware*, die Informationen zu vermitteln vermag, und unterscheiden zwischen personalen und nicht personalen Medien. Demnach ist ein Lehrer ebenso ein Medium wie ein Fernseher oder ein Beamer. Andere beziehen den Medienbegriff eher auf die *Software*, die zum Transport von Informationen zum Einsatz kommt, wie beispielsweise einen Videofilm oder einen gesprochenen Bericht. Wieder andere unterteilen in visuelle, auditive, audiovisuelle und haptische Medien und konzentrieren sich dabei auf die angesprochenen Sinnesorgane.

Für Weidenmann (2001, S.419) sind diese Unterteilungen nicht getrennt voneinander zu betrachten, sondern als ein gemeinsames Ganzes: Er unterscheidet dabei folgende fünf Aspekte eines Mediums als besonders wichtige Merkmale: die *Hardware*, die *Software*, das *Symbolsystem*, die angesprochene *Sinnesmodalität* und die über das Medium vermittelte *Botschaft*. Dabei sind diese fünf Begriffe selbst auch nicht eindeutig festgelegt, sondern lassen selbst wieder vielfältige Definitionen und Interpretationen zu.

Im Kontext des Lernens sind für Weidenmann (2001, S.420) aber folgende drei Merkmale besonders wichtig: das *Symbolsystem*, mit dem die Botschaft codiert wird, die *didaktische Struktur* der Botschaft und die *Handlungsmöglichkeiten*, die dem Lernenden eröffnet werden. Neben dem Medienaspekt betont Weidenmann hier somit auch das didaktische Konzept und die Interaktivität (zu didaktischen Konzepten siehe Kapitel 3, 4 und 5, zur Interaktivität siehe Kapitel 6).

Auf der Ebene des reinen Medienaspektes unterscheidet Weidenmann (2001, S.419f.) also drei Komponenten: die Auswahl des Mediums (Hard- bzw. Software), die Codierung der Information (Symbolsystem) sowie die angesprochenen Sinnesorgane (Sinnesmodalität). Zusätzlich sind im Kontext des Lernens didaktisches Konzept und Interaktivität von Bedeutung.

In Anlehnung an Clark (1983), der die Mittlerrolle eines Mediums in einem rein technischen Sinn als Träger oder „Vehikel“ für kommunikative Inhalte festlegt, definiert Weidenmann (2002b, S.46) Medien als „Objekte, technische Geräte oder Konfigurationen, mit denen sich Botschaften speichern und kommunizieren lassen“. Da die Codierung und die angesprochene Sinneswahrnehmung vor allem im Kontext des Lernens zwei weitere wichtige Merkmale von Medien sind, nimmt er diese als zusätzliche Eigenschaften mit hinzu.

In Konsequenz splittet sich bei ihm der Multimediabegriff in die drei Begriffe *Multimedialität*, *Multicodalität* und *Multimedialität* auf. Damit auf diese Begriffe näher eingegangen werden kann, werden im Folgenden die Begriffe der *Codierung* und der *Sinnesmodalität* näher erläutert.

1.2.4 Codes und Symbolsysteme

Eine *Codierung* ist nach Colin (1992, S.8) die Kennzeichnung, Verkürzung oder Umwandlung häufig wiederkehrender Informationen. Goodman (1995) führt den Begriff des *Symbolsystems* ein, der von Olson (1974) sowie von Clark und Salomon (1986)

in der Medienpsychologie aufgenommen ist. Jede Botschaft lässt sich in unterschiedlichen Formaten bzw. Symbolsystemen darstellen. Die bekanntesten Symbolsysteme sind das *verbale*, das *piktoriale* und das *Zahlensystem*. Jedes dieser Symbolsysteme enthält verschiedene Codes und Subcodes.

Eine andere begriffliche Unterscheidung wählen in diesem Zusammenhang Rowntree (1974), Engelkamp und Zimmer (1990) sowie Spencer (1991): Sie verwenden den Begriff der *Reizmodalität* und unterscheiden zwischen sprachlichen und nichtsprachlichen Reizmodalitäten. Da der Begriff *Modalität* in der Regel jedoch für die Analyse der Rezeption medialer Angebote verwendet wird und der Begriff *Reiz* behavioristisch belegt ist, ist die Kategorie der Codierung vorzuziehen, wenn verschiedene Symbolsysteme zur Darstellung von Inhalten beschrieben werden sollen (Weidenmann, 2002b, S.46).

Das verbale Symbolsystem

Innerhalb des *verbalen Symbolsystems* gibt es als Subcodes beispielsweise Sätze, Wörter und Buchstaben. Dabei ist in diesem System ein Symbol ein Zeichen mit einer willkürlich festgelegten Struktur. Diese Struktur ist mit dem bezeichneten Gegenstand durch eine Konvention verknüpft.

Zum Beispiel hat weder das grafische Wortbild noch der akustische Klang der Wörter „dog“, „chien“, „inu“ oder „Hund“ irgendeine Ähnlichkeit mit dem, was sie bezeichnen. Um die Bedeutung zu erfassen, ist das Wissen um die Konventionen der englischen, französischen, japanischen oder deutschen Sprache notwendig (Schnotz, 2002, S.66).

Das piktoriale Symbolsystem

Im *piktorialen Symbolsystem* lassen sich *realistische* von *logischen Bildern* unterscheiden. Dabei werden realistische Bilder oft auch als *Abbilder* oder *Abbildungen* und logische Bilder als *analytische Bilder* oder *Diagramme* bezeichnet. In Anlehnung an Schnotz (2002) werden im Folgenden realistische Bilder als *Bilder* und logische Bilder als *Diagramme* bezeichnet.

▷ BILDER

Zu den *Bildern* zählen beispielsweise einfache Strich- und Umrisszeichnungen, naturalistische Gemälde und Fotografien. Ein Bild weist eine mehr oder weniger große, aber dennoch deutlich vorhandene Ähnlichkeit mit dem dargestellten Gegenstand auf.

Die alternative Bezeichnung des *Abbildes* oder der *Abbildung* betont im Besonderen, dass Bilder zeigen, wie etwas aussieht. Dabei können sie ein Abbild von etwas sein, das zum einen tatsächlich oder zum anderen nur in der Vorstellung des Bildautors existiert. Insofern ist sowohl die Zeichnung einer Maus im Biologiebuch als auch die Micky Maus ein Abbild.

▷ STEUERUNGS- UND DARSTELLUNGSCODES BEI BILDERN

Im Kontext der Darstellung von Bildern kann zwischen *Darstellungs-* und *Steuerungs-*codes unterschieden werden (Weidenmann, 2002a, S.88f.):

Darstellungscodes sollen das Erkennen des abgebildeten Gegenstandes erleichtern. Schattierung, Perspektive und Lokalfarbe sind beispielsweise typische Darstellungscodes.

Steuerungscodes haben eine andere Aufgabe: Sie sollen eine optimale Verarbeitung des Bildangebots unterstützen. Dabei haben Sie zum Beispiel eine Steuerung des Blickverlaufs, Hervorhebung von Bilddetails, Anregung kognitiver Operationen wie beispielsweise Vergleichen oder Finden von Zusammenhängen zum Ziel. Typische Steuerungscodes in Bildern sind zum Beispiel Pfeile, Größenverzerrungen, Umrahmungen oder Signalfarben.

▷ DIAGRAMME

Im Gegensatz zu Bildern zeigen *Diagramme* andere Inhalte mit anderen Mitteln. In Diagrammen geht es bevorzugt um Zahlen, Daten und Strukturen, die zum Teil mit standardisierten Verfahren visualisiert werden können. Beispiele hierfür sind Kreis-, Säulen und Liniendiagramme, aber auch Struktur- und Flussdiagramme. Diagramme stellen abstrakte Sachverhalte dar, die zum Teil gar nicht unmittelbar wahrnehmbar sind.

▷ DIAGRAMME IN DER MATHEMATIK

Gerade die Diagramme spielen in der Mathematik eine wichtige Rolle. Allerdings entscheidet hier auch die zugrunde liegende mathematik-philosophische Richtung, ob es sich um ein Bild oder ein Diagramm handelt. Wenn beispielsweise ein Fünfeck dargestellt wird, wird dann das Fünfeck als ein Objekt gezeigt, das wirklich existiert, oder handelt es sich vielmehr um eine abstrakte Darstellung einer mathematischen Konstruktion? Welche Aspekte, Perspektiven und Ausschnitte sollten bei der Darstellung dreidimensionaler mathematischer Gebilde berücksichtigt werden? Wie verhält es sich mit geometrischen Beispielkonfigurationen zur Illustration geometrischer Sätze?

Mit diesen Fragen soll bereits an dieser Stelle auf die besondere Rolle von Bildern und Diagrammen in der Mathematik aufmerksam gemacht werden. Kapitel 1.6 und Kapitel 2.3.7 gehen vertiefend auf diesen besonderen Aspekt ein.

▷ SYMBOLE BEI BILDERN UND DIAGRAMMEN

Symbole aus dem piktorialen System sind in der Regel durch gemeinsame Strukturmerkmale mit dem durch sie bezeichneten Sachverhalt verknüpft. Bilder sind dabei eine konkrete Form ikonischer Zeichen, weil sie mit dem dargestellten Gegenstand strukturell übereinstimmen. Zum Beispiel wird bei einem Bild Höhe durch Höhe, Breite durch Breite und Farbe durch Farbe wiedergegeben.

Etwas anders verhält es sich bei Diagrammen: Hier können repräsentierte und repräsentierende Merkmale voneinander verschieden sein, allerdings müssen die

Relationen zwischen diesen Merkmalen innerhalb des Bildes und innerhalb des dargestellten Sachverhaltes übereinstimmen. Die Übereinstimmung basiert dabei auf einer Analogierelation. Diagramme sind insofern eine abstrakte Form ikonischer Zeichen.

Deskriptionale und depiktionale Repräsentationen

Je nach verwendetem Symbolsystem entstehen unterschiedliche Arten der Repräsentation: Texte sind *deskriptionale Repräsentationen*, Bilder und Diagramme sind *depiktionale Repräsentationen* (Schnotz, 2002, S.66).

Wird ein Sachverhalt durch einen Text beschrieben, so werden bestimmte Komponenten dieses Sachverhalts durch Nomina genannt, durch Adjektive hinsichtlich ihrer Eigenschaften spezifiziert und durch Verben und Präpositionen zueinander in Beziehung gesetzt. Insofern gibt es bei Deskriptionen explizite Zeichen für Relationen.

Depiktionale Repräsentationen enthalten keine expliziten Relationszeichen. Sie besitzen stattdessen inhärente Struktureigenschaften, die mit bestimmten Struktureigenschaften des darzustellenden Sachverhalts übereinstimmen. Diese Übereinstimmung wird jeweils zu Repräsentationszwecken verwendet.

1.2.5 Sinnesmodalität

Dieser Begriff bezeichnet die Sinnesorgane, mit denen Rezipienten eines medialen Angebotes dieses wahrnehmen und mit ihm interagieren (Weidenmann, 2002b, S.46). Im Rahmen der in diesem Kapitel bereits vorgestellten *Perzeptionsmedien* nach Steinmetz (2000, Kapitel 1.2.1, S.23), der materiell-sensorischen Medienkomponente nach Spanhel (2007, Kapitel 1.2.2, S.29) und vor allem nach der Mediendefinition von Meder (2007, Kapitel 1.2.2, S.29) ist bereits auf die verschiedenen Sinnesorgane, die durch Medien angesprochen werden können, eingegangen worden.

Dem *Sehen*, *Hören*, *Fühlen*, *Riechen* und *Schmecken* entspricht dabei die *visuelle*, *auditive*, *haptische*, *olfaktorische* und *gustatorische Wahrnehmung*. Dabei lässt sich die haptische Wahrnehmung noch näher klassifizieren. Sie umfasst vier voneinander unterscheidbare Arten:

- ▷ TAKTILE WAHRNEHMUNG, OBERFLÄCHENSENSIBILITÄT
oder FEINWAHRNEHMUNG:

Sie ermöglicht das Erkennen von Druck, Berührung und Vibrationen auf und über die Sinne der Haut.

- ▷ KINÄSTHETISCHE WAHRNEHMUNG oder TIEFENSENSIBILITÄT:

Sie stellt die Informationen aus dem eigenen Körper und nicht die über die Außenwelt empfangenen Informationen zur Verfügung und bringt somit die Eigenwahrnehmung des Körpers zum Ausdruck. Sie setzt sich zusammen aus

Lagesinn - Position des Körpers im Raum,

Kraftsinn - Anspannungszustand von Muskeln und Sehnen,
Bewegungssinn - Bewegungsempfindung, Erkennen der Bewegungsrichtung.

- ▷ TEMPERATURWAHRNEHMUNG
- ▷ SCHMERZWAHRNEHMUNG.

Der Begriff des *Tastsinns* wird häufig auch als Synonym für die taktile Wahrnehmung verwendet, wobei darunter oftmals auch Temperatur- und Schmerz Wahrnehmung eingeordnet werden.

Neben dem Begriff der *Sinnesmodalität* ist der Begriff des *Sinneskanals* ein anderer Begriff, der in diesem Kontext immer noch weit verbreitet ist. Er entstammt dem Ingenieursparadigma. Für eine psychologische Zugangsweise ist der Begriff der *Sinnesmodalität* jedoch besser geeignet (Weidenmann, 2002b).

1.2.6 Multimedialität, Multicodalität, Multimodalität und mediales Angebot nach Weidenmann

Auf die im Kontext von Lehr-/Lernsituationen besondere Bedeutung eines klar strukturierten Medienbegriffs wurde bereits in Kapitel 1.2.3 eingegangen. Ebenso wurde in diesem Zusammenhang der Ansatz von Weidenmann (2002b) vorgestellt, Medien die drei Kategorien Medialität, Codierung und Modalität zuzuordnen, um wichtige Aspekte eines Mediums voneinander abgrenzen und diese auch mit anderen Medien vergleichen zu können.

Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität

Ausgehend von dieser Kategorisierung leitet Weidenmann (2002b, S.47) die Begriffe *multimedial*, *multicodal* und *multimodal* wie folgt ab:

▷ MULTIMEDIALITÄT

Ein mediales Angebot ist *multimedial*, wenn es auf unterschiedliche Speicher- und Präsentationstechnologien verteilt ist und es sich dabei um eine *integrierte Präsentation* der zu vermittelnden Inhalte handelt. Diese integrierte Präsentation ist eines der wichtigsten Kennzeichen von Multimedialität.

Im Gegensatz dazu steht der *Medienverbund*: Hier ist eine Präsentation zwar auch auf verschiedene Medien verteilt, jedoch ohne dass deren einzelne Komponenten miteinander zu einem Ganzen verknüpft sind.

Insofern können ein Computer und ein DVD-Player zusammen ein mediales Angebot bilden, wenn die zu vermittelnden Inhalte integriert auf beiden Geräten wiedergegeben werden. Dieses Angebot wäre dann im Sinne der obigen Definition *multimedial* und kein Medienverbund. Es wäre dann ein Medienverbund, wenn ein Teil der Inhalte über den Computer, ein anderer Teil über einen Film via DVD vermittelt würde, ohne dass diese beiden Teile aufeinander abgestimmt sind.

Ein weiteres Beispiel für ein in diesem Sinne multimediales Angebot ist die Verwendung eines Computers mit Lautsprechern und Drucker, sofern die dadurch dargestellten Inhalte eine integrierte Präsentation erfahren. Beispiele für monomediale Angebote sind ein Buch, eine Videoanlage oder ein Computer mit Bildschirm.

▷ MULTICODALITÄT

Ein mediales Angebot ist *multicodal*, wenn es auf verschiedene Codierungen zurückgreift. Beispiele hierfür sind Texte mit Bildern oder Grafiken mit Beschriftung. Ein monocodales Angebot wäre beispielsweise ein einzelner Text oder ein einzelnes Bild oder auch die Darstellung einer Rechnung, die nur aus Zahlen besteht und keinen erläuternden Text enthält.

▷ MULTIMODALITÄT

Ein mediales Angebot ist *multimodal*, wenn es unterschiedliche Sinnesmodalitäten beim Nutzer anspricht. Ein Buch mit Texten und Bildern ist beispielsweise rein visuell. Ein Hörbuch ohne begleitendes Bildmaterial ist rein auditiv. Eine Rede, Musik oder ein Konzert können sowohl mono- als auch multimodal sein: Handelt es sich um Aufzeichnungen, die per Schallplatte, Tonband oder CD wiedergegeben werden, so sind diese Angebote rein auditiv. Werden aber Rede, Musik oder Konzert live miterlebt, so spielen auch visuelle Eindrücke in Form von Gestik, Mimik, Performance und eventuell sogar haptische Eindrücke in Form von Temperatur, Stimmung und Atmosphäre eine zusätzliche Rolle und lassen so das Angebot multimodal werden. Ein anderes Beispiel für ein multimodales Angebot ist ein Video, da zu seiner Rezeption Auge und Ohr notwendig sind.

Mediales Angebot

Mit den drei vorgestellten Kategorien *multimedial*, *multicodal* und *multimodal* lässt sich ein mediales Angebot nun gut in seiner äußeren Form beschreiben. Diese macht jedoch nur einen Teil des medialen Angebotes aus. Es besteht eine enge Wechselbeziehung zwischen Form und Inhalt, sowohl bei der Produktion als auch bei der Rezeption. Somit ist der innere Aufbau, die instruktionale Strategie, von besonderer Bedeutung.

Weidenmann (2002b) wählt hier bewusst den Begriff des *medialen Angebots*, um zu betonen, dass der Rezipient eben nicht einfach nur mit vielen Medien („Multimedia“) konfrontiert wird, sondern mit einem umfassenden Angebot, welches medial kommuniziert wird und sich durch Botschaften, Codierungen und Strukturierungen auszeichnet. Botschaften sind dabei absichtsvoll codierte und strukturierte Inhalte, die von den Rezipienten als bedeutungsvolle Information wahrgenommen und verarbeitet werden.

Ein mediales Angebot ist somit ein Ensemble von Medium und codierter sowie strukturierter Botschaft. Es ist Teil der Rezeptionssituation und wird zusammen mit dieser Situation wahrgenommen und genutzt. Die Nutzung wird jeweils bestimmt

durch Lernervariablen, Situationsvariablen, materielle Merkmale der beteiligten Medien und die Codierung und Struktur der Botschaft (Weidenmann, 2002b).

Zusammenfassend wird hier also letztlich der Multimediabegriff durch eine neue Begrifflichkeit ersetzt: Statt von „Multimedia“ wird von einem medialen Angebot gesprochen, das sich hinsichtlich der Kategorien technisches Medium bzw. Medialität, verwendete Codierungen bzw. Codalität und angesprochener Sinneswahrnehmungen bzw. Modalität charakterisieren lässt. Je nach Ausprägung dieser Kategorien kann ein mediales Angebot multimedial, multicodal und multimodal sein. Wie oben und bereits in Kapitel 1.2.3 dargestellt sind darüber hinaus im Kontext von Lehr-/Lernsituationen das didaktische Konzept sowie die Interaktivität wichtige Merkmale eines medialen Angebotes, die es zu berücksichtigen gilt.

1.3 Konstruktion eines Multimediakonzepts für den Kontext von Lernumgebungen

In den Kapiteln 1.1 und 1.2 wurden verschiedene Begriffsdefinitionen des Multimedia- und des Medienbegriffs vorgestellt und diskutiert. Dabei wurden die beiden Ansätze von Klimsa (2002) und Weidenmann (2001, 2002b) herausgestellt.

Klimsa (2002) erweitert den *Multimediabegriff* zu einem *Multimediakonzept*, das sich aus den drei Aspekten Medienaspekt, Integrations- und Präsentationsaspekt sowie Anwendungsaspekt zusammensetzt. Dabei betont er die oft fehlende didaktische Einbettung solcher Konzepte, ohne daraus jedoch einen weiteren eigenen Aspekt zu formulieren.

Weidenmann (2001, 2002b) ersetzt den Multimediabegriff durch den Begriff des medialen Angebotes und konzentriert sich dabei auf die drei direkt vom Medium ableitbaren Eigenschaften des technischen Mediums, der Codierung und der Sinnesmodalität. Vor diesem Hintergrund definiert er Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität.

Verglichen mit dem Ansatz von Klimsa (2002) kombinieren diese drei Begriffe den Medienaspekt und Teile des Integrations- und Präsentationsaspektes. Die Interaktivität, die bei Klimsa (2002) im Rahmen des Integrations- und Präsentationsaspektes explizit aufgeführt ist, ist bei Weidenmann (2001, 2002b) ohne weitere Vertiefung im Begriff des medialen Angebotes mit eingeschlossen. Ebenso fließt in diesen Begriff des medialen Angebotes das Merkmal eines didaktischen Konzeptes mit ein.

Zudem lässt sich feststellen, dass der Ansatz von Klimsa (2002) in seiner gesamten Begrifflichkeit sehr computerbezogen ist, während sich der Ansatz von Weidenmann (2001, 2002b) auch in einem verallgemeinerten Kontext verwenden lässt. Ein mediales Angebot kann den Computer nutzen, muss es aber nicht.

Werden mediale Angebote im Kontext einer Lehr-/Lernsituation verwendet, so ist dabei sowohl das zugrunde liegende didaktische Konzept als auch Art und Ausmaß möglicher Interaktivität von besonderer Bedeutung (siehe Kapitel 3 bis Kapitel 6). Soll also im Zusammenhang solcher Lehr-/Lernsituationen von „Multime-

dia“ gesprochen werden, so sollte ein entsprechender Multimediabegriff diese beiden Aspekte als wesentliche Bestandteile berücksichtigen.

Abbildung 1.2 kombiniert hierzu die beiden Ansätze von Klimsa (2002) und Weidenmann (2001, 2002b) zu einem neuen Ansatz, der um eben solche Aspekte ergänzt ist, denen im Kontext des Lernens und Lehrens eine besondere Rolle zugeschrieben wird.

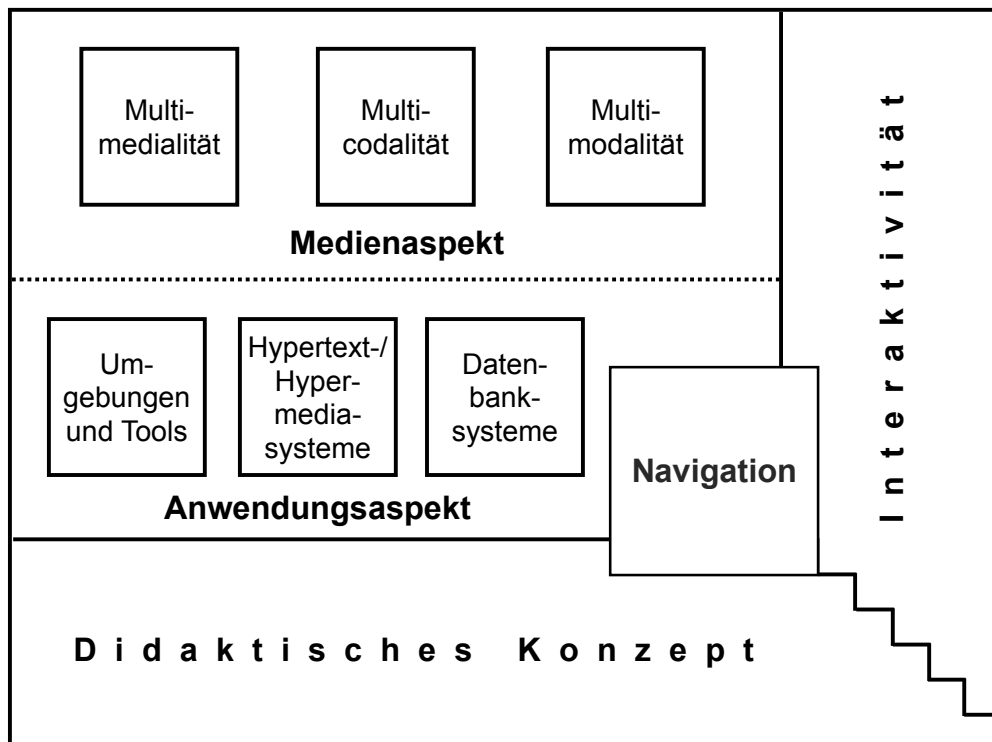


Abbildung 1.2: Mediale Angebote im Kontext von Lernumgebungen

Werden mediale Angebote im Rahmen einer Lehr-/Lernsituation genutzt, so sind sie in der Regel in eine Lernumgebung eingebettet. Dabei kann der Begriff der Lernumgebung sowohl in einem allgemeinen als auch in einem spezielleren, computerbezogenen Sinne verstanden werden (siehe hierzu Kapitel 4).

Insofern bietet es sich an, an dieser Stelle dem Ansatz von Weidenmann (2001, 2002b) zu folgen und den Multimediabegriff durch den Begriff des medialen Angebotes zu ersetzen. Gleichzeitig wird dadurch eine Verwechslung von „Multimedia“ und Multimedialität ausgeschlossen.

In Anlehnung an Klimsa (2002) wird eine Einteilung in verschiedene Aspekte vorgenommen. Dabei wird zwischen den fünf Aspekten *Medienaspekt*, *Anwendungsaspekt*, *Navigation*, *Interaktivität* und *Didaktisches Konzept* unterschieden, wobei sowohl der Medien- als auch der Anwendungsaspekt anders als bei Klimsa (2002) definiert wird: Der Medienaspekt umfasst hier die Dreiteilung in Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität nach Weidenmann (2001, 2002b), der Anwendungsaspekt umfasst *Hypertext- und Hypermediasysteme*, *Umgebungen und Tools* sowie *Datenbank-*

systeme.

Der Grundgedanke dieses Modells ist, dass jede Lernumgebung bzw. jede Umsetzung einer Lernumgebung in Form eines medialen Angebotes auf einem *didaktischen Konzept* beruhen sollte. Dieses nimmt Einfluss auf die Art und Struktur der Darstellung und Präsentation und damit auf die Auswahl der Medien unter Berücksichtigung von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität.

Lernumgebungen, die als mediales Angebot umgesetzt werden, greifen in der Regel auf den Einsatz des Computers zurück. Die verschiedenen Arten von *Lernsoftware* (zur Definition und Vielschichtigkeit dieses Begriffs siehe Kapitel 5.4) werden dabei meist unter Verwendung von *Hypertext-* bzw. *Hypermediasystemen* (siehe Kapitel 1.4) realisiert.

Gleichzeitig gibt es gerade in der Mathematik mit Computer-Algebra-Systemen, dynamischer Geometriesoftware und Tabellenkalkulationsprogrammen drei zentrale Programmtypen, die sowohl im Rahmen einer Lernumgebung beispielsweise in Form von Applets Verwendung finden als auch für sich genommen eigenständige mathematische Werkzeuge sind (siehe hierzu Kapitel 1.5.3 und Kapitel 1.5.4). Als eigenständige Lernumgebungen ist diese Art der Software jedoch nicht zu bezeichnen (siehe hierzu Kapitel 4, insbesondere Kapitel 4.4, sowie Kapitel 5, insbesondere Kapitel 5.3.2 und Kapitel 5.7). Darum sollen sie als *Umgebungen und Tools* und *Datenbanksysteme* neben den *Hypertext-* und *Hypermediasystemen* im Anwendungsaspekt verankert sein.

Hypertext- und Hypermediasysteme sind insofern mit dem Medienaspekt verknüpft, als dass bestimmte Medienmerkmale Hypertext- und Hypermediasysteme erst definieren. Gleichzeitig kommt ihnen als eine besondere Form der Darstellung, die nur mit dem Computer umgesetzt werden kann, aber auch eine spezielle, eigenständige Bedeutung zu (siehe Kapitel 1.4, im Anschluss an dieses Kapitel).

Neben dem didaktischen Konzept nimmt die *Interaktivität* eine zentrale Rolle ein (zur Definition und Vielschichtigkeit dieses Begriffs siehe Kapitel 6). Zwischen ihr und allen anderen Aspekten besteht eine wechselseitige Beziehung: Das didaktische Konzept bestimmt Art und Ausmaß von Interaktivität. Dabei setzen Hypertext- und Hypermediasysteme, Umgebungen und Tools sowie Datenbanksysteme jeweils bestimmte Arten von Interaktivität um und verwenden hierzu unter anderem die Navigation (zur Definition und Vielschichtigkeit dieses Begriffs siehe Kapitel 7). Letztlich sind es dann die Medien, die Interaktivität konkret ermöglichen, und zwar auch über die Anwendung eines Hypertext- oder Hypermediasystems hinaus. Der Navigation kommt insofern eine besondere Rolle zu, als sie sich in der Schnittmenge von Didaktischem Konzept, Hypertext-, Hypermediasystemen und Interaktivität bewegt.

Mit diesem Modell lassen sich nun mediale Angebote insbesondere im Kontext von Lehr-/Lernsituationen gut charakterisieren: Über den Medienaspekt wird eine detaillierte, abgrenzende Beschreibung ihrer äußeren Form ermöglicht, während die vier anderen Aspekte die innere Struktur, das didaktische Konzept sowie Art und Ausmaß der Interaktivität berücksichtigen.

Gleichzeitig wird mit dem Verzicht auf einen konkreten Multimediabegriff zugunsten des Begriffs des medialen Angebots eine „Ja-Nein“-Frage hinsichtlich der Entscheidung, ob es sich bei einem gegebenen medialen Angebot um ein „multimediales Angebot“ handelt, aufgehoben.

Eine solche Entscheidung könnte zwar theoretisch getroffen werden, wenn innerhalb jedes einzelnen Aspektes und im Zusammenspiel aller Aspekte miteinander Grenzen gezogen würden, anhand derer einem medialen Angebot das Merkmal „Multimedia“ zugeordnet oder aberkannt werden kann. Solche Grenzen eindeutig und konsistent festzulegen, dürfte sich aber als schwierig, wenn nicht unmöglich erweisen: Dies zeigt zum einen die Vielfalt der Beispiele von Multimediadefinitionen aus Kapitel 1.1.1, zum anderen sind sowohl die Möglichkeiten, innerhalb derer mediale Angebote zum Einsatz kommen können, als auch Aufbau und Struktur medialer Angebote innerhalb desselben Kontextes sehr vielschichtig.

Statt der Zuordnung oder Aberkennung eines „Multimedia“-Merkmals erlaubt der Begriff des medialen Angebotes hier eine Einteilung in mediale Angebote unterschiedlicher Qualität. Jedes mediale Angebot lässt sich dabei anhand der fünf verschiedenen Aspekte detailliert beschreiben. Damit dürfte letztlich mehr über ein mediales Angebot ausgesagt sein, als dies mit einem ohnehin schwer zu definierenden „Multimedia-Gütesiegel“ der Fall wäre.

1.4 Hypertext- und Hypermediasysteme

Das Medium Computer eröffnet eigene spezifische Möglichkeiten für die Darstellung und Präsentation von Inhalten. Eine besondere Form solcher Darstellungen ist der *Hypertext*: Er durchbricht die lineare Struktur eines Textes zugunsten einer nichtlinearen, vernetzten Repräsentation von textuellen Informationseinheiten einer Datenbasis. Durch die Eingliederung weiterer Medien wie beispielsweise DVD-Player und Lautsprecher kann aus einem Hypertext im Rahmen einer integrierten Präsentation ein *Hypermediasystem* werden.

Hypertext- und Hypermediasysteme spielen insbesondere im Kontext von Lernumgebungen und Lernsoftware (zur Definition und Vielschichtigkeit dieser Begriffe siehe Kapitel 4 und Kapitel 5.4) eine wichtige Rolle.

1.4.1 Aus der Geschichte des Hypertexts

Hypertextuelle Strukturen sind schon seit mehreren Jahrhunderten bekannt. So kennt das Aufschreibesystem der Neuzeit einige Erschließungshilfen für lineare Texte wie beispielsweise Inhaltsverzeichnisse, Indizes, Querverweise und Fußnoten. Diese erfüllen bereits Funktionen eines Hypertexts, indem sie auf andere Textteile bzw. Textstellen verweisen. Dabei müssen die Verweisziele nicht unbedingt vor Ort präsent sein. Ebenso ist das Verfolgen solcher Verweise in diesem Kontext weder mechanisiert noch automatisiert.

Als ein erster mechanisierter Vorläufer eines modernen Hypertexts kann Ramellis



Abbildung 1.3: Ramellis Bücherrad (Quelle: <http://www.historicum.net/news/notizendetails/ca/d3177a5136/browse-news/1/news/714/unser-titelb/>)

Bücherrad bezeichnet werden. Dabei handelt es sich um eine Lesemaschine aus dem 16. Jahrhundert. Agostino Ramelli (1531-ca.1600) erfand und konstruierte ein rotierendes Leseputz, welches das Lesen von etwa zwölf Büchern erlaubte. Dabei war die Mechanik des Rades so konstruiert, dass die Bücher jeweils immer in derselben Position liegen blieben und auch beim Drehen des Rades nicht herunterfielen. In seinem 1588 in Paris publizierten Buch *Le diverse et artificiose machine* ist ein Kupferstich seines Leserades zu sehen (siehe Abbildung 1.3). Mit seinen 195 exquisit ausgeführten Konstruktionszeichnungen für hydromechanische Anlagen gilt dieses Buch als ein Klassiker der Ingenieurskunst des 16. Jahrhunderts. Ob Ramellis Leserad allerdings jemals wirklich gebaut wurde, ist unbekannt. Allerdings findet sich in der Herzog-August-Bibliothek in Wolfenbüttel ein ähnlich konstruiertes Leserad.

Ein weiterer Vorläufer eines Hypertexts ist Raymond Roussels Lesemaschine (siehe Abbildung 1.4). Hier ist der Text auf verschiedene Zettel wie bei einem Rundregister aufgebracht. Bestimmte Farben am oberen Rand jedes Zettels kennzeichnen den Verschachtelungsgrad. Mit einer Kurbel kann zwischen den einzelnen Zetteln gewechselt werden. Roussel stellte seine Lesemaschine im Jahr 1932 einem Verleger vor, welcher jedoch ablehnte. 1937 wurde sie erstmals in einer Ausstellung der Öffentlichkeit präsentiert. 1958 entwickelte Arnold Neustadter den heute bekannten Rolodex, bei dem eine Vielzahl von Karteikarten auf einer drehbaren Achse befestigt sind.

Auch in Poesie und Prosa sind hypertextuelle Strukturen zu finden: Ein Beispiel

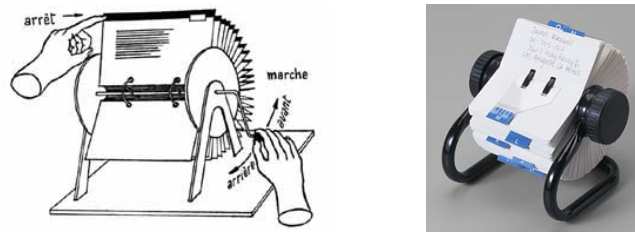


Abbildung 1.4: Roussels Lesemaschine (Quelle: <http://www.hyperdis.de/pool/index.html>) und Rolodex (Quelle: <http://www.jupiterimages.com/popup2.aspx?navigationSubType=itemdetails&itemID=22184967>)

für ein hypertextartig vernetztes Gedicht sind die *Cent mille milliards de poèmes* (*Hunderttausend Milliarden Gedichte*) von Raymond Queneau aus dem Jahr 1961 (siehe Abbildung 1.5). Es besteht aus zehn Sonetten, wobei jedes Sonett gemäß des Aufbaus eines Sonetts aus vierzehn Zeilen besteht. Reimschema und Versmaß sind in allen zehn Sonetten gleich gestaltet, so dass jede Zeile jedes Sonetts mit jeder anderen Zeile jedes anderen Sonetts kombiniert werden kann. Das Buch ist streifenartig aufgebaut (jede Zeile ein Streifen), so dass auch jede dieser möglichen Kombinationen gelegt und gelesen werden kann. Mit den vierzehn Zeilen jedes Sonetts ergeben sich somit die $10 \cdot 10 \dots 10 = 10^{14} =$ „Hunderttausend Milliarden“ Möglichkeiten.

Ein anderes Beispiel aus der Literatur ist James Joyce' Werk „Finnegan's Wake“ aus dem Jahr 1939 (siehe Abbildung 1.5), das sich weder nur auf die Verwendung von Syntax und Semantik der englischen Sprache beschränkt noch einer linearen Struktur folgt. In Anlehnung an die irische Ballade „Finnegan's Wake“ erzählt es die Geschichte des irischen Baumeisters Tim Finnegan, der betrunken von einer Leiter fällt und stirbt, aber durch eine Flasche Whiskey, die beim feucht-fröhlichen Leichenschmaus auf seinem Sarg zerschellt, wieder zum Leben erwacht.

Das moderne Hypertext-Konzept wird erstmals 1945 von Vannevar Bush in einem Artikel *As We May Think* im Journal *The Atlantic Monthly* erwähnt. Bush beschreibt darin ein Konzept, mit dem das Verfolgen von Verweisen mit elektronischer Hilfe erleichtert werden soll. Außerdem soll damit ermöglicht werden, Bücher und Filme aus einer ganzen Bibliothek zur Verfügung zu stellen und anzusehen.

Der Gesellschaftswissenschaftler Ted Nelson prägte schließlich 1965 den Begriff *Hypertext* und setzte dieses Konzept im Zuge der Realisierung erster computerbasierter Hypertextsysteme erstmalig technisch um. Ziel war dabei die Erschaffung einer neuen „Textualität“ in Form eines Informationsmediums. Sie sollte dem Leser die Möglichkeit geben, einen Inhaltsbereich nicht in einer bereits vorab festgelegten, traditionell linearen Form, sondern auf unterschiedlichen eigenen Pfaden erschließen zu können (Tergan, 2002). Bill Atkinson entwickelte für Apple mit *Hypertext* das erste kommerziell verfügbare Hypertext-System, welches 1987 erstmals publiziert wurde.

1.4.2 Hypertext und Hypertextsysteme

Hypertext in seiner heutigen digitalisierten Form ist eine multi-lineare Organisation von textuellen Objekten, die auf verschiedene Art und Weise miteinander verknüpft

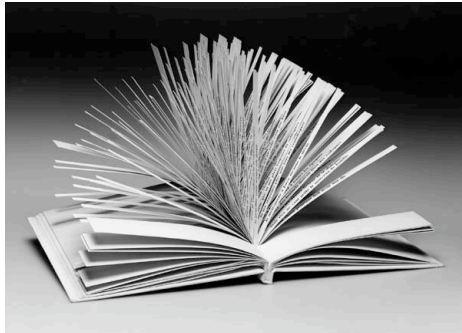


Abbildung 1.5: Queneau *Cent mille milliards de poèmes* (Quelle: <http://classes.bnf.fr/queneau/grand/quen70.htm>) und eine Seite aus James Joyce' „Finnegans Wake“ (Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Finnegans_Wake)

sind. Dadurch entsteht eine netzartige Struktur mit logischen Verbindungen und insofern eine vernetzte Repräsentation von Informationseinheiten, auf die flexibel und selbstgesteuert zugegriffen werden kann.

Knoten und Verknüpfungen

Die grundlegenden, atomaren Einheiten der Informationsspeicherung von Hypertext sind die *Knoten*, engl. *nodes*. Sie enthalten Objekte wie beispielsweise Texte, Abbildungen und Grafiken. Dabei kann der Umfang eines Knoteninhalts variieren: Ein Knoten kann zum Beispiel aus nur einem einzigen Wort oder aus einem mehrseitigen Text bestehen. Die Ausgabe und Anzeige des Inhalts eines Knotens erfolgt jeweils über den Computerbildschirm.

Die Verbindungen zwischen den einzelnen Knoten werden durch elektronische Verweise, so genannte *Links* oder *Hyperlinks* hergestellt. Links können auf andere Knoten verweisen, aber auch auf andere Elemente innerhalb desselben Knotens. Existieren solche internen Verweise innerhalb eines Knotens, wird dieser Knoten auch als *chunk* bezeichnet (siehe Abbildung 1.6).

Jeder Link hat einen *Ausgangs-* und einen *Zielanker*. Ausgangsanker können einzelne Worte oder Ikonen, aber auch ganze Sätze oder Teile einer Grafik sein (siehe Abbildung 1.6). Links können durch Fettdruck, Farbdruck oder Unterstreichen als solche kenntlich gemacht werden und somit sofort und konstant sichtbar sein. Verborgene Links werden erst dann sichtbar, wenn mit dem Mauszeiger über den zugehörigen Ausgangsanker gefahren wird. Ein Mausklick auf den Ausgangsanker zeigt dann den Inhalt des Knotens an, der durch den jeweiligen Zielanker festgelegt ist. Dabei

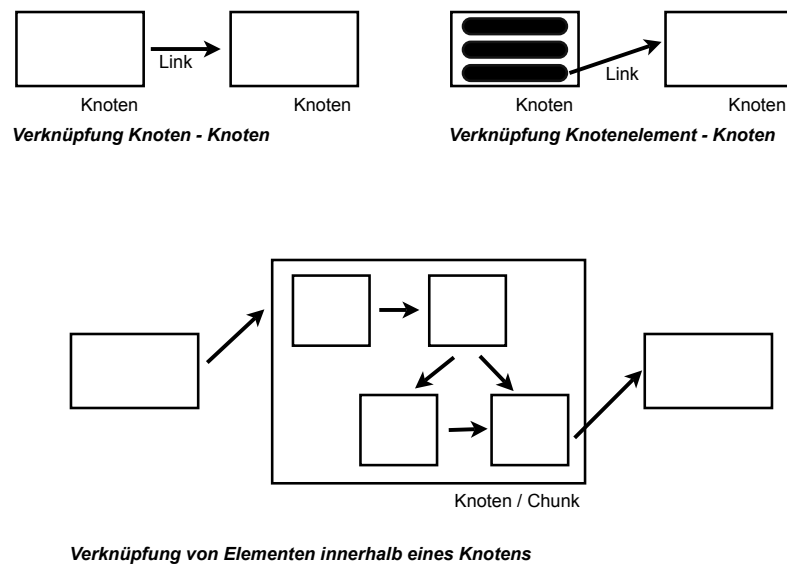


Abbildung 1.6: Verknüpfungen zwischen Knoten nach Tergan (2002)

kann der Zielanker innerhalb der Netzstruktur des kompletten Hypertextes liegen; es ist aber auch möglich, dass auf außerhalb des gegebenen Hypertexts gespeicherte Programme, Dokumente oder Websites verwiesen wird.

Hypertextbasis und Hypertextsystem

Der Begriff *Hypertext* wird auch als Kurzform für den Begriff *Hypertextbasis* verwendet. Dabei umfasst die Hypertextbasis alle Knoten und deren Verknüpfungen. Wird die Hypertextbasis noch um die Nutzungs- bzw. Zugriffskomponente (Navigation) sowie eine Autorenkomponeute erweitert, so spricht man von einem *Hypertextsystem* (Kuhlen, 1991).

Organisationsstruktur

Eine unstrukturierte Hypertextbasis basiert ausschließlich auf nicht näher spezifizierten assoziativen Verknüpfungen zwischen den einzelnen Knoten, die einen Zugriff von jedem Knoten zu jedem anderen Knoten ermöglichen.

In der Regel besitzt eine Hypertextbasis aber eine Organisationsstruktur. Diese kann linear, hierarchisch oder als Netzstruktur vorliegen. Lineare Strukturen legen eine feste Abfolge von Knoten fest und können vom Benutzer auch nur in der vorgesehenen Reihenfolge durchlaufen werden. Sie eignen sich vor allem für *geführte Unterweisungen*, engl. *guided tours*, wenn beispielsweise dem Benutzer neue Sachverhalte oder vorstrukturierte Informationen vermittelt werden sollen.

Eine hierarchische Struktur ist zur Repräsentation von unterschiedlichen Ebenen der Abstraktheit, Feinkörnigkeit und Bedeutsamkeit der Inhalte eines Gegenstandsbe-

reichs geeignet. Dabei lassen sich hierarchische Strukturen auch linearisieren, indem sie linear traversiert werden. Netz-Strukturen können die Vielfalt semantischer Beziehungen zwischen einzelnen Knoten sehr gut widerspiegeln.

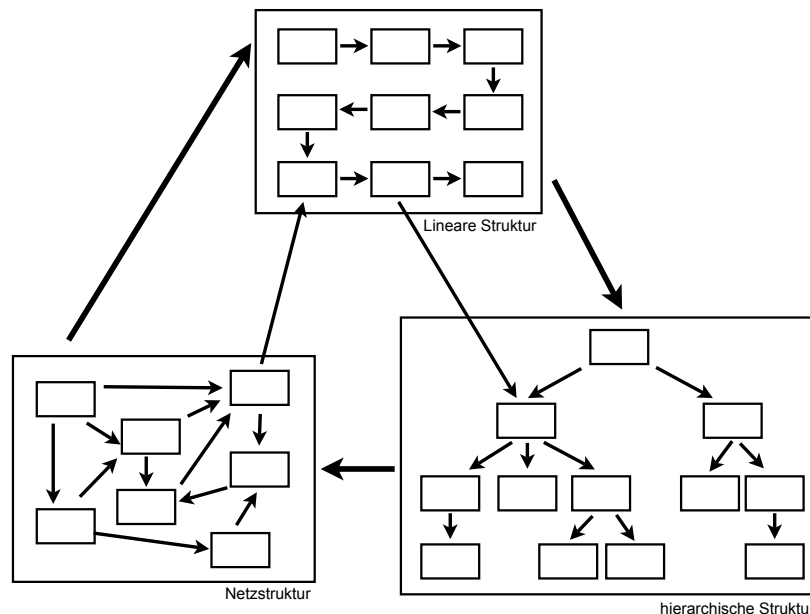


Abbildung 1.7: Hypertext mit hybrider Organisationsstruktur nach Tergan (2002)

Meist liegt bei heutigen Hypertextsystemen jedoch eine Mischform von Organisationsstrukturen vor. Solche hybriden Organisationsstrukturen vermögen einerseits Information systemgesteuert zu vermitteln, andererseits auch eine freie Exploration der Hypertextbasis (siehe Abbildung 1.7).

Dabei spielen *Sitemaps* (engl. auch *site maps*) eine wichtige Rolle: Als grafische Darstellung der Architektur und Struktur aller vorhandenen Knoten und Verlinkungen eines medialen Angebotes können sie dem Anwender bei der Orientierung und Navigation helfen. Andererseits sind sie ein hilfreiches Werkzeug zum Auffinden von Informationen und Links im Rahmen der Suche mit Suchmaschinen.

Funktionalität

Nach Tergan (2002) ist bei einem Hypertextsystem Funktionalität erst dann gegeben, wenn die Struktur des Sachverhaltes von der Hypertextbasis reflektiert wird, das System Hilfen zur Orientierung und Navigation bereitstellt oder spezifische Nutzungen erleichtert.

Einige Hypertextsysteme erlauben sogar Änderungen in der Hypertextbasis. Möglich ist hierbei eine Veränderung der Inhalte der Knoten, der einzelnen Verlinkungen oder auch das Hinzufügen neuer Knoten mit neuen Inhalten und neuer Verknüpfungen.

Navigation

Der Zugriff auf die Informationen in den Informationsknoten ist durch die Organisationsstruktur angelegt; ein reflektiertes „Sich-Bewegen“ innerhalb einer Hypertextbasis wird aber erst durch Navigation möglich (zur genaueren Definition und Vielschichtigkeit dieses Begriffs siehe Kapitel 7).

Nach Kuhlen (1991) gibt es verschiedene hypertextspezifische Orientierungs- und Navigationsmittel. Beispiele hierfür sind grafische Übersichten in hierarchischer oder Netzwerk-Struktur, vorab definierte Pfade, *backtrack*-Funktion, Lesezeichenfunktion und die Markierung bereits aufgesuchter Knoten. Hinsichtlich des Informationszugriffs lassen sich drei wesentliche Formen unterscheiden: Browsing, gezielte Suche mithilfe von Suchalgorithmen und das Folgen vorab definierter Pfade.

1.4.3 Hypermedia und Hypermediasysteme

Der Unterschied von Hypertext zu Hypermedia besteht in der Verwendung unterschiedlicher Codierungen. Inhalte von Hypertext werden vorwiegend als Text und häufig auch in Verbindung mit Abbildungen und Grafiken präsentiert.

Durch Einbindung multicodaler und multimodaler Komponenten wie beispielsweise Ton, Bewegtbild, Animation und Simulation wird ein Hypertext zu Hypermedia. Dementsprechend enthalten die Knoten einer Hypermediabasis auch solche Objekte. In der Regel werden aber beide Begriffe als Synonyme verwendet, was auch hier im weiteren Verlauf Anwendung finden soll. Als das wohl größte und umfassendste Hypermedia-System kann das *World Wide Web (WWW)* bezeichnet werden.

1.4.4 Einsatz von Hypertext-/ Hypermediasystemen

Hypertextsysteme finden breite Anwendung in einer Vielzahl von Bereichen: Sie werden beispielsweise als Informations- und Präsentationssysteme in Wirtschaft, Industrie, Wissenschaft und Verwaltung genutzt. Im Lehr-/Lernkontext sind sie hinsichtlich ihres Einsatzes als computerbasierte Lernumgebungen von besonderer Bedeutung.

Dabei wird der Inhalt eines Gegenstandsbereiches in einzelne Informationseinheiten aufgegliedert. Diese werden in Form von Knoten und Verbindungen zwischen diesen Knoten in einer Datenbank als Netzwerk elektronisch repräsentiert. Dadurch wird ein flexibler Zugriff auf beliebige Informationsknoten in beliebiger Reihenfolge möglich. Inhaltsbereiche werden somit von Lernenden auf unterschiedlichen eigenen Pfaden erschließbar.

Moderner Hypertext ermöglicht das aktive Aufsuchen, Explorieren, kognitive Verarbeiten, Umstrukturieren und manchmal sogar auch das systemgestützte Kreieren von Informationsknoten unter Nutzung einer interaktiven grafischen Benutzerschnittstelle. Beim Zugriff auf Informationsknoten sind dabei thematische Zentrierungen oder Fokiwechsel des Lernenden entsprechend seiner eigenen vorherrschenden Zielsetzungen, Interessen und Strategien realisierbar. Dies eröffnet Möglichkeiten

selbstgesteuerten Lernens, die in traditionellen tutoriellen Systemen mit vorwiegender Lernsteuerung durch das System nicht möglich sind (Tergan, 2002).

Die Abbildung komplexer, offener und schlecht strukturierter Gegenstandsbereiche lässt sich gut in multicodaler und multimodaler Form mithilfe von Hypertextdatenbasen umsetzen. Gleiches gilt für die kognitive Erschließung solcher Gegenstandsbereiche aus unterschiedlichen Perspektiven (Spiro, Feltovich, Jacobson und Coulson, 1992). Gegenstandsbereiche, die raschen Änderungen unterworfen sind, lassen sich in ihrer Darstellung durch Hypertextsysteme in Kombination mit Autorenfunktionen gut aktualisieren.

Haack (2002) weist darauf hin, dass die durch Lerninhalte, Schnittstellen und Navigationswerkzeuge gegebene Struktur einer Hypertext- bzw. Hypermediabasis allein noch nicht die Art der Lernaufgabe näher bestimmt. Haack nennt hier eine Bandbreite von Lernaufgaben, die vom lernerdefinierten Browsing über gezielte Informationsabrufe und Wissenserwerbsprozesse bis hin zur Etablierung neuer Verbindungen und zu Umstrukturierungen in der Wissensbasis geht.

Im Kontext des Lernens mittels Hypermediasystemen sieht Heller (1990) deren Anwendung eher für entdeckendes und inzidentelles Lernen als für das Lernen explizit definierter Lernaufgaben (vgl. auch Lanza und Roselli (1991)). Nach Duchastel (1990) und Nelson und Palumbo (1992) sind Hypermediasysteme für die Wissenskonstruktion insofern geeignet, als sich Lernende eine für sie individuell relevante Wissensbasis schaffen, die nicht unbedingt mit der eines Experten übereinstimmen muss. Auf diese Weise wird sukzessiv das aktive Verstehen unterstützt.

Weidenmann (1993) äußert sich hierzu wie folgt:

Hoch interaktive offene mediale Lernangebote sind nach dem derzeitigen Erfahrungsstand besonders dann am Platze, wenn interessierte und erfahrene Lerner (Veenman und Elshout, 1991) sich ein Wissensgebiet aktiv erarbeiten und dabei Erfahrungen erwerben sollen, die sich für künftige Problemlösungen in diesem Gebiet als nützlich erweisen (Transfer). (Weidenmann, 1993, S.27)

Zentraler Bestandteil seiner Aussage ist hierbei die *Interaktivität*. Dabei ist eine Definition dieses Begriffs im Kontext von Hypertext- und Hypermediasystemen als auch generell im Kontext medialer Angebote noch näher zu bestimmen. Kapitel 6 setzt sich vertiefend mit dieser Thematik auseinander.

Für Issing (2002) zählt Hypertext und Hypermedia-Software per Definition zu den Informationssystemen und nicht zu den Lehr-/Lernsystemen. Zusätzliche Hilfsmittel wie beispielsweise *Guided Tours* können ein solches mediales Angebot aber zu einem Lernmedium ausgestalten (Romiszowski, 1990; Jonassen und Mandl, 1990).

Dazu wird nach Issing (2002) die Benutzeroberfläche in drei Teile aufgegliedert: eine Übersichtsebene, eine Informationsebene und eine Beispiel- und Testebene. Die *Übersichtsebene*, ein grafischer Browser, zeigt dem Lernenden seinen augenblicklichen Standort innerhalb der gesamten Gliederungsstruktur mit Ober- und Unterkapiteln an. Auf der *Informationsebene* wird der eigentliche Lerninhalt vermittelt.

Dabei werden dem Lernenden verschiedene Möglichkeiten der Navigation durch die einzelnen multimedial gestalteten Informationsknoten gegeben: mithilfe statischer oder dynamischer Hypertext-Links, durch Nutzung verschiedener Hilfsmittel wie beispielsweise Listen oder Suchfunktionen oder durch das Angebot einer *Guided Tour* durch verschiedene Detaillierungsebenen. Die *Beispiel- und Testebene* bietet durch Anwendungsbeispiele, Simulationen und Visualisierungen eine Vertiefung der Informationsangebote. Der Lernende kann Testzyklen aufrufen und damit seinen Wissensstand selbstständig überprüfen und Ergänzungsvorschläge erhalten.

Inwieweit Hypertext- und Hypermediasysteme den hier beschriebenen und dargestellten Anforderungen an das Lehren und Lernen tatsächlich gerecht werden, wird in Kapitel 2.4 diskutiert.

1.4.5 World Wide Web und Web 2.0

Wie weiter oben bereits erwähnt, kann das *World Wide Web* (WWW) als das größte und umfassendste Hypermedia-System bezeichnet werden. Insofern finden Hypertext- und Hypermediasysteme im Internet ihren umfassendsten Einsatz.

Dabei hat das World Wide Web in den letzten Jahren eine Wandlung erfahren, die oftmals unter dem Stichwort *Web 2.0* zusammengefasst wird. Der Börsencrash und die Dot-Com-Krise im Jahr 2001 führten dazu, grundlegende Strukturen solcher Webangebote herauszuarbeiten, die trotz der Krise noch erfolgreich waren und aus dieser letztlich als Gewinner hervorgingen.

Nach O'Reilly (2005) begann das *Konzept Web 2.0* mit einem Brainstorming zwischen dem *O'Reilly-Verlag* und *Media Live International*. Der Begriff geht dabei namentlich auf Dale Dougherty (O'Reilly-Verlag) und Craig Cline (MediaLive) zurück und die Frage, ob der „Dot-Com-Kollaps einen derartigen Wendepunkt markiert hatte, dass man diese Dinge [die die überlebenden Firmen gemeinsam zu haben schienen] nun mit einem Schlagwort wie 'Web 2.0' bezeichnen durfte“ (O'Reilly, 2005, Einleitung). Mit der Bejahung dieser Frage wurde die *Web 2.0 Konferenz* geboren, die erstmals im Oktober 2004 stattfand und seitdem jährlich stattfindet.

Ursprünglich wurde eine Liste von Beispielen aufgestellt, die die Unterschiede von den bis dato üblichen und nun als *Web 1.0* bezeichneten zu den neueren und als *Web 2.0* zu verstehenden Angeboten, Anwendungen und Programmen verdeutlichen sollte (siehe Abbildung 1.8). Das Paar *Netscape* → *Google* ist nicht explizit in dieser Liste zu finden, wird aber von O'Reilly (2005) ebenfalls als wichtiges Beispiel aufgeführt.

Diese Liste enthält zum einen konkrete Webangebote, Webanwendungen und Webservices aus verschiedenen Bereichen wie digitale Werbung (*DoubleClick* vs. *Google AdSense*), Online-Photo-Services (*Ofoto* vs. *Flickr*), Auslieferung und Beschleunigung von Online-Inhalten bzw. Filesharing (*Akamai* vs. *BitTorrent*), Bereitstellung und Erwerb von Musik (*mp3.com* vs. *Napster*), Nachschlagewerke (*Britannica Online* vs. *Wikipedia*) sowie Online-Einladungen bzw. Events (*evite* vs. *upcoming.org* und *EVDB* (= *Events and Venue DataBase*)). Neben diesen konkreten Angeboten spiegelt die Liste zum anderen neue bzw. geänderte Konzepte, Perspektiven, Techniken und Verfahrensweisen wider.

Web 1.0	Web 2.0
DoubleClick	→ Google AdSense
Ofoto	→ Flickr
Akamai	→ BitTorrent
mp3.com	→ Napster
Britannica Online	→ Wikipedia
personal websites	→ blogging
evite	→ upcoming.org and EVDB
domain name speculation	→ search engine optimization
page views	→ cost per click
screen scraping	→ web services
publishing	→ participation
content management systems	→ wikis
directories (taxonomy)	→ tagging („folksonomy“)
stickyness	→ syndication

Abbildung 1.8: Gegenüberstellung von Web 1.0 und Web 2.0 nach O'Reilly (2005)

Am Beispiel *Britannica Online vs. Wikipedia* lassen sich einige dieser Prinzipien gut skizzieren: Bei Britannica Online handelt es sich letztlich um ein gebührenpflichtiges Nachschlagewerk, das der üblichen Struktur „Anbieter - Anwender“ folgt. Die Daten werden dabei vom Anbieter zur Verfügung gestellt und verwaltet.

Wikipedia ist kostenlos und für jedermann zugänglich. Damit wird das Angebot nicht auf nur eine begrenzte Gruppe von Anwendern beschränkt, sondern erreicht eine breite Masse von Nutzern. O'Reilly (2005) spricht in diesem Zusammenhang vom *Long Tail* im Gegensatz zum „Kopf“ bzw. einer schmalen Spitze.

Darüber hinaus gestalten die Anwender das Angebot von Wikipedia entscheidend mit bzw. wird es erst dadurch zu dem, was es ist. Je mehr Anwender sich beteiligen, umso besser und umfangreicher wird das Angebot. Dabei baut Wikipedia auf die Nutzung einer *kollektiven Intelligenz*. Die zur Verfügung stehenden Daten wachsen mit der Zahl der Anwender und erfahren dabei gleichzeitig eine kontinuierliche Überprüfung. Dies gilt generell für alle Arten von Wikis, deren Name sich im Übrigen vom hawaiianischen „wikiwiki“ für „schnell“ ableitet.

Gerade im Kontext von Lernen und Lehren ist diese Art offen zugänglicher Nachschlagewerke von besonderer Bedeutung, da sie eine neue Art der Wissensvermittlung und Wissensweitergabe zur Verfügung stellt.

Ebenfalls im Zusammenhang von Lehren und Lernen sind die Begriffe des *Bloggings* bzw. der *Weblogs* bzw. der *Blogs* und der Begriff des *Taggings* zu beachten, da sie neue Handlungsmöglichkeiten im Umgang mit dem World Wide Web und somit auch im Umgang mit Hypertext- und Hypermediasystemen darstellen.

Ein *Blog* ist eine persönliche Homepage in der Form eines Tagebuchs. Ein wichtiger Unterschied zu gewöhnlichen Homepages ist dabei die Verwendung der *RSS*-Technologie. *RSS* steht für *Really Simple Syndication* (bzw. *Rich Site Summary*) und erlaubt es, eine Seite nicht nur zu verlinken, sondern sie zu abonnieren und

bei jeder Änderung informiert zu werden. Dabei sind nicht nur die Inhalte, sondern insbesondere auch die Links dynamisch (O'Reilly, 2005).

Darüber hinaus unterscheiden sich Blogs auch noch in anderer Hinsicht von normalen Webseiten: Mithilfe von Blogs ist es relativ einfach, direkt auf einen speziellen Eintrag auf einer fremden Seite zu verweisen und sich darüber zu unterhalten und auszutauschen. Insofern wandelten sich Weblogs „von einem Werkzeug zur einfachen Publikation in ein dialogorientiertes System sich überlappender Communities“. Ähnlich wie Wikipedia nutzt auch das Bloggen die kollektive Intelligenz als eine Art Filter (O'Reilly, 2005).

Tagging bedeutet wörtlich „mit einem Etikett versehen“ und ist eine Form des gemeinschaftlichen Indexierens im World Wide Web. Mit einem *Tag*, einem Schlagwort, können dabei beispielsweise Lesezeichen, Blogeinträge oder Fotos versehen werden. Diejenigen, die die Tags setzen, kommen dabei in offenen Gemeinschaften zusammen. Detaillierte Indexierungsregeln werden nicht festgelegt bzw. sind vorher auch nicht festgelegt worden. Solche durch gemeinschaftliches Indexieren erstellten Sammlungen von Tags werden auch als *Folksonomien* bezeichnet. Dieses Wort kommt aus dem Englischen und setzt sich aus den beiden Wörtern „folk“ und „taxonomy“ zusammen. Einen Einsatz findet das gemeinschaftliche Indexieren vor allem bei der Sacherschließung eines Themas.

Diese Techniken sind noch relativ neu. Insofern gibt es noch keine etablierte Theorie gemeinschaftlichen Indexierens. Auch hier wird wieder auf das *kollektive Wissen* einer großen Anzahl von Nutzern gebaut, so dass davon ausgegangen wird, dass sich im Laufe der Zeit ein von den Nutzern erstelltes Schlagwortsystem ergibt, welches einen für Recherchezwecke sinnvollen Kernbestand an Begriffen enthält.

Nach O'Reilly (2005) hat „Web 2.0 keine genauen Begrenzungen, sondern vielmehr ein Gravitationszentrum. Man kann Web 2.0 als eine Ansammlung von Prinzipien und Praktiken visualisieren, die ein regelrechtes Sonnensystem von Seiten zusammenhalten, die einige oder alle dieser Prinzipien in unterschiedlicher Entfernung vom Zentrum demonstrieren“. O'Reilly (2005) gibt eine *Meme-Map* zum Web 2.0 Konzept wider (siehe Abbildung 1.9). „Meme“ ist das englische Wort für „Mem“, und ein *Mem* ist eine Gedankeneinheit, die sich vervielfältigen lässt, dabei aber gleichzeitig als Vervielfältiger wirkt. Bei der Reproduktion wird ein bestimmter Gedanken von einem anderen übernommen und im Kontext dessen persönlichen Erfahrungs- und Erkenntnisrahmens angepasst.

Auf die einzelnen Einträge dieser Meme-Map einzugehen, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Dennoch seien hier zusammenfassend sieben Kernkompetenzen von Unternehmen im Web 2.0 dargestellt (O'Reilly, 2005). Demnach zeichnet sich Web 2.0 aus durch

- ▷ *Dienste, keine Paketsoftware, mit kosteneffizienter Skalierbarkeit*
 - ▷ *Kontrolle über einzigartige, schwer nachzubildende Datenquellen, deren Wert proportional zur Nutzungshäufigkeit steigt*
 - ▷ *Vertrauen in Anwender als Mitentwickler*
 - ▷ *Nutzung kollektiver Intelligenz*
-

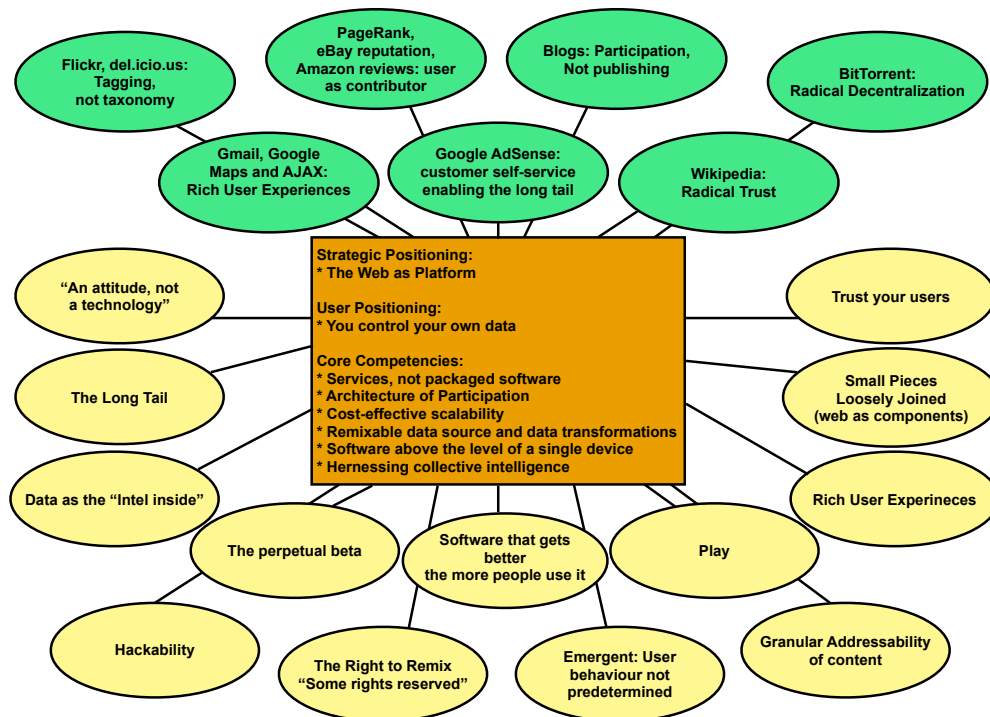


Abbildung 1.9: Meme-Map of Web 2.0 (O'Reilly, 2005)

- ▷ Erreichen des „Long Tail“ mittels Bildung von Communities etc.
- ▷ Erstellung von Software über die Grenzen einzelner Geräte hinaus
- ▷ Leichtgewichtige User Interfaces, Entwicklungs- und Geschäftsmodelle (O'Reilly, 2005, Kernkompetenzen von Unternehmen im Web 2.0)

O'Reilly (2005) betont, dass der Begriff des Web 2.0 oftmals und vor allem im Rahmen von Produktwerbung Verwendung findet, ohne jedoch wirklich zuzutreffen. Die oben aufgeführten Kernkompetenzen sollen dabei helfen, echte Web 2.0 - Angebote zu verifizieren.

1.5 Mathematik und Computer

Wenn mediale Angebote für das Lernen und Lehren von *Mathematik* eingesetzt werden sollen, so ist zunächst die Frage zu klären, was genau bei diesem Lern- bzw. Lehrprozess eigentlich vermittelt werden soll. Dies führt letztlich zu der Frage, was Mathematik eigentlich ist. Das große Fremdwörterbuch (Duden, 2007) beantwortet diese Frage damit, dass Mathematik „die Wissenschaft von den Raum- u. Zahlengrößen, von ihren gegenseitigen Beziehungen u. den zwischen ihnen möglichen Verknüpfungen“ ist. Diese Definition vermittelt jedoch nur einen ersten Eindruck vom Wesen der Mathematik. Davis und Hersh (1996) bemerken in diesem Zusammenhang:

Die Definition der Mathematik wechselt. Jede Generation und jeder scharfsinnige Mathematiker innerhalb einer Generation formuliert eine Definition, die seinen Fähigkeiten und Einsichten entspricht. (Davis und Hersh, 1996, S.4)

Davis und Hersh (1996) geben einen guten Überblick über den Facettenreichtum innerhalb der Mathematik. Auf diesen vertiefend einzugehen, würde den Rahmen dieser Arbeit jedoch sprengen. An dieser Stelle sollen darum grundsätzliche Merkmale aufgezeigt werden, die insbesondere im Kontext des Lernens und Lehrens von Mathematik eine wichtige Rolle spielen.

1.5.1 Mathematik als eine Wissenschaft mit vielen Facetten

Mathematik ist gleichzeitig *Prozess* und *Produkt* (Barzel, Hußmann und Leuders, 2005, S.11). Der Übergang vom Prozess zum Produkt ist dabei sehr vielschichtig; dennoch lassen sich dabei einige *Facetten von Mathematik als Wissenschaft* voneinander abgrenzen. Vor diesem Hintergrund spielen auch *mathematikphilosophische Betrachtungsweisen* eine wichtige Rolle. Zudem ist die Mathematik für *jeden Einzelnen* von Bedeutung und lässt sich als ein *gesellschaftliches Phänomen* beschreiben. Diese Aspekte werden im Einzelnen skizzierend dargestellt:

Mathematik als Prozess und Produkt

Mathematik als *Prozess* ist gekennzeichnet durch eigenständige Denk- und Arbeitsweisen, die eine spezifische Sicht auf die Welt und deren Probleme reflektieren. Dabei stützt sich diese Weltsicht auf die Überzeugung, dass sich sowohl Phänomene der Umwelt als auch viele geistige Phänomene in der Gestalt von Ideen und Vorstellungen als *abstrakte Strukturen* verstehen und sich deren wiederkehrende Muster gedanklich analysieren lassen. Nach Barzel et al. (2005, S.11) entspricht das Erkunden und Erforschen dieser universellen Muster und die Entwicklung universeller Methoden im Umgang mit diesen Mustern genau den Tätigkeiten, die unternommen werden, wenn Mathematik betrieben wird. Diese Tätigkeiten bilden sich heraus in verschiedenen, für die Mathematik kennzeichnenden Formen des *Begriffsbildens*, des *Problemlösens* und des *Argumentierens*. Dabei treten diese Prozesse sowohl in der mathematischen Grundlagenforschung als auch in der technischen Anwendung von Mathematik sowie beim schulischen Mathematiklernen auf.

Mathematik als *Produkt* entspricht dem logisch kohärenten geistigen Gebäude, das in den symbolisch festgehaltenen Definitionen, Sätzen und Beweisen materialisiert ist, die sich in Lehrbüchern und Forschungsberichten finden. Mathematik kann in diesem Sinne als Teil des kulturellen Erbes verstanden werden. Darüber hinaus findet sich Mathematik aber oft auch unbemerkt in den täglichen Dingen des Gebrauchs als Technologie hinter der Technik, die das Leben in vielen Bereichen bestimmt (Barzel et al., 2005, S.11).

Facetten der Mathematik als Wissenschaft

Der Übergang vom Prozess zum Produkt wird von der Mathematik in einem vielschichtigen, sozial bestimmten Prozess des Erkenntnisgewinns vollzogen (Barzel et al., 2005, S.12). Bezüglich der spezifischen Qualitäten dieses Erkenntnisgewinns kommt der Mathematik als Wissenschaft jeweils eine besondere Rolle zu. Barzel et al. (2005, S.12) nennen in diesem Zusammenhang drei komplementäre Facetten der Mathematik als Wissenschaft:

▷ MATHEMATIK ALS BEREICH SCHÖPFERISCHEN WIRKENS
UND SOZIALEN AUSHANDELNS

Mathematische Sätze und Zusammenhänge werden in der Regel nicht einfach nur abgeleitet oder bewiesen; meist liegt ihnen eine mehr oder weniger lange, oft auch recht verzweigte Entstehungsgeschichte zugrunde. Aufgrund von Beispielen, Erfahrungen und nicht unbedingt präzisierbaren Intuitionen stellen Mathematiker Hypothesen auf. Hefendehl-Hebeker (2005) beschreibt es so:

Mathematische Begriffe und Denksysteme haben einen theoretischen Charakter. Sie gehen so, wie sie entstanden sind, nicht zwingend aus der Wirklichkeit hervor; vielmehr handelt es sich um gedankliche Entwürfe und Konstruktionen, mit denen man die Wirklichkeit deuten, erforschen und gestalten kann. (Hefendehl-Hebeker, 2005)

In Analogie zu den Naturwissenschaften wird oft von einem quasi-empirischen Vorgehen gesprochen. Dabei handelt es sich um einen oft nur schwer fassbaren, kreativen Prozess, innerhalb dessen sich durch ein Wechselspiel von Vermuten und Überprüfen Begriffe und Ideen weiterentwickeln. In diesem Prozess spielt die Kommunikation eine wichtige Rolle. Ob sich ein mathematischer Begriff letztendlich durchsetzen kann, hängt auch davon ab, ob er in der Gemeinschaft der Mathematiker überzeugen kann. Dabei werden mathematische Begriffe zunehmend präzisiert, wodurch Missverständnisse abgebaut werden können und eine Grundlage für eine soziale Konsensfindung geschaffen wird (Barzel et al., 2005, S.12).

▷ MATHEMATIK ALS DEDUZIERENDE UND LOGISCH ORDNENDE WISSENSCHAFT

Wie jede andere Wissenschaft hat auch die Mathematik ihren eigenen Gegenstandsbereich. Auch wenn dieser auf vielfältige Art und Weise mit Gegenständen der realen Welt verknüpft ist, so besteht er doch im Wesentlichen aus abstrakten Objekten und Zusammenhängen. Der Ausbau dieser Struktur und die Überprüfung von Vermutungen erfolgt durch die mächtigen Werkzeuge *streng logischen Schließens*. Die daraus resultierenden Beweise erwecken den Eindruck absoluter Gewissheit. Was sich nicht über diesen Zugang erschließen lässt, wird ausgeschlossen, wodurch die Mathematik als eine Welt mit hoher Beständigkeit besteht (Barzel et al., 2005, S.12). Barzel et al. (2005, S.12) merken allerdings an, dass „dieses schöne logische Gebäude, der Traum absoluter Gewissheit, seit den Arbeiten von GÖDEL u.a. Risse bekommen [hat]“.

▷ MATHEMATIK ALS ANWENDUNGSWISSENSCHAFT

Die Mathematik befasst sich nicht nur mit sich selbst, sondern stellt auch eine große, vielfältige Sammlung von Modellen für Phänomene der Natur, der technischen und sogar der gesellschaftlichen Umwelt zur Verfügung. Anwendung und Theorie haben sich immer gegenseitig bedingt und befruchtet; insofern würde eine strikte Trennung in angewandte und reine Mathematik die historischen Zusammenhänge verkennen. Selbst bei Themen, die sich zunächst anwendungsfern entwickelt haben, werden immer wieder Anwendungsbezüge entdeckt (Barzel et al., 2005, S.12).

Mathematikphilosophie

Es gibt sehr unterschiedliche Auffassungen darüber, wie der mathematische Erkenntnisgewinn im Wechselspiel zwischen Intuition und strenger Prüfung einzuschätzen ist. Barzel et al. (2005, S.13f.) skizzieren an dieser Stelle folgende vier mathematikphilosophische Positionen:

▷ PLATONISMUS

Für die Platonisten existiert Mathematik unabhängig vom einzelnen Menschen. Die Mathematik ist eine fortschreitende Entdeckung eines „Himmels voller Ideen“. Dabei sind die Objekte der Mathematik nicht von physikalischer Natur (Heintz, 2000).

▷ PHYSIKALISMUS

Für die Physikalisten sind die Gesetzmäßigkeiten der physikalischen Welt die Grundlage aller Mathematik. Alle Begriffe sind somit Abstraktionen der Anschauung. Allein dadurch ist die Nützlichkeit von Mathematik als Modell für die Beschreibung der Welt zu erklären.

▷ KONSTRUKTIVISMUS

Für die Konstruktivisten ist ein mathematischer Erkenntnisgewinn ein individueller und sozialer Konstruktionsprozess. Insofern sind mathematische Begriffe keine absoluten Gebilde, sondern menschliche Erfindungen, die im Dialog entwickelt werden. Demnach sind sie „kontingent“, d.h. zufällig bzw. wirklich oder möglich, aber nicht notwendig existent.

▷ FORMALISMUS

Für die Formalisten ist Mathematik ein Spiel mit Symbolen und Regeln, in dessen Rahmen sich aus beliebigen, jedoch nicht widersprüchlichen Ausgangsannahmen, den Axiomen, durch ein klar abgegrenztes System von Schlussweisen neue Aussagen ableiten lassen. Dabei ist es unwesentlich, welche Bedeutung diese mathematischen Begriffe in der Wirklichkeit besitzen.

Nach Barzel et al. (2005, S.14) zeugt das Nebeneinander dieser verschiedenen Sichtweisen davon, „dass die Mathematik komplementäre Aspekte in sich vereinigt und dass die Diskussion über den Charakter von Mathematik wohl nie in einer absoluten Gewissheit enden wird“.

Bedeutung von Mathematik für den Einzelnen

Neben der oben dargestellten Bedeutung der Mathematik als praktizierende und über sich selbst reflektierende Wissenschaft kommt der Mathematik als Bestandteil der Alltagskultur und der täglichen Verrichtungen eine Bedeutung für jeden Einzelnen zu. Mathematische Grunderfahrungen aus jedem der drei oben genannten charakteristischen Merkmalsbereiche spielen dabei für jeden Einzelnen eine wichtige Rolle (siehe hierzu auch Kapitel 2.5.1 *Mathematical Literacy*).

Mathematik als Phänomen

Wittmann (1981) gibt eine interessante Zusammenfassung der oben beschriebenen Vielschichtigkeit der Mathematik:

Mathematik [ist] ein umfassendes gesellschaftliches Phänomen [...], das sich aus vielen Quellen speist, eine Fülle von Bezügen zu Naturwissenschaft, Technik, Wirtschaft, Kunst und Lebenspraxis aufweist und von der spezialisierten Universitätsmathematik auch nicht annähernd repräsentiert wird. (Wittmann, 1981)

1.5.2 Mathematik und Computer im Allgemeinen

Mathematik hat es bereits vor der Erfindung des Computers gegeben, aber Computer wären ohne Mathematik nicht entstanden und könnten ohne Mathematik auch nicht weiterentwickelt werden. So gibt es nach Barzel, Hußmann und Leuders (2005, S.26) „nicht wenige Mathematikerinnen und Mathematiker, die dem Computereinsatz kritisch gegenüberstehen und als Mathematik nur das akzeptieren wollen, was alleine durch Denken und allenfalls unter Zuhilfenahme von Papier und Bleistift zu erreichen ist“.

Andererseits ermöglicht es der Computer, in der Mathematik neue Wege zu gehen: Computer können beispielsweise allein durch ihre Rechenleistung, aber auch durch ihre Möglichkeiten der Visualisierung mathematische Erkenntnis unterstützen und fördern sowie zu bestimmten Arten des Beweisens herangezogen werden. Ein Beispiel für einen solchen „Computerbeweis“ ist der Beweis der Vierfarbenvermutung, der 1976 von Kenneth Appel und Wolfgang Haken an der University of Illinois geführt wurde (siehe beispielsweise Fritsch (1994)) und der auf der Untersuchung und Berechnung einer Vielzahl von Fällen mit dem Computer basiert, die im Einzelnen von einem Menschen nicht nachgeprüft werden könnten. Ein anderes Beispiel ist der interne Beweiser der dynamischen Geometriesoftware *Cinderella*. Mit dessen Hilfe lässt sich beispielsweise entscheiden, ob mit zwei unterschiedlichen geometrischen Konstruktionen desselben geometrischen Objekts tatsächlich dasselbe Objekt konstruiert wird oder ob im Rahmen einer Konstruktion entstehende neue Schnittpunkte oder Verbindungsgeraden bereits mit vorhandenen Elementen der Konstruktion übereinstimmen.

Einsatz des Computers bezüglich der drei Facetten von Mathematik als Wissenschaft

In Kapitel 1.5.1 wurde Mathematik als eine *Anwendungswissenschaft*, eine *deduzierende Wissenschaft* und als ein Bereich *schöpferischen Tuns* vorgestellt. Der Computer kommt dabei in allen drei Bereichen zum Einsatz:

Aus der Sicht von Mathematik als *Anwendungswissenschaft* sind die vielfältigen Möglichkeiten eines Computers unentbehrlich geworden: Komplexe Simulationsmodelle können beispielsweise numerisch ausgewertet werden, wo eine exakte Berechnung aussichtslos oder eine reale Durchführung gar nicht realisierbar wäre. Zudem können auch sehr große Datenmengen erfasst und nach Mustern durchsucht werden. Computer-Algebra-Systeme und Tabellenkalkulationen stellen in Bruchteilen von Sekunden Ergebnisse bereit, die sich nur mühsam und langwierig von Hand ausrechnen ließen. Dynamische Geometriesoftware erlaubt Konstruktionen und deren Animation, die weit über das hinausgehen, was mit Papier und Bleistift möglich ist.

Für die Mathematik als *deduzierende Wissenschaft* kommt dem Computer eine ganz andere Bedeutung zu: Im Kontext der Formalisierungsbestrebungen des letzten Jahrhunderts stellte sich unter anderem die Frage, inwieweit Computern mathematisches Arbeiten übertragen werden könnte. Die daraus resultierenden theoretischen Fragen nach Leistungen und Grenzen realer und virtueller, mit formalen Sprachen arbeitenden Rechenmaschinen führten zu einer Entwicklung vieler neuer Wissenschaftszweige, wie zum Beispiel der Berechenbarkeitstheorie, der Künstlichen Intelligenz und der theoretischen Informatik (Barzel et al., 2005, S.26).

Die Durchführung und Bedeutung der oben dargestellten „Computerbeweise“ wird jedoch in der Mathematik bis heute kontrovers diskutiert: Während die einen die Mathematik durch die Anerkennung solcher Beweise bedroht sehen, fordern die anderen ein neues Beweisverständnis, wonach auch solchen quasi experimentell ermittelten Resultaten ein Beweiswert zuerkannt werden sollte (Barzel et al., 2005, S.27).

Die Bedeutung des Computers in der Mathematik besteht nach Barzel et al. (2005, S.26) aber weniger in der Funktion als Rechenmaschine, sondern vielmehr und vor allen Dingen im Bereich des *schöpferischen Tuns*. Hier dient er vielen „reinen“ Mathematikern als kreatives und heuristisches Werkzeug. Barrow (1994) beschreibt es so:

Die Interaktion mit dem Computer lehrte sie unerwarteterweise neue Dinge über ihr Problem. Der Computer nahm eher die Rolle eines beinahe menschlichen Mitarbeiters denn eines Rechenwerkzeuges an. Er war eine Erweiterung ihrer Intuition. (Barrow, 1994, S.230)

Ein zentraler Begriff dieser Beschreibung ist der Begriff der *Interaktion* zwischen Mensch und Computer. Dabei geht es hier weniger um eine mithilfe des Computers umgesetzte *Interaktion* bzw. *Interaktivität* (zur Definition und Beschreibung dieses Begriffes siehe Kapitel 6), sondern vielmehr um das vom Menschen initiierte Wechselspiel zwischen „Input“ und „Output“: In den Computer eingegebene Daten

können mithilfe des Computers modifiziert werden und liefern so gegebenenfalls die Grundlage für neue Ideen und Erkenntnisse, die wiederum mit dem Computer verifiziert und modifiziert werden können usw. Beispielsweise können Spezialfälle geometrischer Konfigurationen von geometrischen Sätzen mithilfe dynamischer Geometriesoftware „erfahren“ und dabei Anhaltspunkte für einen neuen oder Zusammenhänge mit einem anderen mathematischen Satz bereitgestellt werden.

Nach Barzel et al. (2005, S.27) stand in der Mathematik vor der Deduktion immer schon das schöpferische Denken, das Erkunden und Erforschen von Strukturen und Zusammenhängen. Dies erfordert in erster Linie die kreative Leistung des Einzelnen, während der Computer hierbei ein kognitives Werkzeug, eine Erweiterung vor allem der kalkülmäßigen Fähigkeiten des Mathematikers darstellt. Steen (1988) bringt dies wie folgt zum Ausdruck:

Computer sind für die Mathematik das, was Fernrohre und Mikroskope für die Naturwissenschaft darstellen. Sie haben die Sammlung der Muster, die mathematische Forscher untersuchen, um ein Millionenfaches erhöht. (Steen (1988, S.616), zitiert nach Heintz (2000, S.157))

Der Computer als mathematisches Werkzeug

Der Computer erweist sich somit zusammen mit den verschiedenen Softwareangeboten als Werkzeug und Hilfsmittel: Er wird genutzt, um mit dessen Hilfe genuin mathematische Tätigkeiten effektiver auszuführen, was letztlich bedeutet, mathematische Probleme zu lösen, Modellierungen auszuführen oder Argumente für mathematische Zusammenhänge zu finden. Dabei übernimmt der Computer einen großen Teil des repetitiven Kalküls. Er bietet grafische Darstellungen an, wobei er hier auch ganz neue, bisher im Mathematikunterricht nicht verfügbare aktive Darstellungsformen zur Verfügung stellt wie beispielsweise den Zugmodus in Dynamischer Geometriesoftware (Barzel et al., 2005, S.34).

Der Werkzeugcharakter des Computers wird insbesondere darin deutlich, dass es der Anwender ist, der den Lernprozess steuert: Er entscheidet, wann, wie und wozu er den Computer als Werkzeug hinzuzieht. Wenn dieses Werkzeug für Schülerinnen und Schüler im Unterricht und zu Hause ständig verfügbar und der Umgang mit ihm selbstverständlich ist, so bedeutet dies nach Barzel et al. (2005, S.35) in der Regel einen beträchtlichen Innovationsschub für den Mathematikunterricht.

Weigand und Weth (2002, S.1) präzisieren den Begriff des *mathematischen Werkzeuges*: Mathematische Werkzeuge können demnach einerseits in der realen *gegenständlichen Ebene* existieren wie beispielsweise Zirkel und Lineal, Geodreieck, Parabelschablone oder Taschenrechner. Andererseits lässt sich auch auf der *begrifflichen Ebene* von Werkzeugen sprechen, womit dann zum Beispiel Algorithmen oder mathematische Sätze gemeint sind, die beim Lösen mathematischer Probleme zum Einsatz kommen.

Nach Weigand und Weth (2002, S.1) ist der Computer ein Werkzeug auf der gegenständlichen Ebene. Darüber hinaus betonen sie, dass der Computer eine Fortsetzung einer langen Kette mathematischer Werkzeuge wie Ziffernsysteme, Abakus,

Rechenmaschine und Taschenrechner ist. Demzufolge ergibt sich generell die Frage nach der didaktischen Bedeutung mathematischer Werkzeuge für das Lehren und Lernen von Mathematik, von denen der Computer nun das gerade aktuellste Werkzeug ist.

Rechenmaschinen

Weigand und Weth (2002, S.2ff.) geben an dieser Stelle einen kurzen historischen Überblick: Die additiven Ziffernsysteme der Ägypter, Griechen oder Römer ließen noch keine den heutigen üblichen Rechenverfahren vergleichbare Verfahren zu. Rechenalgorithmen für die Grundrechenarten entwickelten sich erst mit Erfindung des dezimalen Stellenwertsystems im etwa 6. Jahrhundert in Indien. Die Araber brachten die „arabischen Zahlen“ und die „Algorithmen“ dann nach Europa. Dort wurden die indisch-arabischen Zahlen aber wegen ihres heidnischen Ursprungs weitgehend abgelehnt. Zudem galten sie als nicht fälschungssicher. Das zweite Rechenbuch von Adam Ries (für eine kommentierte und neu übersetzte Ausgabe siehe Deschauer (1992)) leistete einen wesentlichen Beitrag zum Durchbruch der arabischen Ziffern. Zu Beginn des 17. Jahrhunderts begannen Überlegungen, das Zahlenrechnen zu mechanisieren. Die erste Rechenmaschine wurde 1623 vom Tübinger Professor Wilhelm Schickard (1592-1635) gebaut (siehe Abbildung 1.10). Im Jahr 1642 konstruierte der neunzehnjährige Blaise Pascal (1623-1662) mehrere Addiermaschinen mit automatischem Zehnerübertrag, 1672 entwickelte Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) eine Rechenmaschine, die dem Menschen die „Skla venarbeit“ eintöniger Rechnungen abnehmen sollte. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts setzte die fabrikmäßige Herstellung von Rechenmaschinen ein. Ein Überblick über historische Rechenmaschinen findet sich bei Reese (2002).



Abbildung 1.10: Die erste Rechenmaschine von Wilhelm Schickard, Tübingen 1623. Links: Wilhelm Schickard (Quelle: http://www.rechenmaschinen-illustrated.com/pictures_1623.htm). Rechts: Nachbildung der Rechenmaschine (Quelle: <http://www.rechenwerkzeug.de/schickar.htm>)

Die Verwendung von Rechenmaschinen veränderte insofern die Denk- und Arbeitsweisen beim Zahlenrechnen, als dass sie - im Gegensatz zum Rechnen im Sinne des kleinen Einmaleins - nun vielmehr das Nachvollziehen eines in Kurbeldrehungen und Schlittenverschiebungen ausgedrückten Rechenalgorithmus einforderten. Dadurch wurde ein Denken in Handlungsabläufen im Gegensatz zum bisherigen arithmetischen Denken betont. Für den Einsatz im Schulunterricht erwiesen sich die Rechenmaschinen jedoch als zu unhandlich und zu teuer (Weigand und Weth, 2002, S.2).

Rechenschieber und Taschenrechner

Ein dagegen preisgünstiges Rechenwerkzeug war der *Rechenschieber*, der im Anschluss an die Erfindung der Logarithmen entwickelt wurde. Seine Ursprünge reichen daher bis ins 17. Jahrhundert zurück. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurden sie in der Schule verwendet. Interessant ist der Beschluss der Kultusministerkonferenz, der es ab 1958 erlaubte, den Rechenschieber bereits *vor* der thematischen Behandlung von Logarithmen verwenden zu dürfen. Damit wurde der Rechenschieber für die Schülerinnen und Schüler zu einer „black box“.

Der erste Taschenrechner kam 1972 auf den Markt, zwischen 1976 und 1978 wurde er in den alten Bundesländern in der Regel ab der neunten Klasse erlaubt; in der ehemaligen DDR wurden Taschenrechner an der erweiterten Oberschule mit dem Schuljahr 1984/85 und in der Polytechnischen Oberschule mit dem Schuljahr 1985/86 in siebten Klassen eingeführt (Weigand und Weth, 2002, S.4).

Die Erwartungen an das neue Werkzeug Taschenrechner waren bei dessen Einführung sehr hoch. Wie die folgende Aufzählung zeigt, wurden dabei im Prinzip dieselben Erwartungen geäußert und dieselben Fragen gestellt, die heute im Zusammenhang mit dem Computereinsatz immer noch bzw. wieder diskutiert werden:

Mit dem Taschenrechnereinsatz sollten u. a.

- ▷ *experimentelles und entdeckendes Arbeiten eine größere Bedeutung bekommen;*
- ▷ *Begriffsbildungen eine breitere numerische Basis erhalten;*
- ▷ *Anwendungsaufgaben realitätsnäher werden;*
- ▷ *Handrechnungsfertigkeiten an Wert verlieren;*
- ▷ *algorithmische Berechnungen an Bedeutung gewinnen.*

Intensiv wurden damals folgende Fragen diskutiert:

- ▷ *Wie können die zentralen Lernziele des Mathematikunterrichts besser erreicht werden?*
 - ▷ *Welche Bedeutung haben die bisher trainierten Fähigkeiten?*
 - ▷ *Was soll mit der eingesparten Zeit geschehen?*
 - ▷ *Wie wirkt sich der Taschenrechnereinsatz auf leistungsschwächere Schüler aus? (Weigand und Weth, 2002, S.4)*
-

Hinsichtlich der Veränderungen, die der Taschenrechner im Mathematikunterricht bewirkt hat, nennen Weigand und Weth (2002, S.5) einige Aspekte: Durch den Taschenrechner wurden Rechenstab und Logarithmentafel, algorithmische Verfahren wie das schriftliche Wurzelziehen und das Multiplizieren mithilfe von Logarithmen überflüssig. Bezüglich der Ziele, Methoden und Art der Prüfungsaufgaben hatte der Taschenrechner aber nur einen geringen bis gar keinen Einfluss auf den Unterricht. Davon auszunehmen sind allerdings die schulmathematischen Gebiete der *Trigonometrie* und der *Wahrscheinlichkeitsrechnung* bzw. *Stochastik*, da hier numerische Berechnungen von großer Bedeutung sind. Ebenso wirkte sich der Taschenrechner insofern auf die Grundschule aus, als sich dort die Ziele im Zusammenhang mit schriftlichen Rechenverfahren verändert und den halbschriftlichen Verfahren eine wachsende Bedeutung gebracht haben.

Beim Taschenrechner findet insofern eine Modularisierung der schriftlichen Rechenverfahren statt, als sie per Knopfdruck zur Verfügung stehen. Somit bleibt beispielsweise der Multiplikationsalgorithmus im Gerät verborgen mit der Folge, dass das funktionale Denken im Sinne eines Eingabe-Ausgabe-Prozesses in den Vordergrund rückt. Beim Arbeiten mit dem Computer und mathematischer Software, die weitaus komplexere Algorithmen auszuführen vermag, verschärft sich dieses Problem (Weigand und Weth, 2002, S.5).

Im Hinblick auf den Verlust wichtiger Rechenfertigkeiten wird der Taschenrechnereinsatz kontrovers diskutiert. So soll ein verfrühter Taschenrechnereinsatz einerseits für Defizite beim Umgang mit Dezimalzahlen, Runden, Schätzen, Bruchrechnung und einfachen Schlussrechnungen von Hauptschulabsolventen verantwortlich sein, andererseits konnten empirische Untersuchungen diesen Sachverhalt nicht nachweisen, ganz im Gegenteil wurde dem Taschenrechner sogar im amerikanischen Raum ein positiver Einfluss auf die Rechenfertigkeit nachgewiesen (Weigand und Weth, 2002, S.6).

Dennoch darf die Gefahr des Verlustes von Rechenfertigkeiten nach Weigand und Weth (2002, S.6) nicht verkannt werden. Allerdings bezweifeln sie, dass Vorschläge, die für die Herausbildung von Fertigkeiten im Kopfrechnen, in der sicheren Anwendung von Rechenregeln und beim Überschlagsrechnen plädieren, in der Schulwirklichkeit tatsächlich aufgegriffen wurden.

Das neue Werkzeug Computer

Hinsichtlich des Einsatzes von Computern im Mathematikunterricht geben Weigand und Weth (2002, S.6ff.) einen komprimierten historischen Überblick mit vielen Verweisen zu weiterführenden Quellen. An dieser Stelle soll daraus hier nur ein grober Überblick zur zeitlichen Einordnung gegeben werden:

Zu Beginn der 60er-Jahre wurden die ersten Großrechenanlagen an Universitäten in Betrieb genommen. Als eine Folge der Beziehungen von logischen Grundlagen der Rechenanlagen zu den Bestrebungen der aufkommenden „Mengenlehre“ wurde in einem Beschluss der Konferenz der Kultusminister 1968 festgelegt, die *Boolesche Algebra* zu den Lehrinhalten der Oberstufe an Gymnasien hinzuzunehmen. Es

entstanden die ersten Informatik-Arbeitskreise an den Schulen.

Mitte der 60er-Jahre kamen die ersten Tischrechner auf den Markt und in den Mathematikunterricht. Eine Forderung nach „Mathematik vom algorithmischen Standpunkt“ wurde ausgesprochen. Ende der 70er-Jahre begann dann mit dem *Apple II* und dem *Commodore PET* das Zeitalter der Personal Computer. Forderungen nach einer *Informations- und kommunikationstechnologischen Grundbildung (ITG)* für *alle* Schüler wurden laut. Trotz verschiedener Rahmenkonzepte und Empfehlungen wurde die ITG jedoch meist dem Mathematikunterricht überlassen. Sofern der Computereinsatz dabei überhaupt praktiziert wurde, beschränkte er sich auf das Programmieren grundlegender Algorithmen in den Programmiersprachen *Basic* oder *Pascal* und das Darstellen von Funktionen mit häufig von Lehrern selbstprogrammierten Funktionsplottern. Dies führte zu Forderungen nach einer stärkeren Beachtung pädagogischer Gesichtspunkte und einer Betonung der Bedeutung von Verantwortungsbewusstsein, Selbstbewusstsein und Zivilcourage für einen sinnvollen Computereinsatz.

Damit inhaltliche Aspekte aber nicht von technischen Aspekten überlagert werden, setzte dies eine einfachere Bedienung von Computerprogrammen voraus; dies führte zu einer Entwicklung, die Ende der 80er-Jahre begann: 1988 wurde auf der *International Conference of Mathematics Education (ICME)* in Budapest das erste Dynamische Geometrieprogramm *CABRI-Géomètre (CAhier de BRouillon Interactif pour l'apprentissage de la géométrie, frei übersetzt: Interaktives „Schmierheft“ für das Lernen bzw. Lehren von Geometrie)* vorgestellt. Im selben Jahr kam das Computer-Algebra-System *Derive* auf den Markt. Parallel zu dieser Entwicklung nahm die Beliebtheit grafischer Taschenrechner im anglo-amerikanischen Raum in hohem Maße zu, während in Deutschland die Skepsis gegenüber Bedienerfreundlichkeit und schlechter Grafikauflösung dieser Rechner überwog.

Trotz zahlreicher Vorschläge für den Computereinsatz im Unterricht gab es jedoch nur wenige aussagekräftige empirische Untersuchungen und damit Leitlinien für eine vorausschauende Planung. In den 90er-Jahre ist eine Flut von Lernprogrammen zu verzeichnen, deren Wirkung nach Weigand und Weth (2002, S.8) aber fragwürdig blieb: Im Unterricht wurden sie demnach nur als kurzzeitige Abwechslung eingesetzt, und auch zu Hause arbeiteten Schülerinnen und Schüler nach anfänglicher Euphorie nur noch sehr wenig mit diesen Programmen. Ebenso blieben Tutorielle Systeme eine Randerscheinung. Erste Raumgeometrieprogramme wurden entwickelt, deren Bedienungs- und Darstellungsmöglichkeiten aber noch sehr begrenzt waren. Zudem gab es die ersten nach didaktischen Gesichtspunkten konstruierten Programme für die Grundschule.

Mit dem Aufkommen der ersten Taschencomputer wurden dann ähnlich große Erwartungen verknüpft wie zuvor bei den arithmetischen Taschenrechnern. Es wurden Diskussionen darüber geführt, was mit Inhalten und Prüfungen im Mathematikunterricht geschehen solle, wenn mit dem Taschencomputer ein Gerät für gerade jene kalkülhaften Berechnungen zur Verfügung stünde, die im Mathematikunterricht und in Prüfungen zu den zentralen Elementen zählten. 1999 wurde in Sachsen erstmalig ein Zentralabitur mit Taschenrechner geschrieben.

Weigand und Weth (2002) resümieren an dieser Stelle wie folgt:

Hinsichtlich der Auswirkungen des Computereinsatzes auf Ziele, Inhalte und Methoden des Unterrichts sind die Erwartungen heute allerdings auf ein realistisches Maß begrenzt: Es findet keine Revolution im Mathematikunterricht aufgrund der Existenz eines neuen Werkzeuges statt, die Evolution oder sukzessive sinnvolle Integration neuer Technologien wird aber fortschreiten. (Weigand und Weth, 2002, S.10)

Neue Werkzeuge - anderes Denken

In der Geschichte der Mathematik lassen sich immer wieder Beispiele finden, in denen Werkzeuge neue oder zumindest andere Denk- und Arbeitsweisen initiierten. Einige dieser Beispiele wurden weiter oben bereits beschrieben: So ermöglichten Stellenwertsysteme das Durchführen schriftlicher Rechenverfahren, und Rechenmaschinen ersetzten das Kopfrechnen durch das Denken in Handlungsabläufen. Die Modularisierung arithmetischer Operationen, die mit dem Einsatz des Taschenrechners verbunden ist, setzt sich beim Arbeiten mit dem Computer auf algebraische und geometrische Objekte fort (Weigand und Weth, 2002, S.11).

Weigand und Weth (2002, S.11) deuten einen Wandel bei der Computernutzung an: Demnach wird die Handhabung von Computersystemen zunehmend einfacher sein, so dass weniger das Erlernen der *Bedienung* eines technischen Gerätes im Vordergrund stehen wird, sondern vielmehr die sinnvolle *Nutzung* bei (mathematischen) Problemstellungen:

Dabei wird die Bedeutung kalkülorientierter Fertigkeiten oder handwerklicher mathematischer Rechenfertigkeiten abnehmen, wohingegen Fähigkeiten wie das Mathematisieren, das Entwickeln von Algorithmen, das Interpretieren von Lösungen, das numerische Experimentieren und Arbeiten mit grafischen Darstellungen zunehmend wichtiger werden. (Weigand und Weth, 2002, S.11)

Die zentrale Aufgabe neuer Technologien in der Schule besteht nach Weigand und Weth (2002, S.11) somit darin, diese veränderten Arbeits- und Denkweisen für das Verstehen von Mathematik zu nutzen, und zwar sowohl hinsichtlich des Ergebnisses bzw. *Produktes* des Lernens im Sinne begrifflich mathematischen Wissens und Könnens als auch des *Prozesses* dieser Entwicklungen. Ein wesentlicher Aspekt sollte dabei sein, dass Schülerinnen und Schüler lernen, eine eigene Entscheidung hinsichtlich eines sinnvollen Einsatzes von Werkzeugen zu treffen. Dies setzt zum einen grundlegende Kenntnisse über die Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen Werkzeuge voraus, zum anderen erfordert es ein Erkennen der engen Wechselbeziehung zwischen Werkzeug und mathematischer Problemstellung. Insbesondere davon betroffen ist der adäquate Einsatz der Werkzeuge Papier und Bleistift, Taschenrechner, Grafischer Taschenrechner, Computer und Internet (Weigand und Weth, 2002, S.11).

Bei allen Möglichkeiten, die die neuen Werkzeuge für die Mathematik und den Mathematikunterricht bieten, sollte nach Weigand und Weth (2002) aber nicht vergessen werden,

[...], dass der Einsatz eines Werkzeugs kein Selbstzweck ist, sondern dass es die Ziele des Unterrichts sind, die seinen Einsatz rechtfertigen und dass es die Art und Weise des Einsatzes ist, die ein Werkzeug zu einem sinnvollen pädagogischen Werkzeug werden lässt. (Weigand und Weth, 2002, S.11)

1.5.3 Mathematik und Computer im Speziellen

Hinsichtlich der Frage, wo und wie genau Computer und entsprechende Software in der Mathematik eingesetzt und genutzt werden, lassen sich verschiedene Bereiche voneinander abgrenzen. Dabei sind die Übergänge oft recht fließend bzw. setzen viele mediale Angebote gleichzeitig mehrere Aspekte um. Die verschiedenen Bereiche sollen hier grob skizziert werden, um einen ersten Eindruck des vielfältigen Einsatzes von Computern in der Mathematik aufzuzeigen. Weitere und detailliertere Differenzierungen und Ausführungen finden sich in den folgenden Kapiteln, vor allem in den Kapiteln 4 bis 6.

▷ ALLGEMEINE, NICHT-FACHSPEZIFISCHE DIGITALE WERKZEUGE

Wie in anderen Fächern auch, kommen natürlich auch in der Mathematik allgemeine, nicht-fachspezifische digitale Werkzeuge zum Einsatz wie beispielsweise Text- und Bildverarbeitungsprogramme, Visualisierungs- und Präsentationsmedien, Simulationsprogramme, Medien zur Erfassung, Bearbeitung und Darstellung von Mess- oder Realdaten, Programme zur strukturierten Recherche sowie Programme zur Kommunikation und Kooperation im Intra- und Internet.

▷ FACHSPEZIFISCHE DIGITALE WERKZEUGE

Neben den allgemeinen digitalen Werkzeugen gibt es speziell für das Fach Mathematik ein breites Spektrum an digitalen Werkzeugen mit besonderer mathematischer Relevanz: Hierzu zählen die bereits in Kapitel 1.3, S.39, erwähnten drei zentralen Programmtypen *Tabellenkalkulationsprogramme*, *Computer-Algebra-Systeme*, und *dynamische Geometriesoftware*. Nach Barzel, Hußmann und Leuders (2005, S.32) sind diese digitalen Werkzeuge somit kognitive Hilfsmittel, die den Nutzer nicht im Sinne einer programmierten Unterweisung entmündigen, sondern ihm als Plattform dienen, die jeweilige Problemstellung zu erfassen, darzustellen oder zu bearbeiten.

▷ LERNUMGEBUNGEN UND LERNSOFTWARE

Wie für andere Fächer auch, gibt es natürlich auch speziell für das Fach Mathematik gestaltete Lernumgebungen und Lernsoftware (zur Definition und Vielschichtigkeit dieser Begriffe siehe Kapitel 4, insbesondere Kapitel 4.1 und Kapitel 5, insbesondere Kapitel 5.4).

▷ PROBLEMORIENTIERTE PROGRAMME

Darüber hinaus lassen sich solche Programme abgrenzen, die ganz bewusst für ein bestimmtes mathematisches Problem oder Thema geschrieben worden sind. Ein Beispiel hierfür wäre das im vorigen Abschnitt erwähnte Programm zur Lösung des Vierfarben-Problems.

▷ INTERNET

Schließlich ist auch das Internet aufzuführen: Zum einen stellt es mittlerweile private wie öffentliche mathematische Nachschlagewerke zur Verfügung (wie beispielsweise Wikis, siehe hierzu Kapitel 1.4.5, S.49), zum anderen unterstützt es fachliche Kommunikation auf unterschiedlichen mathematischen Niveaus.

Die hohe Affinität des Computers zu den Inhalten und Methoden des Faches Mathematik spielt zudem eine besondere Rolle: Viele der typisch mathematischen Arbeitsweisen, wie beispielsweise der Umgang mit symbolischem Kalkül, erhalten durch die Verfügbarkeit des Computers eine neue Qualität. Zahlen und Daten können in großen Mengen und oft in Sekundenschnelle verarbeitet werden. Dies bedeutet letztlich, dass die Veränderungen, die sich durch einen Einsatz des Computers ergeben, das mathematische Tun im Mathematikunterricht an seiner Wurzel betreffen. Wenn Kurvendiskussionen per Mausklick ausgeführt und damit gleichzeitig die entsprechenden Graphen und Ableitungen dargestellt werden können, wenn Terme automatisch umgeformt und Gleichungssysteme in wenigen Sekunden vom Computer gelöst werden können, wenn Graphen und geometrische Konstruktionen mit dem Computer gezeichnet werden können, dann ergibt sich daraus die Frage, inwieweit solche Fertigkeiten noch händisch ausgeführt werden sollten. Dies führt letztlich zu der Frage nach einer Umstrukturierung von Mathematikunterricht.

1.5.4 Die Trias TK - CAS - DGS

Tabellenkalkulationen (TK), *Computer-Algebra-Systeme (CAS)* und *Dynamische Geometriesoftware (DGS)* zählen wie soeben beschrieben zu den digitalen Werkzeugen, verdienen aber insofern eine besondere Beachtung, als sie sich innerhalb der digitalen Werkzeuge als eine Trias abzeichnen, die in den klassischen mathematischen Themenbereichen alle zurzeit wesentlichen Funktionen übernehmen können.

Gleichzeitig präsentieren diese drei Systeme verschiedene mathematische Darstellungsformen: Tabellenkalkulationen präsentieren eine *numerisch-tabellarische*, Computer-Algebra-Systeme vorrangig eine *algebraisch-symbolische* und Dynamische Geometriesoftware in erster Linie eine *grafisch-visuelle* Darstellung. Dabei sind die einzelnen Programmtypen nicht auf die jeweilige Darstellungsform beschränkt. Ganz im Gegenteil erlauben sie mehr und mehr einen direkten Wechsel zwischen parallelen Darstellungen ein und desselben mathematischen Objekts wie beispielsweise zwischen Term, Graph und Tabelle. Diese Entwicklung wird auch bei dynamischer Geometriesoftware deutlich: Diente sie zunächst vorrangig dazu, geometrische Konstellationen zu zeichnen und diese Zeichnungen dynamisch verändern zu können,

so besitzen sie heute meist ein Vielfaches an weiteren Funktionen. So kann zum Beispiel die dynamische Geometriesoftware *Cinderella* in Version 2 nun auch Funktionen zeichnen und besitzt eine Physiksimulation sowie eine eigene Skriptsprache (dynamische Geometriesoftware und insbesondere *Cinderella* werden in Kapitel 6, insbesondere Kapitel 6.4, Kapitel 6.4.1 und Kapitel 6.4.3 vertiefend behandelt).

Generell ist auf die Möglichkeit des Programmierens von neuen, komplexen Funktionen und interaktiven Prozeduren mittels beigefügter Skriptsprache sowohl bei Computer-Algebra-Systemen als auch neuerdings bei dynamischer Geometriesoftware hinzuweisen. Dies bietet vor allem Lehrenden vielfache, für den jeweiligen Themenbereich sehr spezifisch zugeschnittene Gestaltungsmöglichkeiten.

Während es schon heute Programme gibt, die die drei Programmtypen Tabellenkalkulation, Computer-Algebra-System und dynamische Geometriesoftware vereinen und dabei einen gemeinsamen Grafikbereich nutzen, deutet sich nach Barzel et al. (2005, S.36) auch ein Zusammenwachsen dieser Bereiche im didaktischen Bereich an. Auf didaktischer Ebene erlaubt das Umschalten zwischen verschiedenen Darstellungsformen eine Vernetzung zwischen den mathematischen Themengebieten. So lassen sich etwa mathematische Probleme parallel geometrisch, numerisch oder algebraisch darstellen und bearbeiten.

Tabellenkalkulationen, Computer-Algebra-Systeme und Dynamische Geometriesoftware erlauben nicht nur die statische und dynamische Visualisierung mathematischer Sachverhalte, sondern auch ein sehr freies Arbeiten mit mathematischen Objekten und Daten. Sie ermöglichen zum einen die in Kapitel 1.5.2 erwähnte mathematische Interaktion zwischen Mensch und Computer, lassen sich aber zum anderen auch gezielt in Lernsoftware einbinden.

1.5.5 Computereinsatz im Mathematikunterricht: Chancen und Risiken

Wird der Computer in den Mathematikunterricht integriert, ergeben sich, wie in den vorherigen Abschnitten dargestellt, neue Möglichkeiten, gleichzeitig aber auch damit verbundene Fragen nach den Vor- und Nachteilen dieser neuen Möglichkeiten. Barzel, Hußmann und Leuders (2005, S.38ff.) geben in stark komprimierter Form einen Überblick über Chancen und Hoffnungen des Computereinsatzes im Mathematikunterricht auf der einen Seite, sowie Risiken und Möglichkeiten zu deren Vermeidung auf der anderen Seite (siehe Abbildung 1.11). Sie betonen die Unvollständigkeit der Tabelle und wählen sie als Ausgangspunkt für eine weitere Entfaltung der einzelnen Argumente. Auch hier soll diese Tabelle einen ersten Überblick über mögliche Aspekte des Computereinsatzes geben. Auf die insbesondere für die Gestaltung von mathematischen Lernumgebungen relevanten Punkte wird in den folgenden Kapiteln vertiefend eingegangen.

Voraussetzung für eine Thematisierung von Chancen und Risiken vom Computereinsatz im Mathematikunterricht ist zunächst eine Klärung der Ziele von Mathematikunterricht. Erst wenn diese Ziele festgelegt sind, kann entschieden werden, ob oder in welcher Form der Einsatz von Computern ein Erreichen dieser Ziele unterstützt oder

CHANCEN UND HOFFNUNGEN	RISIKEN UND ABHILFE
Entlastung von Kalkül und Algorithmen Durch die Abgabe komplexer Rechnungen und Zeichnungen werden ganz neue Aufgabenformate denkbar, insbesondere können Realdaten viel stärker einbezogen und komplexe Modellierungen durchgeführt werden, ohne sich in aufwändigem Kalkül zu verlieren. Kalkülorientierte Aufgabenformate (z. B. Funktionsdiskussion) werden sinnlos, Freiräume für inhaltliches Argumentieren und authentisches Problemlösen werden geschaffen.	Weniger Verständnis für die Funktion dieser Algorithmen Werden bestimmte Algorithmen (z.B. Differenzieren, Integrieren) nur noch vom Rechner ausgeführt, da sie lediglich im Kontext komplexer Aufgaben vorkommen, können händische Fertigkeiten verloren gehen. Hier gilt es, gezielt auch solche Aufgabenformate einzubeziehen, die das Verständnis für die verwendeten Algorithmen erfordern. Dass schwachen Schülern ein Kalkül fehlt, an dem sie sich auch ohne Verstehen festhalten können, ist kein Argument gegen den Computer, sondern für eine Umorientierung des Unterrichts.
Interaktivität und „Dynamik“ Der Computer reagiert unmittelbar auf Nutzereingaben: Veränderungen in einem Bereich ziehen unmittelbar Veränderungen in einem anderen Bereich nach sich. Wird zum Beispiel ein Term verändert, verändert sich die Grafik direkt mit. Die Auswirkungen des eigenen Handelns können so direkt erlebt werden, funktionales Denken wird durchgehend gestärkt, erkundendes Arbeiten unterstützt.	Beschleunigung Die technische Beschleunigung der Prozesse birgt die Gefahr, dass zu wenig Raum und Zeit bleibt, neue Erkenntnisse zu verarbeiten. Schnelles Verändern verhindert Reflexion und leistet Versuch-und-Irrtum-Strategien Vorschub. Die Unmittelbarkeit des Erlebens kann Reflexion blockieren. Um dem entgegen zu wirken, können Reflexionsprozesse systematisch eingefordert werden (z.B. Lerntagebücher, Protokolle), die prinzipiell möglichen Funktionen des Computers müssen nicht ausgenutzt, sondern können stattdessen „entschleunigt“ werden.
Visualisierung Die statischen und dynamischen Visualisierungsmöglichkeiten bieten eine Vielfalt zusätzlicher Veranschaulichungsmöglichkeiten. Der Lernende kann zudem Darstellungsformen wählen und Wechselbeziehungen zwischen ihnen erleben.	Bilderflut In Zeiten medialer Überflutung besteht die Gefahr des Abstumpfens, des nur oberflächlichen Wahrnehmens von Bildern. Visualisierungen sollen nicht gefällige methodische Tricks des Lehrers sein, sondern als Werkzeug des Denkens vom Schüler genutzt werden. Sie dürfen auch nicht als virtuelles Surrogat echte handelnde und begreifende Lernsituationen verdrängen. Zudem muss der kritisch-distanzierte Umgang mit Bildern gefördert werden.
Beispielgenerator Mit Computern können Lernende selbstständig eine Vielzahl von Beispielen als Ausgangspunkt für Begriffsbildungen, Problemlösungen oder Vermutungs- und Begründungsfindungen erzeugen. Das fördert das erkundende und problemlösende Arbeiten an offenen Problemen sowie das experimentelle, explorierende Arbeiten, das induktive Schließen und das funktionale Denken.	Unübersichtlichkeit Die Vielzahl zugänglicher Beispiele kann unübersichtlich und chaotisch werden. Das beliebige Erzeugen von Beispielen kann das gezielte und systematische Arbeiten verhindern, Quantität kann Qualität überwuchern. Die visuelle oder empirische Evidenz kann Begründungen überflüssig erscheinen lassen. Das reflektierte und systematische Arbeiten mit Beispielen (die bislang im Mathematikunterricht nicht so leicht zur Verfügung standen) muss gefördert und eigens geübt werden.
Wissenschaftspropädeutik Die mathematische Software und der Umgang mit ihr sind eng verwandt mit der Qualität der Nutzung in der Wissenschaft. Unterricht, insbesondere das vermittelte Mathematikbild gewinnt an Authentizität, der Übergang von der Schulmathematik zur Nutzung von Mathematik in vielen Hochschulfächern kann organischer vonstatten gehen.	Überforderung durch Komplexität Bedienungsumgebungen, die nicht unter dem Primat der didaktischen Anwendung konzipiert sind, können den Lernenden in ihrer Komplexität überfordern (z.B. der Funktionsersatz und die Eingabeformate bei CAS). Didaktische „Interfaces“ (konfigurierbare Panels, didaktische Makros usw.) können dies abmildern.
Medienkompetenz Das selbstständige Wählen geeigneter Medien und Werkzeuge kann das reflektierte Umgehen mit Medien stärken.	Medienabhängigkeit Medien und ihre Darstellungen beeinflussen auch das Denken, Begriffe können sich durch die Mediennutzung verändern. Hier ist im Einzelfall didaktisches Feingefühl der Lehrperson gefragt.

Abbildung 1.11: Chancen und Risiken des Computereinsatzes im Mathematikunterricht (Barzel, Hußmann und Leuders, 2005, S.38ff.)

verhindert. Weigand und Weth (2002, S.13ff.) geben in diesem Zusammenhang einen historischen Überblick über die Ziele von Mathematikunterricht. Demnach lassen sich in seiner gesamten Geschichte, beginnend bei den griechischen und römischen Schulen bis in die heutige Zeit, zwei Ziele dokumentieren: zum einen das Erlernen mathematischer *Fertigkeiten für den praktischen Gebrauch* im täglichen Leben und Beruf, zum anderen das *Vermitteln einer formalen Bildung* oder das Aufzeigen von *Prozesszielen*. Weigand und Weth (2002) halten darum fest:

Als Folgerung aus den retrospektiven Betrachtungen ergibt sich, dass beide Kategorien, die mathematisch-inhaltliche Fragen betreffende inhaltliche und die auf Prozessziele des Unterrichts ausgerichtete formale Bildung zwei Säulen des Mathematikunterrichts darstellen. Der Einsatz neuer Technologien muss insbesondere im Hinblick auf die Verwirklichung dieser beiden Ziele untersucht werden. (Weigand und Weth, 2002, S.15)

1.6 Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen

Für den Kontext speziell mit dem Computer medial aufbereiteter Lernumgebungen ergeben sich aus den obigen Ausführungen zunächst zwei allgemeine Anregungen: Zum einen sollten die fünf formalen Aspekte des in Kapitel 1.3 vorgestellten Multi-Mediakonzepts für Lernumgebungen Berücksichtigung finden; zum anderen sollte die in Kapitel 1.5 dargestellte Vielschichtigkeit der Mathematik soweit als möglich einbezogen bzw. ein Bewusstsein dafür entwickelt werden, welche mathematik-spezifischen Aspekte in der Lernumgebung tatsächlich eine Umsetzung finden. An dieser Stelle soll nun jedoch nicht auf die unterschiedlichen Arten so genannter *Lernsoftware* eingegangen werden (zur Beschreibung und Vielschichtigkeit dieses Begriffes siehe Kapitel 5.4). Stattdessen sollen hier speziell hinsichtlich des Medienaspektes ableitbare Aspekte für insbesondere mit dem Computer medial aufbereitete mathematische Lernumgebungen näher betrachtet werden: Dabei ist im Besonderen für das Fach Mathematik der Einsatz des Computers sowohl als *Medium* als auch als *Werkzeug* hervorzuheben. Speziell im Kontext medialer mathematischer Lernumgebungen wird darauf hier im Folgenden noch einmal eingegangen. Gleichzeitig wird der besondere Einsatz von Medien in der Mathematik diskutiert.

1.6.1 Der Computer als Medium und Werkzeug

Wie die bisherigen Kapitel gezeigt haben, kann der Computer sowohl als *Medium* als auch als *Werkzeug* verstanden werden. Im Kontext von Mathematikunterricht ordnen Weigand und Weth (2002) dabei eindeutig die Funktion des Computers als Medium den Lehrenden, die Funktion des Computers als Werkzeug den Lernenden zu:

Lehren zielt auf das Handeln des Lehrers, Lernen ist eine Tätigkeit des Schülers [...]. Beide Aspekte zeigen sich auch beim Einsatz neuer Technologien, dem Computer als Medium in der Hand des Lehrers einerseits und als Werkzeug des Schülers andererseits. (Weigand und Weth, 2002, S.13)

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Werkzeuge auch immer insofern eine didaktische Komponente besitzen, als der Einsatz von ihnen geplant und der Umgang mit ihnen gelernt werden muss. Weigand und Weth (2002) sind jedoch der Meinung, dass die Bedienung von Programmen und insbesondere mathematischer Software mit zunehmender Entwicklung immer einfacher werden wird und zudem mit einer Annäherung der Computernotation an die mathematische Notation zu rechnen ist. Darum sollte nach Weigand und Weth (2002) nicht die Technik an sich, sondern immer zuerst das mathematische Problem im Vordergrund stehen:

[...] dass auch bei der Diskussion um den Einsatz neuer Technologien im Mathematikunterricht zunächst ein mathematisches Problem im Mittelpunkt des Interesses stehen muss und erst dann überlegt werden kann, ob und welche Werkzeuge bei der Problemlösung sinnvoll erscheinen. [...]

Das zentrale Problem stellt die sinnvolle Benutzung eines Programmes dar, die Auswahl des richtigen Werkzeuges, die werkzeugadäquate Modellierung und die Interpretation der Ergebnisse. Eine derart sinnvolle Benutzung setzt inhaltliches Wissen, fachliches Können und formale Fähigkeiten und Fertigkeiten wie Ordnen, Strukturieren, Vermuten, Experimentieren voraus. (Weigand und Weth, 2002, S.XII)

Neue Werkzeuge bringen dabei auch immer neue Verfahren, Arbeits- und Denkweisen mit sich (siehe Kapitel 1.5.2), die es zu berücksichtigen und sinnvoll einzusetzen gilt.

Im Kontext speziell mit dem Computer medial aufbereiteter mathematischer Lernumgebungen lassen sich an dieser Stelle zwei Gesichtspunkte diskutieren: Zum einen ist die Frage zu klären, inwieweit der Computer hierbei die Funktion eines Mediums oder eines Werkzeugs innehat; zum anderen ist darüber nachzudenken, welche technischen, aber insbesondere auch welche nicht-technischen Möglichkeiten bei der Gestaltung einer solchen Lernumgebung nutzbar sind.

Die Beantwortung der Frage nach dem Medien- oder Werkzeug-Charakter einer medial aufbereiteten mathematischen Lernumgebung hängt zum einen von der Art der Lernumgebung, zum anderen von der eigenen Perspektive ab. Kapitel 4 setzt sich sehr detailliert mit dem Begriff der *Lernumgebung* und deren Gestaltungsmöglichkeiten auseinander, Kapitel 5 vertiefend mit den unterschiedlichen Formen so genannter *Lernsoftware*. Generell lässt sich bereits an dieser Stelle festhalten, dass in der Regel der Mediencharakter überwiegt, wenn das Ziel der Lernumgebung die Vermittlung eines bestimmten Themenbereiches im Sinne einer Unterrichtseinheit ist. Der Werkzeugcharakter steht im Vordergrund, wenn Software entweder

zum Einüben bestimmter Aufgabentypen verwendet wird oder freies, offenes Arbeiten ermöglicht wie beispielsweise der Einsatz von Tabellenkalkulationsprogrammen, Computer-Algebra-Systemen oder dynamischer Geometriesoftware. Je nach eigener Sichtweise kann aber auch ein geleiteter Kurs als Spezialwerkzeug aufgefasst werden, mit dessen Hilfe sich ein mathematisches Thema erarbeiten und erschließen lässt. Dabei geht es an dieser Stelle weniger darum, einzelne Lernumgebungen hinsichtlich ihres Medien- und Werkzeugcharakters genau zu klassifizieren, sondern vielmehr darum, diese unterschiedlichen Merkmalsausprägungen als solche hervorzuheben. Ihre bewusste Unterscheidung ist Voraussetzung, um bei der Erstellung einer konkreten Lernumgebung zu entscheiden bzw. darüber nachdenken zu können, welche der beiden Möglichkeiten im Vordergrund stehen soll bzw. inwieweit sich beide Merkmale sinnvoll ergänzen lassen.

Hinsichtlich des Einsatzes technischer Möglichkeiten sollte auch und gerade bei der Ausarbeitung mathematischer Themen im Rahmen einer medialen Lernumgebung das mathematische Thema und nicht die Verwendung technischer Spezialeffekte um der Effekte willen im Vordergrund stehen, zumal sich manche technische Umsetzung auch kontraproduktiv auf einen Lernerfolg auswirken kann. Kapitel 2 setzt sich hierzu speziell mit der Wirkweise von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität auseinander.

Gleichzeitig gilt es aber auch, die Möglichkeiten der neuen Technologien tatsächlich zu nutzen und zu integrieren. Darüber hinaus lässt sich darüber nachdenken, wie sich *mit dem Computer* ein Arbeiten und Lernen *ohne den Computer* realisieren lässt, um auch „Aspekte des haptischen Tuns“ in die Lernumgebung einzubeziehen.

1.6.2 Besonderer Einsatz des Mediums Computer in der Mathematik

Der Computer ermöglicht die Integration vieler einzelner klassischer Medien wie Text, Bild, Film und Ton zu einem Ganzen. Kapitel 1.5.2 bis Kapitel 1.5.5 haben hier bereits ein breites Spektrum von Möglichkeiten aufgezeigt, wie sich der Computer sowohl als Werkzeug als auch als Medium innerhalb von Mathematik und Mathematikunterricht einsetzen lässt. Im Kontext der Gestaltung medialer mathematischer Lernumgebungen mit dem Computer sollen hier noch einmal die verschiedenen Möglichkeiten der *Visualisierung*, die schnelle Durchführung *komplexer Rechenarbeiten* sowie die Möglichkeiten der *Interaktivität* betont werden. Darüber hinaus wird auf weitere besondere Möglichkeiten des Computers als Medium eingegangen. Hierzu zählen die Einbindung *auditiver Elemente* und das *Erzählen*. Diese beiden Möglichkeiten werden in der Regel zwar eher selten genutzt, sind aber mit dem Medium Computer einfach zu realisieren. In der Literatur werden sie noch relativ wenig, aber teilweise auch zunehmend vermehrt berücksichtigt und diskutiert. Abschließend werden Überlegungen präsentiert, inwieweit sich auch echt *haptische Komponenten* im Rahmen einer mit dem Computer medial aufbereiteten mathematischen Lernumgebung realisieren lassen.

Visualisierung

Die Rechenleistung des Computers ermöglicht das Erstellen sehr komplexer und von Hand oft nur sehr aufwändig konstruierbarer Bilder und Diagramme in oft sehr kurzer Zeit. Dies erlaubt einerseits eine Vielzahl verschiedener Visualisierungen eines mathematischen Sachverhalts im Rahmen eines zu vermittelnden Themenbereichs sowie die Möglichkeit der Darstellung einer großen Anzahl verschiedenartiger und unter Umständen speziell auf die gegebene Lehrsituation zugeschnittener Beispiele. Wie in Kapitel 1.5.5 vorgestellt, ist dabei jedoch darauf zu achten, dass die charakteristischen Merkmale der einzelnen Beispiele wirklich wahrgenommen und Bilder nicht nur um der Bilder willen eingesetzt werden.

Dabei lässt sich darüber diskutieren, wann genau eine mathematische Illustration als *Bild* und wann sie als *Diagramm* zu bezeichnen ist. Abhängig vom mathematikphilosophischen Hintergrund (siehe Kapitel 1.5.1, S.54) ist der Übergang vom Bild zum Diagramm im Sinne der in Kapitel 1.2.4 vorgestellten Unterscheidung recht fließend. Kapitel 2, insbesondere Kapitel 2.3.7 setzt sich vertiefend mit den verschiedenen Funktionen von Bildern und ihrer Gestaltung auseinander.

Mit *Animation* und *Simulation* (zur genauen Abgrenzung dieser beiden Begriffe siehe Kapitel 5.4.4) sind zudem zwei Visualisierungsmöglichkeiten gegeben, die insbesondere die dynamische Darstellung sehr komplexer mathematischer Sachverhalte erlauben, die in starren Bildern nur schwer darstellbar und nachvollziehbar sind. Animation und Simulation erlauben beide zudem einen Wechsel der Perspektive auf ein und dasselbe mathematische Objekt, wodurch beispielsweise mathematische Körper in ihrer Dreidimensionalität erfahren werden können. Simulationen ermöglichen darüber hinaus ein direktes Beobachten von durch den Lernenden veränderten Parametern.

Andererseits ermöglicht die schnelle Generierung von Bildern mithilfe des Computers insbesondere auch dem Lernenden eine direkte Visualisierung eigenen mathematischen Tuns, insbesondere die Generierung und Darstellung mathematischer Modelle. Bei der Erstellung solcher Darstellungen mithilfe des Computers wird die Auseinandersetzung des Lernenden mit dem jeweiligen mathematischen Objekt beispielsweise durch Überlegungen zur geschickten Wahl geeigneter Koordinaten gefördert. Felix Klein (1849-1925) betont, wie wichtig das Selbstanfertigen von Modellen ist:

Wie heute, so war auch damals der Zweck des Modells, nicht etwa Schwäche der Anschauung auszugleichen, sondern eine lebendige, deutliche Anschauung zu entwickeln, ein Ziel, das vor allem durch das Selbstanfertigen von Modellen am besten erreicht wird. (Klein, 1950, S.78)

Der Computer bietet hier beispielsweise im Rahmen spezieller Visualisierungssoftware oder dynamischer Geometriesoftware dem Lernenden verschiedene Möglichkeiten an, sich selbst ein Bild eines mathematischen Sachverhalts zu erstellen und dabei seine eigene Anschauung zu vertiefen.

Komplexe Rechenarbeiten

Wenn der Computer aufwändige Rechenarbeiten per Knopfdruck übernehmen und als *Blackbox* zur Verfügung stellen kann, ist auch und gerade im Rahmen einer mit dem Computer aufbereiteten mathematischen Lernumgebung bewusst zu überlegen, welche Schwerpunkte bei der Inhaltsvermittlung gesetzt werden und inwieweit Rechenverfahren gelehrt oder eben einfach zur Verfügung gestellt werden. Vor- und Nachteile technisierter Berechnungen wurden bereits in Kapitel 1.5.2, S.58, im Zusammenhang mit Rechenmaschinen, Rechenschieber und Taschenrechner dargestellt.

Blackboxes können aber auch ganz bewusst und sehr gezielt für die Aufbereitung von Lernmaterial verwendet werden. Damit sind nicht nur die oben aufgeführten Berechnungen gemeint, sondern auch „geometrische Blackboxes“, die zum Beispiel im Rahmen einer dynamischen Geometriesoftware konstruiert und eingesetzt werden können und „auf Knopfdruck“ ein mathematisches Objekt auf bestimmte Art und Weise verändern. Der Lernende hat dann durch genaues Beobachten herauszufinden, was letztlich der Inhalt dieser Blackbox ist. Knipping und Reid (2005) zeigen einige Beispiele auf, wie mithilfe von *Schwarzen Kisten* Zusammenhänge erkundet werden können.

Interaktivität

Auf den oben angesprochenen Themenbereich der *Interaktivität* wird in Kapitel 6 eingehend eingegangen. An dieser Stelle soll Interaktivität als eine besondere Form des Mediencharakters von Computern hervorgehoben werden. Dabei bezieht sich der Begriff der Interaktivität grundsätzlich auf eine Interaktion zwischen Mensch und Computer.

Auditive Elemente

Die verschiedenen und in Kapitel 1.2.5 zusammenfassend dargestellten menschlichen Sinnesorgane bilden die Grundlage des in Kapitel 1.2.6 definierten Begriffes der *Multimodalität*. Mit diesem Begriff wird beschrieben, welche Sinnesmodalitäten ein mediales Angebot anspricht. Hierbei ist festzustellen, dass viele mediale Angebote und insbesondere mit dem Computer aufbereitete mathematische Lernumgebungen hauptsächlich den Sehsinn ansprechen. Eine Einbeziehung auditiver Elemente findet eher selten statt und ist - wenn überhaupt - bevorzugt in sehr spielerisch gestalteten Lernumgebungen für eher jüngere Altersstufen zu finden (siehe auch Kapitel 5.7 Mathematische Lernsoftware). Dabei kommt den auditiven Elementen meist auch nur eine ergänzende Funktion in Form einer Hintergrundmusik, eines Signals oder eines kurzen gesprochenen Satzes zu; zentrale Funktionen übernehmen gesprochene Texte in mathematischen Lernumgebungen kaum. In Kapitel 2, insbesondere in Kapitel 2.3.9 und Kapitel 2.3.10 wird jedoch dargestellt, dass auditiv dargebotene Texte den kognitiven Apparat in der Tat entlasten können, was zusätzliche Ressourcen für das eigentliche Lernen schafft. Dass dies insbesondere auch für mathematisches Lernen

gilt, zeigt Kapitel 2.3.11.

Erzählen

Generell wird das Medium Text in mit dem Computer aufbereiteten mathematischen Lernumgebungen sehr oft ausschließlich in Form erläuternder und erklärender Texte unter Verwendung mathematisch fachwissenschaftlicher Sprache eingesetzt. Selbst wenn mathematische Inhalte in den Kontext einer Abenteuergeschichte eingebettet sind, so ist die Umsetzung dieser Abenteuergeschichte meist eher grafisch als textlich realisiert und bezieht sich auf die Gestaltung der Rahmenhandlung. Die mathematischen Themen selbst werden in der Regel ausschließlich in Fachsprache dargestellt.

Im Rahmen der *Situated Cognition-Bewegung* (siehe Kapitel 3.2.5, S.176) wird eine vermehrte Einbettung der Lernsituation in Alltagssituationen gefordert. Die Beschreibung und Einbettung in solche Alltagssituationen führt zur Erstellung von *Geschichten* und somit letztlich zum *Erzählen*. Während den Richtlinien der Situated Cognition-Bewegung folgend diese Geschichten möglichst nah an der Gegenwart und dem Alltag der Lernenden orientiert sein sollen, ließe sich an dieser Stelle darüber nachdenken, inwieweit nicht auch *fantastische Geschichten* wie beispielsweise Märchen oder Science-Fiction-Geschichten, die bewusst in einer erfundenen Welt stattfinden, nicht ebenfalls einen Zugang insbesondere zur Mathematik erschließen können. Gerade solche Erzählungen bieten vielfältige Möglichkeiten, auf die Schönheit von Mathematik und ihr Wesen einzugehen. Kapitel 2.3.10 und Kapitel 3.2.9 nennen in diesem Zusammenhang einige Aspekte, anhand derer sich ein sinnvoller Einsatz auch und gerade solcher Geschichten ableiten lässt.

Neben der inhaltlichen Art und Form von Geschichten ist als weiterer Aspekt die Art und Form der Darstellung zu berücksichtigen, d.h. ob Geschichten besser in schriftlicher Form vorliegen oder auditiv dargeboten werden sollten. Kapitel 2.3.9 gibt hierzu einige Hinweise.

Haptische Komponenten

Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich mit dem Computer medial aufbereitete Lernumgebungen ausschließlich auf die im Computer integrierten Medien stützen und sich auch nur auf diese konzentrieren. Das Lernen mithilfe solcher Lernumgebungen setzt das kontinuierliche Vorhandensein des Rechners voraus und verlangt trotz aller zeitlichen und räumlichen Flexibilität eine Bindung des Lernenden an den Computer.

Sofern in diesem Zusammenhang überhaupt von einer haptischen Komponente gesprochen werden kann, besteht diese lediglich in der Bedienung und der damit verbundenen Berührung von Tastatur und Maus. Über eine Integration echt haptischer Komponenten lässt sich auf verschiedene Art und Weise nachdenken: Zum einen lässt sich überlegen, inwieweit die mit dem Computer technisch aufbereitete Darstellung von Wissensinhalten nicht zusätzlich bzw. alternativ in ausgewählten Teilen

auch über klassische Medien angeboten werden sollte. Dies betrifft in erster Linie die Möglichkeit, auf dem Bildschirm präsentierte Texte oder Bilder auch bewusst als Ausdruck zur Verfügung zu stellen, der in die Hand genommen und handschriftlich bearbeitet oder durch eigene Bilder und Skizzen ergänzt werden kann. Steht ein Scanner zur Verfügung, können diese selbst erstellten Markierungen und Bilder zum Beispiel in der Form eines elektronischen Notizbuches oder Arbeitsheftes wieder aufgenommen und in das Lernprogramm integriert werden. Dies ermöglicht ein durch den Computer initiiertes Arbeiten *ohne den Computer*, was individuellen Lernereigenschaften entgegenkommen kann.

Zum anderen lässt sich über ein durch den Computer initiiertes Arbeiten ohne Computer in einem erweiterten Rahmen nachdenken: Der Computer kann Material zur Verfügung stellen, das wirklich nur ohne den Computer genutzt werden kann. Hierzu gehören zum Beispiel Schnittmuster und Bastelbögen für mathematische Modelle. Auch wenn gerade der Computer die Darstellung mathematischer Körper und Modelle auf verschiedenste Art und Weise ermöglicht, bleibt eine Darstellung auf dem Computer zweidimensional. Im Sinne des oben aufgeführten Zitats von Felix Klein (siehe in diesem Kapitel S.70) über die Bedeutung der Selbstanfertigung mathematischer Modelle erscheint eine solche Möglichkeit der Anfertigung dreidimensionaler Modelle sinnvoll. Didaktische Prinzipien und Modelle, die ein aktives Tun des Lernenden fordern (siehe Kapitel 3 Didaktische Konzepte), unterstützen ebenfalls diesen Ansatz. Neben konkreten Schnittmuster- und Bastelbögen sind auch andere Anleitungen zur dreidimensionalen Modellerstellung denkbar: Dies können Anleitungen zur Erstellung mathematischer Körper in Origami-Technik oder aus anderen Materialien wie beispielsweise Gips, Knetmasse oder Pfeifenreinigern sein. Alltagsgegenstände wie beispielsweise Spiegelkacheln und Schlüsselringe können in mathematische Objekte verwandelt werden und Anleitungen zu deren Nachbau zur Verfügung gestellt werden. Wird diese Anleitung insbesondere wieder als Ausdruck angeboten, führt die Erstellung solcher dreidimensionalen Exponate zu einer echt haptischen Auseinandersetzung mit dem jeweiligen mathematischen Hintergrund.

Über den Bau von Modellen hinaus können im Rahmen einer Lernsoftware auch Spielideen oder entsprechend gestaltete Spielbretter zum Ausdrucken angeboten werden, die neben der haptischen zusätzlich eine soziale Komponente beinhalten. Ebenso sind Geschichten zum Lesen und Vorlesen oder auch Nachspielen in Form eines Theaterstückes denkbar.

Obige Ausführungen haben gezeigt, dass der Einsatz neuer Technologien insbesondere im Rahmen mit dem Computer medial aufbereiteter Lernumgebungen auf vielfältige Art und Weise möglich ist. Dabei spielt sowohl der Werkzeugcharakter als auch der Mediencharakter des Computers eine wichtige Rolle. Bezüglich des Mediencharakters wurde auf Darstellungsformen eingegangen, die sich in vielen medialen Angeboten finden; darüber hinaus wurden Erweiterungen bisheriger Umsetzungen diskutiert.

1.7 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Kapitel 1.1 und Kapitel 1.2 setzten sich eingehend mit dem Multimedia- und dem Medienbegriff auseinander: Daraus resultierte eine Aufgliederung des Multimediabegriffes in die fünf Aspekte *Medienaspekt*, *Anwendungsaspekt*, *Didaktisches Konzept*, *Interaktivität* und *Navigation*; im Rahmen des Medienaspektes spielten insbesondere *Medialität*, *Codierung* sowie *Sinnesmodalität* eine wichtige Rolle. In Kapitel 1.3 wurde daraus ein insbesondere für (mathematische) Lernumgebungen passendes Multimediakonzept konstruiert.

Kapitel 1.4 beschrieb im Anschluss daran *Hypertext* und *Hypermedia* als besondere Darstellungsmöglichkeiten des Mediums Computer.

Der Bezug zur Mathematik wurde in Kapitel 1.5 hergestellt: Einige wesentliche Grundzüge von Mathematik als Wissenschaft und als Unterrichtsfach wurden skizziert und vor diesem Hintergrund konkrete wie mögliche Formen des Computereinsatzes innerhalb der Mathematik aufgezeigt. Dabei wurden sowohl Chancen als auch Risiken genannt. Die Charakterisierung des Computers sowohl als Medium als auch als Werkzeug spielten zudem eine wichtige Rolle.

Kapitel 1.6 leitete daraus verschiedene Aspekte speziell für mit dem Computer medial aufbereitete mathematische Lernumgebungen ab. Dabei ging es nicht um die Klassifizierung so genannter Lernsoftware (diese wird in Kapitel 5.4 eingehend beschrieben), sondern vielmehr und gezielt um Möglichkeiten der Umsetzung des Medienaspektes im Rahmen einer solchen mathematischen Lernumgebung.

Kapitel 1 hat mit der Konstruktion eines Multimediakonzeptes speziell für (mathematische) Lernumgebungen die Grundlage für eine eingehende Beschreibung der verschiedenen Aspekte einer (mathematischen) Lernumgebung geschaffen. Die Möglichkeiten zur Umsetzung des ersten Aspektes, des *Medienaspektes*, wurden eingehend beschrieben. Ebenso wurde mit Hypertext und Hypermedia sowie mit der Unterscheidung von Medien- und Werkzeugcharakter auf den zweiten Aspekt, den *Anwendungsaspekt*, eingegangen.

Während Kapitel 1 sowohl konkret umgesetzte als auch mögliche Formen des Medieneinsatzes innerhalb der Mathematik aufgezeigt und somit verschiedene Formen von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität beschrieben hat, wird in Kapitel 2 nun deren Wirkweise näher untersucht, um Entscheidungen darüber treffen zu können, welche Arten des Medieneinsatzes nicht nur möglich, sondern auch sinnvoll sind.

Kapitel 2

Wirkweise von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität

Wie Kapitel 1 gezeigt hat, gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, Medien und insbesondere den Computer für die Gestaltung medialer Angebote im Kontext von Lehren und Lernen einzusetzen. Um einen Lernerfolg zu optimieren, ist die Forschung bestrebt, Wirkung und Nutzen der einzelnen Medien und somit Wirkung und Nutzen von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität herauszuarbeiten. Dieses Kapitel setzt sich mit genau diesen Wirkweisen auseinander.

Dazu gibt Kapitel 2.1 zunächst einen kurzen Einblick in Vorgehensweise und Schwierigkeiten der Medienforschung. Um überhaupt eine Aussage über Wirkweisen von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität treffen zu können, ist es notwendig zu wissen, wie *extern* dargebotene Informationen vom Empfänger *intern* verarbeitet werden. Dabei ist festzustellen, dass *externe Repräsentation* und *interne Repräsentation* von Informationen und Wissensinhalten nicht übereinstimmen müssen. Kapitel 2.2 beschreibt hierzu verschiedene Formen der *mental*en Repräsentation und stellt verschiedene Gedächtnistheorien vor: Die *Theorie der Doppelcodierung nach Paivio* (Kapitel 2.2.1), *Engelkamps multimodale Gedächtnistheorie* (Kapitel 2.2.2), *interne Codierungen und mentale Modelle* (Kapitel 2.2.3) sowie ein *integratives Modell des Text-, Bild- und Diagrammverstehens nach Schnotz* (Kapitel 2.2.4).

Vor diesem Hintergrund wird in Kapitel 2.3 auf die *Wirkweise von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität* im Einzelnen eingegangen: Kapitel 2.3.1 stellt hierzu zunächst einige verbreitete, aber dennoch letztlich *naive Annahmen wissenschaftlichen Erkenntnissen* gegenüber. Kapitel 2.3.2 nennt einige wichtige Aspekte zu *verbaler und piktorialer Lesefähigkeit*. Kapitel 2.3.3 bis Kapitel 2.3.8 reflektieren wissenschaftliche Ergebnisse im Zusammenhang der Verwendung von *Multicodalität* und *Multimodalität* sowie insbesondere der Verwendung, Verarbeitung und Gestaltung von *Texten, Bildern und Diagrammen*. Dabei werden diese Ergebnisse an mathematischen Beispielen erläutert. Im Weiteren konzentriert sich Kapitel 2.3.9 auf den Einsatz *auditiver Elemente* in medialen Angeboten. Mit den *Gestaltungsprinzipi-*

en nach Mayer (2005e) nennt Kapitel 2.3.10 aktuelle und sehr konkrete Prinzipien zur Gestaltung insbesondere mit dem Computer aufbereiteter medialer Angebote im Allgemeinen. Speziell für die Verwendung in mathematischen medialen Lernumgebungen werden in Kapitel 2.3.11 ebenfalls sehr konkrete Gestaltungsprinzipien vorgestellt und näher beschrieben.

Auf die besondere Wirkweise von *Hypertext* und *Hypermedia* geht Kapitel 2.4 ein. Kapitel 2.5 formuliert wesentliche Aspekte für die Gestaltung insbesondere mit dem Computer aufbereiteter mathematischer Lernumgebungen. Kapitel 2.6 fasst die zentralen Inhalte abschließend kurz zusammen.

2.1 Medienforschung

An neue Medien werden meist hohe Erwartungen hinsichtlich einer Verbesserung für das Lernen und Lehren geknüpft. Beispiele aus der Vergangenheit sind Radio, Film und Fernsehen, neuere Beispiele die Verwendung medialer Angebote in unterschiedlichen Abstufungen und Kontexten.

Nach Dörr und Strittmatter (2002, S.31f.) zeigt sich dabei immer wieder das gleiche Bild: Zunächst lösen das jeweilige neue Medium und seine didaktischen Möglichkeiten Begeisterung aus. Daraus resultiert in der Folge oft eine Durchführung von Vergleichsuntersuchungen, die die Überlegenheit des neuen Mediums zeigen sollen. Dabei werden entweder herkömmliches Lernen, d.h. in der Regel lehrergesteuerter Unterricht, mit mediengestütztem Lernen oder verschiedene Medien miteinander verglichen. In der Vergangenheit kamen diese Untersuchungen jedoch meist zu dem Ergebnis, dass sich zwischen herkömmlichem und mediengestütztem Unterricht oder zwischen verschiedenen Medien kein statistisch signifikanter Unterschied nachweisen ließ. Dabei wiederholt sich dieser Forschungszyklus bis in die Gegenwart jeweils mit dem Aufkommen eines neuen Mediums.

Clark (1983, 1994) sieht einen Grund für diese Ergebnisse darin, dass in derartigen Untersuchungen Medium und Lehrmethode miteinander konfundiert sind und insofern nicht mehr unterschieden werden kann, welche Wirkung die Methode und welche Wirkung das Medium hat.

Kozma (1991, 1994) gibt eine andere Erklärung: Seiner Meinung nach werden in solchen Untersuchungen Medien und Technologien nur hinsichtlich ihrer Oberflächenmerkmale klassifiziert und der Erfolg ihrer Verwendung ausschließlich über Testergebnisse erfasst. Dadurch würden die kognitiven, affektiven und sozialen Prozesse auf Seiten der Lernenden nicht berücksichtigt, was dazu führen würde, dass Medien nicht die erwarteten Lerneffekte zeigten. Er vermisst eine Beschreibung und Klassifikation der den Medien zugrunde liegenden Strukturen und Funktionen. Kozma (1991, 1994) macht eine Theorielosigkeit der Medienforschung sowie die Globalität der Fragestellungen dafür verantwortlich, dass bisher kaum anwendungsrelevante Ergebnisse erzielt worden sind.

An dieser Stelle wird somit noch einmal die Wichtigkeit eines klaren Medien- bzw. Multimediakonzeptes deutlich und vor allem auch eine Unterscheidung zwischen

dem Mediaspekt und dem didaktischen Konzept betont. Es ist wenig hilfreich, Medien als Ganzes miteinander zu vergleichen; vielmehr sollte die Wirkung der einzelnen Komponenten miteinander verglichen und untersucht werden. In Anlehnung an das in Kapitel 1.3 vorgestellte Medienkonzept ist also weniger die Frage danach zu stellen, wie ein Medium an sich wirkt, sondern stattdessen welchen Einfluss die einzelnen Aspekte Multimedialität, Multicodalität, Multimodalität, Hypertext- und Hypermedia, Interaktivität, Navigation sowie didaktisches Konzept nehmen.

Dieses Kapitel setzt sich im Folgenden vorwiegend mit dem Mediaspekt und der Wirkweise von Hypertext- und Hypermedia auseinander. Die anderen Aspekte werden in den nachfolgenden Kapiteln vertiefend dargestellt. Um auf die Wirkweise von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität eingehen zu können, ist zunächst eine Unterscheidung zwischen extern dargebotener Darstellung von Informationen und der *mentalen Repräsentation*, d.h. der internen Präsentation dieser Informationen sowohl bei deren Aufnahme, als auch bei deren Verarbeitung und Speicherung vorzunehmen.

2.2 Mentale Repräsentation

Dieser kognitionspsychologische Begriff soll erfassen, in welcher Qualität die sensorisch aufgenommenen Daten im Verlauf der Sinnentnahme, des Wissenserwerbs und der Speicherung verarbeitet werden. Dabei sind drei Ebenen zu unterscheiden: Zunächst liegt die Information in einer *externen Codierung* vor. Diese wird dann vom Lernenden aufgenommen und *intern verarbeitet*. Dies führt zu einer *internen Codierung und Speicherung* der Information.

Aebli (1993, Originalausgabe 1980) sowie Strittmatter und Seel (1984) sprechen in diesem Zusammenhang von *internen Medien*, andere Autoren verwenden Begriffe wie *mentale Repräsentation*, *mentales Format* oder *Verarbeitungssystem*.

Fast alle unterscheiden dabei zwei qualitativ verschiedene Verarbeitungssysteme, die miteinander interagieren: ein Verarbeitungssystem für die Verarbeitung von Sprache und eines für bildhafte Eindrücke. Für die Interaktion dieser beiden Systeme gibt es verschiedene Theorien. Einige wichtige Beispiele solcher Theorien werden im Folgenden dargestellt.

Von großer Bedeutung ist generell die Erkenntnis, dass die äußere Form einer Darstellung nicht direkt mit der Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung der präsentierten Inhalte beim Lernenden korreliert. Ein bildhafter Reiz muss durchaus nicht nur „bildhaft“ verarbeitet und gespeichert werden (Zimmer, 1993). Das Gehirn nutzt eine Vielzahl von Codierungsmöglichkeiten und setzt diese je nach Bedarf flexibel ein (Kolars und Brison, 1984).

2.2.1 Die Theorie der Doppelcodierung nach Paivio

Diese Gedächtnistheorie geht wie viele andere Gedächtnistheorien davon aus, dass Informationen in Abhängigkeit ihrer Codierung von unterschiedlichen kognitiven

Systemen verarbeitet werden.

Dabei geht Paivio (1971, 1986) in seiner Theorie der Doppelcodierung von zwei verschiedenen Systemen aus: einem verbalen System zur Verarbeitung sprachlicher Informationen und einem imaginalen System zur Verarbeitung bildhafter Informationen. Demnach werden Sätze und Texte meist nur im verbalen System, Bilder dagegen grundsätzlich imaginal und verbal encodiert.

Die empirisch umfangreich erforschte Theorie der Doppelcodierung zeigt einen Gedächtnisvorteil, wenn Inhalte im *mental*en *Repräsentationssystem* des Rezipienten sowohl eine verbale als auch eine imaginale und somit eine „doppelte“ Codierung erfahren.

Zu beachten ist dabei jedoch, dass diese interne Codierung nicht mit der externen Codierung übereinstimmen muss. So kann die Abbildung eines Gegenstandes neben einer bildhaften auch eine verbale Repräsentation im Lernenden auslösen, ein Wort neben der verbalen auch eine bildhafte.

2.2.2 Engelkamps multimodale Gedächtnistheorie

Engelkamp (1990, S.39–119) stellt ein weitaus komplexeres Modell der internen Verarbeitung vor (siehe Abbildung 2.1). Wie Paivio (1986) unterscheidet auch er ein nonverbales und ein verbales System. Jedes dieser beiden Systeme gliedert sich dann jedoch weiter in ein *sensumotorisches* und ein *konzeptuelles System*.

Der Begriff *sensumotorisch* (oder auch *sensomotorisch*, Engelkamp (1990) verwendet erstere Schreibweise) bezieht sich dabei darauf, dass ein Mensch etwas über seine Sinne und damit sensorisch wahrnimmt, darauf handelnd bzw. motorisch reagiert und wiederum die Wirkung seines Verhaltens sensorisch wahrnimmt.

Insofern korrespondiert das *sensumotorische System* jeweils mit der Umwelt, zum Beispiel nonverbal durch Wahrnehmen von Bildern oder verbal durch Lesen eines Textes. Ganz allgemein geschieht die Interaktion mit der Umwelt beim nonverbalen sensumotorischen System über *Wahrnehmen und Handeln*, beim verbalen sensumotorischen System über *Hören und Lesen* sowie *Sprechen und Schreiben*.

Entscheidend sind in beiden sensumotorischen Systemen die so genannten *Marken*: Sie repräsentieren die aus der Umwelt aufgenommenen Eindrücke im kognitiven Apparat. *Bildmarken* repräsentieren im nonverbalen System das Erscheinungsbild wie beispielsweise Form, Farbe und Textur von Objekten und Ereignissen. Die *Wortmarken* im verbalen System sind modalitätsspezifisch, d.h. es gibt *akustische Wortmarken* (*Phonemik*) beim Hören von Sprache und *visuelle Wortmarken* (*Graphemik*) beim Lesen.

Marken und *Programme* innerhalb der beiden sensumotorischen Systeme lassen sich wie folgt unterscheiden: Marken sind die Einheiten des sensorischen Wissens, Programme sind die Einheiten des motorischen Wissens.

Das *konzeptuelle System* kommuniziert nun jeweils mit dem sensumotorischen System und bestimmt die eigentliche Bedeutung der wahrgenommenen und dargestellten Inhalte, also deren semantische Information. Das konzeptuelle System repräsen-

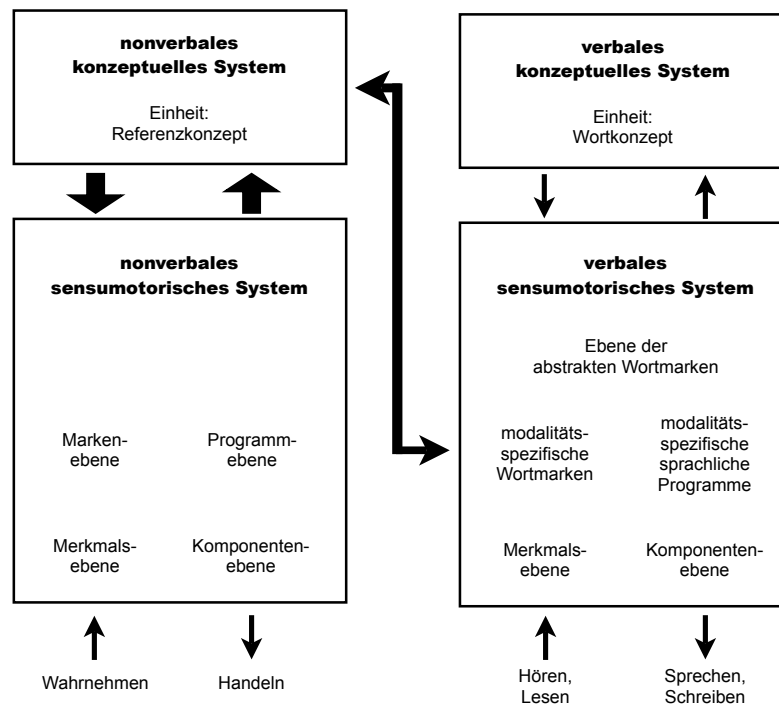


Abbildung 2.1: Grundstruktur der multimodalen Gedächtnistheorie nach Engelkamp (1990, S.62)

tiert somit Wissensstrukturen. Die Einheit des nonverbalen konzeptuellen Systems ist dabei das *Referenzkonzept*, das Wissen über den wahrgenommenen Gegenstand. Die Einheit des verbalen konzeptuellen Systems ist das *Wortkonzept*, das begriffliche Wissen in Form von Propositionen.

In diesem Modell gibt es nun eine entscheidende Querverbindung von den modalitätsspezifischen Wortmarken des verbalen sensumotorischen Systems zu den Referenzkonzepten des nonverbalen konzeptuellen Systems. Dies bedeutet, dass Wortmarken auch eher Zugang zum gegenstandsbezogenen Wissen haben als zum begrifflichen propositionalen Wissen.

Die Stärke der Verbindungslinien ist dabei bewusst gewählt: Sie soll hervorheben, dass diese Verbindung von den Wortmarken zu den nonverbalen Referenzkonzepten bedeutsamer ist als die Verbindung von den Wortmarken zu den verbalen Referenzkonzepten. Noch enger als diese Verbindung ist darüber hinaus die Verbindung zwischen dem nonverbalen sensumotorischen System und den nonverbalen Konzepten.

Engelkamp (1990) postuliert, dass sensorische Eigenschaften von Objekten in jedem Fall in Bildmarken repräsentiert werden. Dabei können Teile dieser Eigenschaften auch explizit als verbal-konzeptuelles Prädikat dieses Objekts assoziiert werden, zum Beispiel „spitz“ zum Begriff „Bleistift“. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Objekteigenschaften immer auch im verbalen konzeptuellen System verarbeitet werden.

2.2.3 Interne Codierungen und Mentale Modelle

Die meisten Kognitionspsychologen gehen heute davon aus, dass die interne Codierung von Wissen weder „einfach“ noch „doppelt“, sondern „mehrfach“ vorliegt. Sowohl beim Verstehen von Texten als auch beim Verstehen von Bildern und Diagrammen werden multiple mentale Repräsentationen gebildet. Dabei wird vor allem zwischen Repräsentationen in Form von *Propositionen* und Präsentationen in Form von *mentalen Modellen* unterschieden (Schnotz, 2002, S.67). Beide Formen werden im Folgenden vorgestellt:

Propositionale Repräsentationen

Propositionen sind komplexe interne Symbole, die ähnlich den Regeln der Prädikatenlogik nach bestimmten syntaktischen Vorschriften aus einfacheren Symbolen zusammengesetzt sind. Dabei besteht eine Proposition aus einem Relationssymbol, dem so genannten Prädikat, und aus einem oder mehreren Symbolen für Entitäten, die durch das Prädikat zu einer Einheit verknüpft werden. Propositionen stellen Relationen zwischen Argumenten und Objekten dar und repräsentieren jeweils einen bestimmten Sachverhalt. Dabei können rekursive Strukturen auftreten, d.h. Argumente und Objekte können selbst wieder Propositionen sein.

Zum Beispiel wird durch die Proposition „ESSEN (agent: ADAM, objekt: APFEL)“ zum Ausdruck gebracht, dass Adam einen Apfel isst. Zwischen den beiden Entitäten ADAM und APFEL besteht somit die Relation ESSEN (Schnotz, 2002, S.67).

Propositionale Repräsentationen sind interne deskriptionale Repräsentationen, da sie auf einem sprachlich-strukturierten Wortkonzept aufbauen (Schnotz, 2002, S.67).

Propositionales Modell des Verstehens

Wird nun das Verstehen von Aussagen und Texten als das Verstehen einzelner semantischer Einheiten aufgefasst, so liegt eine propositionale Repräsentation von Wissensstrukturen vor, bei der die einzelnen Aussagen jeweils als Propositionen repräsentiert werden. Wenn verschiedene Propositionen gemeinsame Argumente besitzen oder Argumente selbst wieder rekursiv aus Propositionen bestehen, lassen sich zwischen den einzelnen propositionalen Repräsentationen Zusammenhänge herstellen. Ganze Texte lassen sich so als Abfolge von teilweise ineinander verschachtelten Propositionen strukturell aufschlüsseln und beschreiben.

Es gibt Modelle (Kintsch und van Dijk, 1978), die davon ausgehen, dass eine solche Verarbeitung eines Textes aufgrund der begrenzten kognitiven Verarbeitungszeit eines Rezipienten in mehreren Zyklen abläuft: Einzelne Propositionen werden separat verstanden und abgearbeitet, bis schließlich am Schluss das Verstehen der einzelnen Propositionen zum Verstehen des gesamten Textes führt.

In diesem propositionalen Modell ist das Verstehen eines Textes nur dann möglich, wenn genügend semantische Einheiten wie bei einem Puzzle zusammengefügt werden können, so dass ein lückenloses Gebilde entsteht. Auf fehlende Teilchen muss

aufgrund der bereits vorhandenen Information geschlossen werden, d.h. diese Lücken sind durch Inferenzen aufzufüllen. Diese Auffassung von Verstehen lässt sich somit als additiv-elementaristisch bezeichnen.

Sanford und Garrod (1981, 1982) konnten jedoch in einem Experiment nachweisen, dass das Verstehen von Texten nicht nur auf diese additive Weise durch das Verknüpfen von Propositionen ablaufen kann. Dazu legten sie Versuchspersonen zwei Textbeispiele mit derselben propositionalen Struktur vor und verglichen die jeweilige Bearbeitungszeit:

1. *Anna war auf dem Weg zur Schule. Sie machte sich Sorgen wegen der Mathematikstunde. Sie hatte Angst, sie würde die Klasse nicht unter Kontrolle halten können.*
2. *Die Lehrerin war auf dem Weg zur Schule. Sie machte sich Sorgen wegen der Mathematikstunde. Sie hatte Angst, sie würde die Klasse nicht unter Kontrolle halten können.*

Trotz derselben propositionalen Struktur verwendeten die Versuchspersonen für das Lesen des letzten Satzes im ersten Beispiel signifikant mehr Zeit als für das Lesen desselben Satzes im zweiten Beispiel. Der letzte Satz der ersten Textsequenz bereitet offenbar deshalb Schwierigkeiten, weil die ersten beiden Sätze bei den Rezipienten die Vorstellung hervorrufen, dass Anna eine Schülerin ist. Insofern passt dann der letzte Satz zunächst nicht zu den bisher gewonnenen Informationen.

Weitere Untersuchungen zeigten, dass Inkonsistenzen von zeitlichen, räumlichen sowie emotionalen Informationen ebenfalls zu längeren Bearbeitungszeiten führen. Sie widerlegen somit ein rein sequenziell-propositionales Modell des Sprachverstehens (Albrecht und O'Brien, 1993).

In anderen Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass die mentale Präsenz der durch einen Text aufgenommenen Informationen von der Art ihrer Darstellung abhängig ist: Bei einer thematisch kontinuierlichen Darstellung bleiben relativ viele Informationen aus vorangegangenen Sätzen präsent, bei Themenwechseln oder Veränderungen des Kontextes ist diese mentale Präsenz nicht mehr gegeben (Lesgold, Roth und Curtis, 1979). Propositionale Strukturen werden also in Abhängigkeit von Inhalt und Kontext einer Aussage unterschiedlich verarbeitet und haben eine unterschiedlich lang anhaltende Präsenz im Arbeitsgedächtnis.

Auch wenn empirisch nachgewiesen ist, dass propositionale Darstellungen für das Verstehen sprachlicher Äußerungen eine Rolle spielen, so muss das Verstehen von Texten doch über das einfache Verknüpfen solcher Propositionen hinausgehen und kann nicht mit einem rein additiven Modell der Informationsverarbeitung erklärt werden (Moser, 2003).

Bereits mit der ersten Information, die ein Rezipient erhält, entsteht bei ihm eine Vorstellung, die weit über das explizit Formulierte hinausgeht. Annahmen über Konsistenz und Kongruenz von Situationen und Inhalten werden implizit vorgenommen. Jede weitere Information modifiziert diese Vorstellung. Somit führen beispielsweise

ein Themenwechsel oder eine Änderung des Kontextes zu einer Verzögerung der mentalen Verarbeitung. Nicht alle sprachlichen Äußerungen sind dann noch im selben Maße im Arbeitsgedächtnis präsent. All dies sind Faktoren, die ein reines additives Abarbeiten und Verstehen einzelner Propositionen behindern. Weitere Ansätze, die diese Phänome zu erklären versuchen, gehen darum davon aus, dass sich Komplexität und Integriertheit mentaler Repräsentationen nicht additiv ergeben, sondern von Anfang an vorhanden sind. Verstehen ist kein rezeptiver, sondern ein aktiver Prozess, an dem der Empfänger genauso beteiligt ist wie der Sender der Information (Moser, 2003, S.183f.).

Mentale Modelle

Wenn propositionale Repräsentationen allein für das Verstehen von Informationen nicht ausreichen, muss es andere Arten interner Repräsentationen geben.

In der Literatur finden sich hierzu verschiedene Modelle und Konzepte, die sich jedoch sehr ähnlich sind. So sprechen beispielsweise Sanford und Garrod (1981) von *Szenarien*, die beim Verstehen aktiviert werden. Kann eine Information vom Empfänger mit einem passenden Szenario verbunden werden, so wird dieser versuchen, alle weiteren Informationen auf dieses Szenario zu beziehen und somit sein Verständnis zu erweitern und zu spezifizieren. Auf ähnliche Art und Weise werden von Minsky (1975) *Frames* und von Schank und Abelson (1977) *Skripts* definiert und beschrieben. Auch van Dijk und Kintsch (1983) haben ihr früheres propositionales Modell um so genannte *Situationsmodelle* erweitert, die ganzheitliche mentale Modelle der Situation darstellen. Collins, Brown und Larkin (1980) sprechen in diesem Zusammenhang von einem *internen Textmodell*: Solange die Informationsverarbeitung noch nicht abgeschlossen ist, enthält dieses interne Textmodell noch Leerstellen. Diese Wissenslücken führen zu einer Erwartungshaltung hinsichtlich der weiteren Informationen, so dass diese nicht passiv abgewartet, sondern aktiv gesucht werden.

Johnson-Laird (1980, 1983) prägte in diesem Zusammenhang den Begriff des *mental Modells*. Die konzeptionellen Unterschiede der oben skizzierten Begriffe zum Begriff des mentalen Modells sind sehr gering; daher wird im Folgenden nur noch der Begriff des mentalen Modells verwendet. Dieser erscheint für die Charakterisierung dieser Art von interner Repräsentation am angemessensten.

Dabei sind mentale Modelle Mischformen von bildhaften und propositionalen Repräsentationen. Sie sind „interne Objekte“, die in einer Struktur- oder Funktionsanalogie zu dem dargestellten Gegenstand stehen. Mentale Modelle repräsentieren einen Sachverhalt aufgrund seiner inhärenten Struktureigenschaften. Insofern gehören sie zu den depiktionalen intrinsischen Repräsentationen (Schnotz, 2002).

Weil aber auch hier repräsentierende und repräsentierte Merkmale nicht übereinstimmen müssen, sondern voneinander verschieden sein können, sind mentale Modelle nicht identisch mit bildhaften Vorstellungen des jeweiligen Gegenstandes. Visuelle Vorstellungen und mentale Modelle stehen im selben Verhältnis zueinander wie realistische und logische Bilder bzw. Diagramme: Beide sind depiktionale Repräsen-

tationen; allerdings ist die Form der strukturellen Übereinstimmung zwischen der Repräsentation eines Sachverhaltes und dem repräsentierten Sachverhalt selbst in einen Fall konkret und im anderen Fall abstrakt.

So können mentale Modelle auch Sachverhalte darstellen, die der Wahrnehmung gar nicht zugänglich sind wie beispielsweise ein mentales Modell zur Funktionsweise eines gesellschaftlichen Demokratieprinzips. Mentale Modelle können vor allem nicht nur Strukturen, sondern auch Prozesse abbilden.

Problemlösen mit mentalen Modellen

Wird ein Ausschnitt aus der Realität auf diese Art und Weise als mentales Modell innerlich abgespeichert und repräsentiert, so hat dies für den Lernenden den Vorteil, dass er verschiedene Veränderungszustände vor dem „inneren Auge“ simulieren kann. Wurde zum Beispiel für die Funktionsweise einer Maschine ein adäquates mentales Modell aufgebaut, so können im Falle einer Störung die Folgen und Einflüsse möglicher Reparaturversuche mental antizipiert werden.

Je nachdem, wie stark die propositionalen Repräsentationselemente des mentalen Modells ausgeprägt sind, wird das Resultat durch schlussfolgerndes Denken erreicht, eventuell sogar unterstützt durch halblautes Sprechen. Meistens werden jedoch die dynamischen Zustandsveränderungen und deren Resultate quasi bildhaft in der Vorstellung abgelesen (Weidenmann, 2002b). Hierbei wird die Bedeutung interner imaginaler Vorstellungen für mentale Modelle unterstrichen.

Metaphern in mentalen Modellen

Um sprachliche Äußerungen in einem mentalen Modell zu verankern, werden häufig *Metaphern* eingesetzt. Zum Beispiel wird das Gefühl „Ärger“ oder „Wut“ oft in Analogie zum Konzept „Hitze“ gesehen und kognitiv so strukturiert, als handle es sich dabei um heiße Flüssigkeiten oder erhitzbare Gegenstände, mit denen entsprechend sorgsam umzugehen ist. Redewendungen wie beispielsweise „vor Wut kochen“, „hitze Debatten führen“, „vor Wut platzen“ oder Redewendungen, in denen man wütende Menschen zum Beispiel „mit Handschuhen anfasst“, sie erst einmal „abreagen“ lässt oder davor warnt, dass sie gleich „explodieren“, spiegeln diese verankerten Analogien wider (Moser, 2003, S.185).

In der Regel gibt es auch nicht nur ein mentales Modell zum selben Sachverhalt, was einen Einfluss auf die Wirksamkeit zum Problemlösen haben kann. Gentner und Gentner (1983) untersuchten mentale Modelle zum Stromkreislauf. Dabei zeigte sich, dass sich viele Menschen den Stromkreis in der Metaphorik des Wasserlaufs vorstellen: Kabel werden mit Röhren gleichgesetzt, in denen das Wasser in eine bestimmte Richtung fließt. Ein elektrischer Verbraucher entspricht einer Art Wassermühle, die durch die Bewegung des Wassers in Gang gesetzt wird. Die Stromspannung entspricht dem Wasserdruck, der einer (Strom-)Quelle wie etwa einer Batterie entspringt. Letztere ist in dieser Analogie eine Art Wassertank. Ein Schalter entspricht in diesem Modell einem Ventil.

Eine Alternative zur Metaphorik dieses Wasserlauf-Modells ist die Vorstellung, elektrischer Strom bestehe aus einer Vielzahl kleiner Männchen, die sich durch die „Gänge“ der Stromkabel drängen. Der Druck, dem die Masse dieser Männchen ausgesetzt ist, entspricht der Stromspannung, Verengungen in den Wänden (elektrischen) Widerständen und Schalter sind dementsprechend offene oder geschlossene Türen.

Beide Analogien sind physikalisch gesehen keine korrekten Abbildungen von Stromkreisläufen. Dennoch ermöglichen es beide Analogien zum Beispiel im Falle einer Störung (Glühbirne brennt nicht, weil ein Schalter nicht eingeschaltet ist) eine Lösung zu finden und das Problem zu beheben.

Gentner und Gentner (1983) konnten feststellen, dass das mentale Modell einen spezifischen Einfluss auf das Problemlösen hat. Sie stellten eine Aufgabe zur Wirkweise parallel-geschalteter Batterien und paralleler Widerstände. Da zwei parallel-geschaltete Batterien zur selben Stromstärke führen wie eine, zwei parallele Widerstände dagegen zu höherer Stromstärke führen, sollte sich die Wirkweise paralleler Batterien leichter aus dem Wasserlauf-Modell ableiten lassen und die Wirkung paralleler Widerstände leichter aus dem Männchen-Modell. Die Resultate dieses Experiments entsprachen tatsächlich den Erwartungen: Personen mit einem Wasserlauf-Modell lösten die Batterieaufgaben besser, Personen mit einem Männchen-Modell dagegen die Widerstandsaufgaben.

Codierungen in mentalen Modellen

Im Kontext mentaler Modelle ist zu beachten, dass sich die hauptsächlich anzutreffenden Codierungen Text und Grafik wesentlich in ihrer Art unterscheiden, mit der sie zu einem mentalen Modell beitragen können.

Ein *Text* führt zunächst zur Konstruktion einer propositionalen Repräsentation, die es in einem zweiten Schritt ermöglicht, ein entsprechendes mentales Modell zu konstruieren. Im Gegensatz dazu ermöglicht eine *Grafik* eine relativ direkte Konstruktion eines mentalen Modells. Dabei nimmt der Lernende ein „mapping“ vor, und zwar von den durch die externe Darstellung gegebenen Einheiten der Grafik bzw. der wahrgenommenen Struktur auf die interne Darstellung der Einheiten des mentalen Modells. Zusätzlich wird auch ein „mapping“ von visuell-räumlichen Beziehungen auf semantische Beziehungen des Modells vollzogen (Schnotz, 1993, S.248f.).

Multiple Repräsentationsformen sind für mentale Modelle charakteristisch. Insofern legen sie auch eine multicodale Codierung der Informationen für die Konstruktion eines mentalen Modells nahe.

Dabei können dynamische Eigenschaften mentaler Modelle wie zum Beispiel der Wechsel zwischen verschiedenen Zuständen und dessen Auswirkungen durch Präsentationsweisen unterstützt werden, die selber Dynamik vorführen oder die sich durch den Lernenden auf Wunsch dynamisieren lassen. Räumliche Informationen wie beispielsweise das Aussehen von Elementen eines Gerätes und ihre räumliche Anordnung lassen sich am besten durch bildhafte Codierungen, d.h. durch Abbildungen und schematisierte Grafiken darstellen (Weidenmann, 2002b, S.55).

Bei multicodalen und multimodalen Lernangeboten kann (gesprochene) Sprache da-

zu eingesetzt werden, um die prinzipiell gegebene Vieldeutigkeit von piktorialen Darstellungen einzugrenzen, den Blick zu lenken und die Aufmerksamkeit zu steuern (Zimmer, 1983).

Insofern sind die Wirkweisen von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität auch und gerade unter dem Aspekt der Bildung mentaler Modelle zu berücksichtigen.

2.2.4 Integratives Modell des Text-, Bild- und Diagrammverstehens nach Schnotz

Schnotz und Bannert (1999) haben ein integratives Modell des Text-, Bild- und Diagrammverstehens entwickelt, bei dem mentale Modelle eine wichtige Rolle spielen.

Das Modell gliedert sich in einen *deskriptionalen* und einen *depiktionalen Repräsentationszweig* (Abbildung 2.2). Dem deskriptionalen Zweig ist die Analyse von Symbolstrukturen zugeordnet, dem depiktionalen Zweig die Abbildung analoger Strukturen.

Beide Zweige gliedern sich in drei Bereiche: Der *deskriptionale Zweig* besteht aus der externen Repräsentation eines Sachverhaltes in Form von *Text*, der inneren verbal organisierten *mental Repräsentation der Textoberflächenstruktur* sowie der *internen propositionalen Repräsentation* des semantischen Gehalts.

Das Lesen und Verstehen eines Textes läuft demnach in folgenden Schritten ab: Zunächst wird eine mentale Repräsentation der Textoberflächenstruktur konstruiert, d.h. der Text wird als solcher wahrgenommen und intern dargestellt, ohne jedoch schon inhaltlich verarbeitet worden zu sein. Insofern hat nur eine subsemantische Verarbeitung stattgefunden. Auf dieser Grundlage wird eine propositionale Repräsentation des semantischen Gehalts generiert. Anhand dieser so genannten Textbasis wird schließlich ein mentales Modell des dargestellten Sachverhaltes aufgebaut (Schnotz, 2002, S.68).

Der *depiktionale Zweig* besteht aus der externen Repräsentation des dargestellten Sachverhaltes in Form eines *Bildes oder Diagramms*, der internen mentalen Repräsentation der dargebotenen grafischen Struktur in Form einer piktorial organisierten *visuellen Wahrnehmung oder Vorstellung* sowie dem internen *mental Modell* des dargestellten Sachverhaltes.

Das Betrachten und Verstehen von Bildern und Diagrammen läuft demnach in folgenden Schritten ab: Zunächst wird eine visuelle mentale Repräsentation des Bildes oder Diagramms konstruiert. Dabei wird diese visuelle Vorstellung über die Wahrnehmung gesteuert. Auf dieser Grundlage wird durch semantische Verarbeitungsprozesse wie der thematischen Selektion ein mentales Modell sowie eine propositionale Repräsentation des dargestellten Gegenstandes bzw. Sachverhaltes aufgebaut (Schnotz, 2002, S.68).

Im Bereich der inneren mentalen Repräsentationen gibt es Querverbindungen: Propositionale Repräsentation und mentales Modell sind via *Modellkonstruktion* und *Modellinspektion* miteinander verbunden. Visuelle Vorstellungen von Bildern oder

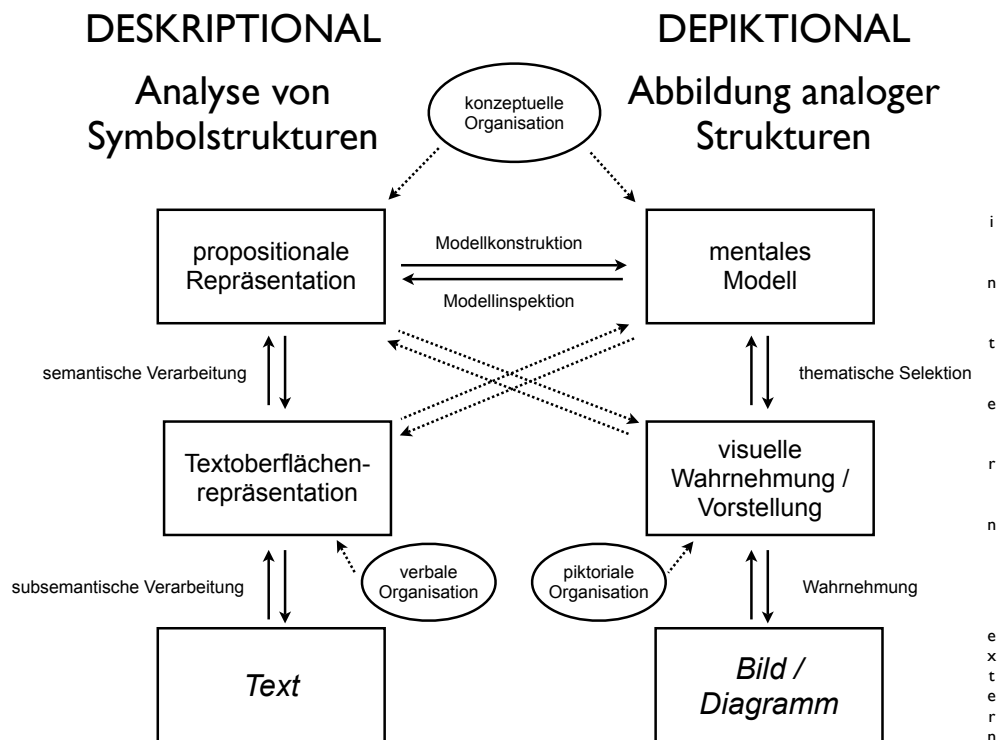


Abbildung 2.2: Integratives Modell des Text-, Bild- und Diagrammverstehens in Anlehnung an Schnotz und Bannert (1999)

Diagrammen können ebenfalls propositionale Repräsentationen aktivieren, und eine Textoberflächenrepräsentation kann auch direkt zur Modifizierung eines mentalen Modells führen.

Sowohl beim Text- als auch beim Bild- und Diagrammverstehen geschieht demnach eine Interaktion zwischen einer deskriptionalen und einer depiktionalen mentalen Repräsentation. Zwischen externen und internen Repräsentationen besteht also auch in diesem Modell keine Eins-zu-Eins-Zuordnung (Schnotz, 2002, S.68f.).

Anhand dieses Modells beschreibt Schnotz (2002, S.70ff.) die kognitive Verarbeitung von Texten, Bildern und Diagrammen wie folgt:

Kognitive Verarbeitung von Texten

Ein Text kann in schriftlicher Form oder in auditiver Form als gesprochenes Wort vorliegen. Ein schriftlicher Text steht dabei einem Rezipienten meist zeitlich unbegrenzt zur Verfügung. Wurde etwas nicht verstanden, so kann zurückgegangen und bereits Gelesenes wiederholt gelesen werden. Insofern erfolgt die Informationsverarbeitung zeitlich relativ selbstgesteuert. Anders verhält es sich bei einem auditiv dargebotenen Text: In der Regel wie beispielsweise bei einem Vortrag besteht hier nicht die Möglichkeit einer Wiederholung. Eine versäumte kognitive Verarbeitung kann später nicht nachgeholt werden. Demnach sind Informationsaufnahme und -verarbeitung zeitlich fremdgesteuert und erfordern eine kontinuierliche Zuwendung

der Aufmerksamkeit.

Somit unterliegt die Konstruktion der Oberflächenrepräsentation jeweils deutlich unterschiedlichen Bedingungen, auch wenn in beiden Fällen verbale Organisationsprozesse die Sprachinformation nach syntaktischen und morphologischen Gesichtspunkten verarbeiten und zu einer strukturierten mentalen Repräsentation der Textoberfläche führen. Ist die Textoberflächenrepräsentation dann aber vorhanden, übernehmen konzeptuelle Organisationsprozesse die Verarbeitung der Textoberflächenrepräsentation und bauen eine strukturierte propositionale Repräsentation sowie ein mentales Modell auf (Schnotz, 2002, S.70).

Mentale Repräsentationen anhand von Texten werden durch ein Wechselspiel von auf- und absteigenden Schemaaktivierungen konstruiert: Während absteigende Aktivierungen bestimmte anforderungs- bzw. zielrelevante Informationen selektieren, bilden sich durch die Interaktion auf- und absteigender Aktivationsprozesse bestimmte Schemakonfigurationen heraus, die am besten zu der vorliegenden Textinformation passen und diese in ein zusammenhängendes Ganzes integrieren (Schnotz, 2002, S.70).

Kognitive Verarbeitung von Bildern

Im Gegensatz zu Texten ermöglichen Bilder einen relativ direkten Aufbau mentaler Modelle. Beim Bildverstehen sind dabei zwei verschiedene Arten der Encodierung zu unterscheiden: die *perzeptive* und die *semantische Encodierung*.

Die *perzeptive Encodierung* basiert auf präattentiven Prozessen (Neisser, 1976, 1979), d.h. Prozessen „vor der Aufmerksamkeit“. Diese verlaufen parallel, beinhalten automatisierte visuelle Routinen, sind primär datengeleitet und dementsprechend relativ unabhängig vom Vorwissen sowie den Zielsetzungen des Individuums. Präattentive Verarbeitung läuft schnell, automatisch und unbewusst ab (Ullman, 1984).

Die *semantische Encodierung* ist notwendig, um ein Bild nicht nur wahrzunehmen, sondern es auch zu verstehen. Ausgehend von der präattentiv konstruierten perzeptuellen Repräsentation sind nun attentive Ablese- bzw. Inspektionsprozesse erforderlich, um die Repräsentation zu interpretieren bzw. deren inhaltliche Information zu erfassen. Diese Prozesse laufen seriell ab und sind sowohl daten- als auch konzeptgeleitet. Somit finden auch hier auf- und absteigende Aktivationsprozesse von kognitiven Schemata statt. Sie werden von Vorwissen und Zielsetzungen des Individuums beeinflusst (Schnotz, 2002, S.71).

Hinsichtlich des Bildverstehens kann zwischen *ökologischem* und *indikatorischem Bildverstehen* unterschieden werden: Weidenmann (1988) spricht von einem *ökologischen Bildverstehen*, wenn der Betrachter erkennt, was auf dem Bild dargestellt ist - in dem Sinne, dass der Betrachter dabei auf kognitive Schemata der alltäglichen Wahrnehmung zurückgreift. *Indikatorisches Bildverstehen* geht darüber hinaus. Hier wird zusätzlich wahrgenommen, warum beispielsweise ein Sachverhalt so und nicht anders dargestellt oder eine bestimmte Perspektive gewählt worden ist. Das Bild wird hier gewissermaßen als Indikator für eine bestimmte Mitteilungsabsicht angesehen und entsprechend analysiert. Ökologisches und indikatorisches Bildverstehen

repräsentieren somit unterschiedliche Verstehenstiefen. Die semantische Analyse von Bildern unterliegt anders als beim Textverstehen keiner bestimmten Sequenzierung. Bilder können aber im Gegensatz zu linear zu lesenden oder linear zu hörenden Texten Einfluss auf die Reihenfolge der Verarbeitung nehmen: Beispielsweise können Bildteile durch einen stärkeren Kontrast zum Hintergrund oder durch Beschriftung hervorgehoben werden (Beck, 1984). Direktive Bildzeichen wie Pfeile, Kreise, Einrahmungen oder eingebundene Lupen können bestimmte Bildbereiche fokussieren, Nummerierungen innerhalb eines Bildes die Aufmerksamkeit des Betrachters gezielt lenken. Nicht zu unterschätzen sind auch kulturspezifische Gewohnheiten wie beispielsweise das Lesen von links nach rechts (Winn, 1994).

Kognitive Verarbeitung von Diagrammen

Diagramme beschreiben einen Sachverhalt aufgrund von abstrakten strukturellen Gemeinsamkeiten und nicht aufgrund realer gegenständlicher Ähnlichkeit. Dennoch wird auch hier ein mentales Modell konstruiert. Dabei bestehen die subsemantischen präattentiven Prozesse in der Unterscheidung, Identifikation und Gruppierung grafischer Komponenten wie beispielsweise Punkten, Linien und Flächen. Dies geschieht nach gewissen so genannten Gestaltgesetzen und führt zur Wahrnehmung einer entsprechenden grafischen Konfiguration (Wertheimer, 1938; Winn, 1994, siehe Kapitel 2.3.6).

Mit der semantischen, attentiven Verarbeitung wird zum Verstehen des Diagramms übergegangen. Sie besteht in der konzeptgeleiteten Analyse dieser wahrgenommenen grafischen Konfiguration. Dabei werden bestimmte visuell-räumliche Relationen und Attribute abgelesen, semantisch interpretiert und in Propositionen übertragen, die der bereits vorhandenen propositionalen mentalen Repräsentation hinzugefügt werden (Schnotz, 2002, S.72).

Durch die nicht vorhandene perzeptuelle Ähnlichkeit mit dem repräsentierten Gegenstand kann der Betrachter dabei nicht auf kognitive Schemata der alltäglichen Wahrnehmung zurückgreifen. Die Fähigkeit, Diagramme zu verstehen, ist vielmehr eine spezifische Kulturtechnik, die selbst erst gelernt werden muss. Dabei gilt es, spezielle Grafikschemata zu konstruieren, mit deren Hilfe dann an den grafischen Konfigurationen eines Diagramms bestimmte Informationen abgelesen werden können. Diagrammen können nur dann die entsprechenden Informationen entnommen werden, wenn diese entsprechenden Schemata vorhanden sind. Dies wird vor allem dann deutlich, wenn an einer Grafik komplexe Zusammenhänge abgelesen werden sollen. Je nach kognitiver Voraussetzung haben Lernende beispielsweise mehr oder weniger große Schwierigkeiten, in einem Linienzeitdiagramm einen Entwicklungstrend zu erkennen, der am Kurvenverlauf ablesbar ist (Schnotz, 2002, S.72).

Empirische Befunde weisen darauf hin, dass Lernende mit höherem Vorwissen eher in der Lage sind, übergreifende visuelle Muster zu suchen, während Lernende mit geringerem Vorwissen bevorzugt eine lokal begrenzte Suche nach Einzelinformationen vornehmen (Schnotz, 2002, S.72). Lowe (1993) leitet daraus die Vermutung ab, dass Lernende mit höheren Lernvoraussetzungen einerseits über elaboriertere und ande-

rerseits über stärker hierarchisch strukturierte Grafikschemata verfügen.

2.3 Wirkweisen

Das vorige Kapitel hat gezeigt, wie komplex die Verarbeitung von Texten, Bildern und Diagrammen sein kann und dabei die Bedeutung mentaler Modelle hervorgehoben. Gleichzeitig wurde deutlich, dass zwischen externer und interner Repräsentation von Informationen keine direkte Übereinstimmung besteht. Insofern ist ein Wissen um die Wirkweisen externer Repräsentation und deren Einfluss auf die Bildung mentaler Modelle sowie auf die Wissenskonstruktion im Allgemeinen von großer Relevanz.

Durch die in Kapitel 1.3 getroffene gezielte Auffächerung der einzelnen Komponenten eines medialen Angebots in *Multimedialität*, *Multicodalität* und *Multimodalität* sowie speziell im Zusammenhang von Lernumgebungen in *Hypertext- und Hypermedia*, *Navigation*, *Interaktivität* und *didaktisches Konzept* wird eine detaillierte Untersuchung der einzelnen Elemente möglich.

Gerade im Kontext eines pauschalen Multimediabegriffes gibt es viele naive Annahmen über die Wirkung medialer Angebote sowohl hinsichtlich des Wissenserwerbs als auch bezüglich motivationaler Aspekte. Die meisten davon lassen sich jedoch nicht wissenschaftlich nachweisen.

Im Folgenden wird zunächst auf einige dieser naiven Annahmen und die sie widerlegenden wissenschaftlichen Beiträge eingegangen. Im Anschluss daran wird die Wirkweise multimedialer, multicodaler und multimodaler Elemente im Einzelnen dargestellt und diskutiert.

2.3.1 Naive Annahmen vs. wissenschaftliche Beiträge

Nach Weidenmann (2002b) reflektieren die folgenden Sätze die wohl am meisten verbreiteten Annahmen hinsichtlich der Wirkweise medialer Angebote auf den Wissenserwerb und die Motivation beim Lernen:

Multimedia spricht mehrere Sinneskanäle an und verbessert so das Behalten. [...] Multimedia ist abwechslungsreich. Das motiviert die Lerner. [...] Multimedia aktiviert die Lerner. (Weidenmann, 2002b, S.61)

Hinsichtlich des „Lernens mit allen Sinnen“ finden sich in der Literatur in der Tat viele Quellen, die den einzelnen Sinnesorganen sogar bestimmte Prozentwerte für Lern- und Behaltensleistung zuordnen. Dabei wird meist sehr pauschal ein hoher zu erwartender Lernerfolg für „realitätsnahes Lernen“ postuliert. Die daraus resultierenden Theorien sind eine *Summierungs-* und eine *einfache Realismustheorie*. Es fällt jedoch schwer, beide Theorien wissenschaftlich zu begründen, wie die folgenden Ausführungen zeigen:

▷ NAIVE ANNAHME: SUMMIERUNGSTHEORIE

Klimsa (2002, S.9) zitiert als eines von vielen Beispielen eine Quelle von Treichler (1967), in der dieser darauf hinweist, dass sich das Lernen mit 1 Prozent über den Geschmackssinn, mit 1.5 Prozent über den Tastsinn, mit 3.5 Prozent über den Geruchssinn, mit 11 Prozent über das Hören und mit 83 Prozent über das Sehen vollzieht. Dabei können nach Treichler (1967) Menschen 10 Prozent durch Lesen, 20 Prozent durch Hören, 30 Prozent durch Sehen, 50 Prozent durch Sehen und Hören, 70 Prozent durch Sehen und Sprechen und 90 Prozent durch Sehen und eigenes Tun behalten.

Allerdings fehlt dieser Untersuchung eine Angabe über die Studie selbst, auf die sich diese Zahlen beziehen, und nach Klimsa (2002, S.9) konnte bislang auch durch umfangreiche Nachforschungen keine zuverlässige Quelle für diese (oder ähnliche) Prozentangaben gefunden werden.

Die oben angegebenen Prozentzahlen basieren insofern auf einer naiven Summierungstheorie (Ballstaedt, 1990), als sich die einzelnen Prozentangaben oft einfach aufsummieren lassen: Zum Beispiel ergeben sich die 50 Prozent Behaltensleistung durch Hören und Sehen aus den angegebenen 20 Prozent durch Hören und den 30 Prozent durch Sehen.

Weidenmann (2002b, S.48) weist zudem darauf hin, dass bei der oben getroffenen Einteilung in Lesen, Hören, Sehen, Sprechen und Tun auf der begrifflichen Ebene die Unterscheidung von Sinnesmodalität und Codierung durcheinandergerät. Während Sehen und Hören modalitätsspezifische Aktivitäten sind, zählen Lesen und Sprechen zu den codespezifischen Tätigkeiten, da sie beide auf das verbale Symbolsystem zurückgreifen.

▷ NAIVE ANNAHME: EINFACHE REALISMUSTHEORIE

Gleichzeitig lässt sich nach Weidenmann (2002b) eine historisch weiter zurückreichende einfache Realismustheorie erkennen, die die pädagogische Annahme formuliert, dass der reale Gegenstand höher zu bewerten ist als seine symbolische Darstellung.

Dieses Modell eines Realitätskontinuums wird eindrucksvoll durch den „Erfahrungskegel“ bzw. den „Cone of Experience“ von Dale (1948) beschrieben (siehe Abbildung 2.3): Die breite Basis des Kegels bildet die *direkte Erfahrung*, an der schmalen Spitze befinden sich die *verbalen Symbole*. Die oben angegebenen Prozentzahlen finden sich somit in ähnlicher Weise auch in diesem Modell wieder.

Michael (1983, S.87) gibt in ähnlicher Weise „Intensitätswerte“ an: Er kombiniert die Art der Aufnahme von Informationen mit der Art ihrer Darstellung in einer Matrix. Die vier Arten der Informationsaufnahme *Zuhören* - *Betrachten* - *Beobachten* - *Handelnder Umgang* und die vier Darstellungsformen *Sprachliche Darbietung* - *Bild* - *Modell* - *Realer Gegenstand* erhalten dabei jeweils einen „Intensitätsfaktor“ von 1 bis 4. In der Matrix ergeben sich dann die möglichen „Intensitätsprodukte“: So erreicht beispielsweise das Hören einer Beschreibung den

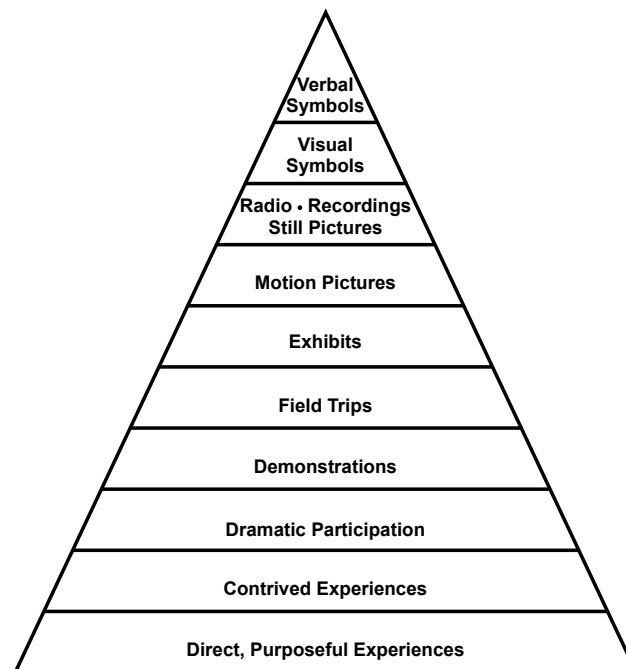


Abbildung 2.3: „Erfahrungskegel“ nach Dale (1948, S.39)

Wert $1 \times 1 = 1$, das Betrachten eines Bildes den Wert $2 \times 2 = 4$, die Beobachtung eines realen Gegenstandes den Wert $3 \times 4 = 12$ und der handelnde Umgang mit einem realen Gegenstand den Wert $4 \times 4 = 16$. Ein höherer Intensitätswert impliziert dabei eine bessere Behaltensleistung.

Michael (1983) stützt seine Aussagen dabei auf einen Versuch von Düker und Tausch (1971) an zwei Modellgruppen (präparierte Insekten, die jedes Kind in die Hand nehmen durfte, und ein präpariertes Meerschweinchen, das nur wenige Kinder betasten konnten). Er spricht selbst davon, dass „das Ganze nur als ein Versuch aufgefaßt werden darf, Gewichtungen zu verdeutlichen“ und „auch im wissenschaftlichen Sinne lediglich Trends anzeigt“. Dennoch sieht er in seiner Matrix ein „'Intensitätsraster' für Veranschaulichungsmöglichkeiten“ und eine Hilfe „bei der Abwägung ihrer unterrichtlichen Verwendung im Hinblick auf Motivation, Erkenntnisgewinnung und Aneignungsintensität“ (Michael, 1983, S.88).

Für eine Begründung der Summierungstheorie wird gerne auch die Doppelcodierungstheorie von Paivio (1986) herangezogen (siehe hierzu auch Kapitel 2.3.3). Dass das Zusammenspiel mehrerer Sinneskanäle bei der Nutzung multimedialer Angebote jedoch keineswegs eindimensional und mit einfachen Prozentangaben wiederzugeben ist, zeigen beispielsweise folgende Untersuchungen:

Nach einer Studie von Wagenaar, Vary und Hudson (1984) führt eine gleichzeitig visuelle und auditive Informationspräsentation im Vergleich zu einer reinen auditiven Präsentation sogar zu keiner besseren Erinnerungsleistung. Im Experiment bimensensorisch dargebotene Informationen (als Kombination von Bildern und Wörtern) werden schlechter erinnert als durch die jeweilige Kombination zu erwarten gewesen

wäre.

Hinsichtlich der Übereinstimmung zwischen Reizen und Reaktionen bei der Ausführung einer Aufgabe stellen Wickens, Sandry und Vidulich (1983) fest, dass die höchste Kompatibilität zwischen auditiven Stimuli und verbalen Reaktionen dann erreichbar ist, wenn sie mit sprachlichen Aufgaben kombiniert werden. Zwischen visuellen Stimuli und haptischen Reaktionen liegt die höchste Übereinstimmung in Verbindung mit räumlichen Aufgaben vor.

Die heute zur Verfügung stehenden Visualisierungstechniken einschließlich der Virtual-Reality-Techniken erlauben faszinierende Gestaltungsmöglichkeiten. Dennoch sollten diese sehr bewusst und didaktisch begründet eingesetzt werden, da falsche oder überflüssige Visualisierung die Bildung mentaler Modelle eher behindert als fördert (Issing, 2002, S.167).

Nach Freibichler (2002, S.205) spielen auch Animationen eine große, oft überschätzte Rolle. Auf Webseiten werden sie hauptsächlich dazu eingesetzt, die Aufmerksamkeit der Besucher zu wecken und zu halten und die Verweildauer der Besucher auf der entsprechenden Internetseite zu verlängern. Die pädagogischen Funktionen von Animationen wie beispielsweise die Veranschaulichung von komplexen, schnell oder langsam ablaufenden und sonst nicht visuell erfassbaren Prozessen, werden nach Freibichler (2002) dabei oft vernachlässigt.

Weitere Untersuchungen, die den oben aufgeführten naiven Annahmen widersprechen, unterstützen eine *Hemmungsthese* und eine *Unterschätzungsthese*. Ebenso ist ein *Neuigkeitseffekt* beim Umgang mit neuen Medien zu beobachten. Darüber hinaus lässt sich eine Erhöhung von *Motivation und Interesse* allein durch die Verwendung eines medialen Angebotes nicht nachweisen:

▷ DIE HEMMUNGSTHESE

Rasche Bildsequenzen, gleichzeitige Angebote von Sprache und Bildern, Spezialeffekte und viele weitere Kombinationen multicodaler und multimodaler Angebote sollen nach Sturm (1984) eine intensive Verarbeitung der dadurch dargebotenen Information nicht fördern, sondern vielmehr erschweren. Nach Friedmann (1979) bleibt bei einem so vielfältigen Angebot nur noch die Kapazität für eine „automatische Enkodierung“.

Diese These wird durch empirische Befunde unterstützt, wonach einfaches Lernmaterial intensiver verarbeitet und besser erinnert wird (Britton, Westbrook und Holdredge, 1978; Thorson, Reeves und Schleuder, 1985). Sehr komplexes Material führt dagegen immer wieder zu überlastungsbedingten Unterbrechungen der Verarbeitung.

Zu dieser Hemmungsthese gibt es ergänzende Befunde, die sich speziell auf das imaginale Verarbeitungssystem beziehen: Demnach kann die Entwicklung *bildhafter Vorstellungen* durch das gleichzeitige Betrachten von Bildern gehemmt werden (Kieras, 1978; Finke, 1985). Kinder entwickeln beispielsweise zu Radiogeschichten mehr bildhafte Vorstellungen als zu Fernsehgeschichten. Greenfield (1987, S.82ff) erklärt dieses Phänomen damit, dass filmische Erzählungen keinen

Raum für Bildgenerierungen durch den Rezipienten zulassen, verbale Erzählungen hingegen schon.

Es gibt aber auch Erklärungsversuche, die weniger die Vielfalt des medialen Angebots als die fehlende Möglichkeit zur Interaktion dafür verantwortlich machen, die beispielsweise beim Fernsehen den Rezipienten zum passiven Konsumenten werden lässt und somit ein „natürliches“ Lernen verhindert (Weidenmann, 2002b).

▷ DIE UNTERSCHÄTZUNGSTHESE

Hinsichtlich des Einflusses medialer Angebote auf die Motivation von Lernenden ist nach Weidenmann (2002b) eine häufig anzutreffende Annahme die, dass Abwechslung und Vielfalt von Wort und Bild, von Visuellem und Akustischem, von Statischem und Bewegtem Lernende in besonderem Maße zur intensiven Beschäftigung mit dem Lerngegenstand anregen würde. Dies lässt sich so generell jedoch nicht nachweisen. Zu viel Abwechslung kann sich auch negativ auf die Verarbeitung des Materials auswirken.

Salomon (1984) zeigt in seiner Studie „Television is easy and print is tough“ Zusammenhänge von medialen Codierungen und motivationalen Aspekten des Wissenserwerbs auf. Seiner Studie liegt dabei ein theoretisches Modell zugrunde, wonach der Lernerfolg durch die investierte mentale Anstrengung eines Lernenden in die Auseinandersetzung mit dem Lernmaterial positiv beeinflusst wird.

Nach Salomon (1984) gibt es einen Zusammenhang zwischen der investierten mentalen Anstrengung eines Lernenden und seiner Einstellung gegenüber den verwendeten Medien. So werden manche Medien wie beispielsweise das Fernsehen als „leicht“ eingestuft, woraus die Folgerung abgeleitet wird, dass Lernen via Fernsehen ebenfalls „leicht“ ist und wenig Anstrengung bedarf. Andere Medien wie zum Beispiel Bücher werden als „schwierig“ eingestuft. Somit werden Lernerfolge beim Lernen mit Fernsehen eher dem medialen Angebot, Lernerfolge mit Büchern dagegen eher der eigenen Begabung oder Anstrengung zugerechnet (Salomon und Leigh, 1984).

Cennamo (1993) verifiziert diese Ergebnisse dahingehend, dass zumindest erfahrene Lernende differenzieren können: So meinen beispielsweise Studenten, dass intellektuelle Fähigkeiten leichter mit Büchern als mit Fernsehen zu erwerben seien.

Die Anstrengung eines Lernenden ist nach den Modellannahmen von Salomon (1984) umso geringer, je geringer die Anforderungen des verwendeten Mediums bzw. des verwendeten medialen Angebots wahrgenommen werden. Diese Annahmen konnten in der Studie tendenziell bestätigt werden. Darüber hinaus zeigte sich, dass beim Lernen mit Büchern mehr über das unmittelbar präsentierte Wissen hinausgehende Folgerungen, so genannte *Inferenzen*, gebildet wurden als beim Betrachten entsprechender Filme (Meringoff, 1980; Greenfield, 1982).

Dass die Einstellung der Lehrenden ebenfalls Einfluss nimmt, zeigt eine Studie von Issing (1976): Demnach scheint der Großteil der Lehrer Schulfunk und

Schulfernsehen als „leicht“ zu bewerten und darum auch eher zur Auflockerung des Unterrichts einzusetzen und weniger als Lernmedien.

Insofern werden multimediale, multicodale und multimodale Angebote vom Lernenden zwar als angenehm und interessant erlebt, werden aber unter Umständen auch weniger intensiv verarbeitet, weil bildhafte Darstellungen, besonders wenn sie beispielsweise durch Bewegung und Farbe sehr realitätsnah sind, eher als „leicht“ perzipiert werden (Weidenmann, 2002b, S.57).

▷ NEUIGKEITSEFFEKT

Das Arbeiten mit einem neuen Lernmedium führt in der Regel zu einem Lernvorteil. Dieser Lernvorteil ist jedoch nicht nur darauf zurückzuführen, dass ein neues technisches Medium wie beispielsweise der Computer beim Lernenden Neugierde weckt, sondern auch darauf, dass bei neuen Anwendungen die instruktionalen Inhalte auf eine andere als die gewohnte Weise repräsentiert werden (Clark und Salomon, 1986). Eine längere Beschäftigung mit dem medialen Angebot lässt diesen Effekt wieder verschwinden.

▷ MOTIVATION UND INTERESSE

Wenn die intensive Beschäftigung mit dem Lerngegenstand als hochbefriedigend erlebt wird und sich durch die enge Person-Gegenstands-Beziehung eine differenzierte Wissensstruktur herausbildet, so sind dies charakteristische Merkmale für vorhandenes Interesse beim Lernenden (Weidenmann, 2002b). Nach Schiefele (1990b,a) gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen thematischem Interesse und Wissenserwerb. Insofern kann die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf das Lernmaterial bei medialen Lernangeboten als notwendige Bedingung angesehen werden.

Wie dies mit dem gezielten Einsatz von Multicodalität und Multimodalität zu erreichen ist, ist bislang vor allem in der Werbepsychologie erforscht, kaum aber im Bereich der Lehr-/Lernforschung (Weidenmann, 2002b, S.58). In der Werbung ziehen Bilder mehr Aufmerksamkeit auf sich als Texte. Dabei spielen insbesondere Bilderwechsel und bewegte Bilder eine wichtige Rolle: Sie ändern einen statischen Ist-Zustand und werden insofern automatisch wahrgenommen und somit oft unreflektiert aufgenommen, was wiederum zu einer unbewussten und unwillentlichen Reaktion führen kann. Spezielle Bildmerkmale wie beispielsweise Farbe und Größe, aber auch emotionale Inhalte sowie der Faktor Überraschung sind im Besonderen dazu geeignet, Aufmerksamkeit zu wecken (Weidenmann, 2002b, S.58).

Speziell vor dem Hintergrund der Hemmungsthese sowie dem zeitlichen Aspekt eines kurzen Werbespots lassen sich solche Ergebnisse der Werbepsychologie nicht auf die Wirkung in medialen Lernangeboten übertragen. Zusammenhänge zwischen Multicodierung und Multimodalität eines medialen Lernangebots und Aspekten der Lernmotivation sind bislang kaum untersucht (Weidenmann, 2002b).

Diese Untersuchungen machen deutlich, dass weder die Summierungs- noch die einfache Realismustheorie in der vorgestellten Form gelten können. Dies bedeutet nicht,

dass die unterschiedlichen Sinneswahrnehmungen keinen Einfluss auf das Lernen und die Verarbeitung von Informationen nehmen, sondern nur, dass sich dieser Einfluss nicht so pauschal darstellen lässt, wie es in den beiden Theorien wiedergegeben wird. Eine deutliche Trennung in Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität hilft bei der Beschreibung der verschiedenen Einflüsse.

So gibt es eine Vielzahl von Gestaltungsprinzipien für das instruktionale Design, zum Beispiel spezielle Anregungen zur Gestaltung von Lerntexten, zur Gestaltung von Bildern sowie zur Gestaltung von Text-Bild-Kombinationen (Weidenmann, 2002b, S.58f.). Dabei ist die empirische Basis für Empfehlungen dieser Art unterschiedlich breit.

In der Literatur lässt sich jedoch eine Übereinstimmung dahingehend feststellen, dass eine große und breit gefächerte Vielfalt an Codierung und Modalität allein sowie die Verwendung von Effekten, die nur um der Effekte willen eingesetzt werden, wirkungslos, wenn nicht sogar nachteilig sind (Weidenmann, 2002b, S.58f.).

Bezugnehmend auf die zu Beginn dieses Kapitels formulierten pauschalen und wenig zutreffenden Aussagen hinsichtlich der Wirkweise medialer Angebote schlägt Weidenmann (2002b, S.61) folgende Umformulierungen vor:

Das Argument: „Multimedia spricht mehrere Sinneskanäle an und verbessert so das Behalten“, wäre zu ersetzen durch: „Multicodierte und multimodale Präsentation kann in besonderer Weise eine mentale Multicodierung des Lerngegenstandes durch den Lerner stimulieren. Dies verbessert die Verfügbarkeit des Wissens.“

Statt: „Multimedia ist abwechslungsreich. Das motiviert die Lerner“, wäre treffender: „Mit Multicodierung und Multimodalität gelingt es besonders gut, komplexe authentische Situationen realitätsnah zu präsentieren und den Lerngegenstand aus verschiedenen Perspektiven, in verschiedenen Kontexten und auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus darzustellen. Dies fördert Interesse am Gegenstand, flexibles Denken, die Entwicklung adäquater mentaler Modelle und anwendbares Wissen.“

Das beliebte Argument: „Multimedia aktiviert die Lerner“, wäre zu verändern in: „Interaktive multicodale und multimodale Lernangebote eröffnen den Lernenden eine Vielfalt von Aktivitäten. Dies erweitert das Spektrum ihrer Lernstrategien und Lernerfahrungen.“ (Weidenmann, 2002b, S.61)

Wie nun Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität im Einzelnen Einfluss nehmen, wird im Folgenden dargestellt. Dabei kann es allerdings passieren, dass ein Effekt zwar eindeutig beobachtet und wissenschaftlich nachgewiesen werden kann, die Erklärungsversuche dazu aber recht vielseitig sind. Nähere Ausführungen zum Einfluss der Interaktivität finden sich in Kapitel 6.

2.3.2 Verbale und piktoriale Lesefähigkeit

Im Kontext multicodaler medialer Angebote ist die Vertrautheit der Nutzer mit den einzelnen Codierungen zu berücksichtigen, und zwar sowohl beim Umgang mit Sprache als auch beim Umgang mit Bildern. Die kombinierte Verwendung von Texten, Bildern und Diagrammen in medialen Lernangeboten erfordert vom Lernenden die Fähigkeit, die verschiedenen Formen der Informationsdarbietung adäquat aufeinander zu beziehen (Schnotz, 2002, S.80).

Dazu gehören nicht nur die Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit schriftlichem Lernmaterial, die so genannte *verbale Lesefähigkeit* oder *verbal literacy*. Ebenso notwendig sind Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit Bildern und Diagrammen, die als *piktoriale Lesefähigkeit* oder im Englischen etwas verallgemeinert als *visual literacy* bezeichnet werden kann (Pettersson, 1994; Moore und Dwyer, 1994).

Symbolsysteme als kulturell konventionalisierte Zeichensysteme können umso effektiver verarbeitet werden, je mehr Erfahrung die Lernenden mit ihnen haben - sowohl in der Rezipientenrolle als auch in der Kommunikatorenrolle (Weidenmann, 2002b, S.52). Während das Verstehen von Texten, für sich genommen, jedoch relativ gut untersucht ist und die sprachlichen Kulturtechniken Lesen und Schreiben im Bildungssystem systematisch trainiert werden, ist die Analyse des Verstehens von Bildern und insbesondere Diagrammen noch nicht so weit fortgeschritten: Über die Interaktion dieser Darstellungsformen mit den kognitiven Verarbeitungsmechanismen der Lernenden sowie über die Entwicklung der hier erforderlichen Verstehensfähigkeiten ist nach Schnotz (2002) noch zu wenig bekannt. Auch gibt es bislang noch nicht sehr viele Untersuchungen darüber, wie die Entwicklung solcher Fähigkeiten durch spezifische Strategietrainings unterstützbar sein könnte.

Weidenmann (2001, S.428) nennt einige Erkenntnisse im Kontext des Bildverstehens: Demnach muss eine richtige Interpretation einfacher Bilder wie einfacher Umrisszeichnungen und klarer Fotografien von bekannten Objekten nicht erst erlernt werden. Anders verhält es sich mit dem Erkennen von Perspektive auf Bildern. Dies ist nach Weidenmann (2001, S.428) eine Kulturtechnik. Werden Angehörigen von Kulturen, die die Zentralperspektive nicht kennen, Bilder mit am Horizont zusammenlaufenden Linien vorgelegt, so werden diese Linien von ihnen nicht als Straße oder Eisenbahnschienen, sondern als gerade Linien, die sich oben berühren, interpretiert:

Abbildung 2.4 zeigt links eine Zeichnung, wie sie von Hudson (1960) Naturvölkern in Afrika vorgelegt wurde. Die Frage „Wer ist näher zum Mann: Elefant oder Antilope?“ wurde von zweidimensionalen Sehern mit „Elefant“ beantwortet. Die Hinweisreize für den Raum wie Größenverhältnisse und Zentralperspektive wurden als solche nicht wahrgenommen und verwertet.

Ein weiteres Beispiel für die Wirkung perspektivischer Informationen in einem Bild oder Diagramm ist die Ponzo-Illusion (Abbildung 2.4, rechts). Sie wurde 1913 vom italienischen Psychologen Mario Ponzo entwickelt und ist auch unter dem Namen „Railway Lines Illusion“ bekannt (Fox und Patterson, 1981). Dreidimensionale Seher meinen, die obere Querlinie sei länger. Dabei werden die beiden aufeinander

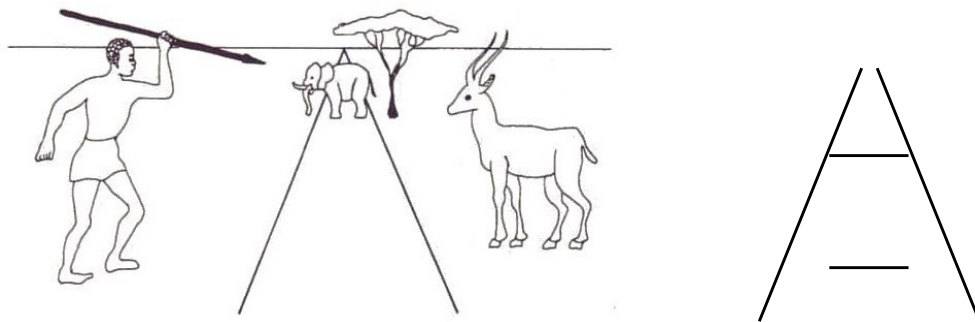


Abbildung 2.4: Zeichnung nach Hudson (1960) aus Weidenmann (2001, S.428) (links) und Ponzos-Illusion (rechts)

zulaufenden Linien als Hinweis für die Tiefe interpretiert und daraus ein „in Wirklichkeit“ gleichbleibender Abstand zwischen diesen Linien abgeleitet. Demnach wird die obere Querlinie als „in Wirklichkeit“ länger als die untere Querlinie wahrgenommen. Selbst mit dem Wissen, dass beide Querlinien tatsächlich gleich lang sind, fällt es dreidimensionalen Sehern schwer, dies auch so zu „sehen“, da die Interpretation der Tiefe automatisch stattfindet. Zweidimensionale Seher, wie beispielsweise einige der von Hudson (1960) untersuchten Afrikaner, sind für diese Illusion nicht anfällig. Sie nehmen die konvergierenden Linien nicht als Parallelen in der Tiefe, sondern als gerade zueinander geneigte Linien in der Bildebene wahr.

Gerade im Kontext mathematischer Bilder und Diagramme ist ein korrektes Bildverstehen von großer Bedeutung. Insbesondere bei Bildern und Diagrammen, die mathematische Körper und dreidimensionale Funktionsgraphen darstellen, spielt die Perspektive, aus der diese Körper und Graphen gezeigt werden, eine wichtige Rolle (siehe Kapitel 2.5 am Ende dieses Kapitels).

Wenn der Betrachter nicht über das nötige Bedeutungswissen verfügt, sind nach Weidenmann (2001, S.428) *bildliche Symbole* noch schwieriger als bestimmte, von kulturellen Sehweisen geprägte Darstellungen der Realität zu entziffern. Die Bedeutung konventioneller Symbole wie richtungsweisende Pfeile oder solcher Symbole, die oft in Comics Verwendung finden, wie beispielsweise Linien für Geschwindigkeit, Strahlenlinien für Licht, Wellenlinien für Hitze oder der Einsatz von Sprechblasen, müssen nach Weidenmann (2001, S.428) erst erlernt werden.

Bildliche Symbole werden in der Regel und insbesondere in der Form von *Icons* in den meisten Computerprogrammen und insofern auch in Lernumgebungen und Lernprogrammen eingesetzt. Um das Verstehen ihrer Bedeutung zu erleichtern, sollten sie zum einen so gestaltet sein, dass ein Bezug zu ihrer Bedeutung hergestellt werden kann; zum anderen sollte ihre Bedeutung explizit an geeigneter Stelle ausführlich erklärt werden. Meist wird bereits eine Kurzinformation beim Überfahren dieser Symbole mit der Maus zur Verfügung gestellt.

Kinder sind bei der Bildverarbeitung weniger geübt als Erwachsene (Mackworth und Bruner, 1970). Während Erwachsene häufiger informationshaltige Teile eines Bildes fixieren, verfügen Kinder weniger über ausgeprägte Strategien der Bildex-

traktion. Solche Unterschiede sollten demnach entsprechend bei der Bildgestaltung Berücksichtigung finden.

Nach Weidenmann (2001, S.428) verlangen Filme im Gegensatz zu stehenden Bildern teilweise andere visuelle Fähigkeiten. Das räumliche Sehen wird durch die Bewegung von Kamera und Akteuren erleichtert. Andererseits müssen die flüchtigen Bilder schnell identifiziert und Schnitt und Montage verschiedener Filmteile verarbeitet werden. Nach Stauffer, Frost und Rybolt (1978) können Personen mit einer hohen verbalen Lesefähigkeit auch aus Filmen mehr Informationen entnehmen. Weidenmann (2001, S.428) sieht eine mögliche Erklärung dieses Ergebnisses darin, dass die schnelle Bildverarbeitung bei der Betrachtung von Filmen einerseits und schnelles Lesen von Texten andererseits zum Teil dieselben Fähigkeiten verlangt.

2.3.3 Multicodalität

Mediale Angebote ermöglichen die Darstellung von Informationen in verschiedenen Codierungen. Wie oben erläutert, garantieren Multicodalität und Multimodalität allein jedoch noch keine Verbesserung der Informationsaufnahme oder im Kontext einer Lernumgebung eines damit verbundenen Lernerfolgs. Dennoch lassen sich verschiedene Wirkweisen verschiedener Codierungen nachweisen:

Der Bildüberlegenheitseffekt

Welchen Einfluss die Codierung medial präsentierter Inhalte auf das Behalten hat, wird durch den so genannten *Bildüberlegenheitseffekt*, engl. *picture superiority effect* (Nelson, 1979; Nelson, Reed und Walling, 1976) deutlich. Listen mit Abbildungen bekannter Objekte werden besser erinnert als Listen mit den entsprechenden Namen dieser Objekte.

Paivio (1986) erklärt diesen Effekt mithilfe seiner Doppelcodierungstheorie (siehe Kapitel 2.2.1): Bei Bildern von Objekten werden demzufolge automatisch auch die entsprechenden Bezeichnungen aktiviert; Wörter jedoch lösen in geringerem Maße bildhafte Vorstellungen aus. Nach Engelkamp (1990, 1994) muss es jedoch eine andere Ursache geben, denn seine Befunde unterstützen die Annahme, dass Bilder keineswegs automatisch eine Wortmarkenaktivierung auslösen. Zudem sollte zum Beispiel eine Instruktion, sich beim Lesen der Wörter die zugehörigen Gegenstände vorzustellen, ebenfalls eine Doppelcodierung auslösen und damit den Bildüberlegenheitseffekt nivellieren - dies ist jedoch nicht der Fall.

Nach Engelkamps Theorie (siehe Kapitel 2.2.2) haben Bilder zum einen den Vorteil, dass sie über die entsprechenden Bildmarken die zugehörigen Konzepte schneller und besser verfügbar machen als Wörter (Engelkamp, 1990, S.172); zum anderen *begründen* Bildmarken solche Konzepte, während Wortmarken nur auf Konzepte *referieren* (Engelkamp, 1990, S.469).

Paivio und Nelson (1979) als auch andere Autoren vermuten, dass Bilder im Gegensatz zu Wörtern eine reichhaltigere Gedächtnisspur bahnen. Kuhlhavy, Stock und Kealy (1993, S.52) erklären den Bildvorteil mit der holistischen Repräsentation.

tion eines Bildes als *Einheit*. Diese Einheit wird auch im internen Arbeitsspeicher als solche verarbeitet, so dass die Elemente eines solchen mentalen Bildes simultan zur Verfügung stehen, während verbale Repräsentationen nur sequenziell gespeichert und ebenfalls nur sequenziell abgerufen und verarbeitet werden.

Nach Weidenmann (2002b, S.51) darf jedoch nicht übersehen werden, dass die meisten gedächtnispsychologischen Befunde zur Multicodierung meist nur mit Wörter- und Bilderserien unter experimentell eher restriktiven Bedingungen gewonnen wurden und nicht mit komplexeren Lernmaterialien in bedeutungsvollen Lernsituationen.

Illustrationen und das Behalten von Text

Nach Schnotz (2002) geht es in der Forschung zum Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen nicht mehr um die Frage, ob Texte mit Bildern und Diagrammen lernwirksamer sind oder nicht, sondern vielmehr um die Bestimmung der Bedingungen, wie und warum Bilder und Diagramme beim Lernen mit Texten den Lernerfolg beeinflussen.

Die positive Wirkung von Illustrationen auf das Behalten von Text ist empirisch gut belegt (Peeck, 1987, 1994; Weidenmann, 1988, 1994). Metaanalysen der vorliegenden empirischen Studien berichten eine solide Effektstärke (Vorteil der Treatmentgruppe in Standardabweichung) von etwa 0.75 (Levin, Anglin und Carney, 1987).

Die förderliche Wirkung von Bildern auf das Behalten von Text erklärt Mayer (1989, S.243) vor allem damit, dass im Arbeitsgedächtnis des Nutzers so genannte *referenzielle Verknüpfungen*, engl. *referential connections*, zwischen verbalen und visuellen Repräsentationen hergestellt werden. Bei einem vorliegenden Text zur Funktionsweise einer Pumpe liest der Lernende beispielsweise den Satz „das Ventil öffnet sich“. Dabei bildet er propositionale Repräsentationen. Bei der anschließenden Betrachtung einer Illustration dieses Vorganges bildet er eine passende bildhafte Repräsentation. Diese gleichzeitige Repräsentation führt so zu einem *mapping*: Die verbalen und die bildhaften Repräsentationen werden aufeinander bezogen und integriert.

Mayer (Mayer und Anderson, 1991, 1992; Mayer und Gallini, 1990) betont dabei die Wichtigkeit der räumlichen und zeitlichen Kontiguität von Text- und Bildpräsentation. Die Medienwissenschaft spricht in diesem Zusammenhang von einer „Text-Bild-Schere“, wenn eine semantische Diskrepanz zwischen gleichzeitig präsentierten verbal und piktorial codierten Botschaften besteht (Weidenmann, 2002b, S.54).

Die oben dargestellte konzeptnähere Verarbeitung von Bildern und die aufwändigere Enkodierungsleistung bei Text-Bild-Kombinationen ist möglicherweise eine Erklärung für den empirisch gut abgesicherten Befund, dass sich ein Behaltensvorteil von multicodal präsentierter Information besonders nach einem längeren Behaltensintervall zeigt (Weidenmann, 2002b, S.52).

Vor dem Hintergrund medialer Angebote, die eine schnelle und auf technischer Ebene professionelle computerbasierte Gestaltung von Visualisierungen ermöglichen, gewinnt die Bereitstellung von Grundlagenwissen für die Erstellung und Verwendung von Bildern und Diagrammen in Verbindung mit Texten zunehmend an Bedeutung.

Aufgrund der Vielzahl gegeneinander abzuwägender Gesichtspunkte kann nach Schnotz (2002) eine mechanische Anwendung einfacher Gestaltungs- und Verwendungsregeln jedoch nicht zum Erfolg führen. Vielmehr müssen Orientierungsgrundlagen entwickelt werden, die bei der Gestaltung und Verwendung von Bildern und Diagrammen in Texten helfen, die verschiedenen Analysegesichtspunkte systematisch aufeinander zu beziehen. Erst dann wird man über rein intuitive Entscheidungen und einer nur an Oberflächenmerkmalen orientierten Scheinprofessionalität hinausgehen und die betreffenden Komponenten medialer Angebote so gestalten können, dass diese den psychologischen Gesetzmäßigkeiten des Aufbaus von Wissensstrukturen gerecht werden (Schnotz, 2002, S.81).

Bilder in medialen Angeboten

Im Vergleich zu Printmedien bieten multimediale Angebote weitere Möglichkeiten zur Gestaltung von Bildern. Weidenmann (2002a, S.93) betont im Besonderen drei Erweiterungen: die Einbeziehung des auditiven Sinneskanals, die Einbeziehung von Bewegtbildern und die Einbeziehung von Interaktivität.

Auf die Integration der auditiven Modalität wird in Kapitel 2.3.9 detailliert eingegangen. Möglichkeiten der Interaktivität zwischen Bild und Betrachter werden in Kapitel 6 näher betrachtet.

Hinsichtlich der *Bewegtbilder* wie beispielsweise Videosequenzen und Animationen erlauben mediale Angebote deren problemlose Einbindung. Sie können besonders zur Veranschaulichung komplexer Sachverhalte sehr hilfreich sein. Zum Beispiel lassen sich Bewegungsabläufe in Sport oder Handwerk, soziale Interaktionen oder dynamische Szenarien und Simulationen im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich wie beispielsweise Wachstumsprozesse oder Funktionsweisen von Maschinen besser mit Bewegtbildern darstellen als mit Standbildern.

Es ist aber bekannt (Weidenmann, 2002a), dass bewegte Bilder das Risiko eines „Overload“ und damit einer unzulänglichen Verarbeitung durch den Rezipienten mit sich bringen können. Dem lässt sich aber durch verschiedene Maßnahmen entgegenwirken: Verlangsamung von Animationen, Wiederholungen, Standbildverlängerungen, strukturierende Schrifteinblendungen und kongruente und synchrone auditive Kommentierung sind Beispiele solcher Möglichkeiten. Zudem kann der Rezipient mental auf ein Bewegtbild vorbereitet werden (*Advance Organizer* (siehe auch Kapitel 3.2.4, S.172)) und der Einsatz der Bewegtbilder auf das erforderliche Mindestmaß beschränkt werden.

2.3.4 Multimodalität

Da die Sinnesmodalitäten mit den Codierungen und Strukturierungen der medialen Angebote interagieren, sind wirklich systematische Vergleiche zwischen den Modalitäten beim Lernen mit Medien kaum durchführbar. Dennoch gibt es empirisch nachweisbare Besonderheiten in der Verarbeitungsqualität und der Verarbeitungskapazität der verschiedenen Sinnesmodalitäten: Sprache wird beispielsweise über die

auditive Sinnesmodalität anders präsentiert und rezipiert als über die visuelle Modalität. Zuhören und Lesen unterliegen unterschiedlichen Bedingungen (Weidenmann, 2002b, S.52). Viele mediale Angebote lassen auch gar keinen prinzipiellen Vergleich verschiedener Modalitäten zu: Zum Beispiel ist es schwierig, bewegte Bilder anders als visuell zu präsentieren.

Hinzu kommt, dass aus kognitionspsychologischer Sicht beim Lernen nicht so sehr die jeweils angesprochenen Sinneseingangskanäle wichtig sind, sondern vielmehr die internen Codierungen und Verarbeitungsprozesse (siehe Kapitel 2.2.3). Vor diesem Hintergrund ist auch die vor allem durch Frederic Vester (1925-2003, siehe Vester (2001, Originalausgabe 1975)) verbreitete Einteilung in modalitätsbezogene Lerntypen kritisch zu betrachten (siehe hierzu auch Kapitel 3.2.12 *Lernstile und Lernereigenschaften*). Sie lässt sich nach Fenk (1980) weder empirisch noch theoretisch untermauern. Stattdessen zeigt eine Studie von Wippich, Schulte und Mecklenbräuer (1989), dass Lernende nach einer zufällig vorgenommenen Identifikation als visueller oder akustischer Lerntyp ihre tatsächlichen Lernleistungen entsprechend dieser Zuordnung einschätzen und erinnern.

Dennoch gibt es auch Untersuchungen (Jonassen und Grabowski, 1993), die nahelegen, dass manche Lernende eher Bilder, andere eher Texte bevorzugen. Dabei handelt es sich um einen so genannten kognitiven Stil, bezüglich dessen sich *Visualisierer* und *Verbalisierer* unterscheiden lassen (Leutner und Plass, 1998).

In einem Versuch (Plass, Chun, Mayer und Leutner, 1998) wurde Studenten eines US-amerikanischen Colleges, die das Fach „Deutsch als Fremdsprache“ belegt hatten, ein deutschsprachiger literarischer Text in Form eines medialen Angebotes vorgelegt. Dabei konnten Erläuterungen zu unbekannten Wörtern entweder in Form von Text oder in Form von Text und Bild bzw. Text und Videosequenz abgerufen werden.

Es konnte festgestellt werden, dass es in der Tat interindividuell unterschiedliche und zeitlich stabile Präferenzen in der Bevorzugung von Texten einerseits und Bildern und Videosequenzen andererseits gibt. Wie erwartet profitierten Verbalisierer von verbalen und Visualisierer von visuellen Erläuterungen. Dabei ergab sich auch die interessante Feststellung, dass eine Einbindung von Video den Visualisierern jedoch über die Bilder hinaus keinen zusätzlichen Vorteil brachte.

Nach Weidenmann (2001, S.429) verlief die Suche nach aussagekräftigen Ergebnissen hinsichtlich der Einteilung in Verbalisierer und Visualisierer jedoch „bislang uneinheitlich, insgesamt aber enttäuschend“. Einen Grund hierfür sieht er zum Teil in der Forschungsmethode:

In der Regel hat man mit wenig überzeugenden Fragebogen [sic!] die Personen per Selbstauskunft ihre Vorlieben und Gewohnheiten beim Umgang mit Text/Sprache oder Bildern ankreuzen lassen. Dabei werden zwei Dimensionen vermischt: die Bevorzugung des verbalen oder piktorialen Kodex [sic!] beim Aufnehmen von Informationen und die Bevorzugung des Denkens in Sprache oder Bildern. Vorliebe für Bilder in Lernmaterialien und Vorliebe für bildhaftes Denken sind aber psychologisch zwei verschiedene Dinge. (Weidenmann, 2001, S.429)

Insofern lässt sich also durch die vorgenommene Typisierung in Verbalisierer und Visualisierer nicht festlegen, ob es sich dabei um Vorlieben hinsichtlich des *Informationsangebotes* handelt (Text oder Bilder) oder um Präferenzen hinsichtlich der *mental Formate und Prozesse* (sprachnahes oder eher bildhaftes Denken). Weidenmann (2001, S.429f.) weist zudem darauf hin, dass eine Gleichsetzung von „visuell“ mit „bildhaft“ fragwürdig ist, da auch Texte intern visuell präsentiert werden.

Insofern ist nach Weidenmann (2002b) die Frage, welche Sinnesmodalität für das Lernen die beste sei, falsch gestellt. Stattdessen sollte man Befunde beachten, die nachweisen, dass die menschlichen Sinne anfällig für Überlastung und Interferenzen sind. Nach verschiedenen Studien (vgl. Engelkamp und Zimmer, 1990) lässt sich diese Überlastung reduzieren, indem das Informationsangebot auf verschiedene Sinnesmodalitäten verteilt wird und unterschiedliche Codierungen benutzt werden. Vor allem die Einbeziehung der auditiven Modalität in mediale Angebote eröffnet nach Weidenmann (2002b, S.53) attraktive Möglichkeiten (siehe Kapitel 2.3.9).

Andererseits wächst mit der Vielfalt an Codierungen und angesprochenen Modalitäten auch prinzipiell die Anforderung an den Lernenden, seine begrenzte Aufmerksamkeit optimal zu verteilen und die diversen Informationsangebote semantisch kohärent zu integrieren. Die Wissenschaft spricht hier vom „split-attention-affect“ (Ballstaedt, 1990; Mevarech et al., 1992; Nugent, 1982). Insofern ist es eine wichtige Voraussetzung, dass die verschiedenen modalen (und codalen) Informationsangebote gut koordiniert und synchronisiert sind. Sonst erschweren sie eher das Lernen als es zu erleichtern.

2.3.5 Gestaltung von Texten

Da jedem Lernenden nur eine begrenzte kognitive Verarbeitungskapazität zur Verfügung steht, kann seine Aufmerksamkeit sich auch immer nur auf eine begrenzte Informationsmenge fokussieren. Insofern muss der Lernende zu jedem Zeitpunkt wissen, wovon gerade die Rede ist. Nur dann kann er im Falle eines Themenwechsels seinen Fokus entsprechend verschieben (Schnotz, 2002, S.72).

In jedem Satz und in jedem größeren Textsegment sind zwei Informationskomponenten unterscheidbar: der *Topic* und der *Comment*. Der *Topic* gibt an, worüber etwas gesagt wird und bestimmt damit einen Referenten. Er ist somit Steuerungssignal bei einem Themenwechsel. Der *Comment* gibt an, was darüber ausgesagt wird. Beim Lesen oder Hören eines Textes aktualisiert der Rezipient ständig die Topic-Informationen und behält oder verschiebt entsprechend seinen Fokus (Schnotz, 2002, S.73).

Einzelne Elemente eines Satzes können auf unterschiedliche Art und Weise den Topic bestimmen (Schnotz, 2002, S.73): Ein singulares Pronomen weist beispielsweise darauf hin, dass der Referent zuvor explizit an der Textoberfläche genannt wurde, sich somit noch innerhalb des aktuellen Aufmerksamkeitsfokus befindet und anhand von Geschlecht und Zahl (Singular/Plural) eindeutig identifiziert werden kann. Beispiel: „Die Gerade g berührt den Kreis k im Punkt P . Sie schneidet die Gerade h im Punkt Q “. Der Referent, die Gerade, wird durch das singulare Pronomen „sie“

im zweiten Satz wieder aufgegriffen.

Im Gegensatz zu einem Personalpronomen stellt ein Nomen eine deutlichere Beziehung zum Referenten her, insbesondere wenn dasselbe Nomen wiederholt oder ein Synonym verwendet wird. Zwischen der Wiederholung eines Nomens und der Verwendung eines Synonyms besteht jedoch ein Unterschied: Während das Nomen einen Bezug zum aktuellen Referenten bereits auf der Ebene der Textoberfläche herstellt, muss bei der Verwendung des Synonyms das mentale Modell herangezogen werden, um den Bezug herstellen zu können. Beispiel: „Die Gerade g berührt den Kreis k im Punkt P . Die Gerade g schneidet die Gerade h im Punkt Q “ bzw. „Die Gerade g berührt den Kreis k im Punkt P . Die Tangente g schneidet die Gerade h im Punkt Q “. Bei der ersten Formulierung des Beispiels wird das Nomen „die Gerade“ nun zweimal verwendet und nicht durch das Personalpronomen „sie“ ersetzt. Bei der zweiten Formulierung wird ein mentales Modell einer Tangente vorausgesetzt, so dass der Begriff der Tangente als Synonym für eine Gerade, die einen Kreis berührt, verwendet werden kann.

Ein notwendiges Kriterium einer guten Textgestaltung ist also eine Beschreibung des Referenten, die dessen Identifizierung immer problemlos ermöglicht. Nur dann kann ein Lernender dem ihm vorliegenden Text folgen.

Zu den wichtigsten Aspekten, mit denen Textautoren dazu beitragen können, dass die Rezipienten eine adäquate Wissensstruktur zu einem Text entwickeln, gehören nach Weidenmann (2001, S.436–438) *Verständlichkeit*, *Kohärenz*, *Organisationshilfen* und *Sequenzierung*.

▷ VERSTÄNDLICHKEIT

Nach dem Hamburger Verständlichkeitskonzept (Langer, Schulz von Thun und Tausch, 2006) haben die folgenden Faktoren bei verständlichen Texten eine hohe Ausprägung („Verständlichkeitsmacher“):

- ▷ *Einfachheit*: Wortwahl, Satzbau, usw.
- ▷ *Gliederung, Ordnung*: Überschriften, Abschnitte usw.
- ▷ *Kürze, Prägnanz*: Dichte, Knappheit
- ▷ *Anregung*: direkte Rede, Beispiele, Humor, Spannung

Groeben (1998) betont in seinem Verständlichkeitskonzept trotz anderer Ausgangsbasis ähnliche Dimensionen. Während das Hamburger Konzept jedoch ein möglichst hohes Verständlichkeitsniveau für optimales Lernen empfiehlt, hält Groeben (1998) ein mittleres Niveau für ideal.

▷ KOHÄRENZ

Text kann wie gesprochene Rede nur nacheinander rezipiert werden. Dies erfordert beim Lesen, nicht nur das gerade aktuell Gelesene, sondern eine sowohl nach hinten als auch nach vorne erweiterte Umgebung präsent zu halten. Nur so kann ein kontinuierlicher „roter Faden“ gesponnen werden. Dabei werden rückwärtige Verknüpfungen durch den Arbeitsspeicher ermöglicht: Bisher Gelesenes muss

aktiv im Bewusstsein gehalten werden. Vorwärts gerichtete Verknüpfungen entstehen auf Grund von Vorwissen, Elaboration und Inferenz. Solche Inferenzen und Erwartungen sorgen zudem dafür, dass der Leseprozess auch dann aufrecht erhalten wird, wenn eine Textstelle nicht sofort verstanden wurde. Es entwickelt sich eine Erwartungstoleranz, im Rahmen derer in der Hoffnung weitergelesen wird, dass sich innerhalb einer bestimmten Erwartungsspanne das momentan noch Unverstandene klären wird (Schnotz, 1994).

Dieser „kontinuierliche Faden“ oder „Sinnfluss“ wird in der Lesepsychologie als *Kohärenz* bezeichnet (Weidenmann, 2001, S.437). Ein Autor kann die Kohärenz seines Textes gezielt verbessern, indem er bestehende Verbindungen explizit in Worte fasst. Dies kann beispielsweise durch Formulierungen wie „also, deshalb, das heißt, weil“, aber auch durch Ankündigungen wie etwa „auf die letzten beiden Punkte gehe ich nun im Detail ein“ oder durch Erinnerungen wie „im vorigen Abschnitt wurde ausgeführt“ oder durch Verbindungen wie „aus den geschilderten Befunden lassen sich nun folgende Empfehlungen ableiten“ erreicht werden.

Wird der Leser durch solche Techniken darin unterstützt, den roten Faden eines Textes zu erkennen und ihm demzufolge leichter folgen zu können, werden dadurch seine kognitiven Ressourcen entlastet. Zudem sichern sie das Entstehen kohärenter Wissensstrukturen.

▷ ORGANISATIONSHILFEN

Ausubel (1974) empfiehlt im Rahmen seines Konzeptes des *sinnvollen, rezeptiven Lernens* die Verwendung von Organisationshilfen, so genannter *organizers* (siehe hierzu Kapitel 3.2.4, S.172).

Dabei sind Organisationshilfen abstrakter und allgemeiner als der eigentliche Text: Sie erklären das folgende Material oder zeigen Beziehungen auf und können insofern dem Text vorangestellt (*advance organizers*) oder in ihn eingebettet sein. Somit unterscheiden sich Organisationshilfen von Übersichten und Zusammenfassungen, die auf dem selben Abstraktionsniveau wie der Text stehen und lediglich etwas auslassen oder wiederholen (Weidenmann, 2001, S.437).

„Hauptfunktion einer Organisationshilfe ist, die Kluft zu überbrücken zwischen dem, was der Lernende bereits weiß und dem, was er wissen muss, bevor er erfolgreich die jeweilige Aufgabe lernen kann“ (Ausubel, 1974). Ausubel (1974) schlägt Organisationshilfen vor allem für Faktentexte und weniger für abstrakte Inhalte vor. Die Darstellung abstrakter Inhalte enthält in Form von Argumenten und Verknüpfungen bereits gewissermaßen solche Organisationshilfen.

Nach Weidenmann (2001, S.437) konnte ein empirischer Nachweis für die Wirksamkeit von Organisationshilfen nicht durchgehend erbracht werden: Organizers können demnach lernförderlich sein, müssen es aber nicht. Ob Organisationshilfen Schemata und kognitive Rahmen aktivieren, die das Textlernen erleichtern, scheint nicht unabhängig vom Lernenden selbst zu sein: Es scheint darauf zu beruhen, inwieweit er solche Hilfen nutzen will und kann.

▷ SEQUENZIERUNG

Die Sequenzierung spielt für die Verständlichkeit eines Textes ebenfalls eine bedeutende Rolle. Die Anordnung der Wörter und Sätze und der damit jeweils verbundenen Information bestimmt, in welcher Reihenfolge der Lernende diese Informationen aufnimmt. Schnotz (1984) konnte in einer experimentellen Untersuchung nachweisen, dass eine unterschiedliche Sequenzierung eines Textes bei gleicher Textinformation die Wissensstruktur der Lernenden beeinflusst.

Weitere Hilfen wie beispielsweise Überschriften, Unterstreichungen, Randbegriffe, Zusammenfassungen oder Aufgaben erwiesen sich nach Weidenmann (2001, S.438) empirisch unter bestimmten Bedingungen als hilfreich. Sie fördern das Textverstehen vor allem bei längeren Texten mit anspruchsvollen Informationen (siehe auch Ballstaedt (1997)).

Weidenmann (2001, S.438) hält jedoch abschließend fest, dass die Leseforschung keine generellen Rezepte für die Gestaltung von Lerntexten zulässt. Insofern komme es darauf an, neben wahrnehmungspsychologischen Mindeststandards wie etwa die Lesbarkeit des Druckes „durch den Text Konzepte bzw. Schemata der Lerner so zu aktivieren und zu verändern, dass eine erwünschte Wissensstruktur möglichst wahrscheinlich wird“. Da es jedoch für Lerntextautoren schwierig ist, Informationen über die individuellen Wissensstrukturen und Lesestrategien der Lernenden in Erfahrung zu bringen, hält Weidenmann (2001, S.438) eine sorgfältige Testung und Revision von Lerntexten vor ihrem Einsatz für sehr wichtig.

2.3.6 Gestaltung von Bildern und Diagrammen

Viele Lernende meinen, dass einem Bild oder Diagramm mit einem Blick genügend Information entnommen werden könnte. Dies führt dann von vornherein zu einer nur oberflächlichen Betrachtung und Verarbeitung (Schnotz, 2002). Ein Ziel bei der Gestaltung von Bildern und Diagrammen und den sie begleitenden Texten sollte daher sein, dieser Tendenz zur oberflächlichen Verarbeitung entgegenzuwirken.

Die „Gefahr“ der Unterschätzung des Informationsgehalts von Bildern durch den Rezipienten ist besonders bei medialen Angeboten gegeben (vgl. Kapitel 2.3.1, S.93, *Unterschätzungsthese*), weil diese mit Unterhaltungserwartungen verknüpft sind. Bilder in Informations- und Lernangeboten sollten absichtsvoll gestaltet sein und sind insofern „visualisierte Argumente“ (Weidenmann, 2002a).

Möglichkeiten, die Aufmerksamkeit innerhalb eines Bildes oder Diagramms zu fokussieren, sind beispielsweise *Einrahmungen*, *Vergrößerungen* (bei der so genannten *Lupentechnik*) oder auch *direktive Zeichen* wie Pfeile oder Kreise. Solche direktiven Zeichen sind nicht Teil der Repräsentation des entsprechenden Gegenstandes, sondern sollen lediglich die Verarbeitung beeinflussen (vgl. Kapitel 1.2.4, S.33, Steuerungs- und Darstellungscodes).

Beim Betrachten von Bildern und Diagrammen folgen die präattentiven Prozesse der Wahrnehmungsorganisation im Wesentlichen den folgenden Gestaltgesetzen (Wertheimer, 1938):

Gestaltgesetze

- ▷ DAS GESETZ DER NÄHE
Räumlich näher beieinander liegende Komponenten eines Bildes oder Diagramms werden eher zusammengefasst als weiter entfernt liegende.
- ▷ DAS GESETZ DER ÄHNLICHKEIT
Komponenten mit ähnlichen visuellen Merkmalen wie beispielsweise Farbe, Form, Orientierung oder Textur werden eher zusammengefasst als Komponenten mit unterschiedlichen Merkmalen.
- ▷ DAS GESETZ DER GESCHLOSSENHEIT BZW. DER GUTEN GESTALT
Visuelle Information wird jeweils möglichst einfach organisiert, so dass prägnante Formen entstehen.
- ▷ DAS GESETZ DER GUTEN FORTSETZUNG
Mehrere sich schneidende Linien bleiben durch die implizite Annahme voneinander unterscheidbar, dass die Linien an den Schnittstellen jeweils kontinuierlich verlaufen.
- ▷ DAS GESETZ DES GEMEINSAMEN SCHICKSALS
Mehrere Kurven gleicher Form werden zu einer Einheit zusammengefasst und als Kurvenschar wahrgenommen.

2.3.7 Kriterien für das Verstehen von Bildern

In medialen Angeboten findet sich eine Vielzahl von (realistischen) Bildern. Gründe für den deutlich beobachtbaren Trend zu immer mehr stehenden und bewegten Illustrationen liegen zum einen bei den technisch immer besser werdenden Möglichkeiten der elektronischen Bildspeicherung, zum anderen an der Attraktivität von Bildern für die Nutzer und an der Tatsache, dass längere Texte für das Lesen am Bildschirm nicht geeignet sind (Weidenmann, 2002a). Insofern stellt sich die Frage, wie Bilder in informativen und insbesondere didaktischen medialen Angeboten genutzt werden können. Dies führt zu der Frage nach Gestaltungsregeln für informierende Bilder und ergänzende Texte, so dass die Lernenden die codierten Informationen möglichst effektiv entnehmen können.

Weidenmann (2002a) weist an dieser Stelle darauf hin, dass die Forschung einige Beiträge zur Beantwortung dieser Fragen leisten kann, auch wenn die besonderen Bedingungen von Bildern in medialen Angeboten bislang wenig untersucht wurden.

In der Literatur zum Lernen mit Bildern finden sich einige Aufzählungen von Bildfunktionen im Zusammenhang mit der Rezeption von Texten: Bilder können dazu verwendet werden, um Inhalte von Texten zu zeigen, die Aufmerksamkeit darauf zu lenken, Textaussagen zu ordnen, zu erklären oder leichter merkbar zu machen. In Form einer Dekoration können Bilder einen Text attraktiver machen und zum Lesen anregen. Zudem erfüllen Bilder eine *kompensatorische Funktion* bei Rezipienten mit unterentwickelter bzw. schwach ausgeprägter Lesefähigkeit (Weidenmann, 2002a, S.84).

In der Praxis ist es wichtig, bei all diesen Funktionen auch entwicklungspsychologische Aspekte zu berücksichtigen: Erwachsene verarbeiten Bilder anders als Kinder, Jugendliche anders als Kleinkinder. Ebenso bestehen interindividuelle Unterschiede in der piktorialen Lesefähigkeit (siehe Kapitel 2.3.2).

Hinsichtlich der Funktionen von Bildern in informierenden und instruktionalen Angeboten nennt Weidenmann (2002a) drei Funktionen, die er als besonders wesentlich herausheben und unter psychologischen und gestalterischen Gesichtspunkten näher betrachtet: Es handelt sich hierbei um die *Zeigefunktion*, die *Situierungsfunktion* und die *Konstruktionsfunktion*.

Die Zeigefunktion

Bilder können einen Gegenstand oder etwas an einem Gegenstand zeigen. Dies ist die *Zeigefunktion* von Bildern. Sie zielt darauf ab, dass Lernende ein deutliches und zutreffendes „Bild“ zum gegebenen Bildthema im Sinne einer bildhaften Vorstellung entwickeln. Das Bildthema kann dabei ein Gegenstand, aber zum Beispiel auch ein Bewegungsablauf sein. Besondere Merkmale und vergleichende Unterschiede zum vorgegebenen Thema sollen erkannt und gezeigt werden. Im Besonderen findet man viele Bilder mit ausgeprägter Zeigefunktion in Schulbüchern aller Jahrgangsstufen und Fächer wie beispielsweise Biologie, Geografie, Kunst und Sport, aber auch in der beruflichen Aus- und Weiterbildung (Weidenmann, 2002a, S.85).

Auch und gerade in der Mathematik spielt die Zeigefunktion von Bildern eine wichtige Rolle: Je nach mathematik-philosophischer Richtung (siehe Kapitel 1.5.1) „zeigen“ sie mathematische Objekte, die tatsächlich existieren, oder sind Modelle mathematischer Konstrukte, die in der Realität gar nicht existieren. So unterstützen beispielsweise Bilder von geometrischen Figuren und Körpern den Aufbau mentaler Modelle dieser Objekte. Es gibt kaum ein Mathematikbuch, das geometrische Figuren wie Dreiecke, Rechtecke, Quadrate und geometrische Körper wie Würfel, Kugel, Zylinder und Kegel ohne eine entsprechende Zeichnung einführt.

Dabei sollte die Aufgabe des Zeigens instruktionspsychologisch nicht unterschätzt werden. Es geht nicht nur darum, das gegebene Thema abzubilden; vielmehr ist die Aufmerksamkeit des Lernenden auf die kritischen Merkmale des betreffenden Gegenstandes zu lenken. Dabei soll zum einen eine möglichst vollständige Vorstellung des Gegenstands entwickelt werden; gleichzeitig soll aber auch Wichtiges von Unwichtigem, Charakteristisches von Akzidentellem unterschieden werden können (Weidenmann, 2002a, S.85).

Insbesondere die Unterscheidung von Charakteristischem und Akzidentellem ist in der Mathematik von besonderer Bedeutung. Ein Beispiel hierfür ist die Darstellung geometrischer Sätze. Punkt- und Geradenkonfigurationen werden zum Beispiel so dargestellt, dass die wesentlichen Merkmale wie etwa Schnittpunkte deutlich erkennbar sind und innerhalb des gewählten Bildausschnittes liegen.

Für den mathematischen Satz „*Die Mittelsenkrechten eines Dreiecks ABC schneiden sich in einem gemeinsamen Punkt S*“ wird in der Regel ein solches Dreieck gewählt, bei dem dieser Schnittpunkt im Inneren des Dreiecks liegt. Darstellungen, bei denen

der Schnittpunkt auf dem Rand oder außerhalb des Dreiecks liegt, finden sich eher selten (siehe Abbildung 2.5). Noch viel seltener sind Darstellungen mit entarteten Dreiecken.

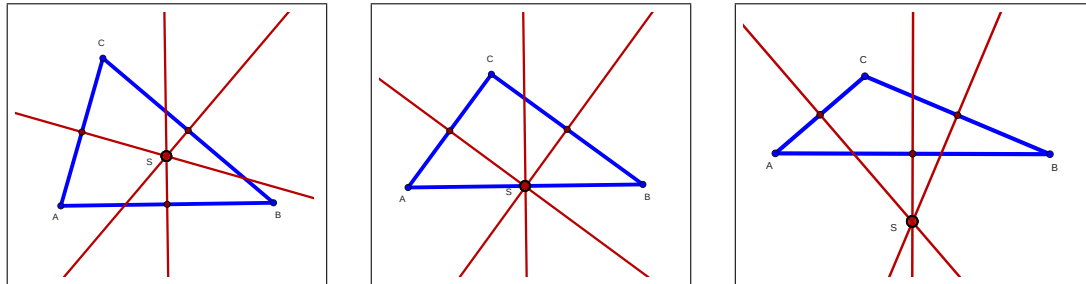


Abbildung 2.5: Mögliche Illustrationen zum mathematischen Satz „Die Mittelsenkrechten eines Dreiecks ABC schneiden sich in einem gemeinsamen Punkt S .“ (Bilder erstellt mit *Cinderella*)

Somit wird auch hier auf allgemein übliche und keine akzidentellen Konstellationen zurückgegriffen. Dennoch sind auch diese „Sonderfälle“ wichtig, um ein vollständiges mentales Modell dieses Satzes aufzubauen. Der Einsatz dynamischer Geometriesoftware oder mithilfe solcher Software erstellter *interaktiver Bilder* ermöglichen hier ein „Erfahren“ des gesamten mathematischen Kontextes (siehe Kapitel 6.4).

Wie empirische Untersuchungen zeigen, kann eine aufmerksame Betrachtung von Bildern nicht durch allgemeine Anweisungen an Lernende, einer Abbildung besondere Beachtung zu schenken, erreicht werden. Stattdessen sind gezielte Hinweise, worauf genau geachtet werden soll, notwendig (Peeck, 1994).

Hinsichtlich der Gestaltung von Bildern zur Zeigefunktion stellen sich nach Weidenmann (2002a, S.86) folgende instruktionspsychologische Fragen: Ist ein möglichst realistisches Bild immer das beste? Wie lässt sie die Aufmerksamkeit des Betrachters steuern? Wann ist ein Bewegtbild einem Standbild vorzuziehen, wann nicht? Was sind die Schlüsselstellen von komplexen Abläufen und Ereignissen, die für das Bild ausgewählt werden sollen?

Ein wichtiges Ziel der Zeigefunktion ist es somit, die Wahrnehmung der als relevant definierten Gegenstandsmerkmale zu sichern. Diese Merkmale bestimmen beispielsweise die Wahl des Bildausschnitts, des Blickwinkels, der Größenverhältnisse und der Farben. Die genannten Gestaltungsmöglichkeiten gehören dabei alle zu den Darstellungscodes (siehe Kapitel 1.2.4, S.33). Steuerungscode wie zum Beispiel Beschriftungen oder Einrahmungen können einzelne Teile einer Abbildung hervorheben (Weidenmann, 2002a, S.89).

Ein einfaches, aber eindrucksvolles Beispiel für die Bedeutung der Wahl der Perspektive sind Bilder geometrischer Körper: Der Blickwinkel, aus dem die Körper dargestellt werden, ist in der Regel sehr bewusst gewählt. Abbildung 2.6 zeigt jeweils fünfmal den gleichen Würfel aus unterschiedlichen Perspektiven. Während das erste Bild die Dreidimensionalität des Würfels gar nicht widerspiegelt, lassen die Schattierungen des zweiten und dritten Bildes vielleicht schon eine dritte Dimension erahnen; die wirklich charakteristischen Merkmale eines Würfels sind aber erst in den beiden letzten Bildern, insbesondere im letzten Bild wahrnehmbar.

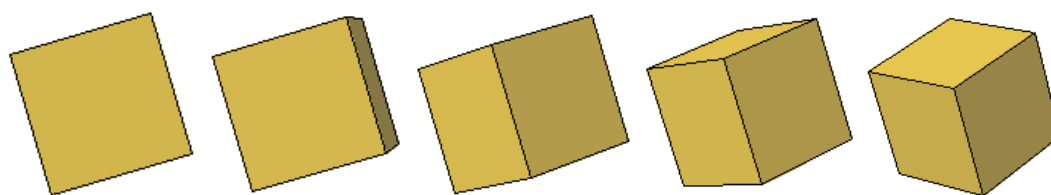


Abbildung 2.6: Würfel aus verschiedenen Perspektiven

(Quelle des Applets: <http://home.fonline.de/fo0126//geometrie/geo57.htm>)

Die Bildfolge als solche deutet eine Bewegung des Würfels an. In der Tat wurde sie mithilfe eines Applets erstellt, mit dem ein Würfel in verschiedene Richtungen gedreht werden kann. Dabei lässt sich per Mausklick jede einzelne Seitenfläche auf farbige oder durchsichtige Fläche umschalten, so dass neben dem soliden Körper auch das Rahmenmodell sowie Mischformen von Rahmen- und Flächenmodell betrachtet werden können. Neben solchen Applets, die vom Anwender selbst gesteuert werden können, finden sich auch solche Applets, die die Bewegung bereits selbst animieren oder bei denen sich die Animation verändern lässt.

Insbesondere komplexe geometrische Figuren wie beispielsweise die Platonischen Körper oder auch zwei- und dreidimensionale Funktionsgraphen sind Beispiele für mathematische Objekte, deren Darstellungen eine ausgeprägte Zeigefunktion besitzen, welche insbesondere durch die Darstellungsformen des Applets, der Animation und des interaktiven Bildes unterstützt werden kann.

In mathematischen Bildern ist jedoch nicht nur die Wahl der Perspektive an sich, sondern auch deren korrekte Darstellung von Bedeutung. Abbildung 2.7 zeigt links auf den ersten Blick zwei abgeschnittene Pyramiden. Der rechte Teil der Abbildung zeigt dieselben „Pyramiden“ mit verlängerten Kanten: Anhand dieser Darstellung wird deutlich, dass nur jeweils die rechte der beiden Abbildungen tatsächlich ein Abbild einer abgeschnittenen Pyramide ist, denn hier treffen sich die drei Kantenlinien in einem Punkt.

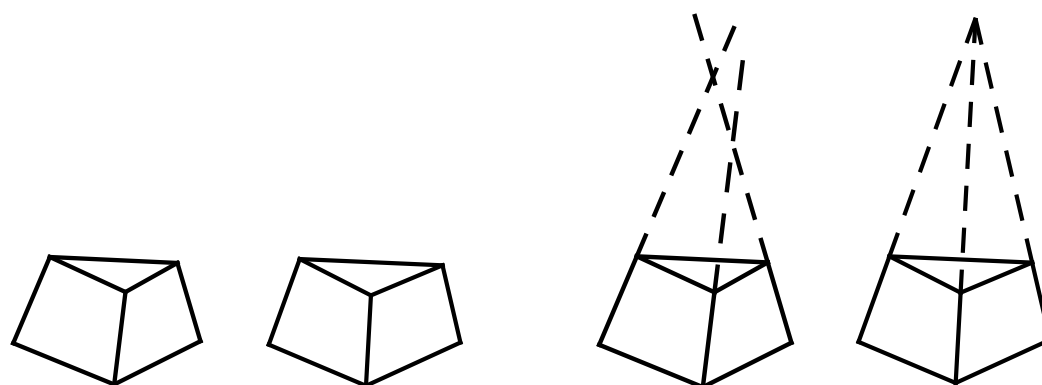


Abbildung 2.7: Eine abgeschnittene Pyramide in falscher (jeweils links) und korrekter (jeweils rechts) perspektivischer Darstellung (Bilder erstellt mit *Cinderella*)

Von mathematischen Körpern wie beispielsweise den Platonischen oder Archimedischen Körpern lassen sich dreidimensionale Modelle beispielsweise aus Gips oder

Papier herstellen. Mathematische Bilder können aber auch mathematische Objekte „zeigen“, die sich nicht im dreidimensionalen Raum in diesem Sinne modellieren lassen. Ein Beispiel hierfür ist der Hyperkubus. Er ist vierdimensional, dennoch gibt es verschiedene Möglichkeiten, sich vom Hyperkubus ein „Bild zu machen“ bzw. ein mentales Modell des Hyperkubus zu entwickeln (siehe Abbildung 2.8). Der Hyperkubus ist ein gutes Beispiel dafür, dass mentale Modelle nicht nur ein Abbild eines Gegenstandes oder Sachverhaltes sind. Durch ein Bild bzw. Bilder wird zwar ein wichtiger, aber dennoch nur ein Teil der Information über den jeweiligen Gegenstand oder Sachverhalt dargestellt. Das Verknüpfen weiterer Informationen mit diesem Bild bzw. diesen Bildern ist notwendig, um das mentale Modell und damit das Wissen über den Gegenstand oder den Sachverhalt zu vervollständigen. Gleichzeitig kommt damit den Bildern des Hyperkubus in diesem Beispiel auch eine Konstruktionsfunktion zu (siehe dieses Kapitel, S.115).

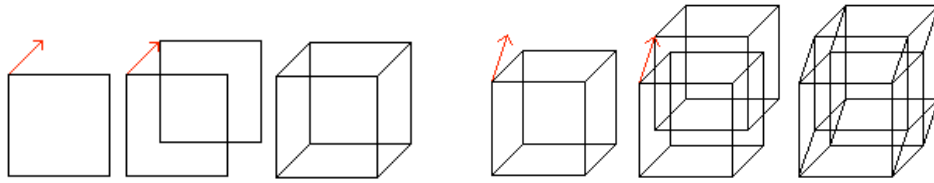
Abbildung 2.8 ist auch ein geeignetes Beispiel, um den Einsatz von Farben in mathematischen Bildern zu demonstrieren. Ohne die farbliche Hervorhebung der einzelnen Würfel in den Hyperkubus-Darstellungen dürfte es schwer fallen, diese als solche zu erkennen. Um die farbigen Hervorhebungen aber verstehen zu können, ist ein gewisses Maß an piktorialer Lesefähigkeit (visual literacy) notwendig: Die perspektivischen Darstellungen müssen als solche erkannt und verstanden, die einzelnen Würfel als solche „gesehen“ werden können. So bedarf es in der Reihe mit den weiteren Darstellungen des Hyperkubus für das Erkennen des türkisfarbenen Würfels gegebenenfalls etwas länger als für das Erkennen des gelben, violetten, grünen und roten Würfels. Auf der Webseite, die diese Bilder zur Verfügung stellt, sind die Bilder mit den hervorgehobenen farblichen Würfeln animiert: Die 8 verschiedenen Würfel eines Hyperkubus rotieren dabei farblich hervorgehoben in der jeweiligen Darstellung. Dies unterstützt das Erkennen der einzelnen Würfel.

Auch bei diesem Beispiel ist zu beobachten, dass die Wahl der Perspektive bei den einzelnen Darstellungen nicht zufällig, akzidentell, sondern sehr bewusst gewählt wurde. Vor allem in der Reihe mit den weiteren Darstellungen des Hyperkubus fällt die hohe Symmetrie der einzelnen Darstellung auf.

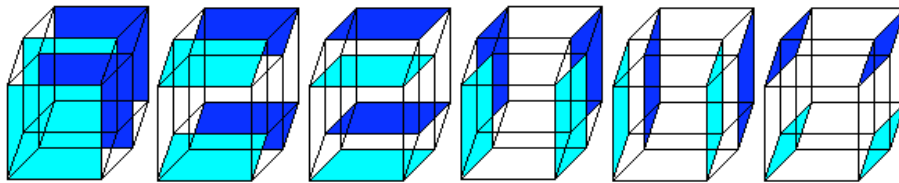
Während viele mathematische Objekte aufgrund ihrer Abstraktheit oft generell nicht als „Fotografie eines realen Gegenstandes“ dargestellt werden können, sind Fotografien oder sehr detailgetreue Abbildungen auch grundsätzlich nicht für die Erfüllung der Zeigefunktion geeignet, da sie meist nicht das Wesentliche hervorheben. Stattdessen sollten „didaktisierte“ Bilder verwendet werden (Dwyer, 1978). Eindrucksvolle Beispiele solcher didaktischen Zeichnungen finden sich vor allem in Anatomie- und Pflanzenbüchern.

Abbildung 2.9 zeigt ein sehr einfaches, aber dennoch eindrucksvolles Beispiel für die Zeigefunktion eines Bildes in einem Schulbuch für Mathematik.

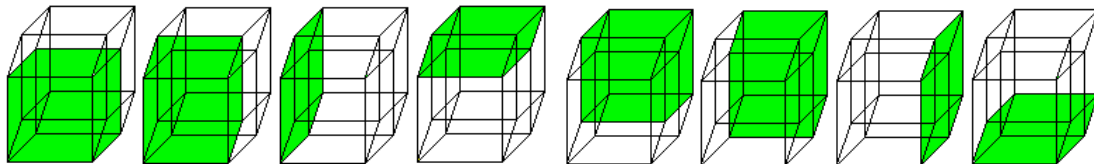
Das Bild möchte zeigen, was eine Symmetrieebene ist. Der in Wirklichkeit sehr aufwändig gestaltete Körper eines Flugzeuges wird hier mit sehr wenigen Details skizziert. Im Zentrum des Bildes steht die Symmetrieebene. Das Element des Schattens wird bewusst eingesetzt, um der eingezeichneten Ebene Dimension zu verleihen. Das Bild arbeitet mit nur drei Farben - das Flugzeug ist orange, die Symmetrieebe-



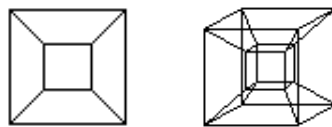
Parallelprojektion: Übertragung von *Quadrat* $\rightarrow$ *Würfel* auf *Würfel* $\rightarrow$ *Hyperkubus*



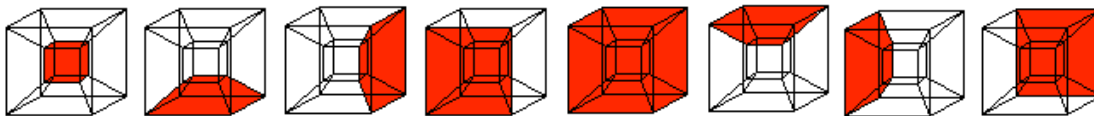
Die 24 Quadrate eines Hyperkubus in Parallelprojektion-Darstellung



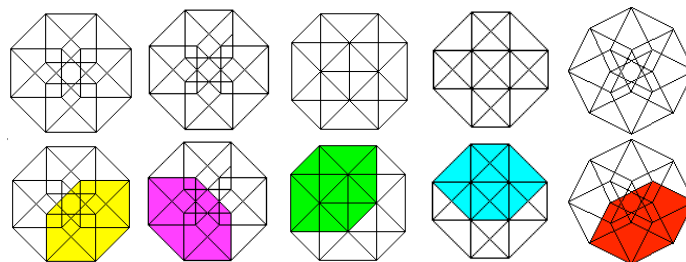
Die 8 Würfel des Hyperkubus in Parallelprojektion-Darstellung



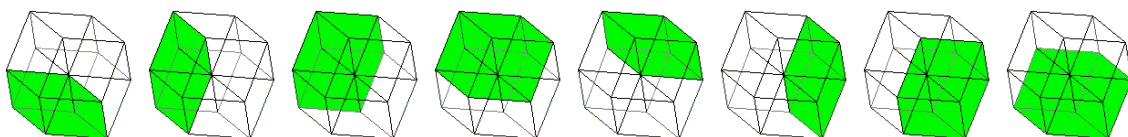
Zentralprojektion: Übertragung von *Würfel* auf *Hyperkubus*



Die 8 Würfel des Hyperkubus in Zentralprojektion-Darstellung



Weitere Darstellungen des Hyperkubus (jeweils ein Würfel farblich hervorgehoben)



Darstellung des Hyperkubus als Rhombendodekaeder (mit den 8 Würfeln)

Abbildung 2.8: Verschiedene Darstellungen des Hyperkubus
(Quelle: <http://www.mathematische-basteleien.de/hyperkubus.htm>)

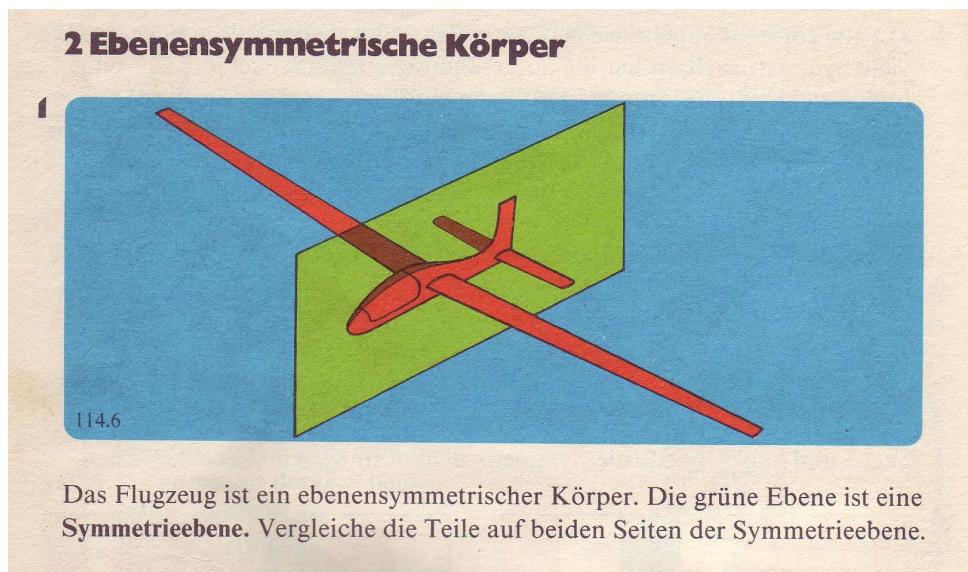


Abbildung 2.9: Zeigefunktion von Bildern (Quelle: Mathematisches Unterrichtswerk Gamma5, Mathematik für Gymnasien, Ernst Klett Stuttgart, 1978, S.114)

ne grün, der Hintergrund blau. Die Schlichtheit des Bildes lässt den Blick auf das Wesentliche konzentrieren und somit erfassen, was eine Symmetrieebene „ist“.

Wie die Beispiele von Würfel und Hyperkubus bereits ansatzweise gezeigt haben, bieten mediale Angebote durch den Einsatz von Computergrafik attraktive Möglichkeiten der Darstellung. Allerdings gibt es auch Anwendungen, bei denen skizzenhafte Zeichnungen mit fließenden Konturen perfekten Abbildungen vorzuziehen sind. Schumann, Kernchen und Strothotte (1995) haben computergenerierte Architekturzeichnungen mithilfe eines Spezialprogramms in Skizzen im Stil menschlicher Handzeichnungen transformiert. Es war festzustellen, dass die „unvollkommene“ Skizze eine andere Interaktionsform auslöste als der akkurate Computer Aided Architectural Design (CAAD)-Plot. Sie wurde beispielsweise eher als Anregung zu Diskussionen wahrgenommen. Auch trauten sich die Versuchspersonen bei den vermeintlichen Handskizzen viel öfter, Änderungen einzuzeichnen.

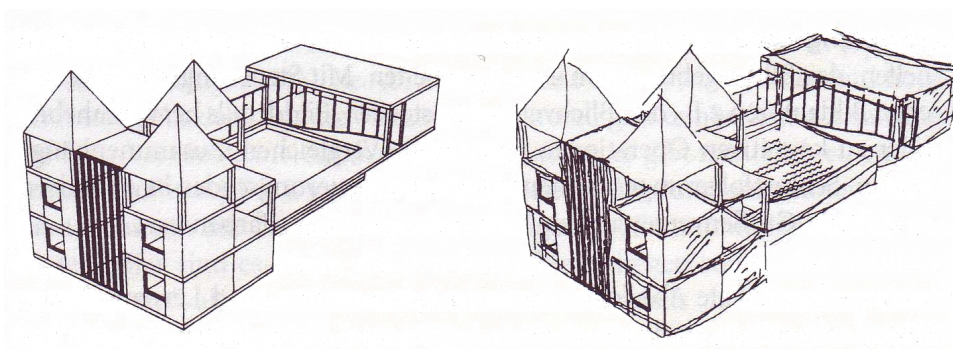


Abbildung 2.10: Zwei verschieden codierte Computerbilder: links Computer Aided Architectural Design (CAAD)-Zeichnung, rechts als Skizze (Quelle: Schumann, Kernchen und Strothotte (1995), zitiert nach Weidenmann (2002a, S.90))

Die dynamische Geometriesoftware *Cinderella* erlaubt beim Einsatz beispielsweise auf einer elektronischen Tafel einen so genannten *Scribble-Modus*: Dabei kann der Zeichnende „frei Hand“ zum Beispiel ein Dreieck zeichnen, dessen Linien in Konsequenz der freien Handzeichnung in der Regel nicht gerade sind. Das Programm erkennt jedoch intern, dass es sich bei der Zeichnung um ein Dreieck handelt und führt weitere Konstruktionsschritte, auch und vor allem solche, die weiterhin im Scribble-Modus durchgeführt werden, mit den mathematisch korrekten Daten aus. Zudem besteht die Möglichkeit, zwischen der Darstellung im Scribble-Modus und einem mathematisch akkuraten Bild (mit exakt geraden Linien, exakt runden Kreisen, usw.) hin und her zu schalten.

In Anlehnung an die Ergebnisse von Schumann et al. (1995) könnte diese Art der Präsentation mathematischer Konstruktionen eine ähnliche Reaktion bei den Anwendern hervorrufen, wie es bei den Architekturzeichnungen zu beobachten war: Diese Art der Darstellung könnte eine direktere Auseinandersetzung und Interaktion mit der geometrischen Konstruktion unterstützen. Zudem entspricht die Verwendung des Scribble-Modus gegebenenfalls mehr einem natürlichen, direkten Vorgehen: Oft beginnt ein mathematischer Gedankengang mit einer Skizze, die erst im weiteren Verlauf mit technischen Hilfsmitteln wie Zirkel, Lineal oder eben dynamischer Geometriesoftware verifiziert wird.

Nach Weidenmann (2002a) ist ein oft viel zu wenig beachteter Aspekt von Abbildern mit Zeigefunktion die Beschriftung. Zum einen haben verschiedene Untersuchungen gezeigt, dass eine Platzierung der Beschriftung möglichst nahe am entsprechenden Bilddetail vorteilhaft ist, sofern dadurch die Wahrnehmung des Bildes nicht beeinträchtigt wird (siehe Abbildung 2.11).

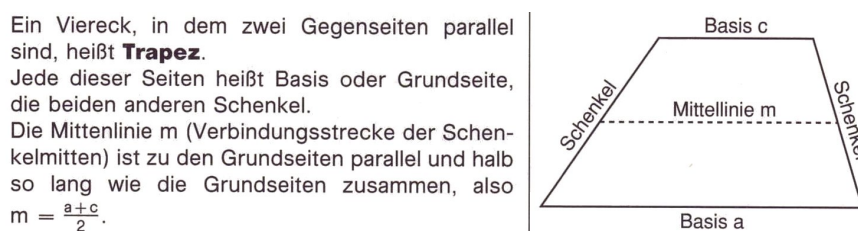


Abbildung 2.11: Beschriftung von Bildern (Quelle: Lambacher Schweizer Geometrie Bayern 8, Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart, 1999, S.35)

Zum anderen wird zu selten die Zeigefunktion des Abbildes sprachlich verdeutlicht. Dies kann durch explizite Betrachtungshinweise geschehen wie zum Beispiel Formulierungen der Art „Beachten Sie ...“ oder „Vergleichen Sie ...“. Andererseits können auch bildimmanente Steuerungscode explizit angesprochen werden, zum Beispiel durch folgende Formulierungen: „Die verdickten Linien sollen zeigen ...“ oder „Die roten Markierungen bedeuten ...“.

Nach Weidenmann (2002a) sollten die üblichen deskriptiven Bildlegenden, die den Bildinhalt beschreiben, häufiger durch instruktive Bildlegenden zur erwünschten Verarbeitungsweise ergänzt werden. Dies gilt im Besonderen bei komplexeren Bildern, die im Zusammenhang mit der Konstruktionsfunktion die Regel sind.

Die Situierungsfunktion

Wenn Bilder ein Szenarium oder einen anderen *kognitiven Rahmen* zur Verfügung stellen, erfüllen sie eine *Situierungsfunktion*. Sie helfen damit dem Betrachter, Detailinformationen in einen „Rahmen“ einzubetten. Besonders Sprachlernprogramme nutzen häufig solche „Situationsrahmen“. Dabei werden Situationen dargestellt, die sich zunächst beschreiben und dann weiterführen lassen.

Bilder dieser Art aktivieren beim Betrachter Situationsvorstellungen und appellieren damit an eigene Alltagserfahrungen, die reicher als die Bildvorlage sind. Mit dieser Aktivierung der persönlichen Erfahrungen hängt auch eine emotionale Wirkung zusammen, die solchen Bildern zugeschrieben werden kann (Weidenmann, 2002a).

Instruktionspsychologische Fragen, die sich in diesem Zusammenhang stellen, sind nach Weidenmann (2002a, S.87) folgende: Wie detailliert bzw. reduziert sollen situierende Bilder sein? Sind möglichst detailgetreue Bilder sinnvoll, um ein Szenarium beim Betrachter zu aktivieren oder sind viele Details eher kontraproduktiv, da sie mit den persönlichen Erfahrungen des Betrachters in Konflikt geraten können?

Hinsichtlich der Detailtreue hat sich bei der Evaluation von Lernprogrammen in der beruflichen Bildung gezeigt, dass sehr realistische und detaillierte Darstellungen einerseits zwar am besten situieren, andererseits aber auch dazu führen können, dass das ein oder andere Detail mit den Erfahrungen der Betrachter nicht übereinstimmt. Es ist zu bedenken, dass sehr detaillierte Situationsbilder kulturgebunden sind und rasch veralten (Stichwort Mode und Frisur von darstellenden Personen solcher Situationsbilder). Solche Details lenken dann eher ab oder führen zu einer Distanzierung als zu einem positiven Effekt einer Involvierung des Betrachters.

Aus diesem Grund ist die Ausführung situierter Abbilder häufig bewusst reduziert. Die Merkmale der Situation werden nur angedeutet. In diesem Zusammenhang eröffnet der Einsatz von Computergrafik interessante Möglichkeiten, da sich realitätsnahe und stilisierte Elemente gut miteinander vermischen lassen.

Mathematikbücher bedienen sich der Situierungsfunktion vor allem im Kontext der Darstellungen von Problemen, die mathematisch gelöst werden sollen. Abbildung 2.12 zeigt ein solches Beispiel. Es handelt sich um eine einführende Aufgabe zum Thema *Umgekehrte Proportionalität*. In diesem Beispiel wird kein reales Bild eines Schwimmbeckens gezeigt; stattdessen wird auf bekannte Figuren aus der Comicwelt zurückgegriffen. Auch wenn das Bild nicht direkt etwas mit der konkreten Aufgabe zu tun hat („Je mehr Rohre für den Zufluss geöffnet sind, desto weniger Zeit wird zur Füllung des Beckens verwendet“), besteht ein ähnlicher Bezug zur Situation („Je mehr von Obelix im Wasser ist, desto weniger Wasser ist im Schwimmbecken“).

Ein weiteres Beispiel ist Abbildung 2.13 zum selben Themenbereich. Mit dem Bild der beiden wippenden Kinder wird eine Situation dargestellt, von der auszugehen ist, dass sie die meisten Kinder im sechsten Schuljahr schon einmal erlebt haben. Es ist nicht auszuschließen, dass dabei eigene Erfahrungen mit einer Wippe gewonnen worden sind. Insofern knüpft das Bild an persönliche Erfahrungen an. Wippe und Kinder sind in dem Bild nicht sehr detailgetreu dargestellt - das Bild ist auf die wesentlichen Elemente reduziert, die zur Darstellung der Situation nötig sind.

6 Umgekehrte Proportionalität

- ① Ein Schwimmbecken (Fig. 1) faßt 2000 m^3 Wasser. Es kann über 4 Zulaufrohre gefüllt werden, wobei der Zulauf für jedes Rohr etwa 100 m^3 pro Stunde beträgt.
- Wie viele Stunden benötigt man zum Auffüllen des Beckens, wenn alle vier Rohre gleichzeitig geöffnet sind?
 - Wie lange dauert es, wenn nur ein Rohr (zwei Rohre; drei Rohre) zur Verfügung stehen?



Fig. 1

Abbildung 2.12: Situierungsfunktion von Bildern (Quelle: Lambacher Schweizer Bayern 6, Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart, 2000, S.151)

Beispiel:

Die kleine Hanna kann mit ihren Brüdern, mit Mutter oder auch mit Vater auf einer Wippe schaukeln, wenn ihr Partner an der richtigen Stelle sitzt. Ihre Brüder wissen, je schwerer einer ist, desto näher muß er sich zur Mitte setzen. Sie finden folgende Werte:

Gewicht (in kg)	32	46	57	78
Abstand z. Mitte (m)	1,5	1,0	0,8	0,6

Bilden wir jeweils das Produkt der Wertepaare, so erhalten wir gerundet 48, 46, 46, 47. Im Rahmen der Meßgenauigkeit ist die Zuordnung $\text{Gewicht} \mapsto \text{Abstand zur Mitte}$ eine umgekehrte Proportionalität mit der näherungsweisen Vorschrift $x \mapsto \frac{47}{x}$.

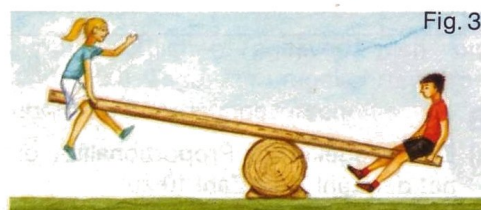


Fig. 3

Abbildung 2.13: Situierungsfunktion von Bildern (Quelle: Lambacher Schweizer Bayern 6, Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart, 2000, S.156)

Die Konstruktionsfunktion

Bilder haben dann eine Konstruktionsfunktion, wenn sie dabei helfen, ein mentales Modell zu einem Sachverhalt zu konstruieren. Sie können Unvertrautes und Unanschauliches verständlich machen. Besonders komplexere Realitätsausschnitte wie beispielsweise die Funktionsweise eines Motors oder die Physiologie des Herzens werden erst dann „verstanden“, wenn es dem Lernenden gelingt, sie kognitiv in Form eines adäquaten mentalen Modells zu repräsentieren. Bilder können in zweierlei Hinsicht bei dieser Konstruktionsaufgabe unterstützen: zum einen über eine visuelle Information über die beteiligten Elemente selbst, zum anderen über eine visuelle Information des Zusammenspiels der beteiligten Elemente.

Abbildung 2.14 zeigt ein Beispiel aus der Mathematik, das die Verknüpfung $f \circ g$ zweier stetiger Funktionen f und g darstellt. Das Bild nutzt dabei die drei Ebenen des Raumes, um die drei Funktionsgraphen von f , g und $f \circ g$ zueinander in Beziehung zu setzen und die Konstruktion der Verknüpfung $f \circ g$ nachvollziehbar zu gestalten. Das Nachvollziehen der einzelnen Schritte wird durch die schwarzen und

roten Pfeile unterstützt:

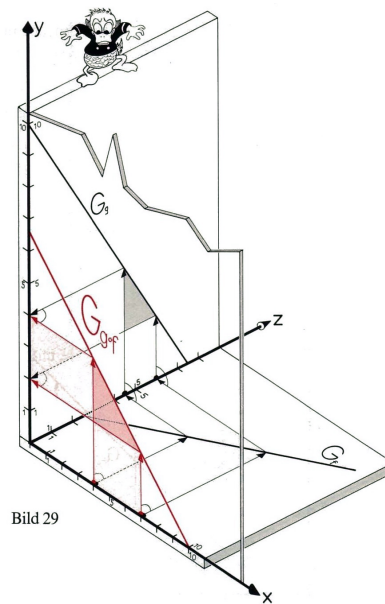


Abbildung 2.14: Konstruktionsfunktion von Bildern: Die Verknüpfung $f \circ g$ zweier stetiger Funktionen f und g (Quelle: Anschauliche Analysis 1, Ehrenwirt Oldenbourg, München, 1997, S.19)

Wird zunächst den schwarzen Pfeilen gefolgt, so lässt sich, ausgehend von einem x -Wert auf der x -Achse, in der xz -Ebene der zugehörige Funktionswert $f(x)$ auf dem Funktionsgraphen G_f finden. Dieser Wert dient als neuer Eingabewert z auf der z -Achse. Ihm lässt sich nun in der yz -Ebene der Funktionswert $g(z)$ auf dem Funktionsgraphen G_g zuordnen. Dieser Funktionswert $g(z)$ definiert wiederum einen entsprechenden y -Wert auf der y -Achse. Das so bestimmte Wertepaar (x, y) liefert nun die Koordinaten für einen Punkt auf dem Funktionsgraphen $G_{f \circ g}$. Der direkte Weg vom ursprünglichen x -Wert zum zugehörigen y -Wert wird durch die roten Pfeile hervorgehoben. Somit gibt es zu jedem Punktepaar (x, y) einen Pfad aus schwarzen und einen Pfad aus roten Pfeilen, wobei der rote Pfad durch den schwarzen Pfad bestimmt wird.

Über die Vor- und Nachteile einer solchen Darstellung und ihren Nutzen beim Aufbau eines mentalen Modells zur Verknüpfung von Funktionen lässt sich diskutieren. Der hinzugefügten Comicfigur des Donald Duck kommt in dieser Darstellung jedoch keine didaktische Funktion zu. Auch ist die Figur kein wesentlicher Bestandteil des Bildes (wie etwa Obelix in Abbildung 2.12 am Rand des Schwimmbeckens). Die Figur wird hier als zusätzliche Illustration eingesetzt, die mit den zu vermittelnden Inhalten keine Berührungspunkte hat und insofern eher ablenkt als unterstützt.

Die Verwendung von Analogiebildern hilft bei der Visualisierung. Allerdings ist es dazu notwendig, dass beim Lernenden bereits ein mentales Modell zu der verwendeten Analogie besteht oder dies anhand der Abbildung leicht zu vervollständigen ist. Beispielsweise kann die Analogie mit einer Pumpe zur Veranschaulichung der Herzfunktion nur dann funktionieren, wenn bei dem Lernenden bereits eine Vorstellung und ein mentales Modell zur Funktionsweise oder Aufgabe einer Pumpe vorhanden

ist (Weidenmann, 2002a, S.88).

Abbildung 2.15 soll beispielsweise erklären, wie zu einer mathematischen Abbildung eine Umkehrabbildung konstruiert werden kann. Dabei wird für den Funktionsbegriff die Analogie einer Maschine, einer *Zahlenmaschine*, verwendet. Diese Zahlenmaschine als Analogie zum Funktionsbegriff wurde dabei zuvor näher erläutert: Eine solche Maschine ist nur dann eine Zahlenmaschine, wenn sie zu jedem Eingabewert *genau einen* Ausgabewert liefert. Sonst ist die Maschine keine Zahlenmaschine. Beim Bilden der Umkehrfunktion muss diese Maschine nun umgedreht werden. Definitions- und Wertebereich vertauschen dabei ihre Rollen.

g) Die Umkehrfunktion

Wir stellen die Zahlenmaschine auf den Kopf, so daß sie umgekehrt arbeitet, d. h. wir geben Zahlen aus W_f ein und erhalten Zahlen aus D_f . Es kann vorkommen, daß für eine eingeworfene Zahl mehrere Zahlen aus D_f herauskommen. Dann ist die umgekehrte Maschine keine Funktion (z. B. $f: x \mapsto x^2$, $D_f = \mathbb{R}$). Die umgekehrte Maschine liefert bei Einwurf der Zahl 4 die Werte 2 und -2). Für uns ist der Fall interessant, in dem die umgekehrte Maschine eine Funktion ist. Sie heißt dann **Umkehrfunktion** von f und wird mit f^{-1} bezeichnet. Die Definitionsmenge von f^{-1} ist also W_f , die Wertemenge von f^{-1} ist D_f (Bild 21, 22).

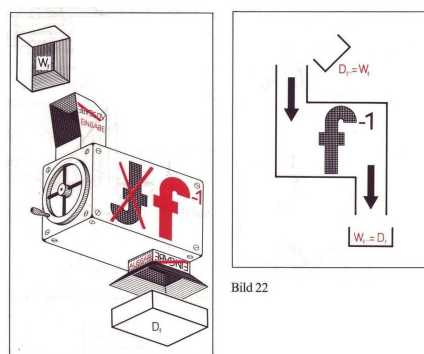


Bild 21

Bild 22

Abbildung 2.15: Konstruktionsfunktion von Bildern mit Analogien (Quelle: Anschauliche Analysis 1, Ehrenwirt Oldenbourg, München, 1997, S.16)

Auch bei diesem Beispiel lässt sich über den Sinn und die unterstützende Wirkung dieser Analogie von Maschine und Funktionsbegriff diskutieren. Passend ist der Vergleich einer Eingabe und einer veränderten Ausgabe; die Darstellung der Zahlenmaschine als eine Art Fleischwolf weckt aber auch Assoziationen vom „Zerkleinern“. Zahlen können „zerkleinert“ werden, indem sie als Summe kleinerer Zahlen betrachtet werden. Insofern könnte im Sinne der Analogie von einer solchen fleischwolfähnlichen Zahlenmaschine erwartet werden, dass sie zum Beispiel die Zahl 6 in die beiden Bestandteile 2 und 4 zerlegt - genau das wäre aber kontraproduktiv für ein Verständnis des Funktionsbegriffes. In der Regel lassen sich Maschinen auch nicht ohne weiteres „umdrehen“. Einerseits kann dies den Sachverhalt widerspiegeln, dass es nicht zu jeder Funktion eine Umkehrfunktion gibt; andererseits sind „umkehrbare Maschinen“ wohl noch sehr viel seltener zu finden als Umkehrfunktionen.

Mentale Modelle umfassen nicht nur einzelne Zustände, sondern vor allem auch Zustandsänderungen. Insofern sind Sequenzen von Einzelbildern oder auch Animationen ein gutes Mittel zur Visualisierung. Sequenzen von Einzelbildern finden sich vor allem bei Bedienungsanleitungen, Animationen sind aus Computerprogrammen oder Trickfilmen bekannt (Weidenmann, 2002a, 88). Im mathematischen Kontext eignen sich Einzelbildersequenzen beispielsweise für das Nachvollziehen geometrischer Konstruktionen mit Zirkel und Lineal wie etwa die Konstruktion des Mittelpunktes zu einer gegebenen Strecke.

Instruktionspsychologische Fragen im Zusammenhang mit der Konstruktionsfunktion von Bildern sind nach Weidenmann (2002a, S.88) folgende: Wie ist eine Portio-

nierung oder Sequenzierung von Abbildern zu wählen, so dass sie für den Aufbau eines mentalen Modells sinnvoll ist? Wie lässt sich die Wahrnehmung struktureller und funktionaler Analogien unterstützen? Wie sollte bei Bildern mit Konstruktionsfunktion die Kombination von Text und Bild gestaltet werden?

Bilder bzw. Bildfolgen mit Konstruktionsfunktion versuchen oft, sehr komplexe Sachverhalte darzustellen, zu beschreiben und zu erklären. Bei der Lösung des Komplexitätsproblems ist zu beachten, dass trotz Portionierung und Sequenzierung die Makrostruktur nicht verloren geht. Ein Beispiel hierfür sind Bedienungsanleitungen nach dem Step-by-Step-Muster: Der Benutzer erfährt jeweils immer nur, welcher Schritt der nächste ist. Insofern scheinen solche didaktischen Strategien für den Aufbau mentaler Modelle von Vorteil zu sein, die eine Makrostruktur präsentieren und diese dann stufenweise ausführen. Beispielsweise ließen sich die vielen Einzelschritte einer Bedienungsanleitung durch Gruppierung der Einzelbilder in Zwischenschritte zusammenfassen. Dies ergibt eine Makrostruktur, die dem Nutzer nicht nur vermittelt, was er zu tun hat, sondern auch, was das Ziel seiner Handlungskette sein wird (Weidenmann, 2002a, S.92f.).

Neben statischen Bildern und Bildfolgen bieten sich zum Aufbau mentaler Modelle zu Themenbereichen innerhalb der Mathematik insbesondere auch *interaktive Bilder* an, wie sie zum Beispiel durch dynamische Geometriesoftware zur Verfügung gestellt werden. Offenes Arbeiten mit einem solchen Softwareprogramm ermöglicht dem Anwender, eigene Schritte und damit auch Konstruktionsschritte bei der Erstellung des mentalen Modells selbst zu tun. Dabei kann der Anwender auch angeleitet werden, wenn der zu vermittelnde Sachverhalt beispielsweise in Form eines interaktiven Applets zur Verfügung gestellt wird. Statt einzelne Konstruktionsschritte nur zu *sehen*, kann der Anwender sie selbst direkt *ausführen* (siehe Kapitel 6.4).

Nach Weidenmann (2002a, S.93) bedürfen Abbilder, die zur Konstruktion eines mentalen Modells dienen sollen, im besonderen Maße der sprachlichen Unterstützung. Mithilfe von Sprache lassen sich Beziehungen zwischen den Elementen eines Modells präziser und differenzierter ausdrücken als mit piktorialen Mitteln. Dies ist besonders bei Analogiebildern nötig. Da Analogien meistens nur in einigen zwar wesentlichen, aber nicht in allen Merkmalen mit dem darzustellenden Gegenstand übereinstimmen, muss ein Begleittext die Lernenden dabei unterstützen, die Analogie zutreffend zu elaborieren. Auditiv dargebotene Erklärungen sind dabei eine echte Alternative zu Begleittexten, die zusätzlich zur Bildverarbeitung noch gelesen und verarbeitet werden müssen (siehe Kapitel 2.3.9).

2.3.8 Kriterien für das Verstehen von Diagrammen

Bei der Gestaltung von Diagrammen sind zwei wichtige Punkte zu beachten: Zum einen müssen die repräsentationsrelevanten Komponenten problemlos identifizierbar sein, zum anderen müssen diese Komponenten eindeutige Konfigurationen bilden, bei denen zusammengehörende Komponenten aufgrund gleichen Aussehens, räumlicher Nähe oder anderer grafischer Hilfsmittel unmittelbar als Einheit wahrgenommen werden (Schnotz, 2002, S.76).

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Beschriftung von Diagrammen: Direkte Beschriftungen müssen durch Lokalisierung in unmittelbarer Nähe eindeutig mit der benannten grafischen Komponente verknüpft sein. Eine indirekte Beschriftung in Form einer Legende ordnet die bezeichneten Elemente und deren Bezeichnung über gemeinsame visuelle Merkmale wie beispielsweise Farbe oder Textur zu. Dabei sollte auf möglichst wenige, aber visuell gut unterscheidbare Merkmale zurückgegriffen werden (Schnotz, 2002, S.76).

Im Kontext mathematischer Diagramme werden oft in erster Linie Kreis-, Säulen- und Liniendiagramme assoziiert (zu den unterschiedlichen Diagrammtypen siehe Abbildung 2.17). Abbildung 2.16 zeigt ein anderes Schaubild: Es möchte die Menge aller Vierecke klassifizieren, indem die Beziehungen zwischen einfachen Vierecken und den besonderen Vierecken *Trapez*, *Parallelogramm*, *Raute*, *Rechteck* und *Quadrat* dargestellt werden. Da es bei diesem Schaubild nicht darum geht, die geometrischen Figuren an sich, also deren Form und Eigenschaften darzustellen, sondern vielmehr um die Darstellung von *Beziehungen* dieser Objekte zueinander, kann dieses Schaubild als mathematisches Diagramm und weniger als mathematisches Bild gewertet werden.

Die oben angesprochenen Kriterien sind dabei bei diesem Diagramm erfüllt: Die Elemente der einzelnen Mengen sind nah beieinander gruppiert. Durch den Einsatz von Farbe sowie der jeweils farbgleichen Mengenkreise lassen sich die einzelnen Mengen gut gegeneinander abgrenzen. Zudem ist die Beschriftung der einzelnen Mengen eindeutig und nahe bei den Elementen.

In der folgenden Übersicht (Fig. 2) umfaßt die braune Linie die **Menge aller Vierecke**, die rote Linie die Menge aller **Parallelogramme** usw. Die blaue Linie liegt ganz innerhalb der roten; das bedeutet: jedes **Rechteck** ist auch ein Parallelogramm. Entsprechend ist zu erkennen: weder ist jedes **Rechteck** eine **Raute**, noch jede Raute ein Rechteck. Dagegen ist jedes **Quadrat** sowohl eine Raute als auch ein Rechteck. Die gelbe Linie umfaßt alle Vierecke mit (mindestens) zwei parallelen Seiten, also alle **Trapeze**.

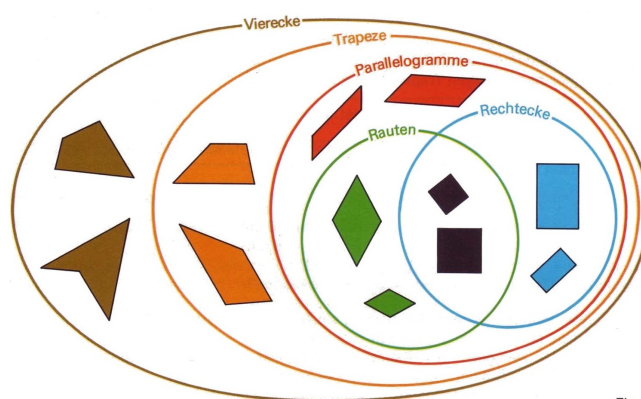


Fig. 2

Abbildung 2.16: Ein mathematisches Diagramm zur Menge aller Vierecke und deren Beziehungen zueinander (Quelle: Lambacher Schweizer Geometrie Bayern 8, Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart, 1999, S.24)

Nach Schnotz (2002, S.76) sollte auch darauf geachtet werden, dass ein Diagramm so gestaltet wird, dass seine grafische Struktur mit der Struktur des dargestellten

Sachverhalts möglichst gut übereinstimmt und auch als solche wahrgenommen wird. Dies bedeutet, dass visuelle Merkmale auch semantisch richtig einzusetzen sind.

So eignet sich nach Schnotz (2002, S.76) beispielsweise das Merkmal Farbe eher zur Darstellung qualitativer als quantitativer Unterschiede, da Farbe nicht als eindimensionales Merkmal wahrgenommen wird. In obigem Beispiel (Abbildung 2.16) sind beispielsweise die Vierecke unterschiedlicher Art und insofern unterschiedlicher „Qualität“ jeweils auch in unterschiedlichen Farben dargestellt.

Es gibt aber auch Situationen, in denen das Merkmal Farbe sehr gut zur Darstellung quantitativer Unterschiede eingesetzt werden kann, und zwar in der Form kontinuierlicher Farbverläufe. Ein Beispiel hierfür sind Wärmediagramme, die mit ihrem Farbverlauf darstellen, wo ein Objekt viel und wo es wenig Wärme abgibt.

Hinsichtlich des semantisch korrekten Einsatzes visueller Merkmale ist nach Schnotz (2002, S.76) bei der Darstellung von Quantitäten zu beachten, dass hier möglichst keine Flächen und Volumina verwendet werden sollten, weil bei gleichzeitiger Veränderung von Höhe, Breite und Tiefe die sich ergebenden Flächen und Volumenunterschiede meist unterschätzt werden.

Darstellungskonventionen

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass sich für bestimmte Darstellungsformen konventionalisierte Formen der Darstellung herausgebildet haben. Beispielsweise werden quantitative Zusammenhänge in der Regel als *Kreis-*, *Balken-*, *Säulen-*, *Kurven-* und *Punktediagramme* dargestellt (siehe Abbildung 2.17). Nach Zelazny (1986, S.9) sind dies die fünf Schaubildformen, die im Wesentlichen zur Darstellung quantitativer Zusammenhänge verwendet werden. Dabei werden Kurvendiagramme oft auch als *Liniendiagramme* und Punktediagramme als *Punkt-* oder *Streudiagramme* bezeichnet.

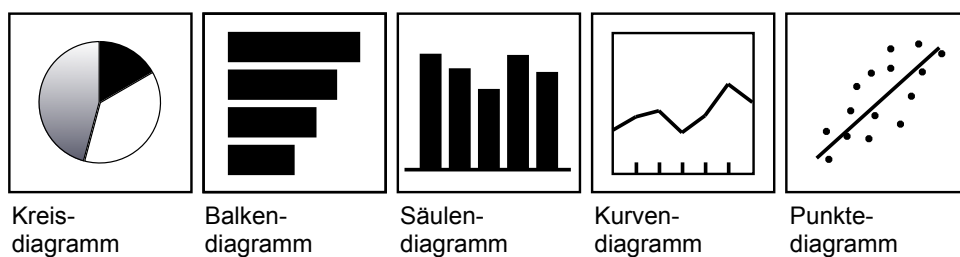


Abbildung 2.17: Die fünf wesentlichen Diagrammtypen zur Darstellung quantitativer Informationen (nach Zelazny (1986, S.9))

Nach Schnotz (2002, S.78) eignen sich die verschiedenen Diagrammtypen zur Darstellung unterschiedlicher quantitativer Merkmale: *Kreisdiagramme* bieten sich an, um die Aufteilung eines Ganzen in unterschiedliche Teile darzustellen, aber nicht, um verschiedene Aufteilungen eines Ganzen miteinander zu vergleichen. *Balken-* und *Säulendiagramme* eignen sich zur Darstellung quantitativer Merkmalsausprägungen, wenn sich die Merkmalsträger nur qualitativ unterscheiden. Ein Beispiel hierfür

wäre die Darstellung der Umsatzhöhe verschiedener Unternehmen. Säulendiagramme ermöglichen die Darstellung einer zeitlichen Entwicklung. Sollen hier jedoch mehrere Entwicklungen miteinander verglichen werden, so sind *Kurvendiagramme* für die Darstellung von Entwicklungsverläufen besser geeignet. *Punktediagramme* dienen der Darstellung statistischer Zusammenhänge zwischen quantitativen Variablen anhand einer begrenzten Zahl von Beobachtungen.

Die häufige Verwendung dieser Diagrammtypen führt dazu, dass Lernende die hierfür erforderlichen kognitiven Grafikschemata eher besitzen als bei anderen Formen der Darstellung. Nach Schnotz (2002, S.77f.) sollte daher nicht grundlos von vorhandenen Darstellungskonventionen abgewichen werden, da Lernende häufig Schwierigkeiten haben, bei der Interpretation eines Diagramms adäquate Grafikschemata zu aktivieren.

Inhaltliche und formal sparsame Gestaltung

Eine inhaltlich sparsame Gestaltung verzichtet auf eine große Komplexität von Diagrammen und beschränkt sich statt dessen auf das Wesentliche des darzustellenden Gegenstands oder Sachverhalts. Formal sparsam ist eine Gestaltung dann, wenn die Zahl der datenabhängig variierten visuellen Merkmale nicht größer ist als die Zahl der zu repräsentierenden Merkmale. Zum Beispiel sollte eine einzige zu repräsentierende Größe nicht durch mehrere Merkmale gleichzeitig repräsentiert werden (wie beispielsweise Höhe und Breite einer Figur), da dies zu wahrnehmungsbedingten Verzerrungen der Größenunterschiede führen kann (Schnotz, 2002, S.76).

Zudem sollte auf visuelle Effekte verzichtet werden, die nicht der Informationsvermittlung dienen. Beispielsweise sollten keine dreidimensionalen Darstellungen verwendet werden, wenn die Tiefendimension keine Repräsentationsfunktion besitzt. Oft finden sich bei Säulen- und Balkendiagrammen dreidimensionale Repräsentationen, in denen die dreidimensionale Darstellung keinen Informationswert besitzt. Eine zweidimensionale, flächige Darstellung wäre hier nach Schnotz (2002, S.77) völlig ausreichend.

Dennoch lässt sich feststellen, dass gerade eine 3D-Gestaltung solcher Diagramme sehr oft verwendet wird, beispielsweise bei der Darstellung von Wahlergebnissen im Fernsehen. Die entsprechenden Balken-, Säulen- und Kreisdiagramme sind in der Regel nicht flächig, sondern räumlich gestaltet.

Moderne Präsentationssoftware ermöglicht mittlerweile eine schnelle und einfache Erstellung solcher Diagramme. Bei einem Vergleich von *Microsoft Powerpoint X für Mac*, Version 10.0.0, von 2001 und *Apple Keynote*, Version 2.0.2, von 2005 ist festzustellen, dass *Powerpoint* grundsätzlich alle zweidimensionalen Diagrammtypen meist sogar in mehreren dreidimensionalen Formen zur Verfügung stellt, während *Keynote* sich auf die schlichten zweidimensionalen Formen beschränkt. Ein Blick in die Werbung zeigt jedoch, dass Apple nun die neueste Version *Keynote'08* unter anderem mit *3D charts* als einer wesentlichen Neuerung bewirbt. Insofern scheinen gerade bei aufwändigen grafischen Gestaltungen immer auch „Modeaspekte“ eine gewisse Rolle zu spielen. Ein in diesem Rahmen ähnliches Beispiel ist die Verwen-

derung von blinkenden Schriften auf Internetseiten oder von „laufenden“ Textzeilen bei Folienvorträgen mit dem Computer. Galten sie zunächst als „chic“ und wurden dementsprechend häufig und überfrachtend verwendet, so werden sie heute sparsamer eingesetzt.

Eine Leitlinie für eine formal sparsame Gestaltung findet sich bei Tufte (1983) in Form einer Maximierung der so genannten Data-Ink-Ratio: Demnach soll der Anteil an Druckerschwärze, der bei der Darstellung eines Diagramms für die reine Datendarstellung verwendet wird, im Vergleich zur insgesamt verwendeten Druckerschwärze jeweils möglichst hoch sein.

Allerdings darf dieses Gestaltungsprinzip nicht rein mechanisch gesehen werden, da eine Unterscheidung von Data-Ink und Non-Data-Ink nicht immer eindeutig ist. So gehören Hilfslinien wie beispielsweise Gitterlinien innerhalb eines Diagramms streng genommen zur Non-Data-Ink, können aber das Ablesen von Werten und somit das Verstehen sehr erleichtern. Insofern könnten sie auch der Data-Ink zugerechnet werden. Geht es jedoch um die Veranschaulichung eines Trends in Form einer Kurve, kann auf ein solches Gitter verzichtet werden.

Zusammenfassend kommt es bei der Gestaltung von Diagrammen also immer darauf an, die beabsichtigte Kommunikationsfunktion bzw. den pragmatischen Aspekt besonders zu berücksichtigen. Es ist zu fragen, was wem wozu vermittelt werden soll (Schnotz, 2002, S.77).

2.3.9 Einsatz von Audio-Elementen

Bezüglich der Einbindung auditiver Komponenten in medialen Angeboten äußert Weidenmann (2002a, S.93), dass zum einen beim Lernen und Arbeiten mit dem Computer die visuelle Modalität via Text- und Bildrepräsentationen dominiert, es zum anderen aber kaum mehr computerbasiertes Lernen ohne Angebot an den Gehörsinn gibt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, in welcher Art und Weise der Gehörsinn angesprochen wird. Insbesondere ist festzustellen, dass gerade im Kontext mathematischer Lernumgebungen der Einsatz von Audio-Elementen, wenn überhaupt, nur sehr eingeschränkt verwendet wird.

Dabei eröffnet die Einbeziehung der auditiven Modalität in Multimediaanwendungen nach Weidenmann (2002b, S.53) attraktive Möglichkeiten. Gesprochene Sprache ist einprägsam und aktiviert den phonologischen Speicher (Baddeley, 1986; Engelkamp, 1991). Sie weckt die Aufmerksamkeit und wirkt aufgrund der paraverbalen Zusatzinformationen wie beispielsweise Stimme und Ausdruck auch persönlicher als gedruckte Sprache.

Eine Untersuchung, die einen positiven Effekt der Verknüpfung sprachlicher Codes mit visuellen Reizen nachweist, ist eine Untersuchung von Chomskaja (zitiert nach Lurija (1992)). Es konnte nachgewiesen werden, dass das Nachlassen von Bewegungsreaktionen auf schnell wechselnde Reize mit dem Ansteigen der zeitlichen Abfolge dieser Reize korrespondiert: Je schneller die Reize, desto geringer die Unterscheidungsgenauigkeit. Bei vorheriger sprachlicher Benennung des Reizes und anschließender Begleitung durch Bewegung stieg die Unterscheidungsgenauigkeit jedoch er-

heblich.

Dennoch lassen sich solche Ergebnisse nicht verallgemeinern. So gibt es beispielsweise Unterschiede in der Wirkung auditiver Darbietungen in der Kombination mit Texten und Bildern.

Texte und auditive Darbietungen

Texte können schriftlich präsentiert oder vorgelesen werden: Im einen Fall wird die visuelle Modalität (Lesen), im anderen Fall die auditive Modalität (Hören) angesprochen. Im Kontext einer bimodalen Präsentation von Texten ist jedoch zu unterscheiden, ob diese Präsentation *gleichzeitig* stattfindet oder dem Rezipienten eine *Auswahl* angeboten wird.

Findet die Rezeption eines Textes über Lesen und gleichzeitig über Hören statt, so kann dies nach Weidenmann (2002a, S.93f.) zu Problemen führen: In der Regel wird schneller gelesen als gesprochen; insofern kann es passieren, dass die Augen im Text schon weiter sind als die vorlesende Stimme. Dies ergibt Synchronisationsprobleme zwischen dem gelesenen und dem gesprochenen Text. Da beide in den Sprachzentren verarbeitet werden, kann es hier leicht zu einer Überlastung kommen. Dieser Effekt widerspricht der weit verbreiteten Erwartung, dass es besonders vorteilhaft sei, etwas gleichzeitig zu sehen und zu hören. Paechter (1996) konnte zudem experimentell nachweisen, dass sich kein Vorteil gegenüber einer unimodalen Darbietung eines Lerntextes ergibt, wenn dieser zugleich auditiv und visuell dargeboten wird.

Pyter (1994) konnte zeigen, dass sich eine multimodale Kombination von visueller und akustischer Darbietung auch bei einem unicodalen Informationsangebot, das nur aus Text besteht, positiv auswirkt. Am Bildschirm angezeigter Text konnte jeweils auch vorgelesen und somit akustisch dargeboten werden. Die bimodale Präsentation wurde im Vergleich zur rein visuellen Textversion als weniger anstrengend erlebt und erbrachte höhere Werte im Verständnistest.

Bilder und auditive Darbietungen

Es ist sinnvoll, die auditive Modalität besonders dann mit einzubeziehen, wenn das Lernangebot die visuelle Modalität stark beansprucht. Es ist für den Lernenden entlastend, wenn Erläuterungen von komplexen Bildern oder Bildfolgen nicht ebenfalls noch visuell durch Text, sondern vielmehr auditiv durch einen gesprochenen Kommentar dargeboten werden. Dadurch wird verhindert, dass der Blick des Lernenden immer zwischen Bild und Erklärung hin und her springen muss. Damit hat die visuelle Modalität mehr Kapazitäten frei, die sie für eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Bild oder den Bildern verwenden kann (Weidenmann, 2002b, S.53).

Außerdem kann ein auditiv dargebotener Kommentar die Blickbewegungen des Betrachters beim Anschauen des Bildes lenken, wichtige Dinge hervorheben und betonen und auch das Betrachtungstempo kontrollieren. Dem Effekt einer *Text-Bild-Schere* (siehe 2.3.3, S.99) wird somit entgegengewirkt.

In einem Experiment fielen Bildbetrachtungszeiten höher aus, wenn Informationen

zu den Bildern wie beispielsweise Erklärungen, Kommentare und Erläuterungen akustisch dargeboten wurden. Wurden die sprachlichen Erläuterungen jedoch zusammen mit dem Bild als Text präsentiert, widmeten die Lernenden dem Lesen dieser Texterläuterungen mehr Zeit (Hasebrook, 1994; Rinck und Glowalla, 1995).

Im Unterschied zu einem bimodal dargebotenen Text kann hier das Auge durch den auditiven Kommentar geleitet werden und so in Ruhe das Bild scannen und verarbeiten. Die Verarbeitung von Bildern und gesprochenem Text findet aufgrund der unterschiedlich vorliegenden Codierungen auch in unterschiedlichen Gehirnzentren statt. Störende Interferenzen sind wie bei der bimodalen Präsentation von Text nur dann zu erwarten, wenn sich der gesprochene Text semantisch vom Bild entfernt (Weidenmann, 2002a, S.94).

Rezipienten empfinden die gleichzeitige Darbietung von Bild und gesprochenem Text als angenehm (Pyter, 1994). Die Nutzung gesprochener Sprache für Kommentare von Bildern ist gerade bei der Gestaltung von Lernangeboten ein großer Vorteil gegenüber geschriebenen Bildkommentaren, wie sie in vielen Lerntexten zu finden sind. Bei einem auditiven Kommentar muss der Lernende mit den Augen nicht mehr das Bild verlassen, um im Erklärungstext nachzulesen (Weidenmann, 2002a).

Weitere Möglichkeiten

Ein andere Möglichkeit, die auditive Modalität mit einzubeziehen, ist die Verwendung von Geräuschen und Musik. Ton kann die Aussagekraft einer bildlichen Darstellung verstärken. Dies gilt im Besonderen für die Situierungsfunktion von Bildern (vgl. Kapitel 2.3.7, S. 114).

In Kombination mit Interaktivität können Signaltöne und Musik zudem den Lernenden im medialen Angebot begleiten und steuern. Sie können Aufforderungen ankündigen, Reaktionen des Nutzers als richtig oder falsch werten, Pausen füllen und generell die Aufmerksamkeit wecken (Weidenmann, 2002a).

Mit Bedacht eingesetzte audiovisuelle Gestaltungselemente können die Aufmerksamkeit fesseln, die Lernmotivation erhöhen und das Verstehen fördern (Issing, 2002).

2.3.10 Gestaltungsprinzipien nach Mayer et al.

Mayer (2005a) nennt ursprünglich sieben Prinzipien zur Gestaltung medialer Angebote: *Multimedia Principle*, *Spatial Contiguity Principle*, *Temporal Contiguity Principle*, *Coherence Principle*, *Modality Principle*, *Redundancy Principle*, *Individual Differences Principle*. Dabei legt Mayer (2005a) großen Wert auf die wissenschaftliche Überprüfbarkeit der genannten Prinzipien:

Multimedia encyclopedias have become the latest addition to student's reference tools, and the World Wide Web is full of messages that combine words and pictures. Do these forms of representation help learners? How do people learn from word and pictures? What is the best way to design

multimedia messages? These are the kind of questions prompted by advances in graphics technology. My premise in this book is that the answers to these questions require a program of careful, systematic research. [...]

In short, this book summarizes research aimed at realizing the promise of multimedia learning - that is the potential of using words and pictures together to promote human understanding. (Mayer, 2005a, S.ix)

Im *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (Mayer, 2005e) werden diese Prinzipien erweitert. Einige der hierzu verwendeten Studien werden im folgenden Kapitel 2.3.11 näher beschrieben. In der Regel stammen die den Prinzipien zugrunde liegenden Studien aber aus nicht-mathematischen Bereichen. Wie Kapitel 2.3.11 jedoch zeigen wird, sind einige der Prinzipien bereits auch für den mathematischen Bereich nachgewiesen worden (siehe hierzu auch die kritischen Anmerkungen in Kapitel 2.3.11). Darum werden die Kernaussagen dieser Prinzipien nachfolgend dargestellt, zum Teil mit modifizierten Versionen. Mayer (2005e) unterteilt in *Basic Principles of Multimedia Learning* und in *Advanced Principles of Multimedia Learning*. Diese Unterteilung wird im Folgenden beibehalten. In der erweiterten Fassung der Prinzipien von Mayer (2005e) wird das *Individual Differences Principle* nicht mehr als eigenständiges Prinzip aufgeführt, sondern in verschiedene andere Prinzipien integriert wie zum Beispiel in das *Multimedia Principle*, das *Animation Principle* oder das *Prior Knowledge Principle*. Da es aber insbesondere für mathematische mediale Angebote von Bedeutung ist, wird dieses Prinzip unter den *Advanced Principles of Multimedia Learning* nochmals explizit aufgeführt.

Basic Principles of Multimedia Learning

▷ MULTIMEDIA PRINCIPLE:

Das *Multimedia Principle* besagt, dass Lernende mit Wörtern und Bildern besser lernen als nur mit Wörtern allein, oder genauer, dass Lernende dann besser lernen, wenn einem Text geeignete Bilder hinzugefügt sind (Fletcher und Tobias, 2005, S.117).

▷ SPLIT-ATTENTION PRINCIPLE:

Das *Split-Attention Principle* besagt, dass es bei der Gestaltung von Instruktion, insbesondere bei der Gestaltung (im Sinne von Mayer) „multimedialer“ Instruktion von Bedeutung ist, solche Formate zu vermeiden, die vom Lernenden verlangen, seine Aufmerksamkeit zwischen verschiedenartigen Informationsquellen aufzuteilen (zu „splitten“) und diese mental zu integrieren. Stattdessen sollten die zu vermittelnden Inhalte so gestaltet sein, dass verschiedenartige Informationsquellen bereits zeitlich und räumlich miteinander verbunden sind und somit der Notwendigkeit einer mentalen Integration durch den Lernenden entgegenwirken. Ist diese Notwendigkeit ausgeschlossen, reduziert sich die kognitive Beanspruchung und stellt mehr Ressourcen für das eigentliche Lernen zur Verfügung (Ayres und Sweller, 2005, S.135).

▷ MODALITY PRINCIPLE:

(siehe auch MODALITY PRINCIPLE unter PRINCIPLES FOR MANAGING ESSENTIAL PROCESSING IN MULTIMEDIA LEARNING, S.127):

Animation und gesprochener Text tragen mehr zum Lernerfolg bei als Animation und auf dem Bildschirm angezeigter Text. Dies bedeutet, dass Lernende besser lernen, wenn Text als gesprochener und nicht als geschriebener Text präsentiert wird.

Der *Modality Effect* tritt ein, wenn sich die Darstellung einer Information in einem gemischtem Modus (teils visuell, teils auditiv) effektiver erweist als die Darstellung derselben Information in einem einfachen Modus (entweder nur visuell oder nur auditiv).

Unter bestimmten, wohl definierten Bedingungen kann die Präsentation eines Teils der Informationen im visuellen Modus und eines (anderen) Teils im auditiven Modus die Gedächtnisleistung verbessern und somit die Folgen einer ausgeprägten kognitiven Überlast reduzieren. Dieser Effekt wird *Modality Effect* oder *Modality Principle* genannt. Dabei handelt es sich um ein instruktionales Prinzip, das das Lernergebnis wesentlich verbessern kann (Low und Sweller, 2005, S.147).

▷ REDUNDANCY PRINCIPLE:

(siehe auch REDUNDANCY PRINCIPLE unter PRINCIPLES FOR REDUCING EXTRANEIOUS PROCESSING IN MULTIMEDIA LEARNING, S.127):

Animation und Narration unterstützen das Lernen besser als Animation, Narration und Text (Mayer, 2005a, S.147).

Nach dem *Redundancy Principle* erschwert redundantes Material eher das Lernen, als dass es dieses erleichtert. Redundanz ist dann gegeben, wenn dieselben Informationen mehrfach auf verschiedene codale und modale Art und Weise präsentiert oder um eigentlich überflüssige Elemente ergänzt werden.

Nach dieser Theorie erhöht die Kombination von redundanten mit essenziellen Informationen die kognitive Auslastung und beeinflusst die Abspeicherung der Informationen im Langzeitgedächtnis. Ein Verzicht auf die Darstellung redundanter Informationen beseitigt die Notwendigkeit der Koordination und Integration verschiedener Informationsquellen auf Seiten des Lernenden. Demnach können Formen der Instruktion, die auf redundante Informationen verzichten, im Vergleich zu solchen, die sie verwenden, besser verarbeitet werden (Sweller, 2005, S.159).

▷ PRINCIPLES FOR MANAGING ESSENTIAL PROCESSING
IN MULTIMEDIA LEARNING:

▷ SEGMENTING PRINCIPLE:

Nach dem *Segmenting Principle* fördert ein mediales Angebot das Lernen besser, wenn es statt als kontinuierliche Einheit in Form von Segmenten (engl. *learner-paced segments*) präsentiert wird, die an das Tempo des Lernenden angepasst sind (Mayer, 2005b, S.169).

▷ PRETRAINING PRINCIPLE:

Das *Pretraining Principle* besagt, dass Lernende besser lernen, wenn sie bereits mit den wesentlichen Komponenten, Definitionen und charakteristischen Eigenschaften des Grundthemas vertraut sind (Mayer, 2005b, S.169).

▷ MODALITY PRINCIPLE:

(siehe auch MODALITY PRINCIPLE, S.126)

Nach dem *Modality Principle* unterstützen gesprochene Worte das Lernen mehr als gedruckter Text (Mayer, 2005b, S.169).

▷ PRINCIPLES FOR REDUCING EXTRANEOUS PROCESSING
IN MULTIMEDIA LEARNING:

▷ COHERENCE PRINCIPLE:

Ein besserer Lernerfolg lässt sich erzielen, wenn irrelevantes, zusätzliches Material eher weggelassen als eingebunden wird. Das *Coherence Principle* lässt sich in drei komplementären Versionen darstellen: (1) Interessante, aber irrelevante Wörter und Bilder behindern den Lernprozess. (2) Interessante, aber irrelevante Musik und Geräusche behindern den Lernprozess. (3) Werden überflüssige Wörter eliminiert, verbessert dies den Lernerfolg (Mayer, 2005a, S.113).

Das *Coherence Principle* besagt, dass das Weglassen irrelevanter Information ein besseres Lernen ermöglicht (Mayer, 2005c, S.183).

▷ SIGNALING PRINCIPLE:

Nach dem *Signaling Principle* unterstützen solche Hinweise das Lernen, die den Aufbau und die Gestaltung der wesentlichen Inhalte hervorheben (Mayer, 2005c, S.183).

▷ REDUNDANCY PRINCIPLE:

(siehe auch REDUNDANCY PRINCIPLE, S.126)

Das *Redundancy Principle* besagt, dass Bilder und Narration mehr zum Lernerfolg beitragen als Bilder, Narration und auf dem Bildschirm angezeigter Text (Mayer, 2005c, S.183).

▷ SPATIAL CONTIGUITY PRINCIPLE:

Nach dem *Spatial Contiguity Principle* wird Lernen gefördert, wenn Text und zusammengehörige Bilder im Rahmen der entsprechenden Seite oder Bildschirmdarstellung möglichst räumlich nah beieinander statt weit entfernt voneinander präsentiert werden (Mayer, 2005c, S.183).

▷ TEMPORAL CONTIGUITY PRINCIPLE:

Das *Temporal Contiguity Principle* besagt, dass Lernende besser lernen, wenn Animationen und deren (gesprochene) Erläuterungen gleichzeitig und nicht nacheinander präsentiert werden (Mayer, 2005b, S.169).

▷ PRINCIPLES OF MULTIMEDIA LEARNING
BASED ON SOCIAL CUES:

▷ PERSONALIZATION PRINCIPLE:

Nach dem *Personalization Principle* unterstützt ein umgangssprachlicher Stil in (geschriebenen und gesprochenen) Texten das Lernen mehr als ein formaler Stil oder Fachsprache (Mayer, 2005d, S.201).

▷ VOICE PRINCIPLE:

Das *Voice Principle* besagt, dass Lernende besser lernen, wenn gesprochene Sprache von einer menschlichen Stimme und nicht von einer synthetischen Stimme oder einer Stimme mit fremdländischem Akzent dargeboten wird (Mayer, 2005d, S.201).

▷ IMAGE PRINCIPLE:

Nach dem *Image Principle* ist es für ein besseres Lernen nicht erforderlich, dass bei gesprochenem Text ein Bild des Sprechers auf dem Bildschirm zu sehen ist (Mayer, 2005d, S.201).

Advanced Principles of Multimedia Learning

▷ THE GUIDED DISCOVERY PRINCIPLE:

Inquiry oder *Scientific Discovery Learning Environments* sind Lernumgebungen, in denen ein Sachgebiet nicht direkt dargestellt wird, sondern die entsprechenden Inhalte vom Lernenden über Beispiele und Experimente selbst entdeckt und abgeleitet werden müssen. Da dies für den Lernenden eine schwierige Aufgabe ist, sollte er durch diesen Prozess des Entdeckens geführt werden. Der effektivste Weg einer solchen Führung, engl. *guidance*, ist deren Integration in die Lernumgebung. Dabei kann diese Art der Führung an verschiedenen Stationen des Lernprozesses verwendet werden, beispielsweise bei der Aufstellung von Hypothesen, beim Beobachten von Experimenten oder bei der Strukturierung des Gesamtprozesses. Mit der entsprechenden Anleitung kann entdeckendes Lernen ein effektiver Ansatz sein, mit dem vorwiegend „intuitives“ und „tiefes“ konzeptuelles Wissen erworben werden kann (de Jong, 2005).

▷ THE WORKED-OUT EXAMPLES PRINCIPLE:

Das *Worked-Out-Examples Principle* besagt, dass Lernende ein tiefes verstehen des Wissen eines Sachgebietes erhalten können, wenn ausgearbeitete Beispiele, engl. *worked-out examples*, am Beginn des Lernens bzw. des Erwerbs kognitiver Fähigkeiten stehen (Renkl, 2005, S.230).

Ausgearbeitete Beispiele bestehen aus einer Formulierung des Problems, Lösungsschritten und der abschließenden Lösung. Sie werden bezeichnenderweise in Mathematik und Physik wie folgt eingesetzt: (1) Ein Prinzip (oder eine Regel oder ein Satz) wird vorgestellt; (2) hierzu wird ein ausgearbeitetes Beispiel zur Verfügung gestellt; (3) anschließend werden Aufgaben gestellt, die vom Lernenden selbst

zu lösen sind. Dementsprechend werden bearbeitete Beispiele zur Unterstützung eines ersten Erwerbs kognitiver Fähigkeiten konzipiert (Renkl, 2005, S.230).

Lernende erwerben ein Tiefenverständnis, wenn ihnen zu Beginn des Erwerbs kognitiver Fähigkeiten ausgearbeitete Beispiele zur Verfügung gestellt werden. Dies trifft allerdings nur dann zu, wenn folgende Richtlinien berücksichtigt und durchgeführt werden: Trainieren und Einüben selbsterklärender Beispiele (*Guideline of Self-Explanation Elicitation*); Bereitstellung von prinzipiengestützten, minimalistischen und beispielbezogenen instruktionalen Erklärungen als Hilfsmittel (*Help Guideline*); Konstruktion von Beispielen derart, dass Beziehungen zwischen unterschiedlichen Darstellungen leicht entdeckt werden können (*Easy-Mapping Guideline*); Herausstellen von Strukturmerkmalen ausgewählter Beispiele, die für die Auswahl des richtigen Lösungsverfahrens relevant sind (*Structure-Emphasizing Guideline*); Erleichtern der Abgrenzung bedeutsamer Wissensbausteine in den ausgearbeiteten Beispielen (Renkl, 2005, S.229).

▷ THE COLLABORATION PRINCIPLE:

Ausgehend von der konstruktivistischen Lerntheorie ist das heute vorherrschende Ziel der Lernwissenschaft, das Lernen und somit den Lernenden in simulierte oder mehr realitätsnahe Tätigkeitsfelder einzubinden (zum Konstruktivismus siehe Kapitel 3.2.5). Dieser Bezug zur Realität konfrontiert den Lernenden nicht nur mit authentischen, komplexen und wenig strukturierten Problemlöseaufgaben, sondern fordert und unterstützt sozial vermittelte Lernstrategien wie beispielsweise collaboratives oder kooperatives Lernen (zu kooperativem Lernen siehe Kapitel 3.2.8, S.187) (Jonassen, Lee, Yang und Laffey, 2005, S.247).

▷ THE SELF-EXPLANATION PRINCIPLE:

Sich Dinge selbst zu erklären, engl. *self-explanation*, ist allgemein eine Tätigkeit, die aktives Lernen fördert und eine sinnvolle Auseinandersetzung mit dem Lernmaterial sicherstellt, während gleichzeitig das eigene fortschreitende Verständnis effektiv kontrolliert wird (Roy und Chi, 2005, S.272).

Diese Art der Selbst-Erklärung ist eine effektive Lernstrategie, welche die Entwicklung eines tiefen Verständnisses komplexer Phänomene fördert und ein Lernen mit medialen Angeboten unterstützen kann. Die Forschung hat den Nutzen dieser Art des Lernens für viele Fachgebiete, unterschiedliche Altersgruppen und Lernkontexte (einschließlich medialer Angebote) bestätigt (Roy und Chi, 2005, S.271).

▷ THE ANIMATION AND INTERACTIVITY PRINCIPLES:

Aufgrund der rasanten technischen Entwicklung von Rechenleistung und grafischer Gestaltungsmöglichkeiten bei Computern entwickelten sich innerhalb des letzten Jahrzehnts mediale Angebote von sequenziellen statischen Texten mit Bildern zu immer anspruchsvolleren und technisch ausgefeilteren Visualisierungen. Dabei spielen zwei charakteristische Merkmale sowohl für das Design als auch für die Anwendung eine besondere Rolle: die Verwendung animierter Grafiken

zur Darstellung dynamischer Systeme und die Möglichkeit der Interaktion des Nutzers mit dem dargebotenen Material (Betrancourt, 2005, S.287).

Der Begriff der Animation bezieht sich dabei auf jede Art der Anwendung, die eine Serie von *Frames* generiert, wobei jedes neue Frame das jeweils vorangegangene modifiziert und deren Reihenfolge entweder vom Programmdesigner oder vom Anwender festgelegt wurde bzw. wird.

Es sollte klar zwischen zwei Arten von Interaktivität unterschieden werden: der *Kontrolle* einerseits und dem *interaktiven Verhalten* andererseits. Während sich die *Kontrolle* auf die Einstellung von Geschwindigkeit und Richtung einer (vorgegebenen) Reihenfolge von einzelnen Lerneinheiten durch den Lernenden bezieht, ist *Interaktivität* als die Möglichkeit definiert, die jeweils folgenden Lerneinheiten durch Eingabe von Parametern zu bestimmen. In diesem Fall wird Animation zur Simulation eines dynamischen Systems mit implementierten Regeln. Im Kontext der hier vorgestellten Prinzipien wird Interaktivität im Sinne der *Kontrolle* über das System verstanden (Betrancourt, 2005, S.288).

Animationen sind für Lernende attraktiv und intrinsisch motivierend. Sie sind jedoch auch schwer zu erfassen und zu verstehen; ihre Verarbeitung erfordert eine erhebliche kognitive Beanspruchung, und es ist durchaus möglich, dass Lernende aus einer Animation - verglichen mit statischen Grafiken - keinen Vorteil ziehen können (Betrancourt, 2005, S.293).

Bei entsprechend geeignetem Lernkontext lassen sich aus den vorliegenden Forschungsergebnissen neben dem *Contiguity Principle*, dem *Modality Principle* und dem *Signaling Principle* folgende fünf Prinzipien ableiten:

▷ APPREHENSION PRINCIPLE:

Die äußerlichen charakteristischen Merkmale sollten von Lernenden direkt wahrgenommen und verstanden werden können. Mit anderen Worten sollte das grafische Design der in einer Animation verwendeten Objekte den üblichen grafischen Repräsentationen des entsprechenden Fachgebietes folgen. Darüber hinaus sollte von zusätzlichen „kosmetischen Details“, die keinen echten Informationswert besitzen, abgesehen werden. So sind beispielsweise dreidimensionale Grafiken, Bewegungen in zwei Bewegungsrichtungen oder ein plötzlicher Wechsel in der Displayanzeige zu vermeiden. Ebenso ist eine realitätsgetreue Abbildung (zum Beispiel im Sinne eines realistischen Fotos) dann nicht nötig, wenn Funktionen eines Systems verstanden oder dessen unterschiedliche Komponenten voneinander unterschieden werden sollen (Betrancourt, 2005, S.294).

▷ CONGRUENCE PRINCIPLE:

Wechsel in der Darstellung der Animation sollten eher Änderungen des mentalen Modells als Änderungen des Verhaltens des entsprechenden Sachverhaltes entsprechen. Mit anderen Worten kann die realitätsgetreue Darstellung des dargestellten Sachverhaltes dann verzerrt werden, wenn dies dabei hilft, die Beziehungen von Ursache und Wirkung zwischen den einzelnen Komponenten des Systems zu verstehen. In der Mechanik können beispielsweise parallel ablaufende Prozesse einer kausalen Abfolge unterliegen (zum Beispiel, wenn sich

ein Ventil öffnet und dadurch Wasser einfließt). In diesem Fall ist es besser, die beiden Ereignisse nacheinander in der Animation darzustellen, so dass die Lernenden ein funktionales mentales Modell hierzu aufbauen können (Betrancourt, 2005, S.294).

▷ INTERACTIVITY PRINCIPLE:

Die in einer Animation dargestellten Informationen werden besser verstanden, wenn der Lernende die Geschwindigkeit der Animation selbst kontrollieren kann. Dies kann zum Beispiel durch einen einfachen „Weiter“-Knopf realisiert werden, wenn die Animation zuvor in einzelne (zeitliche) Abschnitte unterteilt worden ist.

Diese einfache Kontrollmöglichkeit gibt Lernenden nicht nur die Zeit, die Informationen des aktuellen Frames mental zu integrieren, bevor zum nächsten Frame übergegangen wird, sondern gliedert die Animation auch in relevante Sinneinheiten. Weitere Kontrollmöglichkeiten höheren Grades (im Sinne der üblichen Funktionen eines Videorekorders) sollten dann verwendet werden, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Lernenden ihre kognitiven Ressourcen kontrollieren können, die sie jeder Phase der Animation zuzuordnen haben (Betrancourt, 2005, S.294).

▷ ATTENTION-GUIDING PRINCIPLE:

Da Animationen von Natur aus „flüchtig“ sind und in der Regel viele gleichzeitige Veränderungen auf dem Display darstellen, ist es wichtig, den Lernenden bei der Verarbeitung der Animation zu begleiten, damit er die entscheidenden Veränderungen bewusst wahrnimmt. Darüber hinaus wird die Aufmerksamkeit des Lernenden eher durch optisch hervorspringende Besonderheiten als durch thematisch relevante Veränderungen gelenkt, was einfach daran liegt, dass Lernanfänger nicht zwischen relevanten und irrelevanten Merkmalen unterscheiden können. Um die Aufmerksamkeit eines Lernenden auf bestimmte Komponenten einer Darstellung zu richten, können sowohl in einer verbalen begleitenden Erklärung als auch in der Grafik selbst *Hervorhebungen* (zum Beispiel in Form von Pfeilen oder dem Highlighten bestimmter Wörter oder Elemente) räumlich nahe bei der entsprechenden Komponenten eingesetzt werden (Betrancourt, 2005, S.294).

▷ FLEXIBILITY PRINCIPLE:

Da Informationen über den aktuellen Wissensstand eines Lernenden im voraus oft nicht eingeholt werden können, sollten verschiedene Optionen zur Aktivierung von Animationen vorhanden sein. Durch die Animation bereitgestellte Information sollte klar und deutlich beschrieben werden, um eine Redundanz zwischen statischer und dynamischer visueller Darstellung zu vermeiden (Betrancourt, 2005, S.294).

▷ NAVIGATIONAL PRINCIPLES:

Navigationshilfen bilden eine umfangreiche Klasse von verbalen und grafischen Komponenten, die von lokalen Stichwörtern (wie zum Beispiel Überschriften, Einleitungen und Überleitungen) bis hin zu globalen inhaltlichen Repräsentationen

(wie zum Beispiel Tabellen, Skizzen und Inhaltsübersichten) reichen. Es konnte wissenschaftlich nachgewiesen werden, dass die (richtige) Verwendung solcher Stichwörter und inhaltlicher Darstellungen das Textverständnis und die Erinnerung an den Text verbessert. Navigationshilfen sind auch in hypertext-basiertem Lernen sinnvoll, sofern die Hilfen den Bedürfnissen des Nutzers angepasst sind.

Der Nutzen von unterschiedlichen inhaltlichen Darstellungen schwankt in Abhängigkeit vom Vorwissen, der Erfahrung und den Lernzielen des Lernenden. Forschungsergebnisse belegen, dass jeder Versuch, die Darstellung und Gestaltung instruktionaler Hypermediasysteme zu optimieren, das Vorwissen, die zu präsentierenden Inhalte und deren vorgesehene Verwendung berücksichtigen sollte (Rouet und Potelle, 2005, S.297).

▷ THE SITE MAP PRINCIPLE:

Site Maps ermöglichen einen Blick aus der Vogelperspektive (*bird's eye view*) auf eine Hypermedia-Seite, was dem Anwender die Möglichkeit gibt, einen Überblick über Inhalt und Struktur dieser Seite zu bekommen. *Site Maps* gibt es in verschiedenen Formen und unterschiedlicher Detaillierung. In ihrer einfachsten Form ist eine *Site Map* ein Inhaltsverzeichnis, das ein „Manifest“ der jeweiligen Themen der entsprechenden Seite liefert. Sie kann aber auch sehr viel detaillierter sein, wenn sie etwa eine grafische Repräsentation der Dokumente oder sogar die Netzwerk-Verknüpfungen darstellt. In dieser Form hat sie das Erscheinungsbild einer grafischen Netzstruktur.

Sinn und Zweck einer *Site Map* ist es, zum einen den Lernenden vor einem „lost in hyperspace“ zu bewahren und dabei gleichzeitig zum anderen dessen Lernziele zu unterstützen. Nach dem *Site Map Principle* lernen Anfänger in Hypertext-Umgebungen dann besser, wenn ihnen angemessene *Site Maps* zur Verfügung stehen.

Das *Site Map Principle* besagt, dass entsprechend gestaltete und strukturierte *Site Maps* das Lernen fördern. Sie können die kognitive Beanspruchung reduzieren und dem Lernenden dabei helfen, sich im Hypertext zu orientieren. Während ihr Nutzen für fortgeschrittene Lernende (vielleicht nur aufgrund möglicher, aber nicht durchgeführter Studien) bislang nicht nachgewiesen worden ist, lässt sich belegen, dass *Site Maps* für Lernanfänger eines Sachgebietes effektive Lernwerkzeuge sein können. Andere Forschungsarbeiten haben ebenfalls gezeigt, dass weitere Nutzervariablen wie beispielsweise die Lernziele einen Einfluss auf das Lernen mithilfe von *Site Maps* nehmen (Shapiro, 2005, S.313).

▷ INDIVIDUAL DIFFERENCES PRINCIPLE:

Gestaltung und Umsetzung von Instruktionsdesign nehmen einen stärkeren positiven Einfluss auf leistungsstarke Lernende und solche mit einem ausgeprägten räumlichen Vorstellungsvermögen als auf lernschwache Lernende mit nur geringem räumlichen Vorstellungsvermögen (Mayer, 2005a, S.161).

▷ PRIOR KNOWLEDGE PRINCIPLE:

Gestaltungsprinzipien, die Lernende mit geringem Vor- und Fachwissen in ihrem Lernprozess unterstützen, müssen für Lernende mit gutem Vor- und Fachwissen nicht hilfreich, sondern können für diese sogar nachteilig sein. Die mit dem *Prior Knowledge Principle* verbundene theoretische Kernfrage betrifft die Eingliederung im Arbeitsgedächtnis von neuer instruktionaler Information zu bereits im Langzeitgedächtnis vorhandener und verankerter Information. Dabei ergibt sich als Hauptimplikation für das Instruktionsdesign, entsprechende Formate und Verfahren zu entwickeln, die auf unterschiedliche Niveaus von Expertenwissen zugeschnitten sind. Zukünftige Forschungsschwerpunkte konzentrieren sich dabei auf die Identifikation instruktionaler Verfahren, die auch für Lernende mit unterschiedlichem Expertenwissen optimal sind, sowie auf die Entwicklung brauchbarer Verfahren zur Bestimmung von Wissensstrukturen eines Lernenden, die eine Evaluierung seines Lernfortschritts in Echtzeit ermöglichen (Kalyuga, 2005, S.325).

▷ THE COGNITIVE AGING PRINCIPLE:

Nach dem *Cognitive Aging Principle* kann die Leistung eines bereits eingeschränkten Arbeitsgedächtnisses effektiv dadurch verbessert werden, dass mehr als eine Sinnesmodalität verwendet bzw. angesprochen wird. Für manche Informationen kann die Darstellung in bimodaler Form für deren Aufnahme wirksamer sein als die Darstellung der entsprechenden Informationen in einem monomodalen Format. Dies gilt insbesondere für Erwachsene in fortgeschrittenem Alter (Paas, van Gerven und Tabbers, 2005, S.339).

2.3.11 Mathematikspezifische Untersuchungen

Atkinson (2005) gibt in seinem Artikel *Multimedia Learning of Mathematics* speziell Untersuchungen zur Wirkweise von statischen und dynamischen Bildern sowie geschriebenem und gesprochenem Text in mathematischen Lernanwendungen wieder. Dabei legt er einen Multimediabegriff nach Mayer (2005a) zugrunde (siehe Kapitel 1.1.1, S.18): „Multimedia Learning of Mathematics“ ist dementsprechend „learning in the domain mathematics from both pencil/paper and computer-based instructional material leveraging both words and pictures“ (Atkinson, 2005, S.393).

Wie Bilder und Texte insbesondere sinnvoll in mathematischen Kontexten verwendet werden können, demonstriert Atkinson (2005) am Beispiel eines *Worked Example* zur Bestimmung verschiedener Winkelgrößen einer gegebenen geometrischen Konstellation aus drei Geraden (siehe Abbildungen 2.18, 2.19). Dabei ist ein *Worked Example* ein in dem Sinne „bearbeitetes Beispiel“, als dass eine Aufgabe gestellt, diese dann Schritt für Schritt und aus einer für den Lernenden nachvollziehbaren Perspektive gelöst und abschließend die Lösung präsentiert wird (siehe auch Kapitel 2.3.10, S.128, *Worked-Out Examples Principle*). Manchmal werden die einzelnen Schritte auch nur beschrieben, so dass der Lernende sie selbst der Anleitung entsprechend auszuführen hat. Verschiedene Studien (beispielsweise Sweller und Cooper,

1985; Cooper und Sweller, 1987) konnten nachweisen, dass Kombinationen solcher bearbeiteten Beispielaufgaben mit Übungsaufgaben das Lernen besser fördern als alleiniges Problemlösen.

Abbildung 2.18 zeigt das bearbeitete Beispiel zur Bestimmung der Winkelgrößen zunächst als reine (schriftliche) Textversion. Allerdings fehlen hier noch genauere Angaben darüber, wo die Winkel „angles ($\angle$)1, 2, 3, and 4“ zu finden sind. Um das bearbeitete Beispiel nur mithilfe von geschriebenem Text darzustellen, sind diese Angaben noch zwingend notwendig. Welche Winkel mit den Winkeln „angles ($\angle$)1, 2, 3, and 4“ gemeint sind, wird deutlich, wenn das Diagramm ergänzend hinzugenommen wird. Um aber aus Text und Diagramm ein mentales Modell des bearbeiteten Beispiels aufbauen zu können, muss sich der Lernende immer wieder abwechselnd auf Text und Diagramm konzentrieren. Der ständige Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus kann den Lernenden nach Atkinson (2005, S.396) dabei so ermüden, dass letztlich sowohl die Kapazität für eine Verknüpfung der piktorialen und verbalen Informationen fehlt als auch keine Referenzen zu bereits vorhandenem Wissen aufgebaut werden können.

Problem formulation: Line AB and line CD intersect at point E. Ray EF is perpendicular to line AB and the measure of $\angle CEB$ is 160°. Find the measures for angles ($\angle$) 1, 2, 3, and 4.
Solution: Step 1: Because $\angle CEB$ and $\angle 1$ represent adjacent angles whose noncommon sides lies on a straight line, AB, they are supplements and their measures sum to 180°. Because we know that $\angle CEB$ equals 160°, this implies that $\angle 1$ is 20°. Step 2: Because $\angle 1$ and $\angle 4$ are formed by the intersection of two straight lines, AB and CD, they are vertical angles. By theorem, vertical angles are of equal measure. Thus, because $\angle 1$ equals 20°, then $\angle 4$ also equals 20°. Step 3: Because ray EF is perpendicular to line AB, the angles at their intersection are right angles. Thus, $\angle 3$ is a right angle, which measures 90°. Step 4: $\angle CEB$ is comprised of $\angle 2$ and $\angle 3$, which implies that $\angle CEB$ must be equal to the sum of its parts. Because $\angle CEB$ is 160 degrees and $\angle 3$ is 90°, $\angle 2$ must be 70°. Final solution: Thus, $\angle 1$ is 20°, $\angle 2$ is 70°, $\angle 3$ is 90°, and $\angle 4$ is 20°.

Worked example involving perpendicularity.

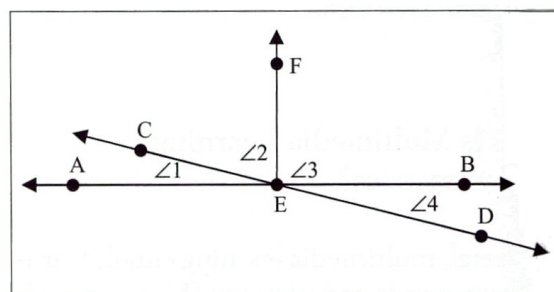


Diagram for perpendicularity worked example.

Abbildung 2.18: Worked Example - Text und ergänzendes Diagramm (Atkinson, 2005, S.394)

Frame	Animation	Narration
7		Because $\angle CEB$ and $\angle 1$ represent adjacent angles whose non-common sides lies on a straight line, AB, they are supplements and their measures sum to 180° . Because we know that $\angle CEB$ equals 160° , this implies that $\angle 1$ is 20° .
8		Because $\angle 1$ and $\angle 4$ are formed by the intersection of two straight lines, AB and CD, they are vertical angles. By theorem, vertical angles are of equal measure. Thus, because $\angle 1$ equals 20° , then $\angle 4$ also equals 20° .
9		Because ray EF is perpendicular to line AB, the angles at their intersection are right angles. Thus, $\angle 3$ is a right angle, which measures 90° .
10		$\angle CEB$ is comprised of $\angle 2$ and $\angle 3$, which implies that angle CEB must be equal to the sum of parts. Because $\angle CEB$ is 160° and $\angle 3$ is 90° , $\angle 2$ must be 70° .
11		Thus, $\angle 1$ is 20° , $\angle 2$ is 70° , $\angle 3$ is 90° , and $\angle 4$ is 20° .

Abbildung 2.19: Worked Example: Kombination von Bildern und Narration (Atkinson, 2005, S.395)

Atkinson (2005, S.396) schlägt daher die Verwendung von Animation und Narration vor. Während das entsprechende Bild gezeigt wird, kann die Information hierzu mündlich präsentiert werden. Zudem können unterstützende Signale wie beispielsweise *Highlighting* oder *Flashing* die Merkmale des Bildes hervorheben, die gerade besprochen werden und insofern im Fokus der Aufmerksamkeit sind. Durch die Abfolge der einzelnen Bilder sind die einzelnen Schritte des Lösungsweges besser nachvollziehbar, als wenn die Lösung als Ganzes präsentiert wird. Abbildung 2.19 zeigt eine mögliche Gestaltung des bearbeiteten Beispiels zur Bestimmung der Winkelgrößen als Animation. Neben den einzelnen Bildern der Animation ist der jeweils dazu gesprochene Text zu finden. Während der einzelnen Schritte werden die gerade behandelten Größen bzw. Elemente des Bildes hervorgehoben.

Diese Art der Darstellung hilft dem Lernenden, ein verbales Modell und ein piktoriales Modell aufzubauen und diese beiden Modelle in ein kohärentes mentales Modell zu integrieren. Es ist insofern lerner-zentriert, als es auf die menschliche Art zu denken eingeht. Dabei kommt es darauf an, eine multimodale und multicodale Darstellung nicht zu überladen (Atkinson, 2005, S.396). Insofern stellt sich auch hier weniger die Frage, *ob*, sondern vielmehr *wie* einzelne Codierungen und das Adressieren unterschiedlicher Modalitäten für ein sinnvolles Lernen mit medialen Angeboten in der Mathematik einsetzbar sind.

Atkinson (2005) gibt einen Überblick über diesbezüglich relevante Forschungsergebnisse. Diese können seiner Meinung nach in einen zweidimensionalen Rahmen eingebettet werden: Dabei bezieht sich die erste Dimension auf die piktoriale Form (statische oder dynamische Bilder), die zweite Dimension auf die verbale Form (geschriebener oder gesprochener Text). Demzufolge ergeben sich die vier Segmente *statische Bilder und geschriebener Text*, *statische Bilder und gesprochener Text*, *dynamische Bilder und geschriebener Text* sowie *dynamische Bilder und gesprochener Text*.

Statische Bilder und geschriebener Text

In einer Studie von Tarmizi und Sweller (1988) wurde konventionelles Problemlösen mit der Bearbeitung bearbeiteter Beispiele, engl. *worked examples*, im Kontext geometrischer Konstruktionen in der Euklidischen Ebene verglichen. Die Problemlöse-Gruppe erhielt sechs Paare von Aufgaben, die auf einem Blatt Papier zusammen mit den entsprechenden Diagrammen und notwendigen mathematischen Sätzen dargestellt wurden. Die Beispiel-Gruppe erhielt dieselben sechs Paare von Aufgaben; jedoch wurden in dieser Gruppe die jeweils ersten Aufgaben als bearbeitete Beispiele präsentiert. Dabei wurden die bearbeiteten Beispiele durch ein Diagramm und eine Sequenz von Gleichungen, die die Beziehungen der einzelnen Elemente des Diagramms zum Ausdruck brachten, dargestellt. Die bearbeiteten Beispiele wurden also ähnlich wie das Beispiel in Abbildung 2.18 präsentiert.

Interessanterweise zeigten sich *keine* signifikanten Unterschiede abhängiger Variablen wie beispielsweise Bearbeitungszeit oder Fehlerhäufigkeit zwischen den beiden Gruppen. Das Ergebnis war insofern unerwartet, als es den oben erwähnten Ergeb-

nissen zu widersprechen schien, dass Lernen mit bearbeiteten Beispielen besser ist als reines Problemlösen (siehe S. 134).

Tarmizi und Sweller (1988) führten das Ergebnis auf die *Art der Darstellung* der bearbeiteten Beispiele zurück und führten ein weiteres Experiment durch: Diesmal gab es drei Versuchsgruppen - konventionelles Problemlösen, bearbeitete Beispiele und *modifizierte* bearbeitete Beispiele. Dabei sah die Modifikation der bearbeiteten Beispiele so aus, dass die Gleichungen in die Diagramme integriert wurden.

Diesmal entsprach das Ergebnis den Erwartungen: Erneut zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Problemlöse- und der Beispiel-Gruppe. Teilnehmer der Gruppe mit den modifizierten Beispielen bearbeiteten aber signifikant mehr Beispiele in der vorgegebenen Zeit, lösten die Übungsaufgaben effizienter und brauchten signifikant weniger Zeit, um Testaufgaben zu lösen, als Teilnehmer der beiden anderen Gruppen. Darüber hinaus zeigte die Analyse verbaler Protokolle, dass die Teilnehmer der Gruppe mit den modifizierten Beispielen signifikant mehr effektive Problemlösestrategien entwickelten als die Teilnehmer der beiden anderen Gruppen.

Bei statischen Bildern und geschriebenem Text kommt es also in erster Linie darauf an, dass Bild und Text gut integriert sind: Wenn Lernende nicht selbst erst unterschiedliche Informationsquellen wie Bild und Text zu einem Ganzen integrieren müssen, sondern diese bereits in integrierter Form dargeboten bekommen, reduziert dies die kognitive Beanspruchung und stellt mehr Ressourcen für das eigentliche Lernen zur Verfügung (Atkinson, 2005, S.398).

Sweller, Chandler, Tierney und Cooper (1990) führten eine erweiterte Studie mit Aufgaben zu Koordinatensystemen durch: Statt Diagrammen und zugehöriger Gleichungen in der euklidischen Zeichenebene wurden Diagramme und zugehörige Gleichungen in einem zweidimensionalen Koordinatensystem verwendet. Auch hier gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen der konventionellen Problemlöse-Gruppe und der Gruppe mit den einfach formatierten bearbeiteten Beispielen. Die Gruppe mit den modifizierten bearbeiteten Beispielen benötigte aber auch in diesem Versuch signifikant weniger Zeit zum Lösen der Aufgaben eines Nachtests und zeigte auch eine niedrigere Fehlerquote. In einem anderen Versuch dieser Studie zeigte sich zudem, dass ein integriertes Format auch bei instruktionalen Überblicken, die vor der Bearbeitung von Aufgaben dargeboten werden, zu besseren Ergebnissen bei anschließenden Testaufgaben führt.

ZUSAMMENFASSENDE GESTALTUNGSRICHTLINIEN:

- ▷ Werden statische Bilder bzw. Diagramme in Kombination mit geschriebenem Text verwendet, so sollte der Text in das Bild bzw. Diagramm integriert werden (entspricht dem *Spatial Contiguity Principle* nach Mayer (2005a,e), siehe S.127).
- ▷ Dies gilt sowohl für die allgemeine Verwendung von Bildern bzw. Diagrammen in Kombination mit geschriebenem Text als auch für instruktionale Überblicke.

Statische Bilder und gesprochener Text

Mousavi, Low und Sweller (1995) führten eine Studie zur Verwendung von gesprochenem Text mit statischen Bildern im Kontext geometrischer Instruktionen durch. Drei verschiedene Gruppen bekamen dasselbe bearbeitete Beispiel in Form eines Diagramms, zusammen mit einem damit verbundenen mathematischen Problem und Ausführungen zu dessen Beweis. Die drei Gruppen unterschieden sich jedoch in der Art und Weise der modalen Präsentation: Die erste Gruppe (*visuell-visuell*) erhielt sowohl das Diagramm als auch die Ausführungen zu Problemstellung und Beweis auf einem Blatt Papier. Die zweite Gruppe (*visuell-auditiv*) erhielt die Aussagen auf Tonband, während die dritte Gruppe die Ausführungen sowohl auf einem Blatt Papier als auch als Tonbandaufnahme zur Verfügung gestellt bekam. Im Ergebnis lösten Teilnehmer der visuell-auditiven Gruppe Testaufgaben deutlich schneller als Teilnehmer der visuell-visuellen Gruppe. Darüber hinaus zeigte sich die parallele Vorlage der verbalen Information in Schrift und Ton für die Teilnehmer der dritten Gruppe als eher hinderlich.

Um auszuschließen, dass allein die Zeitgleichheit von visueller und auditiver Information für das schnellere Aufgabenlösen der zweiten Gruppe ausschlaggebend war, wurde ein weiterer Versuch mit einem 2×2 -faktoriellen Design durchgeführt: Der erste Faktor war dabei die zeitliche Art der Präsentation (simultan oder sequenziell), der zweite Faktor die modale Form (visuell-visuell oder visuell-auditiv), wobei bei der sequenziellen Form zuerst die Erläuterungen und dann das Diagramm präsentiert wurden. Auch hier zeigte das Ergebnis einen Vorteil für die visuell-auditiven Darbietungen - unabhängig von der zeitlichen Form.

Mousavi et al. (1995, S.333) ziehen daraus folgende Schlussfolgerung: „when students must split their attention between multiple sources of information that require mental integration, cognitive resources available for learning can be increased by presenting some of the verbal material in auditory rather than written form“.

In einer anderen Studie (Jeung, Chandler und Sweller, 1997) wurde zudem der zusätzliche Einsatz von Betonung einzelner Bildelemente durch *Flashing* untersucht. Dabei gab es die drei Gruppen *visuell-visuell*, *auditiv-visuell* und *auditiv-visuell-flashing*. Es stellte sich heraus, dass hier zwischen einer hohen und niedrigen visuellen Such-Komplexität der dargebotenen Diagramme unterschieden werden muss: Bei einem ersten Versuchsdurchlauf zeigte sich, dass bei Bildern mit hoher Such-Komplexität die Gruppe mit der Konstellation „auditiv-visuell-flashing“ signifikant bessere Lernleistungen erzielte als die beiden anderen Gruppen, also auch als die Gruppe mit der auditiv-visuellen Konstellation ohne Flashing. Bei Bildern mit geringer Such-Komplexität zeigte sich zunächst kein Unterschied in den Lernleistungen der drei Gruppen. In einem zweiten Versuchsdurchlauf wurde dann jeweils die visuelle Such-Komplexität der Diagramme weiter erhöht bzw. erniedrigt. Dabei wiederholte sich das Ergebnis des ersten Versuchsdurchlaufes für Diagramme mit hoher visueller Such-Komplexität; für die Diagramme mit nun sehr niedriger visueller Such-Komplexität zeigte sich jedoch, dass nun die beiden Gruppen mit den auditiven Komponenten (auditiv-visuell und auditiv-visuell-flashing) eine bessere Lernleistung

als die visuell-visuelle Gruppe erbrachten; allerdings brachte das Hervorheben einzelner Bildelemente durch Flashing keinen weiteren Lernvorteil mehr.

Jeung et al. (1997, S.337) kommen deshalb zu dem Schluss, dass „if visual search is likely to be high, then the inclusion of visual indicators such as flashing, color change, or simple animation is essential for audio-visual instruction to be an effective instructional teach technique [whereas] if visual search is low then such indicators are less necessary and standard mixed mode presentations are likely to be superior to equivalent visual instructional formats“.

ZUSAMMENFASSENDE GESTALTUNGSRICHTLINIEN:

- ▷ Wenn möglich sollten statische Bilder bzw. Diagramme mit gesprochenem Text kombiniert werden (entspricht dem *Modality Principle* nach Mayer (2005a,e), siehe S.126, S.127).
- ▷ Wenn Bilder bzw. Diagramme mit gesprochenem Text kombiniert werden, sollte der Text nicht zusätzlich schriftlich zur Verfügung gestellt werden (entspricht dem *Redundancy Principle* nach Mayer (2005a,e), siehe S.126, S.127).
- ▷ Für visuell anspruchsvolle Bilder und Diagramme sollte gesprochener Text in Verbindung mit hervorhebenden Signalen verwendet werden, um den Blick des Lernenden zu lenken.

Dynamische Bilder und geschriebener Text

In dieser Rubrik konzentriert sich Atkinson (2005, S.400f.) im Wesentlichen auf Forschungsergebnisse bezüglich interaktiver Animationsprogramme: Nathan, Kintsch und Young (1992) führten eine Studie mit einem Animationsprogramm zum Lösen algebraischer Textaufgaben durch. Das verwendete Animationsprogramm *ANIMATE* beschreiben Nathan et al. (1992, S.346) dabei als „an interactive tutor that facilitates comprehension of word problems by helping the student to construct a formal problem network, which is then used to run a simple animation of the problem“. Dabei nutzen Lernende diese Lernumgebung im Wesentlichen, um eine formale, grafische Repräsentation für jedes Entfernungs-, Geschwindigkeits- oder Zeitproblem zu lösen, das in der Lernumgebung im Rahmen einer Textaufgabe gestellt wird. Anhand dieser Repräsentation erstellt das Programm dann eine Animation, mit deren Hilfe der Lernende erkennen kann, ob seine formale Darstellung korrekt ist. *ANIMATE* gibt zudem auf vom Lernenden eingegebene Lösungen eine schriftliche Rückmeldung. Das Programm ermöglicht drei Tutorfunktionen: (1) Konstruiere ein formales Netzwerk, (2) erstelle eine Textaufgabe, (3) aktiviere die durch Gleichungen gesteuerte Animation.

In ihrem Versuch etablierten Nathan et al. (1992) vier Szenarien - eines ohne Tutor, eines mit Tutor, der nur Funktion (1) ausführen, eines mit Tutor, der Funktionen (1) und (2) bewerkstelligen und schließlich eines mit einem Tutor, der alle Funktionen und insofern auch Animationen umsetzen kann. In einem Vor-Nach-Test nach nur 30-minütiger Arbeitszeit mit dem Programm schnitten Teilnehmer dieser letzten Gruppe deutlich besser ab als Teilnehmer der anderen drei Gruppen. Auch zeigten

sie eine niedrigere Fehlerquote. Damit ist nachgewiesen, dass Animationen mathematisches Denken unterstützen.

In einem anderen Versuch untersuchten Moreno und Mayer (1999) die Wirkung von Animationen zu Additions- und Subtraktionsaufgaben ganzer Zahlen bei Grundschulern. Dabei gab es zwei Gruppen: In der einen Gruppe wurden die Aufgaben schriftlich symbolisch dargestellt; in der anderen Gruppe erfolgt dieselbe Darstellung, aber um die Animation eines an einem Zahlenstrahl entlang hüpfenden Hasens ergänzt.

Ein Vor-Nach-Test zeigte zum einen, dass bei den Teilnehmern der Animationsgruppe bei leichten Aufgaben kein, bei schwierigen Aufgaben aber ein signifikant größerer Lernerfolg zu verzeichnen war. Zum anderen zeigte sich ein Unterschied bei leistungsstarken und leistungsschwachen Schülern: Während die leistungsstarken Schüler der Animationsgruppe sowohl bei den schweren als auch bei den leichten Aufgaben besser abschnitten als die leistungsstarken Schüler der Kontrollgruppe, ließ sich dieses Ergebnis auf die leistungsschwachen Schüler nicht übertragen.

In einem weiteren Versuch zeigte sich, dass sich eine hohe räumliche Vorstellungskraft ebenfalls auf die Ergebnisse auswirkt: Schüler mit einer ausgeprägten räumlichen Vorstellungskraft zeigten bei einem Vor-Nach-Test nach einem Training mit der Animationsumgebung signifikant größere Lernerfolge als Schüler mit einer geringen räumlichen Vorstellungskraft. Aufgrund ihrer Experimente kommen Moreno und Mayer (1999) zu dem Schluss, dass Animationen Lernende im Allgemeinen beim Lernen herausfordernder mathematischer Konzepte unterstützen können, sie sowohl lernstarke Schüler als auch solche mit hoher räumlicher Vorstellungskraft mehr fördert als lernschwache Schüler und solche mit einer geringen räumlichen Vorstellungskraft.

Was bei der Diskussion dieser Experimente jedoch offen bleibt, ist die Frage, zu welchen Teilen der erzielte größere Lernerfolg nun allein der *Animation* und zu welchen Teilen er der damit verbundenen *Interaktion* zugesprochen werden kann. Atkinson (2005, S.401) fasst an dieser Stelle wie folgt zusammen: „More generally, this study suggests that students engaged in mathematical thinking can benefit on a conceptual level by interacting with learning environments consisting of written-text narration coupled with animations“. Somit betont er dabei sowohl die Interaktion als auch die Verwendung von Animationen.

ZUSAMMENFASSENDE GESTALTUNGSRICHTLINIEN:

- ▷ Die Kombination von Animation und Narration ist besser als alleinige Narration (entspricht dem *Multimedia Principle* nach Mayer (2005a,e), siehe S.125).
 - ▷ Animationen können leistungsstarke Lernende und solche mit einem ausgeprägten räumlichen Vorstellungsvermögen besser unterstützen als lernschwache Lernende oder solche mit einem geringen räumlichen Vorstellungsvermögen (entspricht teilweise dem *Individual Differences Principle* nach Mayer (2005a), siehe S.132).
-

Dynamische Bilder und gesprochener Text

Atkinson (2002) untersuchte den Einfluss von gesprochenem Text im Kontext dynamischer Bilder im Rahmen einer computerbasierten Lernumgebung zum Thema mehrschrittiger Textaufgaben zu proportionalen Verhältnissen. In der Lernumgebung wurden dazu bearbeitete Beispiele (*Worked Examples*) solcher Textaufgaben mit Übungsaufgaben kombiniert. Die bearbeiteten Beispiele wurden dabei als eine Sequenz statischer oder animierter Bilder aufbereitet, so dass der Lernende die einzelnen Lösungsschritte Schritt für Schritt nachvollziehen konnte. Jeder Schritt wurde dabei verbal erläutert - entweder in schriftlicher oder in mündlicher Form, wobei die mündliche Form mithilfe einer weiblichen Stimme umgesetzt wurde.

In einem Versuch wurde nun eine mono-modale Präsentation (animierte bearbeitete Beispiele mit geschriebenen Erläuterungen) und eine dual-modale Präsentation (dieselben animierten bearbeiteten Beispiele, aber mit gesprochenen Erläuterungen) miteinander verglichen. Es zeigte sich, dass die Teilnehmer der dual-modalen Präsentation die bearbeiteten Beispiele als weniger schwierig empfanden und in einem Nachtest konzeptuell akkuratere Lösungen produzierten als die Teilnehmer der anderen Gruppe.

Ein weiterer Versuch bestätigte diese Ergebnisse und zeigte zudem konzeptuell akkuratere Lösungen nicht nur bei Übungs-, sondern auch bei einfachen Transferaufgaben bei den Teilnehmern, denen die Erläuterungen zu den animierten Beispielen als gesprochener Text präsentiert worden war. Außerdem fiel die persönliche Einschätzung des Lernerfolgs dieser Teilnehmer höher aus. Atkinson (2002, S.426) leitet daraus ab, dass „example processing and problem-solving performance can be improved by incorporating the use of a dual mode of presentation in example-based instruction [...] and, more generally, that the use of a dual mode of presentation enhances learning outcomes in multimedia learning environments“.

In einer anderen Studie untersuchten Atkinson, Mayer und Merrill (2005) den Einfluss der gewählten Stimme bei gesprochenem Text. In einer ähnlichen Versuchsanordnung wie der oben beschriebenen wurden Lernenden bearbeitete Beispiele zu Textaufgaben zum Thema proportionale Verhältnisse in animierter Form und mit gesprochenem Text präsentiert, allerdings mit unterschiedlichen Stimmen: Während die eine Gruppe eine menschliche, weibliche Stimme ohne fremdländischen Akzent hörte, hörte die andere Gruppe eine maschinell-synthetisierte weibliche Stimme. Dieser Versuch wurde einmal mit Schülern und einmal mit Studienanfängern durchgeführt. Es zeigte sich jeweils, dass die Teilnehmer der Gruppe mit der Kondition der menschlichen Stimme konzeptuell akkuratere Lösungen bei Transferaufgaben produzierten als die Teilnehmer der anderen Gruppe. Zudem sprachen die Teilnehmer der menschlichen Stimme mehr positive Charaktereigenschaften zu als der synthetisierten Stimme. Atkinson, Mayer und Merrill (2005) leiten daraus ein *Prinzip der Stimme*, engl. *voice principle* ab, wonach „designers of multimedia learning environments should create life-like on-screen agents that speak in a human voice rather than a machine-synthesized voice“.

Merrill (2003), zitiert nach Atkinson (2005, S.403), untersuchte den Einfluss stati-

scher Bilder und Animationen in Kombination mit gesprochenem Text. Dabei zeigten bearbeitete Beispiele entweder die komplette Lösung des vorgegebenen Beispiels im Rahmen eines einzigen Diagramms oder präsentierten diese in einer schrittweise animierten Form. In beiden Fällen wurden die jeweiligen Erklärungen als von einer menschlichen, weiblichen Stimme gesprochener Text dargeboten. Hinsichtlich des Lernprozesses zeigte sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Wahl der Bilder zu den dargebotenen mündlichen Erklärungen; es zeigte sich jedoch, dass die Teilnehmer der Animationsgruppe bessere Ergebnisse bei einem Nachtest mit einfachen Transferaufgaben erzielten als die Teilnehmer der anderen Gruppe. Dieses Ergebnis übertrug sich auch auf schwierigere Transferaufgaben: Die Teilnehmer der dynamischen visuellen Umgebung (mit gesprochenem Text) produzierten mehr konzeptuell akkuratere Lösungen zu schwierigen Transferaufgaben als die Teilnehmer der statisch visuellen Umgebung (mit gesprochenem Text). Merrill (2003) leitet daraus ein *dynamisches Prinzip*, engl. *dynamic principle* ab: „When designing a multimedia learning environment consisting of a pictorial representation and narration, present the pictorial representation as a dynamic graphic (i.e., animation) rather than a static graphic“ (Atkinson, 2005, S.403).

ZUSAMMENFASSENDE GESTALTUNGSRICHTLINIEN:

- ▷ Wenn möglich sollten dynamische Bilder bzw. Diagramme (Animationen) mit gesprochenem Text kombiniert werden (Dynamisches Prinzip).
- ▷ Für den in Kombination mit Animationen gesprochenen Text sollte eine menschliche und keine synthetisierte Stimme verwendet werden (Prinzip der Stimme, siehe *Voice Principle* nach Mayer (2005e), S.128).

Kritische Anmerkungen

Atkinson (2005, S.405f.) äußert einige kritische Bemerkungen zur Forschung „multimedialen Lernens“ in der Mathematik. Er weist zunächst darauf hin, dass es - verglichen mit der Anzahl von Forschungsergebnissen für den Bereich der Naturwissenschaften - speziell zum Themengebiet der Mathematik relativ wenig Forschungsergebnisse gibt. Zudem weist Atkinson (2005, S.405) auf die oft fehlende Wissenschaftlichkeit vieler Artikel hin:

While the educational literature is filled with many examples of articles describing „best practices,“ there is an extremely modest amount of sound, empirically based research. (Atkinson, 2005, S.403)

Innerhalb der Forschung zur Wirkung und zum Einsatz medialer, codaler und modaler Komponenten speziell in der Mathematik zeigt Atkinson (2005) einige Probleme auf: Zum einen konzentrierte sich die Forschung, die Kombinationen von geschriebenem und gesprochenem Wort mit statischen Bildern untersucht, ausnahmslos auf geometrische Instruktionen. Auch wenn dieser Teilbereich sicher ein Bereich ist, in dem sich solche Effekte gut untersuchen lassen, ist nach Atkinson (2005) eine

Übertragung auf andere mathematische Bereiche anhand der ermittelten Befunde fraglich.

Zum anderen werden die meisten mathematikspezifischen Studien oft mit Schulkindern und in manchen Fällen mit College-Studenten durchgeführt. Auch hier stellt sich die Frage, inwieweit sich dort erzielte Ergebnisse auf verschiedene Alters- und Leistungsstufen übertragen lassen.

Darüber hinaus haben einige Versuche gezeigt (Moreno und Mayer, 1999), dass Leistungsstärke und ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen eine wichtige Rolle beim Mathematiklernen spielen. Insofern sollten diese Merkmale nach Atkinson (2005, S.404) bei zukünftigen Studien Berücksichtigung finden.

Zudem kann an der Art und Weise, in der die verschiedenen Studien durchgeführt wurden und werden, Kritik geübt werden. Atkinson (2005) äußert sich hierzu wie folgt:

To date, these studies have relied on a single transfer test administered immediately after the treatment [...] It appears worthwhile for researchers to move beyond the standard one-shot approach to assessing transfer by including a delayed transfer test. (Atkinson, 2005, S.404)

Atkinson (2005) fordert an dieser Stelle weiterreichende Forschung, insbesondere im mathematischen Bereich. Dabei nennt er konkret einige Forschungsrichtungen:

- ▷ Überprüfung aller Gestaltungsprinzipien nach Mayer (2005a), siehe S.124, für den mathematischen Bereich
- ▷ Einfluss der Leistungsstärke von Lernenden auf die Effektivität von Animationen
- ▷ Förderungsmöglichkeiten mathematischen Verstehens durch Animationen (in Verbindung mit Narration und auch in Verbindung mit der Verwendung akustischer Signale wie Glocken- oder Pfeiftöne)
- ▷ Steuerungsmöglichkeiten beim Betrachten komplexer statischer und dynamischer Bilder und Diagramme
- ▷ Untersuchungen über zeitverzögerte Transferleistungen
- ▷ Wiederholung und Erweiterung der bisherigen Ergebnisse, insbesondere in anderen als geometrischen mathematischen Kontexten

2.4 Wirkweise von Hypertext-/ Hypermediasystemen

Ähnlich der naiven Annahmen über die Wirkweise von Multimedialität, Multimedialität und Multimodalität im Allgemeinen, gibt es aber auch naive Aussagen und Vermutungen über die Wirkweise des Einsatzes von Hypertext im Speziellen. Da Hypertextsysteme mediale Angebote sind, finden die Aussagen aus Kapitel 2.3 auch

hier Anwendung. Es gibt aber noch weiterreichende Annahmen, die sich speziell aus der Verwendung von Hypertextsystemen ableiten.

Allgemeine kognitive Bedingungen erfolgreichen Lernens scheinen den Einsatz von Hypertext begründen zu können. Hypertextsysteme sind demnach geeignet, ein „fortgeschrittenes Lernen“ („advanced learning“) zu unterstützen (Jacobson und Spiro, 1994; Spiro et al., 1992). Diese Art des Lernens basiert auf vorhandenem Vorwissen, ist vorwiegend selbstgesteuert und durch die individuellen Interessen und Ziele des Lernenden geleitet.

Allgemeine Annahmen und Erwartungen hinsichtlich der Möglichkeiten zur Unterstützung des Wissenserwerbs sind nach Tergan (2002) in den spezifischen Merkmalen von Hypertextsystemen und den dadurch eröffneten Lernmöglichkeiten verankert. Diese spezifischen Merkmale sind die vernetzte Repräsentation multicodaler und multimodaler Informationen in der Hypertextbasis sowie die Möglichkeit eines flexiblen und nutzerorientierten Zugriffs auf diese Informationen.

Dennoch lassen sich solche Annahmen über die Wirkweise hypertextspezifischer Strukturen nur selten wissenschaftlich nachweisen. Es zeigt sich im Gegenteil, dass leistungsfähige Computertechnologien das Lernen offensichtlich nicht leichter machen, sondern nur komplexere Lernaktivitäten ermöglichen, für welche die Mehrzahl der Lernenden (noch) nicht gerüstet ist (Tergan, 2002).

Nach Haack (2002) gibt es derzeit viele Einzeluntersuchungen, die bestimmte Interaktionsformen beim Hypermedialernen untersuchen, ebenso Literaturüberblicke und Sammelbände über die kognitionspsychologischen Aspekte der Nutzung von Orientierungswerkzeugen (Dillon und Gabbard (1998); Gall und Hannafin (1994); Rouet et al. (1996); Rouet (2000), vgl. Kapitel 7.5, S. 390). Haack weist jedoch darauf hin, dass eine psychologische Rahmentheorie, in die sich die oft voneinander isolierten Befunde einordnen lassen, zu vermissen ist. In Anlehnung an Sweller et al. (1998) sollten dabei vor allem die kognitiven Architekturen von Lernenden untersucht und modelliert werden. Lernaufgabe, Struktur und Merkmale des Hypermediasystems und der pädagogische Kontext der Lerninstitution bzw. der Lernsituation sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Einige der oben genannten eher allgemeinen Annahmen über die Wirkweise von Hypertext- und Hypermediasystemen sollen im Folgenden vorgestellt und hinsichtlich ihrer Gültigkeit relativiert werden. Da Hypertext- und Hypermediasysteme nicht losgelöst von der Navigation betrachtet werden können, werden weitere und eher konkrete Erkenntnisse im Kapitel über die Navigation (Kapitel 7) vorgestellt.

Annahme über kognitive Plausibilität

Eine der Annahmen über die Wirkweise von Hypertextsystemen besagt, dass allein die netzwerkartige Informationsrepräsentation für den Wissenserwerb von Vorteil sei: Ein Hypertext entspräche der Organisation des menschlichen Gedächtnisses als semantisches Netzwerk mit assoziativ verbundenen Konzepten. Eine solche netzwerkartige Präsentation von Informationen könne von Lernenden somit eher in die eigene kognitive Struktur integriert werden (Tergan, 2002).

Empirische Befunde haben diese Annahme der kognitiven Plausibilität jedoch nicht stützen können (Jonassen, 1993). Der Aufbau einer Hypertextbasis ist nicht mit den Konzepten semantischer Netzwerke vergleichbar (Tergan, 2002).

Konstruktivismus-Annahme

Im konstruktivistischen Ansatz wird der Wissenserwerb als ein selbstgesteuerter Prozess der Konstruktion von Wissen aufgefasst (vgl. Kapitel 3.2.5). Wie oben beschrieben bieten Hypertextsysteme die Möglichkeit für selbstgesteuertes Lernen durch Browsen in der Hypertextbasis. Daraus resultiert die Annahme, dass Hypertextsysteme somit besonders zur Unterstützung konstruktivistischer Prozesse und zur Förderung des Wissenserwerbs geeignet sind (Duffy und Jonassen, 1992; Kommers, Jonassen und Mayes, 1992).

Empirische Untersuchungen stützen diese Annahme nicht: Die Möglichkeit zur selbstgesteuerten Konstruktion von Wissen, die durch Hypertextsysteme gegeben ist, allein lässt noch keinen Vorteil für konstruktive kognitive Prozesse beim Wissenserwerb erwarten (Tergan, 2002). Hierzu sind weitere didaktische Maßnahmen erforderlich, die beispielsweise im Kontext speziell gestalteter problemorientierter Lernumgebungen realisiert werden können. Nur Lernende mit adäquaten Lernvoraussetzungen können bei unstrukturierten Hypertextbasen durch eine Selbststeuerung des Lernens profitieren (Tergan, 2002).

Annahme über kognitive Flexibilität

Kognitive Flexibilität ist ein Ziel und ein Kennzeichen fortgeschrittenen Lernens. Es besteht die Annahme, dass Hypertextsysteme den Erwerb kognitiver Flexibilität unterstützen. Jacobson und Spiro (1994) konnten nachweisen, dass Hypertextsysteme, die bewusst im Sinne der Förderung kognitiver Flexibilität gestaltet worden sind, zu verbesserten Ergebnissen insbesondere beim Transfer von Wissen führen können. Gleichzeitig zeigten diese Untersuchungen aber auch, dass solche potenziellen Effekte von der kognitiven Kompetenz der Lernenden und den begleitenden Maßnahmen tutorieller Unterstützung abhängig sind.

Desorientierung und kognitive Überlast

Im Zusammenhang mit der Navigation von Hypertextsystemen lassen sich aber auch explizit zwei Lernprobleme feststellen: das Lernproblem der Desorientierung und das Lernproblem der kognitiven Überlast. Diese werden in Kapitel 7 näher betrachtet.

Annahmen aus pädagogisch-didaktischer Perspektive

Es gibt eine Reihe von Lernszenarien, in denen der Einsatz von Hypertexttechnologie aus pädagogisch-didaktischer Perspektive als sinnvoll angesehen wird (Spiro und Jehng, 1990; Kozma, 1991):

- ▷ Der Gegenstandsbereich weist keine klaren Strukturen auf.
- ▷ Für das Verständnis des im Fokus stehenden Sachverhaltes ist eine Darstellung aus unterschiedlichen Fachdisziplinen sinnvoll.
- ▷ Sachverhalte sind in einzelnen Fachdisziplinen fallorientiert organisiert wie beispielsweise in den Bereichen Recht und Medizin.
- ▷ Der betreffende Gegenstand kann nur unter Verwendung multipler Formen der Informationscodierung adäquat repräsentiert werden.

Bei folgenden Zielsetzungen ist der Einsatz von Hypertext-Lernumgebungen ebenfalls als sinnvoll zu bewerten (Spiro und Jehng, 1990; Kozma, 1991):

- ▷ Selbstgesteuertes, offenes und konstruktives Lernen soll ermöglicht werden.
- ▷ Multimodale mentale Repräsentation von Wissen soll unterstützt werden.
- ▷ Kognitive Flexibilität soll gefördert werden.
- ▷ Die Wissensnutzung im Sinne eines Wissenstransfers soll in praktischen Anwendungssituationen wie beispielsweise durch eine fallbasierte Organisation des Hypertextes erleichtert werden.

Kontextbezogenes situiertes Lernen kann durch den Einsatz von Hypertextsystemen unterstützt werden. Auch im Zusammenhang kooperativen Lernens kann das Potenzial solcher Systeme genutzt werden.

2.5 Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen

Die obigen Ausführungen haben gezeigt, dass die Verarbeitung extern dargebotener Informationen intern sehr komplexe Prozesse aktiviert. Vor diesem Hintergrund lassen sich teils allgemein gefasste, teils sehr konkrete Gestaltungsprinzipien für die Verwendung von Texten, Bildern und Diagrammen ableiten. Viele dieser genannten Gestaltungsprinzipien beziehen sich dabei bereits auf mit dem Computer gestaltete Lernumgebungen; die eher etwas allgemein gefassteren lassen sich in der Regel direkt auf solche Lernumgebungen übertragen. Da zudem viele der Prinzipien bereits anhand mathematischer Beispiele erläutert wurden, soll an dieser Stelle noch einmal zum einen die Vielfalt der Prinzipien betont, zum anderen auf die naiven, aber wissenschaftlich nicht nachweisbaren Annahmen hingewiesen werden. Ebenso soll die Bedeutung mentaler Modelle auch und gerade für mathematische Sachverhalte noch einmal hervorgehoben werden.

In Anlehnung an die in diesem Kapitel vorgestellte verbale und piktoriale Lesefähigkeit wird im Folgenden erläutert, was unter *Mathematical Literacy* zu verstehen ist. Damit wird gleichzeitig ein erstes Ziel einer mathematischen Lernumgebung formuliert.

Die Zusammenstellung der Gestaltungsprinzipien hat zudem gezeigt, dass sich eine Vielzahl der Prinzipien auf die Gestaltung von Bildern und Diagrammen bezieht, ein deutlich geringerer Anteil auditive Elemente berücksichtigt und im Wesentlichen keine Aussagen über die Einbindung echt haptischer Komponenten in mit dem Computer medial aufbereiteten Lernumgebungen getätigt werden.

Die in Kapitel 1.6 vorgestellten Möglichkeiten der Einbindung auditiver Elemente konnten jedoch durch die oben genannten Gestaltungsprinzipien näher spezifiziert werden und legen auditive Erläuterungen insbesondere zu Animationen und bearbeiteten Beispielen nahe. Das *Voice Principle* (Kapitel 2.3.10, S.128) empfiehlt dabei die Verwendung natürlicher und nicht maschinengesteuerter Sprache.

In Verbindung mit den Ausführungen zu einem narrativen Ansatz wird die ebenfalls in Kapitel 1.6 aufgeführte Möglichkeit des *Erzählens* aufgegriffen und mögliche Gestaltungsprinzipien werden abgeleitet.

2.5.1 Mathematical Literacy

In Kapitel 2.3.2 wurde die verbale und piktoriale Lesefähigkeit vorgestellt und besprochen. Während die verbale Lesefähigkeit in Schule und Unterricht systematisch gelehrt und gelernt wird, gilt dies für die piktoriale Lesefähigkeit nicht. Barzel, Hußmann und Leuders (2005, S.14) sprechen nun von einer *Mathematical Literacy* im Sinne eines mathematischen Alphabetismus bzw. einer mathematischen Grundbildung. Diese soll jeden und jede „zur gesellschaftlichen Partizipation auf einem grundlegenden Niveau befähigen, z.B. durch Beherrschung so genannter mathematischer Kulturtechniken“. Hierzu zählen beispielsweise Zählen und Rechnen, aber auch räumliches Vorstellungsvermögen für mathematische Probleme im dreidimensionalen Raum.

Beim Erwerb dieser *Mathematical Literacy* kommt der Schule eine wichtige Bedeutung zu (Heinze und Reiss, 2007). Dabei ist zu beachten, dass Schule eben nicht nur als eine „elementarized form of academic mathematics“ anzusehen ist, sondern im Gegensatz zur universitären Mathematik „von außen“ gesteuert wird:

As far as the content is concerned it is influenced by academic mathematics; but the selection of content aspects and their priority is partly determined by the curricular goals to be attained. Moreover, it is not the only goal of mathematics instruction that students develop a theory of school mathematics analogue to that of mathematicians and thereby construct and accept a knowledge which is new for them, but they have to acquire a fundamental mathematical knowledge (“literacy”) which encompasses mathematical process abilities [...]. (Heinze und Reiss, 2007, S.345)

Neben dieser Grundbildung sehen Barzel et al. (2005, S.14) noch zwei weitere Aspekte der mathematischen Bildung jedes Einzelnen: Zum einen kommt der Mathematik ein emanzipatorischer Charakter zu. Wer als kritischer und reflektierender Bürger

Entscheidungen treffen möchte, benötigt demnach hierzu Kenntnisse über das Wirken von Mathematik, Strategien der Überprüfung von Informationen und die Fähigkeit, mit „Experten“ kommunizieren zu können. Zum anderen sollte die Mathematik insofern ein Teil der Allgemeinbildung darstellen, als dass sie eine spezifische Art und Weise der Weltaneignung präsentiert, ein Werkzeug zum Erfassen von Phänomenen der Welt ist, als Technologie hinter den Technologien steht und ein bedeutsamer Teil von menschlicher Kultur und Geschichte ist.

Winter (1996) fordert in diesem Zusammenhang, dass jeder Mensch bezüglich der Mathematik die folgenden drei Grunderfahrungen kennen lernen sollte (siehe hierzu auch Kapitel 3.4.7 Lernzielkatalog nach Winter): Jeder Mensch sollte Mathematik erfahren

- (1) als Instrument des Erfassens von Erscheinungen der Welt um uns,
- (2) als deduktiv geordnete Welt eigener Art
- (3) und als Handlungsfeld für Problemlösefähigkeiten.

2.5.2 Erzählen

Das *Personalization Principle* (Kapitel 2.3.10, S.128) besagt, dass umgangssprachliche Formulierungen das Lernen besser unterstützen als formale Sprache. Mathematik hat jedoch ihre eigene Fachsprache, deren korrekte Vermittlung und Weitergabe in der Regel immer ein Ziel jeder mathematischen Lernumgebung sein sollte (siehe hierzu auch Kapitel 3.4.3 *Sprache und Mathematik*).

Eine Möglichkeit, an dieser Stelle beides miteinander zu verbinden, ist, mathematische Objekte selbst von und über sich auf umgangssprachliche Art und Weise erzählen zu lassen und die zugehörige Fachsprache an geeigneter Stelle einzubinden. Dies kann beispielsweise so umgesetzt werden, dass sich eine zweidimensionale Drehung selbst mit den Worten vorstellt: „Gestatten, ich bin eine zweidimensionale Drehung. Ich lebe in der Ebene. Grundsätzlich brauche ich einen Drehpunkt und einen Drehwinkel, sonst kann ich nicht richtig funktionieren, und dann wird mir immer gleich schlecht“. Während sie erzählt und dabei genau beschreibt, wie sie in der Ebene funktioniert, kann im Sinne des *Modality Principle* (Kapitel 2.3.10, S.126 und S.127) parallel eine Animation oder ein Applet dazu angeboten werden, so dass der gesprochene Text den Lernenden durch das Applet leitet. Auf eine ebensolche lockere umgangssprachliche Art kann eine Verschiebung von einem „Faulenzer“ in ihrer Familie sprechen, „der einfach gar nichts tut“, und damit auf die Identität in der mathematischen Gruppe der Verschiebungen anspielen. In dem Moment, da mathematische Objekte „lebendig“ werden und in direkten Kontakt mit dem Lernenden treten, können sie auch eine motivierende Funktion übernehmen oder eventuell vorhandene Berührungspunkte mit dem Fach Mathematik abmildern.

Durch Formulierungen der Art „in euren Büchern schreibt ihr über uns“ kann dann der Bogen zur mathematischen Fachsprache gespannt werden. Die zuvor umgangssprachlich dargestellten Sachverhalte werden in die korrekte Fachsprache übersetzt, haben dabei aber schon einen Anknüpfungspunkt und können gegebenenfalls auf

einem durch die umgangssprachlichen Formulierungen entstandenen Vorverständnis aufbauen. Dadurch kann der Aufbau eines mentalen Modells des entsprechenden mathematischen Sachverhaltes unterstützt werden.

Dieses Angebot auf den beiden Ebenen der Umgangssprache und Fachsprache unterstützt insofern auch die Forderungen des *Prior Knowledge Principle* (Kapitel 2.3.10, S.133), als dass der Zugang variabel gestaltet werden kann: Der Lernende kann sich bewusst nur für den umgangssprachlichen oder nur für den fachsprachlichen Teil entscheiden und den jeweils anderen Teil überspringen oder eine beliebige Mischform beider Teile wahrnehmen. Werden beide Ebenen genutzt, ergibt sich dadurch auch eine Wiederholung der mathematischen Inhalte aus unterschiedlichen Perspektiven.

Das *Redundancy Principle* (Kapitel 2.3.10, S.126 und S.127) legt aber nahe, Geschichten entweder als Text oder als Audiofile anzubieten und nicht *gleichzeitig* in beiden Formen.

2.6 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Dieses Kapitel setzte sich intensiv mit der Wirkweise von Multimedialität, Multimedialität und Multimodalität auseinander. Kapitel 2.1 wies hierbei darauf hin, dass sich in der Regel mit jeweils neuen Medien letztlich doch immer wieder dieselben Erwartungen und Fragestellungen hinsichtlich ihrer Nutzung für das Lehren und Lernen ergeben, ohne dabei jedoch wirklich zu einem Ergebnis zu kommen. Das Problem liegt dabei darin, dass sich keine pauschalen Aussagen über ein Medium als Ganzes formulieren lassen, sondern dass vielmehr die einzelnen Komponenten wie Medialität, Codierungen und Modalität in einem klar abgegrenzten, wohl definierten Rahmen untersucht werden müssen.

Um jedoch Aussagen über eine solche Wirkweise von Medialität, Codierungen und Modalität treffen und gegebenenfalls auf daraus resultierende Gestaltungsprinzipien für mediale Angebote rückschließen zu können, ist ein Wissen um die *interne Verarbeitung* der durch das mediale Angebot gegebenen *externen Darstellung* von Informationen und Wissensinhalten notwendig. Kapitel 2.2 befasste sich mit diesen *mental*en *Repräsentationen* und stellte in diesem Zusammenhang einige wichtige Gedächtnistheorien vor. Als besonders zentraler Begriff ist der Begriff des *mental*en *Modells* nochmals hervorzuheben.

In Kapitel 2.3 wurde der Gedanke der pauschalen Aussagen über Medien insofern nochmals aufgegriffen, als dass verschiedene sehr verbreitete, letztlich jedoch naive Annahmen über die Wirkweise von Medien vorgestellt und wissenschaftlichen Erkenntnissen gegenübergestellt wurden. Dies betonte erneut die Bedeutung eines klar strukturierten Medien- und Multimediabegriffs.

Anschließend wurden in Kapitel 2.3.2 Unterschiede in der *verbalen und piktoralen Lesefähigkeit* hervorgehoben. Dabei wurde herausgestellt, dass insbesondere die rich-

tige Interpretation komplexer Bilder eine Fähigkeit ist, die erst erlernt werden muss. Die Kapitel 2.3.3 bis 2.3.8 stellten dann die verschiedenen Wirkweisen von *Texten*, *Bildern* und *Diagrammen* im Einzelnen vor. Gerade im Rahmen eines mathematischen Kontextes kommt Bildern und Diagrammen eine wichtige Rolle zu. Die *Zeige*-, *Situierungs*- und *Konstruktionsfunktion* von Bildern und Diagrammen können den Aufbau mentaler Modelle gezielt unterstützen. Speziell im Kontext mathematischer Illustrationen spielen die Wahl der Perspektive, die Wahl des Bildausschnitts sowie eine Unterscheidung von Charakteristischem und Akzidentellem eine wichtige Rolle; Animationen und Simulationen sowie Interaktivität sind zudem bedeutsame Komponenten. Kapitel 2.3.9 stellte Gestaltungsprinzipien speziell für die Einbettung *auditiver Elemente* vor.

Mit den Gestaltungsprinzipien nach Mayer et al. gab Kapitel 2.3.10 aktuelle und sehr konkrete Prinzipien für die Gestaltung allgemeiner medialer Angebote, Kapitel 2.3.11 konzentrierte sich vertiefend auf Gestaltungsprinzipien für mathematische mediale Angebote.

Besonderheiten der Wirkweise von *Hypertext* und *Hypermedia* wurden in Kapitel 2.4 vorgestellt. Kapitel 2.5 betonte im Kontext mit dem Computer medial aufbereiteter mathematischer Lernumgebungen zum einen die Forderungen nach einer *Mathematical Literacy* und ging zum anderen auf die Möglichkeiten der Einbindung von *Erzählungen* in mathematischen Lernumgebungen ein.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Wirkweisen von und daraus abgeleiteten Gestaltungsprinzipien für Medialität, Codierungen und Modalität sind auf der Ebene des Sendens und Empfangens zu betrachten: *Wenn* Texte, Bilder und Diagramme verwendet werden, *dann* sollte dies auf die dargestellte Art und Weise geschehen. Somit geht es darum, *wie* Medialität, Codierung und Modalität wirken. Fragen der Art, *wann welche* Komponenten von Medialität, Codierung und Modalität im Kontext des Lehrens und Lernens jedoch am besten eingesetzt werden sollten, sind damit noch nicht beantwortet. Mögliche Antworten auf diese Fragen finden sich in den Fachrichtungen der Didaktik, Pädagogik und Instruktionspsychologie. Sie sind Inhalt des nächsten Kapitels.

Kapitel 3

Didaktische Konzepte

Kapitel 2 und 3 haben gezeigt, dass weder der Einsatz von Medien im Allgemeinen noch der Einsatz Neuer Medien im Speziellen ein alleiniger Faktor für ein besseres Lernen sind. Das vorhandene Potenzial der klassischen sowie der Neuen Medien muss didaktisch sinnvoll eingebettet werden, um Lernen nachhaltig zu fördern. In diesem Kapitel sollen darum didaktische Konzepte sowie die verschiedenen Lerntherorien, auf denen sie basieren, dargestellt werden.

Kapitel 3.1 skizziert hierzu zunächst die Entwicklung der Auseinandersetzung der Didaktik mit dem Medienbegriff und stellt Konzepte und abgeleitete Arbeitsformen speziell der *Mediendidaktik* vor (Kapitel 3.1.1). Im Anschluss daran wird auf *didaktische Strukturen in medialen Angeboten* im Allgemeinen eingegangen (Kapitel 3.1.2), mit der *Jasper-Woodbury-Serie* ein konkretes Beispiel vorgestellt (Kapitel 3.1.3) und auf *motivationale Aspekte* hingewiesen (Kapitel 3.1.4). Dabei zeichnet sich wiederholt ab, dass intuitive Annahmen zur Wirksamkeit von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität von didaktisch relevanten und empirisch nachweisbaren Aspekten deutlich abzugrenzen sind.

Um auf didaktische Konzepte näher eingehen zu können, setzt sich Kapitel 3.2 mit dem *Lehren und Lernen* auseinander. Dabei wird zunächst ein kurzer Überblick über die hierfür relevante *Instruktionspsychologie* gegeben. Die folgenden Unterkapitel stellen die wesentlichen Grundzüge und maßgeblichen Vertreter der Lerntheorien des *Behaviorismus*, des *Kognitivismus* und des *Konstruktivismus* dar. Mit dem in Kapitel 3.2.7 vorgestellten *problemorientierten Lehren und Lernen* wird eine Synthese von Instruktion und Konstruktion vorgestellt und damit gleichzeitig eine Anschauung über das Lehren und Lernen wiedergegeben, die dem heutigen Stand der Forschung entspricht. Kapitel 3.2.8 geht auf Besonderheiten des *selbstgesteuerten und kooperativen Lernens* ein. Kapitel 3.2.9 stellt dar, welche Bedeutung das *Erzählen* im Lernprozess einnehmen kann, und skizziert *narrative Ansätze*, die das Erzählen bewusst einbinden. Insbesondere wird hier auch ein dramaturgisches Konzept zur Gestaltung des Dialoges zwischen Mensch und Maschine vorgestellt. Kapitel 3.2.10 nennt die wesentlichen Merkmale zur Unterscheidung von *Instruktions-* und *Problemlöseparadigma*, Kapitel 3.2.11 allgemeine *Lehrfunktionen*, die jedoch auch im Kontext mit dem Computer medial aufbereiteter Lernumgebungen und insbesondere

mathematischer Lernumgebungen Zielvorgaben darstellen. Kapitel 3.2.12 setzt sich kritisch mit Aussagen zu *Lernstilen und anderen Lernereigenschaften* auseinander.

Aus den Ausführungen zum Lehren und Lernen resultieren *allgemeine Möglichkeiten didaktischer Konzepte in medialen Angeboten*. Diese werden in Kapitel 3.3 vorgestellt. Sehr konkrete und auf den einzelnen Lerntheorien basierende Modelle, Ansätze und Leitlinien werden in Kapitel 4 vertiefend aufgegriffen.

Kapitel 3.4 verifiziert und ergänzt die Aussagen zum Lehren und Lernen speziell für das *Mathematiklernen*. Dazu werden in Kapitel 3.4.1 zunächst die verschiedenen *Arten des Mathematiklernens*, in Kapitel 3.4.2 die damit zusammenhängenden drei wesentlichen mathematischen Prozesse des *Kommunizierens*, *Problemlösens* und *Begriffbildens* vorgestellt. Kapitel 3.4.3 geht insbesondere auf die Bedeutung der *Sprache* für die Mathematik ein. Kapitel 3.4.4 stellt die insbesondere für die Mathematik grundsätzliche Unterscheidung in *konzeptuelles* und *prozedurales Wissen* mit Betonung der Erkenntnis dar, dass beide Wissensarten nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind. Während Kapitel 3.4.5 dann einen *Überblick über Konzepte und Prinzipien des Mathematikunterrichts* gibt, wird in Kapitel 3.4.6 eine Auswahl aus diesen Konzepten und Prinzipien getroffen, die insbesondere die Verwendung neuer Technologien berücksichtigt. Kapitel 3.4.7 nennt die daraus resultierenden Lernziele für den Mathematikunterricht. Kapitel 3.4.8 betont die Bedeutung eines guten räumlichen Vorstellungsvermögens für das Lernen von Mathematik.

Daraus resultierende Aspekte zur Umsetzung in speziell mit dem Computer medial aufbereitete Lernumgebungen finden sich in Kapitel 3.5. Hier wird insbesondere eine Verbindung zwischen didaktischen Konzepten und Prinzipien für den Mathematikunterricht und damit für das Mathematiklernen und der Verwendung neuer Technologien hergestellt (Kapitel 3.5.1). In Kapitel 3.5.2 wird ein Beispiel für eine verknüpfte Vermittlung von konzeptuellem und prozeduralem Wissen präsentiert. Kapitel 3.5.6 greift insbesondere das *Erzählen* vor einem didaktischen Hintergrund erneut auf. Kapitel 3.6 fasst die zentralen Inhalte abschließend kurz zusammen.

3.1 Medien in der Didaktik - ein Überblick

Lernen ohne Medien ist nicht möglich. Insofern bieten mediale Neuentwicklungen immer das Potenzial, für den Lernprozess eingesetzt und verwendet zu werden. Jede Neuentwicklung stößt dabei auf Befürworter und Gegner, auf große Erwartungen und ebenso große Befürchtungen.

Dörr und Strittmatter (2002) demonstrieren diese unterschiedlichen Reaktionen an einem Beispiel aus der Vergangenheit, dem Film: Einige amerikanische Pädagogen glaubten in den 20er-Jahren, dass der Film mittelfristig die Bücher in den Schulen ersetzen würde (vgl. Saettler, 1968). Heimann (1979) erhoffte sich durch das Medium Film einen deutlichen innovativen Schub für die Unterrichtspraxis und auch für die Unterrichtstheorie. Im Gegensatz dazu fürchteten Medienkritiker, dass das Kino den Menschen nur verwirre und verderbe (vgl. beispielsweise Schweinitz, 1992) oder dass das Fernsehen sogar zum Verschwinden der Kindheit führe (Postman, 1983). Deshalb

sei es notwendig, es aus den Wohnzimmern und vor allem den Schulen zu verbannen (Winn, 1979).

Ähnlich entgegengesetzte Auffassungen gibt es zum Thema „Multimedia“. Papert (1998) beispielsweise glaubt an eine Revolution des Unterrichts und des Lernens durch den Einsatz von Computern und Neuen Medien. Hentig (1993) vertritt den gegenteiligen Standpunkt, dass Computer der Schule pädagogisch überhaupt nicht weiterhelfen können und deshalb in Schulen auch gar nicht eingesetzt werden sollten. Auch zehn Jahre später vertritt Hentig (2003) noch diese Meinung.

Insofern ist es von Interesse, wie sich die Didaktik mit dem Medienbegriff im Allgemeinen und dem Multimediabegriff im Speziellen auseinandersetzt.

3.1.1 Der Multimediabegriff in der Didaktik: Mediendidaktik und Multimedia-Didaktik

Klimsa (2002) gibt einen kurzen Überblick über die Behandlung des Multimediabegriffs innerhalb der Didaktik: In der Allgemeinen Didaktik gibt es keine Bezüge zum Themenkomplex „Multimedia“. Dies beruht im Wesentlichen auf zwei Gründen: Zum einen wird die Didaktik nach Heimann (1979) als „Theorie des Unterrichts“ und der „Unterricht als Ort, wo die ungelösten Fragen der didaktischen Gesamtsituation als konkret zu lösende Lehr- und Lernprobleme auftreten“, aufgefasst. Zum anderen wird die Mediennutzungsfrage als Aufgabe einer eigenständigen Didaktik, der Mediendidaktik, verstanden. Spezielle Didaktiken werden jedoch durch die Allgemeine Didaktik als eine Unterrichtswissenschaft beeinflusst und stehen nach Schulz (1991) „in einem Verhältnis wechselseitiger Abhängigkeit“. Somit überlässt die Allgemeine Didaktik die Auseinandersetzung und Beschäftigung mit dem Thema „Multimedia“ der speziellen Didaktik der Mediendidaktik, während diese wiederum auf Forschungsdesiderate der Allgemeinen Didaktik angewiesen ist.

Mit der Medienfrage an sich setzt sich die Allgemeine Didaktik aber sehr wohl auseinander. Flehsig (1970) beispielsweise formuliert eine bildungstechnologische Didaktik und weist den Medien dabei eine zentrale Rolle zu. Die technologische Wendung in der Didaktik sollte sich nach Flehsig in folgenden fünf Phasen vollziehen: Simulation des Lehrers durch ein Gerät, zweckrationale Konstruktion der Lehrtechniken, Perfektionierung der Lehrtechniken, didaktische Systemforschung und Curriculum- oder Lehrplanforschung.

Zu beachten ist an dieser Stelle der geplante Ersatz des Lehrers durch ein Mediensystem. Dies ist im Kontext didaktischer Konzepte näher zu betrachten.

So hält Klimsa (2002) den Einsatz multimedialer Technik für unverzichtbar, sieht darin aber mehr eine unterstützende als eine ersetzende Funktion:

Aktivitäten der Lernenden und die soziale Bedeutung des Lernprozesses sollen medial nur unterstützt werden. Medien haben keine primäre Rolle beim Lernen zu erfüllen und sollen didaktisch qualifizierte Fachkräfte nicht ersetzen. Medien - ob digital oder analog - sind eine sinnvolle didaktische Hilfe. (Klimsa, 2002, S.16)

Auch für Dörr und Strittmatter (2002) soll die Technologie nicht die Rolle des Lehrenden übernehmen, stattdessen soll sie für Lehrende und Lernende ein Werkzeug sein, dass beim Lehren und Lernen unterstützt. Diesen Werkzeugcharakter unterstreichen Dörr und Strittmatter (2002) in dreierlei Hinsicht - als Werkzeug zum selbstgesteuerten Lernen, als Produktions- und als Kommunikationswerkzeug.

Damit sich die Informations- und Kommunikationstechnologien tatsächlich zu Bildungszwecken durchsetzen können, sind Dörr und Strittmatter (2002) der Meinung, dass das didaktische Design multimedialer Lernumgebungen wesentlich weiterentwickelt werden muss. Vor allem müssten Anwendungen entwickelt werden, die den didaktischen Mehrwert der neuen Medien deutlich machen, wie beispielsweise der Einsatz von Geometrieprogrammen.

Mediendidaktik

Ein sehr früher Ausdruck von Überlegungen, auf welche Art und Weise Lehr- und Lernmaterial für Lernende dargestellt und präsentiert werden soll, ist das bebilderte Lehrbuch *Orbis sensualium pictus* („Die sichtbare Welt“) von John Amos Comenius (1592-1670, siehe Comenius (1979, Originalausgabe 1658)). Es gilt im Übrigen als erstes illustriertes Kinderbuch und zugleich erste Enzyklopädie für Kinder. Auch in der Folgezeit wurde in der Pädagogik immer wieder über geeignete Anschauungsmittel für das Lehren und Arbeitsmittel für das Lernen nachgedacht. Dabei blieben diese Überlegungen zunächst der *Methodik* des Lehrens zugeordnet (Tulodziecki und Herzig, 2004, S.112). Eine eigenständige Mediendidaktik entwickelte sich in der Bundesrepublik Deutschland erst, als Heimann (1962) unter dem Eindruck zunehmender Bedeutung elektronischer Massenmedien die *Medienwahl* als eigenes Strukturmoment neben den Intentionen, der Thematik und der Methodik sowie den anthropogenen und sozial-kulturellen Voraussetzungen auswies (Tulodziecki und Herzig, 2004, S.112).

Die Entwicklung medialer Angebote, insbesondere die Entwicklung von computergestütztem Unterricht (CUU, siehe Kapitel 5.6.1) und computerbasiertem Training (CBT, siehe Kapitel 5.4.5) wurde dann Mitte der 60er-Jahre stark durch die informationstheoretisch-kybernetische Didaktik beeinflusst (Frank und Meder, 1971). Daraus entstand in Deutschland die Bildungs- bzw. Unterrichtstechnologie, die sich Mitte der 60er-Jahre zur Mediendidaktik weiterentwickelt hat (Issing und Knigge-Illner, 1976; Strittmatter und Niegemann, 2000).

In Bezug auf eine Klassifizierung mediendidaktischer Konzepte im Rahmen einer solchen Mediendidaktik, lassen sich verschiedene Gesichtspunkte berücksichtigen wie beispielsweise der Grad der Festlegung des Lehr-/Lernprozesses durch die Medien, die Art der Planung (Planung durch Lehrende, Lernende oder ein externes Entwicklungsteam), Art und Umfang der Aufgaben für die Lehrenden oder auch die Erwartungen an verschiedene Arten des Lernens seitens der Lernenden wie etwa rezeptives, reaktives, dialogisches, selbsttätiges oder selbstständiges Lernen. Tulodziecki und Herzig (2004, S.112ff.) unterscheiden in diesem Rahmen fünf mediendidaktische Konzepte: das *Lehrmittel*-, das *Arbeitsmittel*-, das *Baustein*-, das *System*-

und das *Lernumgebungskonzept*. Dabei entspricht die genannte Reihenfolge in etwa auch der zeitlichen Reihenfolge der Entwicklung dieser Konzepte, wobei die jeweils neueren Konzepte die bis dahin geltenden nicht ablösen, sondern das Spektrum der Möglichkeiten erweitern. Insofern ist heute ein Nebeneinander aller Konzepte festzustellen.

▷ DAS LEHRMITTELKONZEPT

Das *Lehrmittelkonzept* beinhaltet vor allem die Verwendung einzelner visueller Medien wie beispielsweise Landkarten, Bildtafeln, Fotografien, Diapositiven oder Arbeitstransparenten. Diese Medienangebote können dabei vom Lehrenden flexibel eingesetzt und als Hilfsmittel betrachtet werden, die dem Lehrenden für das Lehren zur Verfügung stehen.

Es ist die Aufgabe des Lehrenden, den Lehrprozess zu planen und zu steuern und eine diesbezüglich geeignete Auswahl der Medienangebote zu treffen. Lernende haben somit eine vorwiegend rezeptive und reaktive Rolle (Tulodziecki und Herzig, 2004).

▷ DAS ARBEITSMITTELKONZEPT

Während Lehrmittel als Hilfsmittel für den Lehrenden anzusehen sind, sind *Arbeitsmittel* für die Hand des Lernenden gedacht: Schon John Amos Comenius (1592-1670, siehe Comenius (1979, Originalausgabe 1658)) und Johann Heinrich Pestalozzi (1746-1827, siehe Pestalozzi (1994, Originalausgabe 1801)) haben darauf hingewiesen, dass solche Materialien das Lernen unterstützen können. Dieser Gedanke wurde vor allem zu Beginn des 20. Jahrhunderts in der Reformpädagogik aufgenommen. Vor dem Hintergrund der allgemeinen reformpädagogischen Intention, vom Lernenden auszugehen und seine Spontanität und Aktivität zu entfalten, wurden Materialien für das Lernen als Arbeitsmittel verstanden. Beispiele solcher Arbeitsmittel sind Lernmaterialien aus der Montessori-Pädagogik (Montessori, 1922) wie beispielsweise Karten mit aus Sandpapier gefertigten, aufgeklebten Buchstaben, die das Kind bei gleichzeitiger Aussprache des entsprechenden Buchstabens „erfahren“ kann. Weitere Beispiele für Arbeitsmittel sind auch komplexere schriftliche Aufgabenstellungen, die unter Rückgriff auf unterschiedliche Quellen selbstständig zu bearbeiten sind oder Werkmaterialien.

Die Aufgabe des Lehrenden ist es, über eine Bereitstellung und Gestaltung von Materialien und Aufgabenstellungen das Lernumfeld zu strukturieren, sowie eine aufgabenbezogene Auseinandersetzung mit dem gegebenen Material anzuregen und bei Bedarf helfend zu unterstützen. Im Rahmen dieser Aufgabenstellung agieren die Lernenden weitgehend selbsttätig und können je nach konzeptioneller Umsetzung bis zu einem gewissen Grad auch eine Auswahl aus verschiedenen Aufgaben treffen oder eigene Materialien herstellen (Tulodziecki und Herzig, 2004).

▷ DAS BAUSTEINKONZEPT

Die Entwicklung komplexerer Medien wie Film, Hörfunk, Tonbildreihen und Fernsehen sowie der Versuch ihrer Einbindung in Lehr-/Lernprozesse veränderte den

Stellenwert von Medien in den Lehr-/Lernprozessen. Medienangebote wie Lehrfilme oder Bildungssendungen transportieren nicht nur inhaltliche Aussagen, sondern weisen eine eigene zeitliche und didaktische Struktur auf. Insofern sind sie weder Lehr- noch Arbeitsmittel im oben dargestellten Sinne, sondern vielmehr Bausteine, die für einzelne Phasen in einem Lehr-/Lernprozess eingesetzt werden können. Dieses *Bausteinkonzept* hatte in der Bundesrepublik Deutschland vor allem in den 60er- und 70er-Jahren große Bedeutung: Das Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (FWU) produzierte zahlreiche Unterrichtsfilme, Diareihen und Tonmedien. Das Schulfunkangebot wurde weiter und ein Schulfernsehangebot neu entwickelt.

Beim Bausteinkonzept liegt die Lehrplanung der einzelnen Bausteine bei den Entwicklungsteams der jeweiligen Produktionseinrichtung. Die im Kontext einer sorgfältigen Analyse und Kritik zu treffende Auswahl solcher Bausteine und deren sinnvolle Einordnung hinsichtlich Lernvoraussetzungen, Lehrzielen, Lehrinhalten sowie Lehrmethoden in das Lehr-/Lerngeschehen liegt beim Lehrenden. Von Lernenden wird zunächst ein rezeptives und reaktives Lernen erwartet, das sich jedoch in vorbereitenden, nachbereitenden oder weiterführenden Phasen zu einem dialogischen oder selbsttätigen Lernen ausweiten kann.

▷ DAS SYSTEMKONZEPT

Die Rezeption angloamerikanischer Ansätze zur Programmierten Unterweisung (siehe Kapitel 5.6.1) sowie zur Entwicklung von Lehrmaschinen (siehe Kapitel 1.4.1) und Medienverbundsystemen (siehe Kapitel 1.2.6, S.35) überlagerte im Laufe der 60er-Jahre die Orientierung am Bausteinkonzept. Dabei wurden diese Ansätze im deutschsprachigen Raum zum Teil übertragen, zum Teil kritisiert und weiterentwickelt. Daraus entstand ein Konzept, das als *Systemkonzept* bezeichnet werden kann. Charakteristisch für dieses Konzept ist dabei der Versuch, möglichst alle für den Lehr-/Lernprozess wichtigen Komponenten zu erfassen, um auf dieser Grundlage solche Lehrsysteme zur Verfügung zu stellen, die das Lehren mehr oder weniger vollständig übernehmen sollen. Insbesondere zum Ende der 60er- und zu Beginn der 70er-Jahre waren Überlegungen dieser Art sehr aktuell.

Ähnlich wie beim Bausteinkonzept liegt hier die Lehrplanung bei externen Entwicklungsteams, während die Lehrenden Analyse und Auswahl sowie eine Entscheidung über Art und Ausmaß des Einsatzes entsprechender Lehrsysteme vornehmen. Die Rolle der Lernenden ist rezeptiv und reaktiv, wobei auch ein selbsttätiges Lernen möglich ist. Tulodziecki und Herzig (2004, S.116) merken an dieser Stelle an, dass sich Lehrmaschinen und Medienverbundsysteme mit aufeinander abgestimmten Komponenten im schulischen Alltag jedoch nicht durchsetzen konnten. Gründe hierfür liegen nach Tulodziecki und Herzig (2004, S.116) in unterschiedlichen Problemen wie beispielsweise der externen Bestimmung des Unterrichts, der Schwierigkeit, für heterogene Zielgruppen ein gemeinsames Programm zu planen, der Vernachlässigung sozialer Bedürfnisse, des mangelnden Einbeziehens der letztlich für den Lehr-/Lernprozess verantwortlich bleibenden Lehrenden oder eines eingeschränkten Zweck-Mittel-Denkens.

Verschieden ausgeprägte Arten der Umsetzung solcher Systemkonzepte finden sich eher im außerschulischen Bereich bzw. im Bereich der Erwachsenenbildung. Beispiele hierfür sind das Telekolleg, welches Lernen mit Fernsehen, Arbeitsbüchern und anderen Arbeitsmaterialien wie mittlerweile auch Software durch Kollegtag im Sinne sozialer Lernphasen ergänzt, Newsgroups oder Fernstudienkurse von Universitäten oder Erwachsenenbildungseinrichtungen (siehe hierzu auch Kapitel 5.2.1 Telemedien und Kapitel 5.2.2 Telelernen und Fernunterricht).

▷ DAS LERNUMGEBUNGSKONZEPT

Neben den bisher genannten Konzepten gibt es nach Tulodziecki und Herzig (2004, S.117f.) ein weiteres Konzept, das sich von den bisherigen Konzepten abhebt: das *Lernumgebungskonzept* (zur Definition und Vielschichtigkeit des Begriffs der *Lernumgebung* siehe Kapitel 4). Seine grundlegende Forderung ist, Lernen nicht als Prozess der Vermittlung von Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten von einem Lehrenden oder einem Lehrsystem an Lernende zu betrachten, sondern es vielmehr als aktive Auseinandersetzung von Lernenden mit ihrer Lernumgebung zu gestalten. Dabei können Elemente einer solchen Lernumgebung unter anderem verschiedene mediale Angebote sein, und zwar von der Zeitung bis hin zum Internet. Das Arbeiten mit Datenbeständen, offenen Lehrsystemen oder mit Experimentier- und Simulationsumgebungen sind Beispiele von Umsetzungen solcher Lernumgebungskonzepte. Lernende können dabei selbst themenbezogene Fragestellungen entwickeln oder sie werden mit komplexen Aufgaben konfrontiert. Rückmeldungen der einzelnen Programme können gegebenenfalls bei der Lösung dieser Aufgabe helfen.

In der Auseinandersetzung mit komplexen Aufgaben sollen Lernende Analysen durchführen und eigenständige Lösungen erarbeiten und die hierzu notwendigen Informationen selbstständig durch eine Interaktion mit ihrer Lernumgebung erarbeiten wie beispielsweise durch Zugriff auf Bücher, Ton- und Bildträger verschiedener Art oder durch die Nutzung von CD-ROMs und Internetangeboten. Dabei können Lernende im Rahmen eines solchen Lernumgebungskonzeptes auch eigene mediale Produkte erstellen wie zum Beispiel eine Broschüre, einen Videobeitrag oder Webseiten im Internet.

Beim Lernumgebungskonzept sind an der Planung der Lehr-/Lernprozesse sowohl die Lehrenden als auch die Lernenden beteiligt: Während die Lehrenden die Anregung zur Auseinandersetzung mit komplexen Themen- und Aufgabenstellungen, für eine Vorauswahl geeigneter Medienangebote und deren Bereitstellung sowie für die Lernberatung und -unterstützung zuständig sind, wird von den Lernenden ein aktives und selbstständiges Vorgehen erwartet, das auch eine sinnvolle Erweiterung der Lernmaterialien, die eigene Entwicklung von Fragestellungen sowie die Erstellung eigener medialer Beiträge umfassen kann (Tulodziecki und Herzig, 2004, S.118).

Kron und Sofos (2003) geben einen mehr auf den Einsatz des Computers bezogenen Überblick über aktuelle mediendidaktische Konzepte (siehe Abbildung 3.1). Dabei

Konzepte	Arbeitsformen	Medienbasierte Arbeitskonzepte	Organisations- formen	Medienfunktion	Schülerrolle	Lehrerrolle
lehrer- zentrierte	- Frontalunterricht - Vortrag - Einzelarbeit	- Computerunter- stützter Unterricht - Teleteaching - Telelearning - Teletutoring	- Computerraum - fahrbare Insel - Datenprojektion	- Darstellung und Erläuterung von Inhalten - Aufgabenvermittlung	passiv rezeptiv	- Auswahl der Medien - Planung und Steuerung der Lehrprozesse - Kontrolle - Rückmeldung
modul- orientierte	- Frontalunterricht - Offener Unterricht - Partnerarbeit	- Computerge- steuerter Unterricht - Multimediale Lernumgebungen - Simulationen	- Computerecke im Klassenraum - fahrbare Insel - Datenprojektion	- Realitätsgetreue Darstellung und Erläuterung von Sachverhalten	rezeptiv reaktiv dialogisch	- Auswahl der Medien und Medieninhalte - Einplanung in den Unterricht - Erläuterung des Inhalts
aufgaben- orientierte	- Einzelarbeit - Partnerarbeit - Freiarbeit - Offener Unterricht	- Computerunter- stützter Unterricht - Computerge- steuerter Unterricht - Notebook- Unterricht	- Computerecke im Klassenraum - fahrbare Insel	- Motivation - Polarisierung der Aufmerksamkeit - Übung	aktiv reproduktiv z.T. selbstständig	- Gestaltung des Materials - Anregung - Beobachtung der Schülerleistungen - Hilfestellung
system- orientierte	- Einzelarbeit - Partnerarbeit - Freiarbeit	- Computerge- stützter Unterricht - Computerge- steuerter Unterricht - Simulation	- Computerecke im Klassenraum - Computerinsel im Gruppenraum - fahrbare Insel	- Schaffung von Lernvoraussetzungen - Kompensation von Defiziten - Stärkung von Fähig- keiten und Fertigkeiten (Kompetenzen)	aktiv selbstfördernd	- Auswahl der Programme - Binnendifferenzierung des Unterrichts - Kontrolle der Leistungen - Vorschläge zu Lernaktivitäten
entdeckungs- orientierte	- Exkursion - Gruppenarbeit - Freiarbeit - Projekt	- Computerge- steuerter Unterricht - Multimediale Lernumgebungen - Simulationen	- Computerecke im Klassenraum - Computerraum - Lernwerkstatt	- Erkundung - Entdeckung - Bearbeitung gewonnener Materialien	aktiv handelnd experimentierend	- Schaffung von Anlässen - Delegation von Aufgaben - Unterstützung von Arbeitsschritten
handlungs- orientierte	- Gruppenarbeit - Fallmethode - Workshop - Projekt	- Multimediale Lernumgebungen - Simulationen - Befragung (Web) - Konferenz(Web) - Internet (Web)	- Lernwerkstatt - Schulnetz - Computerinsel im Gruppenraum	- Selbstorganisation - Recherche - Eigene Durchführung - Bewertung - Kommunikation - Öffentlichkeitsarbeit	kreativ innovativ produktiv kritisch	- Gleichberechtigte Teilnahme und Moderation der Schülerarbeiten - Unterstützung und Beratung

Abbildung 3.1: Überblick über mediendidaktische Konzepte nach Kron und Sofos (2003, S.139)

unterscheiden sie sechs Gruppen von Konzepten: *lehrerkonzentrierte*, *modul-*, *aufgaben-*, *system-*, *entdeckungs-* und *handlungsorientierte Konzepte*. Während sich die Einteilung von Tulodziecki und Herzig (2004) mehr an der Art und Weise des Einsatzes von Materialien orientiert, sortieren Kron und Sofos (2003) in ihrer Aufteilung nach den Lernprozess steuernden Elementen.

Diese Tabelle ist an dieser Stelle insofern als Vorgriff zu sehen, als viele der (vor allem in der Spalte *Medienbasierte Arbeitskonzepte*) verwendeten Begriffe erst noch vorgestellt und erklärt werden müssen. Dies geschieht in den nächsten Kapiteln, hauptsächlich jedoch in Kapitel 5.6, S.318ff., in dem die Unterschiede zwischen computerangereichertem, computerunterstütztem, computergestütztem und computergesteuertem Unterricht herausgearbeitet werden. Die Tabelle soll aber an dieser Stelle bereits einen Eindruck über die vielfältigen Möglichkeiten einer didaktischen Einbindung von Neuen Medien und insbesondere Computern in verschiedene Unterrichtsformen vermitteln.

Multimedia-Didaktik

Issing und Haack (1992) sprechen in diesem Zusammenhang sogar von einer Multimedia-Didaktik als einer Teildisziplin der Allgemeinen Didaktik. Inhalte der Multimedia-Didaktik sind demnach die Entwicklung, Gestaltung und Wissenspräsentation multimedialer Informationsvermittlung, ihre Intention das effiziente Erreichen der gesteckten didaktischen Ziele.

Ausgangspunkte der Multimedia-Didaktik sind nach Issing und Haack (1992) die Tradition der Unterrichtstechnologie der 50er- und 60er-Jahre sowie die Ergebnisse der Mediendidaktik der 70er- und 80er-Jahre. Die Medien-Didaktik sei sich dabei bewusst, dass der theoretische Ursprung dieser Vorläufer in der behavioristischen Lerntheorie liege (zum Behaviorismus siehe Kapitel 3.2.3). Die engen Grenzen der alten Lernpsychologie seien jedoch durch die Integration informationstheoretischer und kognitionspsychologischer Erkenntnisse längst überwunden.

Nach Kozma (1991) wird Lernen nicht mehr eingengt als Rezeption von Lernstoff gesehen, sondern als aktiver Wissenserwerb durch die Einbettung in semantische Netzwerke und als Erweiterung kognitiver Strukturen.

Der Supplantationsansatz von Salomon (1979) hat sich als psychologisches Rahmenkonzept für geeignet erwiesen: Die Wissensvermittlung mittels eines medialen Angebots ist dann optimal, wenn sie dem Lernenden genau die externe Lernhilfe bietet, die er individuell benötigt, um die konkret geforderten kognitiven Operationen zu vollziehen. Im Optimalfall gleicht die mediale Präsentation kognitive Defizite des Lernenden bestmöglich aus (vgl. Kapitel 4.3 zur Adaptierbarkeit und Adaptivität). Grundlegende Aufgabenfelder der Multimedia-Didaktik sind nach Issing und Haack (1992) die Planung, Entwicklung und Evaluation von Lehr-/ Lernprogrammen unter Verwendung von Medien. Zwei wichtige Schwerpunkte bilden dabei die mediale Präsentation und die Interaktivität. Auf die mediale Präsentation wurde bereits eingehend in Kapitel 1 eingegangen, die Interaktivität wird in Kapitel 6 vertieft behandelt.

3.1.2 Didaktische Strukturen in medialen Angeboten

Dörr und Strittmatter (2002) stellen fest, dass sich spezifische Medienanwendungen immer erst im Lauf der Zeit entwickeln. So habe beispielsweise Bildungsfernsehen auch erst nur mit dem Abfilmen von Experten-Vorträgen begonnen. Somit würden zunächst immer erst alte (didaktisch nicht unbedingt optimierte) Inhalte und Methoden über neue Medien vermittelt. Dies gelte insbesondere auch für Lernprogramme:

Bei nicht wenigen Programmen hat man den Eindruck, dass Buchinhalte bloß auf eine CD-ROM übertragen wurden oder Lernprogramme im Sinne von Karteikarten eingesetzt werden. Erst allmählich entwickeln sich Softwareformen, die die spezifischen Möglichkeiten des Computers nutzen. Hier ist der didaktische Mehrwert häufig nicht zu erkennen. So auch beim Internet. (Dörr und Strittmatter, 2002, S.36)

Da das Internet nicht das Ergebnis einer Umsetzung pädagogischer Zielsetzungen sei, müssen pädagogisch-didaktische Hilfestellungen angegeben werden, um dieses Medium für didaktische Aufgaben nutzbar zu machen.

Kerres (2002) äußert sich in diesem Zusammenhang über das Internet als Lernplattform wie folgt:

Das Internet eröffnet den Zugang zu einem riesigen Reservoir von Materialien, die für Lernzwecke nutzbar gemacht werden können - freilich zu einer vielfach ungeordneten, geradezu chaotischen Sammlung von Materialien unterschiedlicher Qualität, die nur in den selteneren Fällen eine didaktische Aufbereitung erfahren haben. (Kerres, 2002, S.26)

Generell wird oft beklagt, dass die didaktische Struktur und Qualität hinter der technischen Gestaltung zurückbleibt. Klimsa (2002, S.7) sieht die Anwendungen medialer Angebote zu oft als Folge der technischen Gegebenheiten (vgl. Kapitel 1), denen nur sehr selten überhaupt ein didaktisches Konzept zugrunde liegt. Freibichler (2002, S. 199, S. 219) nennt in diesem Zusammenhang eine „80:20-Regel“, nach der die gestalterische Oberfläche zu 80 Prozent den Erwerb eines Programms bestimme, die inhaltliche und methodische Qualität nur zu 20 Prozent. Er führt weiter den Bereich des *Edutainments* an, der für den allgemeinbildenden Schulbereich dominiere und die oft dürftige pädagogische „Substanz“ zudecke. Döring (2002, S. 262) gibt zu bedenken, dass sich das ökonomische Kalkül wohl gegenüber pädagogischen Idealen durchsetzen würde.

Weidenmann (2002b) formuliert in diesem Zusammenhang in Anlehnung an Clark (1983) die These, dass die Zahl und Art der technischen Medien oder Merkmale wie Codierungen und Modalität für den Lernprozess weniger wichtig sind als die zugrunde liegende instruktionale Strategie. Er spricht von einem heute vorherrschenden „fraglosen Optimismus“:

Während seinerzeit die Suche nach „wirksamen“ Medienattributen dominierte und sich dafür eine intensive unterrichtstechnologische Forschung

entfaltete [...], ist heute ein fragloser Optimismus verbreitet, dass die durch neue Technologien ermöglichte Vielfalt an Medien, Codes und Modalitäten das Lernen optimieren werde. Diese Optimierung läuft Gefahr, dass zugunsten der Oberfläche der medialen Angebote deren Struktur aus dem Blickfeld gerät. (Weidenmann, 2002b, S.59)

Nach Clark (1983, 1994) ist das technische Medium lediglich Transportmittel und irrelevant für den Lernprozess. Ein Medium kann gegebenenfalls ökonomischer oder komfortabler als ein anderes sein. Empirische Unterschiede beim Vergleich medialer Lernangebote sind demnach auf die inhärente Methode, das „treatment“ zurückzuführen. In Konsequenz ist somit zuerst eine Struktur-, Strategie- und Methodenentscheidung zu treffen und erst anschließend zu fragen, mit welchen Medien, Codierungen, Modalitäten etc. diese am besten umzusetzen ist.

Issing (2002) gibt zu bedenken, dass die Entwicklung von medialen Angeboten in der Regel sehr arbeitsaufwändig und kostspielig ist, und äußert sich dementsprechend wie folgt:

Es erscheint daher sinnvoll und nützlich, bei der Entwicklung von Multimedia statt einer rein intuitiven und künstlerischen Arbeitsweise ein planvolles, didaktisches Vorgehen einzuschlagen - insbesondere, wenn es um die Realisierung von Informations- und Lernangeboten geht, von denen die Nutzer einen Informations- bzw. Lerngewinn erwarten. (Issing, 2002, S.151)

Schott, Grzondziel und Hillebrandt (2002) betonen, dass die Reaktion auf die neuen technischen Möglichkeiten nicht nur in einer Übertragung gängiger Lehrfunktionen und -paradigmen auf die Neuen Medien bestehen sollte:

Die Frage ist vielmehr, welche neuen Chancen zu einer effektiveren Gestaltung von Wissenserwerb und Wissensnutzung sich nun bieten, wie man damit die Interaktionsprozesse zwischen Lernenden und Lernumgebung, also den eigentlichen Lernprozess, intensivieren kann. (Schott, Grzondziel und Hillebrandt, 2002, S.195)

Freibichler (2002) äußert sich wie folgt:

E-Learning wird eine milliardenschwere Zukunft versprochen [...]. Im Widerspruch dazu steht, dass sie noch mit wenig Inhalt (Content) gefüllt sind bzw. dass die methodisch-didaktische Qualität der multimedialen Lernangebote oft gering ist. (Freibichler, 2002, S.216)

Andersherum ist das Layout einer medialen Anwendung nicht zu unterschätzen. Kerkau (2002) äußert sich hierzu wie folgt:

[...] ist darauf hinzuweisen, dass der erste Eindruck einer Anwendung einen wesentlichen Einfluss auf deren Akzeptanz hat. Eine Anwendung, sei sie didaktisch noch so wertvoll, wird ohne eine entsprechendes Layout keinen Erfolg haben können. (Kerkau, 2002, S.222)

Ein weiterer Gesichtspunkt, den es in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen gilt, ist die Realisierung von Lernprogrammen vor dem Hintergrund des Zusammenspiels von Autoren und Medienentwicklern und den Möglichkeiten von Autorensystemen. Kerkau (2002) äußert hier folgende Entwicklungstendenz:

Der derzeitige Mangel an guten Lernangeboten (Content) wird in dem Maße abgebaut werden, wie auch nicht-technisch orientierte Autoren die Möglichkeit bekommen, durch effektive Autorenwerkzeuge eigene Entwicklungen zu erzeugen. (Kerkau, 2002, S.224)

Kerkau (2002) prognostiziert weiter:

In Zukunft wird die Bedienung der Werkzeuge immer weniger Vorkenntnisse und Einarbeitungszeit in Anspruch nehmen, so dass die psychologisch-didaktische Gestaltung der Lernangebote die ihr gebührende Aufmerksamkeit erhalten kann. Denn „wie der Zehnkampf in der Leichtathletik ist das Erstellen von Lernsoftware die Königsdisziplin in der Entwicklung von Multimedia-Anwendungen“ (Walther, 2001). (Kerkau, 2002, S.226)

3.1.3 Die Jasper-Woodbury-Serie

Wie wichtig die didaktische Einbettung von Medien ist, wird am Beispiel der Jasper-Woodbury-Serie deutlich. Dabei handelt es sich um eine von der Cognition & Technology Group at Vanderbilt (CTGV) (1997) entwickelte bildplattenbasierte Serie von Problemsituationen für den Mathematikunterricht. Ausgangspunkt ist der empirisch gut belegte Sachverhalt, dass es Schülern oft Schwierigkeiten bereitet, schulisch erworbenes Wissen auf konkrete Probleme anzuwenden. Die Serie soll den Schülern beim Erwerb dieser Transferleistungen helfen.

In Videofilmen werden dazu komplexe mathematische Problemsituationen dargestellt, die der Protagonist Jasper Woodbury zu bewältigen hat. Alle hierzu relevanten Informationen sind neben einigen irrelevanten Mitteilungen im Videofilm enthalten.

Haneghan, Barron, Young, Williams, Vye und Bransford (1992) untersuchten die didaktische Wirksamkeit der Serie in zwei unterschiedlichen didaktischen Einbettungen. Zunächst sahen sämtliche Schüler gemeinsam das Video mit der Problemaufgabe. Dann wurden die Schüler in zwei Gruppen unterteilt. In beiden Gruppen sollte unter der Anleitung eines Lehrers in Kleingruppen über einen Zeitraum von drei Unterrichtsstunden das Problem bearbeitet werden.

In der ersten Gruppe (Versuchsgruppe) ermutigte der Lehrer die Schüler dazu, das Problem in Teilprobleme aufzuteilen und die zur Lösung dieser Teilprobleme notwendigen Informationen im Video zu suchen. Dazu war es für die Schüler erforderlich, die relevanten von den irrelevanten Informationen zu trennen. Die Lösungen der Teilprobleme konnten dann zur Lösung des Gesamtproblems zusammengesetzt werden.

In der anderen Gruppe (Kontrollgruppe) wurde statt einer Anleitung, das konkrete Problem mithilfe des Videos zu lösen, das Problemlösen solcher Aufgaben geübt, für die auch Jasper eine Lösung zu finden hatte. Diese Aufgaben lagen als Textaufgaben vor, die keinen direkten Bezug zur Jasper-Geschichte hatten. Zusätzlich wurde den Schülern das allgemeine Problemlösemodell von Polya (1949) vermittelt, mit der Ermutigung, es bei den eigenen Lösungsversuchen zu verwenden.

Beide Gruppen sahen also den Videofilm und sollten das vorgestellte konkrete Problem lösen, jedoch wurde nur in der ersten Gruppe das Medium Bildplatte zur Lösungssuche verwendet.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind interessant: Bei einem Nachtest stellte sich heraus, dass sich die beiden Gruppen in ihren Leistungen beim Lösen von Textaufgaben (wie sie in der Kontrollgruppe behandelt worden waren) *nicht* unterschieden. Ein Vortest-Nachtest zeigte hingegen, dass die Schüler der Versuchsgruppe nach dem Unterricht signifikant besser relevante von irrelevanten Informationen in der Jasper-Geschichte unterscheiden konnten. Das interessanteste Ergebnis stellte sich aber bei einer Transferaufgabe heraus. Eine neue Problemaufgabe wurde den Schülern wieder per Videofilm gezeigt. Während die Kontrollgruppe durchschnittlich 29 Prozent richtige Problemformulierungen aufwies, lag dieser Prozentsatz bei der Versuchsgruppe bei 58 Prozent.

3.1.4 Motivationale Aspekte

Motivationale Aspekte sind in medialen Angeboten ebenfalls von Bedeutung. In Kapitel 2.3 zur Wirkweise von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität wurden bereits zwei motivationale Aspekte angesprochen: die Unterschätzungsthese (Kapitel 2.3.1) und das Interesse (Kapitel 2.3.1).

Das Interesse, das ein Lernender gegenüber den Lerninhalten entwickelt, spielt insofern eine wichtige Rolle, als dass es die Verarbeitungstiefe positiv beeinflusst (Weidenmann, 2001, S.431). Mediale Lernangebote können entsprechend der Interesse-Theorie (Prenzel, 1988; Krapp, 1998, 2006) und der Theorie der Selbstbestimmung (Deci und Ryan, 1987) dann Interesse aktualisieren, wenn sie

- ▷ *ein hohes Maß an Interaktivität eröffnen,*
 - ▷ *herausfordernde Probleme mit variablem Schwierigkeitsgrad stellen,*
 - ▷ *ermutigendes und leistungsorientiertes individuelles Feedback anbieten,*
 - ▷ *die Fantasie sowie Kreativität der Lernenden wecken.*
- (Lepper und Malone (1987), zitiert nach Weidenmann (2001, S.431))

Dabei soll bereits an dieser Stelle die Betonung der Interaktivität als wesentliche Möglichkeit, Interesse zu fördern, hervorgehoben werden. Im Kontext mathematischer Lernumgebungen lassen sich insbesondere mit dynamischer Geometriesoftware einige, wenn nicht alle der in der Liste genannten Punkte verwirklichen (siehe Kapitel 6.4).

Malone (1981) hat die motivationalen Aspekte der Nutzung von Computerspielen durch Kinder untersucht. Er nennt drei entscheidende Merkmale, die die Attraktivität von Computerspielen ausmachen: Zum einen die Herausforderung im Sinne der Ungewissheit über die Handlungsergebnisse, zum anderen die Fantasieanregung durch Platzierung des Spielgeschehens im emotionalen Kontext und die Erzeugung von Neugier durch einen optimalen Grad an informationeller Komplexität. Langeweile und Überforderung ergeben sich somit als Folgen einer falsch dosierten Komplexität. Dennoch bleibt die Frage, inwieweit sich solche Ergebnisse aus dem Bereich der Unterhaltungsanwendung auf multimediale Lernangebote übertragen lassen.

Allgemein lassen sich *intrinsische* und *extrinsische Motivation* unterscheiden. Ein intrinsisch motivierter Lernender ist „von innen heraus“ an einem bestimmten Lerninhalt und der Auseinandersetzung damit interessiert. Ein extrinsisch motivierter Lernender bezieht seine Motivation im Gegensatz dazu „von außen“: Seine Lernintensität hängt von den in Aussicht gestellten Anreizen ab. Bei der intrinsischen Lernmotivation lassen sich zudem eine *tätigkeitszentrierte* und eine *gegenstandsorientierte* Form der Lernmotivation differenzieren (Wild, Hofer und Pekrun, 2001).

3.2 Lehren und Lernen

Eine Voraussetzung für eine didaktisch sinnvolle Aufbereitung von medialen Lern- und Lehrangeboten ist das Wissen darum, wie Lehren und Lernen „funktioniert“: Mit der Theorie und Praxis des Lehrens und Lernens befasst sich in erster Linie die Wissenschaft der Didaktik. Sie ist um die Beschreibung, Analyse, Erforschung, Präskription, Planung und Evaluation von Unterricht bemüht (siehe Peterßen (2001); Aebli (2006); Kron (2004); Jank und Meyer (2007)). Dabei werden die Erkenntnisse anderer Wissenschaften, vor allem der Erziehungswissenschaft und der Psychologie mit einbezogen. Ziel der Didaktik ist es, über Theoriebildung und Instruktions-Design eine Verbesserung der Unterrichtsrealität zu erreichen (Issing, 2002).

Unterrichtliche Realitäten können aber sehr vielfältig und vielschichtig sein. Schule, Hochschule sowie betriebliche Aus- und Weiterbildung verfolgen beispielsweise recht unterschiedliche Ziele. Dementsprechend wurde je nach didaktischen Zielen, Inhalten und Lehr-/Lernbedingungen eine Reihe didaktischer Theorien und Modelle entwickelt (Götz und Häfner, 2002).

Kron (2004) nennt allein für den deutschsprachigen Raum eine Liste von etwa 30 didaktischen Theorien und Modellen. Issing (2002) hebt daraus folgende Grundmodelle hervor:

- ▷ die Theorie der kategorialen Bildung (W. Klafki)
 - ▷ die Lerntheoretische Didaktik (P. Heimann und W. Schulz)
 - ▷ die Informationstheoretisch-kybernetisch und Systemtheoretische Didaktik (H. Frank, F.v. Cube, E. König und H. Riedel)
 - ▷ die Lernzielorientierte Modellbildung (B. und C. Möller)
-

- ▷ die kritisch-kommunikative Didaktik (D. Baacke, T. Heinze und H. Schulte)
- ▷ der Lernorganisatorische Entwurf mit emanzipatorischer Zielsetzung (M. Bönsch)
- ▷ der Handlungs- und situationsbezogene Ansatz (K.-H. Flechsig und D. Haller)
- ▷ die Strukturtheoretische Erfassung von Lehr- und Lernprozessen (W. Peterßen und D. Lenzen)

Didaktische Modelle sind in der Regel auf einer hohen Abstraktionsebene formuliert. Im Fokus stehen die didaktisch relevanten Hauptkomponenten und deren Beziehungsstruktur.

Diese Ebene der Abstraktion soll exemplarisch am Beispiel der Lerntheoretischen Didaktik verdeutlicht werden: Sie stellt neben den anthropologisch-psychologischen sowie den soziokulturellen Voraussetzungen des Lernens die vier Entscheidungsfelder *Intention*, *Inhalte*, *Methoden* und *Medien* dar (siehe Abbildung 3.2). Hinsichtlich konkreter Durchführungs- und Gestaltungshinweise für die Unterrichtspraxis werden in diesen didaktischen Theorien vorwiegend Beispiele aufgezeigt (Issing, 2002).

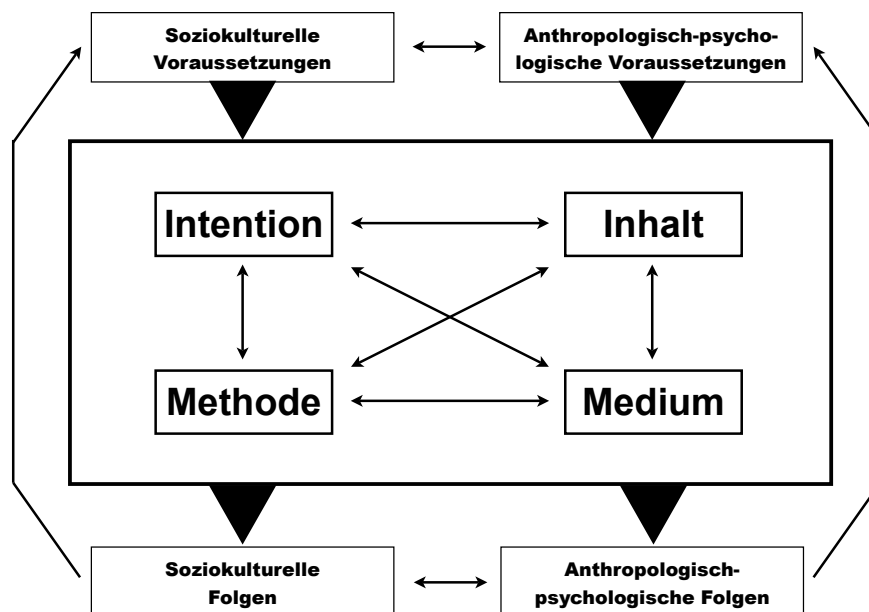


Abbildung 3.2: Strukturmodell des Lehrens und Lernens der Lerntheoretischen Didaktik (Peterßen, 2001, S.54)

Reigeluth (1983, 1987) hat didaktische Theorien und Modelle sowie zugehörige Instruktionsbeispiele aus dem US-amerikanischen Raum zusammengestellt. Im Vergleich zu den Modellen aus dem deutschsprachigen Bereich sind diese stärker an der Praxis des Lehrens und Lernens orientiert:

- ▷ die behavioristische Instruktionstheorie (G.L. Gropper)
- ▷ die algoheuristische Instruktionstheorie (L.N. Landa)
- ▷ das hierarchische Instruktionsmodell (L.J. Briggs und R.M. Gagné)
- ▷ die Instruktionsstrategien nach der strukturalen Lerntheorie (J.M. Scandura)
- ▷ die kognitive Theorie des fragenden Lehrens (A. Collins und A.L. Stevens)
- ▷ die Komponenten-Display-Theorie (M.D. Merrill)
- ▷ die Elaborationstheorie der Instruktion (C.M. Reigeluth und F.S. Stein)
- ▷ die motivationale Unterrichtsplanung (J.M. Keller)

Diese didaktischen Theorien unterscheiden sich hauptsächlich hinsichtlich ihrer jeweils zugrunde liegenden lerntheoretischen Fundierung. Dies beginnt beim passiven, rezeptiven Lernen in kleinsten Schritten mit jeweiligem Feedback, geht über das sinnvoll-rezeptive Lernen, das angeleitet erkundende Lernen bis hin zum problemlösenden und entdeckenden Lernen.

Während im erstgenannten Fall die Vermittlung, die Instruktion, das Lehren und die deduktive Vorgehensweise im Vordergrund stehen, fokussieren die anderen Lernformen eher die induktive Vorgehensweise sowie die Anleitung, Hilfestellung und Unterstützung zum selbstständigen Lernen (Issing, 2002).

Didaktische Theorien lassen sich auch noch nach einem weiteren Unterscheidungsfaktor voneinander abgrenzen, nämlich bezüglich ihrer jeweils grundlegenden Ziele des Lernens: Steht die Vermittlung bzw. der Erwerb von Fakten, Konzepten, Prinzipien oder Anwendungssituationen im Vordergrund, so wird entsprechend der Erwerb bzw. die Vermittlung von deklarativem, prozeduralem oder kontextualem Wissen betont. Andererseits kann die Vermittlung bzw. der Erwerb von kognitiven, psychomotorischen und affektiven bzw. sozial-interaktiven Fertigkeiten im Mittelpunkt des Interesses stehen. Das Lernen kann somit auf das „Was“ und „Wie“ oder auf das „Wann“ und „Warum“ ausgerichtet sein (Issing, 2002).

3.2.1 Instruktionspsychologie

Nach Leutner (2006a) befasst sich die Didaktik als Teildisziplin der Erziehungswissenschaft und im Sinne von Comenius (1992, Originalausgabe 1657) als „Unterrichtslehre“ verstanden vorwiegend mit der Entwicklung von Unterrichtsmodellen. Im deutschen Raum fokussiert sie zudem die überwiegend geisteswissenschaftliche Begründung dieser Modelle unter sporadischer Heranziehung psychologischer Theorien.

Davon abzugrenzen ist nach Leutner (2006a) die Instruktionspsychologie: Sie ist die Psychologie des Lehrens und Lernens bzw. die Psychologie des Lernens unter Einfluss des Lehrens.

Dabei ist unter Lernen der individuelle Prozess des Erwerbs und der Veränderung von Wissen, von Fertigkeiten und von Einstellungen zu verstehen (Leutner, 2002).

Dieser Prozess ist insofern individuell, als er - nicht direkt beobachtbar - intern im Lernenden vonstatten geht. Ziel des Prozesses ist dabei nicht allein der *Erwerb* von

Wissen, Fertigkeiten und Einstellungen, sondern auch deren *Veränderung*. Lernende können nicht als „tabula rasa“ angesehen werden, sondern haben bereits eine individuell geprägte Lerngeschichte, die es zu berücksichtigen gilt.

Ebenso ist zu betonen, dass es nicht nur um den Erwerb und die Veränderung von *Wissen* geht, sondern gleichermaßen um den Erwerb und die Veränderung von *Fertigkeiten und Einstellungen*. Fertigkeiten sind dabei im Sinne einer hochtrainierten Anwendung des erworbenen Wissens zu verstehen (Anderson, 1983), Einstellungen im Sinne von positiv bis negativ bewertbaren Orientierungen gegenüber Objekten oder Sachverhalten (Guttman, 1981).

Außerdem ist zu beachten, dass Lernen als ein Prozess verstanden wird, der automatisch abläuft. Bewusstes Lernen zum Beispiel im Sinne des umgangssprachlichen „Paukens“ oder „Büffeln“ ist in dieser Terminologie als Selbststeuerung oder Selbstregulation von Lernprozessen zu verstehen, bei dem der Lernende sein eigener Lehrer ist (Klauer, 1973). Dabei wird „Lehren“ als eine Tätigkeit verstanden, von der mit Klauer (1973) begründet davon ausgegangen werden kann, dass sie den Lernprozess beeinflusst.

Zusammengefasst ist der Begriff des Lernens also mit zwei Bedeutungen versehen:

In der psychologischen Bedeutung (Psychologie des Lernens unter Einfluß des Lehrens) bezeichnet Lernen den automatisch ablaufenden Prozess der erfahrungsbedingten Veränderung von Verhaltenswahrscheinlichkeiten [...] bzw. des Erwerbs und der Veränderung von Wissen, Fertigkeiten und Einstellungen;

in der eher pädagogischen Bedeutung (Psychologie des Lehrens und Lernens) bezeichnet Lernen die zielgerichtete Tätigkeit des selbständigen Erwerbs von Wissen (Studieren, Erarbeiten, Üben) i.S. von „Sich-Selbst-Lehren“. (Leutner, 2006a, S.261)

Im englischsprachigen Raum steht die Instruktionspsychologie als *Instruktions-theorie* der Didaktik als *Instruktionsmodell* gegenüber (vgl. Gagné und Dick, 1983). Forschungsschwerpunkte der Instruktionspsychologie sind nach Leutner (2006a) *Lehrzieldefinition und Lehrstoffanalyse, Lehrfunktion und Lehr-/Lernschritte, Lernerfolgsdiagnostik und Evaluation, individuelle Unterschiede und adaptiver Unterricht, Medieneinsatz und Instruktionstechnologie sowie selbstregulierendes Lernen und „learning to learn“*. Einige dieser Aspekte wurden bereits und werden weiterhin an entsprechender Stelle eingebunden.

Seinen Ursprung hat der Begriff der Instruktionspsychologie in behavioralen (verhaltenspsychologischen) Ansätzen zur Entwicklung von Selbstlernmaterialien im Rahmen des Programmierten und Computerunterstützten Unterrichts (vgl. Kapitel 5.6). Im Zuge der kognitiven Wende der Psychologie werden seit Ende der 1960er Jahre zur Planung und Begründung instruktionaler Intervention vermehrt Annahmen über kognitive Prozesse herangezogen. Seit etwa 1980 findet eine Thematisierung so genannter konstruktivistischer Instruktionstheorien statt, die dem Lernenden ein hohes Maß an Eigenverantwortlichkeit gewähren (vgl. auch Kapitel 4.2.1 *Instruktionsdesign*).

3.2.2 Lerntheorien

Die Auffassungen darüber, welche Faktoren das Lernen wesentlich beeinflussen, sind in einem historischen und dynamischen Prozess immer wieder Veränderungen unterworfen. Dies führt zu jeweils unterschiedlichen Lerntheorien mit vielen Abstufungen und Facetten.

Eine grobe Unterscheidung wird mit der Abgrenzung des Objektivismus vom Konstruktivismus getroffen. Lernen lässt sich ganz allgemein in irgendeiner Form mit Wissenserwerb in Verbindung bringen. Nach einem objektivistischen Ansatz kann Wissen (im Kontext einer vorrangig von der Psychologie und Informatik beeinflussten Kognitionsforschung) als eine Ansammlung von Fakten (deklaratives Wissen) und Regeln (prozedurales Wissen) verstanden werden, die unabhängig von einzelnen Personen objektiv bestehen. Eine zugrunde liegende Annahme ist dabei die, dass Wissen eine Art Substanz ist, die herausgelöst aus allen Kontexten ist und von Person zu Person weitergegeben werden kann. Vor diesem Hintergrund kann Lehren und Lernen somit sehr vereinfacht als ein Prozess angesehen werden, in dem ein Lehrer versucht, Teile dieses objektiven Wissensbestandes zu vermitteln. Am Ende eines solchen Wissenstransportes besitzt der Schüler dann den gelernten Wissensausschnitt in genau derselben Form wie der Lehrer (Mandl, Gruber und Renkl, 2002).

Lerngegenstände in objektivistischen Modellen sind konkret fassbar, objektiv existent und didaktisch-methodisch strukturierbar. Lerninhalte können dabei auf behavioristische, auf programmiert-instruktivistische oder auf traditionell kognitive Weise in Lernschritte organisiert und zu Lehr-/ Lernmaterialien aufbereitet werden. Diesem objektivistischen Ansatz steht der Konstruktivismus gegenüber: Er geht davon aus, dass jede Realität das Ergebnis individueller und subjektiver mentaler Konstruktion ist. Lernen auf konstruktivistischer Grundlage muss ein eigenständiges Aneignen von Wissen auf der Grundlage individueller Wissenskonstruktionen seitens des Lernenden erlauben, bei denen dessen bisherige Erfahrungen mit neuen Informationen zusammenwirken dürfen.

Je nach objektivistischem oder konstruktivistischem Ansatz können verschiedene Lerntheorien unterschieden werden. Drei fundamentale Lerntheorien sind der Behaviorismus (ca. 1920-1960), der Kognitivismus (ca. 1960-1990) und der Konstruktivismus (seit ca. 1990). Die angegebenen Jahreszahlen sind dabei als grobe zeitliche Einordnung der „Blütezeit“ der jeweiligen Lerntheorie zu verstehen, die ein gleichzeitiges Miteinander nicht ausschließen soll (Steinmetz und Nahrstedt, 2004). Im Rahmen des Konstruktivismus lässt sich vertiefend eine „Situated Cognition“-Bewegung abgrenzen.

3.2.3 Behaviorismus

Der Behaviorismus basiert auf beobachtbaren Verhaltensveränderungen. Dabei wird solches Verhalten untersucht, dass offenkundig feststellbar und quantitativ messbar ist. Interessensschwerpunkte sind neue Verhaltensmuster, die durch ständige Wie-

derholung automatisiert werden. Das Gehirn wird dabei als eine Art „black box“ verstanden, welches keinen willentlich gesteuerten Einfluss auf die Reaktion eines Reizes nehmen kann. Lernen wird als eine Abfolge von Reiz und Reaktion beschrieben.

Wichtige Namen, die mit der Entwicklung und Begründung des Behaviorismus verbunden sind, sind Iwan Petrowitsch Pawlow (1849-1936), John Broadus Watson (1878-1958), Edward Lee Thorndike (1874-1949) und Burrhus Frederic Skinner (1904-1990).

Pawlow entdeckte das *Prinzip der klassischen Konditionierung*: Ein ursprünglich neutraler Reiz kann zu einem konditionierten Reiz werden und somit ein reflexartiges Verhalten auslösen. Verhalten kann auf Reflexen beruhen, wobei zwischen unkonditionierten (natürlichen) und konditionierten (durch Lernen erworbenen) Reflexen unterschieden werden kann (zum Beispiel Lefrançois (2006)). Pawlows Arbeiten gelten als Vorläufer des Behaviorismus.

Watson und Thorndike begründeten die *Lerntheorie des Behaviorismus*. In einem Fachaufsatz führte Watson (1913) den Begriff 1913 erstmals in die Psychologie ein. Statt Psychologie als „Wissenschaft der Phänomene des Bewusstseins“ aufzufassen, müsse sich der Fokus auf das tatsächliche Verhalten richten und nicht auf mentalistische Dinge wie Gedanken und Emotionen (Lefrançois, 2006).

Thorndike legte zunächst einen Schwerpunkt auf die *Übung* (*Law of Exercise, Law of Effect, Law of Readiness*), revidierte aber einige seiner Aussagen und konzentrierte sich dann auf den Schwerpunkt der *Verstärkung* (*Prinzip der Zusammengehörigkeit, Ausweitung der Wirkung* (engl. *spread of effect*)). Seine Theorie wird auch als *Konnektionismus* bezeichnet, da Lernen für Thorndike in der Ausbildung von Verknüpfungen zwischen Reiz und Reaktionen besteht, für Verknüpfungen, die die Form neuronaler Verbindungen (engl. *connections*) annehmen (Lefrançois, 2006). Thorndike (1913) definierte und begründete die Erziehungspsychologie. Er arbeitete die Untersuchung der Entwicklung von Kindern zu einer objektiven Wissenschaft aus.

Skinner (1938) prägte den Begriff der *operanten Konditionierung*. Das dabei zur klassischen Konditionierung hinzu kommende Element ist die der Reaktion folgende Konsequenz. Dabei kann es sich um eine positive oder negative Verstärkung („Belohnung“ oder „Strafe“) handeln. Auf ihn geht der Ansatz der *Programmierten Instruktion* zurück (Skinner (1958, 1971), siehe Kapitel 5.6.1).

Der Behaviorismus konzentriert sich somit auf die Kontrolle und Steuerung von Verhalten ohne Berücksichtigung kognitiver Prozesse. Lernen ist letztlich nichts anderes als ein konditionierter Reflex und wird somit auf Input, Output und Speicherung von Information reduziert.

Der Lernende wird als „tabula rasa“ und „Blackbox“ aufgefasst: Vorkenntnisse und interne Vorgänge sind so gut wie nicht von Bedeutung. Gängiges Instruktionsprinzip ist der Grundgedanke des Auswendiglernens (engl. *rote learning*) unter Einsatz von Übung und Verstärkung (Leutner, 2006a).

3.2.4 Kognitivismus

Der Kognitivismus basiert auf den Denkprozessen, die hinter dem Verhalten stehen. Verhaltensänderungen dienen hier als Hinweis für Rückschlüsse auf das Denken. Zentrale Themen sind dabei Wahrnehmung, Problemlösen durch Einsicht, Entscheidungsprozesse, Informationsverarbeitung und Verständnis.

Der Lehrende hat dabei die Rolle des Wissensvermittlers: Er präsentiert und erklärt die Wissensinhalte, leitet die Lernenden an und überwacht deren Lernfortschritte. Im Gegensatz dazu hat der Lernende eine überwiegend passive Position. Die Lerninhalte werden ihm möglichst optimal dargeboten, so dass insofern eine eigene Strukturierung des Lernstoffes durch den Lernenden nicht erforderlich ist. Vor diesem Hintergrund steht die optimale Darbietung der Lerninhalte, die Gestaltung von Instruktion im Fokus (Abbildung 3.3).

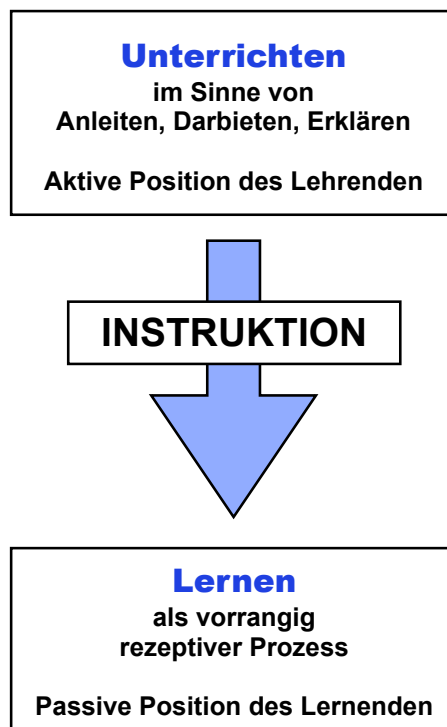


Abbildung 3.3: Die kognitivistische Position zum Lehren und Lernen (in Anlehnung an Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001, S.606))

Wichtige Namen, die im Zusammenhang mit dem Kognitivismus zu nennen sind, sind Jean Piaget (1896-1980), Robert M. Gagné (1916-2002), David Paul Ausubel (*1918), Albert Bandura (*1925) und Jerome S. Bruner (*1915).

Stufenmodell nach Piaget

Piaget (1947) prägte unter anderem die beiden funktionalen Begriffe von *Akkommodation* und *Assimilation*. Beide Begriffe beschreiben Aspekte der kognitiven Anpassung des Individuums an seine Umwelt: Dabei beschreibt die *Akkommodation* die

Anpassung eines bestimmten Schemas an die Umwelt, während die *Assimilation* die Anwendung eines Schemas zur Veränderung der Umwelt beschreibt.

Piaget entwickelte ein Stufenmodell für die kognitive Entwicklung von Kindern. Es umfasst die vier Stufen der *Sensomotorischen Entwicklung* (Geburt bis 2. Lebensjahr), des *Präoperationalen Denkens* (2.–7. Lebensjahr), der *Konkreten Operationen* (7. – 11./12. Lebensjahr) und der *Formalen Operationen* (ab dem 11./12. Lebensjahr) (Zech, 2002; Lefrançois, 2006).

Lernarten nach Gagné

Gagné (1962, 1980) entwickelte das *Modell des Kumulativen Lernens*. Damit löst er sich von der behavioristischen Vorstellung, dass sich menschliches Lernen auf wenige zentrale Lernmechanismen zurückführen lässt. Je nach Art der Lernziele und der zugrunde liegenden Bedingungen gibt es nach Gagné verschiedene Arten des Lernens. Er unterscheidet folgende acht Typen (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.611):

1. **SIGNALLERNEN:**
Der Lernende erwirbt auf ein Signal hin eine klassisch bedingte Reaktion.
2. **REIZ-REAKTIONS-LERNEN:**
Der Lernende erwirbt auf einen genau unterschiedenen Reiz hin eine bestimmte instrumentelle Reaktion.
- 3./4. **KETTENBILDUNG:**
Der Lernende erwirbt eine Kette von zwei oder mehr Reiz-Reaktionsverbindungen, die sich sowohl auf das psychomotorische (**LERNEN MOTORISCHER KETTEN**) als auch auf das verbale Lernen (**LERNEN SPRACHLICHER ASSOZIATIONEN**) beziehen können.
5. **DISKRIMINATIONSLERNEN:**
Der Lernende erwirbt die Fähigkeit, auf verschiedene, aber ähnliche Reize unterschiedlich zu reagieren.
6. **BEGRIFFSLERNEN:**
Der Lernende erwirbt die Fähigkeit, Begriffe zu bilden und anzuwenden.
7. **REGELLERNEN:**
Der Lernende erkennt regelhafte Zusammenhänge zwischen Sachverhalten und Ereignissen.
8. **PROBLEMLÖSEN:**
Der Lernende erwirbt die Fähigkeit, zwei oder mehr Regeln zu kombinieren und kann damit Leistungen höherer Ordnung zeigen.

Gagné verbindet nun diese behavioristischen und kognitiven Aspekte des Lernens in einer Weise, die eine Art hierarchische Stufenfolge ergibt (Abbildung 3.4).

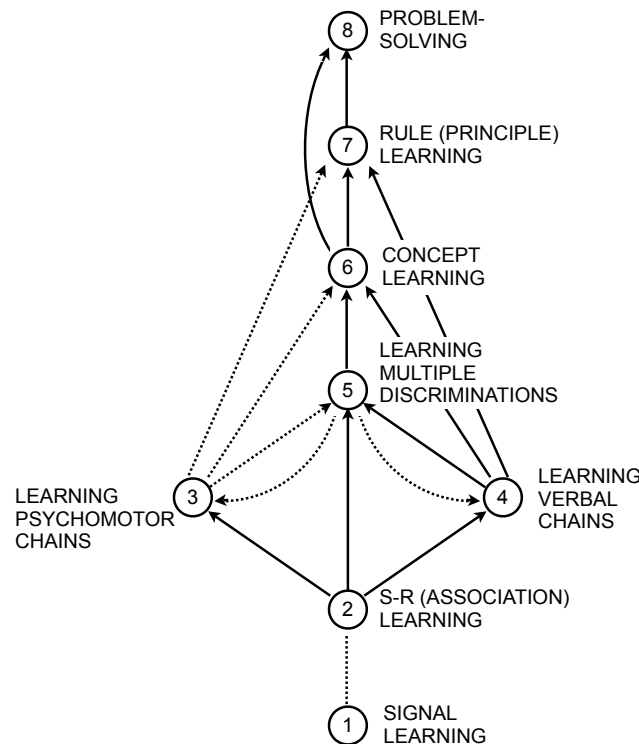


Abbildung 3.4: Hierarchisches Modell der Lernarten nach Gagné (aus Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001, S.611))

Sinnvolles, rezeptives Lernen nach Ausubel

Für Ausubel (1974) ist der wichtigste Faktor im Lerngeschehen die bestehende kognitive Struktur des Lernenden. Lernen ist die Verknüpfung von neuem Stoff mit bereits vorhandenem Wissen. Demnach muss jedes Lehren zum Ziel haben, die bestehende kognitive Struktur zu verbessern.

Sein Ansatz des *Expository Teaching* vertritt eine Konzeption des *sinnvollen, rezeptiven Lernens*. Dabei ist Lernen *sinnvoll*, wenn neue Inhalte nicht nur oberflächlich (beispielsweise wortwörtlich) gespeichert werden, sondern auch mit einer im Kontext bereits bestehenden Wissens tiefer gehenden (sinnhaften) Bedeutung. Lernen ist in dem Sinne *rezeptiv*, als die Lerninhalte vom Lernenden nicht selbst entdeckt werden müssen, sondern bereits in abgeschlossener Form präsentiert werden (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001).

Um Lernmaterial im Rahmen eines sinnvollen, rezeptiven Lernens darzustellen, hat Ausubel verschiedene Prinzipien für dessen Organisation entwickelt (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.612):

▷ ADVANCE ORGANIZER:

Damit der Lernende neue Inhalte in bereits vorhandene Wissensstrukturen und bedeutungshaltige Ideen einordnen kann, bietet der Lehrende als Einstieg „Ankerideen“ höherer Ordnung an. Ein Advance Organizer gibt dabei einen kurzen Überblick über den ihm folgenden Text, ohne jedoch eine Zusammenfassung zu

sein (siehe auch Kapitel 2.3.5, S.104): Er gibt einen Vorblick auf Thematik und Lernziel einer Unterrichtseinheit, stellt die Verbindung zu in der kognitiven Struktur bereits vorhandenen relevanten Kenntnissen und Vorstellungen her, leitet damit eine Verankerung der zu lernenden Bedeutungen in der kognitiven Struktur ein, weist auf wesentliche Unterschiede zwischen Bekanntem und zu Lernendem hin und schärft die für das Behalten wichtige Unterscheidungsfähigkeit (Zech, 2002, S.135).

- ▷ **PROGRESSIVE DIFFERENZIERUNG:**
Die Instruktion ist so aufgebaut, dass der Lehrende zunächst allgemeine Sachverhalte erläutert und sie dann stufenweise mit immer spezifischeren Informationen ausdifferenziert.
- ▷ **INTEGRIERENDES VERBINDEN:**
Der Lehrende verweist auf inhaltliche Beziehungen und macht diese den Lernenden bewusst.
- ▷ **SEQUENZIELLE ORGANISATION:**
Bei der Anordnung von Einzelthemen eines Gegenstandsbereichs nutzt der Lehrende die natürlichen Abhängigkeiten (z. Bsp. chronologische Reihenfolge oder kausale Abfolge).
- ▷ **KONSOLIDIERUNG:**
Der Lehrende sorgt dafür, dass das Gelernte wiederholt durchgearbeitet und auf diese Weise verfestigt wird. Dies ist wichtig, weil die sichere Bewältigung der vorausgehenden Inhalte eine wesentliche Voraussetzung für die Bewältigung nachfolgender Inhalte ist.

Beobachtungslernen nach Bandura

Bandura (1977, 1979, 1986, 2001) entwickelte eine Theorie sozialen Lernens durch Imitation, das so genannte *Beobachtungslernen*. Andere Namen für diese Theorie sind *Modelllernen*, *Imitationlernen*, *Vorbildlernen* und *stellvertretendes Lernen* (Zech, 2002). Oft wird das *Beobachtungslernen* auch als Synonym für *soziales Lernen* verwendet (Lefrançois, 2006).

Bandura folgte zunächst deutlich behavioristischen Ansätzen. Skinners Theorie der operanten Konditionierung war eine unmittelbare Basis seines frühen theoretischen Werkes. Mit der Erkennung der Bedeutung kognitiver Aktivitäten wie Vorstellung und Erwartung erweiterte Bandura seine Theorie. Sie wird nun allgemein als eine *sozialkognitive Theorie* bezeichnet (Lefrançois, 2006).

Die Theorie versucht eine Analyse und Erklärung menschlichen Verhaltens unter besonderer Berücksichtigung sozialer und kognitiver Einflüsse. Ein zentraler Begriff ist dabei der Begriff des *Modells*. Dabei ist jede Repräsentation eines Verhaltensmusters ein Modell. Dennoch ist nicht jedes Modell eine reale Person, deren Verhalten als Anleitung, Schablone oder Inspiration für einen anderen Menschen dienen kann. Der Begriff des *symbolischen Modells* umfasst so verschiedenartige Modelle wie mündliche oder schriftliche Instruktionen, Bilder, Charaktere eines Buches, mentale Bilder,

Charaktere in Cartoons oder Filmen, Fernsehschauspieler oder auch computerbasierte Modelle (Lefrançois, 2006).

Beobachtungslernen basiert auf den Prinzipien der operanten Konditionierung. Zusätzlich berücksichtigt sie aber die enorme Bedeutung der menschlichen Fähigkeit, die Konsequenzen von Verhalten zu antizipieren und zu symbolisieren sowie Ursache- und Wirkungs-Beziehungen zu entdecken. Modelle informieren nicht nur darüber, wie man bestimmte Dinge tut, sondern auch, welche Konsequenzen ein entsprechendes Verhalten wahrscheinlich haben wird. Dementsprechend sind vier getrennte Prozesse am Beobachtungslernen beteiligt: *Aufmerksamkeitsprozesse*, *Behaltensprozesse*, *Motorische Reproduktionsprozesse* und *Motivationsprozesse* (Lefrançois, 2006).

Beobachtungslernen führt zum Erlernen dreier verschiedener Klassen von Reaktionen. Diese werden auch als die drei Effekte von Imitation beschrieben. Diese sind der *Modelleffekt*, der *Hemmungs- und Enthemmungseffekt* sowie der *Auslöseeffekt* (Lefrançois, 2006).

Kategorisierung als Theorie der Repräsentationen und Entdeckendes Lernen nach Bruner

Bruner (1966) unterscheidet drei Formen der Repräsentation: die *enaktive*, die *ikonische* und die *symbolische Repräsentation*. Dabei entspricht die *enaktive* oder auch *motorische Repräsentation* der Repräsentation, die durch den handelnden Umgang mit einem Gegenstand (oder einer Situation) erworben wird. In der kindlichen Entwicklung wird diese Art der Repräsentation dann von der *ikonischen Repräsentation* abgelöst. Sie beinhaltet die Verwendung mentaler Bilder, die für bestimmte Objekte oder Ereignisse stehen. Die fortgeschrittenste Form der Präsentation in der kindlichen Entwicklung ist die *symbolische Repräsentation*: Während ein Bild, ein Ikon, seinem Referenten getreu ähnlich ist, sind Symbole beliebig und deren Bedeutung wie beispielsweise bei Buchstaben und Zahlen konventionell festgelegt (siehe hierzu auch Kapitel 1.2.4 *Codes und Symbolsysteme*). Obwohl sich nun enaktive, ikonische und symbolische Repräsentationen nacheinander entwickeln, ersetzen sie einander nicht: Erwachsene verfügen neben den symbolischen auch weiterhin über enaktive und ikonische Repräsentationen (Lefrançois, 2006).

Die Frage, wie Menschen Repräsentationen ausbilden und verwenden, führt Bruner (1966) zu dem zentralen Begriff der *Kategorie*: Nach Bruner (1966) basieren Wahrnehmung und Entscheidungsprozesse auf einer Kategorisierung. Objekte und Ereignisse werden von jedem Menschen bestimmten Klassen (Kategorien) zugeordnet. Diese Zuordnung geschieht anhand spezifischer Attribute (Lefrançois, 2006).

Bruner (1961) (siehe auch Bruner (1981); Neber (1981)) entwickelte in den 60er-Jahren auch das Konzept des *Entdeckenden Lernens*, welches als ein historisches Vorbild des Konstruktivismus gewertet werden kann (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.622). Entdeckendes Lernen bedeutet aber nicht, dass der Lernende in jeder Lernsituation etwas Neues entdecken muss. Es geht darum, dass sich Lernende aktiv mit Problemen auseinandersetzen, selbstständig Erfahrungen sammeln, bei passenden Gelegenheiten Experimente durchführen und so neue Einsich-

ten in komplexe Sachverhalte und Prinzipien erhalten. Der so definierte Vorgang des Entdeckens ist für Bruner eine notwendige Bedingung, über oberflächliches Wissen hinaus Problemlösestrategien und heuristische Methoden zu erwerben. Hierzu sollten die Lernenden möglichst oft mit realen Situationen konfrontiert werden, in denen ihnen die Möglichkeit gegeben ist, neues Wissen selbstständig und explorativ zu erwerben (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.622).

Hinsichtlich des Lernens legt der Kognitivismus das Hauptaugenmerk auf den Lernprozess, die Informationsverarbeitung, die Instruktion. Der Lernende wird nicht mehr als „Blackbox“, sondern als „glass box“ aufgefasst. Gängiges Instruktionsprinzip ist der Grundgedanke des *verstehenden Lernens* (engl. *meaningful learning*). Im Fokus steht somit der Wissenstransfer im Sinne einer Übertragung von Wissensstrukturen vom Lehrenden zum Lernenden (Leutner, 2006a).

3.2.5 Konstruktivismus

Im Konstruktivismus steht die Konstruktion von Wissen im Vordergrund. Der Lernende als erkennendes Subjekt bildet die Wirklichkeit nicht passiv ab, sondern kann sie nur aktiv im Erkenntnisprozess für sich konstruieren (Issing, 2002). Gegenstände der Umwelt bewirken beim Betrachter nicht durch ihr bloßes Vorhandensein Abbilder ihrer selbst; sie müssen „wahrgenommen“, „erfahren“, „erlebt“ und in die bereits vorhandene Wissensstruktur integriert werden (vgl. von Glasersfeld, 1987).

Aus konstruktivistischer Sicht kann Wissen somit nicht durch Instruktion „vermittelt“ werden, sondern muss vom Lernenden aktiv in seine bereits vorhandenen mentalen Modelle und Wirklichkeitskonstrukte integriert werden.

Somit stellt das Lernen einen aktiven, konstruktiven, kognitiven und sozialen Prozess dar. Die Lernenden verwenden ihre verfügbaren kognitiven, affektiven, physischen und sozialen Ressourcen, um neues Wissen zu konstruieren, indem sie mit den Informationen in ihrer Umgebung sowie dem bereits gespeicherten Wissen interagieren (vgl. Shuell, 1988). Unterricht kann diesen Prozess unterstützen, anregen und begleiten, aber nicht initiieren (Abbildung 3.5).

Im konstruktivistischen Modell ist Wissen nicht mehr einfach „transportierbar“, sondern muss vielmehr vom Lernenden individuell konstruiert werden. Lernen ist somit ein aktiver Konstruktionsprozess des Lernenden. Auch wenn der Konstruktivismus streng genommen keine einheitliche Position ist, so ist dies doch einer der Grundgedanken, auf dem alle Konstruktivismusformen beruhen. Innerhalb des Konstruktivismus kann beispielsweise zwischen dem radikalen Konstruktivismus und einer gemäßigten Variante unterschieden werden (Mandl, Gruber und Renkl, 2002).

Zentrale Annahmen des Konstruktivismus sind die folgenden: Wissen wird aus der Erfahrung heraus konstruiert. Lernen ist eine individuelle Interpretation des Lernenden von der Welt. Lernen ist ein aktiver Prozess, bei dem Wissen auf der Basis von Erfahrungen entwickelt wird. Ein Wissenszuwachs wird durch Übertragung von Wissen, die Verwendung multipler Perspektiven sowie gemeinschaftliches Lernen erreicht. Lernen sollte dabei unbedingt in realistischen Situationen stattfinden (Steinmetz und Nahrstedt, 2004).

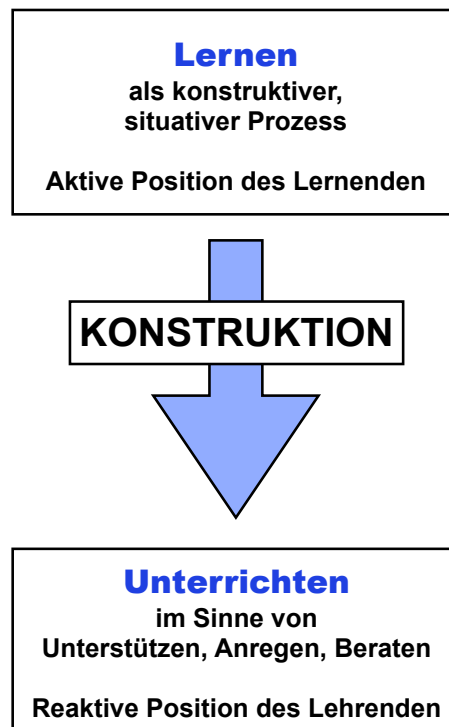


Abbildung 3.5: Die konstruktivistische Position zum Lehren und Lernen (in Anlehnung an Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001, S.614))

Aus konstruktivistischer Sicht ist das Lehr-/Lernziel die Befähigung zu weitgehend selbstständigem Lernen und Problemlösen. Lernen wird nicht nur als Aufbau oder Veränderung kognitiver Strukturen und Prozesse verstanden, sondern insbesondere auch als Aufbau heuristischer, d.h. allgemein problemlösungsbezogener Kompetenzen. Der Lernende wird als Konstrukteur der Inhalte der „glass box“ gesehen (Leutner, 2006a).

Situated Cognition - Bewegung

Im Rahmen des Konstruktivismus gibt es eine Bewegung, die unter den Bezeichnungen *situierte Kognition*, engl. *Situated Cognition*, oder *situiertes Lernen* firmiert. Wenn Wissen individuell vom Lernenden konstruiert wird, ist gerade die Situation, in der der Lernprozess stattfindet, von großer Bedeutung. Nach Salomon (1996) kann das Gelernte unter keinen Umständen vom Akt des Lernens und der von der Situation, in der gelernt wird, getrennt werden.

Somit setzt sich die Grundrichtung der situierten Kognition sowohl aus kognitiven Theorien als auch aus Verhaltenstheorien zusammen. Die kognitiven Theorien fokussieren dabei die personeninternen Prozesse, während die Verhaltenstheorien ihr Hauptaugenmerk auf situationale Verhaltensdeterminanten richten (Mandl, Gruber und Renkl, 2002).

Lernen ist somit immer im Kontext einer Situation aufzufassen. Dabei besteht stets

eine Wechselbeziehung von personeninternen Faktoren mit personenexternen, situativen Komponenten. Auch wenn der Begriff der „Situation“ nicht einheitlich definiert ist, besteht doch Einigkeit darüber, dass der Situationsbegriff nicht nur materielle Aspekte, sondern auch die soziale Umwelt des Lernenden und somit auch andere Personen umfasst. Dies bedeutet, dass beim situierten Lernen die Interaktionen zwischen Menschen sowie die historischen und kulturellen Kontexte, in denen sie denken und handeln, eine wichtige Rolle spielen (Law, 1994b).

Auch wenn weder der Konstruktivismus noch die daraus resultierende Bewegung des situierten Lernens von einheitlicher Natur sind, so ist nach Mandl, Gruber und Renkl (2002) jedoch allen gemeinsam, dass sie in Bezug auf die Gestaltung von Lernumgebungen fordern, dabei die grundsätzliche Situietheit des Lernens zu berücksichtigen. In Konsequenz darf Lernen nicht mehr generell als Transport abstrakten Wissens verstanden werden, weil diese Art der Vermittlung eine Lernsituation darstellt, die nur in Ausnahmefällen mit späteren Möglichkeiten der Wissensnutzung korrespondiert.

Im Mittelpunkt der Kritik steht hierbei die für Schulen und Universitäten typische Lehrform des Frontalunterrichts. Hier arbeiten Schüler isoliert, werden isoliert beurteilt, der Gebrauch von Hilfsmitteln ist nicht erlaubt, es wird hauptsächlich nur mit Symbolen agiert und der Anwendungsaspekt des Gelernten bleibt weitgehend unberücksichtigt (Resnick, 1987). Alle diese Merkmale sind für traditionellen Unterricht, nicht jedoch für das Berufs- und Alltagsleben typisch.

Demgegenüber steht daher die zentrale Forderung der Vertreter situierten Lernens, die Lern- und Anwendungsbedingungen möglichst ähnlich zu gestalten, da Wissen als stark kontextgebunden angesehen wird. Mit einem Wissenstransfer ist nur dann zu rechnen, wenn der instruktionale und der Anwendungsaspekt möglichst gleichartig sind (Mandl et al., 2002). Lernen soll deshalb folgendermaßen gestaltet sein:

- ▷ Lernen und Arbeiten in Gruppen
- ▷ Nutzung von Hilfsmitteln
- ▷ Berücksichtigung der Anwendungsbedingungen von Wissen

Bei derartig authentischer Unterrichtsgestaltung können Wissensstände resultieren, die wirklich dem Ziel jeden Unterrichts entsprechen: Das erworbene Wissen findet auch außerhalb der Lernsituation Einsatz und Verwendung - es findet ein erfolgreicher Transfer statt.

Mandl et al. (2002) und Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) geben einen Überblick über wichtige Modelle situierter Kognition und deren Vertreter:

- ▷ DER COMMUNITY-OF-PRACTICE-ANSATZ
VON JEAN LAVE (KOGNITIVE ANTHROPOLOGIE)

Für Lave (1991) steht der soziale Kontext des Lernenden im Mittelpunkt. Nur wenn dieser einbezogen wird, kann Lernen befriedigend erklärt werden. Die Berücksichtigung dialektischer Beziehungen von Menschen untereinander in bestimmten

Kontexten beschreibt nach Lave Lernen weitaus plausibler als die Analyse rein kognitiver Strukturen. Alles menschliche Handeln und Lernen ist eingebunden in das alltägliche Tun. Lernprozesse sind somit eingebettet in die Teilnahme an einer „community of practice“. Damit ist Lernen nicht zentral ein kognitiver psychischer, sondern vielmehr ein dialektischer Prozess, der in alltäglichen Situationen stattfindet.

▷ DAS KONZEPT DER GUIDED PARTICIPATION

VON BARBARA ROGOFF (KOGNITIVE ANTHROPOLOGIE)

Auch für Rogoff (1990) ist die kognitive Entwicklung untrennbar mit dem sozialen Milieu verknüpft, in dem sie stattfindet. Die scheinbar personenintern ablaufenden kognitiven Prozesse sind letztlich der sozialen Umgebung des Menschen gleich einer Art kulturellem Curriculum unterworfen. Nach Rogoff erfolgt Lernen am erfolgreichsten durch geleitete Teilnahme an sozialen Prozessen. Die Unterstützung kompetenterer Sozialpartner ermöglicht dem Lernenden den Erwerb kulturell und sozial angemessener Sichtweisen auf den Lerngegenstand und lässt ihn so zum Experten werden.

▷ DAS KONZEPT DER SITUIERTHEIT

VON JAMES GREENO (ÖKOLOGISCHE PSYCHOLOGIE)

Greeno (1989) konzentriert sich insbesondere auf die Herausarbeitung der Beeinflussung kognitiver Prozesse durch Situationscharakteristika. Dabei beschreibt er Handlungseinschränkungen („constraints“) und Handlungsangebote („affordances“), die sich für kognitive Prozesse aus der Umgebung ergeben. Der Begriff eines situativen Handlungsangebotes bezieht sich dabei auf die Unterstützung besonderer Aktivitäten durch die in der Situation gegebenen relevanten Eigenschaften von Dingen und Materie.

Ein weiterer Schwerpunkt Greenos ist das Phänomen des Wissenstransfers. Nach Greeno erfordert die erfolgreiche Übertragung von Gelerntem auf neue Situationen eine von zwei Voraussetzungen: Entweder beinhaltet die erforderliche Aktivität eine Interaktion mit unveränderten situativen Handlungsangeboten oder die situativen Handlungsangebote ändern sich und die Aktivität kann entsprechend transformiert werden.

▷ DER SITUATED-COGNITION-ANSATZ

VON LAUREN RESNICK (SOZIOKOGNITIVER ANSATZ)

Für Resnick (1987) ist Kognition eine sozial geteilte Aktivität. Ihr besonderer Schwerpunkt ist ein Vergleich des Lernens in der Schule mit dem Lernen außerhalb der Schule. Ihre Analyse zeigt, dass die Übertragung schulischen Lernens auf außerschulische Bereiche nur selten gelingt. Analoge Befunde lassen sich auch für das Lernen im universitären Bereich nachweisen (Gruber, Mandl und Renkl, 2000).

Sollen die sowohl eher kognitionspsychologisch (Greeno, Resnick) als auch die eher anthropologisch (Lave, Rogoff) orientierten Ansätze situierten Lernens zusammengefasst werden, so lassen sich folgende Merkmale festhalten (Mandl et al., 2002):

- ▷ **SITUIERTHEIT:**
Wissen ist immer situiert; daher ist auch Lernen immer situiert.
- ▷ **KONSTRUKTION:**
Wissen wird durch das wahrnehmende Subjekt konstruiert.
- ▷ **GETEILTES WISSEN:**
Besonders wesentlich ist das in einer Gesellschaft geteilte Wissen; Lernen ist daher zunehmende Teilhabe an einer Expertengemeinde.
- ▷ **AUTHENZITÄT:**
Situierendes Wissen wird unter dem Anwendungsaspekt und damit unter dem Gesichtspunkt seiner Authentizität analysiert.

Gegen diese Annahmen regte sich aus den Reihen der kognitivistischen Psychologie Kritik. Dennoch wurde von kognitivistischen wie situiert orientierten Forschern bald festgestellt, dass über die grundlegenden empirischen Befunde weitgehender Konsens herrscht (Mandl et al., 2002). Die verschiedenen theoretischen Bezugsrahmen, innerhalb derer diese Ergebnisse in pädagogischer Hinsicht diskutiert werden, führen jedoch zu unterschiedlichen instruktionalen Konsequenzen. Nach Mandl, Gruber und Renkl (2002) liegen inzwischen einige breit angelegte instruktionale Ansätze vor, die beides berücksichtigen: sowohl die Prinzipien des situierten Lernens als auch die Befunde der Kognitionswissenschaft. Diese Ansätze werden als konkrete Umsetzungen im Kapitel 5.5.3 zum Einfluss des Konstruktivismus auf mediale Lernumgebungen näher beschrieben.

3.2.6 Tabellarischer Vergleich

Die Tabelle in Abbildung 3.6 zeigt eine vergleichende Zusammenfassung zentraler Merkmale und Kernaussagen von Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus (Baumgartner und Payr, 1999).

In Kapitel 5.5 (S.314, S.315, S.316) zum Einfluss von Lerntheorien auf Lernsoftware finden sich weitere vergleichende Tabellen, die zudem eine Zuordnung zwischen verschiedener Lernsoftware und zugrunde liegender Lerntheorie darzustellen suchen.

3.2.7 Problemorientiertes Lehren und Lernen

Nach Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) birgt sowohl eine rein kognitivistisch als auch eine rein konstruktivistisch gefärbte Auffassung vom Lehren und Lernen eine Reihe von Problemen: Beiden fehlen nach Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) hinreichend differenzierte empirische Befunde, die die Wirksamkeit der jeweils resultierenden Lehr-/Lernmodelle wissenschaftlich belegen.

Das kognitivistische Vorgehen, Ganzheiten in elementare Teile zu zerlegen und dann getrennt voneinander zu vermitteln, ist insofern problematisch, als es ignoriert, dass das Verstehen neuer Lerninhalte von der gesamten Wissensstruktur und nicht von isolierten Teilen dieser Struktur abhängig ist.

Kategorie	Behaviorismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Hirn ist ein	passiver Behälter	informationsverarbeitendes „Gerät“	informationell geschlossenes System
Wissen wird	abgelagert	verarbeitet	konstruiert
Wissen ist	eine korrekte Input-Output-Relation	ein adäquater interner Verarbeitungsprozess	mit einer Situation operieren zu können
Lernziele	richtige Antworten	richtige Methoden zur Antwortfindung	komplexe Situationen bewältigen
Paradigma	Stimulus - Response	Problemlösung	Konstruktion
Strategie	lehren	beobachten und helfen	kooperieren
Lehrer ist	Autorität	Tutor	Coach, (Spieler)Trainer
Feedback	extern vorgegeben	extern modelliert	intern modelliert

Abbildung 3.6: Lernparadigmen nach Baumgartner und Payr (1999, S.110)

Kognitivistisch gefärbte Instruktionstheorien bieten zudem spezifische Verfahrensvorschriften für die Selektion einzelner Lehr-/Lernmethoden an. Demnach müsste sich aber die Wirkung einzelner Methoden genau vorhersagen lassen, was jedoch nicht der Fall ist (Duffy und Jonassen, 1991).

Besonders schwerwiegend sind nach Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) jedoch die praktischen Probleme einer rein kognitivistischen Lerntheorie: Die ungleiche Rollenverteilung zwischen Lernenden und Lehrenden, die den Lernenden eine weitgehend rezeptive Rolle zuordnet, lässt eine Reduktion der Eigeninitiative und Selbstverantwortung seitens der Lernenden erwarten. Als weitere Folgen sind Demotivierung oder das Gefühl, nur noch extrinsisch motiviert zu sein, zu nennen. Mangelndes Interesse und eine nicht ausreichend vorhandene intrinsische Motivation führen ihrerseits dann zu Unlust, Disziplinproblemen und Leistungsverweigerungen (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001).

Kognitivistische Lernumgebungen ordnen Wissen nach sachlogischen Kriterien und bereiten es systematisch auf. Dies hat mit den komplexen und wenig strukturierten Anforderungen und Erfahrungen in Alltagssituationen meist nur wenig gemeinsam (Resnick, 1987). Somit erzeugt eine kognitivistisch geprägte Instruktion oft „träges Wissen“, das in Alltagssituationen nicht oder nur unzulänglich eingesetzt werden kann (Renkl, 2006).

Eine rein konstruktivistisch gefärbte Auffassung von Lehren und Lernen hat sich mit anderen Problemen auseinanderzusetzen: Wenn alles Wissen konstruiert wird, dann gibt es in Konsequenz keine objektive Realität. Folglich ist es dann auch nicht möglich, einen „objektivierbaren“ Kanon von Lerninhalten zu bestimmen und zielorientierte Lernprozesse von außen anzuregen (Reinmann-Rothmeier und Mandl,

2001). Gemäßigte Konstruktivisten gehen zwar davon aus, dass dies trotz individueller Konstruktionsleistungen der Lernenden möglich ist, dennoch eröffnet auch diese Einstellung dem Lehrenden für die Gestaltung von Lernumgebungen so viele Freiheitsgrade, dass „die Gefahr (theoretischer) Beliebigkeit und (praktischer) Ineffektivität nicht von der Hand zu weisen ist“ (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001). Darüber hinaus sind die kozeptionelle Vagheit zentraler Begriffe wie Eigenaktivität der Lernenden und Authentizität der Lernsituation zu berücksichtigen (Renkl, Gruber und Mandl, 1995).

In situieren Lernumgebungen fehlt es oft an Anleitung und Unterstützung. Dies kann in der Praxis unerwünschte Folgen haben, wie beispielsweise Desorientierung und Überforderung (vgl. auch Kapitel 7.4 Lernprobleme). Dies trifft vor allem für Lernende mit ungünstigen Lernvoraussetzungen zu (vgl. Kapitel 2.3, 2.4 und 4.3). Wenn aber Leistungsstarke deutlich mehr von situieren Lernumgebungen profitieren als Leistungsschwache, ist die Gefahr eines *Schereneffektes* gegeben: Die Leistungstarken werden besser, die Leistungsschwachen können sich nicht verbessern.

Ein weiteres praktisches Problem ergibt sich in der (zeit-)aufwändigen Vorbereitung und Erarbeitung situierter Lernumgebungen, sowohl für die Lehrenden als auch für die Lernenden. Ein schlechtes Kosten-Nutzen-Verhältnis kann für die Implementierung situierter Lernumgebungen in der Tat ein gravierendes Hindernis sein (Anderson, Reder und Simon, 1996).

Wie oben beschrieben sehen sich sowohl der Kognitivismus als auch der Konstruktivismus in ihren Reinformen mit einigen Problemen konfrontiert. Beide stehen sich akzentuierend gegenüber. Dennoch sind der Vorgang des Instruierens seitens der Lehrenden und der Vorgang des Konstruierens seitens der Lernenden keine Prozesse, die sich gegenseitig ausschließen: Lehr- und Lernprozesse finden zeitgleich statt und sind daher sehr eng miteinander verknüpft (Shuell, 1993).

Vor diesem Hintergrund betonen Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) die Wichtigkeit *beider* Perspektiven für die Praxis:

Konstruktion und Instruktion lassen sich nicht nach einem Alles-oder-nichts-Prinzip realisieren. Lernen erfordert zum einen immer Motivation, Interesse und Eigenaktivität seitens des Lernenden und der Unterricht hat die Aufgabe diese Konstruktionen anzuregen und zu ermöglichen. Lernen erfordert zum anderen aber auch Orientierung, Anleitung und Hilfe. Ziel muss es folglich sein, eine Balance zwischen expliziter Instruktion durch den Lehrenden und konstruktiver Aktivität des Lernenden zu finden (Linn, 1990). (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.627)

Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) sehen diese Balance in einer Verbindung beider Paradigmen zu einer pragmatischen Position: der Position des *Problemorientierten Lehrens und Lernens* (siehe Abbildung 3.7).

Lernen in Schule und Ausbildung darf sich nicht auf die Vermittlung reproduzierbaren Faktenwissens beschränken. Es gilt, die Kluft zwischen Wissen und Handeln zu verringern. Dazu müssen verstärkt fachübergreifende Fähigkeiten und Handlungs-

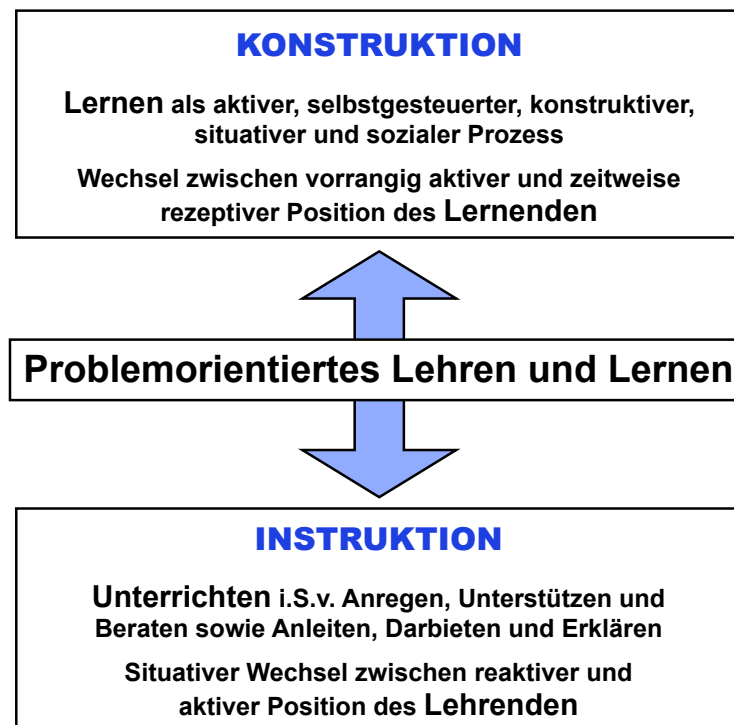


Abbildung 3.7: Eine pragmatische Position zum Lehren und Lernen (in Anlehnung an Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001, S.625))

kompetenz gefördert werden (Renkl, 1994). Um Lernenden die Befähigung zu verantwortungsbewusstem Denken und Handeln zu vermitteln, ist es wichtig, dass sie das, womit sie sich beschäftigen, auch tatsächlich verstehen, d.h. sinnvoll mit ihrem Vorwissen verknüpfen können. Zusammenhänge zwischen verschiedenen Wissensinhalten sollen hergestellt und das Gelernte soll in realen Situationen auch eingesetzt werden können. Dazu gehört das *selbstständige* Lösen von Problemen, und zwar sowohl alleine als auch zusammen mit anderen (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001).

Dies führt zu einer gemäßigt konstruktivistischen Auffassung von Lernen, dem so genannten *wissensbasierten Konstruktivismus*. Lernen wird hierbei als eine persönliche Konstruktion von Bedeutungen verstanden. Damit diese Konstruktion gelingt, muss allerdings eine ausreichende Wissensbasis zur Verfügung stehen. Um diese zu erwerben, müssen und dürfen instruktionale Anleitung und Unterstützung nicht aufgegeben werden (Resnick, Williams und Hall, 1998).

Diese pragmatische Position lässt sich anhand der folgenden fünf Prozessmerkmale des Lernens charakterisieren (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001):

- ▷ Lernen ist ein *aktiver* Prozess:
Eine aktive Beteiligung des Lernenden ist unbedingte Voraussetzung für effektives Lernen. Motivation und ein zumindest situatives Interesse für die Lernaufgabe gehören ebenfalls dazu.

- ▷ Lernen ist ein *selbstgesteuerter* Prozess:
Die Verantwortung für Steuerungs- und Kontrollprozesse liegt beim Lernenden. Dabei kann das Ausmaß je nach Lernsituation variieren; Lernen ohne Selbststeuerung ist aber kaum denkbar.
- ▷ Lernen ist ein *konstruktiver* Prozess:
Jedes Lernen knüpft an bereits vorhandene Kenntnisse und Fähigkeiten an. Kognitive Prozesse, die eine dauerhafte Veränderung des Wissens und Könnens bewirken, können ohne hinreichenden Erfahrungs- und Wissenshintergrund und ohne eigene „Aufbauleistungen“ nicht stattfinden.
- ▷ Lernen ist ein *situativer* Prozess:
Lernen geschieht stets in spezifischen Kontexten. Sie geben einen Interpretationshintergrund für die Bewertung der Lerninhalte und ermöglichen oder beschränken konkrete Lernerfahrungen.
- ▷ Lernen ist ein *sozialer* Prozess:
Lernen wird durch soziale Komponenten auf zwei unterschiedlichen Ebenen beeinflusst: Einerseits ist der Lernende stets soziokulturellen Einflüssen ausgesetzt, andererseits ist Lernen fast immer in ein interaktives Geschehen eingebunden.

Diese gemäßigt konstruktivistische Auffassung von Lernen hat eine Verbindung von Instruktion und Konstruktion zum Ziel. Aus pragmatischer Sicht ist weder die ständige Vermittlung fertiger Wissenssysteme nach feststehenden Regeln sinnvoll noch ein Vertrauen auf die alleinigen Konstruktionsleistungen der Lernenden angebracht. Nach Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) ist diese Erkenntnis auch in den beiden puristischen Theorierichtungen zu beobachten: Neuere Instruktionsmodelle berücksichtigen beispielsweise explizit die mentalen Prozesse der Lernenden und fordern einen entsprechenden Spielraum für deren Eigenaktivität. Auf der anderen Seite finden sich im Rahmen konstruktivistischer Programme immer häufiger Vorschläge für die Integration systematischer Formen instruktionaler Unterstützung. Als ein optimales Gestaltungsprinzip dieser gemäßigt konstruktivistischen Auffassung sehen Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) das Prinzip der *Problemorientierung*. Dabei beschreiben sie diesen Begriff wie folgt:

Unter PROBLEMORIENTIERUNG soll im Folgenden verstanden werden, dass Lehrende Probleme in den Mittelpunkt ihres Unterrichts stellen, die entweder authentisch sind oder Bezug zu authentischen Situationen/ Ereignissen haben; für die Lernenden relevant sind, eine gewisse Aktualität haben und deshalb neugierig und auch betroffen machen. (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.627)

3.2.8 Selbstgesteuertes und kooperatives Lernen

Möglichkeiten zur Förderung von Selbststeuerung und Kooperation sind zwei zentrale Ziele des Unterrichtens (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001). Wissenschaftlicher und technologischer Fortschritt und die damit verbundene Wissensexplosion

zeigen die Grenzen traditioneller Lehrveranstaltungen vor allem in der beruflichen Weiterbildung auf. Insofern gewinnen Kompetenzen in selbstgesteuertem und kooperativem Lernen immer mehr an Bedeutung. Diese Formen des Lernens werden nach aktuellen bildungstheoretischen Diskussionen den neuen Anforderungen der Gesellschaft deutlich besser gerecht als der lehrerzentrierte Frontalunterricht (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001).

Die für Selbststeuerung und Kooperation notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten können aber weder bei Kindern und Jugendlichen noch bei Erwachsenen als selbstverständlich vorausgesetzt werden. Daher bedarf es der gezielten Förderung und Unterstützung auf allen Ebenen des Bildungswesens (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001). Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) betonen an dieser Stelle sogar den Aspekt, dass diese Lehrziele „auf keinen Fall [...] durch den verstärkten Einsatz neuer Technologien zu kurz kommen“ dürfen.

Selbstgesteuertes und kooperatives Lernen sind dabei weniger als eigene Ansätze einer Lerntheorie, sondern eher als solche Aspekte des Lernens zu verstehen, die in den verschiedenen Ansätzen zur Umsetzung kommen können. Beispielsweise ist das Kognitive Modellieren eine Möglichkeit, selbstgesteuertes Lernen zu fördern. Kognitives Modellieren kann aber auch beim *Beobachtungslernen* (siehe Kapitel 3.4.1) eingesetzt werden sowie im *Cognitive Apprenticeship* (siehe Kapitel 4.2.5 bzw. Kapitel 4.2.5), einem Ansatz situierten Lernens. Kooperatives Lernen spielt beispielsweise eine wichtige Rolle im *Community of practice-Ansatz* (siehe Kapitel 3.2.5). Fähigkeiten zu selbstgesteuertem und kooperativem Lernen sind wie oben beschrieben immer wichtiger werdende Kompetenzen.

Selbstgesteuertes Lernen

Die Bereitschaft und Fähigkeit zu selbstgesteuertem Lernen gilt nach Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) vielfach als eine Schlüsselqualifikation. Vor dem Hintergrund medialer Lehr- und Lernangebote kommt ihr eine besondere Bedeutung zu. *Selbstgesteuertes Lernen* findet dann statt, wenn der Lernende selbstbestimmt eine oder mehrere Selbststeuerungsmaßnahmen ergreift und den Lernprozess eigenständig überwacht. Selbstgesteuertes Lernen kann somit als ein Gegenpol zum lehrerzentrierten Frontalunterricht gesehen werden. Von selbstgesteuertem Lernen kann aber auch dann gesprochen werden, wenn nur einzelne Handlungsabschnitte fremdbestimmt sind und der Lernende nicht das Gefühl hat, in seinem Tun völlig eingeschränkt oder kontrolliert zu sein (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001).

Es lassen sich verschiedene Handlungsabschnitte abgrenzen, in denen selbstgesteuertes Lernen möglich ist: Ein solcher Handlungsabschnitt ist beispielsweise die *Vorbereitung des Lernens*, wobei vor allem die Zielsetzung eine wichtige Rolle einnimmt. Im Idealfall sind die Ziele selbstgesteuerten Lernens kompatibel oder direkt bezogen auf die individuellen Interessen des Lernenden. Dies führt zu einer hohen intrinsischen Motivation.

Für die *Steuerung des Lernprozesses* an sich ist Selbststeuerung unabdingbar. Zudem kann eine Selbststeuerung auch bei der *Koordination* und *Organisation* von

Lernprozessen zum Tragen kommen. Hier sind objektive Freiräume und subjektiv wahrgenommene Freiheitsgrade erforderlich (Prenzel, 1993).

Um den Lernprozess selbst steuern zu können, muss der Lernende über verschiedene Handlungs- und Lernstrategien verfügen. Wichtig sind dabei vor allem kognitive und motivational-emotionale Strategien. Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001, S.633) geben folgenden Überblick über diese beiden Arten von Strategien:

▷ **INFORMATIONSVERRARBEITUNGSSTRATEGIEN:**

Mithilfe von *Wiederholungsstrategien* werden neue Informationen so lange im Arbeitsspeicher gehalten, bis sie dauerhaft im Langzeitgedächtnis verankert worden sind.

Elaborationsstrategien werden für die Verknüpfung und behaltenswirksame Vernetzung von neuem Wissen mit Vorwissen eingesetzt. *Organisationsstrategien* helfen dabei, innerhalb des neuen Wissens Zusammenhänge und Bezüge herzustellen (Weinert und Mayer, 1986).

▷ **KONTROLLSTRATEGIEN:**

Für die Regulation der verschiedenen Informationsverarbeitungsstrategien sind metakognitive Strategien bzw. Kontrollstrategien notwendig. Diese laufen beim selbstgesteuerten Lernen meist vor- oder unterbewusst. Eine genaue Abgrenzung zu den Informationsverarbeitungsstrategien fällt nicht immer leicht (Fischer und Mandl, 1982).

▷ **RESSOURCENSTRATEGIEN:**

Ressourcenstrategien kommen dann zum Einsatz, wenn Lernende beim selbstgesteuerten Lernen externe Ressourcen nutzen und erschließen. Zu den externen Ressourcen gehören beispielsweise Medien, Materialien, andere Personen und auch die (Lern-)Zeit (Zimmermann und Martinez-Pons, 1990).

▷ **SELBSTBILDERHALTENDE BEWÄLTIGUNGSSTRATEGIEN:**

Hinsichtlich des Verlaufs und des Ergebnisses selbstgesteuerten Lernens kann es von Bedeutung sein, auf welche Art und Weise der Lernende mit „selbstwertbedrohenden Ereignissen“ umgeht. Hier setzen Bewältigungsstrategien an: Sie können beispielsweise dabei helfen, Misserfolge auf äußere Faktoren zurückzuführen. Eine andere Möglichkeit auf wahrgenommene Anforderungen zu reagieren, ist es, die Anstrengung zu erhöhen oder sich einer bedrohlichen Entwicklung einfach zu entziehen. Dieses Verhalten kann ein positives Selbstbild aufrechterhalten (Garcia und Pintrich, 1994).

▷ **VOLITIONALE BEWÄLTIGUNGSSTRATEGIEN:**

Gerade beim selbstgesteuerten Lernen ist das eigene Wollen von zentraler Bedeutung. Dabei kann die Kontrolle von Aufmerksamkeit, Motivation und Emotion ebenso wie die Gestaltung der (Lern-)Umwelt mithilfe von volitionalen Strategien unterstützt werden (Corno, 1994).

Selbstgesteuertes Lernen kann mit direkten und indirekten Förderungsansätzen unterstützt werden: Zu den direkten Förderungsansätzen gehört die Vermittlung von *Kontroll- und Selbstreflexionsstrategien*. Eine weitere Möglichkeit ist das *Kognitive Modellieren*: Hierbei werden kognitive und emotional-motivationale Prozesse, die beim Lernen nicht direkt beobachtbar sind, durch eine Modellperson verbalisiert (siehe auch Kapitel 3.4.1, S 213 zum Beobachtungslernen in der Mathematik). Kognitives Modellieren ist auch eine der im Rahmen des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes vorgestellten sieben Methoden (siehe Kapitel 4.2.5, S.267).

Eine weitere Art der direkten Förderung ist das *Informierte Training*. Dabei geht es darum, Kontroll- und Selbstreflexionsstrategien nicht nur einzuüben und den Prozess der Selbststeuerung an einem Modell zu beobachten, sondern darüber zu informieren, wann und warum eine bestimmte Strategie hilfreich ist und welche Wirkungen und Anwendungsbedingungen sie hat (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001).

Indirekte Förderungsansätze konzentrieren sich nicht auf eine Veränderung der Bedingungen des Lernenden selbst, sondern suchen die Lernumgebung so zu gestalten, dass selbstgesteuertes Lernen angeregt und gefördert wird. Dazu eignen sich sowohl traditionelle Unterrichtsformen als auch klassische Selbstinstruktionsmedien wie beispielsweise Texte oder audio-visuelle Materialien. In den neuen Informations- und Kommunikationstechnologien werden insbesondere neue Möglichkeiten zur Gestaltung solcher Lernumgebungen gesehen. Eine zentrale Rolle spielt dabei die *Interaktivität*. Allerdings wird dieser Begriff der Interaktivität sehr vielfältig eingesetzt und verwendet und von vielen Lernprogrammen nur unzureichend ausgeschöpft (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001). Der Begriff der Interaktivität wird in Kapitel 6 vertiefend behandelt.

In den Kapiteln 1.4 und 5.4 zu den Themen *Hypertext- und Hypermediasysteme* sowie *Lernsoftware* wurden und werden auch gezielt die Arten von Lernsoftware vorgestellt, die nach Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) im Kontext selbstgesteuerten Lernens oftmals eingesetzt werden: Tutorielle Programme, Simulationen und Planspiele, fallbasierte Lernprogramme sowie Hypertext und Hypermedia.

Allerdings ist zu beachten, dass zum einen nicht alle Lernenden in gleichem Maße von solcher Lernsoftware profitieren und zum anderen sich nicht alle Inhalte dazu eignen, über Lernsoftware vermittelt zu werden. Zu viel Spielraum für die eigenen Handlungsmöglichkeiten kann gerade für Lernschwächere auch kontraproduktiv wirken (siehe hierzu auch Kapitel 4.3 und Kapitel 7.4). Somit ist ein Maximum an Selbststeuerungsmöglichkeiten bei Lernsoftware nicht unbedingt „mit dem wünschenswerten Optimum einer idealen Passung von Lernvoraussetzungen und situationsspezifischer Anforderung gleichzusetzen“ (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.636).

Problemorientiertes Lehren und Lernen (siehe Kapitel 3.2.7) und offene Lernumgebungen (siehe Kapitel 4.2.8) können hier hilfreich eingesetzt werden.

Kooperatives Lernen

Auch wenn jedes Individuum seine eigene Art des Lernens hat, ist Lernen insofern kein ausschließlich individueller Vorgang, als dass dieser auch immer soziale Aspekte enthält. Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) unterscheiden dabei soziale Einflüsse auf einer Makro- und einer Mikroebene: Allgemeine soziale Normen und die in einem sozialen Setting von allen geteilten Wissensbestände beeinflussen menschliches Denken und Handeln auf der *Makroebene*. Interaktionen innerhalb einer Gruppe von Lernenden wie beispielsweise Interaktionen mit Mitschülern, Kommilitonen, Kursteilnehmern und Lehrern beeinflussen das Lernen auf der *Mikroebene*. Soziale Umwelt und die Inhalte und Vorgänge des Lernens lassen sich insofern kaum voneinander trennen (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001). Dadurch wird der Lernvorgang zu einem auch in sozialer Hinsicht *situieren Prozess* (Law, 1994a).

Ähnlich wie beim selbstgesteuerten Lernen bedarf auch das kooperative Lernen einer Anleitung und Führung, um erfolgreich zu sein. Dabei ist weder theoretisch noch empirisch hinreichend geklärt, in welchem Umfang diese Förderung stattfinden sollte, d. h. wie viel Strukturiertheit einerseits und wie viel Offenheit andererseits erforderlich ist. Wird eine zu starke Strukturierung vorgenommen, so kann diese kreative und produktive Prozesse innerhalb der Gruppe behindern; andererseits kann zu wenig Strukturierung dazu führen, dass die Gruppe ineffektiv arbeitet und das gewünschte Ergebnis gar nicht erreicht (Cohen, 1994).

Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) nennen einige Bedingungen, die kooperatives Lernen überhaupt erst ermöglichen. Dazu zählen der *kognitive Orientierungsstil* der Lernenden (Sind die Lernenden zu Gruppenarbeit bereit? Sind sie „ungewissheitsorientierte“ oder „gewissheitsorientierte“ Personen?), die *Aufgabenwahl* (Eignet sich die Aufgabe zur Bearbeitung durch eine Gruppe?), die *Anreizstruktur* (Lohnt es sich für den einzelnen Lernenden und die Gruppe, die gestellte Aufgabe gemeinsam zu bewältigen?) sowie der *organisatorische Rahmen* (Welchen Stellenwert und welchen Anteil nimmt kooperatives Lernen im Unterricht ein?).

Für das Arbeiten und Lernen in Gruppen gibt es eigene Techniken. Beispiele hierfür sind das *Gruppenpuzzle* oder die *Gruppenrecherche*. Beim *Gruppenpuzzle* (oder auch *Jigsaw-Methode*) wird nach einer Einführung in die Thematik der Lerninhalt in Teilgebiete aufgeteilt und an kleinere so genannte *Expertengruppen* verteilt. In den einzelnen Expertengruppen werden die jeweiligen Lerninhalte dann gemeinschaftlich erarbeitet. In einem zweiten Schritt werden die Expertengruppen neu sortiert, und zwar so, dass sich in den neuen Gruppen ein Experte aus jeder der vorherigen Expertengruppen befindet. Jeder einzelne Experte vermittelt dann den anderen der Gruppe den jeweiligen Wissensausschnitt, den seine Expertengruppe erarbeitet hat (Aronson, 1984).

Im Rahmen einer *Gruppenrecherche* (engl. Group Investigation) können solche Aufgaben in Kleinprojekten bearbeitet werden, die aufgrund ihrer besonderen Struktur wechselseitige Unterstützung und gemeinsames Problemlösen erfordert. Dazu stellt der Lehrende die Problemstellung zunächst vor und erläutert sie. Gemeinsam wird sie dann so strukturiert, dass Teilfragen in Kleingruppen bearbeitet werden können.

Dabei steht die Recherche und Suche nach notwendigen Ressourcen im Vordergrund. Der Lehrende greift nur im Bedarfsfall unterstützend ein. Zum Schluss werden die Ergebnisse der Kleingruppen allen gemeinsam präsentiert und von allen evaluiert (Shachar und Sharan, 1994).

Netzwerkbasierte Lernsysteme versuchen, kooperatives Lernen auch über Distanzen hinweg zu realisieren (siehe Kapitel 5.6.6 zum Computerunterstützten kooperativen Lernen).

3.2.9 Narrative Ansätze

Über den Einsatz narrativer Ansätze im Kontext des Lehrens und Lernens äußert sich Gerstberger (2006) wie folgt:

Die Darstellung von Sachthemen in literarischer Form hat eine lange Tradition nicht nur in Kontexten, die im engeren Sinne didaktisch sind. Sie ermöglicht den Kontakt mit und ein Verständnis von einem Gegenstand, ohne dass die Hörerin, der Leser oder das Publikum sich mit der Fachsprache, mit einer strengen Systematik oder mit der gezielten Bereitstellung von Vorkenntnissen belasten müsste. Die Adressaten genießen eine Freiheit darin, sich mehr dem „Thema“ oder dem „Rhema“ zu öffnen, sich also eher auf fachspezifische Aspekte oder auf die Erzählung als solche zu beziehen. (Gerstberger, 2006, S.285)

Die Verwendung von Geschichten setzt allerdings die Fähigkeit des Adressaten voraus, bildhafte Sprache, Metaphern und Allegorien zu deuten und nach Gerstberger (2006, S.285) auch zu „genießen“, wodurch letztlich „je nach Niveau und Komplexität der Präsentation eine minimale Basis des Wissens und der Bildung“ vorausgesetzt wird. Nach Gerstberger (2006) kann somit der indirekte Charakter einer solchen Darstellung sowohl als Brücke als auch als Barriere wirken.

In diesem Kapitel wird auf zwei grundlegende narrative Ansätze im Kontext des Lehrens und Lernens eingegangen: Zum einen werden die Grundzüge des sokratischen Gesprächs skizziert, zum anderen wird ein kurzer Einblick in die didaktischen Möglichkeiten des Erzählens und damit in die Erzähltheorie gegeben. Anschließend wird speziell im Zusammenhang des Einsatzes von Computern für das Lehren und Lernen ein Ansatz vorgestellt, der die Mensch-Maschine-Kommunikation aus dramaturgischer Sicht betrachtet und deren Gestaltung als eine Art Schauspiel oder Theaterstück vorschlägt.

Das sokratische Gespräch

Sokrates (469 v.Chr - 399 v.Chr.) bezeichnete den Prozess kritischen Hinterfragens von Argumenten als *Mäeutik*, als *Hebammenkunst*: Geschicktes Fragen soll dem Gesprächspartner helfen, die in ihm schlummernden, ihm aber nicht bewussten Ideen und Gedanken heraufzuholen, gleichsam zu „gebären“. Dadurch werden Strukturen

und Verhaltensmuster sichtbar, das eigene Denken und Handeln verstehbar und damit auch veränderbar. Sokrates' Schüler Platon (427 v.Chr. -347 v.Chr.) bediente sich dieser Dialogform in seinen Schriften. Dabei sollte das Lehrgebäude nicht als fertiges System, sondern als anschaulicher Entstehungsprozess dargestellt werden. Hauptfigur in den frühen Dialogen Platons ist dabei sein Lehrer Sokrates.

1922 nahm Leonard Nelson (1882-1927) die Intentionen des antiken dialogischen Philosophierens in modifizierter Form auf. Er gilt als Begründer der Gesprächsform, die er selbst als *Sokratisches Gespräch* bezeichnete. Nelsons Schüler Gustav Heckmann (1898-1996) führte die Idee des sokratischen Gesprächs fort und legte als erster eine ausführliche Monografie zum sokratischen Gespräch nach der Idee seines Lehrers vor (Horster, 1994).

Er formulierte *sechs pädagogische Maßnahmen* als Regeln für ein sokratisches Gespräch: Die erste Regel ist das Gebot der Zurückhaltung, das sich der Leiter in Bezug auf den Inhalt des Themas aufzuerlegen hat. Die zweite Regel fordert, von konkreten Beispielen bei der Abstraktion auszugehen. Die dritte Regel verlangt ein volles Ausschöpfen des Gesprächs als Hilfsmittel. Als vierte Regel gilt das Festhalten an der erörterten Frage, um ein Abschweifen in Nebenaspekte zu verhindern. Als fünfte Regel formuliert Heckhausen das Hinstreben auf einen Konsens. Die sechste Regel bezieht sich auf die Lenkung des Gesprächs durch den Leiter oder die Leiterin, die darauf zu achten haben, dass die Regeln eingehalten werden (Horster, 1994).

Über Minna Specht (1879-1961) kam Martin Wagenschein (1896-1988) mit der sokratischen Methode in Berührung und nahm sie explizit in sein Konzept der *Genetischen Methode* auf (Krohn, Neißer und Walter (2000), zum genetischen Konzept siehe Kapitel 3.4.5, S.225, und Wagenschein (1973)). Nach Krohn et al. (2000) erfreut sich die sokratische Methode insbesondere an der Universität Hannover, an der Gustav Heckmann als Professor für Pädagogik und Philosophie lehrte, einer stillen Tradition; allerdings sei es nicht gelungen, „die professionelle Öffentlichkeit in einem solchen Maße auf sich aufmerksam zu machen, daß [sic!] die Sokratische Methode in der Nelson-Heckmann-Tradition ausreichend bekannt und gebührend ernst genommen wurde“. Mögliche Ursachen hierfür sehen Krohn et al. (2000) darin, dass eine rein verbale Beschreibung der Methode schwer nachvollziehbar ist und eigentlich nur im Rahmen einer konkreten Durchführung erfasst werden kann.

Erzählen

In seinen *Zwölf Grundformen des Lehrens* nennt Hans Aebli (1923-1925, siehe Aebli (2006, Originalausgabe 1983 (1961))) als erste Grundform das *Erzählen und Referieren*. Mit Beginn der Menschheit ergab sich Lernen auf natürliche Art und Weise durch *Sozialisation* und später durch die mündliche Weitergabe von Wissen. Nach Aebli (2006, S.33) haben die modernen Medien, angefangen beim Buchdruck bis hin zum Fernsehen, die ursprünglichen Formen der Sozialisation fast überall zurückgedrängt: An die Stelle der mündlichen tritt die schriftliche Überlieferung, der unmittelbare Kontakt wird durch einen über die Medien vermittelten und damit nur mittelbaren Kontakt mit den jeweiligen Ereignissen ersetzt.

Kinder erleben immer weniger die früher alltäglichen Dinge wie beispielsweise den Herstellungsprozess eines Gerätes für den täglichen Gebrauch oder die Geburt eines Haustieres; gleichzeitig haben sie durch die Medien aber Einblick in Ereignisse wie zum Beispiel die Mondlandung, die sie sonst unmittelbar gar nicht erleben könnten. Nach Aebli (2006, S.33) sind diese Eindrücke aber zu oberflächlich und zu bruchstückhaft, um den Verlust an unmittelbarer und direkter Erfahrung auszugleichen.

Für Aebli (2006, S.34) hat die Erfahrungs- und Wissensbildung in der Schule trotz aller modernen Hilfsmittel und Methoden nach wie vor einen künstlichen und theoretischen Charakter. Schulische Lernergebnisse sind jedoch so sehr mit der „Blässe des Gedankens“ verbunden, dass vielen gar nicht mehr bewusst wird, dass Erfahrungsbildung und Sozialisation auch in der Schule stattfinden, nur eben vor allem auf verbale Art und Weise. Nach Aebli (2006, S.34) muss dabei das Wort des Lehrers jedoch nicht nur „Schall und Rauch“ sein:

Es gibt eine Form der Mitteilung von Ereignissen und Tatsachen, die lebendig ist, unmittelbar anspricht und lebhaft Eindrücke vermittelt, wenn auch das Medium ein ganz und gar sprachliches ist: die Erzählung und der Bericht. Warum diese Wirkung? Weil die Erzählung aus dem Munde eines lebendigen Menschen kommt und weil Erzähler in der Regel aus lebendiger Erfahrung und lebhaften Vorstellungen heraus berichten. Denn wenn sie diese nicht in sich tragen, so wagen sie auch nicht hinauszustehen und zu erzählen. Dann behandeln sie Lesestücke und lassen Bilder kommentieren! (Aebli, 2006, S.34)

Bei diesem Zitat fällt insbesondere die große *Lebendigkeit* auf, die Aebli (2006) dem (mündlichen) Erzählen zuordnet. Kubli (2005, S.9) bezeichnet Erzählungen als ein „Gewürz“, welches „den Stoff verdaulicher macht“. Für ihn besteht ein Zusammenhang zwischen Erzählen und erfolgreichem Unterrichten: „Es scheint, dass fast *alle* erfolgreich Lehrenden bewusst oder unbewusst das Erzählen wirkungsvoll einsetzen“ (Kubli, 2005, S.10). Dabei verknüpft Kubli (2005) das Erzählen eng mit *Emotionen*:

Erzählend regen wir nicht nur Erkenntnisse an, sondern wecken stets auch Emotionen. Diese dürfen in einem lebendigen Unterricht nicht unterdrückt, sondern müssen zum Blühen gebracht werden. Emotionen und Erkenntnisse sind Begleiterscheinungen intensiven Unterrichts. Oder, genauer: Erkenntnisse sind vielleicht die Folge von Lernprozessen, Emotionen im Sinne von Motivationen sind sicher die Triebkraft zu jedem erfolgreichen Tun. (Kubli, 2005, S.12)

Für Kubli (2005, S.17) sind Erzählungen aber auch auf einer anderen emotionalen Ebene, der zwischenmenschlichen Ebene, wirksam: „Erzählungen sind Brücken zum Herzen unserer Mitmenschen - auch im Unterricht“. Die Bedeutung und Wichtigkeit emotionaler Aspekte wird dabei bei Kubli (2005) mehrfach betont.

Im Rahmen eines naturwissenschaftlichen Unterrichtes sieht Kubli (2005) in Erzählungen ein bedeutsames Mittel, die Vorführung von Experimenten nachhaltig aufzuwerten: Erzählungen können die sie darstellenden Erkenntnisse im Rahmen ihrer historischen Entwicklung widerspiegeln:

Experimente können durch Erzählungen wesentlich an Attraktivität gewinnen. Sie haben eine interessante Geschichte. Wir können von einigen Episoden erzählen, während wir die historischen Experimente durch Demonstration zu neuem Leben erwecken. Auch unsere Experimente zeugen von vergangenen Sternstunden, von Highlights auf dem Weg der Entwicklung des Denkens. Wir Lehrenden sind in dem Sinne ähnlich wie die Interpreten, die eine Partitur in die Welt der Töne, in Schwingungen und Wellen, eben in Musik umsetzen. (Kubli, 2005, S.12)

Allerdings warnt Kubli (2005) davor, Erzählungen mit bloßem Gerede oder bloßem Reden zu verwechseln:

'Erzählende' oder 'narrative' Unterrichtsstrategien sind keine planlosen Unternehmungen, sondern erfordern ein überzeugendes Drehbuch oder Handlungsgerüst (= Plot in der Fachsprache der Erzähltheorie). Erzählungen beziehen die Zuhörenden ein und nehmen sie ernst. Sie sind kein Selbstgespräch, kein unverbindliches „Es war einmal“ ... Sie sind gezielte Mitteilungen. Erzählen hat eine Absicht, die darauf hinwirkt, das Publikum zum geistigen Mitschwingen anzuregen, zum Mitdenken in der Auseinandersetzung mit dem behandelten Thema. [...] Belanglosigkeiten zu erzählen ist keine Kunst, wohl aber, Erzählungen so in den Unterricht einzufügen, dass sie für das Lernen relevant sind. (Kubli, 2005, S.12)

Kubli (2005) bezieht sich dabei bewusst auch und vor allem auf den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Für ihn ist nichts „so geeignet, in die Denkweise eines uns nicht so geläufigen Faches einzuführen, wie die Lektüre von gut ausgewählten Geschichten“ (Kubli, 2005, S.14). Zudem lassen sich die mit den wissenschaftlichen Formen der Kommunikation noch nicht vertrauten Lernenden „viel besser mit den im Alltag gebräuchlichen narrativen Formen [erreichen] als mit einer abstrakten wissenschaftlichen Sprache“ (Kubli, 2005, S.20).

Darüber hinaus nennt Kubli (2005) einen weiteren interessanten Aspekt, der den Einsatz von Erzählungen und Geschichten unterstützt:

Tatsächlich spricht vieles dafür, dass die Informationsaufnahme wesentlich über die Konstruktion von rudimentären Geschichten abläuft. (Kubli, 2005, S.36)

Als naheliegendes Beispiel erinnert Kubli (2005) an die Methode von Gedächtniskünstlern, sich völlig zusammenhangslose Begriffe in Form einer ad hoc erfundenen Geschichte zu merken. Kubli (2005) verweist an dieser Stelle auf den *Konstruktivismus* (siehe Kapitel 3.2.5), wonach Lernende sich ihr Wissen selbst konstruieren.

Während diese Erkenntnis um die Konstruktion von Wissen im Rahmen des Konstruktivismus nachgewiesen ist, ist nach Kubli (2005, S.36) „weniger bewusst und wenig erforscht [...], dass diese Interpretationen in den meisten Fällen Konstruktionen von *Geschichten* sind“. Erinnerungen sind nach Kubli (2005, S.36) im Grunde Geschichten, Erinnern ist *situativ* und nicht logisch-abstrakt.

Damit geht Kubli (2005) an dieser Stelle vom mündlichen Erzählen zu Erzählungen in Form durchaus auch aufgeschriebener Geschichten über. Die Geschichten selbst gewinnen an Bedeutung und nicht nur die Art und Weise ihres Erzählens.

Nach Kubli (2005, S.54) „führt ein direkter Weg von der von Piaget angeregten und von ihm entwickelten Kognitionspsychologie hin zur Betrachtung von narrativen Prozessen“. Dabei hat vor allem Bruner (1986, 1996, 2002) auf die moderne Erzähltheorie aufmerksam gemacht und kann als ein Begründer der modernen „narrativen Psychologie“ angesehen werden. Kubli (2005) beschreibt den Stellenwert der Erzähltheorie wie folgt:

Heute ist die Erzähltheorie in den Kanon der wissenschaftlichen Theorien aufgenommen worden. Auch ihre praktische Bedeutung wird anerkannt. Sie eröffnet einen Zugang zu einem Selbstverständnis des Menschen, das die Diskussionen um das Menschenbild der an den Naturwissenschaften orientierten Positivisten ablösen kann - indem sie die oft sträflich vernachlässigten emotionalen Aspekte in die Betrachtung einbezieht. (Kubli, 2005, S.56)

Nach Aebli (2006, S.57) besteht eine der reizvollsten, aber auch schwierigsten und zeitraubendsten Formen, Schüler im Anschluss an eine Erzählung zur Mitarbeit heranzuziehen, darin, die erzählten Handlungen in kleinen, mehr oder weniger improvisierten Szenen zu dialogisieren oder zu dramatisieren. Wenn es dem Lehrer gelingt, die Klasse auf diese Art und Weise zur Mitarbeit zu bewegen, lernt er die Klasse besser kennen. Nach Aebli (2006, S.57) lernt der einzelne Schüler dabei nicht nur mitzudenken, mitzufühlen und mitzubewerten, sondern auch, gewisse Überlegungen selbstständig vorzunehmen, seine Gefühle auszudrücken und seine Stellungnahmen auszusprechen. Dadurch schult er seine eigenen Kräfte und lernt mit der Zeit, „in der geistigen Welt auf eigenen Füßen zu stehen“. Darüber hinaus wird nach Aebli (2006, S.57) dadurch auch ein Stück „jener so dringend notwendigen Sprachschulung“ vorgenommen, „die in jeder Unterrichtsstunde zur Geltung kommen sollte“.

Der Computer als Schauspiel

Einen ganz anderen Ansatz insbesondere zur Verwendung von Computern für das Lehren und Lernen wählt Laurel (2003) in ihrem Buch *Computers as theatre*. Dabei konzentriert sie sich auf den Dialog bzw. die Interaktion zwischen Mensch und Maschine.

Hinsichtlich dieser Interaktion ist ein mediales Angebot nach Laurel (2003, S.xvii) im Wesentlichen in zwei Aspekte aufgeteilt - die Anwendung selbst und das zugehörige Interface. Dabei sind diese beiden Aspekte in der Regel strikt voneinander

getrennt: Die Anwendung stellt eine gewisse Funktionalität für ein bestimmtes Ziel zur Verfügung; das Interface stellt diese Funktionalität dar und ist die Schnittstelle zum Benutzer. Meist wird dabei zuerst die Anwendung und dann danach die Schnittstelle konzipiert und konstruiert.

Laurel (2003) schlägt stattdessen vor, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine unter dramaturgischen Gesichtspunkten zu betrachten. Dabei greift sie auf die Poetik Aristoteles' (384 v.Chr. - 322 v.Chr.) zurück:

The first half of this book presents a general theory that can be described as a poetics of human-computer activity. It employs the analysis of the nature and uses human-computer activity to extend and modify the theory of literary representations presented in Aristotle's Poetics. The Poetics defines form and structure in drama and narrative literature and provides an understanding of how structural elements can be combined to create organic wholes. Its uses are both critical (understanding how such representations work) and productive (how to make them). This book likewise attempts to provide a comprehensive theory of form and structure for representation in which both humans and computers participate. (Laurel, 2003, S.xix)

Vor diesem Hintergrund entwickelt Laurel (2003) einige Prinzipien für die Gestaltung einer Mensch-Maschine-Kommunikation:

- ▷ *Think of the computer, not as a tool, but as a medium.*
 - ▷ *Interface and application should be couched in the same context - namely, the context of the objects, actions, and tools of the representational world.*
 - ▷ *Interface metaphors have limited usefulness. What you gain now you may have to pay for later.*
 - ▷ *Focus on designing the action. The design of objects, environments, and characters is all subsidiary to this central goal.*
 - ▷ *Designing action consists of designing or influencing what kinds of incidents will occur and in what order.*
 - ▷ *Represent sources of agency.*
 - ▷ *Think of agents as characters, not people.*
 - ▷ *An agent should be both responsive and accessible.*
 - ▷ *Match diction to character traits. Diction can also be used to reveal point of view.*
 - ▷ *Modeling human conversational style is important, but remember that people readily adapt to and emulate the conversational styles of their partners.*
-

- ▷ *Gesture can be used to reinforce, disambiguate, or replace spoken or written language.*
- ▷ *Multiple modalities are desirable only insofar as they are appropriate to the action being represented.*
- ▷ *Tight linkage between visual, kinesthetic, and auditory modalities is the key to the sense of immersion that is created by many computer games, simulations, and virtual-reality systems. (Laurel, 2003, S.125–S.161)*

Diese Art der Gestaltung einer Mensch-Maschine-Kommunikation entspricht zudem der Verwendung einer zeitlichen Metapher im Rahmen der Navigation (siehe hierzu Kapitel 7.3.1, S.386).

3.2.10 Instruktionsparadigma und Problemlöseparadigma

Issing (2002) nennt charakteristische Merkmale für die Unterscheidung von Instruktions- und Problemlöseparadigma: Steht die Vermittlung von Wissen im Vordergrund, so wird das damit verbundene Lernen dem Instruktionsparadigma zugeordnet. Geht es beim Lernen gezielt um die Erarbeitung der Lerninhalte durch den Lernenden, so ist diese Art des Lernens dem Problemlöseparadigma zugeordnet.

Das Instruktionsparadigma wurde besonders durch die behavioristische Psychologie befürwortet (Skinner, 1971), was sich im Programmierten Unterricht deutlich widerspiegelt (siehe Kapitel 5.6.1). Das Instruktionsparadigma wird aber auch durch viele kognitionspsychologische Konzepte, wie beispielsweise das Modell des sinnvollen rezeptiven Lernens nach Ausubel (1968) vertreten.

Das Problemlöseparadigma basiert insbesondere auf der Entwicklungspsychologie von Piaget (1977) und auf der kognitiven Psychologie von Bruner (1966). Die konstruktivistische Theorie favorisiert heute das Problemlöseparadigma (Jonassen, 1991; Cooper, 1993; Mandl, Gruber und Renkl, 2002).

Die veränderten Anforderungen des Informationszeitalters gegenüber dem Industriezeitalter führen weltweit in den Erziehungswissenschaften zu der Auffassung, dass eine Schwerpunktverlagerung bzw. ein Paradigmenwechsel vom instruktionsbasierten zum problemorientierten, lernerzentrierten Unterricht erforderlich ist (Reigeluth, 1999). Während jedoch das konstruktivistische Lernparadigma zu Beginn der 90er Jahre vor allem in den USA als eine Art Revolution der Pädagogik angesehen wurde, wird heute ein eher gemäßigtes und flexibles konstruktivistisches Konzept vertreten.

Nach Issing (2002) wird es auch in Zukunft neben konstruktivistisch geprägten Lernformen instruktionistisch gestaltete Lernangebote geben. Grund hierfür ist die Tatsache, dass Instruktion bereits seit Jahrtausenden in der Praxis erfolgreich war, und zwar für das Erreichen gut definierter, d.h. operationalisierbarer Lernziele und für das Lernen eindeutig umschriebener Lerninhalte (sowohl für deklaratives als auch für prozedurales Wissen).

3.2.11 Lehrfunktionen

Werden Sinn und Zweck einer Lehrtätigkeit hinterfragt, so ist nach den so genannten Lehrfunktionen zu fragen. Klauer (1985) unterscheidet sechs verschiedene Lehrfunktionen, wobei er die Lehrfunktion des Transfers in zwei Teilaspekte untergliedert. Strittmatter und Niegemann (2000) behalten diese sechs Lehrfunktionen bei, während Leutner (2002) die Lehrfunktion des Transfers in zwei neue Lehrfunktionen aufteilt: die der Anwendung und die des Transfers. Er unterscheidet somit folgende sieben Lehrfunktionen in ausgewählter Reihenfolge:

▷ LEHRFUNKTION 1 - MOTIVATION:

Damit Lernen im Rahmen vorgegebener Lehr- oder Qualifikationsziele überhaupt erst möglich wird, muss zumindest ein bestimmtes Minimum an Motivation zum Lernen gegeben sein. Auf das Ausmaß der Motivation können Lehrende bzw. Lernumgebungen in gewissem Rahmen einen Einfluss nehmen. Dieser Einfluss ist jedoch begrenzt (Strittmatter und Niegemann, 2000).

▷ LEHRFUNKTION 2 - INFORMATION(SVERMITTLUNG):

Lernende müssen auf die lehrzielrelevanten Informationen Zugriff haben und diese in irgendeiner Form - durch Hören, Lesen, eigenes Entdecken - aufnehmen können.

Die Aufmerksamkeit des Lernenden ist auf die relevanten Informationen zu lenken. Bereits vorhandene kognitive Strukturen müssen aktiviert werden. Es ist darauf zu achten, dass die neu aufzunehmenden Informationen das Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis nicht überlasten. Nach Strittmatter und Niegemann (2000) ist es erforderlich, dem Lernenden während der Informationsaufnahme Gelegenheiten, Anstöße oder Hinweise zu geben, Beziehungen zwischen bekanntem und neuem Wissen, aber auch innerhalb des neuen Wissens herzustellen. Insbesondere sind nach Strittmatter und Niegemann (2000) für den Lernenden solche Erfahrungen wichtig, die ihn Lücken oder fehlende Querbezüge selbst feststellen lassen.

▷ LEHRFUNKTION 3 - INFORMATIONSVERARBEITUNG:

Lernende müssen die Informationen nicht nur aufnehmen, sondern diese auch verarbeiten und verstehen (Sicherung des Verstehens und Verarbeitens von Informationen). Dazu müssen diese mit bereits vorhandenen Informationen verknüpft werden. Klauer (1985) unterscheidet hier drei Schritte der Verarbeitung: Zunächst müssen implizit gegebene Informationen als explizite Informationen erkannt werden. Dann sind die neuen Informationsinhalte so in kleinere Einheiten zu untergliedern, dass der Lernende aus den einzelnen Teilen wieder das Gesamtbild rekonstruieren kann. Und schließlich gilt es, die Struktur und Beziehung der einzelnen Teile untereinander und zu ihrem Ganzen zu erkennen.

Nach Strittmatter und Niegemann (2000) ist es für nachhaltige Lerneffekte entscheidend, dass der Lernende sein eigenes Lernen überwachen und somit selbst feststellen kann, ob er den Lehrstoff verstanden hat.

Die Berücksichtigung von Forschungsergebnissen zur Gestaltung von Texten und Bildern kann sowohl die Informationsaufnahme als auch deren Verarbeitung im Sinne der Lehrfunktionen unterstützen (Strittmatter und Niegemann (2000), vgl. auch Kapitel 2 zur Wirkweise von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität, S. 75).

▷ LEHRFUNKTION 4 - SPEICHERN UND ABRUFEN:

Zumindest bestimmte Teile der vermittelten Informationen müssen vom Lernenden behalten und später erinnert werden können (Sicherung des Behaltens und Erinnerns). Strittmatter und Niegemann (2000) betonen in diesem Zusammenhang die Wichtigkeit von Inhalt, Ausmaß, Zusammenstellung und Sequenzierung von Übungen als auch die Verknüpfung und Vernetzung mit anderen Informationen.

▷ LEHRFUNKTION 5 - ANWENDUNG:

Das Erlernte soll angewendet werden können: Wenn Wissen im Rahmen eines bestimmten Kontextes erworben wurde, so soll dieses Wissen zur Lösung von Aufgaben innerhalb desselben Kontextes genutzt werden können. Dabei ist das zu lösende Problem zwar inhaltlich neu, passt aber strukturell in den Kontext des bereits erworbenen Wissens. Anwendung ist hier also als Generalisierung des erworbenen Wissens auf passende Aufgabenstellungen zu verstehen.

▷ LEHRFUNKTION 6 - TRANSFER:

Das Erlernte soll in erweiterten Kontexten nutzbar sein: Lernende sollen das Gelernte auch auf neue Aufgaben und Probleme bzw. neue Situationen übertragen können, auch wenn diese eine andere Struktur haben. Dazu müssen Lernende in der Lage sein, Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszuarbeiten und die richtigen Ansatzpunkte zu finden. Nach Strittmatter und Niegemann (2000) stellt sich diese Fähigkeit nicht automatisch ein, sondern bedarf einer gezielten systematischen Vorbereitung und Förderung.

▷ LEHRFUNKTION 7 - STEUERUNG UND KONTROLLE:

Es muss dafür gesorgt werden, dass jede der genannten sechs Lehrfunktionen auch tatsächlich und angemessen realisiert wird. Dazu sind die Aktivitäten des Lernenden zu regulieren, zu koordinieren und gegebenenfalls auch anzuleiten. Wenn der Lernende selbst nicht in der Lage ist, seine eigenen Lernaktivitäten zu regulieren, so muss der Lehrende Hilfe und Anleitung anbieten (vgl. auch Kapitel 4.3 zur Adaptierbarkeit und Adaptivität, S.273).

Der Instruktionspsychologe Shuell (1993, 1996) unterscheidet aus der Sicht des Lernenden folgende zwölf *Lernfunktionen*: Erwartungen generieren, motivieren, Vorwissen aktivieren, Aufmerksamkeit lenken, enkodieren, vergleichen, Hypothesen generieren, wiederholen, Rückmeldungen erhalten, Bewertungen erhalten, überprüfen (monitoring) und als letzte Funktion Kombinieren, Integrieren und Synthetisieren

des Gelernten. Dabei sind diese Lernfunktionen vom Lernenden selbst oder von der Lernumgebung zu initiieren, wenn der angestrebte Lernerfolg erzielt werden soll.

Strittmatter und Niegemann (2000) weisen darauf hin, dass diese Rahmentheorien jedoch offen lassen, in welcher Weise (und manchmal auch in welcher Sequenz) die Lehr- bzw. Lernfunktionen realisiert werden sollen - gleichzeitig werden aber beim Fehlen einzelner Funktionen Defizite für das Lernergebnis prognostiziert.

3.2.12 Lernstile und andere Lernereigenschaften

Lerntheorien suchen eine Beantwortung der Frage, wie Lernen funktioniert und von-statten geht. Dennoch ist jeder Lernprozess individuell und wird durch die jeweils unterschiedlichen Voraussetzungen und Eigenschaften eines jeden Lernenden beeinflusst.

Jonassen und Grabowski (1993) geben eine detaillierte Auflistung solcher Merkmale und Eigenschaften von Lernenden, die speziell auf das Lernverhalten und den Lernprozess Einfluss haben und nehmen (Abbildung 3.8).

Diese Liste zeigt in ihrer Vielschichtigkeit und Differenziertheit bereits, wie viele verschiedene Faktoren eine individuelle Rolle für das Lernen spielen können. Dennoch ist diese Liste weder eindeutig noch vollständig. Zum einen lässt sich über die genaue Definition und Abgrenzung der einzelnen Kategorien diskutieren, zum anderen gibt es viele weitere Ergänzungen.

Beispielsweise ist eine Unterscheidung von kognitiven Kontrollstrategien, kognitiven Stilen und Lernstilen nach Schulmeister (2006, S.83) „schwierig bis unmöglich“, klarer ist hingegen die Differenzierung zwischen Lernstilen und Lernstrategien.

Hinsichtlich der Lernstile lassen sich zudem viele weitere und vor allem miteinander konkurrierende Lernstil-Konzepte nennen. Coffield, Morseley, Hall und Ecclestone (2004) identifizieren beispielsweise 71 verschiedene Ansätze, von denen sie folgende 13 Modelle als Repräsentanten für eine Kategorisierung heranziehen und ausführlich diskutieren:

- ▷ Allinson and Hayes' Cognitive Styles Index (CSI)
 - ▷ Apter's Motivational Style Profile (MSP)
 - ▷ Dunn and Dunn model and instruments of learning styles
 - ▷ Entwistle's Approaches and Study Skills Inventory for Students (ASSIST)
 - ▷ Gregorc's Mind Styles Model and Style Delineator (GSD)
 - ▷ Herrmann's Brain Dominance Instrument (HBDI)
 - ▷ Honey and Mumfords Learning Styles Questionnaire (LSQ)
 - ▷ Jackson's Learning Styles Profiler (LSP)
 - ▷ Kolb's Learning Style Inventory (LSI)
 - ▷ Myers-Briggs Type Indicator (MBTI)
 - ▷ Riding's Cognitive Styles Analysis (CSA)
-

- ▷ General mental abilities (intelligence)
 - Hierarchical abilities (fluid, crystallized, and spatial)
- ▷ Primary mental abilities
 - Products
 - Operations
 - Content
- ▷ Cognitive Controls
 - Field dependence / independence (global vs. articulated style)
 - Field articulation (cognitive flexibility)
 - Cognitive tempo (reflectivity / impulsivity)
 - Focal attention (scanning / focussing)
 - Category width (breadth of categorizing)
 - Cognitive complexity / simplicity
 - Strong versus weak automatization
- ▷ Cognitive Styles: Information gathering
 - Visual / haptic
 - Visualizer / verbalizer
 - Leveling / sharpening
- ▷ Cognitive styles: Information organizing
 - Serialist / holist
 - Conceptual style
- ▷ Learning styles
 - Hill's cognitive style mapping
 - Kolb's learning styles
 - Dunn and Dunn learning styles
 - Grasha-Reichmann learning styles
 - Gregorc learning styles
- ▷ Personality: Attentional and engagement styles
 - Anxiety
 - Tolerance for unrealistic experiences
 - Ambiguity tolerance
 - Frustration tolerance
- ▷ Personality: Expectancy and incentive styles
 - Locus of control
 - Introversion / extraversion
 - Achievement motivation
 - Risk taking vs. cautiousness
- ▷ Prior knowledge
 - Prior knowledge and achievement
 - Structural knowledge

Abbildung 3.8: Diversitätsvariablen von Lernenden nach Jonassen und Grabowski (1993, S.4f.)

- ▷ Sternberg's Thinking Styles Inventory (TSI)
- ▷ Vermunt's Inventory of Learning Styles (ILS).

Schulmeister (2006) hält zusätzlich die Ansätze von Biggs (1987), Felder und Silverman (1988), Schmeck, Geisler-Brennstein und Cercey (1977) und Witkin (1962) für erwähnenswert. Diese werden von Coffield et al. (2004) zwar auch aufgeführt, aber als weitere Repräsentanten der gewählten 13 Kategorien betrachtet und insofern nicht näher erläutert.

Um die Unterschiedlichkeit der einzelnen Ansätze zu demonstrieren, werden an dieser Stelle drei Konzepte kurz skizziert, und zwar die Modelle von Dunn und Dunn, Kolb und Felder-Silverman. Auf eine Typisierung in *Verbalisierer* und *Visualisierer* wurde bereits in Kapitel 2.3.4 eingegangen.

Dunn und Dunn unterscheiden zunächst fünf so genannte Stimuli: Dies sind *umweltbedingte*, *emotionale*, *soziologische*, *physiologische* und *psychologische Elemente*, die einen signifikanten Einfluss auf das Lernen haben. Diese Stimuli definieren vier Variablen, die wiederum unterschiedliche Faktoren einschließen. Zur *umweltbedingten Variablen* zählen die Faktoren Geräusch (engl. *sound*), Temperatur, Licht und Raumgestaltung, zur *emotionalen Variablen* die Faktoren Motivation, Grad der eigenen Verantwortung, Ausdauer und das Bedürfnis nach Struktur, zur *soziologischen Variablen* die Faktoren Einzel-, Partner- und Gruppenarbeit, Hilfe bzw. Unterstützung durch autoritäre Lehrpersonen sowie Motivation durch Eltern oder Lehrer, zur *physischen Variablen* die Faktoren Sinnesmodalität (visuell, auditiv, kinästhetisch, taktil), Nahrung (Essen und Trinken), Tageszeit und Mobilität.

Der psychologische Stimulus wurde neu in das Modell aufgenommen und berücksichtigt informationsverarbeitende Prozesse (*global vs. analytisch*, *impulsiv vs. reflektierend*) (Coffield, Morseley, Hall und Ecclestone, 2004).

Kolbs Lernstil-Modell unterscheidet im Wesentlichen zwei Präferenzen, und zwar die Präferenz *Concrete Experience* vs. *Abstract Conceptualization* bezüglich der Informationsaufnahme und die Präferenz *Active Experimentation* vs. *Reflective Observation* hinsichtlich der Informationsverarbeitung. Die möglichen Kombinationen dieser Eigenschaften führen zu vier verschiedenen Lerntypen (Felder, 1996; Schulmeister, 2006):

Typ	Bezeichnung	Paarung	Charakteristische Frage
Typ 1	Divergierer	concrete, reflective	„Warum?“
Typ 2	Assimilierer	abstract, reflective	„Was?“
Typ 3	Konvergierer	concrete, active	„Wie?“
Typ 4	Akkomodierer	concrete, active	„Was ist, wenn?“

Das *Felder-Silverman-Modell* (Felder, 1996) klassifiziert fünf verschiedene Präferenzen: Diese sind *Sensing* vs. *Intuitive Learners*, *Visual* vs. *Verbal Learners*, *Inductive* vs. *Deductive Learners*, *Active* vs. *Reflective Learners* und *Sequential* vs. *Global Learners*.

Wie diese kurze Skizzierung der drei Lernstil-Modelle bereits zeigt, basieren die Ansätze zur Lernstilforschung auf völlig unterschiedlichen Konzepten. Dazu zählen beispielsweise Sinnesabhängigkeit (auditiv, visuell, verbal, haptisch, dual coding), Sachabhängigkeit (Fachinhalt, Aufgabentyp), Situationsabhängigkeit (Kontext) oder auch Personenabhängigkeit (extrovertiert - introvertiert) (Schulmeister, 2006). Coffield et al. (2004) klassifizieren fünf Familien von Lernstilen für eine Einteilung aller Lernstil-Konzepte, in die sie die verschiedenen Ansätze einordnen (Abbildung 3.9).

Kritische Anmerkungen

Ein Wissen um Lernstile, Lerntypen und andere das Lernen beeinflussende individuelle Eigenschaften ist deshalb so interessant, weil sich damit in einem zweiten Schritt Hypothesen für ein besseres Lehren ableiten lassen: Wenn es möglich wäre, Lernende nach gewissen Kategorien bestimmten zumindest annähernd eindeutigen Lerntypen zuzuordnen, könnte anhand dieser Zuordnung Unterricht bzw. eine Lernumgebung optimal an den jeweiligen Lernenden angepasst werden.

Es gibt einen eigenen Forschungszweig, der mögliche Wechselbeziehungen zwischen individuellen Lernvoraussetzungen und eingesetzten Lehrmethoden untersucht, die so genannte ATI-Forschung. „ATI“ steht dabei für „aptitude-treatment-interaction“, was die oben beschriebene Wechselbeziehung beschreibt. Die ATI-Forschung hat zum Ziel, anpassungs-relevante Lernereigenschaften zu identifizieren (Cronbach, 1975; Cronbach und Snow, 1977; Jonassen und Grabowski, 1993; Schwarzer und Steinhagen, 1975). Sie erforscht den Einfluss lernerrelevanter Eigenschaften auf das Lernergebnis unter Verwendung unterschiedlicher Lehrmethoden (Jonassen und Grabowski, 1993).

Die Forschungsergebnisse haben (nicht überraschend) gezeigt, dass Lernende mit unterschiedlichen persönlichen Eigenschaften auf unterschiedliche Lehrangebote auch unterschiedlich reagieren. Daraus lässt sich ableiten, dass Lernende mit unterschiedlichen persönlichen Eigenschaften auch unterschiedliche Lernerfolge erzielen - in Abhängigkeit von den Anforderungen der gestellten Lernaufgabe und ihren persönlichen Fähigkeiten und Lernstilen. Jonassen und Grabowski (1993) äußern sich hierzu jedoch wie folgt:

Although both of these beliefs are intuitively obvious to any experienced educator, the research base is inconsistent. Support for these hypotheses is less than definitive. (Jonassen und Grabowski, 1993, S.viii)

Dies ist auch der Grund, warum an dieser Stelle nicht weiter vertiefend auf Lernstile oder andere Lernereigenschaften und deren mögliche Konsequenzen für das Lehren eingegangen wird. Zum einen zeigt beispielsweise die Vielfalt der existierenden Modelle für eine Einteilung der Lernstile, dass es hierzu kein einheitliches Konzept gibt. Zum anderen sind die jeweiligen empirischen Nachweise der einzelnen Modelle oft nicht sehr stichhaltig. So äußern sich Jonassen und Grabowski (1993) in ihrem Vorwort wie folgt:

Learning styles and preferences are largely constitutionally based including the four modalities: visual, auditory, kinaesthetic, tactile.	Learning styles reflect deep-seated features of the cognitive structure , including „patterns of ability“ .	Learning styles are one component of a relatively stable personality type .	Learning styles are flexibly stable learning preferences.	Move on from learning styles to learning approaches , strategies, orientations and conceptions of learning .
Dunn and Dunn Gregorc Bartlett Betts Gordon Marks Paivio Richardson Sheehan Torrance	Riding Broverman Cooper Gardner et al. Guilford Holzman and Klein Hudson Hunt Kagan Kogan Messick Pettigrew Witkin	Apter Jackson Myers-Briggs Epstein and Meier Harrison-Branson Miller	Allinson and Hayes Herrmann Honey and Mumford Kolb Felder and Silverman Hermanussen, Wierstra, de Jong and Thijssen Kaufmann Kirtton McCarthy	Entwistle Sternberg Vermunt Biggs Conti and Kolody Grasha-Riechmann Hill Marton and Slj McKenney and Keen Pask Pintrich, Smith, Garcia and McCeachie Schmeck Weinstein, Zimmerman and Palmer Whetton and Cameron

Abbildung 3.9: Families of learning styles nach Coffield, Morseley, Hall und Ecclestone (2004, S.9)

It is important to note that many of our implications and predictions are not validated by existing research; however, they are based on reasonable inferences that may be used by the reader as hypotheses for conducting research or as metaphors or as useful heuristics for describing how to adapt instruction to individual differences. (Jonassen und Grabowski, 1993, S.ix)

Ebenso betonen Coffield, Morseley, Hall und Ecclestone (2004) elf Jahre später:

It is important to note that the field of learning styles research as a whole is characterised by a very large number of small-scale applications of particular models to small samples of students in specific contexts. (Coffield, Morseley, Hall und Ecclestone, 2004, S.1)

Vor dem Hintergrund medialer Angebote gewinnt die ATI-Forschung erneut an Bedeutung. Im Zentrum steht die Anpassung (Adaptation) von Programmen, insbesondere Lehr-/Lernprogrammen, an die Bedürfnisse und Eigenschaften des Lernenden (siehe Kapitel 4.3 Adaptation). Insofern wären gesicherte Ergebnisse wünschenswert. Jonassen und Grabowski (1993) formulieren eine mögliche Vertiefung der Forschungsergebnisse wie folgt:

ATI research provides a descriptive model for considering the role of individual differences in learning that will be useful in directing further investigation. More and better research may enable those descriptive theories to be translated into prescriptive theories. (Jonassen und Grabowski, 1993, S.ix)

Wie die Untersuchungen von Coffield et al. (2004) jedoch zeigen, existiert nach wie vor ein Bedarf an gesicherten Ergebnissen. Coffield et al. (2004) fassen hinsichtlich der Forschung und Forschungsergebnisse zu Lernstilen sehr kritisch zusammen:

A knowledge of learning styles can be used to increase the self-awareness of students and tutors about their strengths and weaknesses as learners. In other words, all the advantages claimed for metacognition (ie [sic!] being aware of one's own thought and learning processes) can be gained by encouraging all learners to become knowledgeable about their own learning and that of others. (Coffield, Morseley, Hall und Ecclestone, 2004, S.119)

Dennoch ist dieser Aspekt an sich nicht zu vernachlässigen. Jonassen und Grabowski (1993) sehen darin bereits ein wichtiges Ziel:

Awareness of individual differences will make educators (teachers and instructional designers) more sensitive to their role in learning. At the very least, this awareness may provide educators with a better understanding of difficulties that arise for certain learners in relation to specific tasks. (Jonassen und Grabowski, 1993, S.viii)

Im Kontext medialer Angebote kann dies jedoch nicht bedeuten, dass eine Umsetzung *aller* möglichen Lernstile angestrebt werden sollte. Dies wäre nach Schulmeister (2006) ein zu aufwändiges und kostspieliges Vorhaben. Andererseits steht die Ausarbeitung adaptiver Komponenten in Lehr-/Lernprogrammen in vielen Fällen auch unter dem Einfluss der ATI-Forschungsergebnisse. Sie ist somit von ähnlichen Problemen begleitet, wenn nicht eindeutig und sinnvoll festgelegt werden kann, anhand welcher Kriterien welche Adaptationsmassnahmen zu treffen sind (siehe Kapitel 4.3 Adaptation).

Schulmeister (2006) sieht eine Lösung dieses Problems in der Verwendung *offener Lernumgebungen*, die die Konzepte des *Entdeckenden Lernens*, des *Fallbasierten Lernens* und des *Problemorientierten Lernens* sowie das Lernen mit *kognitiven Werkzeugen*, engl. *mind tools*, miteinander verbinden (siehe Kapitel 4.2.8 *Offene Lernumgebungen*).

3.3 Möglichkeiten didaktischer Konzepte in medialen Angeboten

Lernen mit Medien kann auf unterschiedliche Art und Weise stattfinden. In Kapitel 5 wird gezielt vorgestellt werden, welche Formen des Lernens alle unter dem Begriff „E-Learning“ verstanden werden und welchen Einfluss die verschiedenen lerntheoretischen Richtungen auf die Gestaltung medialer Angebote genommen haben und nehmen. Dieses Kapitel konzentriert sich daher mehr auf allgemeingültige Möglichkeiten didaktischer Umsetzung.

Nach Klimsa (2002) beschränkten sich didaktische Nutzungsmodelle für mediale Angebote lange Zeit auf eine Rolle des Lernenden als Teilnehmer oder Konsumenten des medial vermittelten Lehrprozesses. Das Nachvollziehen abstrakten Expertenwissens stand im Mittelpunkt. Ein Problem hierbei ist, dass Konsument und Produzent nicht unbedingt die gleichen Vorstellungen über die Steuerung und innere Logik des medialen Angebots haben müssen. Für ein erfolgreiches Lernen muss der Lernende eigene Konstrukte in die Schnittstellengestaltung einbringen und zweckmäßige Anpassungen vornehmen dürfen (vgl. Kapitel 4.3 über Adaptation). Dies ist besonders wichtig, damit der Lernende ein eigenes mentales Modell entwickeln kann.

3.3.1 Verwendung mentaler Modelle

Mediale Lernangebote vermitteln in der Regel sehr komplexes Wissen. Eine solche Wissensstruktur wird nach Johnson-Laird (1980); Gentner und Stevens (1983); Dutke (1994) kognitionspsychologisch als mentales Modell konzipiert (vgl. Kapitel 2.2.3, S.80).

Nach Weidenmann (2002b) findet das Konzept der mentalen Modelle für mediale Angebote noch wenig Verwendung. Er schlägt darum vor, bei einem konkreten Lernziel zuerst das erwünschte mentale Modell zu erstellen und dann in einem zweiten Schritt danach zu fragen, welche medialen Angebote für den Lernenden bei der

Konstruktion welcher Elemente des mentalen Modells hilfreich sein könnten. Dies bedeutet gleichzeitig, auch nach dem spezifischen Beitrag eines medialen Lernangebots zum Wissenserwerb zu fragen:

Welche Merkmale dieses medialen Angebots spielen welche Rolle bei der Entwicklung oder Veränderung der Wissensstruktur des Lerners zu der speziellen Domäne, in der gelernt werden soll? (Weidenmann, 2002b, S.54)

3.3.2 Instruktionsmodell und Projektmodell

Brunner und Tally (1999) stellen zwei Szenarien dar, wie neue Medien Einsatz im Unterricht finden können. Im *Instruktionsmodell* (engl. *instructional delivery model*) arbeiten Schüler vor allem allein mit didaktischer Software, während Lehrende als Moderatoren fungieren. Die Medien dienen zur direkten Instruktion, ob im Frontal- oder im Einzelunterricht. Lernen wird insbesondere als Erwerb von Faktenwissen verstanden.

Im *Projektmodell* (engl. *inquiry model*) wird ein anderes Verständnis von Lernen zugrunde gelegt. Es geht nicht nur darum, komplexe offene Probleme gemeinsam mit anderen Schülern zu lösen. Vielmehr geht es darum, das Lernen als Ganzes zu gestalten. Schüler lernen im Unterricht den Gebrauch vieler verschiedener Hilfsquellen; die neuen Medien sind dabei eines von vielen anderen Werkzeugen wie Bücher, Büchereien, Museen, Videos, erwachsene Experten innerhalb wie außerhalb der Schule. Der Lehrende wählt Ziele und Inhalte aus und ist vor allem Lernberater. Selbstgesteuertes Lernen steht im Mittelpunkt. Die neuen Technologien sind im Wesentlichen Werkzeuge zur Unterstützung des selbstgesteuerten Lernens, zur Darstellung der Ergebnisse und als Kommunikationswerkzeug.

3.3.3 Modell von Lernanwendungen nach Euler

Euler (1992) stellt ein grundsätzliches Modell von Lernanwendungen auf, das auf vier hauptsächlichen Programmkomponenten basiert, die nach Strzebkoski und Kleeberg (2002) zugleich den lernpsychologischen Merkmalen einer Lernsoftware entsprechen. Diese vier Komponenten sind:

- ▷ die MOTIVIERUNGSKOMPONENTE,
Aufgabe: Anregung und Aufmerksamkeitserhaltung
 - ▷ die PRÄSENTATIONSKOMPONENTE,
Aufgabe: Anschaulichkeit der Informationspräsentation
 - ▷ die INTERAKTIONSKOMPONENTE,
Aufgabe: aktiver Wissenserwerb
 - ▷ die ABLAUFSTEUERUNGSKOMPONENTE,
Aufgabe: Individualisierung des Lernprozesses
-

Diese genannten vier Hauptkomponenten sind Gestaltungsaspekte und als solche alle miteinander verzahnt. Sie haben auf alle Bereiche einer Lernanwendung Einfluss (siehe Abbildung 3.10). Die inneren Bestandteile des Modells stellen typische funktionale Bausteine und Prozesse einer Lernsoftware dar.

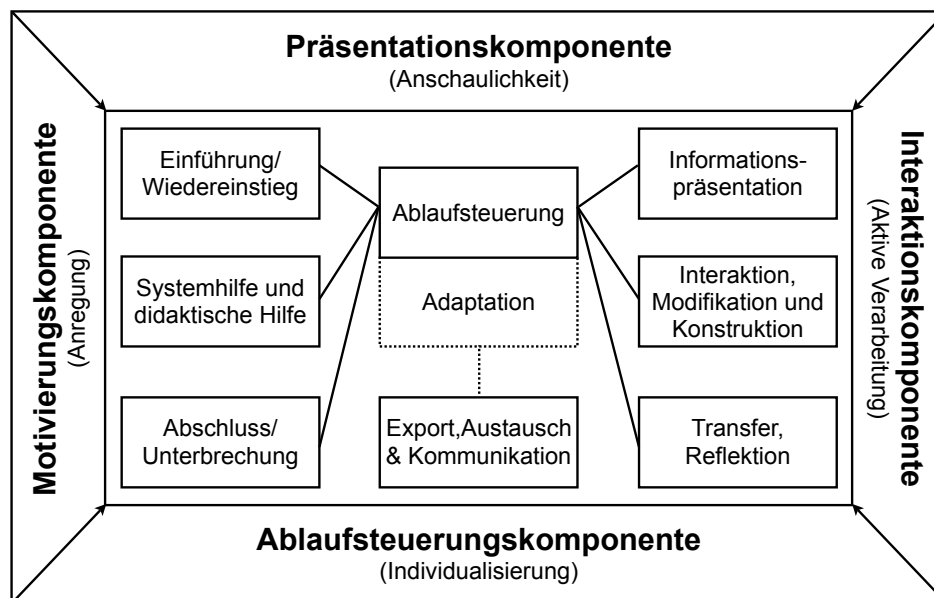


Abbildung 3.10: Erweitertes Allgemeinmodell für Lernsoftware (in Anlehnung an Euler (1992), zitiert nach Strzebkoski und Kleeberg (2002))

3.3.4 Grundlegende didaktische Strategien

Als grundlegende didaktische Strategien für die Struktur medialer Angebote empfiehlt Issing (2002) bewährte Vorgehensweisen aus der Didaktik. Diese stimmen in ihren Kernaussagen mit den „events of instruction“ von Gagné überein (Issing, 2002, S.162):

- ▷ Aufmerksamkeit erregen, motivieren, problematisieren
- ▷ an Vorkenntnisse und Erfahrungen anknüpfen
- ▷ die Lernziele vereinbaren
- ▷ das Lernen aktivieren und unterstützen (durch Aktivierung relevanten Vorwissens, durch Informationsangebote, Hinweise und Hilfen, Beispiele, Fragen und Aufgaben, Rückmeldung und Korrektur)
- ▷ das Neugelernte mit dem bereits Vorhandenen verknüpfen
- ▷ das Gelernte vertiefen, festigen, üben, anwenden, wiederholen
- ▷ den Lernerfolg ermitteln und rückmelden
- ▷ auf weitere Lernmöglichkeiten hinweisen

Für die Abfolge der Lernschritte nennt Issing folgende altbewährte didaktische Regeln (Issing, 2002, S.163): vom Allgemeinen zum Besonderen, vom Bekannten zum Unbekannten, vom Einfachen zum Komplexen, vom Leichten zum Schwierigen, vom Naheliegenden zum Entfernten, vom Interessanten zum weniger Interessanten, entsprechend der chronologischen Abfolge, entsprechend der natürlichen Prozessabfolge, entsprechend der Fachsystematik, entsprechend der Sachlogik usw.

Issing nennt des Weiteren eine Reihe von Techniken für die Planung von Lehr-/Lernprozessen, die von der Kognitionspsychologie empfohlen werden (Issing, 2002, S.163):

- ▷ **CHUNKING:**
in Einheiten zerlegen
- ▷ **CONCEPT MAPPING:**
Inhalte und Konzepte räumlich zuordnen
- ▷ **ADVANCE ORGANIZERS:**
neue Inhalte vorstrukturieren
- ▷ **VERANSCHAULICHUNG:**
Abstraktes bildlich darstellen, beispielsweise durch Diagramme
- ▷ **IMAGERY:**
durch Vorstellungsbilder die Entwicklung mentaler Modelle anregen
- ▷ **VERGLEICHE, METAPHERN, ANALOGIEN:**
Ähnlichkeitsstrukturen zu bereits Bekanntem aufzeigen
- ▷ **BEHALTENSTECHNIKEN:**
durch Gedächtnisstützen das Behalten fördern usw.

Park und Hannafin (1993, S.68f.) geben für zwanzig Prinzipien aus der Wahrnehmungs- und Kognitionspsychologie eine Ableitung für die Konsequenzen bei der Entwicklung von medialen Angeboten an:

1. Related prior knowledge is the single most powerful influence in mediating subsequent learning. ▷ *Layer information to accomodate multiple levels of complexity and accomodate differences in related prior knowledge.*
2. New knowledge becomes increasingly meaningful when integrated with existing knowledge. ▷ *Embed structural aids to facilitate selection, organization, and integration; embed activities that prompt learners to generate their own unique meaning.*
3. Learning is influenced by the supplied organization of concepts to be learned. ▷ *Organize lesson segments into internally consistent idea units.*
4. Knowledge to be learned needs to be organized in ways that reflect differences in learner familiarity with lesson content, the nature of the learning task, and assumptions about the structure of the knowledge. ▷ *Linkages between and among nodes need to reflect the diverse ways in which the system will be used.*

5. Knowledge utility improves as processing and understanding deepen. ▷ *Provide opportunities to reflect critically on learning and to elaborate knowledge; encourage learners to articulate strategies prior to, and subsequent to interacting with the environment.*
 6. Knowledge is best integrated when unfamiliar concepts can be related to familiar concepts. ▷ *Use familiar metaphors both in conveying lesson content and designing the system interface.*
 7. Learning improves as the number of complementary stimuli used to represent learning content increases. ▷ *Present information using multiple, complementary symbols, formats, and perspectives.*
 8. Learning improves as the amount of mental invested effort increases. ▷ *Embed activities that increase the perceived demand characteristics of both the media and learning activities.*
 9. Learning improves as competition for similar cognitive resources decreases and declines as competition for the same resources decreases. ▷ *Structure presentations and interactions to complement cognitive processes and reduce the complexity of the progressing task.*
 10. Transfer improves when knowledge is situated in authentic contexts. ▷ *Anchor knowledge in realistic contexts and settings.*
 11. Knowledge flexibility increases as the number of perspectives on a given topic increases and the conditional nature of knowledge is understood. ▷ *Provide methods that help learners acquire knowledge from multiple perspectives and cross-reference knowledge in multiple ways.*
 12. Knowledge of details improves as instructional activities are more explicit, while understanding improves as the activities are more integrative. ▷ *Differentiate orienting activities for forthcoming information based upon desired learning; provide organizing activities for information already reviewed.*
 13. Feedback increases the likelihood of learning response-relevant lesson content, and decreases the likelihood of learning response-irrelevant lesson content. ▷ *Provide opportunities to respond and receive response-differentiated feedback where critical information is involved, but avoid excessive response focusing when identical learning is expected.*
 14. Shifts in attention improve the learning of related concepts. ▷ *Differentiate key terms, concepts, and principles through cosmetic amplification, repetition, and recasting.*
 15. Learners become confused and disoriented when procedures are complex, insufficient, or inconsistent. ▷ *Provide clearly defined procedures for navigating within the system and accessing online-support.*
-

16. Visual representations of lesson content and structure improve the learner's awareness of both the conceptual relationships and procedural requirements of a learning system. $\triangleright$ *Provide concept maps to indicate the inter-relationships among concepts, and hypermaps to indicate the location of the learner relative to other lesson segments.*
17. Individuals vary widely in their need for guidance. $\triangleright$ *Provide tactical, instructional, and procedural assistance.*
18. Learning systems are most efficient when they adapt to relevant individual differences. $\triangleright$ *Interactive multimedia must adapt dynamically to both learner and content characteristics.*
19. Metacognitive demands are greater for loosely structured learning environments than for highly structured ones $\triangleright$ *Provide prompts and self-check activities to aid the learner in monitoring comprehension and adapting individual learning strategies.*
20. Learning is facilitated when system features are functionally self-evident, logically organized, easily accessible, and readily deployed. $\triangleright$ *Employ screen design and procedural conventions that require minimal cognitive resources, are familiar or can be readily understood, and are consonant with learning requirements.*

Prinzip 6 besagt beispielsweise, dass Wissen am besten integriert wird, wenn unbekannte Aspekte mit bekannten und vertrauten Aspekten in Verbindung gebracht werden können. Die daraus resultierende Folgerung bezieht sich nicht nur auf die Wissensvermittlung, sondern auch auf das Design der Benutzeroberfläche: Für beides sollten vertraute Metaphern verwendet werden. Dies kann dabei helfen, die „cognitive load“ für den Lernenden zu verringern, da Metaphern konzeptuelle und funktionale Parallelen zwischen Vorwissen und neuem Wissen bereitstellen können (vgl. auch Kapitel 7.3 Metaphern).

3.4 Mathematiklernen

Bislang wurden allgemeingültige Modelle und Konzepte des Lehrens und Lernens vorgestellt. In diesem Kapitel geht es nun gezielt um einige Besonderheiten des Mathematiklernens.

Im *Handwörterbuch für Pädagogische Psychologie* (Rost, 2006) gibt es zu dem Stichwort *Mathematiklernen* einen eigenen Eintrag von Stern, Felbrich und Schneider (2006). Demnach beruht die Fähigkeit mathematischen Denkens zwar auf angeborenen Kompetenzen, ist aber an sich eine zu erlernende Fähigkeit:

Mathematik ist - wie die Schriftsprache - ein Ergebnis kultureller Entwicklung, d.h. beide wurden zwar auf der Grundlage angeborener Kompetenzen entwickelt, können jedoch nicht als angeboren betrachtet werden [...]. (Stern, Felbrich und Schneider, 2006, S.461).

Dass Mathematik mehr als nur den Zahlbegriff umfasst, zeigen Stern et al. (2006) an einem einfachen, aber eindrucksvollen Beispiel: Kinder lernen intuitiv größere Mengen auch mit größeren Zahlen zu bezeichnen. Mit dem Zehnersystem wird diese Vorstellung erstmalig unterbrochen: Es gilt zu verstehen, warum die Zahl 3 in der Zahl 39 letztlich „größer“ ist als die Zahl 9. Mit der Einführung von „Zehnern“ und „Einern“ und entsprechenden Veranschaulichungen gelingt dies jedoch in der Regel recht gut.

Besonders deutlich wird die Abkehr von der schlichten Regel, dass größere Zahlen immer größere Mengen bezeichnen, mit der Einführung von Brüchen und Dezimalzahlen. Für viele Kinder ist $1/8$ größer als $1/4$. Dass Bruch- und Dezimalzahlen nur in Abhängigkeit von einer variablen Grundeinheit interpretiert werden können, wird von den Kindern vielfach noch nicht realisiert.

Einen großen Einfluss kann an dieser Stelle auch die Sprache haben. Wenn beispielsweise der Bruch $3/5$ als „drei von fünf“ beschrieben wird, so scheint es in der folgenden Situation durchaus angebracht, beim Addieren von Brüchen jeweils Zähler und Nenner zu addieren:

Heute habe ich drei von fünf Brötchen gegessen und gestern habe ich vier von acht Brötchen gegessen. (Stern, Felbrich und Schneider, 2006, S.461)

Also wurden insgesamt sieben von dreizehn Brötchen verzehrt, was zu der falschen, aber von Kindern oft ausgeführten Rechnung $3/5 + 4/8 = 7/13$ führen kann. Probleme mit dem Verhältnis zweier Größen als einer neuen Einheit haben aber nicht nur Kinder. Wird der Quotient zweier Größen als eigenständige neue Größe repräsentiert, wie beispielsweise das Verhältnis von Weg zu Zeit als Geschwindigkeit, kann auch Erwachsenen der Bezug zu den Dimensionen, aus denen die zusammengesetzte Größe besteht, verloren gehen:

Der Weg von der Wohnung zur Arbeit wird mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h zurückgelegt und die mittlere Geschwindigkeit von der Arbeit zur Wohnung beträgt 30 km/h. Wie hoch ist die durchschnittliche Geschwindigkeit beider Wege? (Stern, Felbrich und Schneider, 2006, S.462)

Diese Aufgabe wird nach Stern et al. (2006) von 90 Prozent der Universitätsstudenten mit „40 km/h“ beantwortet. Die richtige Antwort lautet „37,5 km/h“; die falsche Antwort ergibt sich, wenn anstatt des Weges die Zeit als konstant angenommen wird. Stern et al. (2006) fassen an dieser Stelle zusammen:

Die aufgeführten Beispiele sollen zeigen, dass mathematisches Verständnis nicht nur auf die Operation mit Zahlen und Formeln reduziert werden kann, sondern sich vor allem darin ausdrückt, sprachlich gespeichertes Situationswissen in Formeln zu übersetzen. Dies wird besonders beim Lösen von Textaufgaben deutlich. (Stern, Felbrich und Schneider, 2006, S.462)

Während (Stern et al., 2006) hier die Bedeutung von Sprache und deren Umsetzung in mathematische Kontexte betonen, um zu verdeutlichen, dass Mathematik sich nicht nur auf die Operation mit Zahlen und Formeln beschränken lässt, beschreiben Barzel, Hußmann und Leuders (2005) umfassend, was das Mathematiklernen kennzeichnet:

Mathematische Begriffe und Denkweisen entstehen durch Erfahrung mit Phänomenen der Wirklichkeit einerseits und durch deren theoretische Durchdringung andererseits. Dieses Spannungsfeld kennzeichnet sowohl den Erkenntnisgewinn in der Mathematik als Wissenschaft wie das Mathematiklernen in der Schule.

Die „theoretische Durchdringung“ ist gekennzeichnet durch Prozesse des Strukturierens, des Ordnen, des Vernetzens, des Idealisierens, des Anwendens usw. Mathematiklernen ist also eine aktive, konstruktive und kommunikative Tätigkeit [...]. (Barzel, Hußmann und Leuders, 2005, S.23)

Dieses Verständnis von Mathematiklernen und eine dementsprechende Umsetzung war jedoch nicht immer das Ziel von Mathematikunterricht. Bevor jedoch ein Überblick über Konzepte und Prinzipien des Mathematikunterrichts mit einer stärkeren Betonung der heute gültigen Modelle gegeben wird, soll zunächst zur besseren Einordnung auf die verschiedenen Arten des Mathematiklernens eingegangen werden:

3.4.1 Arten des Mathematiklernens

Zech (2002) unterscheidet sieben verschiedene Arten des Mathematiklernens:

1. Assoziatives Lernen
2. Diskriminationslernen
3. Lernen mathematischer Begriffe
4. Lernen mathematischer Regeln
5. Lernen heuristischer Regeln
6. Lösen mathematischer Probleme
7. Beobachtungslernen

Dabei orientiert er sich an den Lernarten von Gagné (siehe Kapitel 3.2.4, S.171 und Abbildung 3.4, S.172). Zech (2002) nimmt allerdings einige Uminterpretationen vor und ergänzt um das Beobachtungslernen, welches insofern ein neues Element ist, als es sich nicht in den Kanon der Lernarten nach Gagné einordnen lässt.

1. Assoziatives Lernen

Assoziatives Lernen umfasst die auf den kognitiven Bereich beschränkten Gagné-schen Grundformen des Lernens: Signallernen, Reiz-Reaktions-Lernen, Kettenbildung und sprachliche Assoziation. Assoziatives Lernen steht somit für den Aufbau

von Automatismen, d.h. für den Aufbau längerer oder kürzerer Reiz-Reaktions-Verbindungen im kognitiven Bereich.

Im Kontext der Mathematik zählen zu solchen Automatismen solche Verfahren oder Wissensbausteine, die ohne längeres Nachdenken abrufbar sein sollten. Beispiele hierfür sind das kleine Einmaleins, schriftliche Rechenverfahren, Verfahren der Bruchrechnung, Termumformungen oder das Lösen von Gleichungen. Stehen solche Wissensbausteine zur Verfügung, können sie das Denken für höhere Operationen entlasten. Zech (2002) betont an dieser Stelle jedoch, dass es dabei nicht darum geht, Automatismen für sich und vorneweg ohne Verständnis dem Lernenden einzudrillen. Das Erlernen von Automatismen setzt bei einer didaktisch sinnvollen Lernsequenz in der Regel das Verständnis von Begriffen und Regeln voraus.

2. Diskriminationslernen

Der Begriff des *Diskriminationslernens* bezieht sich auf das Unterscheidenkönnen verschiedener, auch ähnlicher Dinge sowie von Begriffen. Gagné beschränkt diesen Begriff auf ein bloßes Wahrnehmungslernen tatsächlicher Objekte (wie beispielsweise viereckige Formen) und Beziehungen zwischen solchen Objekten (Zech, 2002). Die nach Zech (2002) definierte Diskrimination ist in zweierlei Hinsicht von Bedeutung: Zum einen ist sie eine wesentliche Voraussetzung für das Begriffslernen, denn zwei Dinge müssen erst als verschieden erkannt worden sein, bevor gemeinsame Eigenschaften zwischen ihnen festgestellt werden können. Zum anderen ist Diskrimination auf einer höheren Ebene als Ergebnis des Lernens von Begriffen erwünscht.

3. Lernen mathematischer Begriffe

Wird eine Anzahl von Objekten oder Ereignissen aufgrund bestimmter übereinstimmender Merkmale mit einem gemeinsamen Namen belegt, so wird im Allgemeinen von einem *Begriff* gesprochen (vgl. Weinert, 1974).

Innerhalb der Mathematik können verschiedene Arten mathematischer Begriffe unterschieden werden. Zech (2002) unterscheidet zum einen zwischen *Eigenschaftsbegriffen* und *Relationsbegriffen* und zum anderen zwischen *einfachen* und *zusammengesetzten Begriffen*:

Eigenschaftsbegriffe sind solche Begriffe, die auf einzelne Objekte zutreffen oder eben nicht zutreffen, wie beispielsweise „dreieckig“, „rechtwinklig“ oder „Primzahl“.

Relationsbegriffe können nicht mehr einzelnen Objekten, sondern Paaren, Tripeln oder einem Vielfachen von Objekten zugesprochen werden. Beispiele hierfür sind „ist länger als“, „liegt zwischen“ oder „stehen senkrecht aufeinander“.

Einfache Begriffe sind in der axiomatisch betriebenen Mathematik nach Zech (2002) die so genannten „Grundbegriffe“. Grundbegriffe sind zum Beispiel die Begriffe „Punkt“, „Gerade“, „Ebene“ oder „liegt auf“. Zech (2002) betont an dieser Stelle, dass die Wahl eines Begriffes als Grundbegriff in gewissem Rahmen recht willkürlich sein kann. Sie ist abhängig von der gewählten axiomatischen Basis.

In der Unterrichtspraxis sind Grundbegriffe diejenigen Begriffe, „die keiner Erklärung

mehr bedürfen“ (Zech, 2002). Auch an dieser Stelle betont Zech (2002) die relative Bedeutung dieser Umschreibung. Beispiele solcher Grundbegriffe sind „sich kreuzen“, „liegt unter/ über“, „liegt links/ rechts von“, „Fläche“ oder „Kugel“. In der Regel werden diese Begriffe als Abstraktionen von Beispielen aus der Erfahrungswelt gewonnen, gegebenenfalls um eine umgangssprachliche Erläuterung ergänzt.

Zusammengesetzte Begriffe oder auch abgeleitete oder definierte Begriffe werden auf andere (zusammengesetzte oder einfache) Begriffe zurückgeführt. Die einfachen Begriffe stehen dagegen für sich. Beispiele für zusammengesetzte Begriffe sind das Trapez als ein Viereck mit besonderen Eigenschaften oder die Spiegelung als einer Abbildung einer Ebene auf sich selbst.

Zech (2002) versteht unter dem Lernen mathematischer Begriffe sowohl das Lernen einfacher als auch zusammengesetzter Begriffe. Gagné ordnet dem „Begriffslernen“ das Lernen einfacher „empirischer“ Eigenschafts- oder Relationsbegriffe zu, das Erlernen zusammengesetzter Begriffe gehört bei ihm bereits zum „Regellernen“.

4. Lernen mathematischer Regeln

Zech (2002) versteht unter dem *Lernen mathematischer Regeln* das sinnvolle, rezeptive Lernen von mathematischen Sätzen, Gesetzen, Regeln und inhaltlichen Verfahren. Da das Lernen zusammengesetzter Begriffe nach Zech (2002) noch zum Begriffslernen und nicht wie nach Gagné schon zum Regellernen gezählt wird, liegt hier eine Einschränkung hinsichtlich der Gagnéschen Definition von Regellernen vor.

Beispiele für das Lernen mathematischer Regeln sind der Satz des Pythagoras, das Distributivgesetz für natürliche Zahlen, die Teilbarkeitsregel für die Teilbarkeit einer Zahl durch 9 oder Lösungsverfahren für quadratische Gleichungen.

5. Lernen heuristischer Regeln

Unter dem *Lernen heuristischer Regeln* versteht Zech (2002) das sinnvolle (teils rezeptive, teils entdeckende Lernen) von sowohl inhaltlich orientierten als auch allgemeinen heuristischen Regeln. Auch hier liegt eine Abgrenzung zu Gagné vor, der seine „kognitiven Strategien“ eher mit den allgemeinen heuristischen Regeln verbindet.

Inhaltlich orientierte heuristische Regeln sind solche Regeln oder Strategien, die inhaltlich innerhalb eines mehr oder weniger abgegrenzten Teilgebietes der Mathematik gelten. Sie stehen in direktem Zusammenhang mit der Phase der Anwendung. Es geht dabei in der Regel um die Bewältigung häufiger Standardsituationen.

Beispiele sind die Nutzung von Rechenvorteilen, die zweckmäßige Berechnung eines Hauptnenners, die Verwendung von Baumdiagrammen für die Darstellung multiplikativer Zusammenhänge oder die Anwendung von Kongruenzsätzen für Beweise in der Geometrie.

Allgemeine heuristische Regeln sind solche Regeln oder Strategien, die für alle mathematischen Teilgebiete gelten. Teilweise sind sie sogar von fachübergreifender Bedeutung. Es besteht hier ein direkter Zusammenhang zum Lösen mathematischer

Probleme. Beispiele allgemeiner heuristischer Regeln sind die Analyse der Daten bei Problemlöseaufgaben, der gezielte Einsatz von bereits erworbenem Wissen oder die Überprüfung von Zwischenergebnissen.

6. Lösen mathematischer Probleme

Unter dem *Lösen mathematischer Probleme* versteht Zech (2002) ein entdeckendes Lernen mathematischer Zusammenhänge. Wesentliche Elemente sind das Lösen von Sachaufgaben, geometrische Konstruktionen sowie das Beweisen von Sätzen. Eine andere Art der Kennzeichnung, die den besonderen Anspruch von Problemlöseaufgaben betont, ist die Beschreibung von Problemlöseaufgaben als solche Aufgaben, die ein hohes Maß an Transfer erfordern.

7. Beobachtungslernen

Zech (2002) betont, dass beim *Beobachtungslernen* nach Bandura (vgl. Kapitel 3.2.4, S.173) Lernen nicht im engen Sinne eines reinen „Vormachens - Nachmachens“ zu verstehen ist, sondern dass dabei eine echte Informationsverarbeitung stattfindet. Diese lässt sich als „innere Nachahmung“, „Nach-Denken“ und „Bewerten“ während der Beobachtung eines entsprechenden Modells bezeichnen (Zech, 2002).

Im Kontext von Mathematikunterricht ist hervorzuheben, dass Modelle nicht nur konkrete Handlungen mit realen Objekten sind, wie beispielsweise der Umgang mit Zeichengeräten, sondern auch Handlungen symbolischer Natur umfasst, wie zum Beispiel Rechenverfahren oder Vorgehensweisen beim Lösen von Aufgaben.

Darüber hinaus kann auch affektives Verhalten vermittelt werden: Modellierungen können den Wert von Mathematik im Vollziehen mathematischer Tätigkeiten darstellen und so zu einer globalen Einstellung zur Mathematik beitragen; soziale Verhaltensweisen bei der Reaktion auf Fehler können ebenfalls bestimmte Einstellungen zum Umgang mit Fehlern unterstützen (Zech, 2002).

Insbesondere kann die Vermittlung von Kompetenzen zum Aufgabenlösen durch die Modellierung eines überlegten Herangehens an Aufgaben oder einer überlegten Kontrolle von Zwischenschritten unterstützt werden. Zech (2002) verweist an dieser Stelle auf einen möglichen Einsatz des *Kognitiven Modellierens*: Dabei geht es darum, die einzelnen Schritte des Vorgehens nicht nur beobachtbar zu gestalten, sondern sie auch explizit zu formulieren und auszusprechen (siehe auch Kapitel 4.2.5 und Kapitel 3.2.8).

3.4.2 Mathematische Prozesse: Kommunizieren, Problemlösen, Begriffsbilden

Während im vorangegangenen Kapitel verschiedene Arten des Mathematiklernens vorgestellt wurden, wird in diesem Kapitel ein Überblick über solche mathematischen Prozesse gegeben, denen beim Erlernen bzw. Ausüben dieser Formen des Mathe-

matiklernens eine besondere Bedeutung zukommt. In diesem Zusammenhang wird auch oft von mathematischen Kompetenzen gesprochen.

Neue Lehrplanformate formulieren allgemeine wie inhaltsbezogene mathematische Kompetenzen, die von Schülerinnen und Schülern am Ende bestimmter Lernperioden erfüllt werden sollen. Die *Bildungsstandards Mathematik* (zum Beispiel Blum, Dürke-Noe, Hartung und Köller, 2006, S.33) nennen hier die folgenden sechs Kompetenzen:

- K1** Mathematisch argumentieren
- K2** Probleme mathematisch lösen
- K3** Mathematisch modellieren
- K4** Mathematische Darstellungen verwenden
- K5** Mit Mathematik symbolisch, formal und technisch umgehen
- K6** Mathematisch kommunizieren

Hierbei handelt es sich um Fähigkeiten und Fertigkeiten, aber auch Bereitschaften, die in der Mathematik eine wichtige Rolle spielen. Barzel, Hußmann und Leuders (2005, S.41ff.) sprechen in diesem Zusammenhang von *mathematischen Tätigkeiten* bzw. *mathematischen Prozessen*. Sie geben ein Begriffsnetz dieser Tätigkeiten, wobei sie *Kommunizieren*, *Problemlösen* und *Begriffsbilden* als zentrale Prozesse in den Mittelpunkt stellen (siehe Abbildung 3.11).

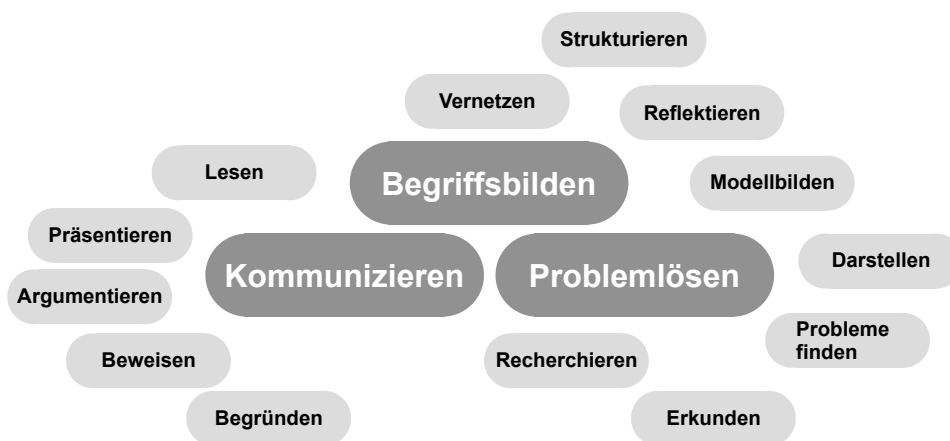


Abbildung 3.11: Ein Begriffsnetz mathematischer Prozesse im Mathematikunterricht (Barzel, Hußmann und Leuders, 2005, S.42)

Barzel et al. (2005) betonen die Subjektivität sowie Zusammenhänge und Widersprüche einzelner Komponenten dieses Netzes und bezeichnen es selbst als weder systematisch noch absolut; dennoch stellt es einen guten Überblick mathematisch relevanten Tuns dar. Die drei genannten Hauptprozesse sowie einige der sie begleitenden Tätigkeiten werden im Folgenden näher erläutert. Dabei sind sie im Einzelnen weder eindeutig noch disjunkt. So lässt sich in der Regel weder Problemlösen noch Begriffsbilden ohne Kommunizieren umsetzen. Reine Mathematiker tendieren

zudem dazu, das Auffinden von Zusammenhängen und das Beweisen mit dem Problemlösen gleichzusetzen, wohingegen anwendende Mathematiker oder Ingenieure diesen Begriff für bestimmte Berechnungen oder Konstruktionen heranziehen und weniger für stichhaltige Begründungen. Ebenso bestehen viele Wechselbeziehungen zwischen dem Problemlösen und dem Begriffsbilden: Begriffe und die sie definierenden mathematischen Gebilde finden beim Problemlösen Anwendung und können in ihrer Tragweite ausgelotet werden. Anders herum kann eine Begriffsfindung das Ziel eines Problemlöseprozesses sein. Trotz dieser Überschneidungen lassen sich jedoch einige charakteristische Merkmale der einzelnen Prozesse festhalten, die in manchen Aufgabenstellungen zudem auch bewusst unterschiedlich gewichtet werden können.

Kommunizieren

Zur Kommunikation mathematischer Inhalte steht ein breites Spektrum von Möglichkeiten zwischen informeller Alltagssprache und formalisierter Fachsprache zur Verfügung. Barzel et al. (2005, S.43) heben an dieser Stelle insbesondere die Bedeutung der Alltagssprache hervor, die es Schülerinnen und Schülern im Unterricht ermöglichen soll, erste Ideen und Assoziationen ohne unmittelbare Bewertung oder Korrektur frei äußern zu können. Dabei sollte Mathematikunterricht neben der informellen Sprache „zunehmend mehr die Schönheit und den Nutzen mathematischer Fachsprache erlebbar [...] machen“.

Kommunikation im Mathematikunterricht hat viele Facetten. Barzel et al. (2005, S.43f.) konzentrieren sich auf die folgenden:

▷ LESEN - INTERPRETIEREN - DOKUMENTIEREN

Eine der grundlegenden Tätigkeiten beim Betreiben von Mathematik ist das *Lesen* - als eine wesentliche Möglichkeit der Aufnahme mathematischer Gedanken. Dabei bezieht sich das Lesen nicht nur auf Texte, sondern auch auf Bilder und Diagramme (siehe hierzu auch Kapitel 2.3.2 *Verbale und piktoriale Lesefähigkeit*). Eng verbunden mit dem Lesen ist das *Interpretieren*, denn es gilt, eigene Deutungen und Erklärungsversuche aus einer mathematischen Dokumentation herauszulösen und mit dem eigenen vorhandenen Wissen zu verbinden. Vor dem Hintergrund von Kommunikation als einem Wechselspiel zwischen Senden und Empfangen ist als Gegenstück zum Lesen das eigene Verfassen von Texten, Bildern und Diagrammen, das *Dokumentieren*, ebenfalls ein wichtiger Bestandteil von Kommunikation.

▷ PRÄSENTIEREN

Neben dem Dokumentieren spielt auch das *Präsentieren* mathematischer Inhalte eine wichtige Rolle, sowohl im Unterricht als auch auf der Plattform einer größeren Öffentlichkeit wie beispielsweise bei Vorträgen oder im Internet. Dabei sollten die verschiedenen Darstellungsformen von Mathematik flexibel eingesetzt werden können (siehe hierzu auch Kapitel 2).

▷ ARGUMENTIEREN UND BEGRÜNDEN

Ein wesentlicher Bestandteil mathematischer Kommunikation ist das *Argumentieren* und *Begründen*. Dabei sollten verschiedene Formen berücksichtigt werden: von ersten intuitiv und spontan geäußerten Vermutungen und Begründungen bis hin zu logisch reflektierten Argumentationsketten mit symbolisch mathematischen Mitteln.

Problemlösen

Beim Problemlösen lassen sich vereinfachend drei Phasen unterscheiden, die zudem nicht unbedingt in chronologischer Abfolge ablaufen müssen:

▷ ERKUNDEN - MODELLBILDEN - RECHERCHIEREN

Um relevante Probleme zu finden und zu präzisieren, ist eine gegebene Situation oder ein gegebener Sachverhalt zunächst zu *erkunden*. Handelt es sich dabei um einen nicht-mathematischen Sachverhalt, ist dieser als ein *mathematisches Modell* zu beschreiben. Fehlende, zur Lösung relevante Informationen müssen *recherchiert* werden.

▷ BEARBEITEN

Zur Bearbeitung eines mathematisch klar umrissenen Problems können unterschiedliche Tätigkeiten und Strategien verwendet werden: Ein Zugang erschließt sich beispielsweise über das Sammeln und Untersuchen von Beispielen, eine andere Vorgehensweise ist das systematische Vorwärts- oder Rückwärtsarbeiten. Die Auswahl geeigneter Darstellungen für das Problem kann auch als ein Schritt in dessen Bearbeitung angesehen werden.

▷ REFLEKTIEREN

Eine durchgeführte Problembearbeitung sowie die gefundenen Ergebnisse sind zu *reflektieren*. Vor allem bei ursprünglich nicht-mathematischen Problemstellungen sind die Ergebnisse zu interpretieren und das gewählte mathematische Modell ist zu überprüfen und zu bewerten.

Barzel et al. (2005) heben an dieser Stelle Unterschiede zu anderen Quellen hervor: Während sie das Modellieren von Realsituationen und das Lösen eines rein innermathematischen Problems zusammenfassen, „[unterscheiden] manche Quellen (so z.B. viele neue Lehrpläne) [...] hier anders: Sie sehen das Modellieren als eigenen Prozess und heben ihn vom Problemlösen ab. Andere Sichtweisen sehen sogar umgekehrt das Modellieren als die übergeordnete Kategorie (so z.B. die PISA-Rahmentexte) und erachten die Unterscheidung nach inner- und außermathematischen Situationen als sekundär.“ (Barzel et al., 2005, S.44f.)

Begriffsbilden

Unter Begriffsbilden wird nicht nur das Lernen bzw. die Kenntnis von Begriffsnamen erfasst, sondern auch ein Verständnis der dahinter liegenden Ideen, Vorstellungen und Konzepte sowie ein kompetenter Umgang mit den entsprechenden Begriffen in unterschiedlichen Situationen.

Alltagsvorstellungen des Einzelnen bestimmen zunächst einen ersten Zugang zu einem Begriff. Konkrete Materialien und die Auseinandersetzung mit ihnen aktivieren dabei diese Vorstellungen, die als Grundlage für ein Ordnen und Sortieren nach bestimmten Merkmalen herangezogen werden. Diese werden dann in Beziehung zueinander gesetzt; dabei wird die logische Schlüssigkeit mehr und mehr in den Vordergrund gerückt. So entstehen Schritt für Schritt mathematische Vorstellungen, die in das bereits vorhandene individuelle Wissensnetz des Einzelnen integriert werden. Am Ende dieses Prozesses stehen dann solche sprachlichen Beschreibungen, die im Sinne von Verständlichkeit, logischer Stringenz und begrifflicher Präzision formalisiert werden. Dabei sind aber auch ergänzende selbstformulierte umgangssprachliche Beschreibungen als Ergänzung sinnvoll, da sie dabei helfen, die unterrichtlich aufgebauten Begriffe im Alltag zur Anwendung zu bringen.

Barzel et al. (2005, S.45) unterteilen an dieser Stelle in typische Tätigkeiten, die bei einer handlungsorientierten Entwicklung von Begriffen eine wichtige Rolle spielen. Auch diese Unterteilung ist nur eine von vielen möglichen, spiegelt aber insbesondere den Umgang mit realen Objekten wider:

▷ SYSTEMATISIEREN

Über das *Systematisieren* von Gegenständen, Objekten oder Sachverhalten lassen sich Eigenschaften von Begriffen finden. Objekte mit derselben Eigenschaft werden derselben Gruppe zugeordnet. Daraus lassen sich dann wiederum besondere Beispiele als Vertreter einer bestimmten Objektklasse ableiten, die diesen Begriff bestimmt.

▷ VERNETZEN

Das *Vernetzen* von Begriffen umfasst sowohl die Integration in vorhandene Begriffsnetze als auch das lokale Ordnen sowie die Verknüpfung von Begriffen durch logische Schlussfolgerungen.

▷ REFLEKTIEREN

Um die aufgebauten Begriffe auf ihre Tragfähigkeit zu überprüfen, ist ein *Reflektieren* notwendig. Dazu gehört die Rückschau auf den Begriffsbildungsprozess, auf die zuvor vorhandenen Vorstellungen und verwendeten Strategien sowie die Anwendung auf neue unbekannte Situationen. Das Reflektieren ist eine Basis für eine sprachliche Formulierung der entsprechenden Begriffe.

3.4.3 Sprache und Mathematik

Barzel, Hußmann und Leuders (2005, S.47) beginnen ihre Einführung zum mathematischen Prozess des *Kommunizierens* mit einem Comic von Charlie Brown (siehe Abbildung 3.12). Auf den zweiten Blick lässt sich mathematische Fachsprache in der Tat als eine „Fremdsprache“ im Sinne einer Sprache mit eigenen Vokabeln, Regeln, Gesetzen, besonderen Schreibweisen und Ausnahmen charakterisieren. Für viele ist diese „Formelsprache“ jedoch eine Sprache, die mit der täglichen Umgangssprache wenig gemein hat:



Abbildung 3.12: Fremdsprache Mathematik (Barzel, Hußmann und Leuders, 2005, S.47)

So verwundert es nicht, dass sich im Alltag bei vielen Menschen festgesetzt hat, dass kommunikative und sprachliche Anforderungen für die Mathematik und im Mathematikunterricht von geringer Bedeutung sind. (Barzel et al., 2005, S.47)

Barzel et al. (2005) betonen jedoch die Wichtigkeit von Sprache im Mathematikunterricht:

Diese Wort- und Sprachlosigkeit ist zu bedauern, geht es doch in der Mathematik genauso wie in anderen Fächern um Verstehensprozesse, um ein sprachliches Aushandeln von Begriffen und ein gegenseitiges Erklären und Veranschaulichen von Ideen. Die mathematische Symbolisierungsfähigkeit ist eng verbunden mit der Fähigkeit, Sprache zu verwenden. (Barzel et al., 2005, S.47)

Nach Barzel et al. (2005, S.47) finden vor diesem Hintergrund Ansätze, die die sprachlichen Aspekte des Mathematiklernens hervorheben und ihnen eine wichtige Rolle im Lernprozess zuordnen, eine immer größere Beachtung. Ansatzpunkt ist dabei, dass die Brücke zwischen den individuellen Vorstellungen der Lernenden und den konsolidierten Begriffen der Mathematik nur über die Sprache geschlagen werden kann. Lernende stellen ihre Vorstellungswelt vorrangig in Alltagssprache, die Welt der „fertigen Mathematik“ vorwiegend in der ihr eigenen Fachsprache dar.

Diese beiden Welten müssen für ein erfolgreiches Mathematiklernen miteinander verbunden werden. Dazu ist neben der Kommunikation miteinander auch ein Dialog zwischen Mensch und Stoff notwendig. Diesen Dialog bezieht der Begriff des *dialogischen Lernens* (siehe Kapitel 3.2.9) nach Barzel et al. (2005, S.47) mit ein.

Sprache im Mathematikunterricht muss also die gesamte Bandbreite zwischen informeller Alltagssprache einerseits und formalisierter Mitteilung in mathematischer Fachsprache andererseits ausschöpfen:

Einerseits ist es wichtig, dass Schülerinnen und Schüler angstfrei und ungehemmt Ideen und Vorstellungen äußern können, und andererseits sollen sie die Effizienz und Klarheit mathematischer Fachsprache kennen und schätzen lernen. Barzel et al. (2005, S.48)

Für diese Art des „dialogischen Umgangs“ mit Mathematik gibt es nach Barzel et al. (2005, S.48) verschiedene Medien und Verfahren, die zunächst Bewertungsaufschub schaffen und stattdessen Vorläufigkeit und Individualität unterstützen. Zu nennen sind hier insbesondere *Lerntagebücher* oder verwandte Formen wie beispielsweise Forschungshefte, in dessen Rahmen Lernende ihren eigenen Lernprozess schriftlich und in ihrer eigenen Sprache formulieren. Arbeitsschritte, Ideen und Aha-Erlebnisse werden schriftlich festgehalten, aber ebenso auch Umwege oder Frustrationen bei der Arbeit mit einem bestimmten Problem. Dadurch wird ein Einblick in die individuellen Prozesse des Lernens, des Reflektierens, des Argumentierens und der Entwicklung von Begriffen möglich. Wer gelernt hat, Mathematik bereits in ihrem Entstehen in eigene Worte zu fassen, der wird auch Schwierigkeiten und Probleme mit Mathematik leichter verbalisieren und mit anderen austauschen können und hat damit eine wichtige Voraussetzung für das Überwinden von Schwierigkeiten geschaffen (Barzel et al., 2005, S.48).

Welchen Einfluss Formulierungen auf das Verständnis nehmen können, wird im Folgenden beschrieben:

Die mathematische Modellierung von Situationen

Bei der mathematischen Modellierung von Situationen wird deutlich, welchen Einfluss die Sprache auf das mathematische Denken nimmt. Verschiedene Studien mit Grundschulkindern zeigen die Abhängigkeit von der Darstellung einer Aufgabe und ihrer Lösung. Kintsch und Greeno (1985) stellten Grundschulern unter anderem folgende drei Aufgaben:

AUSTAUSCHAUFGABE: *Maria hatte 8 Murmeln. Dann gab sie Hans 3 Murmeln. Wie viele Murmeln hat Maria jetzt?*

VERGLEICHAUFGABE: *Maria hat 8 Murmeln. Sie hat 3 Murmeln mehr als Hans. Wieviele Murmeln hat Hans?*

AUFGABE ZUR KOMBINATION VON MENGEN: *Maria und Hans haben zusammen 8 Murmeln. Maria hat 3 Murmeln. Wieviele Murmeln hat Hans?*

Während die Austauschaufgabe von über 90 Prozent der Zweitklässler gelöst wurde, bearbeiteten nur noch 20 Prozent derselben Kinder die Vergleichsaufgabe korrekt. Die Aufgabe zur Kombination von Mengen lösten 50 Prozent der Kinder.

Kintsch (1998) sieht in einem defizitären Sprachverständnis sowie mangelndem konzeptuellen mathematischem Wissen Gründe für die Schwierigkeiten von Kindern, die oben aufgeführten Aufgaben korrekt zu lösen. Für das Lösen von Vergleichsaufgaben ist ein fortgeschrittenes Zahlverständnis nötig, dass über eine reine Zählfunktion von Zahlen hinausgeht (Stern et al., 2006).

Es ist viel schwieriger, mit der Angabe einer Relation („Maria hat 5 Murmeln mehr als Hans“) umzugehen, als mit konkreten Mengen. Um Relationen richtig verstehen zu können, bedarf es eines mentalen Modells (siehe Kapitel 2.2.3). Wer beispielsweise mit der Zahl 5 einen Abschnitt der Länge 5 auf dem Zahlenstrahl verbindet (und nicht lediglich eine Menge von 5 Gegenständen), der kann Vergleichsaufgaben verstehen (Stern, Felbrich und Schneider, 2006).

Ein ähnliches Problem besteht für Kinder darin zu verstehen, dass die beiden Sätze „Es gibt 2 Kühe mehr als Schafe“ und „Es gibt 2 Schafe weniger als Kühe“ inhaltlich gleichbedeutend sind. Dies kann daran liegen, dass Kinder die Wörter „mehr“ und „weniger“ und damit die mathematischen Operationen „Addition“ und „Subtraktion“ als Gegensätze wahrnehmen (im Sinne eines „entweder - oder“) und nicht als komplementäre Operationen verstehen.

Stern et al. (2006) führen noch weitere Beispiele (auch mit Schülern der Sekundarstufe) an, die zeigen, dass das Lösen von mathematischen Textaufgaben immer ein Situationsverständnis erfordert. Das daraus resultierende Situationsmodell hat wiederum einen Einfluss auf das mathematische Verständnis.

Sokratischer Dialog in der Mathematik

In seinem Buch *Mathematik als pädagogische Aufgabe* widmet Freudenthal (1973) der sokratischen Methode ein eigenes Kapitel (zum sokratischen Gespräch siehe Kapitel 3.2.9). Für ihn ist „die sokratische Methode [...] auch heute noch das Fundament der Didaktik, oder [...] sollte es [vielmehr] sein - viele unserer Zeitgenossen sind noch Vorsokratiker“ (Freudenthal, 1973, S.97). Er beschreibt die sokratische Methode wie folgt:

Da steht ein Mann und spricht, und doch ist es nicht eines Mannes Rede, man hört zwischendurch immer die andere Partei. Wenn er fertig ist, hat man selber entschieden, was rechtens ist. Der Redner - wir dürfen ihm dankbar sein - war nur unser Geburtshelfer - das wollte Sokrates ja sein - er hat uns von unsern [sic!] eigenen Gedanken entbunden, nicht von den seinen.

Das heißt sokratische Methode, oder Dialektik, oder, wie ich lieber sagen würde, die Didaktik des Gedankenexperiments. (Freudenthal, 1973, S.98)

Dabei versteht Freudenthal (1973) unter einem *Gedankenexperiment in der Didaktik* die Situation, dass sich ein Lehrender die Lernenden vorstellt und sie in Gedanken

unterrichtet, indem er auf ihre Reaktionen reagiert. Von dieser Aktivität der gedachten Lernenden lässt der Lehrer seinen Weg bestimmen. Somit wird der Lehrstoff im Laufe des Unterrichts neu erfunden oder entdeckt. Der Lehrstoff wird nicht dogmatisch vorgetragen, sondern der Lernende sieht ihn entstehen.

Gleichzeitig äußert sich Freudenthal (1973, S.100) dahingehend, dass die Wiederentdeckung in der sokratischen Methode nicht wörtlich zu verstehen sei: „Sie ist nicht echt, sie ist simuliert“. Die Initiative liegt letztlich beim Lehrenden, der dem Lernenden nicht nur hilft, sondern ihm zeigt, wie die Wiederentdeckung verläuft und diese für den Lernenden ausführt. Die Art und Weise, wie dies zu tun ist, hat der Lehrende zuvor im Gedankenexperiment festgestellt.

Vor diesem Hintergrund bewertet Freudenthal (1973) insbesondere mathematische Publikationen sehr kritisch:

Der Mathematiker hat dem Didaktiker den Rang abgelaufen. Ein Mathematiker ist, wie schon betont wurde, gewohnt zu objektivieren. Er publiziert nicht seine Gedankengänge, sondern eine objektive Bearbeitung: Definition, Satz, Beweis. Wenn er von den Überlegungen, die ihn zum Ziele führten, etwas veröffentlichte, käme er sich vor, als stünde er in der Unterhose auf der Straße. Dieser objektivierenden Gewohnheit bleibt er in didaktischen Publikationen treu. Er publiziert das Resultat und schweigt über den Weg zum Resultat. Aber was nun herauskommt, ist nicht objektiv, sondern dogmatisch. (Freudenthal, 1973, S.102)

Fanatasievolle Erzählungen in der Mathematik

Mathematische Sachverhalte werden in der Regel in Fachsprache präsentiert. Kapitel 3.2.9 sowie die bisherigen Ausführungen dieses Kapitels legen jedoch auch die Verwendung von Erzählungen und Geschichten nahe. Dass dabei durchaus auch fantasievolle und frei erfundene Geschichten für den Lernenden sehr hilfreich sein können, soll hier an zwei Beispielen dargestellt werden:

Das erste Beispiel hierfür ist die Erzählung *Flatland* von Edwin A. Abbott (1838-1926, siehe Abbott (1990, Originalausgabe ca. 1880)) und dessen Fortsetzung von Dionys Burger (1892-1987, siehe Burger (1995, Originalausgabe 1957)). *Flatland* ist die Geschichte eines Quadrates, das in Flächenland, der Ebene, lebt. In der Ich-Form beschreibt es seine Welt und geht dabei auf viele lustige, aber auch interessante Details ein: zum Beispiel auf die Art und Weise, wie sich die einzelnen Bewohner Flächenlands, die Vielecke, überhaupt erkennen können (es fehlt ihnen ja eine „Draufsicht“) oder wie sie ihre meist fünfeckigen Häuser lüften oder dass aus „Gassenhunden“ niemals „Rassenhunde“ werden können, obwohl diese sich sehr ähnlich sehen, aber den Kopf auf jeweils unterschiedlichen Seiten tragen (und die dritte Dimension für eine räumliche Drehung bzw. Spiegelung in der Ebene fehlt). Im Laufe der Geschichte versucht das Quadrat ergebnislos, den König von Linienland auf die Beschränktheit seines eindimensionalen Königreiches hinzuweisen und von der zweiten Dimension zu überzeugen. Allerdings ist es dann selbst vor größte

Verständnisschwierigkeiten gestellt, als die Kugel aus Raumland in seinem Flächenland als Kreis mit wechselndem Radius erscheint und ihm die dritte Dimension näher bringen möchte. Durch eine Reise nach Raumland erlebt das Quadrat schließlich die dritte Dimension, muss in seiner eigenen Welt dafür dann aber ins Gefängnis.

Burger (1995) greift diese Geschichte wieder auf, um daraus beim Leser ein Verständnis für die vierte Dimension, gekrümmte Räume und sich ausdehnende Welten zu schaffen. Diese Geschichte wird auf ähnliche Art und Weise, diesmal aber von einem Enkel des Quadrates, einem Sechseck, erzählt.

In beiden Geschichten ermöglicht sowohl die Personifizierung der mathematischen Objekte als auch die Tatsache, dass sie frei erfunden sind, die Darstellung und Entwicklung mathematischer Sachverhalte, die in einem rein mathematischen Fachtext nur schwer zu vermitteln wären. Das Quadrat und das Sechseck lassen den Leser jeweils in die verschiedenen Welten eintauchen und diese somit aus einer ganz anderen Perspektive erleben. Die Beschränkungen der jeweiligen Welten können dadurch viel deutlicher werden als dies bei einer reinen „Außenansicht“ in Form einer fachwissenschaftlichen Beschreibung möglich wäre.

Das zweite Beispiel, das an dieser Stelle aufgegriffen werden soll, stammt von Gerstberger (2006). In seiner Geschichte *Forschungsreisen zu den Inseln der Zähligen* besuchen zwei fiktive Forscher die drei fiktiven Inseln *Flores*, *Cheropus* und *Quwei*, auf denen jeweils ein unterschiedlicher Umgang mit Zahlen, Zahlbegriffen und deren semiotischer Darstellung vorherrscht.

Während die Bewohner von *Flores* Blüten und deren Anzahl von Blütenblättern sowohl für die Bezeichnung von Mengenangaben als auch für das Zählen und Rechnen verwenden, überlegen die Bewohner von *Cheropus* im Rahmen eines Wettkampfes, welche Zahlen sich mit zehn Fingern und zehn Zehen darstellen lassen. Die Bewohner von *Quwei* schaffen es wiederum, ohne viele Worte am Ende eines Jahres eine exakt ausgeglichene Bilanz ihrer drei einzigen Handelsgüter Rüben, Tee und Arbeitszeit herzustellen. Dabei geben sie weder darüber Auskunft, wie ihnen dies gelingt, noch scheinen sie sich dessen selbst bewusst zu sein.

Alle drei Geschichten motivieren eine Auseinandersetzung mit der semiotischen Bedeutung mathematischer Zeichen: „Geht es um Mathematik, so bedeutet dies insbesondere, dass ihre Darstellungssysteme keineswegs anthropologische Konstanten sind. Andererseits wird zu Recht oft der universelle Charakter des mathematischen Denkens hervorgehoben und meine Geschichten profitieren davon erheblich“ (Gerstberger, 2006, S.294).

Auch hier ermöglicht die Wahl des Rahmens einer fiktiven Geschichte ein besseres „Erleben“ und Verstehen der jeweiligen Gewohnheiten der Inselbewohner und damit zugleich eine sehr detaillierte und nachvollziehbare Beschreibung des jeweiligen Sachverhaltes, der durch die verschiedenen Inselgeschichten dargestellt werden soll.

3.4.4 Konzeptuelles und prozedurales Wissen als Grundlage mathematischer Kompetenzen

Um mathematische Kompetenzen zu charakterisieren, wird zwischen schnell und effizient anwendbarem Handlungswissen einerseits und konzeptuellem Tiefenverständnis andererseits unterschieden. Diese Unterscheidung spiegelt sich bei Gelman und Gallistel (1978) in der Aufteilung von *skills* und *principles* sowie bei Resnick (1992) in der Aufteilung von *syntaktischem* und *semantischem Wissen* wider. Allgemein findet die in der Kognitionspsychologie übliche Unterscheidung zwischen *konzeptuellem* und *prozeduralem Wissen* auch in der Beschreibung der Grundlagen mathematischer Kompetenzen Verwendung (Stern, Felbrich und Schneider, 2006).

Konzeptuelles Wissen wird dabei „als Netzwerk flexibler miteinander kombinierbarer Chunks oder Schemata beschrieben, deren Inhalt bewusstseinsfähig und damit auch verbalisierbar ist“ (Stern et al., 2006, S.465). Dabei sind die Verbindungen zwischen den einzelnen Wissenseinheiten symmetrisch. Konzeptionelles Wissen kann sowohl durch Elaboration eigenen Vorwissens als auch durch Rezeption von Instruktionen oder Lösungsbeispielen erworben werden. Aufgrund seiner Zugänglichkeit zu bewusster Elaboration können die Inhalte konzeptionellen Wissens flexibel transformiert und auf diese Art und Weise auf neue Inhaltsbereiche übertragen werden. Im mathematischen Kontext bezieht sich konzeptuelles Wissen auf das Verstehen von Prinzipien wie beispielsweise die Einsicht, dass bei der Division mit Zahlen, die kleiner als 1 sind, das Ergebnis größer wird.

Prozedurales Wissen wird „als Ansammlung isolierter Produktionsregeln“ beschrieben, „die jeweils unflexibel, aber dafür automatisiert ablaufende Verhaltensprogramme darstellen, die durch ausdauernde Übung erworben werden“ (Stern et al., 2006, S.465). Prozedurales Wissen ist dem bewussten Denken nur rudimentär zugänglich. Darum lässt es sich schlecht verbalisieren oder durch höhere mentale Prozesse transformieren. Im mathematischen Kontext betrifft prozedurales Wissen die Ausführung von Rechenoperationen wie beispielsweise den Zehnerübergang bei der schriftlichen Subtraktion oder den Dreisatz.

Eine Auseinandersetzung mit diesen beiden Formen des Wissens ist insofern interessant, weil über die Frage, welche Form des Wissens den Unterrichtsschwerpunkt bilden solle, Anfang des 20. Jahrhunderts eine heftige Debatte entbrannte (Baroody, 2003). Nach Baroody (2003) herrscht zwar heute Einigkeit darüber, dass Schüler im Unterricht sowohl konzeptuelles Verständnis als auch prozedurale Fähigkeiten erwerben und diese zueinander in Beziehung setzen können sollten; allerdings ist unklar, wie dieses Ziel in der Praxis am besten zu erreichen ist. Einer der Hauptgründe hierfür ist das fehlende Wissen darüber, wie sich konzeptuelles und prozedurales Wissen gegenseitig beeinflussen.

Rittle-Johnson, Siegler und Alibali (2001) stellen die drei bekanntesten Positionen zu diesem Thema vor:

▷ **CONCEPTS-FIRST-Theorien:**

Nach diesen Theorien greifen Kinder beim Wissenserwerb in einer Domäne zunächst auf ihr konzeptuelles Wissen zurück. Dieses Wissen kann teilweise sogar

angeboren oder beispielsweise durch verbale Instruktion oder Literaturstudium erworben worden sein. Im Rahmen der Wissensanwendung und der gezielten Übung leiten sie daraus dann nach und nach prozedurales Wissen ab.

▷ PROCEDURES-FIRST-Theorien:

Diese Theorien besagen, dass Kinder zunächst durch *Trial and Error Learning* oder durch Nachahmung erfolgreicher Personen in ihrer Umwelt prozedurales Wissen erwerben. Durch Reflektion und *Representational Redescription* im Sinne von Karmiloff-Smith (1993) wird dann aus diesem Handlungswissen Schritt für Schritt konzeptuelles Wissen abstrahiert.

▷ BIDIREKTIONALE PROZESSE:

Nach diesem Ansatz interagieren die beiden Wissensarten auf der Grundlage bidirektionaler Prozesse miteinander. Insofern führt ein Wissenszuwachs der einen Art letztlich immer auch zu einem Wissenszuwachs der anderen Art.

Rittle-Johnson und Siegler (1998) geben einen Literaturüberblick über die empirische Forschung in diesem Gebiet. Dabei betonen sie in ihrem Vorwort, dass im Vergleich zu anderen psychologischen Forschungsfeldern nur wenig gesicherte Forschungsergebnisse vorliegen. Diese wurden zudem vor allem in verschiedenen Teil-domänen der Mathematik gewonnen. Die dort gefundenen empirischen Befunde sind sehr heterogen: In einigen mathematischen Teilbereichen entwickeln sich Prozeduren vor Konzepten. Beispiele hierfür sind das Zählen, die Multiplikation von Brüchen und proportionales Denken. In anderen mathematischen Teilbereichen entwickeln sich Konzepte vor Prozeduren. Beispiele hierfür sind die Addition einstelliger Zahlen oder die Addition von Brüchen. Im Bereich des Rechnens mit mehrstelligen Zahlen waren die Ergebnisse uneinheitlich.

Nach Rittle-Johnson und Siegler (1998) variieren die Relationen zwischen beiden Wissensarten sowohl von Person zu Person als auch von Domäne zu Domäne sehr stark. Stabil ist hingegen der Befund, dass eine positive intrapersonale Korrelation zwischen beiden Wissensarten besteht. Dies lässt die Vermutung zu, dass sie nicht unabhängig voneinander sind.

3.4.5 Überblick über Konzepte und Prinzipien des Mathematikunterrichts

Barzel, Hußmann und Leuders (2005, S.23ff.) geben einen Überblick über Konzepte und Prinzipien des Mathematikunterrichts: Demnach ist der noch im vorletzten Jahrhundert praktizierte Mathematikunterricht eher als „Rechenunterricht“ zu verstehen mit dem Ziel des Einschleifens bürgerlicher Rechentechniken und nicht etwa des Verstehens mathematischer Zusammenhänge oder des Wesens der Mathematik. Seitdem hat es jedoch viele Reformen gegeben und sich die Sicht auf das Mathematiklernen immer wieder verändert.

Erste Weichen für eine moderne Sichtweise wurden in den Meraner Vorschlägen von 1905 gestellt. Dort wird gefordert, „[...] unter voller Anerkennung des formalen

Bildungswertes der Mathematik auf alle einseitigen und praktisch bedeutungslosen Spezialkenntnisse zu verzichten, dagegen die Fähigkeit der mathematischen Betrachtung der uns umgebenden Erscheinungswelt zu möglicher Entwicklung zu bringen“ (Gutzmer, 1908).

Aus dieser Zeit stammen die ersten Prinzipien eines *genetischen Mathematikunterrichts*: Mathematische Begriffe sollen hier nicht als fertige Produkte mitgeteilt, sondern von den Lernenden selbst aktiv erarbeitet und in ihrer Entstehung erlebt werden. Barzel et al. (2005) betonen an dieser Stelle die Tatsache, dass zu diesem Zeitpunkt noch keine konstruktivistischen Ideen unter diesem Namen in der Pädagogik und Didaktik präsent waren (zum Konstruktivismus siehe Kapitel 3.2.2, S.168, und Kapitel 3.2.5).

Die kurze Phase, die unter dem Namen *Neue Mathematik* formalistische Tendenzen an den Schulen umzusetzen suchte, konnte eine Weiterführung des genetischen Ansatzes nicht unterbrechen. In diese Phase der Neuen Mathematik fällt beispielsweise die Diskussion über die Mengenlehre. Prinzipiell sah die Richtung der Neuen Mathematik die über die Jahrhunderte entwickelten, „fertigen“ mathematischen Begriffe wie beispielsweise *Menge*, *Funktion* oder *Vektor* als geeigneten Ausgangspunkt des Lernens an (Barzel et al., 2005).

Im Gegensatz dazu orientiert sich ein genetischer Unterricht an der (Wieder-)Entstehung dieser Begriffe im Klassenraum, bei dem Mathematik von den Lernenden „in statu nascendi“ (lat. für „im Zustand der Geburt“, d.h. also „gerade entstehend“) erlebt wird (Freudenthal, 1973). Dabei stehen die präzise formulierten Begriffe erst am Ende eines komplexen Begriffsbildungsprozesses. Die Begriffe werden demnach „wieder-erfunden“ (Freudenthal, 1973).

Die Freudenthal'schen Stufen

Auf Freudenthal (1973) basiert auch die Idee, für das Lernen von Mathematik Stufen der Abstraktion zu formulieren:

- ▷ Auf der untersten Stufe sollen Lernende Erfahrungen im praktischen und handelnden Umgang mit Materialien und Phänomenen in ihrer eigenen Erfahrungswelt sammeln können. Dabei liegt der Begriff, der wieder-erfunden werden soll, nicht explizit vor, sondern im Bereich des Möglichen. Symmetrische Figuren lassen sich zum Beispiel handelnd durch Zeichnen oder Falten herstellen, ohne dass dabei bereits von *Symmetrie* gesprochen werden muss. Ebenso lassen sich Gegenstände in der Umwelt beschreiben, die das Merkmal zweier gleicher Hälften als wiederkehrende Struktur besitzen.
 - ▷ Auf den nächsten Stufen erfolgt eine Ordnung und begriffliche Präzisierung der praktischen Erfahrungen nach bestimmten Merkmalen. Dadurch wird die theoretische Natur der Begriffe nach und nach sichtbar. Beispielsweise lassen sich unterschiedliche Arten von Symmetrie bei Spielkarten und Schmetterlingen entdecken. Dies führt zu zwei verschiedenen Klassen, denen jeweils weitere Gegenstände mit den entsprechenden Eigenschaften zugeordnet werden können.
-

- ▷ Auf den obersten Stufen werden die einzelnen, den Begriff charakterisierenden Eigenschaften zueinander in Beziehung gesetzt. Dabei wird die logische Struktur des Begriffsnetzes entfaltet. So kann beispielsweise die Punktsymmetrie als eine besondere Form der Drehsymmetrie nachgewiesen werden.

Diese verschiedenen Stufen ermöglichen es den Lernenden, die theoretische Welt der Mathematik selbst zu entfalten und dabei die Mathematik als Instrument zum Erfassen der Phänomene in der Umwelt zu erfahren. Werden den Lernenden dabei gehaltvolle Problemkontexte zur Verfügung gestellt, die einen Ausgangspunkt zur Auseinandersetzung mit Phänomenen der Wirklichkeit bilden, wird den Lernenden zusätzlich die Entwicklung allgemeiner Kompetenzen ermöglicht, die ihnen auch in anderen Situationen ein erfolgreiches Handeln erlauben (Barzel et al., 2005).

Der hier geschilderte Ansatz wurde von der Bewegung der *Realistic Mathematics Education (RME)* weiterentwickelt und international in vielen Beispielen konkretisiert (Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (FISME), 2007). Dabei ist zu beachten, dass das Wort „realistic“ nicht bedeutet, dass die angebotenen reichhaltigen Problemkontexte alle anwendungsbezogen sein müssen. Das Wort leitet sich vom niederländischen Wort „zich realiseren“ ab und bedeutet „sich vorstellen“:

It is this emphasis on making something real in your mind, that gave RME its name. For the problems to be presented to the students this means that the context can be a real-world context but this is not always necessary. The fantasy world of fairy tales and even the formal world of mathematics can be very suitable contexts for a problem, as long as they are real in the student's mind. (Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (FISME), 1998)

Ein Unterricht, der Begriffsbildungen aus solchen Problemen heraus entwickelt, wird auch als problemorientierter Unterricht bezeichnet (zu problemorientiertem Lehren und Lernen siehe Kapitel 3.2.7, Kapitel 4.2.6 und Kapitel 4.2.7).

3.4.6 Auswahl von Konzepten und Prinzipien für den Mathematikunterricht

Wie bereits in Kapitel 3.2 dargestellt, gibt es eine Vielzahl didaktischer Theorien und Modelle. Dementsprechend ist die Anzahl daraus abgeleiteter didaktischer Prinzipien sowohl für den Unterricht im Allgemeinen als auch speziell für den Mathematikunterricht sehr groß. Die lange Tradition solcher Prinzipien wird nach Weigand und Weth (2002) zum Beispiel am *Prinzip der Naturgemäßheit*, das auf Comenius (1592-1670) oder am *Prinzip der Anschauung*, das auf Diesterweg (1782-1835) zurückgeht, deutlich. Um einen Eindruck der Fülle von Prinzipien für den Mathematikunterricht zu vermitteln, geben Weigand und Weth (2002) folgende am Ende offene Aufzählung an:

Spiralprinzip - Prinzip der Stufengemäßheit - Prinzip der [sic!] vorwegnehmenden Lernens - Prinzip der Fortsetzbarkeit - Prinzip der Vorstrukturierung der Lernhilfen - Genetisches Prinzip - Sokratisches Prinzip - Exemplarisches Prinzip - Prinzip des (gelenkten) Entdeckenden Lernens - Prinzip der minimalen Hilfe - Prinzip der integrativen Verbindung - Prinzip der Realitätsnähe oder Lebensnähe - Prinzip der Beziehungshaltigkeit - Prinzip des Lernens in Zusammenhängen - Prinzip der konsequenten Wiederholung - Prinzip der Stabilisierung - Prinzip der Isolation der Schwierigkeiten - Prinzip der Selbsttätigkeit - Prinzip des aktiven Lernens - Operatives Prinzip - Prinzip der Variation - Prinzip der Verinnerlichung - Prinzip der adäquaten Visualisierung - Prinzip der Verzahnung der Darstellungsebenen - Prinzip der Variation der Veranschaulichungsmittel - Prinzip der Anschauung - Prinzip der Veranschaulichung - Prinzip des anbietenden Unterrichts - Prinzip der Deutlichkeit - ... (Weigand und Weth, 2002, S.27f.)

Einige dieser Prinzipien wie zum Beispiel das *Sokratische Prinzip* (Kapitel 3.2.9, S.188) oder das *Genetische Prinzip* (Kapitel 3.4.5, S.224) wurden bereits, einige weitere Prinzipien und Leitlinien werden in Kapitel 3.3, Kapitel 4, insbesondere Kapitel 4.2 vorgestellt. Auf alle in der Aufzählung genannten Prinzipien ausführlich einzugehen, würde den Rahmen dieser Arbeit jedoch sprengen. Darum wird hier einem Ansatz von Weigand und Weth (2002) gefolgt, welche die Fülle der gegebenen didaktischen Prinzipien nach Gesichtspunkten zu kategorisieren versuchen, die insbesondere vor dem Hintergrund des Einsatzes neuer Technologien von Bedeutung sind. Daraus resultieren acht Leitlinien, die Weigand und Weth (2002, S.28) wie folgt in *inhaltsbezogene*, *schülerbezogene* und *werkzeugbezogene Leitlinien* unterteilen:

INHALTSBEZOGENE LEITLINIEN	• An Grundideen orientieren • Beziehungen herstellen
SCHÜLERBEZOGENE LEITLINIEN	• Lernen, Fragen zu stellen • Operativ arbeiten • Selbsttätig lernen • Produktiv üben und wiederholen
WERKZEUGBEZOGENE LEITLINIEN	• Adäquat visualisieren • Wissen und Können auslagern

An Grundideen orientieren

Mathematik sollte im Unterricht nicht als eine Sammlung unzusammenhängender Gebiete präsentiert werden. Stattdessen sollten vielfältige Beziehungsnetze dargestellt und für die Lernenden erkennbar werden (Weigand und Weth, 2002, S.28). Eine Möglichkeit, Lernenden eine Orientierung innerhalb der Stofffülle einer Wissenschaft zu geben und deren Grundzüge unter bestimmten Aspekten aufzuzeigen, ist die Verwendung *fundamentaler Ideen*. Für das Fach Mathematik orientieren sich fundamentale Ideen dabei an Begriffen oder Aktivitäten wie beispielsweise *Zahl*, *Algorithmus*, *Funktion*, *Linearität*, *Approximation*, *Modellbildung* oder *Optimieren*, aber auch *Beweisen*, *Konstruieren* oder *Begriffe bilden* (Weigand und Weth, 2002, S.28f.).

Der Begriff der fundamentalen Idee geht dabei auf Bruner (1980, siehe auch Kapitel 3.2.4, S.174) zurück und wurde von Heymann (1996) in neuer Zeit ausführlich diskutiert. Während Bruner (1980) das Aufzeigen fundamentaler Ideen eines Faches als zentrales Ziel des Unterrichts ansieht, möchte Heymann (1996, S.158) anhand dieser Ideen die „Universalität der Mathematik“ und „ihre Bedeutung für die Gesamtkultur“ für die Lernenden erfahrbar werden lassen.

Beziehungen herstellen

Kapitel 2.2 zur *Mentalen Repräsentation* hat gezeigt, dass die Verarbeitung von Informationen „von außen“ intern zu komplexen Verarbeitungsprozessen führt. Wissen wird im Gedächtnis als ein Netzwerk von Begriffen und Beziehungen gespeichert. Dies bildet den kognitionspsychologischen Hintergrund für das *Prinzip vom Lernen in Zusammenhängen* oder *Integrationsprinzip*, welches fordert, (mathematische) Begriffe nicht als isolierte Wissens Elemente, sondern in Form von Beziehungsnetzen und Sinnzusammenhängen zu vermitteln (Weigand und Weth, 2002, S.29). Dabei lassen sich in der Mathematik zwei Arten von Beziehungsnetzen unterscheiden: ein innermathematisches Netz sowie ein Netz, das die Beziehung von Mathematik und Umwelt darstellt.

Bezüglich des innermathematischen Netzes geht es darum, Begriffshierarchien auf der Grundlage der mathematischen Fachwissenschaft zu entwickeln und Beziehungen zwischen diesen einzelnen Begriffen, insbesondere aber auch zwischen Begriffen aus verschiedenen mathematischen Teilgebieten herzustellen. Lernen bedeutet dann eine stetige Erweiterung dieses Begriffsnetzes durch Eingliederung neuer und Vertiefung vorhandener Inhalte. Dabei ist die Entwicklung von Verankerungen und Beziehungen zwischen alten und neuen Inhalten sowohl global wie lokal von Bedeutung: Der Begriff des *kumulativen Lernens* bezeichnet das Entwickeln von Verknüpfungen, die den gesamten Mathematiklehrgang betreffen; der Aufbau lokaler Beziehungen kann durch das *Prinzip der Vorstrukturierung der Lernhilfen* unterstützt werden, welches die Verankerung neuer Begriffe in die vorhandene kognitive Struktur durch vermittelnde und vorstrukturierte Hinweise erreicht (Weigand und Weth, 2002, S.29). Ausubel (1974) spricht in diesem Zusammenhang vom *Advance Organizer* (siehe hierzu Kapitel 3.2.4, S.172).

Die Ausarbeitung eines Beziehungsnetzes, das die Beziehungen von Mathematik zur Umwelt der Lernenden darstellt, ist nach Weigand und Weth (2002, S.30) ein zentrales Element der Sinnkonstruktion im Mathematikunterricht. Dies drückt sich im *Prinzip der Beziehungshaltigkeit* aus, bei dem Lernende die Verknüpfung von Mathematik und Umwelt erleben sollen. Vor allem Freudenthal (1973) hebt dieses Prinzip hervor. Ein solches Aufzeigen von Beziehungen ermöglicht ein Einbeziehen von Vorerfahrungen der Lernenden. Zudem unterstreicht es durch den Umweltbezug den Sinn mathematischer Begriffe. Darüber hinaus wirkt es im Sinne eines fachübergreifenden Lernens der Isolierung einzelner Fächer entgegen (Weigand und Weth, 2002, S.30).

Lernen, Fragen zu stellen

Informationen in einem Lernprozess sind umso bedeutsamer für den Lernenden, wenn sie Antworten auf Fragen sind, beispielsweise als Ergebnis einer Suche nach Erklärung oder Lösung eines Problems. Dies setzt Fragen im Sinne einer Suche nach Sinn und Bedeutung voraus. Insofern ist es wichtig, das Fragen zu erlernen und solche Fragen stellen zu können, die zu der Art von Auseinandersetzung reizen, die für das wissenschaftliche Arbeiten charakteristisch ist (Weigand und Weth, 2002, S.30). Der Ursprung des Fragens ist wiederum *Interesse*, welches Wagenschein (1962) als eine zentrale Eigenschaft des Lehrenden hervorhebt: „Nicht das Wissen steckt an, sondern das Suchen“ (Wagenschein, 1962, S.155).

Das Stellen von Fragen ist das Grundprinzip eines *sokratischen Unterrichts* (siehe hierzu auch Kapitel 3.2.9, S.188), der in enger Verbindung zum *problemlösenden* und zum *genetischen Unterricht* steht (zu problemorientiertem Lehren und Lernen siehe Kapitel 3.2.7, Kapitel 4.2.6 und Kapitel 4.2.7, zu genetischem Unterricht Kapitel 3.4.5, S.225). Die Fragen des Lehrenden initiieren und steuern den Problemlöseprozess beim Lernenden und helfen ihm somit dabei, sich Wissen selbst anzueignen. Begriffe dürfen nicht leere anschauungslose Objekte sein, sondern sollen von Lernenden als Antworten auf Fragen erkannt werden, als Lösungen von Problemstellungen, als Hilfsmittel für Problemlösungen und als Ausgangspunkt neuer Fragen und Problemstellungen. Es soll eine Vorstellung davon entstehen, warum Begriffe in der Wissenschaft Mathematik und deren Geschichte überhaupt gebildet worden sind (Weigand und Weth, 2002, S.31).

Das zentrale Anliegen des sokratischen Prinzips ist, dass Mathematik nicht als *Fertigprodukt* gelernt wird, sondern dass die Lernenden einen Einblick in den *Prozess* der Entstehung von Mathematik erhalten. „Mathematik ist etwas, bei dem Lernende entdecken oder erfinden können, auch wenn es sich meist oder fast ausschließlich 'nur' um Nacherfindungen handelt“ (Weigand und Weth, 2002, S.31). Gerade dieses „Nacherfinden“, die „re-invention“ ist für Freudenthal (1973) ein besonders wichtiger Aspekt des Mathematiklernens.

Operativ Arbeiten

Das *operative Prinzip* geht auf Hans Aebli (1923-1990) zurück, für den „Denken das Ordnen des Tuns“ ist (siehe Aebli (1993, 1994), Originalausgaben 1980, 1981). Demnach ist jedes Lernen abstrakter Begriffe in konkretem Handeln zu verankern.

Das operative Prinzip bzw. die operative Methode von Aebli (1993, 1994) ist dabei eine Modifizierung des Stufenmodells von Piaget (1947) (siehe Kapitel 3.2.4, S. 170): Während für Piaget (1947) die stadienweise Entwicklung der menschlichen Intelligenz weitgehend konstant und altersspezifisch ist, betont sein Schüler Aebli (1993, 1994) die Bedeutung der Erziehungsumgebung und somit insbesondere die Bedeutung von Unterricht für die Denkentwicklung.

Die Verinnerlichung einer Operation vollzieht sich nach Aebli (1993, 1994) in drei Hauptstufen: Auf der *konkreten Stufe* wird mit konkreten Gegenständen und kon-

kretem Material gearbeitet, auf der *figuralen Stufe* wird mit bildlich dargestellten Gegenständen operiert und auf der *symbolischen Stufe* werden Gegenstände und Operationen durch Zeichen repräsentiert. Für den Übergang von Stufe zu Stufe sind dabei zwei Tätigkeiten von besonderer Bedeutung: Vorwegnehmende und nachträgliche *Verbalisierung der Handlungen* auf der konkreten und figuralen Stufe in Form einer ständigen Reflexion über das eigene Tun einerseits und das *operative Durcharbeiten* bzw. *Üben* andererseits. Somit erfolgt der Wissenserwerb nicht über das Betrachten oder einfaches Nachahmen, sondern durch vielfältiges Operieren mit dem Objekt bzw. den Objekten (Zech, 2002, S.93ff.).

Gleichzeitig darf nach Weigand und Weth (2002, S.33) mit dem Begriff der Tätigkeit nicht die Gefahr des „blinden Aktionismus“ übersehen werden oder die Gefahr allzu vielfältiger Variationen, die sich letztlich kontraproduktiv auf das Lernen auswirken und zu einer Überforderung der Lernenden führen können.

Selbsttätig lernen

Es gibt eine Reihe schülerorientierter Arbeitsformen, die eine Eigenaktivität oder Selbsttätigkeit des Lernenden voraussetzen. Beispiele hierfür sind der *problemlösende, entdeckende, projektorientierte* oder *offene Unterricht* (zu problemorientiertem Lehren und Lernen siehe Kapitel 3.2.7, Kapitel 4.2.6 und Kapitel 4.2.7, zu entdeckendem Lernen siehe Kapitel 3.2.4, S.174, zum Projektmodell siehe Kapitel 3.3.2, S.204, zu offenen Lernumgebungen siehe Kapitel 4.2.8, zur Selbststeuerung allgemein siehe Kapitel 3.2.8). Aus einer konstruktivistischen Sichtweise heraus ist Selbsttätigkeit letztlich eine notwendige Voraussetzung für jeglichen Wissenserwerb (zum Konstruktivismus siehe Kapitel 3.2.5 sowie Kapitel 4.2).

Ein auf Selbsttätigkeit aufbauender Unterricht beinhaltet Ziele wie die Entwicklung von Selbstständigkeit, kritisches Reflektieren der eigenen Tätigkeit, Motivation durch eigenen Erfolg sowie das Lernen aus den eigenen Fehlern (Weigand und Weth, 2002, S.33).

Die Entwicklung der Forderung nach Selbsttätigkeit als eine zentrale Forderung für Lern- und Bildungsprozesse skizzieren Weigand und Weth (2002, S.33) wie folgt: Beginnend mit Rousseau (1712-1778) über die Reformpädagogen John Dewey (1859-1952), Georg Kerschensteiner (1854-1932) oder Hugo Gaudig (1860-1923) wird das selbstständige Denken und Handeln Grundlage des Lernens, und ein selbstständiges Erarbeiten erhält eine zentrale Bedeutung für die Bildung des Menschen. In neuer Zeit haben Winter (1984) sowie Wittmann und Müller (2005) im Rahmen eines *aktiv entdeckenden Lernens* die Idee der Selbsttätigkeit betont, sie an vielen Beispielen erläutert und sich auch mit den Nachteilen wie beispielsweise höherer Zeitaufwand, Verlust von Kontrolle oder der Benachteiligung schwächerer Schülerinnen und Schüler auseinandergesetzt.

Selbsttätigkeit ist eine geplante zielorientierte Aktivität, die Freiräume für das Denken und Handeln in Bezug auf Planen, Ausführen und Kontrollieren von Aktivitäten voraussetzt. Gleichzeitig darf Selbsttätigkeit nicht in zielloses Hantieren oder in unproduktiven Aktionismus ableiten (Weigand und Weth, 2002, S.34). Gerade in der

Mathematik sind auch die Grenzen des Prinzips der Selbsttätigkeit zu beachten: Selbstständiges Lernen setzt zum einen bereits ein gewisses Maß an Wissen voraus. Zum anderen wurde mathematisches Wissen im Laufe einer langen Entwicklungsgeschichte von vielen Mathematikern zusammentragen - insofern ist es schlichtweg unmöglich, alle im Mathematikunterricht zu vermittelnden Inhalte selbstständig und selbsttätig erarbeiten zu wollen. Insofern erscheint Selbsttätigkeit nur in einer Wechselbeziehung mit einem geplant strukturierten Unterricht sinnvoll. Dies erfordert unter anderem eine Vorstrukturierung der Inhalte, schülergemäße Sprache, Erarbeitung eines verankerten Vorverständnisses, Einplanung eines roten Fadens und prototypische Beispiele.

Produktiv üben und wiederholen

Übung und Wiederholung sind zwei wesentliche Tätigkeiten, um Gelerntes zu sichern und zu vertiefen und um Fähigkeiten der Anwendung des Gelernten in gleichen, ähnlichen oder neuen Situationen zu entwickeln (Weigand und Weth, 2002, S.35).

Dabei können verschiedene Arten des Übens voneinander abgegrenzt werden: Zech (2002) unterscheidet beispielsweise sechs Übungsformen (siehe Abbildung 3.13). Darüber hinaus betont Zech (2002, S.208f.) die Bedeutung von *heuristischen Übungen* zum Problemlösen und erwähnt in einem erweiterten Kontext *Übungen zum „Lernen des Lernens“*.

Üben sollte jedoch nicht als isolierte Tätigkeit betrachtet werden, sondern als ein Bestandteil der Unterrichtskonzeption. Zudem sollte Üben nicht losgelöst vom Verständnis, sondern immer mit Einsicht verbunden sein. Nach dem *Prinzip der konsequenten Wiederholung* ist eine Regelmäßigkeit des Übens von großer Bedeutung, das *Prinzip der integrierten Wiederholung* fordert, bereits Gelerntes immer wieder in neuen Kontexten aufzugreifen. Dabei kann eine Einbettung des Übens in herausfordernde und anregende Kontexte das Erlernen und die anhaltende Verfügbarkeit zu erlernender Schemata und damit den Aufbau stabiler Wissens Elemente unterstützen und somit auch die Forderungen des *Prinzips der Stabilisierung* erfüllen (Weigand und Weth, 2002, S.35).

Generell wird in den letzten Jahrzehnten wiederholt gefordert, „von kleinschrittig konstruierten Aufgabenplantagen abzugehen und Üben als eine sinnvermittelnde Tätigkeit zu begreifen (etwa Winter (1984))“ (Weigand und Weth, 2002, S.35). Begründet werden diese Forderungen damit, dass stereotypes Üben im Sinne einer Bearbeitung kolonnenartig dargebotener gleichartiger oder ähnlicher Aufgaben Fehlermuster verfestigen, keine konstruktiven Hilfen anbieten und Denkfehler der Lernenden verfestigen können (Weigand und Weth, 2002, S.35).

Aktiv entdeckendes Lernen und *produktives Üben* bemessen Lernabschnitte großzügiger, entwickeln Aufgaben aus Sinnzusammenhängen heraus und erwarten von den Lernenden Denkleistungen, die die Eigenverantwortlichkeit für das Lernen fördern (Wittmann und Müller, 2005).

Übungsformen	didaktische Funktion
1. <i>Verständnisübungen</i>	Sicherung des begrifflichen Grundverständnisses, vor allem durch Ansprechen des Verständniskerns [...]
2. <i>stabilisierendes Üben</i>	Geläufigmachen von Teilschritten mit allmählicher Schwierigkeitssteigerung durch homogene Aufgaben (Isolierung der Schwierigkeiten; gestuftes Üben)
3. <i>operatives Üben</i>	Vertiefung des Verständnisses, Beweglichmachung des Denkens durch vielfältige Variationen [...]
4. <i>automatisierendes Üben</i>	Einübung von Techniken und Standardverfahren bis zur sicheren Beherrschung [...]
5. <i>anwendungsorientiertes Üben</i>	Betonung unterschiedlicher Anwendungsmöglichkeiten zur gezielten Verbreiterung des Transfers [...]
6. <i>Wiederholungen</i>	Aufwärmen des Verständnisses, Integration des Gelernten, Zusammenfassungen im großen [sic!]

Abbildung 3.13: Formen des Übens (Zech, 2002, S.208ff.)

Adäquat visualisieren

Ein weiteres wichtiges Prinzip ist das auf Bruner (1966) zurückgehende *Prinzip der multiplen Repräsentation*, das eine Darstellung von Inhalten möglichst mit verschiedenen Repräsentationsformen vorsieht: in *enaktiver Form* als Darstellung durch Handlungen, in *ikonischer Form* als Darstellung durch bildliche Mittel und in *symbolischer Form* als Darstellung durch Sprache und Zeichen (siehe hierzu auch Kapitel 3.2.4, S.174, *Theorie der Repräsentationen nach Bruner* sowie Kapitel 3.2.5 *Situated Cognition-Bewegung*). Im Gegensatz zu den Stufen der Verinnerlichung nach Aebli (1993, 1994, Originalausgaben 1980, 1981) (siehe hierzu dieses Kapitel, S.229) sind die oben genannten Darstellungsweisen nicht nacheinander zu durchlaufende Stufen, sondern vielmehr wechselseitig aufeinander zu beziehen. Es geht dabei vor allem um die Verknüpfung unterschiedlicher Wahrnehmungskanäle.

Gerade in der Mathematik spielen verschiedene Arten der Darstellung eine wichtige Rolle: Für mathematische Objekte gibt es in der Regel keine Vergegenständlichung in der realen Welt - beispielsweise ist jeder gezeichnete Kreis nur ein unvollkommenes Abbild des wirklichen Objektes „Kreis“, wobei vor einem mathematikphilosophischen Hintergrund (siehe Kapitel 1.5.1, S.54) zusätzlich darüber diskutiert werden kann, inwieweit überhaupt von einem „wirklichen Objekt“ gesprochen werden kann.

Mathematische Objekte sind insofern also immer als „abstrakte“ Objekte anzusehen. (Abstraktes) Denken mit (abstrakten) mathematischen Objekten bleibt nach Weigand und Weth (2002, S.36) aber im Kopf des Einzelnen verborgen. Um es „nach außen“ zu transportieren, ist eine Darstellung des Denkens und der mathematischen Objekte sowie die Kommunikation darüber mit anderen notwendig.

Nach dem semiotischen Ansatz von Charles Sanders Peirce (1839-1914) sind mathematische Objekte untrennbar mit Darstellungen und Zeichen verbunden: „Es gibt kein Denken ohne Zeichen“ (zum Beispiel Nagl, 1992). Darstellungen helfen bei der Suche und dem Auffinden von Lösungsideen, beispielsweise durch das Erkennen von Mustern oder Regelmäßigkeiten, das Darstellen von Lösungswegen, dem Ordnen von Lösungsideen oder der Durchführung kalkülhafter Berechnungen (Weigand und Weth, 2002, S.36). Beispielsweise werden schriftliche Rechenverfahren erst durch das indisch-arabische Ziffernsystem möglich, die Notation der Differential- und Integralrechnung durch Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) oder die „Buchstabenrechnung“ von François Vieta (1540-1603) erleichtern bzw. ermöglichen erst kalkülhaftes Operieren und algorithmisches Arbeiten (Weigand und Weth, 2002, S.36).

Nach dem *Prinzip der adäquaten Visualisierung* sind von den Lernenden Darstellungen in Abhängigkeit von der Problemstellung und den benötigten Begriffseigenschaften problemadäquat einzusetzen. Um dabei aber eine einseitige Sichtweise zu vermeiden und ein umfassendes Begriffsverständnis aufzubauen, ist es auch wichtig, Begriffseigenschaften in verschiedenen Darstellungen zu erkennen, verschiedene Darstellungsformen zueinander in Beziehung zu setzen und zwischen verschiedenen Darstellungen „übersetzen“ bzw. von einer zu einer anderen Darstellung transformieren zu können (Weigand und Weth, 2002, S.36f.).

Wissen und Können auslagern

Ein Kennzeichen mathematischen Arbeitens ist die *Auslagerung* bestimmter Prozesse oder Prozeduren. Ein Beispiel hierfür ist die Lösungsformel für quadratische Gleichungen, die zur Berechnung der Nullstellen quadratischer Polynome angewendet wird, ohne dabei jeweils die einzelnen Schritte ihrer Herleitung zu überdenken. Insbesondere mathematisches Wissen ist oft in Form von Bausteinen, Prozeduren oder Modulen zusammengeschlossen, die dann nur noch als Ganzes verwendet werden (Weigand und Weth, 2002, S.37).

3.4.7 Lernziele von Mathematikunterricht

Mit dem Mathematikunterricht sind neben allgemeinen Zielen von Schulunterricht sowohl besondere fachübergreifende als auch sehr fachspezifische Ziele verbunden. In der Literatur finden sich hierzu einige so genannte *Lernzielkataloge*, die jeweils unterschiedliche Schwerpunkte setzen oder aus unterschiedlichen Sichtweisen heraus formuliert sind. Im Folgenden werden exemplarisch die Lernzielkataloge von Winter (1975) und Bigalke (1976) skizziert sowie ein zusammenfassender und ergänzender Lernzielkatalog von Zech (2002) wiedergegeben.

Lernziele nach Winter

Winter (1975) betrachtet den Menschen als ein schöpferisches, nachdenkendes, gestalterisches und sprechendes Wesen. Damit sind enge Beziehungen zu den charakteristischen Bereichen von Mathematik gegeben (siehe Kapitel 1.5.1, S.53). Diese Beziehung zwischen Mensch und Mathematik setzt Winter (1975) in Relation zu Lernzielen von Schule und Mathematikunterricht (siehe Abbildung 3.14).

Mensch	Mathematik	allgemeine Lernziele	
		der Schule	des Mathematikunterrichts
als schöpferisches, erfindendes, spielendes Wesen	als schöpferische Wissenschaft	Entfaltung schöpferischer Kräfte	heuristische Strategien lernen
als nachdenkendes, nach Gründen, Einsicht suchendes Wesen	als beweisende, deduzierende Wissenschaft	Förderung des rationalen Denkens	Beweisen lernen
als gestaltendes, wirtschaftendes, Technik nutzendes Wesen	als anwendbare Wissenschaft	Förderung des Verständnisses für Wirklichkeit und ihre Nutzung	Mathematisieren lernen
als sprechendes Wesen	als formale Wissenschaft	Förderung der Sprachfähigkeit	Formalisieren lernen, Fertigkeiten lernen

Abbildung 3.14: Sichtweise der Aspekte „Mensch-Mathematik-Schule/Gesellschaft“ (Winter (1975, S.116), zitiert nach Wittmann (1981, S.47))

Daraus resultieren für Winter (1975) die folgenden vier Lernziele, deren Erreichen er durch das Aufzeigen prototypischer Inhalte verdeutlicht. Weigand und Weth (2002, S.18f.) ergänzen um entsprechende Beispiele:

Der Mathematikunterricht soll Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geben,

- ▷ schöpferisch tätig zu sein,
wie beispielsweise beim Suchen nach Gesetzmäßigkeiten, beim Klassifizieren oder Ordnen.
- ▷ rationales Argumentieren zu üben,
wie zum Beispiel beim Definieren von Begriffen, dem Erkennen von Eigenschaften oder der Analyse mathematischer Sätze.
- ▷ die praktische Nutzbarkeit der Mathematik zu erfahren,
wie beispielsweise beim Ordnen von Daten, Aufstellen von Zusammenhängen oder Finden von Lösungswegen.
- ▷ formale Fertigkeiten zu erwerben,
wie zum Beispiel algorithmisches und kalkülhaftes Arbeiten und der Umgang mit Zeichen und Symbolen.

Im Rahmen einer weiteren Ausdifferenzierung des Begriffes der Allgemeinbildung fordert Winter (1996) drei Grunderfahrungen für den Mathematikunterricht an allgemeinbildenden Schulen. Diese wurden in Kapitel 2.5.1, S.147, im Rahmen der

Mathematical Literacy bereits kurz aufgeführt, sollen hier aber noch einmal betont werden:

- (1) Wahrnehmen und Verstehen der Erscheinungen der Welt, die letztlich alle angehen oder angehen sollten, und zwar aus Natur, Gesellschaft und Kultur.
- (2) Kennenlernen und Begreifen mathematischer Sachverhalte, die in Sprache, Symbolen, Bildern und Formeln präsentiert werden, als eine deduktiv geordnete Welt eigener Art.
- (3) Erwerb von Problemlösefähigkeiten (und heuristischer Fähigkeiten) in der Auseinandersetzung mit Aufgaben, die über die Mathematik hinausgehen.

Diese drei Forderungen spiegeln die in Kapitel 1.5.1, S.53, vorgestellten drei wesentlichen Facetten der Mathematik als Wissenschaft wider. Die Stärke und breite Akzeptanz dieser Forderungen bzw. der sie definierenden Kategorien liegt nach Barzel et al. (2005, S.15) vor allem darin, dass sie die fachwissenschaftliche mit der didaktischen Perspektive vereinen.

Lernziele nach Bigalke

Bigalke (1976, S.32f.) formuliert folgende sieben Lernziele für den Mathematikunterricht:

1. Förderung des wissenschaftlichen Denkens und Arbeitens
2. Förderung des logischen Denkens
3. Förderung der Bereitschaft und Fähigkeit zum Argumentieren, Kritisieren und Urteilen
4. Förderung geistiger Initiative, Phantasie und Kreativität
5. Förderung des Anschauungsvermögens
6. Förderung der sprachlichen Ausdrucksfähigkeit
7. Förderung der Fähigkeit, Mathematik anwenden zu können

Dabei sind für ihn die *Unterrichtsmethoden* zum Erreichen dieser Lernziele entscheidend, also die *Art und Weise* des Unterrichtens und der Beteiligung durch den Schüler. Bigalke (1979) betont, dass Lernziele nur dann eine Bedeutung erlangen können, wenn sie im Verbund mit Inhalten und Methoden stehen.

Lernziele nach Zech

Zech (2002, S.54ff.) nimmt eine Zusammenfassung und Gliederung einiger ihm besonders wesentlich erscheinender und auch häufiger genannten Ziele mehrerer Lernzielkataloge vor und ergänzt diese zu einem neuen Katalog:

A. Fachübergreifende Ziele

A.a. Fundamentale Denktätigkeiten und -haltungen

- A.a.1. Anschauungsvermögen
- A.a.2. Logisches Denken
- A.a.3. Kommunikationsfähigkeit und Kooperationsfähigkeit
- A.a.4. Sprachförderung und Kritikfähigkeit
- A.a.5. Förderung von Problemlöseverhalten und Kreativität
- A.a.6. Selbstständigkeit und Selbsttätigkeit

A.b. Geistige Grundtechniken

- A.b.1. Vergleichen
- A.b.2. Ordnen
- A.b.3. Abstrahieren
- A.b.4. Verallgemeinern
- A.b.5. Klassifizieren
- A.b.6. Konkretisieren bzw. Spezialisieren
- A.b.7. Formalisieren
- A.b.8. Analogisieren

A.c. Allgemeine „Erziehungsziele“:

Sorgfalt, Genauigkeit, Gewissenhaftigkeit, Klarheit, Ordnung

B. Allgemeine fachbezogene Ziele des Mathematikunterrichts

B.a. Auf Einzelinhalte bezogene Fähigkeiten und Haltungen

- B.a.1. Beherrschung sogenannter „Kulturtechniken“ wie beispielsweise das Einmaleins, schriftliche Rechenverfahren, das Durchführen von Überschlägen, Flächen- und Volumenberechnungen, Deutung von Dezimalbrüchen und Prozentsätzen, Umgang mit gängigen Größen, aber auch das Lesen von grafischen Darstellungen und Tabellen, den Umgang mit Geodreieck und Zirkel, den Umgang mit elektronischen Rechnern (Taschenrechner, Computer)
 - B.a.2. Ein Verständnis für „Algorithmisieren“
 - B.a.3. Die Fähigkeit, (einfachere) Umweltsituationen zu mathematisieren
 - B.a.4. Die Fähigkeit, Umwelterscheinungen mathematischer Art zu verstehen (und kritisch zu beurteilen) wie beispielsweise die Arbeitsweise eines Computers oder Glücksspiele zu durchschauen
-

B.b. Auf das Fach insgesamt bezogene Einsichten und Einstellungen

- B.b.1. Die Fähigkeit, Möglichkeiten und Grenzen der Mathematik zu sehen wie beispielsweise Mathematik als Grundlage für Technik und Naturwissenschaften, die Gefahr der Verwechslung von Genauigkeit und Gerechtigkeit, die Vorspiegelung falscher Absolutheit und Objektivität
- B.b.2. Die Freude an der ästhetischen und spielerischen Seite der Mathematik wie beispielsweise an der „Eleganz“ logischer Ableitungen für interessante Sätze, an der fachlichen Systematik, an der Schönheit geometrischer Figuren, an Denksportaufgaben und „Lo-geleien“

3.4.8 Individuelle Voraussetzungen

Im Kontext von Voraussetzungen für das Mathematiklernen nennen Stern, Felbrich und Schneider (2006) zwei Aspekte: den Intelligenzquotienten und das räumlich-visuelle Vorstellungsvermögen.

Hinsichtlich des Intelligenzquotienten (IQ) ist eine hohe Korrelation zwischen IQ und Mathematikleistung festzustellen. Dennoch sehen Stern et al. (2006) darin nur teilweise eine Erklärung für Unterschiede in der Mathematikleistung. Sie zitieren hierzu eine Studie von Stern (2003a,b), wonach sich eine höhere Korrelation zwischen dem Lösen konzeptuell anspruchsvoller Mathematikaufgaben in der zweiten Klasse und der Mathematikleistung in der elften Klasse als zwischen der am gleichen Tag gemessenen Intelligenz und der erbrachten Mathematikleistung in der elften Klasse zeigt. Insofern lässt sich eine spätere Mathematikleistung von Kindern eher am mathematischen Vorwissen als an der allgemeinen Intelligenz vorhersagen. Dies bedeutet aber auch, dass Grundlagen für die Entwicklung interindividueller Unterschiede bezüglich des mathematischen Verständnisses bereits früh gelegt werden.

Das räumlich-visuelle Vorstellungsvermögen ist eine wichtige Basisressource mathematischen Denkens. Neben anderen spezifischen Fähigkeitsunterschieden, beeinflusst das räumlich-visuelle Vorstellungsvermögen im Besonderen den Erwerb mathematischer Kompetenzen (Stern et al., 2006). So ist die Vorstellung von Zahlen eng an den Raum gebunden: „Größere Mengen nehmen mehr Raum ein als kleinere Mengen“ - diese Annahme dominiert in den ersten Jahren das Zahlverständnis der Kinder und führt zu den typischen Fehlern bei Invarianzaufgaben, die schon von Piaget beschrieben wurden. Der Vergleich von Mengen ist insofern auf räumlich-visuelles Vorstellungsvermögen zurückzuführen als dass dieselbe Menge in einer anderen Form oder in einem anderen Gefäß wieder als dieselbe Menge wahrzunehmen und zu erkennen ist.

Ebenso ist mathematisch-numerisches Operieren wie beispielsweise das Denken in Formeln erst bei einem hohen Grad von Expertise eine effiziente Lösungsmethode. Für den Wissenserwerb sollte auf visuell-räumliche bzw. visuell-grafische Repräsentationen zurückgegriffen und nicht nur ein rein symbolischer Bezug geschaffen werden, um abstrakte mathematische Konzepte zu vermitteln (Stern et al., 2006). Ein

Beispiel hierfür ist die Verwendung von Graphen als „Denk- und Modellierwerkzeug“ zur Lösung von entsprechenden Aufgaben.

3.5 Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen

Im Kontext speziell mit dem Computer aufbereiteter medialer Lernumgebungen sollte der Einsatz des Computers nicht nur vor einem technischen und medialen, sondern insbesondere auch vor einem didaktischen Hintergrund betrachtet werden. Kapitel 3.4.5 und Kapitel 3.4.6 nannten solche didaktischen Konzepte und Prinzipien für den Mathematikunterricht. Vor allem Kapitel 3.4.6 betonte dabei die Unterstützung der vorgestellten Konzepte und Prinzipien durch den Einsatz neuer Technologien. Diese Möglichkeiten werden im Folgenden näher erläutert.

Darüber hinaus wird ein Beispiel aus der Mathematik aufgezeigt, wie sich konzeptuelles und prozedurales Wissen so miteinander verbinden lassen, dass konzeptuelles Wissen aufgebaut wird, ohne auf ein „stures Auswendiglernen“ zurückzugreifen.

Im Anschluss daran wird der insbesondere didaktische Einsatz von Bildern und Diagrammen noch einmal beleuchtet und in den Kontext von Lernereigenschaften gesetzt. Zudem werden die Möglichkeiten des *Erzählens* aus einer didaktischen Perspektive heraus erneut aufgegriffen.

3.5.1 Einfluss neuer Technologien auf didaktische Prinzipien im Mathematikunterricht

In Kapitel 3.4.6 wurden acht didaktische Leitlinien für den Mathematikunterricht vorgestellt, die von Weigand und Weth (2002) aus einer Fülle didaktischer Prinzipien insbesondere vor dem Hintergrund des Einsatzes neuer Technologien ausgewählt und zusammengestellt wurden. Diese acht Leitlinien sind: *An Grundideen orientieren*, *Beziehungen herstellen*, *Lernen*, *Fragen zu stellen*, *Operativ arbeiten*, *Selbsttätig lernen*, *Produktiv üben und wiederholen*, *Adäquat visualisieren* und *Wissen und Können auslagern*.

Nach Weigand und Weth (2002, S.29ff.) können neue Technologien auf alle diese Leitlinien einen Einfluss nehmen bzw. zu deren Unterstützung und Umsetzung eingesetzt werden: Wenn Computer von kalkülkaftem Rechnen entlasten, erleichtern sie dadurch die Konzentration auf zentrale Aspekte des Unterrichts, womit sie die geforderte *Orientierung an Grundideen* unterstützen. Manche Lerninhalte wie beispielsweise das Lösen von Gleichungen auf verschiedenen Niveaus, das Modellieren von Umweltsituationen oder das Ermitteln von Extremwerten lassen sich mithilfe der Rechenleistung von Computern und dem Zugang über verschiedene Darstellungsformen auf vereinfachte, aber nicht verfälschte Weise bereits früher im Unterricht behandeln. Zusätzlich helfen die erweiterten Visualisierungsmöglichkeiten des Computers, Ideen auf einer breiteren Darstellungsbasis zu entwickeln (Weigand und

Weth, 2002, S.29).

Die vielfältige und parallele Verfügbarkeit verschiedener Darstellungsformen ermöglicht das *Herstellen von Beziehungen* zwischen der symbolischen, numerischen und grafischen Ebene. Mithilfe des Computers oder Taschenrechners können Mathematisierungen zum Beispiel im Hinblick auf das verwendete Zahlenmaterial und die funktionalen Zusammenhänge realitätsnäher erfolgen. Das Internet bietet eine Fülle von Daten, die das Aufgreifen aktueller Beispiele zu einem Themenbereich ermöglicht. Die Auslagerung komplexer kalkülhafter Berechnungen trägt zudem im Modellbildungsprozess dazu bei, dass eine Konzentration auf zentrale Tätigkeiten wie Mathematisieren und Interpretieren der Lösungen möglich ist.

Eine verstärkte Entlastung vom Ausführen algorithmischer Tätigkeiten durch den Computer stellt zudem heuristische und experimentelle Arbeitsweisen in den Vordergrund. Damit derartige Arbeitsweisen sinnvoll und zielgerichtet sind und tatsächlich Antworten auf Fragen liefern, haben ihnen entsprechende Fragestellungen vorauszu gehen. Damit wird das *Lernen, Fragen zu stellen*, unterstützt. Fragen sind ebenso eine wichtige Voraussetzung zur sinnvollen Nutzung der Fülle von Informationen, die durch das Internet zur Verfügung gestellt werden. Nur auf der Grundlage eines zielgerichteten und fragengeleiteten Suchens kann die Fülle und Vielfalt der durch das Internet leicht verfügbaren Informationen zur konstruktiven Wissensentwicklung genutzt werden (Weigand und Weth, 2002, S.31). Weigand und Weth (2002, S.31) geben an dieser Stelle aber auch zu bedenken, dass die Entwicklung von Fragen eine entsprechende Umgebung mit viel Zeit und Muße (im ursprünglichen Sinn des Wortes „Schule“) voraussetzt: „Demzufolge ist es eine zentrale, aber keine einfache Aufgabe im computerunterstützten Unterricht, die Schnelligkeit der im Computer ablaufenden Prozesse mit der Entwicklung von Ruhe und Muße im Unterricht in Einklang zu bringen“ (Weigand und Weth, 2002, S.31f.).

Vor dem Hintergrund *operativen Arbeitens* bieten neue Technologien neue und andere Möglichkeiten eines ikonischen oder symbolischen Umgangs mit mathematischen Symbolen, Grafiken, Diagrammen und geometrischen Konstruktionen. Durch experimentelles Arbeiten lässt sich insbesondere der Frage „Was passiert ..., wenn ...?“ nachgehen. Der Einsatz des Computers kann an dieser Stelle die Ausbildung von Begriffen im Sinne eines Verinnerlichens von Handlungen unterstützen. Gleichzeitig muss nicht jeder Wissenserwerb aufgrund einer Tätigkeit erfolgen, so dass darbietendes und rezeptives Lernen nicht von vornherein auszuschließen sind (Weigand und Weth, 2002, S.33). Zudem ist nach Weigand und Weth (2002, S.34) darauf zu achten, dass operatives Tun mit dem Computer nicht in „blinden Aktionismus“ ausartet.

Ähnlich verhält es sich mit dem Einsatz des Computers im Sinne eines *selbsttätigen Lernens*: Auch hier eröffnet der Computer eine Vielzahl von Möglichkeiten - als Werkzeug in der Hand des Lernenden und als Katalysator für verschiedene Formen des individualisierten Unterrichts, der Partnerarbeit oder kooperativer Arbeitsformen (Weigand und Weth, 2002, S.34). Dabei wird allerdings vorausgesetzt, dass sich bei diesen Unterrichtsformen eine größere Selbsttätigkeit entwickelt, was nach Weigand und Weth (2002, S.34) nicht immer zwangsläufig gegeben ist. Insofern ist auch hier darauf zu achten, dass Selbsttätigkeit mit dem Computer ebenfalls nicht in

„blinden Aktionismus“ oder bloße „Versuch-Irrtum-Verfahren“ mündet. Vor diesem Hintergrund sind nach Weigand und Weth (2002, S.34) „neue“ Unterrichtsformen zu etablieren, die sowohl Möglichkeiten als auch Grenzen des Computereinsatzes berücksichtigen.

Neue Technologien sind im Hinblick auf *produktives Üben und Wiederholen* nach Weigand und Weth (2002, S.35) in zweifacher Hinsicht zu betrachten: Zum einen gibt es eine große Vielfalt interaktiver Übungsprogramme (siehe insbesondere Kapitel 5.4 Lernsoftware) für alle Altersstufen. Solche Programme können dem Anwender eine Rückmeldung über fehlerhafte Eingaben oder auch Lösungshinweise geben. Dabei sollen insbesondere *intelligente tutorielle Systeme* in der Lage sein, sehr gezielt auf die individuellen Voraussetzungen und Möglichkeiten des einzelnen Anwenders einzugehen (siehe Kapitel 5.4.5 *Tutorielle Systeme*). Allerdings ist die konkrete Umsetzung solcher Möglichkeiten sehr kritisch zu betrachten (siehe Kapitel 5.5.5). Zum anderen ist der Computer ein Katalysator für die *produktive* Gestaltung von Übungsaufgaben, wodurch insbesondere die Fertigkeiten geübt werden können, die der Computer selbst nicht beherrscht, wie beispielsweise die Darstellung von Lösungsansätzen und die Interpretation von Ergebnissen. In diesem Zusammenhang stellt sich für die Unterrichtsgestaltung generell die Frage, welche Fertigkeiten überhaupt noch mit Papier und Bleistift ausgeführt und welche Fertigkeiten künftig an den Computer abgegeben werden sollten (Weigand und Weth, 2002, S.36).

Dass der Computer *adäquates Visualisieren* gut unterstützen kann, wurde bereits mehrfach beschrieben. Insofern seien an dieser Stelle die wesentlichen Punkte kurz zusammengefasst: Der Computer ermöglicht die Präsentation sehr komplexer und verschiedenartiger statischer wie dynamischer Darstellungen, ihre schnelle Erstellung und im Fall interaktiver Darstellungen eine schnelle Anpassung an Parameterwechsel; er ermöglicht einen schnellen Wechsel zwischen verschiedenartigen Darstellungen desselben Themenbereichs, aber auch eine gleichzeitige Präsentation mehrerer Darstellungen, die zudem interaktiv miteinander verknüpft sein können. Die Verwendung von und das Arbeiten mit Darstellungen erhält somit im Rahmen des computergestützten Arbeitens eine neue Qualität (Weigand und Weth, 2002, S.37). Dabei ist jedoch auch zu berücksichtigen, dass der Umgang mit dem Werkzeug Computer ein Wissen um dessen Bedienbarkeit voraussetzt.

Computer ermöglichen die *Auslagerung von Wissen und Können* und insbesondere die Auslagerung mathematischer Fertigkeiten vom „Kopf in die Technik“ (Weigand und Weth, 2002, S.37). Durch die bereits mehrfach erwähnte Übernahme mathematischen Kalküls bieten neue Technologien hier insbesondere sehr erweiterte Möglichkeiten der Auslagerung - algorithmische Tätigkeiten können zugunsten des Planens von Rechenabläufen und des Interpretierens von Ergebnissen in den Hintergrund treten: „Der Schüler löst sich von seiner bisherigen Rolle als *Rechner* und erfährt die Beförderung zum *Anweiser und Planer* von Rechnungen“ (Weth (1993, S.107), zitiert nach Weigand und Weth (2002, S.37). Gleichzeitig ist bei einer solchen Auslagerung zu berücksichtigen, dass viele Rechnungen nicht mehr explizit nachvollziehbar sind, wie beispielsweise trigonometrische Berechnungen, die Bestimmung von Nullstellen mathematischer Gleichungen oder Gleichungssysteme oder die algorithmischen Regeln

von Computeralgebrasystemen. Weigand und Weth (2002, S.38) betonen an dieser Stelle gleichermaßen Herausforderung und Gefahr einer Reduzierung routinemäßiger Fertigkeiten. Eine solche Verringerung führt zu einer Gestaltung von Unterricht, die zwar technisch einfacher, jedoch intellektuell anspruchsvoller ist. Computer-Software bietet einerseits die Chance, Rechenschwächen auszugleichen und Probleme in Algebra und Analysis zu mindern oder zu entschärfen; andererseits können durch den Computereinsatz Fertigkeiten gefördert werden, die im bisherigen Mathematikunterricht meist nur eine untergeordnete Rolle gespielt haben wie beispielsweise das Lesen und Interpretieren von Ergebnissen (Weigand und Weth, 2002, S.38). Weigand und Weth (2002, S.38) betonen, dass an dieser Stelle nicht übersehen werden darf, dass der Aufbau von Vorstellungen über ein mathematisches Objekt eng mit dem Operieren mit diesen mathematischen Objekten verbunden ist. Algorithmische Fertigkeiten geben zudem auch Sicherheit und Selbstvertrauen, was eine wichtige Grundlage für kreative Überlegungen darstellt (Weigand und Weth, 2002, S.38).

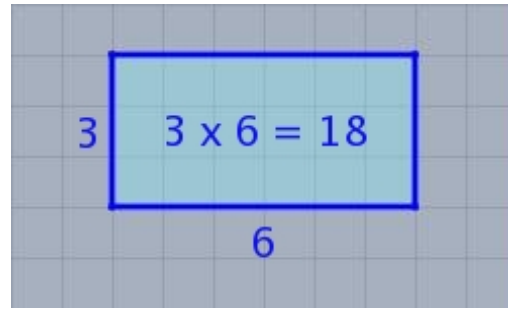
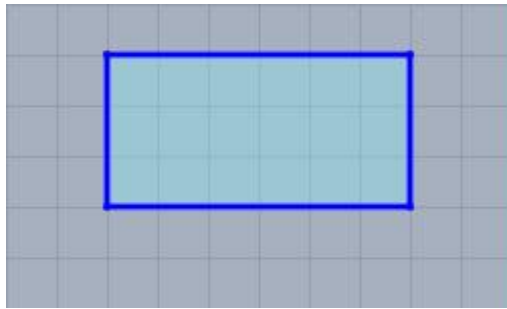
3.5.2 Vermittlung von konzeptuellem und prozeduralem Wissen

Wie die Ausführungen speziell zum Mathematiklernen gezeigt haben, bedingen sich konzeptuelles und prozedurales Wissen gegenseitig - wenn auch nicht genau bekannt ist, *wie* dies vonstatten geht. Insofern sollte dies gerade beim Mathematiklernen berücksichtigt werden. Einerseits ist es wichtig und für ein erfolgreiches Lernen unabdingbar, mathematische Sachverhalte und deren Hintergründe und Struktur zu verstehen, um sie auch in multiplen Kontexten anwenden zu können. Zum anderen sollte aber auch prozedurales Wissen wie beispielsweise das kleine Einmaleins, Rechenregeln für das Bruchrechnen oder Lösungsstrategien für das Lösen linearer Gleichungen einfach präsent sein, ohne erst lange darüber nachdenken zu müssen.

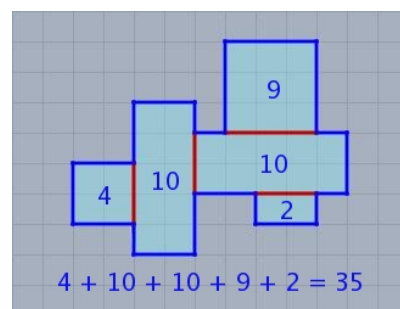
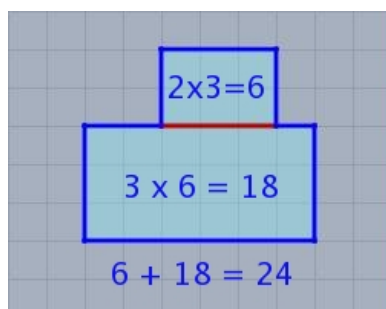
An dieser Stelle sind Überlegungen dahingehend angebracht, wie man solches prozedurales Wissen „trainieren“ kann, ohne in wenig motivierendes Auswendiglernen oder schlichten „Drill & Practice“ überzugehen.

Am Beispiel des kleinen Einmaleins lässt sich dies gut demonstrieren: Statt die Zahlenkolonnen einfach auswendig zu lernen, können zunächst Beziehungen und Strategien entdeckt werden, die dabei helfen, sich in der Zahlentabelle leichter zurechtzufinden.

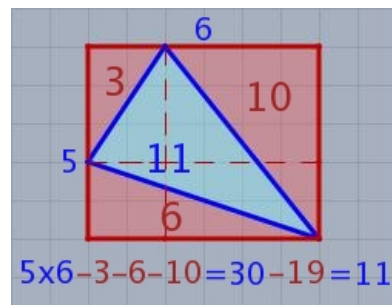
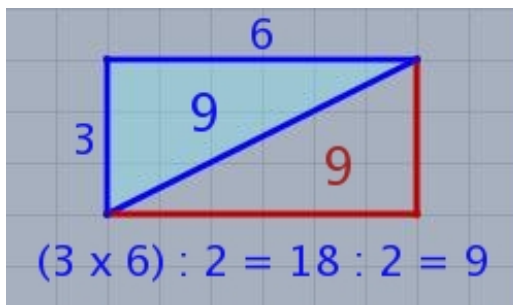
Zudem lassen sich Beziehungen zur Flächenberechnung von Rechtecken und dem kleinen Einmaleins aufbauen (siehe Abbildung 3.15). Geht man hier von einfachen Rechtecken auf Kästchenpapier zu Figuren über, die sich aus Rechtecken zusammensetzen lassen und wählt anschließend Dreiecke (als „halbe“ Rechtecke) und schließlich solche Dreiecke und Figuren, die sich aus solchen Dreiecken zusammensetzen, so ist letztendlich sogar eine Form des Satzes von Pythagoras erreichbar (Richter-Gebert, 2004a). Auf dem Weg dorthin werden ausschließlich die Rechenaufgaben des kleinen Einmaleins verwendet; dennoch ist die zugrunde liegende Situation für den Lernenden immer wieder neu und herausfordernd. Gleichzeitig werden hier unterschiedliche Lernstile sowie multiple Perspektiven berücksichtigt.



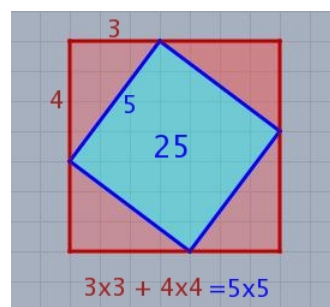
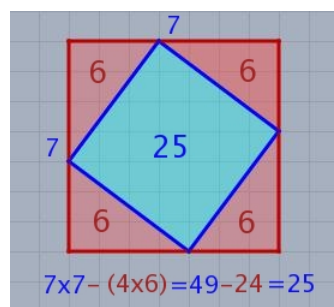
Einfache Flächenberechnung eines Rechtecks



Zusammengesetzte Rechtecke



Ausgerichtete und schräge Dreiecke



Eine Form des Satzes von Pythagoras

Abbildung 3.15: Verbindung von konzeptuellem und prozeduralem Wissen am Beispiel der Verknüpfung von kleinem Einmaleins und der Berechnung von Flächen.

3.5.3 Sinnvoller Einsatz von Bildern und Diagrammen

Mayer (2005a) hat den Einsatz von Bildern und Diagrammen hinsichtlich ihrer Lehrfunktion in Kombination mit Texten untersucht. Hierzu unterscheidet er (Mayer, 2005a, S.76f.) die vier Kategorien von *dekorativen*, *gegenständlichen*, *organisierenden* und *erklärenden Illustrationen*:

▷ DEKORATIVE ILLUSTRATIONEN

Dekorative Illustrationen wollen das Interesse des Betrachters wecken oder ihn einfach nur unterhalten. Sie sind „schmückendes Beiwerk“, ohne die im Text gegebenen Informationen zu erweitern. Beispiel: Das Bild der beiden wippenden Kinder in Abbildung 2.13, S.115.

▷ GEGENSTÄNDLICHE ILLUSTRATIONEN

Gegenständliche Illustrationen zeigen ein einzelnes Element, auf das der Text Bezug nimmt. Beispiel: Das Bild eines Kuchens im Kontext einer Textaufgabe zum Thema Teilen.

▷ ORGANISIERENDE ILLUSTRATIONEN

Organisierende Illustrationen zeigen Zusammenhänge zwischen einzelnen Elementen. Beispiel: Die Übersicht über Vierecke in Abbildung 2.16, S.119.

▷ ERKLÄRENDE ILLUSTRATIONEN

Erklärende Illustrationen stellen die Arbeits- bzw. Funktionsweise eines Systems dar. Beispiel: Die Bilder zur Funktionsweise einer mathematischen Abbildung in Analogie zu einer Maschine (Abbildung 2.15, S.117) oder das Schaubild zur Verknüpfung zweier Funktionen in Abbildung 2.14, S.116.

Die Ergebnisse von Mayer (2005a) sind eher ernüchternd:

In an analysis of how space is used in sixth-grade science textbooks, I found that about half of the page space was devoted to illustrations and about half was devoted to words. [...] The results [of categorizing with reference to the four given categories] were that the overwhelming majority of illustrations served no important instructional purpose: 23% were decorative and 62% were representational. In contrast, only a small minority of the illustrations enhanced the instructional message: 5% were organizational and 10% were explanative [...].

Similarly, in an analysis of fifth-grade mathematics textbooks, my colleagues and I found that about 30% of the space was used for illustrations, but again, the majority of the illustrations were irrelevant to the goal of the lesson. (Mayer, 2005a, S.77f.)

Mayer (2005a) zieht hieraus den Schluss, dass weder die Autoren naturwissenschaftlicher noch die Autoren mathematischer Lehrbücher das Potenzial von Illustrationen für das Lehren und Lernen wirklich nutzen.

Dieses Ergebnis lässt sich insofern auf Bilder und Diagramme in medialen Angeboten übertragen, als diese hier dieselben Funktionen übernehmen und zudem mit den erweiterten Möglichkeiten der neuen Technologien nicht nur eine Erweiterung des *sinnvollen* Einsatzes, sondern auch die Gefahr von Überladung und Effekthascherei gegeben ist.

3.5.4 Lernstile und Lernereigenschaften in der Mathematik

Kapitel 3.2.12 setzte sich sehr kritisch mit Lernstilen und anderen Lernereigenschaften auseinander. Es wurde deutlich, dass es eine große Vielfalt unterschiedlicher Lernstile gibt, sich Lernende aber nicht nach solchen Lernstilen klassifizieren lassen. Insofern ist es nicht möglich, Lernende über Vorabfragen oder Tests in bestimmte Lernstilgruppen einzuteilen, um auf diese Art und Weise ein mediales Angebot individuell zu modifizieren (siehe hierzu Kapitel 4.3 Adaptation). Gleichzeitig konnte in Kapitel 3.4.8 nachgewiesen werden, dass bestimmte Lernereigenschaften wie insbesondere die Ausprägung des räumlichen Vorstellungsvermögens sehr wohl einen Einfluss auf das Lernen nehmen können.

Insofern sollten auch und gerade in der Mathematik die individuellen Voraussetzungen, Lernstile und Lernstrategien der Lernenden Berücksichtigung finden. Unterschiedliche Perspektiven und unterschiedliche Darstellungsweisen sind somit auch vor einem didaktischen Hintergrund wertvoll. Wie im Rahmen des *Prinzips der multiplen Repräsentation* bzw. unter der Überschrift *Adäquat visualisieren* (Kapitel 3.4, S.232) aufgeführt, gibt es in Anlehnung an Bruner (1966) die drei Darstellungsmöglichkeiten der enaktiven (durch Handlung), der ikonischen (bildhaften) und der sprachlich-symbolischen Form. Es ist jene sprachlich-symbolische Form, die Barzel et al. (2005, S.25) ansprechen, wenn sie insbesondere für die Mathematik fordern, „die herrschende Dominanz des Sprachlich-symbolischen [sic!] zu brechen und wo immer möglich andere Repräsentationsformen zu nutzen“. Damit ist zum einen der *sinnvolle* Einsatz von mathematischen Bildern und Diagrammen angesprochen, zum anderen handlungsorientierte Darstellungen.

Auf den sinnvollen Einsatz von Bildern und Diagrammen wurde bereits eingegangen. Die in Kapitel 1.6.2, S.72, vorgestellten Gedanken zur Einbindung haptischer Komponenten können zu den handlungsorientierten Darstellungen gezählt und somit auch vor einem didaktischen Hintergrund als eine sinnvolle Erweiterung betrachtet werden. Die verschiedenen Formen der *Interaktivität* werden in Kapitel 6 näher erläutert.

Insgesamt ergibt sich für mathematische mediale Lernumgebungen die Forderung, auf individuelle Unterschiede der Lernenden so weit als möglich einzugehen, die Möglichkeiten neuer Technologien hierzu aber nicht „wahllos“, sondern sehr *gezielt* und vor dem Hintergrund *wissenschaftlicher Erkenntnisse* zu nutzen. Die in Kapitel 3.3.1 von Weidenmann (2002b) ausgesprochene Empfehlung, zuerst das Konzept

für das gewünschte mentale Modell, das vom Lernenden entwickelt werden soll, zu entwerfen und erst dann zu überlegen, mit welchen insbesondere technischen Mitteln sich dieses umsetzen lässt, gewinnt in diesem Zusammenhang an Bedeutung.

3.5.5 Haptische Komponenten

Wie oben bereits aufgeführt, können haptische Komponenten im Kontext einer mathematischen Lernumgebung im Sinne handlungsorientierter Darstellungen eingesetzt werden und so im Rahmen des Prinzips der multiplen Repräsentation einen weiteren Zugang zu einem mathematischen Sachverhalt schaffen.

Darüber hinaus können sie aber auch die Kommunikation zwischen Lernenden unterstützen, wenn beispielsweise Bastelbögen im Team zusammengesetzt oder Geschichten gegenseitig vorgelesen werden. Werden vorgeschlagene Spielideen oder vielleicht sogar ein mathematisches Theaterstück aufgegriffen, so setzt dies Kommunikation notwendigerweise voraus. Insofern kann der Computer Kommunikation fördern, ohne selbst als Medium daran beteiligt zu sein.

3.5.6 Erzählen

Die Ausführungen zum Mathematiklernen, speziell das Kapitel 3.4.3 haben die Bedeutung der Sprache innerhalb der Mathematik hervorgehoben. So kann zum Beispiel eine andere Formulierung desselben Inhalts zu großen Verständnisschwierigkeiten führen.

In Kapitel 3.2.8 wurde die Bedeutung selbstgesteuerten und kooperativen Lernens und damit letztlich auch die Fähigkeit zur Kommunikation betont. Kommunikation und insbesondere Kommunikation im Rahmen eines computerunterstützten kooperativen Lernens (siehe Kapitel 5.6.6) setzt aber einen entsprechenden Umgang mit Sprache voraus.

Insofern ließe sich darüber nachdenken, Sprache viel intensiver innerhalb des Lernens und Lehrens von Mathematik einzusetzen. Die narrativen Ansätze der situierten Kognition und des problemorientierten Lehrens und Lernens machen hiervon bereits Gebrauch (siehe Kapitel 3.2.5, S.176, und Kapitel 3.2.7, S.179): Um Alltagssituationen darzustellen oder die zu vermittelnden Inhalte in solche einzubetten, sind *Geschichten* und *Erzählungen* notwendig, die sich einer anderen Sprache bedienen als ein Fachtext.

In Kapitel 3.4.3, S.219, wurden *Lerntagebücher* als eine Möglichkeit der intensiven sprachlichen Auseinandersetzung mit mathematischen Fachthemen vorgestellt. Auch im Kontext mit dem Computer aufbereiteter mathematischer Lernumgebungen lassen sich derartige Lerntagebücher zur Verfügung stellen, wobei deren Nutzung deutlich mehr in der Verantwortung des Nutzers liegt, im Rahmen der Lernumgebung aber auch entsprechend motiviert werden kann.

Für die in Kapitel 1.6.2, S.72, und in Kapitel 2.5.2, S.148, jeweils unter der Überschrift *Erzählen* aufgeführten erweiterten Möglichkeiten finden sich in den Ausführun-

gen dieses Kapitels nun auch didaktische Argumente, die einen Einsatz dieser Möglichkeiten unterstützen:

In Kapitel 3.1.4 wurde das Wecken von Fantasie und Kreativität beim Lernenden als ein Mittel zur Förderung von Interesse genannt. In diesem Zusammenhang können auch Erzählungen und fantasievolle Narrationen betrachtet werden. Im Kontext von Mathematik erreichen sie den Zuhörer bzw. Lernenden auf einer Ebene, die er nicht unbedingt mit Mathematik in Verbindung bringen würde. Dies kann gerade bei solchen Lernenden, die eher eine Abneigung gegen das Fach haben, einen neuen Ansatz und Zugang schaffen. An dieser Stelle sei an das in Kapitel 3.4.5 auf S.226 aufgeführte Zitat der Webseite des Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education erinnert, in dem es heißt, dass sowohl die Fantasiewelt der Märchen als auch die formale Welt der Mathematik sehr geeignete Umgebungen für die Darstellung von Problemen sein können, so lange sie für den Lernenden in dessen Gedankenwelt real (und lebendig) sind.

Frei erfundene Geschichten sowie die Personifizierung mathematischer Elemente lassen im Sinne multipler Perspektiven viele weitere Sichtweisen zu. In Kapitel 3.4.3, S.221, wurden hierzu zwei Beispiele vorgestellt: die Erzählung *Flatland* von Abbott (1990, Originalausgabe ca. 1880) sowie die Geschichte *Forschungsreisen zu den Inseln der Zähligen* von Gerstberger (2006).

Während in *Flatland* die Personifizierung mathematischer Elemente eine wesentliche Rolle für die Darstellung der mathematischen Welt spielte, wurden mit den Inseln der Zähligen fiktive Inseln vorgestellt, deren Bewohner letztlich auch in ihrer eigenen Welt nach ihren eigenen Gesetzen leben. In beiden Fällen ermöglichte dieser Perspektivenwechsel eine umfassende Beschreibung der jeweiligen Welt als ein in sich geschlossenes System. Streng genommen erleichtert diese „Beschränktheit“ die Wahrnehmung des jeweils Wesentlichen, weil sie die eigene Welt und deren Gesetzmäßigkeiten vorübergehend vergessen bzw. bewusst außer Acht lässt.

Zudem bieten Erzählungen die Möglichkeit, Emotionen einzubinden. Diese wiederum geben Gelegenheit, Mathematik beispielsweise auf heitere oder ernste, leichte oder vertiefende, lockere oder exakte Art und Weise darzustellen und können so der Darstellung einer reinen Ansammlung mathematischer Fakten entgegenwirken. Erzählungen können dabei durchaus auch in Dialogform dargestellt werden, die eine Entwicklung von Themen im Sinne eines in Kapitel 3.2.9, S.188, vorgestellten sokratischen Dialoges ermöglichen.

Sprachliche Vielfalt und die dadurch gegebenen Optionen können auch das Erreichen der in Kapitel 3.4.7 vorgestellten Lernziele von Mathematikunterricht unterstützen. Sie bietet insbesondere Möglichkeiten, das *schöpferische Tun* und die *Freude an der ästhetischen und spielerischen Seite* der Mathematik auf verschiedenen Ebenen ansprechend und einladend darzustellen.

Die in Kapitel 2.5.2 vorgeschlagene Darstellung mathematischer Inhalte sowohl auf einer unterhaltenden als auch auf einer damit verknüpften fachwissenschaftlichen Ebene berücksichtigt insofern auch individuelle Unterschiede der Lernenden, als das diese Gelegenheit haben, jeweils ihren eigenen, persönlichen Schwerpunkt zu setzen.

3.6 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Didaktische Konzepte standen im Zentrum dieses Kapitels. Dabei wurde in Kapitel 3.1 zunächst eine mediendidaktische Sicht eingenommen. Um jedoch die in diesem Rahmen vorgestellten Konzepte nachvollziehen zu können, ist ein Wissen um die lerntheoretischen Hintergründe notwendig. Kapitel 3.2 stellte hierzu die wichtigsten Lerntheorien in Anlehnung an ihre historische Entwicklung vor.

Dabei wurde deutlich, dass es nicht nur eine Vielzahl verschiedener Ansätze darüber gibt, wie *Lernen* funktioniert, sondern dass selbst bei gleichem Ansatz auch verschiedene Schlussfolgerungen für ein erfolgversprechendes *Lehren* gezogen werden.

Offensichtlich ist Lernen und das damit verbundene Lehren ein überaus kompliziertes Geschehen, das sich nicht auf einen einzigen Ansatz oder eine einzige Methode reduzieren lässt. Nach dem jetzigen Stand der Forschung stehen der *Konstruktivismus* und die daraus abgeleiteten Ansätze im Zentrum des Interesses. Gleichzeitig wurde aber auch dargelegt, dass Instruktion ein wichtiger Bestandteil des Lernens ist, ohne den Lernen Gefahr laufen kann, erfolglos zu verlaufen. Der Ansatz des *Problemorientierten Lernens und Lehrens* versucht hier den Mittelweg zwischen Instruktion und Konstruktion zu finden.

Aus diesen allgemeinen Ansätzen lassen sich konkrete Folgerungen und Leitlinien für die Gestaltung von Lernumgebungen und damit letztlich auch für die Gestaltung medialer Lehr- und Lernangebote sowie von Lernsoftware ableiten. Diese sind Thema des nächsten und übernächsten Kapitels (Kapitel 4 Lernumgebungen und Kapitel 5 E-Learning).

In diesem Kapitel wurden aus diesen allgemeinen Ansätzen sowohl allgemeine Aspekte für das Lernen und Lehren mit Medien als auch spezielle Besonderheiten für das Lernen und Lehren mit Medien in der Mathematik abgeleitet und dargestellt. Während Kapitel 3.3 diese allgemeinen Aspekte aufzeigte, wurde in Kapitel 3.4 ausdrücklich auf das *Mathematiklernen* eingegangen: Vorgestellt wurden verschiedene Arten des Mathematiklernens (Kapitel 3.4.1) sowie die drei zentralen mathematischen Prozesse des *Kommunizierens*, *Problemlösens* und *Begriffsbildens* (Kapitel 3.4.2). Kapitel 3.4.3 betonte die Bedeutung der *Sprache* für die Mathematik. Kapitel 3.4.4 stellte die Unterscheidung von *konzeptuellem* und *prozeduralem Wissen* dar. Konkrete didaktische Konzepte und Prinzipien wurden in Kapitel 3.4.5 und Kapitel 3.4.6 vorgestellt. Dabei wurde insbesondere der Einsatz neuer Technologien berücksichtigt. Die Darstellung und Formulierung von *Lernzielen von Mathematikunterricht* (Kapitel 3.4.7) gab neben den vorgestellten Konzepten und Prinzipien letztlich weitere Richtlinien bzw. Hilfen für ein erfolgreiches Mathematiklernen an. Kapitel 3.4.8 betonte dabei die Bedeutung *individueller Voraussetzungen* wie insbesondere des räumlichen Vorstellungsvermögen eines Lernenden. Kapitel 3.5 ging auf besondere Aspekte für mit dem Computer medial aufbereitete Lernumgebungen ein.

Während sich dieses Kapitel also generell mit dem *Lehren und Lernen* auseinander-

gesetzt hat, wird Kapitel 4 nun konkret Lernumgebungen und die für sie aus diesem Kapitel ableitbaren Gestaltungs- und Strukturprinzipien fokussieren. Kapitel 5 wird sich vor diesem Hintergrund dann insbesondere mit der so genannten *Lernsoftware* befassen.

Teil II

Computer und Lernumgebungen

Kapitel 4

Lernumgebungen

Kapitel 3 hat sich gezielt mit dem Lehren und Lernen auseinandergesetzt und in diesem Zusammenhang die grundlegenden Lerntheorien und deren Entwicklung dargestellt. Sie bilden die Basis für didaktische Modelle und ermöglichen eine Ableitung von Strukturprinzipien und Leitlinien für das konkrete Lehren und Lernen. Im Zusammenhang eines konkreten Lehrens und Lernens wird oft der Begriff der *Lernumgebung* verwendet. Dabei ist auch dieser Begriff sehr vielschichtig.

Kapitel 4.1 gibt daher zunächst eine Begriffsabgrenzung. Vor dem Hintergrund dieser Begriffsabgrenzung geht Kapitel 4.2 eingangs auf wesentliche Merkmale des *Instruktionsdesigns* ein. Dabei werden die unterschiedlichen Einflüsse der einzelnen Lerntheorien aufgegriffen und sichtbar. Im Weiteren werden insbesondere die *didaktischen Funktionen*, *Strukturprinzipien* und *Leitlinien* für Lernumgebungen dargestellt, die der in Kapitel 3 dargestellten gegenwärtigen Auffassung von Lehren und Lernen entsprechen und insofern auch und gerade in mit dem Computer medial aufbereiteten Lernumgebungen berücksichtigt und umgesetzt werden sollten.

Bevor in Kapitel 4.4 solche möglichen konkreten Umsetzungen für mathematische Lernumgebungen aufgenommen werden, geht Kapitel 4.3 kritisch auf eine Besonderheit von mit dem Computer medial aufbereiteten Lernumgebungen ein: die *Adaptation* in Form von *Adaptierbarkeit* und *Adaptivität*. Kapitel 4.5 fasst die zentralen Inhalte abschließend kurz zusammen.

4.1 Begriffsabgrenzung

Der Begriff der Lernumgebung lässt sich zunächst ganz allgemein im Kontext des Lernens und Lehrens einordnen. Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) beschreiben diesen Begriff wie folgt:

Der Begriff der LERNUMGEBUNG bringt zum Ausdruck, dass das Lernen von ganz verschiedenen Kontextfaktoren abhängig ist, die in unterschiedlichem Ausmaß planvoll gestaltet werden können. Eine durch Unterricht hergestellte Lernumgebung besteht aus einem Arrangement von Unterrichtsmethoden, Unterrichtstechniken, Lernmaterialien, Medien. Dieses

Arrangement ist durch die besondere Qualität der aktuellen Lernsituation in zeitlicher, räumlicher und sozialer Hinsicht charakterisiert und schließt letztlich auch den jeweiligen kulturellen Kontext ein. (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.603f.)

Ein zentraler Bestandteil dieser Beschreibung ist der Begriff des *Unterrichts*. Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) beschreiben ihn wie folgt:

Mit UNTERRICHT sind im Allgemeinen solche Situationen gemeint, in denen mit pädagogischer Absicht und in organisierter Weise innerhalb eines bestimmten institutionellen Rahmens von professionell tätigen Lehrenden Lernprozesse initiiert, gefördert und erleichtert werden. (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.603)

Dabei werden die Begriffe *Unterricht*, *Lehren* und *Instruktion* in der Regel als Synonyme verwendet, auch wenn sie in der Literatur gelegentlich unterschieden werden (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001). Eine Unterrichtsgestaltung und damit die Gestaltung einer Lernumgebung ist in der Regel abhängig von der pädagogischen Grundorientierung (siehe Kapitel 4.2).

Hinsichtlich der Vermittlungsabsicht unterscheiden Schott, Grzondziel und Hillebrandt (2002) zwischen einer *Informationsumgebung* und einer *Lernumgebung*: Beides wird zunächst als gesamtes Arrangement verstanden, das zum Zweck der Vermittlung von Informationen für bestimmte Adressaten gestaltet wird. Schott et al. (2002) zählen dazu Personen wie beispielsweise Lehrer, aber auch Lernpartner, Medien, Vermittlungsmethoden, Zeiteinteilung, Räume etc., d.h. jeden Aspekt, der zum Zweck der Vermittlung arrangiert wurde. Die Unterscheidung von Informations- und Lernumgebung liegt dann in der *Vermittlungsabsicht*: Sollen die Informationsinhalte nur kurzfristig behalten werden, wie etwa bei einer computerisierten Informationssäule für Touristen in einem Bahnhof, handelt es sich um eine *Informationsumgebung*, sollen sie langfristig behalten werden, handelt es sich um eine *Lernumgebung*. Da sich die *Neuen Medien* im Rahmen einer konstruktivistischen Auffassung zwar zur Gestaltung von Lernumgebungen anbieten, diese aber nicht allein für ein gelingendes Lernen ausschlaggebend sind (siehe Kapitel 2 *Wirkweise von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität*), etablieren Dörr und Strittmatter (2002) den Begriff der *multimedialen Lernumgebung* wie folgt:

Deshalb werden wir [...] den Begriff „multimediale Lernumgebung“ verwenden, um deutlich zu machen, dass nicht ein bestimmtes Medium im Zentrum des Interesses steht, sondern dass es darauf ankommt, Medien so in didaktische Kontexte in Form von Lernumgebungen zu integrieren, dass ein didaktischer Mehrwert entsteht. (Dörr und Strittmatter, 2002, S.30)

Barzel, Hußmann und Leuders (2005) beschreiben den Begriff der *Lernumgebung* vor dem Hintergrund einer Klassifikation nach den Funktionen von Medien hinsichtlich

ihres Einsatzes für das Lehren und Lernen. Dabei unterscheiden sie grob zwischen Lernumgebungen und Werkzeugen:

LERNUMGEBUNGEN (im weitesten Sinne) sind im Grunde alles, was den Lernenden von außen instruiert. Dazu gehören Inhalte, Ziele, Kommunikationsformen u.a., die durch die Lehrperson oder die Lernenden vorstrukturiert bzw. festgelegt sind und die den Rahmen bieten für die Lernprozesse der Einzelnen oder der Gruppe.

WERKZEUGE sind dagegen (in Grenzen) universell einsetzbare Hilfsmittel zur Bearbeitung einer breiten Klasse von Problemen, wie etwa Textverarbeitungs- oder Computer-Algebra-Systeme. (Barzel, Hußmann und Leuders, 2005, S.30, Hervorhebung durch den Verf.)

Barzel et al. (2005) sprechen weiter von *digitalen Werkzeugen* und *digitalen Lernumgebungen*: Demnach gehören zu den *digitalen Werkzeugen* alle software- oder hardwarebasierten Instrumente, die sich flexibel für eine Vielzahl von Fragen und Problemen einsetzen lassen. Damit legt der Nutzer selbst fest, welche der vielen zur Verfügung gestellten Funktionen er zu welchem Zweck nutzt und bestimmt somit seinen Lernweg weitgehend autonom (Barzel et al., 2005, S.31f.).

Mit dem Begriff der *digitalen Lernumgebung* bezeichnen Barzel et al. (2005, S.30) den medial aufbereiteten Teil einer Lernumgebung. Dazu zählen im Wesentlichen „die zur Verfügung gestellten Problemstellungen und Informationen, die von den Lernenden je nach Interessen, Fähigkeiten und Fertigkeiten mit Ergebnissen und Erfahrungen genutzt und erweitert werden“. Darüber hinaus sind aber oft auch beispielsweise Bereiche für die Kommunikation via Internet, Hinweise über weiterführende Quellen oder computerbasierte Tests ein Bestandteil von Lernumgebungen (Barzel et al., 2005, S.30). Digitale Lernumgebungen lassen sich nach Barzel et al. (2005, S.30) unter anderem nach dem Grad ihrer Offenheit unterscheiden:

Demnach gibt es digitale Lernumgebungen

- ▷ mit offenen Aufgabenstellungen (siehe hierzu auch Kapitel 4.2.8)
- ▷ mit teilweise geleiteten Aufgabenbearbeitungen
- ▷ mit klar begrenzten, vorgefertigten Arbeitsblättern und Lerneinheiten
- ▷ mit eng geführten Lern- und Übungsprogrammen, die keinerlei Nutzersteuerung erlauben und zur programmierten Unterweisung zu zählen sind (siehe hierzu auch Kapitel 5.4.3 und Kapitel 5.6.1).

Um letztgenannte rechnergesteuerte Trainingsprogramme begrifflich aus den Lernumgebungen auszuschließen, engt Kerres (1998) den Begriff deutlich ein und nennt zusätzliche Eigenschaften:

Lernumgebungen sollen demnach

- ▷ motivierend sein,
 - ▷ selbstgesteuertes Lernen unterstützen (siehe Kapitel 3.2.8),
 - ▷ zur Entwicklung von Kooperationsfähigkeit beitragen (siehe Kapitel 3.2.8),
-

▷ Rückmeldung ermöglichen.

Jonassen (1993) fordert darüber hinaus für Lernumgebungen die Authentizität, dass die zu lernenden Inhalte in Alltagskontexte eingebettet werden können. Außerdem sollen Lernumgebungen verschiedene Perspektiven desselben Sachverhaltes anbieten, um die kognitive Flexibilität zu fördern (siehe hierzu auch Kapitel 4.2.4 *Strukturprinzipien situierten Lernens* und Kapitel 4.2.6 *Leitlinien problemorientierter Lernumgebungen*).

Im Rahmen medialer Angebote findet sich auch eine sehr spezielle Verwendung des Begriffes der *Lernumgebung*. Hier wird der Begriff oft im Zusammenhang mit einem Hypertext- bzw. Hypermediasystem verwendet, das sich an konstruktivistischer Lerntheorie orientiert. Insofern werden Lernumgebungen oft als eine spezielle Form von *Lernsoftware* definiert (siehe hierzu Kapitel 5.4 Lernsoftware).

4.2 Gestaltung von Lernumgebungen

Die Gestaltung von Lernumgebungen wird in hohem Maße durch die zugrunde liegende Lerntheorie beeinflusst. Während beispielsweise der behavioristische Ansatz von Skinner zum Programmierten Unterricht geführt hat (vgl. Kapitel 5.6.1), hat eine kognitivistische Auffassung die Gestaltung gegenstandszentrierter Lernumgebungen zum Ziel. Ein konstruktivistischer Ansatz wiederum konzentriert sich auf die Gestaltung einer situierten Lernumgebung. Mit der näheren Gestaltung von Lernumgebungen setzt sich das Instruktionsdesign auseinander.

4.2.1 Instruktionsdesign

Der Begriff des Instruktionsdesigns (engl. instructional design, ID) bezeichnet die systematische Planung, Entwicklung und Evaluation von Lernumgebungen und Lernmaterialien. Dabei wurde dieser Begriff von Gagné und Briggs (1974) namentlich geprägt.

Schott, Grzondziel und Hillebrandt (2002) geben eine detaillierte Einordnung der Begriffe *Instruktion*, *Instruktionsdesign*, *Instruktionstheorie* und *Instruktionstechnologie*.

Demnach bezeichnet *Instruktion* die geplante Bereitstellung von Lern- und Informationsmöglichkeiten, die einer bestimmten Gruppe von Adressaten das Erreichen mehr oder weniger festgelegter Ziele ermöglichen soll. Schott et al. (2002) verstehen diesen Begriff dabei als Sammelbegriff für viele weitere Begriffe wie beispielsweise *Unterricht*, *Erziehung*, *Bildung*, *Lehre*, *Training*, *Unterweisung*, *Fortbildung*, *Weiterbildung* und *Persönlichkeitsförderung*, die alle mit der oben genannten Bereitstellung von Lern- und Informationsmöglichkeiten in Verbindung gebracht werden können. Wichtiger Bestandteil von Instruktion ist dabei die Intention, einer bestimmten Gruppe von Adressaten die Erreichung vordefinierter Ziele zu ermöglichen. *Lehr-*, *Lern-*, *Informations-*, *Unterrichts-*, *Erziehungs-*, *Trainings-* oder *Bildungsziele* sind Beispiele solcher vordefinierter Ziele.

Bei der Analyse von Instruktion unterscheiden Schott et al. (2002) drei Ebenen, die sich kurz als das „Was“, „Wie“ und „Warum“ von Instruktion zusammenfassen lassen: Die erste Ebene (das „Was“) bezieht sich auf die beobachtbare, vorfindliche Instruktion. Beispielsweise arbeitet gerade ein Schüler am Computer mit einem Lernprogramm zum Thema Symmetrie.

Die zweite Ebene (das „Wie“) bezieht sich auf die Regeln und Strategien, die der unmittelbar beobachtbaren Instruktion zugrunde liegen. Die jeweils zugehörige Instruktionsplanung sowie deren Ergebnis als eine bestimmte Instruktionskonzeption wird von Schott et al. (2002) als *Instruktionsdesign* bezeichnet.

Die dritte Ebene (das „Warum“) bezieht sich auf die theoretischen Konzepte, die den verschiedenen Methoden, Modellen und deren Bedingungen bei der Gestaltung von Instruktion zugrunde gelegt werden können. Eine solche Theorie enthält Prinzipien, die für alle diese Methoden und Modelle gelten sollen, und wird von Schott et al. (2002) als *Instruktionstheorie* bezeichnet.

Die Instruktionstheorie dient dann wiederum der *Instruktionstechnologie*. Dabei bezieht sich dieser Begriff der Instruktionstechnologie auf alle Vorkehrungen, die für die Bereitstellungen der jeweils zu verwirklichenden Lern- und Informationsmöglichkeiten getroffen werden. Dazu zählen nach Schott et al. (2002) nicht nur die Geräte und Programme zu deren Betrieb, sondern auch und vor allem die Interaktion der Adressaten mit der gesamten Instruktionsumgebung sowie die dadurch ausgelösten Lern- und Informationsprozesse.

Mit und neben der Instruktionstheorie sollen nach Schott et al. (2002) natürlich auch andere Wissenschaftszweige wie beispielsweise die Pädagogische Psychologie, Erziehungswissenschaft, Philosophie, Soziologie und Informatik bei der Gestaltung von Information mit einbezogen werden.

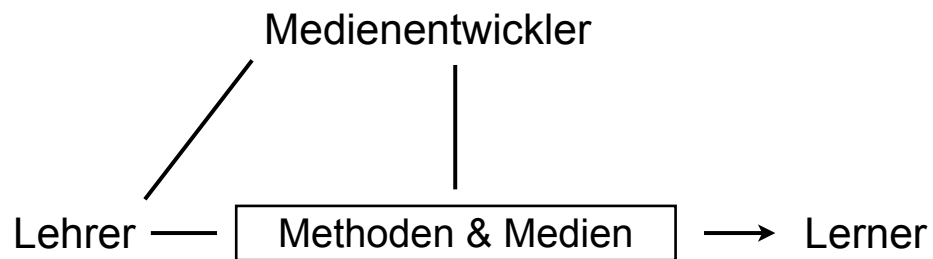
Die unterschiedlichen theoretischen Grundannahmen des Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus stellen die Funktionen des Lernenden, des Lehrenden, der Methoden und der Medien unterschiedlich dar. Diese Funktionsunterschiede haben dementsprechend auf das Instruktionsdesign und auf die Entwicklung der Medien unterschiedliche Auswirkungen (siehe Abbildung 4.1 nach Issing (2002)):

Nach dem Behaviorismus ist Lernen eine Abfolge von Reiz und Reaktion. Gemäß dieser Theorie bedarf es somit nur der richtigen Instruktion, um beim Lernenden einen Lernerfolg zu erzielen. Dementsprechend vermittelt der Lehrer über Methoden und Medien dem Lernenden die zu vermittelnden Inhalte. Insofern steht der Lehrer im Schaubild als Initiator des Lernprozesses an erster Stelle. Der Medienentwickler setzt um, was der Lehrer für sinnvoll erachtet. Der Lerner konsumiert das fertige Produkt.

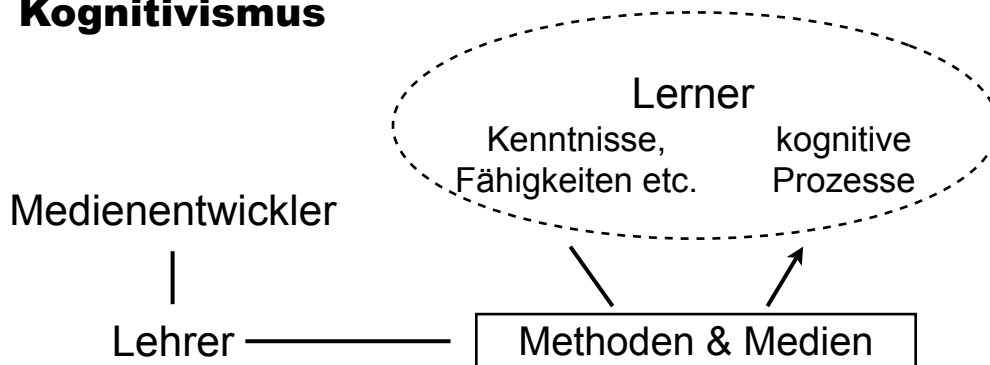
Beim Kognitivismus wird der Lernende mit seinen Kenntnissen und Fähigkeiten berücksichtigt. Ebenso werden dessen kognitive Prozesse beachtet. Das Schaubild zeigt die Möglichkeit der Interaktion zwischen Methoden und Medien und dem Lernenden. Lehrer und Medienentwickler nehmen Einfluss auf die Gestaltung der Methoden und Medien.

Ganz anders stellt das Schaubild die Situation beim Konstruktivismus dar: Hier

Instruktionismus



Kognitivismus



Konstruktivismus

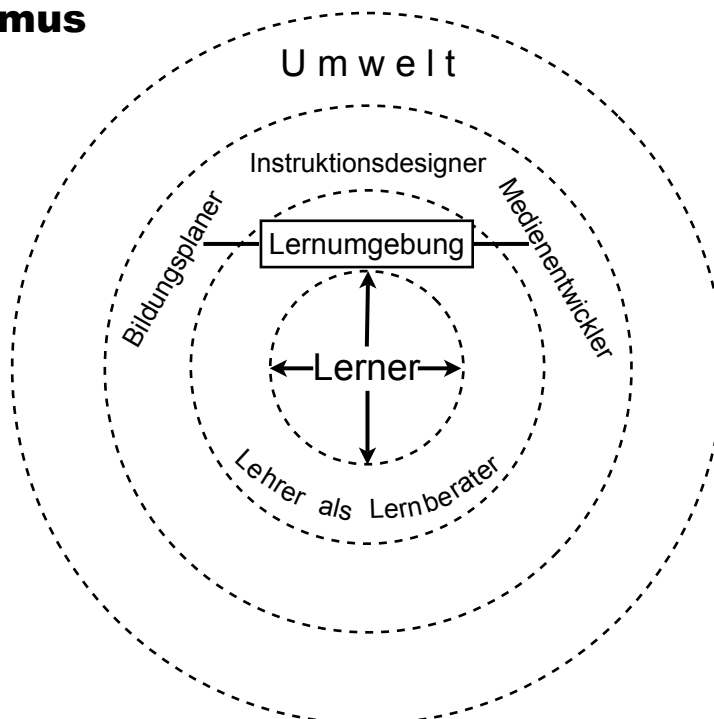


Abbildung 4.1: Vereinfachte Darstellung der Funktion von Methoden und Medien bzw. Lernumgebung gegenüber Lehrer, Medienentwickler und Lerner im Konzept des Behaviorismus, des Kognitivismus und des Konstruktivismus (Issing, 2002, S.156)

befindet sich der Lernende im Zentrum. Der Lehrer fungiert als Lernberater. Die Lernumgebung bietet einen gewissen Freiraum und ist nicht mehr strikt an den Lehrer gebunden. Bildungsplaner, Medienentwickler und Instruktionsdesigner nehmen Einfluss auf die Lernumgebung, stehen dem Lernenden aber nicht so nah wie der Lehrer. Alles ist wiederum eingebettet in die Umwelt und somit nicht losgelöst vom direkten Kontext, in dem sich der Lernende befindet.

Nach Issing (2002) gibt es inzwischen hunderte von Modellen des Instruktionsdesigns (ID) bzw. des Designs von Instruktions-Systemen („Instructional Systems Design“, ISD). Alle diese Modelle lassen sich entsprechend ihrer Wirkungsebene in eine von drei Kategorien einordnen: in ID-Modelle für die Entwicklung von Bildungssystemen, in ID-Modelle für die Entwicklung von Unterricht und in ID-Modelle für die Entwicklung von Produkten (Medien). Dabei sind nach Issing (2002) für das Instruktionsdesign von medialen Angeboten die beiden letzten Modellgruppen relevant.

Alle drei ID-Modellgruppen folgen der Grundstruktur des General Systems Design (GSD). Diese besteht aus den Schritten Analyse, Planung, Entwicklung und Produktion, Einsatz, Evaluation und Revision. Im Einzelnen sind dabei zunächst die Lernziele zu definieren, dann die Lerner-Eigenschaften zu identifizieren. Es folgt eine Auswahl und Vorbereitung der Lerninhalte sowie eine Planung der Lehr-/Lernmethode sowie der einzusetzenden Medien. Daran schließt sich die Entwicklung der Lehr-/Lernmodule sowie deren Produktion an. Die Erprobung der Einheiten mit Einzel-Lernern sowie mit Lerner-Gruppen führt zu einer formativen Evaluation, die wiederum Einfluss auf die weitere Entwicklung und Produktion nimmt. Am Ende steht die summative Evaluation durch Implementierung, Felderprobung und Revision.

Nach Issing (2002) hat sich das Systematische Instruktionsdesign besonders für die Entwicklung zweier Arten von Lernprogrammen bewährt: Drill- und Practice-Programme sowie Computer- und Web-Based-Trainings (CBT/ WBT).

Issing (2002) weist auf Kritik am systematischen Instruktionsdesign hin: In der Kritik stehen der hohe Zeitaufwand seiner Realisation, ein zu lineares Vorgehen und ein zu geringes Maß an Flexibilität (Edmonds, Branch und Mukherjee, 1994).

Vor dem Hintergrund einer Orientierung am Instruktions-Paradigma favorisiert das systematische Instruktionsdesign zielgerichtetes und auf Effektivität orientiertes Lernen, vor allem Antwortreaktionen und den Erwerb von reproduzierbarem Wissen. Dadurch wird das weite Spektrum solcher Bildungsziele vernachlässigt, die sich nicht oder nur schwer in objektivierbare Lernziele fassen lassen (Checkland, 1985; Willis, 1998). Jene ließen sich eher mit einer so genannten „soft-system“-Methodologie erreichen (Checkland, 1985).

Vertreter des konstruktivistischen Lernparadigmas äußern nach Issing (2002) die stärkste Kritik: Sie stellen in Frage, ob im Sinne des konstruktivistischen Lernparadigmas offene, mediale Lernumgebungen mit dem Ziel problemorientierten Lernens in möglichst realen Lernkontexten überhaupt mithilfe des systematischen Instruktionsdesigns entwickelt werden können.

Nach Winn (1992, 1996) mangelt es dem systematischen Instruktionsdesign an ausreichender Flexibilität, um anwendungsnahes und kreatives Lernen zu realisieren.

Vorgeschlagen wird die Integration von Erkenntnissen des situierten Lernens mit dem Ziel, interaktive und an den Lerner anpassungsfähige Lernumgebungen für selbstständiges Lernen zu gestalten. Den medialen Angeboten sowie dem Internet kommt dabei die Rolle kognitiver Werkzeuge für die Präsentation, Simulation und Problemlösung zu (Jonassen, 1999).

Rahmenkonzepte für das Design konstruktivistischer Lernumgebungen sind zum Beispiel die Handlungstheorie oder personenzentrierte Lerntheorien (Issing, 2002). Mittlerweile gibt es auch Modelle für ein konstruktivistisches Instruktionsdesign (C-ID). Ebenso gibt es Versuche zur Automatisierung der Entwicklung von Lernsoftware und entsprechender Autorenwerkzeuge (Issing, 2002). Issing (2002) bewertet diese Ansätze jedoch kritisch und hält eine vollständige Automatisierung des gesamten Instruktionsdesigns aufgrund der Komplexität der zu berücksichtigenden Parameter für kaum durchführbar. Er zitiert in diesem Zusammenhang Skinner (1954), der „von der Wissenschaft des Lernens“, aber von der „*Kunst* des Lehrens“ spricht.

Auf die Theorie dieser Modellbildungen und die Abstufungen der einzelnen Modelle im Detail einzugehen, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, zumal viele dieser Modelle sehr allgemein gehalten sind und sich auf die Gestaltung des Entwicklungsprozesses an sich unabhängig von den zu vermittelnden Lerninhalten konzentrieren. Lerninhalte, Lehr-/Lernmethoden und einzusetzende Medien sind dabei die einzelnen Bestandteile, die mithilfe der Instruktionstheorie sinnvoll zu einem Lern-/Lehrprogramm „zusammengesetzt“ werden sollen. Der Schwerpunkt liegt dabei mehr auf dem Verarbeitungsprozess als auf den Bestandteilen selbst. Auf genau diese möchte die vorliegende Arbeit aber eingehen. Insofern werden solche Teilaspekte des Instruktionsdesigns berücksichtigt, die dieses Ziel unterstützen. Dazu zählen beispielsweise die Konsequenzen aus der Wirkweise von Multimedialität, Multimedialität und Multimodalität (vgl. Kapitel 2). Andere Teilaspekte finden sich in den Kapiteln 3.3 und 4.3 sowie in den Kapiteln zur Interaktivität und zur Navigation (Kapitel 6 und Kapitel 7).

Ein wichtiger Punkt, der hier im Rahmen des Instruktionsdesigns noch erwähnt werden soll, ist die Definition und Festlegung der Lernziele. Dies ist der erste Arbeitsschritt des oben genannten Systematischen Instruktionsdesigns (ISD). Nach Issing (2002) sollte jedes Lernangebot klare Ziele verfolgen. Diese Lernziele sollten so präzise wie möglich formuliert werden, da sie zum einen alle weiteren Schritte im ISD erleichtern und zum anderen eine Überprüfung der Lernziele überhaupt erst ermöglichen.

4.2.2 Didaktische Funktionen

Lernen setzt gewisse „innere“ und „äußere“ Bedingungen voraus. Mit dem Begriff der Lernumgebung wollen Dörr und Strittmatter die äußeren Voraussetzungen für erfolgreiches Lernen beschreiben. Lernmaterialien und Lernaufgaben sollen so gestaltet sein, dass sie folgende didaktische Funktionen einer Lernumgebung erfüllen können (vgl. Seel und Dörr, 1997):

- ▷ Lernumgebungen sollen die Lernenden motivieren, indem sie Erwartungen provozieren, die Lernen auslösen.
- ▷ Lernumgebungen sollen durch eine angemessene methodische Aufbereitung des Lehrstoffes und durch besondere Lehrmaßnahmen die angezielten Lernprozesse erleichtern.
- ▷ Die Lernumgebung soll den Lernenden Rückmeldung über den jeweiligen Lernerfolg geben.
- ▷ Lernumgebungen sollen selbstgesteuertes Lernen unterstützen.
- ▷ Lernumgebungen sollen im Hinblick auf verschiedene Formen kooperativen Lernens jene Prozesse unterstützen, die zur Entwicklung von Kooperationsfähigkeit beitragen und die Kommunikation in Kleingruppen begünstigen.

Im Kontext konstruktivistischer Lehr-/Lernphilosophie sind folgende weitergehende Anforderungen an Lernumgebungen zu richten, die insbesondere eine größere Situationsbezogenheit ermöglichen sollen (vgl. Jonassen, 1993):

- ▷ Lernumgebungen sollen Lernende mit authentischen Lernaufgaben konfrontieren, d.h. sie sollen erfahrungsbegründet sein und die zu lernenden Sachverhalte in Alltagskontexte einbetten.
- ▷ Sie sollen das Identifizieren, Definieren und Lösen von Problemen erleichtern.
- ▷ Sie sollen nicht in erster Linie die Reproduktion, sondern die Konstruktion von Wissen anzielen.
- ▷ Lernumgebungen sollen verschiedene Perspektiven desselben Sachverhalts bieten, um so die kognitive Flexibilität der Lernenden zu fördern.
- ▷ Sie sollen alternative Möglichkeiten zur Problemlösung unterstützen, um auch individuellen Auffassungen Raum zu bieten.

4.2.3 Das kybernetische Modell

Die Informationstheoretisch-kybernetische und Systemtheoretische Didaktik wurde in Kapitel 3.2 über das Lehren und Lernen bereits als eines von vielen didaktischen Modellen erwähnt. Das kybernetische Modell soll an dieser Stelle nochmals aufgegriffen werden, da es einen direkten Einfluss auf die Gestaltung insbesondere medialer Lernumgebungen genommen hat (siehe Kapitel 5.5).

Das kybernetische Modell geht auf von Cube (1965) und Frank (1969) zurück. Nach Kron und Sofos (2003) gibt es nur wenige Theorien, die eine derart konsequente Umsetzung in die Praxis erfahren haben. Dabei wurden „behavioristisch-lerntheoretische, logisch-mathematische, informationstheoretische, systemtheoretische, steuerungstechnische, didaktische sowie unterrichtliche Ideen und Anwendungszusammenhänge mit der Leitidee von der Optimierung von Systemen jedweder Art verknüpft“ (Kron und Sofos, 2003, S.89).

Lernen wird in diesem Modell als ein optimierbares (Verhaltens-)System betrachtet. Hierzu notwendig sind Steuerungselemente, die innerhalb einer Lernumgebung auf

den Lernenden einwirken. Dem kybernetischen Modell liegt eine behavioristische Verhaltenstheorie zugrunde. Vor diesem Hintergrund kann Lernen als die durch die Steuerung von Verhalten einhergehende Verhaltensänderung und Lehren als die gezielte Einflussnahme verstanden werden (Kron und Sofos, 2003, S.89).

Von Cube (1965) greift nun auf die Informationstheorie zurück, und zwar insbesondere auf die darin „grundgelegte Mathematisierbarkeit und Steuerung von technischen, organischen und sozialen Systemen“ (Kron und Sofos, 2003, S.90). Ebenso wie die behavioristische Lernpsychologie sucht er die Informationstheorie zur Optimierung von Lehr- und Lernsystemen zu verwenden. Dabei wird dieser Transfer durch das Kommunikations- und Informationsmodell aus der Nachrichtentechnik ermöglicht. Dieses wiederum ist instrumentell und monokausal nach dem Sender-Empfänger-Modell definiert. (Kron und Sofos, 2003, S.90).

Der Begriff der Kybernetik bezieht sich auf zwei Anwendungsebenen: Zum einen ist die Kybernetik die „Wissenschaft von der Erforschung, Darstellung und Konstruktion von Modellen“ (von Cube, 1965, S.45). Dabei liegt die Betonung auf der *Konstruktion* von Modellen. Zum anderen ist die Kybernetik die „Wissenschaft von den Steuerungsprozessen und den Prozessen der Signalübetragung in Maschinen und Lebewesen‘ unter Verwendung mathematischer Methoden“ (von Cube, 1965, S.39). Dabei werden funktionierende Einheiten sowohl in der Technik als auch in der sozialen Welt als System aufgefasst. Unter einem System wiederum wird ein strukturierter Zusammenhang von Elementen verstanden, wobei die Elemente untereinander in einem Funktionszusammenhang stehen (Kron und Sofos, 2003, S.90).

Vor diesem Hintergrund kann Unterricht als ein System bzw. Regelkreis aufgefasst werden (von Cube, 1986, S.48ff). Dieser Regelkreis enthält fünf Funktions- und Strukturelemente: 1. den *Sollwert*: Er enthält die kognitiven und pragmatischen Lehrziele. 2. den *Regler*: Hierbei handelt es sich um den Verlaufsplan, mit dem die gesetzten Lehrziele erreicht werden sollen. Der Regler hat drei Funktionen: Er kann die „Regelgröße“, den Lernenden, beeinflussen, „Störfaktoren“ fernhalten und den Lernprozess optimieren. 3. die *Stellglieder*: Dies sind die Personen und technischen Elemente, die den Unterrichtsprozess steuern. 4. die *Regelgröße* bzw. die *Adressaten* und 5. die *Messfühler*: Sie dienen der „Lernkontrolle“ (Kron und Sofos, 2003, S.90). Abbildung 4.2 stellt diesen Regelkreis eines „didaktischen Prozesses“ dar.

Den Lernenden kommen in diesem Regelkreis zwei Funktionen zu: Zum einen sind sie jene Faktoren, die beeinflusst werden sollen; zum anderen sind sie aber auch gleichzeitig Störgrößen und daher nicht immer planbar. Darum benötigt die Strategie der Einflussnahme implizite Rückkopplungselemente, um Störungsmöglichkeiten auszuschließen. Dazu dienen Lernzieldefinitionen und Ist-Soll-Vergleiche. Sie sollen die exakte Ermittlung der Lernergebnisse ermöglichen.

In dieser Modellvorstellung bedeutet Unterrichten, bei einer Abweichung vom Ist-zum Sollwert immer wieder neue Regelprozesse in Gang zu setzen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die in den Regelprozess eingebrachten neuen bzw. zu wiederholenden Informationen nicht zu komplex, aber auch nicht zu einfach sind. Sind sie zu komplex, können sie vom Adressaten nicht verarbeitet werden. Nur bei angemessenem Schwierigkeitsgrad können sie ihn auf ein höheres Informationsniveau

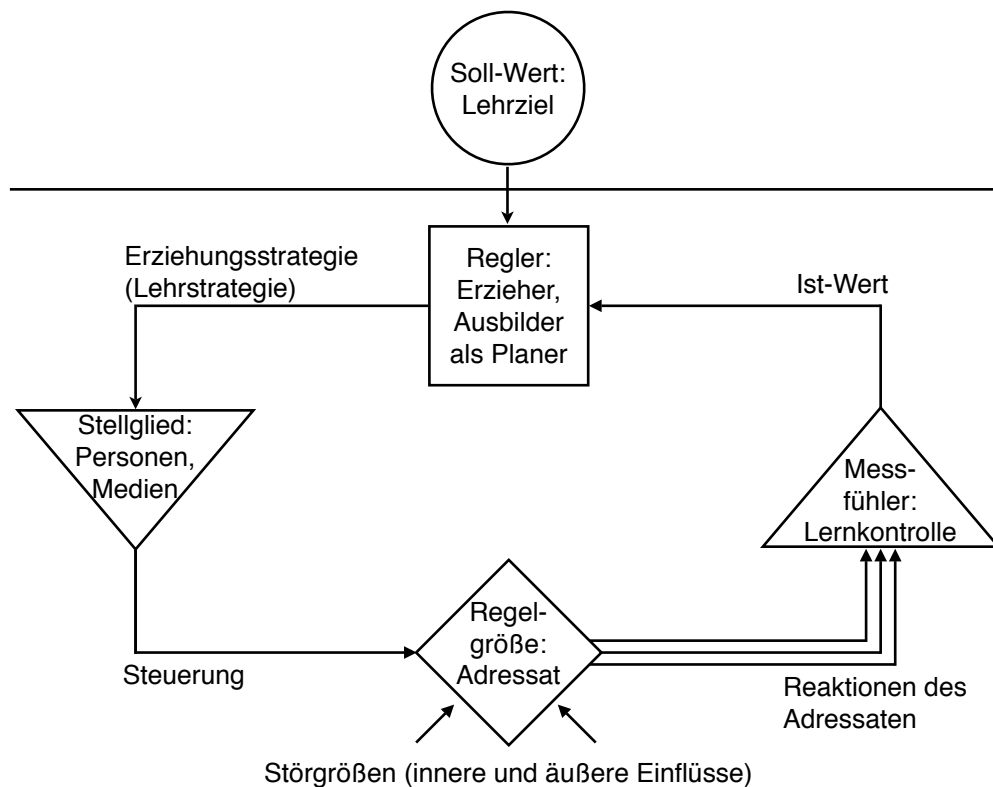


Abbildung 4.2: Unterricht als Regelkreis (von Cube, 1986, S.49) dargestellt nach Kron und Sofos (2003, S.91)

bringen. Sind die Informationen zu einfach, findet keine Veränderung hinsichtlich des Ausbaus eines höheren Informations- und damit Verhaltensniveaus statt. In diesem Zusammenhang spricht von Cube (1965, S.16/47ff.) von *Entropie* und *Redundanz*.

21 Jahre später beschreibt von Cube (1986, S.53ff) beachtenswerte Verwendungsbereiche, die auch für die Arbeit mit Neuen Medien gelten: Demnach lässt sich aufgrund der kybernetischen Modellvorstellung Lernen als *Informationsverarbeitung* verstehen. Das Model findet zudem Verwendung zur *Optimierung von Lehrstrategien* und deren Präzisierung. Dazu können verschiedene *Programme* entwickelt werden, beispielsweise rückgekoppelte Lehrsysteme, wie sie etwa im programmierten Unterricht (siehe Kapitel 5.6.1) zu finden sind. Insbesondere lassen sich die Regelkreise mit *modernen technischen Geräten*, wie beispielsweise dem Computer, umsetzen. Schließlich sieht von Cube (1986) *Anwendungsbereiche im Unterrichtsalltag*, wie beispielsweise in der Strukturierung von Texten bei audiovisuellen Medien, der Rechtschreibung oder beim Einsatz von Video und Film im Unterricht sowie beim Erlernen des Lesens.

4.2.4 Strukturprinzipien situierten Lernens

In der Instruktionsforschung gibt es mehrere Ansätze, die auf eine Umsetzung der theoretischen Annahmen zur Situietheit von Wissen und Lernen zielen. Auffallend

ist dabei, dass die meisten dieser instruktionalen Modelle explizit in der Verwendung neuer Technologien und insbesondere im Einsatz „multimedialer Lernumgebungen“ geeignete Möglichkeiten zur erfolgreichen Umsetzung situierten Lernens sehen (Duffy und Jonassen, 1992).

Ein zentrales Element aller Instruktionsansätze situierten Lernens ist der Vorschlag, Lernen durch aktives Lösen von komplexen Problemen zu gestalten. Dies soll die Anwendungsqualität des erworbenen bzw. konstruierten Wissens erhöhen.

Auch wenn sich die jeweils erfolgte theoretische Ausarbeitung von Ansatz zu Ansatz unterscheidet, lassen sich folgende grundlegende Forderungen bzw. Strukturprinzipien für die Gestaltung von Lernumgebungen zusammenfassen (Weidenmann, 2002b; Mandl et al., 2002):

Komplexe Ausgangsprobleme

Ausgangspunkt des Lernprozesses soll ein interessantes und intrinsisch motivierendes Problem sein. Das Problem lösen zu wollen, soll die Motivation für die Aneignung des dazu nötigen Wissens sein. Dies setzt den Wissenserwerb zugleich in einen Anwendungskontext.

Authenzität und Situiertheit

Lernenden soll in der Lernumgebung die Möglichkeit gegeben werden, mit realistischen Problemen und authentischen Situationen umgehen zu können. Damit wird sowohl ein Rahmen als auch ein Anwendungskontext für das zu erwerbende Wissen bereitgestellt.

Dabei ist die Umsetzung dieser Prinzipien unabhängig von der Wahl bestimmter Medien, Codierungen und Modalitäten. Authenzität und Situiertheit können sowohl durch einen narrativen Lehrvortrag als auch durch einen bebilderten Lerntext, ein Video oder ein Computerprogramm umgesetzt werden.

Hinsichtlich der Verwendung möglichst realistischer Elemente bietet sich jedoch der Einsatz bildhafter Codierungen und gegebenenfalls auditiver Elemente (beispielsweise für Originalgeräusche) an. Ebenfalls ist in diesem Zusammenhang die Verwendung solcher Medien sinnvoll, die dem Lernenden möglichst viel Interaktivität erlauben, da dadurch in die präsentierte Situation aktiv eingegriffen werden kann und verursachte Veränderungen der Situation direkt beobachtbar sind.

Vor diesem Hintergrund eines authentischen und situierten Treatments ist die Verwendung medialer Angebote mit ihren drei Dimensionen Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität zur Vermittlung von Lerninhalten insofern naheliegend, da sie eine realitätsnahe Darstellung der Inhalte unterstützen. Reichhaltige Informationen können bei einem medialen Angebot in unterschiedlichen Formaten zur Verfügung gestellt werden und somit Verstehensprozesse effektiv fördern.

Dabei soll an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass die Wahl des beabsichtigten Treatments die Wahl der zur Wissensvermittlung eingesetzten Medien bestimmt und nicht umgekehrt.

Multiple Kontexte und Perspektiven

Wissen soll nicht auf einen (einzigen) Kontext fixiert bleiben, sondern flexibel auf andere Problemstellungen übertragen werden können. Dazu sollen Lernumgebungen dem Lernenden multiple Kontexte anbieten. Dies ermöglicht, Inhalte unter sich ändernden Aspekten und aus verschiedenen Sichtweisen wahrzunehmen und zu bearbeiten. Damit soll die flexible Anwendung des Wissens unterstützt werden.

Zentrale Prozesse dieser Methodik sind somit beispielsweise Vergleichen, Überprüfen, Elaborieren und Explorieren. Hier bietet sich der Computer als Lernmedium an: Er bietet einen raschen Zugriff auf gewünschte Informationen, die Möglichkeit, auf dem Bildschirm verschiedene Fenster nebeneinander zu betrachten, die Einrichtung neuer Verknüpfungen durch den Lernenden und die Möglichkeit zur Interaktion. Damit ermöglicht er als „kognitives Werkzeug“ die oben aufgeführten zentralen Prozesse dieses Strukturprinzips.

Artikulation und Reflexion

Wissen, das im Kontext der Lösung eines bestimmten Problems erworben wird, ist zunächst an eben diesen Problemkontext gebunden. Damit es nicht dabei bleibt, sollen Problemlöseprozesse artikuliert und reflektiert werden. Dies soll die Abstrahierung des Wissens fördern. Dabei ist insofern zwischen von den Lernenden selbst abstrahiertem Wissen und von abstraktem bzw. abstrakt gelehrtem Wissen zu unterscheiden, als dass erstere mit Situationsbezügen verknüpft und somit anwendbar ist.

Lernen im sozialen Austausch

Der soziale Kontext soll in Lernumgebungen einen hohen Stellenwert besitzen. Lernen und Problemlösen in Lerngruppen soll gleichermaßen gefördert werden wie ein gemeinsames Arbeiten und Lernen von Lernenden mit Experten im Kontext situierter Problemstellungen.

Hauptmerkmal dieses Strukturprinzips ist die Zusammenarbeit und Verständigung der Lernenden unter- und miteinander sowie der Lernenden mit Experten. Lernumgebungen sollen soziale Kontakte gezielt ermöglichen. Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität sind hierfür nicht erforderlich. Mediale Angebote können natürlich auch so gestaltet werden, dass sie beispielsweise von Lerngruppen bearbeitet werden können und insofern das vorgestellte Strukturprinzip unterstützen. Dies ist ebenfalls durch die Erstellung eines medialen Angebots durch eine Lerngruppe im Sinne kognitiver Medien möglich.

Nach diesen grundlegenden Forderungen sollen nun konkret drei in den USA entwickelte Ansätze situierten Lernens vorgestellt werden:

4.2.5 Konkrete Ansätze situierten Lernens

Im Rahmen konstruktivistischer Lernprinzipien stellen Weidenmann (2002b) sowie Mandl, Gruber und Renkl (2002) folgende drei Instruktionsansätze vor, die allesamt in den USA entwickelt worden sind: den Anchored Instruction-Ansatz, die Cognitive Flexibility-Theory und den Cognitive Apprenticeship-Ansatz:

Der Anchored Instruction-Ansatz

Im Anchored Instruction-Ansatz (Cognition & Technology Group at Vanderbilt, 1990) werden komplexe Ankerreize gesetzt: Um dem Erwerb von „trägem Wissen“ entgegenzuwirken, werden die zu vermittelnden Lerninhalte in interessanten, realitätsnahen und durchaus auch komplexen Episoden verankert. Authentische Problemsituationen werden in zusammenhängende Geschichten derart eingebettet, dass sie den Lernenden dazu anregen, sich mit dem Problem intensiv auseinanderzusetzen. Dadurch wird dem Lernenden ein Bezug zur Alltagserfahrung ermöglicht und eine Anwendung des vermittelten Wissens erleichtert.

Zentrales Kennzeichen ist somit der „narrative Anker“ als Basis und Ausgangspunkt des Unterrichts - daher rührt auch der Name dieses Ansatzes. Diese Erzählungen oder Beschreibungen authentischer Problemsituationen sollen bei den Lernenden zunächst Interesse wecken. Zudem liefern sie anschauliches Material, mit dem in der anschließenden Instruktionsphase Lernende die in den Geschichten angesprochenen Probleme eigenständig identifizieren, definieren und letztendlich selbst lösen können sollen (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001). Ein Beispiel wurde in Kapitel 3.1.3 bereits vorgestellt: die Jasper-Woodbury-Serie.

Der Anchored Instruction-Ansatz betont im Besonderen das Strukturprinzip der Authentizität und Situietheit. Zudem lassen sich folgende Gestaltungsprinzipien als charakteristisch für diesen Ansatz beschreiben (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001):

- ▷ **MENTALES MODELL und VIDEOBASIERTES FORMAT:**
Die Darstellung der authentischen Problemsituation erfolgt per Video (oder Bildplatte). Dies soll dem Lernenden die Möglichkeit geben, ein recht anschauliches mentales Modell der Situation aufbauen und ein („situated“) Interesse an der geschilderten Thematik entwickeln zu können.
 - ▷ **NARRATIVES FORMAT:**
Das Problem wird in einen für die Lernenden bedeutungsvollen Kontext eingebettet. Dies unterstützt die Aktivierung bereits vorhandenen Vorwissens und erleichtert das Erkennen von Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit nicht vorhandener und deshalb noch zu erwerbender Kenntnisse und Fertigkeiten.
 - ▷ **GENERATIVES LERNFORMAT:**
Die Geschichten sind so konstruiert, dass sie die Kompetenz zur Differenzierung und Spezifizierung von Problemen unterstützen und fördern.
-

- ▷ **EINGEBETTETE DATEN:**
Sämtliche Daten, die zur Lösung des Problems notwendig sind, sind in die Geschichte eingebettet.
- ▷ **PROBLEMKOMPLEXITÄT:**
Die geschilderte Problemsituation entspricht so weit als möglich einer realen Situation. Dadurch soll die Bereitschaft und die Kompetenz der Lernenden, mit Komplexität umzugehen, gefördert werden.
- ▷ **PAARE VERWANDTER ABENTEUER:**
Den Lernenden wird nicht nur eine Geschichte präsentiert, sondern ein Paar ähnlicher Abenteuer. Ziel ist dabei ein Lernen unter verschiedenen Perspektiven und eine flexible Anwendung der erworbenen Kenntnisse.

Die Cognitive Flexibility-Theory

Die Cognitive Flexibility-Theory (Spiro, Coulson, Feltovich und Anderson, 1988; Spiro, Feltovich, Jacobson und Coulson, 1992) hat vor allem die Förderung der kognitiven Flexibilität zum Ziel. Der Lernende soll das zu vermittelnde Wissen in vielfältiger Weise kognitiv repräsentieren und speichern. Übervereinfachungen sollen bewusst vermieden werden. Stattdessen soll der Lernende von Anfang an mit der Komplexität und den Irregularitäten des realen Geschehens in Berührung kommen und vertraut werden. Somit kann das Wissen dann später in unterschiedlichen Aufgabenkontexten und Verwendungssituationen flexibel genutzt werden. Querverbindungen und Abgrenzungen zu bereits vorhandenem Wissen in ähnlichen Themengebieten sollen in diesem Rahmen erleichtert werden.

Um diese Ziele zu erreichen, eignen sich beispielsweise Falldarstellungen oder die Technik des so genannten *Landscape Criss-Crossing*: Hierbei wird dasselbe Konzept zu verschiedenen Zeiten in verschiedenen Kontexten unter veränderter Zielsetzung und aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet. Dadurch soll Lernen „multidirektional“ und „multiperspektivisch“ erfolgen und erworbenes Wissen facettenreich und flexibel angewendet werden (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001).

Die Cognitive Flexibility-Theory betont vor allem das Strukturprinzip der multiplen Kontexte und Perspektiven. Nach Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) eignet sich dieser Ansatz vor allem für den fortgeschrittenen Wissenserwerb in komplexen und deshalb wenig strukturierten Gebieten.

Stark, Graf, Renkl, Gruber und Mandl (1995) untersuchten in einer Studie, ob und inwieweit das Lernen unter multiplen Perspektiven bzw. durch multiple Lernkontexte in einem unternehmerischen Computerplanspiel dazu führt, dass anwendungsbezogenes betriebswirtschaftliches Wissen erworben wird. Gleichzeitig wurde eine instruktionale Unterstützung eingebunden: Entsprechende Fragen führten die Lernenden zur Reflexion der eigenen Lern- und Problemlöseprozesse.

60 Schüler einer kaufmännischen Berufsschule wurden zufällig auf vier Gruppen verteilt, die ein zwei-mal-zwei faktorielles Design bildeten (Faktor 1: Geleitete Reflexion

versus ungeleitete Reflexion; Faktor 2: Multipler Lernkontext versus uniformer Lernkontext).

Es zeigte sich, dass die Schüler mit der Kombination „uniformer Lernkontext und ungeleitete Reflexion“ das erworbene Wissen mündlich sehr gut reproduzieren, aber in einer entsprechenden Aufgabe kaum anwenden konnten. Für die Gruppe der Schüler mit der Kombination „multipler Lernkontext und geleitete Reflexion“ war das Bild genau umgekehrt: Sie zeigten die größte Handlungskompetenz. Schwierigkeiten dagegen hatten vor allem Schüler aus der Gruppe mit der Kombination „multipler Lernkontext und ungeleitete Reflexion“.

Der Cognitive Apprenticeship-Ansatz

Eine zentrale Forderung des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes (Collins, Brown und Newman, 1989) ist eine Berücksichtigung von verschiedenen Graden und Qualitäten der äußeren Anleitung bei der Gestaltung von Lernumgebungen, wie sie beispielsweise in der Handwerkslehre zu finden ist. Das Grundprinzip lässt sich dahingehend beschreiben, dass Lernende gewissermaßen in eine „Expertenkultur“ eingeführt werden, indem sie authentische Aktivitäten und natürliche Interaktionen ausführen (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001).

Lernumgebungen in Form medialer Angebote basieren nach Mandl, Gruber und Renkl (2002) oft auf diesem Ansatz. Das in der Lernumgebung präsentierte Wissen soll als anwendbares Wissen vermittelt werden. Die dadurch anvisierte Handlungskompetenz und zugehörigen kognitiven Aktivitäten sind sozial vermittelt. Im späteren Handlungsfeld entstehen sie als integraler Bestandteil eines komplexen sozialen Systems. Bedeutung und Struktur von Kompetenz werden innerhalb dieses Systems ausgehandelt.

Vor diesem Hintergrund ist es problematisch, wenn Kompetenz durch Unterricht und Lernumgebungen vermittelt werden soll, die von der sozialen Praxis der jeweiligen Expertengemeinde (engl. *community of experts*) abgeschottet stattfindet. Modelle des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes stellen daher (im Gegensatz zu traditionellen Ansätzen der Unterrichtsgestaltung) informelle Lernaktivitäten in den Vordergrund, wie sie in alltäglichen sozialen Kontexten beobachtbar sind.

Dies bedeutet, dass Lernen nicht als symbolisch vermittelte Aktivität verstanden wird, die sich vorwiegend auf verbalisierbares Wissen konzentriert und in Lernsequenzen organisiert wird, die mithilfe von abstrakten Prinzipien geordnet sind. Vielmehr soll Lernen auf subjektiv relevanter Erfahrung basieren, so dass Abstraktionen immer in Beziehung zum jeweiligen Anwendungsfeld stehen (Mandl et al., 2002).

Eine Illustration des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes geben Derry und Lesgold (1996) mit dem Kompetenzerwerb beim Fußballspiel: Die zu erlernende Kompetenz steht von Anfang an in ihrer ganzen Komplexität im Mittelpunkt. Angehende Fußballprofis werden gleich zu Beginn „ins kalte Wasser geworfen“, in dem sie unter Wettbewerbsbedingungen spielen müssen. Dabei bekommen sie unterschiedliche Formen der Unterstützung durch Trainer und erfahrene Mitspieler. Möglichkeiten zur Reflexion, beispielsweise durch Videoanalysen ihrer Spielweise, sind explizit auf

die jeweiligen Erfahrungen bezogen und dienen der Verbesserung der Leistung. Wissen und Fertigkeiten werden funktional erworben, indem sie der Behebung persönlich erfahrener Unzulänglichkeiten dienen. Eine solche Verankerung des Lernens in authentischen Situationen sozialer Praxis ist wesentliches Kennzeichen des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes.

Ansatzpunkt dieses Modells kognitiver Lehre ist der Austausch zwischen „Experten“ und „Novizen“ über die beim Problemlösen gemachten Erfahrungen. Die wechselseitige Mitteilung lässt die beim Problemlösen beteiligten Denkprozesse und angewandtes Wissen öffentlich und dadurch verhandelbar werden. Anfänger bekommen durch diesen dialogischen Prozess die Möglichkeit, aktiv am Problemlösen teilzunehmen und mithilfe der Unterstützung durch die Experten trotz eigener noch beschränkter kognitiver Ressourcen relevantes Wissen zu erwerben. Authentischer Handlungskontext und der Austausch mit Experten sorgen dafür, dass die kontextspezifische Bedeutung des Wissens erfahren werden kann. Gleichzeitig wird die jeweilige Fachsprache (Terminologie) und die damit verbundene Art der Reflexion des eigenen Tuns verinnerlicht. Lernende wachsen sozusagen in eine „Expertenkultur“ hinein (Mandl et al., 2002).

Dieser Prozess des Hineinwachsens wird von Brown (1984) in einem Dreistufen-Modell beschrieben. Collins, Brown und Newman (1989) formulieren zudem sieben Methoden, die in diesen Prozess eingebunden sind.

▷ DREISTUFEN-MODELL VON BROWN

Brown (1984) stellt diesen Prozess des Hineinwachsens als ein Dreistufen-Modell dar. Auf jeder der drei Stufen kommt dem Experten eine spezifische (Lehr-)Funktion zu:

Auf der ersten Stufe modelliert der Experte sein eigenes Problemlöseverhalten, indem er es durch „lautes Denken“ transparent macht. Er versucht, alles zu verbalisieren, was er denkt und tut.

Auf der zweiten Stufe steht der Dialog zwischen Experte und Novize im Mittelpunkt. Beide arbeiten gemeinsam an einer komplexen Aufgabenstellung. Dabei lenkt der Experte allmählich immer weniger, sondern reagiert vor allem auf Fragen und Fehler des Novizen.

Auf der dritten und letzten Stufe wird die Verantwortung für das Problemlösen mehr und mehr dem Novizen übertragen. Der Experte beschränkt sich zunehmend auf eine unterstützende Rolle.

▷ SIEBEN METHODEN

Collins, Brown und Newman (1989) nennen sieben Methoden, die bei diesem Prozess zum Einsatz kommen:

(1) MODELLING bzw. KOGNITIVES MODELLIEREN:

Vormachen und Verbalisieren durch den Lehrenden

(2) COACHING:

gezielte Unterstützung des Novizen

(3) SCAFFOLDING:

„Gerüstbau“, Geben von Hinweisen

(4) FADING:

Ausblenden der Hilfestellungen

- (5) ARTICULATION: Artikulieren von Denkprozessen und Problemlösestrategien durch den Novizen
- (6) REFLECTION: Reflexion ablaufender Lernprozesse im Austausch mit anderen
- (7) EXPLORATION: Anregung zu aktivem Explorieren

Dieses Methodenrepertoire zeigt deutlich, dass der Cognitive Apprenticeship-Ansatz den Lernenden mit authentischen und komplexen Problemlösesituationen nicht alleine lässt, sondern ihm je nach Stufe des Kompetenzerwerbs unterschiedliche Grade und Arten der äußeren Anleitung zukommen lässt. Derartige instruktionale Unterstützung ist insbesondere beim Lernen in multimedialen Lernumgebungen von Bedeutung (Mandl et al., 2002).

Das kognitive Modellieren wurde im Rahmen des selbstgesteuerten Lernens (siehe Kapitel 3.2.8) sowie beim Beobachtungslernen in der Mathematik (siehe Kapitel 3.2.4) bereits vorgestellt.

Fallorientiertes Lernen

Eine praktische Umsetzung des Cognitive-Apprenticeship ist beispielsweise das *fallorientierte Lernen*, welches zum Teil in der Mediziner-Ausbildung eingesetzt wird. In einem Computerlernprogramm sind verschiedene Patienten mit unterschiedlichem Krankheitsbild von den Studenten zu behandeln. Für einen Lernerfolg sind aber auch hier gezielte Anleitung und Unterstützung notwendig - das Bearbeiten von computerunterstützt angebotenen Fällen allein führt nicht zu den gewünschten Effekten (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001).

4.2.6 Leitlinien problemorientierter Lernumgebungen

Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) stellen fünf Leitlinien für eine problemorientierte Unterrichtsgestaltung in der Praxis vor. Dabei handelt es sich um eine Kombination der drei oben vorgestellten konkreten Ansätze situierten Lernens: des Anchored Instruction-Ansatzes, der Cognitive Flexibility-Theorie und des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes.

Dementsprechend besteht eine große Übereinstimmung mit den in Kapitel 4.2.4 vorgestellten fünf Strukturprinzipien situierten Lernens: *Komplexe Ausgangsprobleme, Authentizität und Situiertheit, Multiple Kontexte und Perspektiven, Artikulation und Reflexion, Lernen im sozialen Austausch*.

Die Leitlinien problemorientierter Lernumgebungen setzen jedoch etwas andere Akzente: Die beiden Richtlinien *Authentizität und Situiertheit* und *Lernen im sozialen Kontext* stimmen überein. Die *Komplexität der Ausgangsprobleme* wird bei den Leitlinien problemorientierter Lernumgebungen nicht separat berücksichtigt, ebenso wird die *Artikulation und Reflexion* nicht gesondert aufgeführt. *Multiple Kontexte und Perspektiven* werden als zwei getrennte Leitlinien behandelt. Hinzu kommt eine

Leitlinie für die *instruktionale Unterstützung*. Diese Kombination mit unterschiedlichen Instruktionsmaßnahmen kognitivistischer Prägung lässt sich in variabler Gewichtung realisieren. Unter diesem Gesichtspunkt sollen die Leitlinien problemorientierter Lernumgebungen deshalb hier nochmals vollständig aufgeführt werden:

Leitlinie 1: Situiert und anhand authentischer Probleme lernen

Ausgangspunkt von Lernprozessen sollten authentische Probleme sein, die wegen ihres Realitätsgehalts und ihrer Relevanz eine entsprechende Motivation für den Erwerb neuen Wissens und neuer Fertigkeiten darstellen. Die Lernumgebung ist daher so zu gestalten, dass der Umgang mit realistischen Problemen und authentischen Situationen ermöglicht wird.

- ▷ **VORTEIL:** *Situiertheit und Authentizität sichern einen hohen Anwendungsbezug beim Lernen.*
- ▷ **MINIMALE REALISIERUNG:** *Bei einer systematischen Darbietung neuer Inhalte an aktuelle Probleme, authentische Fälle oder persönliche Erfahrungen anknüpfen.*
- ▷ **MAXIMALE REALISIERUNG:** *Lernende in eine authentische Problemsituation versetzen, die reales Handeln erfordert. (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.627)*

Leitlinie 2: In multiplen Kontexten lernen

Neu erworbene Kenntnisse oder Fertigkeiten sollten nicht auf eine bestimmte Situation fixiert bleiben. Dem wird entgegengewirkt, wenn dieselben Inhalte in mehreren verschiedenen Kontexten gelernt werden. Die Lernumgebung ist daher so zu gestalten, dass eine Übertragung des Gelernten auch auf andere Problemstellungen möglich ist.

- ▷ **VORTEIL:** *Multiple Kontexte sichern eine gute Nutzung des Gelernten.*
- ▷ **MINIMALE REALISIERUNG:** *Bei einer systematischen Darbietung neuer Inhalte auf mehrere unterschiedliche Anwendungssituationen verweisen.*
- ▷ **MAXIMALE REALISIERUNG:** *Die Lernenden dazu anregen, das Gelernte in mehreren unterschiedlichen Problemstellungen konkret anzuwenden. (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.628)*

Leitlinie 3: Unter multiplen Perspektiven lernen

Einzelne Inhalte oder Probleme können aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet oder unter verschiedenen Aspekten beleuchtet werden. Dies sollte beim Lernen

berücksichtigt werden. Lernumgebungen sind daher so zu gestalten, dass sie das Lernen von Kenntnissen und Fertigkeiten unter multiplen Perspektiven ermöglichen.

- ▷ **VORTEIL:** *Multiple Perspektiven sichern Flexibilität bei der Anwendung des Gelernten.*
- ▷ **MINIMALE REALISIERUNG:** *Bei einer systematischen Darbietung neuer Inhalte mehrere verschiedene Sichtweisen deutlich machen (z.B. im Hinblick auf mögliche Erklärungen eines Sachverhalts).*
- ▷ **MAXIMALE REALISIERUNG:** *Die Lernenden dazu anregen, das Gelernte in mehreren unterschiedlichen Problemstellungen konkret anzuwenden. (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.628)*

Leitlinie 4: In einem sozialen Kontext lernen

Lernende und Experten sollten in möglichst vielen Lernphasen gemeinsam im Rahmen situierter Problemstellungen lernen. Lernumgebungen sind daher so zu gestalten, dass kooperatives Lernen und Problemlösen in Gruppen ermöglicht und gefördert wird.

- ▷ **VORTEIL:** *Der soziale Kontext sichert eine „Enkulturation“ im Lernprozess.*
- ▷ **MINIMALE REALISIERUNG:** *In den Unterricht werden gelegentlich Phasen mit Partner- und Gruppenarbeit eingebaut.*
- ▷ **MAXIMALE REALISIERUNG:** *Die Lernenden erwerben ihre Kenntnisse und Fertigkeiten und Einstellungen dadurch, dass sie in einer Expertengemeinschaft lernen und arbeiten. (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.628)*

Leitlinie 5: Mit instruktionaler Unterstützung lernen

Wenn Lernende ohne jegliche instruktionale Unterstützung lernen sollen, so ist dies in der Regel ineffektiv und führt leicht zu Überforderung (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001). Darum kann sich Lehren nicht nur auf Lehrangebote beschränken. Lehrende müssen den Lernenden anleiten und insbesondere bei Problemen gezielt unterstützen. Lernumgebungen sind daher so zu gestalten, dass sowohl vielfältige Möglichkeiten zum eigenständigen Lernen in komplexen Situationen angeboten werden als auch das zur Bearbeitung von Problemen erforderliche Wissen bereitgestellt wird und erworben werden kann.

Bezug zu adaptivem Lehren

Die Überlegungen zur Vereinbarkeit von Instruktion und Konstruktion haben einen gewissen Bezug zum so genannten *adaptiven Lehren*. Das Ziel adaptiven Lehrens

ist eine optimale und kontinuierliche Anpassung der Lernumgebung an die jeweils individuellen Bedürfnisse, Voraussetzungen und Fähigkeiten des Lernenden. Die genannten Abstufungen minimaler und maximaler Umsetzung in den fünf Leitlinien verdeutlichen diesen Zusammenhang. Kapitel 4.3 geht in Kombination mit Kapitel 6.1.4 vertiefend auf dieses Thema ein.

4.2.7 Problemorientiertes Lernen in Lernzyklen

Ein komplexes Ziel wird selten in einem Schritt erreicht. Es bietet sich daher an, ein großes Ziel in mehrere Teilziele mit wachsendem Anspruchsniveau zu untergliedern. Vertreter des Anchored-Instruction-Ansatzes (siehe Kapitel 4.2.5) verwenden hierzu die Metapher des Bergsteigens: Wer große Berge erklimmen möchte, muss zunächst an kleineren Bergen trainieren.

Insofern wird empfohlen, Unterricht und Lernen in Form von so genannten *Lernzyklen* zu gestalten. Ein Lernzyklus wird dabei mehrmals mit jeweils ansteigender Herausforderung durchlaufen. Weiterentwicklungen des Anchored-Instruction-Ansatzes schlagen beispielsweise vor, die narrativen Anker durch lehrergestützte Lernzyklen anzureichern. Ein Lernzyklus besteht dabei aus folgenden Schritten (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.630f.):

▷ LOOK AHEAD!

Im ersten Schritt des Lernzyklus geht es darum, ein klares Ziel zu setzen und eine konkrete Vorstellung von der zu bewältigenden Aufgabe zu entwickeln. Dieser erste Schritt soll die Wichtigkeit betonen, die dem Fragenstellen und der Zielsetzung beim Lernen zukommt. Durch Fragen und Reflektieren lässt sich das eigene Wissen einerseits, aber auch das noch fehlende Wissen andererseits feststellen, um sich so des erforderlichen Lernbedarfs bewusst zu werden. Bewusst (und selbst) gesetzte Ziele sind zudem in hohem Maße motivierend. Zudem liefern sie wichtige Kriterien für die spätere Selbstevaluation.

▷ INITIAL CHALLENGE

Mit den gesetzten Zielen steht die Herausforderung bzw. Lösung eines Problems an. Diese ist am Anfang relativ einfach. Ihre Schwierigkeit wird aber beim wiederholten Durchlauf eines Lernzyklus zunehmend ansteigen.

▷ GENERATING IDEAS

In diesem Schritt sind erste konkrete und durchaus auch spontane Ansätze und Lösungsmöglichkeiten zu suchen. Dies kann allein oder in Gruppen geschehen.

▷ MULTIPLE PERSPECTIVES

In diesem Schritt geht es darum, andere Vorstellungen und Sichtweisen von anderen Lernenden sowie verschiedene Perspektiven und Darstellungsweisen kennen zu lernen. Eine Möglichkeit, diesen Vorgang zu unterstützen, ist die Analyse von zwei oder mehreren Beispielen, die Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede hervorheben können.

▷ RESEARCH & REVISE

Zur Bewältigung der gegebenen Aufgabe sollen in diesem Schritt Kenntnisse und Fähigkeiten aktiviert oder gegebenenfalls neu erworben werden, die zur Lösung der gegebenen Aufgabe benötigt werden. Dabei können in Abhängigkeit von den Vorlieben und Stärken des einzelnen Lernenden sehr unterschiedliche Aktivitäten zum Tragen kommen. Instruktionale Methoden und Materialien sollen dabei so eingesetzt werden, dass sie den Lernenden unterstützen.

▷ TEST YOUR METTLE

In diesem Schritt geht es um die Integration von Evaluation und Instruktion. Der Lernende soll überprüfen, inwieweit das bisher aktivierte und das neu erworbene Wissen ausreicht, um die gegebene Aufgabe zu lösen. Auf diese Art und Weise wird zum einen die Selbstevaluation gefördert, zum anderen wird deutlich, dass aus Fehlern sinnvoll gelernt werden kann. Entscheidend dabei ist, dass der Lernende Fehler selbst entdecken und korrigieren kann, ohne dafür negative Konsequenzen befürchten zu müssen.

▷ ASSESSMENT

Ist die Aufgabe mithilfe des erworbenen Wissens gelöst, wird das Ergebnis den anderen Lernenden bzw. der Öffentlichkeit präsentiert. Damit verbunden ist eine (problemorientierte) Bewertung. Durch den Einblick in die Präsentationen der anderen ist zudem ein Gewinn hinsichtlich neuer und anderer Perspektiven sowie Lösungsstrategien gegeben.

▷ REFLECT BACK

Zum Abschluss soll der Lernende seinen eigenen Lernfortschritt noch einmal reflektieren. Dieses Einordnen des eigenen Wissensstands liefert eine Grundlage für die Entscheidung, ob und inwieweit ein neuer und somit schwierigerer Lernzyklus in Angriff genommen werden kann.

4.2.8 Offene Lernumgebungen

Offene Lernsituationen sind nach Schulmeister (2006) „hoch-interaktive Lernumgebungen, in denen dem Lernenden hohe Freiheitsgrade im Umgang mit Lernobjekten eingeräumt werden“. Statt vom System einen bestimmten methodischen Stil vorgelegt zu bekommen, können Lernende ihre Lernstrategien am Gegenstand selbst erproben.

Der Begriff der *Offenen Lernumgebung* umfasst dabei mehrere Konzepte: Konzepte des Entdeckenden Lernens (Bruner (1981); Neber (1981), siehe Kapitel 3.2.4), des Fallbasierten Lernens oder des Problemorientierten Lernens (Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001); Jonassen (2004), siehe Kapitel 3.2.7) sowie das Lernen mit *kognitiven Werkzeugen*, engl. *mind tools* (Jonassen (1992); Lajoie (1993), siehe Kapitel 5.5.3). Ebenso zählen beispielsweise Mikrowelten und Simulationen (siehe Kapitel 5.4.4) dazu.

Alle diese Konzepte bieten dem Lernenden die Möglichkeit, mit den Lernobjekten nach eigenen Gesichtspunkten umzugehen und die Lernmethode in Abhängigkeit

des subjektiven Bedarfs oder auch in Abhängigkeit vom Lerngegenstand zu variieren. So können sie letztlich ein *selbstgesteuertes Lernen* (siehe hierzu Kapitel 3.2.8) unterstützen oder ermöglichen.

Ziel offener Lernumgebungen ist es, im Lernenden die Lust zu wecken, mit Flexibilität an die Aufgabe des Lernens heranzugehen, denn nach Schulmeister (2006, S.131) ist „das adaptivste System in dem didaktischen Geschäft“ der Lernende selbst. Ziel ist dabei nicht, einfach nur ein großes Angebot vieler verschiedener didaktischer Designs anzubieten, sondern die Lernumgebung so zu gestalten, dass Lernende die Organisation ihres Lernprozesses selbst sinnvoll gestalten können. Die oben erwähnten Konzepte können genau diesen Prozess unterstützen, indem sie eine innere Offenheit der Lernsituation ermöglichen und sich eben nicht als von vornherein durchstrukturiertes instruktionales Lernangebot verstehen.

Der Begriff der „Offenheit“ bezieht sich dabei auf den Grad an Freiheit, der dem Lernenden in dieser Lernumgebung ermöglicht wird, um sich von seiner eigenen Motivation leiten zu lassen, Inhalte gemäß der eigenen Lernerfahrung zu selektieren und seinen eigenen Lernstil und seine eigenen Lernstrategien zu praktizieren. Der Begriff der „Offenheit“ meint hier nicht den *Offenen Unterricht* oder das *Offene Lernen* im Sinne des *Open Distance Learning (ODL)*, das eine Öffnung nach Raum und Zeit bedeutet (Schulmeister, 2006).

Offene Lernumgebungen verlangen einen hohen Einsatz seitens des Lernenden:

Offene Lernumgebungenbürden dem lernenden Individuum die Last auf, selbst für die Passung zwischen sich, seinen Lernvoraussetzungen und Lernstilen, seiner Motivation und dem Lernangebot zu sorgen, eine Last, die sich am Ende als Vorteil erweisen mag. (Schulmeister, 2006, S.134)

Um dies zu ermöglichen, sind zwei zentrale Qualitäten der virtuellen Lernobjekte zu berücksichtigen, die Interaktivität und eine damit gekoppelte Rückmeldung:

Eine hochgradige Interaktivität der Lernobjekte und ein hohes Maß an Rückmeldung sind für offene Lernumgebungen insofern wichtig, als sie den Prozessen der Wissenskonstruktion den benötigten Raum für aktive und manipulierende Operationen eröffnen. (Schulmeister, 2006, S.134)

Da es sich bei dem Begriff der Interaktivität um einen sehr zentralen Begriff handelt, wird dieser in einem separaten Kapitel (Kapitel 6) vorgestellt und diskutiert.

4.3 Adaptation

Im Kontext medialer Angebote ist zu berücksichtigen, dass diese von unterschiedlichem Klientel in Anspruch genommen werden: Zum einen gibt es Nutzer, die bereits ein großes Vorwissen haben und sich im dargestellten Sachbereich recht gut auskennen. Sie sind oft nur auf der gezielten Suche nach einer sehr spezifischen Information. Meist sind solche Nutzer auch im Umgang mit Informationssystemen geübt. Zum

anderen gibt es Nutzer, die sich weder im Umgang mit Informationssystemen noch im jeweiligen Gegenstandsbereich auskennen.

Diese beiden Personengruppen brauchen eine unterschiedlich ausgeprägte Unterstützung, um ihr Informationsziel zu erreichen: Während die „Experten“ eigentlich kaum Hilfe benötigen, sondern im Gegenteil durch zuviel Unterstützung durch das System sogar behindert werden (Clark, 1987), sind die „Novizen“ auf sehr viel Unterstützung angewiesen, um ein Erreichen der gesteckten Informations- und Lehrziele gegebenenfalls überhaupt erst ermöglichen zu können (Leutner, 2002).

Nun ist zu berücksichtigen, dass „Experten“ und „Novizen“ lediglich Endpunkte eines breiten Spektrums von Nutzern sind und sich ein individueller Nutzer innerhalb dieses Spektrums kontinuierlich weiterentwickelt. Dies hat auch eine kontinuierliche Änderung seines Anspruches an sinnvoller Unterstützung zur Folge.

Somit besteht die Kunst des Lehrens darin, das extern in der Lehr- und Lernsituation zur Verfügung gestellte Angebot an Unterstützung mit dem intern gegebenen Bedarf des Lernenden an Unterstützung in Einklang zu bringen (Snow, 1992): Im Extremfall des „Experten“ wäre es ausreichend, diesen mit einer vollständig neuen komplexen Situation zu konfrontieren, die es langfristig und anhaltend zu bewerkstelligen gilt. Die zum Lernen nötigen Schritte, wie beispielsweise die Festlegung einer Sequenz angemessener Qualifizierungsziele oder die Realisierung adäquater Maßnahmen zum Wissenstransfer, würden dabei vom „Experten“ selbst vorgenommen werden. Im anderen Extremfall des „Novizen“ wäre es dagegen erforderlich, jeden noch so kleinen Einzelschritt im externen Unterstützungsangebot bereitzustellen.

Die eigentliche Kunst ist die Realisierung eines geeigneten, d.h. an den Lernenden und seine individuellen Voraussetzungen und Möglichkeiten angepassten oder adaptierten „Mittelweg“ zwischen diesen beiden Extremen. Dies ist genau die Stelle, an der Ergebnisse der ATI-Forschung eingesetzt werden (zur ATI-Forschung vgl. Kapitel 3.2.12 *Lernstile und Lernereigenschaften*, insbesondere die *Kritischen Anmerkungen*, S.200).

Auch wenn, wie bereits diskutiert, viele Ergebnisse der ATI-Forschung empirisch nicht stichhaltig nachgewiesen sind, konnten doch zahlreiche Untersuchungen bestätigen, dass intellektuell schwächer begabte Lernende am meisten von einer hoch strukturierten Lernsituation, während intellektuell höher begabte Lernende auch von wenig strukturierten Lernsituationen profitieren und mitunter durch eine zu hohe Strukturierung sogar in ihrem Lernfortschritt behindert werden können (Leutner, 2002).

Nach Leutner (2002) muss deshalb ein wesentliches Ziel in der Gestaltung medialer Angebote darin bestehen, neben der Benutzerfreundlichkeit („usability“) auch die Lernerfreundlichkeit („learnability“) durch angemessene Systemanpassungen (Adaptationen) auf einem möglichst hohen Niveau zu realisieren.

Leutner (2002) unterscheidet hierbei zwischen Makro- und Mikro-Adaptation: Bezüglich der Makro-Adaptation geht es um die Frage, inwieweit ein Lehr- und Informationssystem auf der Grundlage einer extern vorgenommenen Diagnose durch extern vorgenommene Eingriffe so eingestellt werden kann, dass es dem Unterstützungsbe-

darf des Lernenden möglichst gut entspricht (Leutner, 2002). Die Makro-Adaptation bezieht sich somit auf äußere Faktoren und unter anderem auch auf technische Einstellungsmöglichkeiten eines medialen Angebots.

Im Gegensatz dazu konzentriert sich die Mikro-Adaptation auf intern vornehmbare Anpassungen an den Wissensstand des Nutzers. Die entsprechende Frage lautet hier, inwieweit das System selbst in der Lage ist, den Unterstützungsbedarf des Lernenden zu diagnostizieren und das Ergebnis der Diagnose in geeignete angepasste Lehrtätigkeit umzusetzen (Leutner, 2002).

Entsprechend werden adaptierbare und adaptive Systeme unterschieden: Adaptierbare Systeme ermöglichen eine Makro-Adaptation, adaptive Systeme eine Mikro-Adaptation. Sowohl bei der Adaptierbarkeit als auch bei der Adaptivität handelt es sich um instruktionspsychologische Konzepte. Ausmaß und Art der Umsetzung von Adaptierbarkeit und Adaptivität sind somit Teil des didaktischen Konzepts. Die Umsetzung an sich erfordert dabei immer eine Interaktion des Systems mit dem Lernenden. Diese Interaktion wiederum wird zu einem Großteil mit Mitteln der Navigation realisiert. Insofern fallen Adaptierbarkeit und Adaptivität in die Schnittmenge von didaktischem Konzept, Interaktion und Navigation.

Darum wird in diesem Kapitel eine Definition und Beschreibung der beiden Begriffe gegeben, während konkrete und empirisch nachgewiesene Beispiele für den sinnvollen Einsatz von Adaptierbarkeit und Adaptivität im Kapitel 6 zur Interaktivität vorgestellt werden.

4.3.1 Makro-Adaptation: Adaptierbarkeit

Ein System ist dann adaptierbar, wenn es durch Eingriffe von außen an veränderte Bedingungen angepasst werden kann. Ganz alltägliche Beispiele sind der verstellbare Autositz oder das Leselicht in einem Flugzeug. Im Bereich von Anwendersoftware können in der Regel Auswahlmenüs der Systemfunktionen vom Anwender verändert und seinem spezifischen Bedarf angepasst werden. Insofern sind solche Systeme adaptierbar. Charakteristisch für solche Makro-Adaptationen in Lehrsystemen ist, dass sie in größeren zeitlichen Abständen vorgenommen werden, meist aber mindestens einmal zu Beginn der jeweiligen Lehreinheit. Leutner (2002) spricht in diesem Zusammenhang von einem offenen Wirkungskreis, in dessen Rahmen versucht wird, Lernprozesse zu steuern. Dabei werden die unmittelbaren Ergebnisse der Lehrmaßnahmen dem Lehrsystem nicht rückgemeldet, so dass keine Regelung im eigentlichen Sinne stattfindet. Daher rührt auch die englische Bezeichnung des *feed-forward* und der *open-loop control*.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass eine Steuerung von Lernprozessen über Makro-Adaptation nur für solche Eigenschaften des Lernenden in Frage kommt, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass sie sich im Verlauf des Lernens wenig verändern. Hierzu zählen beispielsweise Persönlichkeitseigenschaften wie Intelligenz und Ängstlichkeit oder kognitive Stile, Interessen und Einstellungen des Lernenden. Qualitative und quantitative Unterschiede des Vorwissens sollten ebenfalls bei der Adaptation einbezogen werden (Leutner, 2002).

Adaptierbare Komponenten in Lehrsystemen sind zum Beispiel die Auswahl verbaler oder visueller Zusatzinformationen durch den Lernenden oder ein nur schrittweises Zulassen von Funktionalität beim Erlernen der Nutzung komplexer Programme. Auf diese und weitere Beispiele wird in Kapitel 6.1.4 näher eingegangen.

4.3.2 Mikro-Adaptation: Adaptivität

Ein System ist dann adaptiv oder ermöglicht eine Mikro-Adaptation, wenn es sich selbstständig an veränderte Bedingungen anzupassen vermag. Ein Beispiel aus dem Alltag sind thermostatgesteuerte Heizungsanlagen in Wohn- und Arbeitsräumen oder Lichtsteuerungsanlagen, die sich den gegebenen Lichtverhältnissen anpassen.

Anwendersoftware ist beispielsweise meist hinsichtlich der Bereitstellung kontextsensitiver Hilfsfunktionen adaptiv: Die Software verfolgt, an welcher Stelle sich der Benutzer gerade befindet und bietet bei Bedarf und in Anspruchnahme seitens des Nutzers passende Hilfestellung an.

Ein charakteristisches Merkmal der Mikro-Adaptation ist die ständige Anpassung des Lehrsystems - in kurzen zeitlichen Abständen wird immer wieder überprüft und aktualisiert. Die unmittelbaren Ergebnisse werden dem Lehrsystem rückgemeldet und stehen zur weiteren Verwendung zur Verfügung (Leutner, 2002). Daher rührt auch die englische Bezeichnung des *feed-back* und *closed-loop control*.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass diese Art der Regelung nur für solche Eigenschaften des Lernenden sinnvoll ist, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass sie sich im Verlauf des Lernprozesses verändern. Ein Beispiel hierfür ist der jeweils aktuelle Wissensstand des Lernenden, der sich vergleichsweise leicht und im Verlauf des Lernens auch wiederholt diagnostizieren lässt.

Zu den adaptiven Komponenten zählen beispielsweise eine Adaptation des Instruktionsumfanges, der Instruktionssequenz und der Lernzeit, eine Adaptation der Aufgabenpräsentationszeit, der Antwortzeitbegrenzung und der Aufgabenschwierigkeit. Auf diese und weitere Beispiele wird in Kapitel 6.1.4 eingegangen.

4.3.3 Adaptationsmaßnahmen und Modelle adaptiven Lernens

Wie durch die oben erwähnten Beispiele zu Adaptierbarkeit und Adaptivität bereits angedeutet, kann die Art der Adaptationsmaßnahme variieren: Möglich ist beispielsweise eine Anpassung des Lernziels, der Lehrmethode oder der Lernzeit an die individuellen Merkmale des Lernenden. Gleichmaßen lässt sich eine Kombination unterschiedlich gewichteter Adaptationen verschiedener Komponenten realisieren.

Ein weiterer Aspekt, den eine Adaptationsmaßnahme fokussieren kann, ist die Frage, wie viel Freiraum dem Lernenden in einem computerbasierten Lehrsystem gelassen werden sollte. Es geht somit darum, wie viel Kontrolle durch den Lernenden selbst und wie viel Kontrolle vom System übernommen werden kann und soll. Hinsichtlich des oben angesprochenen unterschiedlichen Unterstützungsbedarfs (siehe Kapitel

4.3, S. 274) sollte dem Lernenden genau die Kontrolle überlassen werden, die angebracht ist: Ist erkenntlich oder zumindest wahrscheinlich, dass der Lernende allein zurechtkommt, dann sollte er nicht mit unerwünschten Eingriffen in den Lernprozess behelligt werden (Clark (1987): „When teaching kills learning“). Im anderen Fall ist Unterstützung notwendig. Genau dies spiegelt den Sinn und Zweck der Implementation adaptiver Lehrfunktionen wider (Leutner, 2002).

Nach Salomon (1972) lassen sich drei Zwecke adaptiven Lehrens unterscheiden: das Fördermodell, das Kompensationsmodell und das Präferenzmodell.

Im *Fördermodell* sollen Lerndefizite des Lernenden beseitigt werden. Dies geschieht meist durch zusätzliche Lehrmaßnahmen, welche die erforderlichen Lernvoraussetzungen zum Erreichen eines Lehr- oder Qualifizierungszieles sicherstellen sollen.

Existieren beim Lernenden jedoch beispielsweise unzureichende Lernvoraussetzungen motivationaler oder intellektueller Art, die sich nicht kurzfristig beseitigen lassen, so ist das Fördermodell meist nicht realisierbar. Dann gilt es, Lerndefizite auszugleichen, und es greift das *Kompensationsmodell*, welches durch geeignete Maßnahmen und Lernhilfen die Defizite im Bereich bestimmter Lernvoraussetzungen ausgleichen soll.

Sind beim Lernenden jedoch günstige Lernvoraussetzungen vorhanden, die eine qualitative und quantitative Optimierung des Lernprozesses erlauben, so bietet sich das *Präferenzmodell* an. Es nutzt gezielt die Stärken eines Lernenden, um die Lernergebnisse in ausgewählten Fähigkeitsbereichen zu optimieren.

4.3.4 Schnittstellen-Adaptivität, Statische Lerner-Adaptivität und Dynamische Lerner-Adaptivität

Schulmeister (2006) wählt eine andere Kategorisierung von Adaptation. Er spricht grundsätzlich von *Adaptivität* und unterscheidet zwischen *Schnittstellen-Adaptivität*, *Statischer* und *Dynamischer Lerner-Adaptivität*.

Schnittstellen-Adaptivität oder Adaptivität der Benutzerschnittstelle ist dann bei einem Lernsystem vorhanden, wenn deren Schnittstellen an die Bedürfnisse des Benutzers angepasst werden können. Meist handelt es sich hierbei um die äußere Konfiguration des Lernsystems. Zusätzlich können aber auch besondere Merkmale wie beispielsweise das Zuschalten von Gebärdensprache für Gehörlose oder eine andere Farbwahl für Farbblinde möglich sein.

Die *Statische Lerner-Adaptivität* bezieht sich auf eine Form der Adaptivität, die sich zwar an individuellen Lernermerkmalen orientiert, diese aber einmalig zu Beginn des Lernprogramms abfragt und daraufhin entsprechend eine Selektion und Sequenzierung der Inhalte vornimmt. Insofern entsteht für den Lernenden ein individuell zugeschnittenes Angebot. Allerdings lassen sich hier auch verschiedene Stufen beobachten: Im einfachsten Fall erlaubt das Programm eine andere Form der Navigation, auf einer mittleren Stufe wird dem Lernenden eine alternative Sequenz der Lernabschnitte angeboten und auf einer höheren Stufe können dem Lernenden

andere Beispiele, Übungsformen, Aufgaben, Vertiefungskapitel oder Medien präsentiert werden. Da diese Auswahl nur einmal zu Beginn getroffen wird, könnte man nach Schulmeister (2006) auch von einer *Personalisierung* des Lernprogramms oder Lernstoffs sprechen.

Die *Dynamische Lerner-Adaptivität* oder auch *prozessuale* oder „intelligente“ *Lerner-Adaptivität* beschreibt jene Form der Adaptivität, die von den intelligenten tutoriellen Systemen angestrebt wird. Die Dynamische Lerner-Adaptivität verfolgt zwei Ziele: Zum einen will sie die individuellen Merkmale und Eigenheiten des Lernenden während des stattfindenden Lernprozesses selbst ermitteln; zum anderen Schlussfolgerungen und daraus resultierende methodische Konsequenzen unmittelbar noch während des Lernprozesses im Lerner-Modell und in der Präsentation des Programms und seiner Inhalte umsetzen (Schulmeister, 2006).

Im Vergleich mit der oben vorgestellten Unterteilung von Adaptation in Adaptierbarkeit und Adaptivität fallen sowohl die Schnittstellen- als auch die statische Lerner-Adaptivität in den Bereich der Adaptierbarkeit, während dynamische Adaptivität und Adaptivität weitgehend übereinstimmen.

4.3.5 Kritische Anmerkungen

Metaanalysen konnten nachweisen, dass Lehrsysteme mit implementierten adaptiv gestalteten Lehrfunktionen gegenüber demselben System ohne die betreffende adaptive Lehrfunktion einen deutlich höheren Lernerfolg erwarten lassen (Leutner, 1992). Dennoch ist nach Leutner (2002) aus betriebswirtschaftlicher Sicht zu erwägen, inwieweit der erhöhte Implementationsaufwand für die Adaptation in einem vertretbaren Verhältnis zum erzielbaren Nutzen steht.

Leutner (2002) sieht in adaptiven Lehrsystemen eine Möglichkeit, die Probleme, die die Implementierung intelligenter tutorieller Systeme (ITS, siehe Kapitel 5.4.5 *Tutorielle Systeme*) mit sich bringt, zu überwinden. Intelligente tutorielle Systeme (ITS) sind nach gängiger Auffassung der 1980er- und 90er-Jahre solche Lehrsysteme, bei denen Verfahren der künstlichen Intelligenz eingesetzt werden. Nach Leutner (2002) konnten diese Verfahren bisher aber nur in wenigen eng begrenzten Wissensbereichen realisiert werden und haben dementsprechend nur geringe Verbreitung gefunden.

Adaptive Lehrfunktionen in „Adaptiven Lehrsystemen“ können dagegen in der Regel ohne künstliche Intelligenz implementiert und mit vergleichsweise geringem Aufwand in beliebigen Wissensbereichen realisiert werden.

Schulmeister (2006) sieht im Adaptationsansatz keine Lösung, sondern eine Wiederholung derselben Problematik. Er fasst zunächst seine Kritik an intelligenten tutoriellen Systemen wie folgt zusammen:

Ich hatte (Schulmeister, 1996, S.178-223) damals festgestellt, dass alle intelligenten tutoriellen Systeme (ITS) nur auf einer Mini-Domäne arbeiten, und dazu angemerkt, dass es den Anschein habe als sei es die Absicht der Entwickler, lediglich Prototypen für Testzwecke zu entwickeln: „their initial goal was to explore the capability of AI technology in

the instructional process rather than to develop usable instructional systems“ (Kearsley, 1987, S.28).

(Schulmeister (2006, S.115), AI steht für Artificial Intelligence)

Anschließend fährt er fort:

Genau dieser Trend scheint sich bei den adaptiven Systemen zu wiederholen, was nicht besonders überraschend ist, weil sie sich derselben Konzepte bedienen, des Lernermodells, des Tutormodells etc. (Schulmeister, 2006, S.115)

Besonders scharf ist seine Kritik am Umgang mit der Adaptivität. Wenn einem medialen Lehr-/Lernprogramm Fragebögen für Lernpräferenzen, Tests zu Lerneinstellungen und Motivation oder auch Lernstilentware verschiedenen Ursprungs angegliedert sind, so wird damit nach Schulmeister (2006) nur eine Variable im Lerngeschehen erfasst. Adaptivität in ihrer Gesamtheit umfasst aber - wie oben dargestellt - deutlich mehr. Dennoch bleibt bei vielen Lehr-/Lernprogrammen, die von sich behaupten, Adaptivität umzusetzen, offen, auf welche Art und Weise und in welchem Umfang dies gegeben ist:

Ich habe selten so viele Aufsätze wie zu diesem Thema gelesen, in denen es heißt, „we are currently developing ...“, „we propose a system that ...“, und von deren Autoren bis heute keine Folgeaktivitäten zu melden sind. Ich habe ebenfalls noch nie so viele Aufsätze gelesen wie zu diesem Thema, in denen ein Anspruch auf Adaptivität des Systems erhoben, aber weder beschrieben wird, welche Lerner-Merkmale erhoben werden noch welche Methoden der Adaptivität angestrebt werden. Es wird in vielen Aufsätzen gar nicht klar, was sich an wen anpassen soll oder wer sich an was anpassen soll. (Schulmeister, 2006, S.115)

Es ist hier sicherlich zu differenzieren zwischen unterschiedlichen Formen der Adaptation. Dementsprechend äußert sich auch Schulmeister (2006):

Manche Vorstellungen von Adaption [sic!] an Benutzer oder Lernende sind machbar und sinnvoll, andere Konzepte der Adaption [sic!] an Lernende jedoch scheinen mir weder machbar noch didaktisch sinnvoll zu sein. (Schulmeister, 2006, S.115).

So ist die Schnittstellen-Adaptivität im Sinne einer Benutzeranpassung ein recht pragmatisches Konzept, welches sich auch einfach realisieren lässt. Sie kann von großem Nutzen für den Anwender sein, vor allem, wenn er tatsächlich selbst aktiv Einfluss auf Selektion, Steuerung und Einstellungen nehmen kann.

Bei einigen Lehr-/Lernprogrammen besteht die Adaptivität aber letztlich in einer Navigationshilfe bei unterschiedlichem Wissensstand (Schulmeister, 2006). Da hiermit keine adaptiven Lehrmethoden in Betracht gezogen werden, sieht Schulmeister

(2006) in dieser Art der Adaptivität lediglich eine Realisierung der Schnittstellen-Adaptivität.

Es gibt Lehr-/Lernprogramme, deren Adaptivität in Anlehnung an die intelligenten tutoriellen Systeme auf einem Lernermodell und einem Tutorenmodell basiert (Schulmeister, 2006). Wird das Lernermodell dabei nur zu Beginn einmalig ermittelt und des Weiteren beibehalten und werden die Methoden der Anpassung nur auf der Grundlage dieser Eingangskonstellation selektiert, so handelt es sich auch nur um eine statische und keine dynamische Lerner-Adaptivität. Oft werden zur Ermittlung des Lernermodells Lernstilkonzepte herangezogen - ein Vorgehen, das wie in Kapitel 3.2.12 über Lernstile und andere Lernereigenschaften dargestellt, nicht ganz unproblematisch ist:

In der Tat ist dies das Grundproblem der adaptiven Systeme, dass es keine theoretisch gesicherten oder empirisch gestützten Erkenntnisse über die Zuordnung von Lernervariablen und Lehr- oder Lernmethoden gibt. (Schulmeister, 2006, S.126)

Schulmeister (2006, S.113–127) diskutiert einige Beispiele und kommt zu dem Schluss, dass sich die Adaptivität von Lehr-/Lernprogrammen viel zu oft lediglich nur auf eine Veränderung des Layouts, der Sequenzierung oder der Navigation darstellt.

Theoretisch sollten Lehrsysteme, deren Konstruktion auf einem Wissens-, einem Lerner- und einem Tutorenmodell beruht, in der Lage sein, eine dynamische Adaptivität umzusetzen. Praktisch wird bei solchen Programmen aber meist das Gewicht auf die Adaptivität des Lernermodells gelegt, welche - wie oben beschrieben - nicht unproblematisch ist. Schulmeister (2006) stellt eine Umsetzung von dynamischer Adaptivität sogar ganz in Frage:

In diesem Zusammenhang sind besonders diejenigen Adaptationsmaßnahmen interessant, die die didaktischen Variablen im engeren Sinne wie Lernumgebung, Lernziel, Lernstoffselektion, Lernmethode oder Präsentationsmodus in den Mittelpunkt rücken, sofern man über die dem Lernprozess äußerlich bleibende Schnittstellen-Adaptation hinauskommen will. Hierin jedoch scheint das Grundproblem der Adaptationsstrategien zu bestehen, ich behaupte, das unlösbare Problem der quasi-intelligenten Adaptiven Programme. (Schulmeister, 2006, S.117f.)

Schulmeister (2006) sieht eine Alternative zu adaptiven Lehr-/Lernsystemen in offenen Lernumgebungen (siehe Kapitel 4.2.8 *Offene Lernumgebungen*).

4.4 Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen

Die in diesem Kapitel vorgestellten Strukturprinzipien und Leitlinien für Lernumgebungen sind so konkret, dass sie direkt auf mit dem Computer medial aufbereitete Lernumgebungen übertragen werden können.

Darüber hinaus haben die Ausführungen in Kapitel 4.3 zur Adaptation in Verbindung mit den in Kapitel 3.2.12 vorgestellten wissenschaftlichen Ergebnissen in Bezug auf Lernstile und andere Lernereigenschaften gezeigt, dass es zwar unterschiedliche Lerntypen gibt und individuelle Lernereigenschaften einen Einfluss auf das Lernen nehmen, es aber gleichzeitig keine Methode gibt, derartige Lernstile und Lernereigenschaften zutreffend abzufragen und zutreffend zu bestimmen. Insofern sind Programme, deren Adaptation an den Lernenden sich lediglich auf eine solche Abfrage beziehen, kritisch zu bewerten. Kapitel 4.3.5 hat zudem Quellen zitiert, die die Umsetzung einer „echten Adaptation“ generell in Frage stellen.

Insofern gilt es zu überlegen, auf welche Art und Weise individuelle Lernereigenschaften dennoch berücksichtigt werden können, ohne ein mediales Angebot dabei zu überfrachten und damit den insbesondere in Kapitel 2 vorgestellten Gestaltungsprinzipien zu widersprechen. In Kapitel 2.5.2 war eine Darstellung mathematischer Inhalte auf zwei Ebenen vorgeschlagen worden: Zum einen auf einer eher unterhaltenden Ebene, indem Mathematik personifiziert wird und mathematische Objekte von sich selbst erzählen und sich beispielsweise in Dialogform miteinander unterhalten; zum anderen auf einer fachwissenschaftlichen Ebene, indem auf die formale Sprache sowie Definitionen, Sätze und Beweise zurückgegriffen wird. In Kapitel 3.5.6 wurde dieser Vorschlag bereits dahingehend aufgegriffen, dass dadurch individuelle Unterschiede der Lernenden berücksichtigt werden können. Gleiches gilt vor dem Hintergrund der Adaptation: Wenn Lernende entscheiden können, auf welche Art der Wissensvermittlung und auf welche Art der Darbietung sie bevorzugt zugreifen, findet hier eine persönliche Auswahl statt. Gleichzeitig handelt es sich nicht um parallel dargebotene Informationen, die sich im Sinne des *Redundancy Principle* (siehe Kapitel 2.3.10, S.126 und Kapitel 2.3.10, S.127) kontraproduktiv auf das Lernen auswirken können, sondern vielmehr um eine Wiederholung aus einer anderen Perspektive heraus.

Mit der in Kapitel 4.1 vorgestellten Definition der Lernumgebung wird deutlich, dass die in Kapitel 1.5.3 und Kapitel 1.5.4 vorgestellte Trias mathematischer Software von Tabellenkalkulation, Computeralgebrasystemen und dynamischer Geometriesoftware nicht zu den Lernumgebungen im Sinne der gegebenen Definition zu zählen sind.

4.5 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Kapitel 4 setzte sich vertiefend mit *Lernumgebungen* auseinander. Hierzu wurde zunächst eine *Begriffsabgrenzung* vorgenommen. Anschließend wurde auf die *Gestaltung von Lernumgebungen* eingegangen: Kapitel 4.2.1 beschrieb Wesen und Aufgabe des *Instruktionsdesigns*, Kapitel 4.2.2 bis Kapitel 4.2.8 nannten vor dem Hintergrund der in Kapitel 3 gegebenen didaktischen Konzepte und Prinzipien allgemeine und sehr konkrete Strukturprinzipien und Leitlinien für die Gestaltung entsprechender Lernumgebungen.

Kapitel 4.3 konzentrierte sich dann insbesondere auf die Adaptation von speziell mit dem Computer medial aufbereiteten Lernumgebungen an den Lernenden. Unterschieden wurden hier *Adaptierbarkeit* im Sinne einer Einflussnahme auf Einstellungsparameter „von außen“ durch den Lernenden und *Adaptivität* im Sinne einer Anpassung an das individuelle Verhalten des Lernenden „von innen“ durch das Programm. Allerdings waren die Ergebnisse hinsichtlich einer Erreichbarkeit echter Adaptivität eher ernüchternd.

Kapitel 5 wird sich nun mit dem Begriff *E-Learning* auseinandersetzen und die Vielfalt medialer Angebote vorstellen, die unter diesem Begriff verstanden werden.

Kapitel 5

E-Learning

Mit dem Computer medial aufbereitete Lernumgebungen werden oft mit dem Schlagwort „E-Learning“ versehen. Dabei ist dieser Begriff - ähnlich wie der Begriff „Multimedia“ - sehr vielschichtig. Kron und Sofos (2003) formulieren beispielsweise den Eintrag zum Stichwort „E-Learning“ in ihrem Stichwortverzeichnis wie folgt:

E-LEARNING: Bezeichnung von Lernprozessen auf der Grundlage von elektronischen Informations- und Kommunikationstechnologien. (Kron und Sofos, 2003, S.180)

Diese Definition fokussiert die beim E-Learning verwendeten und eingesetzten Technologien. Schulmeister (2006) wählt eine etwas andere Perspektive und gibt weniger eine Definition des Begriffes als eine Einordnung hinsichtlich des Einsatzes von Lehr- und Lernformen, die alle mit dem Schlagwort „eLearning“ bezeichnet werden:

eLearning ist bis heute kein fester Begriff für ein eindeutiges Phänomen. Der Begriff eLearning kommt sowohl als Gegensatz zum Präsenzlernen vor (online learning versus on-campus learning) als auch als eine Kombination mit dem Präsenzunterricht (Blended Learning). eLearning oszilliert zwischen rein virtueller Lehre und Präsenzlehre. (Schulmeister, 2006, S.191)

Beide Beschreibungen sind recht allgemein gehalten und skizzieren eine breite Verwendung des Begriffes für unterschiedliche Lernszenarien. Wie die beiden Zitate in ihrer Unterschiedlichkeit bereits andeuten, lässt sich der Facettenreichtum des Begriffes „E-Learning“ im Gegensatz zum Facettenreichtum des Multimediabegriffs kaum sinnvoll abgrenzen. Darum gibt Kapitel 5.1 auch keine Abgrenzung dieses Begriffes, sondern untersucht vielmehr dessen Häufigkeit sowie die Häufigkeit seiner unterschiedlichen Synonyme. Die folgenden Unterkapitel geben einen Überblick über alle Aspekte des Lehrens und Lernens, die mit dem Begriff *E-Learning* in Verbindung gebracht werden: Hierzu zählen das *Offline- und Online-Lernen* (Kapitel 5.2), eine Darstellung der Rolle des Computers im Lehr-/Lerngeschehen (Kapitel 5.3) und eine ausführliche Beschreibung, welche Programme und medialen Angebote alle unter dem Begriff *Lernsoftware* verstanden werden (Kapitel 5.4). Kapitel

5.5 beschreibt den Einfluss der in Kapitel 3 vorgestellten Lerntheorien auf die Gestaltung von Lernsoftware. Dabei werden vor allem solche vom Konstruktivismus abgeleiteten Anforderungen insofern kritisch betrachtet, als dass diesbezüglich recht konkret formulierte Anforderungen noch weit von einer Umsetzung entfernt sind, sofern diese vom jetzigen Stand der Dinge nicht generell in Frage gestellt werden kann.

Kapitel 5.6 fokussiert den *Einsatz des Computers in der Schule* und geht damit auf die verschiedenen und im Kontext des E-Learning viel zitierten Formen des Computereinsatzes ein. Kapitel 5.7 stellt *mathematische Lernsoftware* vor. Kapitel 5.8 fasst die zentralen Inhalte abschließend kurz zusammen.

5.1 Zur Begrifflichkeit von „E-Learning“

Wie die oben aufgeführten Zitate von Kron und Sofos (2003) und Schulmeister (2006) zeigen, ist nicht nur die Bedeutung, sondern auch die Schreibweise des Begriffes „E-Learning“ nicht eindeutig festgelegt: Es finden sich verschiedene Formen der Groß- und Kleinschreibung sowie verschiedene Schreibweisen mit und ohne Bindestrich („E-Learning“, „e-Learning“, „eLearning“ oder auch „ELearning“).

Neben dem Begriff „E-Learning“ gibt es eine Vielzahl ähnlich weit gefasster Begriffe, die oft als Synonyme verwendet werden, ohne voneinander abgegrenzt zu werden. Döring (2002) gibt hierzu folgenden Überblick:

Lernprozesse, die sich hinsichtlich medialer Realisation ganz oder teilweise auf das Internet (bzw. andere Computernetzwerke wie Online-Dienste oder Intranets) stützen, werden summarisch oft als „E-Learning“ („Electronic Learning“; „Internet-Enabled-Learning“), „Online-Learning“, „Virtual Learning“, „Cyber Learning“ oder „Net Learning“ bezeichnet. (Döring, 2002, S.247)

Döring (2002) untersuchte im Jahr 2001 die Webpräsenz der verschiedenen oben genannten Begriffe (siehe Abbildung 5.1). Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass der Begriff „E-Learning“ im englischsprachigen Raum am gebräuchlichsten war, während im deutschsprachigen Raum die Begriffe „Online-Lernen“ und „virtuelles Lernen“ Vorrang vor dem Begriff „E-Lernen“ hatten.

Die Tabelle in Abbildung 5.2 dokumentiert dieselbe Suche nach Web-Publikationen zur heutigen Zeit und unter Berücksichtigung einiger verschiedener Schreibweisen: Die Groß- und Kleinschreibung einzelner Buchstaben wird bei der Suche meist ignoriert („E-Learning“ und „e-learning“ liefern beispielsweise dieselben Trefferquoten), ein Leerzeichen oder Bindestrich wird jedoch berücksichtigt („eLearning“ erreicht eine andere Trefferquote als „e-Learning“). Die Tabelle zeigt, dass sich zum einen die Gebräuchlichkeit aller Begriffe erwartungsgemäß deutlich erhöht hat, zum anderen aber nach wie vor der englische Begriff „E-Learning“ und der deutsche Begriff „Online Lernen“ diejenigen Begriffe sind, die am meisten verwendet werden.

Englische Fachbegriffe	Fundstellen in www.google.com	Deutsche Fachbegriffe	Fundstellen in www.google.com
<i>E-Learning</i>	500.000	E-Lernen	100
Online Learning	300.000	<i>Online Lernen</i>	3000
Virtual Learning	50.000	virtuelles Lernen	700
Cyber Learning	10.000	Cyberlernen	10
Net Learning	7.000	Netzlernen	50

Abbildung 5.1: WWW-Präsenz von Fachbegriffen zum Lernen mit dem Internet, Stand: März 2001 (Döring, 2002, S.248)

Interessant sind die deutlich höheren Trefferquoten für die Begriffe „Net Learning“ und „Netz Lernen“: Bei den englischen Begriffen erzielt der Begriff „Net Learning“ eine höhere Trefferquote als die Begriffe „Cyber Learning“ und „CyberLearning“ zusammen, bei den deutschen Begriffen übertrifft die Trefferquote für den Begriff „Netzlernen“ die Trefferquote für den Begriff „virtuelles Lernen“.

Englische Fachbegriffe	Fundstellen in www.google.com	Deutsche Fachbegriffe	Fundstellen in www.google.com
<i>E-Learning</i>	105.000.000	E-Lernen	25.700
<i>ELearning</i>	14.800.000	ELernen	11.000
Online Learning	2.460.000	<i>Online Lernen</i>	975.000
Virtual Learning	1.030.000	virtuelles Lernen	50.500
Cyber Learning	54.000	Cyber Lernen	8
CyberLearning	75.600	Cyberlernen	858
Net Learning	184.000	Netzlernen	64.800

Abbildung 5.2: WWW-Präsenz von Fachbegriffen zum Lernen mit dem Internet, Stand: Juni 2007

Wird dieselbe Suche über die deutschen Google-Seiten ausgeführt, allerdings mit der Option der Suche im gesamten Web, so ergeben sich erwartungsgemäß für fast alle Begriffe ähnliche Trefferquoten (siehe Abbildung 5.3). Interessant sind jedoch die deutlich höheren Werte für die beiden englischen Begriffe „E-Learning“ und „ELearning“.

Wird die Suche über die deutschen Google-Seiten auf nur deutsche Seiten beschränkt, ergibt sich die Tabelle in Abbildung 5.4. Diese Tabelle zeigt deutlich die übliche Verwendung der englischen Begriffe, vor allem des Begriffs „E-Learning“, auf deutschen Webseiten.

Döring (2002) nennt noch einige weitere Begriffe, die zueinander in Beziehung stehen:

Englische Fachbegriffe	Fundstellen in www.google.de („Das Web“)	Deutsche Fachbegriffe	Fundstellen in www.google.de („Das Web“)
<i>E-Learning</i>	133.000.000	E-Lernen	25.800
<i>ELearning</i>	18.200.000	ELernen	11.000
Online Learning	2.630.000	<i>Online Lernen</i>	986.000
Virtual Learning	1.030.000	virtuelles Lernen	50.400
Cyber Learning	54.500	Cyber Lernen	8
CyberLearning	75.300	Cyberlernen	857
Net Learning	183.000	Netzlernen	64.700

Abbildung 5.3: WWW-Präsenz von Fachbegriffen zum Lernen mit dem Internet über Suche der deutschen Google-Seiten, Stand: Juni 2007

So ist der Begriff des „Online-Lernens“ mit den Begriffen „multimediales Lernen“ und „hypertextuelles Lernen“ (oder kurz „Hyperlernen“) verwandt. Döring (2002) betont an dieser Stelle jedoch, dass nicht jedes mediale Angebot oder Hypertextsystem nur in Online-Medien wie dem Internet publiziert wird. Mediale Angebote können auch unabhängig von einer Netzanbindung beispielsweise über CD-ROM verteilt und genutzt werden. Insofern kann das hypertextuelle Lernen nicht nur als Unterkategorie des Online-Lernens verstanden werden, sondern auch als eigenständige Alternative.

Wie die hier aufgeführten Beispiele zeigen, gibt es im Kontext des Lernens mit dem Computer viele Begriffe, die diesen Sachverhalt aus verschiedenen Perspektiven näher zu beschreiben suchen. Je nach Betrachtungsweise gibt es dabei verschiedene Arten der Unterteilung und Kategorisierung. Aus technischer Sicht wird beispielsweise zwischen Offline- und Online-Lernen unterschieden, wobei das Telelernen wiederum eine besondere Rolle einnimmt (siehe Kapitel 5.2). Aus didaktischer Sicht werden zum Beispiel computergesteuerter, computergestützter und computerunterstützter Unterricht sowie computerunterstütztes Lernen unterschieden (siehe Kapitel 5.6). Ebenso gibt es verschiedene Einteilungen von Lernsoftware (siehe Kapitel 5.4). Für alle Kategorisierungen gilt, dass die Schnittmenge einer Kategorisierung mit einer anderen in der Regel nicht leer ist und dass die Übergänge innerhalb einer Kategorie meist fließend verlaufen. Die Begriffe selbst sind in der Regel auch nicht eindeutig definiert.

5.2 Offline- und Online-Lernen

Ganz allgemein beschreiben die Begriffe *online* und *offline*, ob ein Computer mit dem Internet verbunden ist oder nicht (Kron und Sofos, 2003). Dementsprechend wird Online- und Offline-Lernen oft dahingehend interpretiert, ob ein mediales Angebot

Englische Fachbegriffe	Fundstellen in www.google.de („Seiten auf Deutsch“)	Deutsche Fachbegriffe	Fundstellen in www.google.de („Seiten auf Deutsch“)
<i>E-Learning</i>	1.170.000	E-Lernen	24.500
<i>ELearning</i>	1.150.000	ELernen	899
Online Learning	127.000	<i>Online Lernen</i>	872.000
Virtual Learning	30.900	virtuelles Lernen	48.400
Cyber Learning	10.400	Cyber Lernen	6
CyberLearning	251	Cyberlernen	507
Net Learning	592	Netzlernen	60.000

Abbildung 5.4: WWW-Präsenz von Fachbegriffen zum Lernen mit dem Internet über Suche der deutschen Google-Seiten, Stand: Juni 2007

nur mit oder auch ohne Anbindung an das Internet bearbeitet werden kann.

Ein mediales Angebot wäre somit ein Offline-Angebot, wenn es zum Beispiel über eine DVD vermittelt wird und eine in sich geschlossene Bearbeitung ermöglicht. Dasselbe mediale Angebot wird nach obigem Verständnis dann aber sofort zu einem Online-Angebot, wenn seine Bearbeitung auch „online“ im Internet zur Verfügung gestellt wird. Sehr oft wird im Sinne obiger Interpretation bereits auch schon von „Online-Lernen“ gesprochen, wenn nur Materialien (wie beispielsweise der Mitschnitt oder das Skript einer Vorlesung) über das Internet abrufbar zur Verfügung gestellt werden.

Insofern sollte eine vorhandene oder nicht vorhandene Anbindung an das Internet nicht das einzige Unterscheidungsmerkmal zwischen Offline- und Online-Lernen sein. Zusätzliches und charakteristisches Unterscheidungsmerkmal ist die Einbindung computervermittelter Kommunikation. Offline-Angebote nutzen den Computer als darstellendes Medium mit allen seinen Möglichkeiten, Online-Angebote nutzen den Computer zusätzlich zur Kommunikation. Döring (2002) beschreibt diesen Sachverhalt wie folgt:

Das Online-Lernen unterscheidet sich in zweierlei Hinsicht vom Offline-Lernen bzw. Lernen an Stand-Alone-Rechnern („Computer Assisted Learning“: CAL): Lehrende und Lernende haben durch die Anbindung an ein Computernetzwerk die Möglichkeit, untereinander sowie mit Außenstehenden computervermittelt zu kommunizieren [...] Neben der computervermittelten Kommunikation ist der Zugriff auf sehr große, hypertextuell bzw. hypermedial strukturierte Archive ein Spezifikum des Online-Lernens [...] (Döring, 2002, S.248)

Klassische Offline-Angebote werden meist über physische Datenträger wie beispielsweise CD-ROM oder DVD vermittelt und ermöglichen eine in sich geschlossene

Bearbeitung. Die Nutzung von Medien ist beim Offline-Lernen relativ raum- und zeitunabhängig. Allerdings ist die Kommunikation zwischen dem Autor und dem Lernenden stets unidirektional. Mögliche Interaktionen des Lernenden mit dem Medium beschränken sich auf die Mensch-Maschine-Kommunikation (Kerres, 2002).

Offline-Angebote können auch als Download im Internet zur Verfügung gestellt werden oder auf einer speziellen Webseite Chats und Foren zum medialen Angebot anbieten. Da Kommunikation mit anderen Personen für den Lernerfolg eine wichtige Rolle spielt, wird diese im Bereich des Offline-Lernens häufig mit Präsenzphasen und/oder Phasen des Online-Lernens kombiniert (Freibichler, 2002).

Kerkau (2002) äußert sich 2002 noch sehr kritisch zum Verhältnis von Offline- und Online-Lernen:

Während heute das Lernen mit Offline-Multimedia bereits einen festen Platz eingenommen hat, stecken Online-Lernumgebungen noch in den Kinderschuhen. Das Internet wird noch immer vorwiegend für Informations- und Präsentationszwecke genutzt. Durch die technischen Beschränkungen des Internets konnten nur langsam komplexe Lernumgebungen entwickelt werden, die allerdings qualitativ noch hinter den Offline-Anwendungen zurückbleiben. (Kerkau, 2002, S.218)

Diese Aussage ist heute insofern zu relativieren, als dass sich die technischen Möglichkeiten des Internets hinsichtlich Gestaltung und immer schnellerem Zugriff in den letzten Jahren doch deutlich entwickelt haben (Stichwort Web 2.0, vgl. Kapitel 1.4.5). Eine Google-Suche nach Web-Dokumenten mit dem Begriff „Lernumgebung“ liefert immerhin ca. 602.000 Treffer, wobei es sich bei vielen Treffern auch tatsächlich um online ausführbare Lernumgebungen handelt. Allerdings sollten dabei letztlich nur online gestellte Offline-Angebote nicht mit wirklichen Online-Angeboten verwechselt werden.

Hauptmerkmal von Online-Lernen ist die Einbindung computervermittelter Kommunikation. Dabei gibt es eine ganze Reihe von technischen Möglichkeiten zur Realisierung asynchroner und synchroner Kommunikation und Interaktion mit anderen Menschen (Freibichler, 2002). Zeitgleiche Kommunikation wird zum Beispiel durch Chats oder Audio- und Videokonferenzen ermöglicht, zeitversetzte Kommunikation beispielsweise durch E-Mail, Mailinglisten oder Newsgroups.

Vor dem Hintergrund der Kommunikation sind auch die so genannten Telemedien von Bedeutung, die in medialen Angeboten Verwendung finden können:

5.2.1 Telemedien

Telemedien bezeichnen nach Kerres (2002) alle Techniken der Informationsvermittlung bzw. des Informationsaustausches, die zur Überwindung von Distanzen zwischen Sender und Empfänger eingesetzt werden, wobei diese Übermittlung nicht-materiell ist. Fernsehen, Radio und Telefon sind beispielsweise Telemedien.

Hinsichtlich einer Kommunikation zwischen einem Autor und Lernenden ermöglicht

die Kommunikationstechnik verschiedene Formen: Die Kommunikation kann zwischen Einzelpersonen, zwischen Gruppen oder auch zwischen einer Person und einer großen Adressatenmenge stattfinden. Beispiele hierfür sind Telefonie, Konferenzschaltungen oder die Ausstrahlung einer Radiosendung. Zudem kann die Kommunikation synchron (zeitgleich) oder asynchron (zeitversetzt) ablaufen. Beispiele für synchrone Kommunikation sind Telefonie, Radio oder Fernsehen, Beispiele für asynchrone Kommunikation die normale Briefpost wie etwa Fernstudientexte oder die Zeitung.

Telemedien können in ein mediales Angebot integriert sein, müssen es aber nicht. Zum Beispiel kann ein Video in einem Lernprogramm zu Lehrzwecken eingesetzt werden, dennoch ist nicht jedes Video grundsätzlich ein Lehrvideo. Lernangebote können auch per Telemedien distribuiert werden. Telemedien haben somit mit den medialen Angeboten einen Überlappungsbereich, ohne jedoch mit ihnen identisch zu sein.

Nach Kerkau (2002) gibt es auch zunehmend virtuelle Klassenräume, in denen synchrone Kommunikation via Sprache (Voice over IP, VoIP) oder Videokonferenzen realisiert wird. Es gibt Autorenprogramme, die die Implementierung solcher „virtual classrooms“ in eine Lernumgebung ermöglichen.

5.2.2 Telelernen, Fernunterricht und Blended Learning

Unter dem Begriff *Telelernen* werden nach Kron und Sofos (2003) Lehr- und Lernprozesse zusammengefasst, die online organisiert sind. Lehrende und Lernende befinden sich dabei an verschiedenen, voneinander getrennten Orten.

Während beim Fernunterricht klassische Medien wie beispielsweise Briefe und ausgedruckte Unterlagen zur Vermittlung von Fachinhalten einbezogen werden, erfolgt die Kommunikation beim Telelernen vorwiegend über die Neuen Medien wie beispielsweise Internet, E-Mail und Webkonferenz. Steinmetz (2000) beschreibt Telelearning als eine Weiterentwicklung des Fernunterrichts und Fernstudiums. Anwendungsgebiete sind sowohl kursorientierte Lehrveranstaltungen in Schule, Hochschule und im Rahmen der Weiterbildung als auch flexible Wissensaneignung nach Bedarf am Arbeitsplatz. Der Selbststudienanteil ist beim Telelearning wie auch beim Fernstudium sehr hoch.

Kron und Sofos (2003) unterscheiden folgende Sonderformen des Telelernens: *Offenes Telelernen*, *Teletutoring* und *Teleteaching*. Dabei ermöglicht *offenes Telelernen* den Lernenden Zugriff auf vorbereitete Online-Texte zur Bearbeitung eines Themas.

Unter *Teletutoring* wird ein betreutes Fernstudium (im Sinne des Telelernens) verstanden. Lernende haben hier die Möglichkeit, unter tutorieller Anleitung individuell oder in Gruppen ein Thema zu bearbeiten. Lernende können zudem bei Fragen zum Lernmaterial oder Lernprozeß Kontakt mit dem Tutor aufnehmen. Diese Kommunikation kann asynchron (beispielsweise per E-mail) oder synchron (zum Beispiel per Audio- oder Video-Konferenz) erfolgen (Steinmetz, 2000).

Kerkau (2002) spricht in diesem Zusammenhang vom neuen Berufsbild des *Teletu-*

tors. Dieser übernimmt teilweise die Aufgabe, Inhalte von Informations- und Lernmodulen zu erstellen oder zumindest zu aktualisieren.

Beim *Teleteaching* erfolgt die Wissensvermittlung durch Übertragung von beispielsweise einer Vorlesung oder eines Vortrages von einer Universität an eine oder mehrere andere. Steinmetz (2000) beschreibt Teleteaching allgemeiner als die Übertragung einer Veranstaltung (beispielsweise einer Schulstunde) per Audio-/ Videoverbindung an einen anderen Ort. Meist handelt es sich dabei jedoch um eine unidirektionale Kommunikation. Findet eine Rückmeldung an den Lehrenden statt, so kann diese wieder asynchron oder synchron erfolgen.

In diesem Zusammenhang ist auch der Begriff des *Blended Learning* aufzuführen: Er beschreibt die unterschiedlichen Arten der Kombination von elektronischen Lernformen und Präsenzunterricht (siehe Zitat von Schulmeister (2006) in Kapitel 5, S.283). Ziel ist dabei, die Vorteile der Kombination verschiedener Medien und Methoden zu verstärken und die Nachteile zu minimieren. Ein anderer Begriff, der für dieses Konzept ebenfalls Verwendung findet, ist der des *Hybriden Lernarrangements*.

5.2.3 Lernplattformen

Im Zusammenhang komplexer Online-Angebote wird häufig der Begriff der *Lernplattform* verwendet. Nach Freibichler (2002) werden bei medialen Lernangeboten nicht nur Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität sowie die hypertextbasierten Navigationsfunktionen genutzt und verwendet, sondern es kommen besondere Interaktions- und Kommunikationsfunktionen hinzu, wie beispielsweise Lerneranmeldung und Kursverwaltung, Selbsttests und Leistungskontrollen, Punkt- und Notenvergabe, Download- und Printvorlagen, Personalisierungs-, Diskurs- und Kollaborationsmöglichkeiten. Diese können im Allgemeinen nicht von Hypermediawerkzeugen abgedeckt werden, sondern bedürfen spezialisierter Autorensysteme bzw. E-Learning-Plattformen.

Kerkau (2002) definiert eine Lernplattform als ein Internetportal, das „speziell auf die Bedürfnisse des Lernens und Lehrens“ ausgerichtet ist. Dabei sind verschiedenste Entwicklungen in allen Richtungen und Nischen zu finden.

Anbieter, die lediglich nur die technische Umgebung der Lernplattform als übergreifendes Portal zur Verfügung stellen, damit der Autor seine Inhalte publizieren kann, sind nach Kerkau (2002) eher selten.

Lernplattformen ermöglichen neben der Zusammenstellung vorhandener Materialien und deren Verwaltung auch eine technische Umsetzung aller im Web möglichen Kommunikationsfunktionen. Manche Lernplattformen bieten zusätzlich Möglichkeiten zur Erstellung von Aufgaben und Tests bis hin zu komplexen Assessment-Tools. Dennoch liegen nach Kerkau (2002) die Stärken von Lernplattformen im Bereich der Zusammenstellung von Material zu einem Online-Gesamtangebot in Kombination und Ergänzung von Hilfsmitteln wie beispielsweise Kalenderfunktionen, Kommunikationsdesign, Contentmanagement und Kontrollfunktionen. Die eigentlich Erstellung von Inhalten im Sinne eines Autorenwerkzeuges unterstützen sie in der Regel

nicht.

Lernplattformen bieten nach Kerkau (2002) fast ausschließlich die Implementierung von vorhandenen Dokumenten sowie die erforderlichen Kommunikationsstrukturen an. Eine Generierung von medialen Lernangeboten ist mit den derzeit verfügbaren Lernplattformen nicht möglich.

5.3 Die Rolle des Computers

Taylor (1980) spricht vom Computer in der Schule als *Tutor*, *Tool* und *Tutee*. Dies entspricht einem Einsatz des Computers als Lehrer, als Werkzeug oder als zu Belehrender. In Anlehnung an diese Unterteilung wird in neueren Quellen von einer Rolle des Computers als *Lerngegenstand* (*Tutee*), als *Lernwerkzeug* (*Tool*) und als *Lernmedium* (*Tutor*) gesprochen (Steinmetz, 2000; Leutner, 2006b):

5.3.1 Der Computer als Lerngegenstand

Ist der Computer selbst der Lerngegenstand, so wird etwas über den Computer gelernt wie beispielsweise Aufbau und Funktion eines Computers, Bedienung, Programmierung, verschiedene Anwendungsgebiete von Computern oder wirtschaftliche und soziale Auswirkungen des Computereinsatzes.

(Taylor, 1980) sieht den Computer in dieser Funktion als *Tutee*, weil der Computer „belehrt“ werden muss, die Dinge zu tun bzw. die Ergebnisse zu liefern, die von ihm verlangt werden. Dies bedeutet aber für denjenigen, der ihn dazu bringen soll, dass er weiß und lernt, wie dies zu geschehen hat, d.h. er muss lernen, ihn zu programmieren. Taylor (1980) sieht darin gleich einen dreifachen Nutzen: Zum einen muss der Lernende die Inhalte, die er programmieren möchte, zunächst einmal inhaltlich selbst verstehen und lernen, bevor er sie programmieren kann. Zum anderen lernt er durch die Umformulierung in eine Programmiersprache sowohl die Möglichkeiten eines Computers als auch seine eigene Art zu denken kennen. Zum Dritten wird durch das eigene Programmieren Geld bzw. Zeit für den Erwerb bzw. das Erlernen der Handhabung einer entsprechenden Software gespart, die die gestellte Aufgabe auch lösen könnte (Taylor, 1980). Der zuletzt genannte Nutzen mag heute, 27 Jahre später, nicht mehr in dem Maße wie damals zutreffen, sei aber der Vollständigkeit halber mit aufgeführt, zumal er den Wandel in der Entwicklung, Nutzung und Handhabung von Computer-Software verdeutlicht.

5.3.2 Der Computer als Lernwerkzeug

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung des Computers als Lernwerkzeug. So wie beispielsweise Geodreieck oder Taschenrechner als Lernwerkzeuge verwendet werden, kann auch der Computer mit geeigneter Standard-Software oder auch individuell erstellter Software vom Lehrenden oder Lernenden eingesetzt werden, um zum

Beispiel Lernmaterialien zu erstellen, Aufgabenstellungen zu bearbeiten, Informationsrecherchen durchzuführen oder die Kommunikation via Internet zu nutzen. Textverarbeitungsprogramme, Datenbanken oder Zeichenprogramme haben beispielsweise diesen Lernwerkzeug-Charakter. Die in Kapitel 2.3.11 und Kapitel 1.5.4 vorgestellte Trias mathematischer Software von Tabellenkalkulationen, Computeralgebrasystemen und dynamischer Geometriesoftware gehört ebenfalls in die Rubrik der digitalen Werkzeuge.

5.3.3 Der Computer als Lernmedium

Wird der Computer als Lernmedium verwendet, so dient er als Träger der Lerninhalte (Steinmetz, 2000). Damit übernimmt er ein oder mehrere Lehrfunktionen wie beispielsweise die Präsentation von Informationen, Motivation des Lernenden, Steuern der Aktivität, Erfolgskontrolle und Rückmeldung (vgl. auch Kapitel 3.2.11 über Lehrfunktionen).

Die Umsetzung dieser unterschiedlichen Lehrfunktionen führt zu unterschiedlichen Arten von Lernsoftware. Diese werden im nächsten Unterkapitel näher erläutert.

5.4 Lernsoftware

Der Begriff der *Lernsoftware* kann als Sammelbegriff für all jene Software betrachtet werden, die Lernen in irgendeiner Form ermöglicht oder unterstützt. Kron und Sofos (2003) definieren diesen Begriff wie folgt:

LERNSOFTWARE: Darunter wird jegliche Art von Software verstanden, die auf einem Rechner oder im Internet läuft und vom Nutzer im Rahmen von Lehr- und Lernprozessen verwendet wird. (Kron und Sofos, 2003, S.180)

Baumgartner und Payr (1999) sowie Kron und Sofos (2003) grenzen *Lern-* und *Bildungssoftware* voneinander ab. Unterscheidungsmerkmal ist dabei eine vorhandene oder eben nicht vorhandene Intention von Lehr- und Lernprozessen. Software ist dann Bildungssoftware, wenn ihr eine bildende, funktionale Wirkung zugesprochen werden kann. Da aber jede Bildungssoftware letztlich Lernen impliziert, können die Begriffe *Bildungssoftware* und *Lernsoftware* auch als Ober- und Unterbegriff verstanden werden (Kron und Sofos, 2003). Die Verwendung des Begriffes *Lernsoftware* unterstreicht das Ziel eines intentionalen Lehr- und Lernprozesses und fokussiert damit zum einen den Interaktionsprozess zwischen den Lernenden und der Software und zum anderen das intentionale Handeln des Lehrenden (Kron und Sofos, 2003).

In der Literatur finden sich viele Klassifizierungen von Lernsoftware. Bodendorf (1990) unterscheidet acht Arten von Lernsoftware für computerunterstütztes Lernen. Je nachdem, welche Art des Lernens im Vordergrund stehen soll, übernimmt das Lernprogramm eine andere zentrale Funktion bzw. stellt diese zur Verfügung (siehe Abbildung 5.5):

Art des Lernens	Funktion des Lernprogramms
Lernen durch Hinweis	Hilfe
Lernen durch Übung	Training
entdeckendes Lernen	Simulation
selbstgesteuertes Lernen	passiver Tutor
angeleitetes Lernen	aktiver Tutor
unterhaltendes Lernen	Spiel
learning by doing	Problemlösung
sokratisches Lernen	intelligenter Dialog

Abbildung 5.5: Arten von Lernsoftware nach Bodendorf (1990)

Kleinschroth (1996) verwendet eine andere Begrifflichkeit: Er spricht von *Schoolware* und bezeichnet damit „Programme für Lernende und Lehrer aller Schularten“ (Kleinschroth, 1996, S.64). Die *Schoolware* gliedert sich dann wiederum in *Tools*, *Learnware* (Lernwerkzeuge) und *Teachware* (Lehrwerkzeuge). Dabei zählen beispielsweise Textverarbeitung und Wörterbücher zu den *Tools*. Die *Learnware* bezeichnet Kleinschroth (1996) auch als Lernsoftware. Darunter fallen bei ihm dann im Wesentlichen Programme zum Wiederholen, Üben und Spielen. Zur *Teachware* zählt er solche Programme, die „die Aufgaben eines Lehrers auf einem begrenzten Fachgebiet übernehmen“ (Kleinschroth, 1996, S.105). Darunter fallen Tutorien, Modellbildungssysteme und Simulationen. Hypertext und Hypermedia behandelt Kleinschroth (1996) separat.

Steinmetz (2000) gliedert Lernsoftware zunächst in die beiden Unterkategorien der *Lernprogramme* und der *Lernumgebungen*. Dabei steuern *Lernprogramme* den Fortgang des Lernens, während *Lernumgebungen* einen Angebotscharakter besitzen, innerhalb derer die Steuerung des Lernens beim Lernenden liegt. Innerhalb der Lernprogramme unterscheidet Steinmetz (2000) zunächst die drei Arten *Drill- und Übungsprogramme*, *Test-Software* und *Tutorielle Systeme*; innerhalb der Lernumgebungen die drei Arten *Animationen und Simulationen*, *Problemlöseumgebungen* sowie *Lernspiele und Edutainment*. In die Kategorie der Lernprogramme fallen nach Steinmetz (2000) dann noch zusätzlich die *Adaptiven Lernsysteme*, die er wiederum in *Intelligente tutorielle Systeme* und *Adaptive Hypermedia-Systeme* aufgliedert. Steinmetz (2000) weist darauf hin, dass Lernsoftware aber auch aus verschiedenen Komponenten der vorgestellten Arten zusammengesetzt sein kann.

Strittmatter und Niegemann (2000) unterscheiden folgende Formen computerunterstützter Instruktionssysteme: *Lernprogramme* (dazu zählen beispielsweise Drill-and-Practice-Übungsprogramme und tutorielle Lehrprogramme), *Modellierungsprogramme* (dazu zählen zum Beispiel Simulationsprogramme und Planspiele), *Problemlöseprogramme* und *Informationssysteme* (wie beispielsweise Datenbanksysteme und Hypermedia). Auch Strittmatter und Niegemann (2000) betonen Mischformen und Überschneidungen der einzelnen Kategorien innerhalb einer Lernsoftware.

Weidenmann (2001) unterteilt Lernsoftware in fünf Typen: *Drill-and-Practice-Programme* (Typ 1), *Tutorielle Programme* (Typ 2) mit adaptiven und intelligenten tutoriellen Programmen als Unterkategorien, *Hypertext und Hypermedia* (Typ 3), *Simulationen und Mikrowelten* (Typ 4) sowie *interaktive Lernumgebungen* (Typ 5). Weidenmann (2001) weist aber darauf hin, dass es sich bei seiner Auflistung nur um eine vorläufige und „derzeit gebräuchliche“ Einteilung handelt, da sich neue Typen entwickeln würden. Zudem gibt es Software, die sich nicht eindeutig einem der Typen zuweisen lässt, da sie Merkmale verschiedener Typen aufweist.

Kron und Sofos (2003) klassifizieren sechs verschiedene Arten von Lernsoftware: *Präsentations- und Visualisierungssoftware*, *Drill- und Testsoftware*, *Tutorielle Systeme*, *Intelligente tutorielle Systeme*, *Simulationen* und *Hypermedia*.

Die soeben vorgestellten Kategorisierungen spiegeln die vielen Facetten des Begriffes *Lernsoftware* wider. Sie zeigen auch, dass beispielsweise die Begriffe *Lernprogramm*, *Lernwerkzeug* und *Lernumgebung* in ihrer Bedeutung nicht klar definiert sind. Auch wenn keine der Unterteilungen eine eindeutige Zuordnung oder Gliederung von *Lernsoftware* erlaubt, sollen die einzelnen Kategorien nun im Folgenden vorgestellt werden, da sie gewisse Merkmale von Lernsoftware fokussieren.

5.4.1 Präsentations- und Visualisierungssoftware

Ziel dieser Art der Lernsoftware ist die Präsentation eines Gegenstandes oder Sachverhaltes mithilfe verschiedener Darstellungsformen (Kron und Sofos, 2003). Auf dem Bildschirm wird beispielsweise ein Auswahlménü verschiedener komplexer Sachverhalte angeboten, aus dem ein Lernender je nach Interesse das Thema auswählen kann, das ihn gerade am meisten interessiert. Vermittelt wird dabei primär Faktenwissen, wobei die bewusste Einbeziehung verschiedener Betrachtungsperspektiven die Möglichkeit zu Vergleichen und dem Herausarbeiten von Unterschieden bietet.

Nach Kron und Sofos (2003) eignet sich diese Art der Lernsoftware zur Einführung in eine neue Thematik, zur Aktivierung vorhandenen Wissens oder auch zur gezielten Erläuterung solcher Sachverhalte und Zusammenhänge, die sich rein narrativ nur sehr schwer darstellen lassen.

5.4.2 Hypertext und Hypermedia

Hypertext und Hypermedia werden in der Literatur oftmals bei der Klassifikation von Lernsoftware als eine eigene Kategorie berücksichtigt. Weidenmann (2001) räumt jedoch ein, dass es sich hierbei eigentlich „nicht dezidiert um Lernprogramme“, sondern vielmehr um „gut organisierte Datenbanken“ handelt (vgl. Kapitel 1.4 *Hypertext- und Hypermediasysteme*, sowie Kuhlen (1991); Nielsen (1996); Tergan (2002)).

Hypertext- und Hypermediasysteme wurden in den Kapiteln 1.4 und 2.4 bereits ausführlich behandelt und sollen darum hier nur sehr kurz aufgeführt werden.

Im Kontext von Lernsoftware ist die Möglichkeit der freien Navigation zu betonen,

die aber nicht nur Vorteile, sondern auch Probleme wie Desorientierung und kognitive Überlast mit sich bringen kann (vgl. Kapitel 7.4 zu Lernproblemen bei der Navigation). Überblicksgrafiken und *History*-Protokolle können hier hilfreich sein. Oftmals wird auch im Rahmen einer so genannten *Guided Tour* ein programmierter Lehrpfad angeboten (vgl. Kapitel 7 zur *Navigation*).

5.4.3 Drill-and-Practice-Programme

Ziel von *Drill-and-Practice*-Programmen ist die Festigung von (meist zuvor erworbenem) Wissen durch ständige Wiederholung und Anwendung zur Sicherung des Lernerfolgs (Steinmetz, 2000). Typisches Kennzeichen von Drill-and-Practice-Programmen sind Sequenzen des Typs „Übungsaufgabe - Eingabe einer Antwort - Rückmeldung“ (Strittmatter und Niegemann, 2000).

Es gibt eine Vielzahl und Vielfalt derartiger Lernprogramme für fast alle Wissensbereiche. Klassische Beispiele sind Rechentrainer, Vokabeltrainer oder Programme zum Lernen und Einüben grammatischer Formen. Mathematische Aufgabensammlungen haben dann den Charakter eines Drill-and-Practice-Programms, wenn sie hauptsächlich Aufgabengruppen des jeweils selben Typs zur wiederholten Anwendung bestimmter Lösungsschemata anbieten.

In der Regel findet die eigentliche Vermittlung bzw. Aneignung des in Drill-and-Practice-Programmen anzuwendenden Wissens vor dem Einsatz solcher Programme statt, beispielsweise durch herkömmlichen Unterricht oder durch ein Lehrprogramm anderer Art. Die Konzeption von Drill-and-Practice-Programmen bezieht sich somit meist auf eine spezifische Lehrfunktion, überwiegend auf die Lehrfunktion des Speicherns und Abrufens bzw. des Behaltens und Erinnerns (zum Thema *Lehrfunktionen* vgl. Kapitel 3.2.11).

Weidenmann (2001) bezeichnet Drill-and-Practice-Programme auch als „Paukprogramme“ und nennt eine Reihe klassifizierender Merkmale, die ganz oder teilweise bei Programmen dieser Art zu finden sind:

- ▷ Es gibt einen Pool von Übungselementen.
- ▷ Das Programm präsentiert nach einem Zufallsverfahren Elemente aus dem Pool im Rahmen einer Aufgabe.
- ▷ Der Lernende erhält sofort ein Feedback (zum Beispiel einen Signalton).
- ▷ Am Schluss des Trainingsdurchgangs wird ein Gesamtwert angezeigt.
- ▷ Man kann die Schwierigkeit einstellen.
- ▷ Man kann beliebig oft Trainingsdurchgänge wiederholen.

Nach Strittmatter und Niegemann (2000) sind die Zielgruppen derartiger Übungsprogramme nicht nur Schüler. Beispielsweise werden Vokabeltrainer von Fernuniversitäten und Weiterbildungsabteilungen großer Unternehmen bei Intensivsprachkursen zur Vorbereitung von Auslandseinsätzen verwendet.

Viele dieser Übungsprogramme sind sehr einfach strukturiert. Dennoch ist nach Strittmatter und Niegemann (2000) die Planung und Entwicklung solcher Lernsoftware dann nicht trivial, wenn fachdidaktische Anforderungen und instruktionspsychologische Fördermöglichkeiten des Übens umgesetzt werden sollen. Strittmatter und Niegemann (2000) erläutern dies am Beispiel des Vokabeltrainers: Aus fachlicher Sicht sollten hier Mehrdeutigkeiten erkannt und berücksichtigt werden, instruktionspsychologisch sind beispielsweise fehlerabhängige Wiederholungsraten wünschenswert sowie differenzierte Rückmeldungen anhand von Fehleranalysen. Kann die Fehleranalyse bei der Eingabe einer Antwort Rechtschreibfehler von inhaltlichen Fehlern unterscheiden, kann dies den Lernprozess im Rahmen einer differenzierten Rückmeldung positiv beeinflussen.

Ebenso sind aus fachdidaktischen und instruktionspsychologischen Gründen Fehlerdiagnosen und entsprechend differenzierte Rückmeldungen bei Rechentrainern wünschenswert, wie beispielsweise die Unterscheidung einfacher Additionsfehler bei einer schriftlichen Multiplikation von solchen Fehlern, die auf ein mangelndes Verständnis schließen lassen.

5.4.4 Animationen, Simulationen und Mikrowelten

Manche Sachverhalte sind beispielsweise zu groß, zu klein, zu schnell, zu langsam, zu gefährlich oder zu kostspielig, um sie in der Realität als sinnvolles Lernmaterial zur Verfügung zu stellen. *Animations-* und *Simulations-Software* ermöglicht hier eine dynamische Veranschaulichung solcher Sachverhalte und Vorgänge.

Animationen

Animationen haben gegenüber statischen Bildern den Vorteil, dass sie Veränderungen explizit abbilden können. Bild und Grafik werden als 2D- oder 3D-Objekte verwendet. Die in Animationen zusätzliche Dimension ist die Zeit. Dabei können Objekte beispielsweise innerhalb eines Zeitraumes erscheinen und dann wieder ausgeblendet werden, oder sie können auf verschiedenen vorgegebenen oder frei definierbaren Bahnen bewegt oder um verschiedene Achsen rotiert werden.

Eine Veränderung von Gestalt, Farbe und anderen Eigenschaften kann ebenfalls im Rahmen einer Animation umgesetzt werden. Dazu ist es oft ausreichend, wenn der Lernende Start- und Endpunkt bzw. Anfangszustand und Endzustand vorgibt. Die Animationsanwendung kann dann die nötigen Zwischenschritte und deren Visualisierung selbst berechnen (*Tweening*). Nach Steinmetz (2000) können Animationsanwendungen somit sowohl Übergänge und Überblendungen zwischen Bildern (*Transitionen*) als auch Transformationen eines Animationsobjektes in ein anderes (*Morphing*) produzieren.

Simulationen

Simulationen geben dem Lernenden die Möglichkeit, einen Ablauf zu beeinflussen,

dessen Parameter zu verändern und somit zugrunde liegende Zusammenhänge und Wirkungsmechanismen zu erkennen. Dies wiederum erlaubt dem Lernenden, sein eigenes Verständnis zu überprüfen (Steinmetz, 2000).

Simulationsprogramme ermöglichen „die Demonstration bzw. die Veranschaulichung komplexer naturwissenschaftlicher, technischer, sozialer, ökonomischer und ökologischer Zusammenhänge“ (Strittmatter und Niegemann, 2000, S.132).

Der Einsatz von Simulationsprogrammen erfolgt beispielsweise in der Ausbildung von Piloten, Lokomotivführern, Bedienpersonal von Kraftwerken, um „gefahrlos und kostengünstig in die Handhabung komplexer technischer Systeme einzuführen bzw. das Verhalten in kritischen Situationen zu trainieren“ (Strittmatter und Niegemann, 2000, S.132). Simulationsprogramme werden häufig auch für den Wissenserwerb volks- und betriebswirtschaftlicher Zusammenhänge eingesetzt. Beispiele für den Einsatz von Simulationsprogrammen im Unterricht sind Simulationsprogramme für die Fächer Physik, Biologie und Wirtschaftskunde (Strittmatter und Niegemann, 2000).

Strittmatter und Niegemann (2000) unterscheiden Simulatoren, die originalgetreuen Geräten bzw. Arbeitsumgebungen (wie beispielsweise Flugzeug-Cockpit und Steuerkanzel) entsprechen, wobei deren Funktionen teilweise durch computergesteuerte Elektromotoren simuliert werden, von reinen Software-Simulationen. Letztere ermöglichen durch spielerische oder systematische, hypothesengeleitete Veränderung von Parametern bzw. durch die Ausführung entsprechender Entscheidungen die Darstellung von Effekten in Natur und Gesellschaft, die in der Realität nur über einen längeren Zeitraum hinweg sichtbar werden oder gar nicht darstellbar sind. Solche nicht oder nur sehr schwer darstellbaren Effekte sind beispielsweise mechanische Effekte unter anderen physikalischen Bedingungen als denen auf der Erde oder Abläufe im Mikro- und Makrokosmos.

Steinmetz (2000) stellt folgende beiden Arten von Simulationen vor: Zum einen können konkrete Systeme wie beispielsweise eine konkrete Maschine oder ein bestimmtes physikalisches Experiment simuliert werden. Die Auswirkung der Betätigung bestimmter Schalter und Hebel der Maschine oder die Auswirkung einer Änderung der am physikalischen Experiment beteiligten Parameter können dann direkt nachvollzogen werden. Zum anderen kann das Simulationsprogramm baukastenartig aufgebaut sein und eine beliebige Konstruktion der einzelnen Elemente zulassen und simulieren. Beispielsweise kann die Software die Bausteine Batterie, Draht, Schalter und Lampe zur Verfügung stellen und die Funktionsweise eines vom Lernenden konstruierten Schaltkreises simulieren.

Zur Erhöhung der Lernwirksamkeit sollte nach Steinmetz (2000) der Einsatz dieser Art von Software nicht völlig frei erfolgen, sondern in einem Lernkontext vorbereitet und anschließend ausgewertet werden.

Simulationsprogramme beruhen prinzipiell auf einem mathematischen Modell des entsprechenden Sachverhaltes (Strittmatter und Niegemann, 2000). Dabei kann die Art und Tiefe des zugrunde gelegten mathematischen Modells durchaus eine wichtige Rolle spielen. In einer Physiksimulation kann beispielsweise der nach Veränderung der Parameter neue Sollzustand eines Versuchsaufbaus numerisch ausgerechnet und

anschließend dargestellt werden. Dabei sind in der Regel für alle Parameter nur bestimmte zulässige Wertebereiche vorgegeben. Andererseits können die einzelnen Parameter des Versuchsaufbaus jeder für sich simuliert werden, was zur Darstellung des neuen Sollzustandes bei ihrer Veränderung ein weitaus komplexeres Zusammenspiel der neuen Eingabedaten erfordert. Diese Art der Realisierung erhöht den Programmieraufwand, lässt jedoch auch ein viel breiteres Spektrum an Einstellungs- und Veränderungsmöglichkeiten zu. Zudem bietet es in seiner Gesamtheit ein erhöhtes Maß an Freiheitsgraden in Nutzung und Verwendung.

Da Simulationsprogramme das Verändern von Parametern durch den Anwender erlauben, ermöglichen sie dadurch immer eine Interaktion zwischen Programm und Anwender. Somit hat die Auswahl des mathematischen Modells, das einer Simulation zugrunde liegt, einen direkten Einfluss auf das Ausmaß an die in diesem Rahmen gegebene Interaktivität. Auf diesen Sachverhalt wird in Kapitel 6 zur Interaktivität, insbesondere in Kapitel 6.4.4 *Interaktivität versus Interaktivität* detailliert eingegangen. Im Kontext von Simulationsprogrammen ist auch die Frage zu stellen, ob und inwieweit dynamische Geometrieprogramme zu den Simulationsprogrammen zu zählen sind (siehe hierzu Kapitel 6.4.1).

Nach Weidenmann (2001) sind Simulationen „keine eigentlichen Lernprogramme“, dennoch können sie einen effektiven Beitrag zum Lernen leisten, wenn sie durch tutorielle Elemente ergänzt werden.

Eine Sonderform von Simulationen sind computerbasierte Planspiele, die in Teams gespielt und beispielsweise im Managertraining mit großem Erfolg eingesetzt werden (Weidenmann, 2001). Die Spieldauer erstreckt sich dabei über einen längeren Zeitraum.

Aus pädagogisch-psychologischer Sicht ist der Einsatz von Simulationen (ergänzt um tutorielle Komponenten) deshalb wertvoll, weil dieser das Transferproblem reduziert (Weidenmann, 2001). Lernumwelt und reale Umwelt stimmen so weit als möglich überein. Zudem ermöglicht die Simulation Erfahrungen, die in der realen Welt nicht möglich sind. Das Geschehen innerhalb der Simulation lässt sich beliebig oft wiederholen, Parameter lassen sich immer wieder verändern, so dass auch mit Extremwerten simuliert werden kann, ohne einen „realen Schaden“ zu produzieren. Simulationen sind nach Weidenmann (2001) besonders für die Arbeit in Lernteams geeignet. Die Komplexität der virtuellen Welt sowie die Vielzahl an Handlungsmöglichkeiten unterstützen die Artikulation von Annahmen der Lernenden, somit deren Kommunikation und das gemeinsame Testen am Modell.

Mikrowelten

Als *Mikrowelten* werden solche Anwendungen bezeichnet, die nur einen eng begrenzten Bereich simulieren. Ein Beispiel aus der Physik hierfür ist die Brechung eines Lichtstrahls durch Linsen unterschiedlicher Krümmung.

5.4.5 Tutorielle Systeme (CBT)

Mithilfe von *Tutoriellen Systemen*, engl. *Computer Based Training (CBT)* können Lerninhalte dargestellt und erklärt werden. Der Lernende soll im Rahmen ihrer Anwendung ein (neues) Wissensgebiet verstehen und eine Wissensstruktur zur Lern-domäne aufbauen (Weidenmann, 2001).

Weidenmann (2001) gibt einen Überblick über die große Bandbreite des didaktischen Designs solcher tutorieller Programme: Das Muster der programmierten Unterweisung findet sich in behavioristisch orientierten Tutorials wieder (vgl. hierzu auch Kapitel 5.6 *Computer und Unterricht* und Kapitel 3.2.3 *Behaviorismus*). Dabei ist der Lehrstoff in kleine Lehreinheiten, so genannte *Frames*, aufgeteilt. Diese umfassen beispielsweise jeweils eine Bildschirmseite. Jedes Frame beinhaltet eine Frage, die der Lernende mittels einer Eingabe zu beantworten hat. Auf seine Eingabe erhält der Lernende unmittelbar ein Feedback vom System. Anschließend geht es mit dem nächsten Lernschritt weiter.

Die kleinen Lernschritte und häufigen Fragen sollen die Bekräftigung erwünschter Verhaltensweisen ermöglichen. Der Struktur dieser Lernprogramme liegt der behavioristische Grundgedanke der größtmöglichen externen Kontrolle des Lernprozesses zugrunde (Weidenmann, 2001).

Nach (Weidenmann, 2001) vollzog sich ein Wechsel in der didaktischen Gestaltung von Tutorials, als sich zeigte, dass die kleinen Lernschritte und die monotonen Lückenfragen der behavioristischen Programme bei den Lernenden zu Langeweile und Unterforderung führten. Vielfalt, Abwechslung und Differenzierung zeichnen die neueren, anspruchsvolleren Formen von Tutorials aus. Deren Präsentationsweisen variieren durch Text, Bilder, Animationen und Ton. Es wird eine Vielzahl von Aufgabentypen angeboten. Feedback auf Eingaben und Antworten eines Lernenden ist weitaus differenzierter und geht über ein „richtig“ oder „falsch“ hinaus und auf das Spezifische eines Fehlers ein.

Tutorielle Lernprogramme geben in der Regel eine bestimmte Abfolge von Lernschritten vor. Im Gegensatz zu *explorativen* Lernangeboten sind tutorielle Lernprogramme *expositorisch* (Weidenmann, 2001). Tutorielle Programme können auch verzweigt sein: Beispielsweise wird der nächste Lernschritt in Abhängigkeit einer vom Lernenden gegebenen Antwort ausgewählt. Insofern können manche Lernende innerhalb desselben Lernprogramms rascher fortschreiten als andere.

Nach Steinmetz (2000) übernehmen tutorielle Systeme sämtliche Lehrfunktionen - von der Wissensvermittlung über die Bereitstellung und Abfrage von Aufgaben, Rückmeldung über Lernfortschritte bis hin zur weiteren Bestimmung des weiteren Lernweges in Abhängigkeit der vom Lernenden gegebenen Antworten.

Das Computer Based Training (CBT) gibt es bereits seit den achtziger Jahren. Hier werden Lernprogramme auf externen Datenträgern, meist CD-ROM oder DVD, angeboten. Sie erlauben eine räumlich und zeitlich flexible Nutzung. Ein Computer Based Training ermöglicht in der Regel keine Kommunikation mit anderen Lernenden oder einem Lehrenden.

Tutorielle Systeme sind weit verbreitet und eignen sich nach Steinmetz (2000) vor

allem zum Selbststudium.

Anders als beim Computer Based Training bietet das *Web Based Training (WBT)* verschiedene Möglichkeiten zur Kommunikation. Im Gegensatz zum Computer Based Training werden beim Web Based Training die Lerninhalte auf einem Server hinterlegt. Diese Einbettung ins Internet ermöglicht einfache synchrone und asynchrone Kommunikation zwischen den Lernenden und einem Tutor. Web Based Training ermöglicht nicht nur den zeit- und ortsunabhängigen Zugriff auf aktuelle Informations- und Lernmedien in großer Zahl, sondern bietet auch eine neue Kommunikationsstruktur: Lernende können bei Fragen und Problemen einen Teletutor ansprechen, Chats ermöglichen die Diskussion innerhalb einer Lerngruppe, Diskussionsforen ermöglichen einen fachspezifischen Austausch, Audio- und Video-konferenzen überwinden Distanzen (Freibichler, 2002).

Strittmatter und Niegemann (2000) vergleichen die idealtypische Situation eines tutoriellen Lehrprogramms mit der Situation eines einzelnen Schülers mit einem Tutor oder Privatlehrer. Dabei werden neue Begriffe und Regeln verbal bzw. anhand von Beispielen vorgestellt, mithilfe von Fragen und Aufgaben wird überprüft, ob der Lehrstoff vom Lernenden verstanden worden ist und die Fortsetzung der Instruktion wird in Abhängigkeit des jeweiligen Lernschrittes vorgenommen.

Ganz im Gegensatz hierzu steht nach Strittmatter und Niegemann (2000) die Lehr-/Lernsituation im Rahmen tutorieller Systeme in der Realität: Diese entspräche häufig doch eher der Situation eines Lernenden mit einem gedruckten Lehrtext, ergänzt um Fragen und Aufgaben am Ende eines Abschnittes oder Kapitels mit einer automatisierten Prüfung auf Korrektheit der gegebenen Antworten.

Adaptive Systeme

Adaptive Lernsysteme sind in der Lage, sich selbstständig auf individuelle Eigenschaften eines Lernenden einzustellen (Steinmetz, 2000). Zu diesen Eigenschaften zählen beispielsweise Vorkenntnisse, Interesse oder auch Schwächen und Vorlieben hinsichtlich bestimmter Darstellungsformen. Adaptive Lernprogramme können sowohl bei der Zusammenstellung eines Lernpfades als auch bei der Auswahl der Art der Informationspräsentation flexibel sein und diese dadurch individuell an den Nutzer anpassen.

Dies geschieht bei adaptiven Systemen automatisch und ohne direktes bzw. explizites Einwirken des Lernenden. Voraussetzung ist allerdings, dass dem System gewisse Informationen über den Anwender in Form eines Profils oder Benutzermodells zur Verfügung stehen, anhand dessen das System dann die Benutzerinteraktion gestalten kann.

Adaptiven Lernprogrammen liegt ein Steuerungsprogramm zugrunde, das eine differenzierte Lerndiagnose bzw. Fehlerdiagnose leistet (Leutner, 1992, 2002). Im Rahmen adaptiver Lernsysteme unterscheidet Weidenmann (2001) Makroadaptation und Mikroadaptation (vgl. Kapitel 4.3 zu Adaptierbarkeit und Adaptivität). Werden überdauernde Merkmale des Lernenden erfasst und für tutorielle Entscheidungen verwendet, so handelt es sich um eine Makroadaptation. Beispiele hierfür sind

die Vorliebe für Bilder oder Texte oder der kognitive Stil eines Lernenden. Solche individuellen Benutzermerkmale werden in der Regel zu Beginn im Rahmen einer Eingangsdiagnose des Lernenden vorgenommen und während des gesamten Lernprozesses stabil gehalten. Beispielsweise erhält ein Lernender, der lieber mit Bildern arbeitet, eine Programmversion, die mit einem höheren Bildanteil ausgestattet ist.

Bei der Mikroadaptation erstellt das System in kurzen Zeitabständen diagnostische Ergebnisse und reagiert entsprechend darauf. Ein Beispiel hierfür ist eine Auswertung der Fehlerqualität bei einzelnen Lernschritten. Je nach Art des Fehlers können dann Merkmale des Lernangebots wie Instruktionsumfang, Aufgabenschwierigkeit und angebotene Hilfen angepasst werden.

Weidenmann (2001) unterscheidet zwischen Makro- und Mikroadaptation im Rahmen adaptiver Programme. Dies bedeutet, dass das adaptive Lernsystem beide Adaptationen umsetzt. Wie in Kapitel 4.3 zu Adaptierbarkeit und Adaptivität vorgestellt, kann Makroadaptation aber auch als die Eigenschaft eines Programms verstanden werden, sich „von außen“ durch den Anwender gemäß dessen Wünschen anpassen zu lassen. Solche Programme heißen adaptierbar. Dementsprechend grenzt Steinmetz (2000) diese beiden Systeme voneinander ab:

Adaptierbare Systeme erlauben eine direkte Anpassung des Systems durch den Anwender wie zum Beispiel die Gestaltung der Arbeitsoberfläche hinsichtlich Hintergrundfarbe und Anordnung einzelner Elemente oder die Veränderung von Einträgen in häufig verwendeten Menüs beispielsweise innerhalb einer Textverarbeitung. Adaptierbare Systeme erlauben also eine Anpassung des Systems „von außen“, während adaptive Systeme sich „von innen heraus“ selbstständig auf den jeweiligen Anwender einstellen.

Im Rahmen „echter“ adaptiver (und nicht adaptierbarer) Systeme unterscheidet Steinmetz (2000) dann weiter zwischen intelligenten tutoriellen Systemen und adaptiven Hypermediasystemen.

Intelligente Tutorielle Systeme (ITS)

Intelligente tutorielle Systeme (ITS), engl. *Intelligent Computer-Assisted Instruction (ICAI)* versuchen den Lernprozess des Einzelnen noch mehr zu individualisieren. Dies geschieht nach Steinmetz (2000) durch eine getrennte Modellierung des Wissens, des Lernenden und der didaktischen Strategien.

Intelligente tutorielle Systeme (ITS) sind Lehrprogramme auf der Grundlage wissensbasierter Systeme. Strittmatter und Niegemann (2000) beschreiben das Zusammenwirken verschiedener Basen und Module wie folgt: Zum einen gibt es eine Wissensbasis. Diese enthält den zu vermittelnden Lehrstoff und relevante Bereiche allgemeinen Weltwissens. Sie ist die Grundlage für ein *Experten-Modul*. Eine weitere Basis repräsentiert den aktuellen Wissensstand des Lernenden und enthält Wissen über unterschiedliche Lehrmethoden und Lernwege und deren relative Wirksamkeit unter bestimmten Bedingungen. Sie ist die Basis für ein *tutoriell*es Modul, das je nach Bedeutung und Einfluss der Rolle des Tutors beispielsweise als *Schüler-Modul* oder als *Partner-Modul* umgesetzt sein kann. Darüber hinaus unterstützt diese Basis

ein *Kommunikations-Modul*, das den Dialog mit dem Lernenden idealerweise über natürlichsprachige Fragen und Antworten steuert. Die verwendeten Wissensbasen bestehen jeweils aus Fakten und Regeln, die gemeinsam mit geeigneten Inferenzmechanismen das jeweilige Wissensgebiet beschreiben.

Nach Steinmetz (2000) stützen sich intelligente tutorielle Systeme auf Ergebnisse der Forschung im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI). Intelligente tutorielle Programme bauen anhand des Verhaltens des Lernenden ein *Studentenmodell* auf. Dieses steuert dann den Programmablauf, wie beispielsweise die Auswahl und Abfolge von Lerneinheiten, deren Darstellungsformen und die Art der Rückmeldungen bei unkorrekten Eingaben durch den Lernenden. Das System erstellt somit einen individuellen und maßgeschneiderten Lernpfad für den Lernenden.

Zusätzlich zu diesem Studentenmodell enthält ein intelligentes tutorielles System eine didaktische Komponente. Ihre Aufgabe ist die Umsetzung und Anwendung der gewählten pädagogischen Prinzipien bzw. der gewählten Lerntheorie. Dies hat beispielsweise Einfluss auf die Fehlerbehandlung. So kann der eine Lernende bei Angabe einer unkorrekten Antwort sofort unterbrochen und korrigiert werden, während ein anderer Lernender zum eigenen Erkennen des Fehlers geführt wird, da dadurch ein bestimmter Erkenntnisgewinn erzielt werden kann.

Insofern können intelligente tutorielle Systeme nicht nur individuelle Curricula erstellen und Antworten und Lösungen seitens der Lernenden auf ihre Richtigkeit hin überprüfen, sondern auch individuell auf Reaktionen und Fragen des Lernenden reagieren und antworten (Steinmetz, 2000).

Abbildung 5.6 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines intelligenten tutoriellen Systems: Die *Wissensdomäne* ist die fachliche Informationsquelle des Systems. Sie enthält die zu vermittelnden Inhalte, kann Aufgaben lösen und Lösungen überprüfen. Das *Studentenmodell* speichert den aktuellen Wissensstand des Lernenden. Funktion der *didaktischen Komponente* ist die Wahl einer passenden Lehrstrategie, die Planung des Lernpfades und Bestimmung der Art der Fehlerbehandlung. Die *Benutzerschnittstelle* ist für den Dialog mit dem Lernenden zuständig (Oberle und Wessner, 1998). Strittmatter und Niegemann (2000, S.135) geben folgende Unterscheidungsmerkmale zwischen einem „idealtypischen intelligenten tutoriellen Programm“ und einem „herkömmlichen (‘frame-basierten’) tutoriellen Lehrprogramm“:

- ▷ Wissensbasierte („intelligente“) Instruktionssysteme geben den Lernweg nicht von vornherein eindeutig vor: Er wird jeweils vom Programm in Anpassung an den Wissensstand des Lernenden situativ generiert. Frame-basierte Systeme stellen im Gegensatz dazu fertig gespeicherte Bildschirmseiten bzw. auf dem Bildschirm auszugebende Texte und Grafiken in vorgegebenen Sequenzen dar. Verzweigungen bzw. alternative Lernwege können bei frame-basierten Programmen nur über festgelegte Benutzereingaben umgesetzt werden. Bei intelligenten tutoriellen Systemen können derartige Entscheidungen von einem komplexen Bedingungsgefüge abhängig sein.
 - ▷ Ein ideales intelligentes tutorielles System nutzt für den Dialog zwischen Lernsystem und Lernendem eine so weit als möglich natürlichsprachliche Kommuni-
-

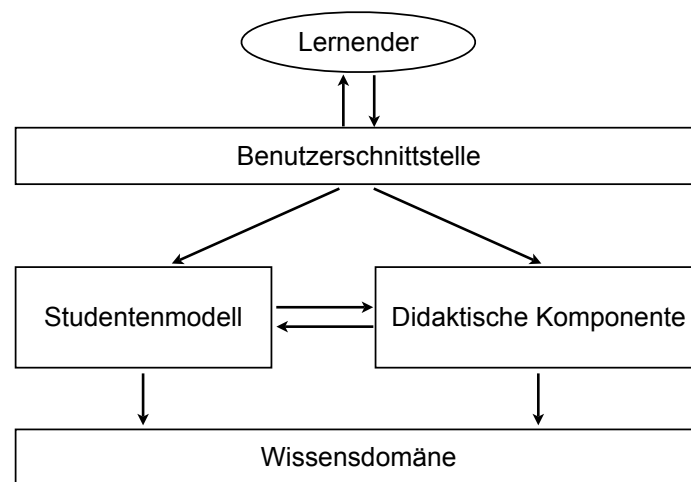


Abbildung 5.6: Aufbau eines Intelligenten Tutoriellen Systems nach Steinmetz (2000, S.826)

kation.

- ▷ Ein intelligentes tutorielles System ist selbst lernfähig und kann seine Lehrstrategie „erfahrungsabhängig“ verbessern.
- ▷ Bei einem intelligenten tutoriellen System werden die Antworten von Lernenden nicht nur mit den korrekten Antworten und Lösungen verglichen: Falsche Antworten werden einer Fehleranalyse unterzogen, die es ermöglicht, Fehlerdiagnosen zu erstellen, die sich auf die Art der zugrunde liegenden Denkfehler beziehen.

Nach Strittmatter und Niegemann (2000) spielen intelligente tutorielle Systeme hauptsächlich in der Forschung eine Rolle. Im Fokus stehen dabei Theorien und Modelle der Wissensrepräsentation, der Wissensdiagnose, des Wissenserwerbs und der Veränderung von Wissen. Zu den wichtigsten Problemen zählen nach Strittmatter und Niegemann (2000) hierbei die natürlichsprachige Kommunikation, die softwaretechnisch-formale Wissensrepräsentation als Modell menschlicher Wissensrepräsentation und der Wissenserwerb als komplexer Prozess.

Nach Weidenmann (2001) basieren intelligente tutorielle Systeme auf Künstlicher Intelligenz, Expertensystemen und Spracherkennung. Weidenmann (2001) konzentriert sich bei seiner Darstellung auf die Lernerkomponente (*Student Modeling*) und die tutorielle Komponente. Die Lernerkomponente erfasst fortlaufend den Lernfortschritt und nimmt eine Analyse der Fehler seitens des Lernenden vor. Gleichzeitig können aber auch andere Merkmale des Lernenden wie beispielsweise Interessen, Lernstil und Aufmerksamkeit modelliert werden. Die Lernerkomponente und die tutorielle Komponente sind miteinander verknüpft. Je nach den Daten des Student-Modeling generiert die tutorielle Komponente fortlaufend ein optimal adaptives Angebot. Sie entscheidet darüber, welcher Lernschritt aus dem Pool der Möglichkeiten dem Lernenden als nächster Schritt angeboten wird. Ausschlaggebend für die vorgenommene Auswahl sind ständig aktualisierte Daten aus der Lernerkomponente.

Nach Weidenmann (2001) ist die Idealvorstellung eines intelligenten tutoriellen Programms ein Programm, „das selbst lernt“ und sich immer besser auf die spezifischen Gewohnheiten und Interessen eines einzelnen Lernenden einstellen kann. Dabei werden diese Entscheidungen im Hintergrund getroffen, der Lernende bemerkt davon nichts.

Interessant ist an dieser Stelle ein Vergleich zum Bereich der Unterhaltungsindustrie und Haushaltsgeräte. Fernsehapparate und Kühlschränke sollen „mitdenken“ und ihrem Nutzer jeweils genau die Angebote unterbreiten, die seinem Konsumverhalten entsprechen. So genannte *Smart Agents* sollen für eine Anwender-angepasste Auswahl von Informationen aus dem Internet sorgen. In diesem Rahmen sind auch die *Einkaufsvorschläge* von Internetstores zu betrachten. Diese beruhen allerdings nicht nur auf den Daten des Einzelnen, sondern werten die Daten mehrerer Konsumenten aus. Weidenmann (2001) sieht in den Entwicklungen in diesem Bereich eine Befruchtung für die Zukunft der intelligenten tutoriellen Lernsoftware.

Adaptive Hypermedia-Systeme (AHS)

Adaptive Hypermedia-Systeme sind eine Kombination von adaptiven Systemen und Hypermedia-Systemen. Adaptive Systeme erlauben mithilfe eines Modells über Ziele, Wünsche und Präferenzen eine Anpassung an den Anwender (siehe Kapitel 4.3 *Adaptation*). Hypermedia-Systeme sind meist hauptsächlich rein explorative Systeme, die dem Anwender als Werkzeuge zur Verfügung stehen, um in einem dichten Netz von Informationen selbstständig diejenigen herauszufinden, die er benötigt (Steinmetz, 2000). Da der Informationsraum meist sehr groß und wenig strukturiert ist, können sich daraus schnell Probleme in der Handhabung und Anwendung ergeben (vgl. Kapitel 1.4 zu *Hypertext- und Hypermedia-Systemen* sowie Kapitel 2.4 und Kapitel 7 zu deren Wirkweise und möglichen Problemen).

Durch eine Kombination dieser beiden verschiedenartigen Ansätze kann die Interaktion des Anwenders mit dem Hypermedia-System auf der Grundlage eines adaptiven Systems gesteuert werden. Dies erfordert, dass das System gewisse Informationen über den Anwender und über seine Interaktion mit dem System in einem *Benutzerprofil* oder *Benutzermodell* speichert. Diese Information kann dann vom System dazu verwendet werden, sich dem Verhalten des Anwenders anzupassen: Beispielsweise kann das adaptive Hypermedia-System dem Anwender bestimmte Navigationshilfen anbieten oder die Informationen nach vom Benutzer vorgegebenen Kriterien zusammenstellen und aufbereiten und gegebenenfalls mit für den Anwender hilfreichen Kommentaren versehen (Steinmetz, 2000). Abbildung 5.7 zeigt den schematischen Aufbau eines adaptiven Hypermedia-Systems in Anlehnung an Abbildung 5.6.

Adaptive Hypermedia-Systeme erfüllen nach Brusilovsky (1996) folgende drei Kriterien:

- ▷ Die Aufbereitung der Information liegt als Hypertext bzw. Hypermedia vor.
 - ▷ Das System beinhaltet ein Benutzermodell, das bestimmte Merkmale des Anwenders reflektiert.
-

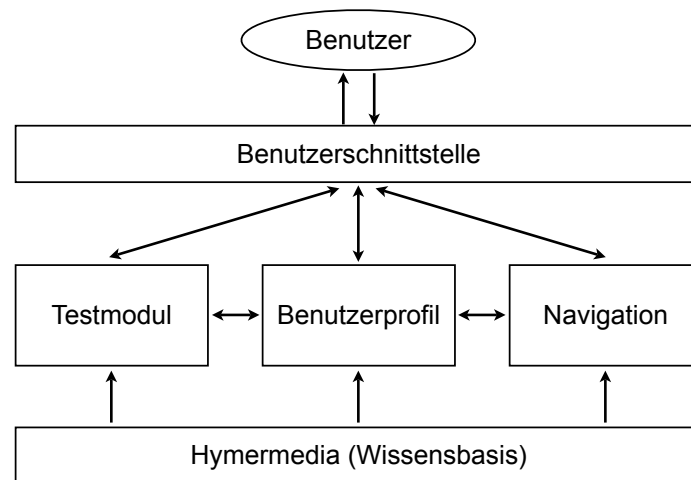


Abbildung 5.7: Aufbau eines Adaptiven Hypermedia-Systems nach Steinmetz (2000, S.828)

- ▷ Die Interaktion des Anwenders wird vom System entsprechend den im Benutzermodell enthaltenen Informationen angepasst.

Brusilovsky (1996) nennt vier Kriterien, mit deren Hilfe eine Einteilung adaptiver Hypermedia-Systeme vorgenommen werden kann: den *Anwendungsbereich des Systems*, die *Anpassungsgrundlage des Systems*, die *anzupassenden Komponenten* und die *Identifikation der Ziele*.

Hinsichtlich des Anwendungsbereiches des Systems unterscheidet Brusilovsky (1996) zwischen *Lehrsystemen*, *Online-Informationssystemen*, *Online-Help-Systemen*, *Information-Retrieval-Systemen*, *Institutionsspezifischen Systemen* und *Personalized-View-Systemen*. Diese Aufzählung verdeutlicht, dass adaptive Hypermedia-Systeme nicht nur als eine Teilmenge der Lernsoftware angesehen werden können, sondern eine eigene Klasse von Bildungs-Software bilden, deren Schnittmenge mit der Lernsoftware nicht leer ist. Wird hinsichtlich der Anpassungsgrundlage des Systems kategorisiert, so steht die Identifikation der Benutzer-Merkmale, die im Benutzermodell bzw. im Benutzerprofil als Grundlage für die Adaptivität gespeichert werden, im Zentrum des Interesses. Bei einer Gliederung hinsichtlich der anzupassenden Komponenten geht es um die Identifikation der Funktionen des Systems, die an den Benutzer angepasst werden können, wie beispielsweise eine Anpassung des Inhalts an das Vorwissen und die Kenntnisse des Benutzers oder eine Anpassung der Steuerung der Navigation. Bei einer Einteilung bezüglich der Ziele der Adaptivität wird unterschieden, was mithilfe der Adaptivität erreicht werden soll und welche Probleme damit gelöst werden können.

Nach Steinmetz (2000) basieren adaptive Hypermedia-Systeme zum Teil auf intelligenten tutoriellen Systemen und können auch eine tutorielle Komponente beinhalten. Dies ist aber nicht zwingend erforderlich. Beim direkten Vergleich von intelligenten tutoriellen Systemen mit adaptiven Hypermedia-Systemen ist „Lernen“ immer ein erklärtes Ziel eines intelligenten tutoriellen Systems, während adaptive

Hypermedia-Systeme die Möglichkeit bieten, im Wissensraum auch nur zu „stöbern“ oder zu „browsen“ (Oberle und Wessner, 1998). Der Wissensraum an sich kann bei Hypermedia-Systemen auch deutlich größer sein als bei herkömmlichen tutoriellen Systemen.

5.4.6 Interaktive Lernumgebungen

Weidenmann (2001) beschreibt *interaktive Lernumgebungen* als einen „Typus von Lernsoftware“, der „Merkmale von Tutorials und Simulationen, aber auch von Hypertext und Hypermedia vereinigt“. Weidenmann (2001) präsentiert ein Beispiel aus der betrieblichen Aus- und Weiterbildung: ein Schulungsprogramm für künftige Fondsmanager einer Bank. Die Realität eines Beratungsgespräches in der Bank wird soweit möglich fotorealistisch und mit der entsprechenden Geräuschkulisse virtuell dargeboten, so dass sich der zukünftige Fondsmanager im Rahmen des Lernprogramms mit einer sehr konkreten und realitätsnahen Situation konfrontiert sieht.

Interaktive Lernumgebungen sind nach Weidenmann (2001) am ehesten dazu geeignet, „träges“ Wissen zu verhindern. Stattdessen unterstützen sie den Aufbau von Wissen, das sich in konkreten Situationen bewährt hat.

In einer *Problemlöseumgebung* wird der Lernende von der Software, vom Lehrenden oder auch mit einer selbst gewählten, meist komplexen Aufgabe konfrontiert, die eigenständig zu lösen ist. Die Lernumgebung lässt dem Lernenden dabei eine große Freiheit in der Gestaltung seines Lernprozesses. Vor diesem Hintergrund ist der Übergang zum Bereich des Computers als Lernwerkzeug (beispielsweise im Sinne einer Informationsrecherche mithilfe des Internet) für diese Systeme fließend (Steinmetz, 2000).

Lernsoftware dieser Art basiert technisch meist auf Expertensystemen, Datenbanken, Hypertext- und Hypermediasystemen (Steinmetz, 2000).

5.4.7 Lernspiele und Edutainment

Die spielerische Wissensvermittlung mit dem Computer steht bei *Lernspielen* und *Edutainment* im Vordergrund. Wettkampfelemente oder Zeichentrickfiguren können beispielsweise eingesetzt werden, um Lerninhalte motivierend und unterhaltend darzustellen. Die Übergänge zu den anderen Arten von Lernsoftware sind je nach Gestaltung dieser Programme fließend.

Lernspiele sollen dem Anwender während des Spielens bestimmte Lehrinhalte vermitteln oder das Üben und Einüben bestimmter Fähigkeiten und Fertigkeiten ermöglichen (Strittmatter und Niegemann, 2000).

Heckhausen (1973) nennt folgende charakteristischen Merkmale von Spielen:

- ▷ Zweckfreiheit
 - ▷ Aktivierungszirkel (Aufsuchen eines Wechsels von Spannung und Lösung in vielen Wiederholungen)
 - ▷ handelnde Auseinandersetzung mit einem Stück real begegnender Welt
-

- ▷ undifferenzierte Zielstruktur und unmittelbare Zeitperspektive
- ▷ Quasi-Realität

Die Anregung von Aktivierungszirkeln geschieht dabei häufig durch Diskrepanzen. Heckhausen (1973) unterscheidet hier die vier Kategorien *Neuigkeit* bzw. *Wechsel*, *Überraschung*, *Verwickeltheit* und *Ungewissheit* bzw. *Konflikt*.

Der Begriff des *Spiels* ist dennoch ein unscharfer Begriff. Nach Strittmatter und Niegemann (2000) lässt sich daher nicht klar bestimmen, wann ein Lehrprogramm in die Kategorie des Lernspiels fällt - die Ausprägungen der genannten Merkmale eines „Spiels“ sind jeweils unterschiedlich.

Bei vielen anspruchsvolleren Lernspielen handelt es sich nach Strittmatter und Niegemann (2000) um Simulationen mit Spielecharakter. Als Beispiele nennen sie Unternehmensplanspiele in der betrieblichen und überbetrieblichen Weiterbildung, mit deren Hilfe Marktmechanismen und die mittel- und längerfristigen Effekte unternehmerischer Entscheidungen verdeutlicht werden sollen. Solche Planspiele sind hauptsächlich durch die oben aufgeführten Merkmale *Aktivierungszirkel*, *handelnde Auseinandersetzung mit einem Stück real begegnender Welt* und *Quasi-Realität* gekennzeichnet und verfolgen bewusst ein Lernziel. Ein solches Lernresultat kann nach Strittmatter und Niegemann (2000) in vielen Fällen von Lernspielen ein zwar erwünschter Effekt, dennoch aber nur Nebeneffekt sein.

Strittmatter und Niegemann (2000) äußern sich kritisch zu Simulationsspielen: Zum einen sei nicht geklärt, inwieweit ein Simulationsspiel einen tatsächlichen Wissenstransfer ermögliche. Zum anderen bestünde die Gefahr, dass letztlich falsches Wissen vermittelt werden kann, wenn der Simulation ein Modell zugrunde liegt, das nicht mit der Realität übereinstimmt. Darüber hinaus sei die Frage zu klären, ob sich eine höhere Motivation zugunsten eines Lernspiels auch in höherer und dauerhafterer Lerneffektivität niederschlägt.

5.4.8 Test-Software

Test-Software dient der elektronischen Leistungsüberprüfung und -bewertung. Aufgaben werden nicht mündlich oder schriftlich auf einem Blatt Papier gelöst, sondern direkt am Rechner. Diese Art von Lernsoftware eignet sich für Wissensbereiche, die mit geschlossenen Fragen, wie beispielsweise Multiple-Choice-Aufgaben oder Lückentexten, abgefragt werden können (Steinmetz, 2000).

Insofern weist Test-Software eine ähnliche Struktur wie die von Drill-and-Practice-Programmen auf und kann in Anlehnung an Kron und Sofos (2003) unter diesem Gesichtspunkt zu diesem Bereich von Lernsoftware dazugezählt werden.

Besseres Testen ermöglichen nach Steinmetz (2000) jedoch adaptive Testsysteme, die Art, Schwierigkeitsstufe und Anzahl der Testaufgaben dynamisch in Abhängigkeit des bisherigen Testverlaufs bestimmen können (vgl. Abschnitt „Adaptive Systeme“ in Kapitel 5.4.5).

Vor diesem Hintergrund ist Test-Software als eine eigenständige Form von Lernsoftware zu betrachten, die auf den unterschiedlichen Arten anderer Lernsoftware

aufbaut.

5.4.9 Andere Kategorisierungen von Lernsoftware

Strittmatter und Niegemann (2000) kritisieren die Heterogenität der klassenstiftenden Merkmale der dargestellten Kategorien von Lernsoftware. Demnach werden Drill-and-Practice-Programme von tutoriellen Systemen anhand unterschiedlicher Lehrfunktionen abgegrenzt. Konzeptuelle Merkmale bilden dagegen die Grundlage für die Kategorie der Simulationsprogramme. Simulationsprogramme und Lernspiele können unterschiedliche Lehrfunktionen zum Ziel haben; gleichzeitig können Lernspiele aber auch Simulationen sein, die zusätzlich die Merkmale eines Spiels aufweisen. Für die Klassifizierung intelligenter tutorieller Systeme sind wiederum Merkmale der Software-Architektur charakteristisch. Sowohl Drill-and-Practice- als auch tutorielle Programme und Simulationen können durch Ergänzung um zusätzliche (insbesondere diagnostische) Lehrfunktionen in diese Kategorie der intelligenten tutoriellen Systeme fallen.

Strittmatter und Niegemann (2000) schlagen deshalb eine andere Art der Klassifizierung von Lernsoftware vor, die folgende Facetten aufweisen sollte:

- ▷ **LEHRFUNKTIONEN:**
Unterscheidung nach Lehrfunktionen, die durch das Programm erfüllt werden, zumindest mit den Kategorien *Informationsvermittlung* und *Übung / Behaltenssicherung*
- ▷ **INTERAKTIVITÄT:**
Klassifizierung der Interaktivität, die das Instruktionssystem bietet, beispielsweise mit den Kategorien *niedrig, mittel, hoch*
- ▷ **ADAPTIVITÄT:**
Unterteilung in die Kategorien *Adaptationsrate, Adaptationsmaßnahme* und *Adaptationszweck*
- ▷ **SELBSTKONTROLLE:**
Gliederung des Ausmaßes der möglichen Selbstkontrolle des Lernenden
- ▷ **MODALITÄTEN UND CODES:**
Aufgliederung in vom System angesprochene Modalitäten und verwendete Codes mit den Kategorien Sehen, Hören, Fühlen, Tun bzw. *Text, Grafik/ Bild, Bewegtbild (Grafikanimation), Sprache, Musik* und *Film*

Schulmeister (2006) verzichtet in seinem Buch *eLearning: Einsichten und Aussichten* sogar ganz auf eine Kategorisierung von Lernsoftware in der oben vorgestellten Art und Weise. Der Begriff der *Lernsoftware* ist selbst sogar kein Eintrag im Stichwortverzeichnis seines Buches. Stattdessen klassifiziert Schulmeister (2006) nach einem ganz anderen Gesichtspunkt: Er konzentriert sich in seinem Kapitel *Didaktische Szenarien im eLearning* auf die vielfältigen Formen von E-Learning in der

Präsenzseminar	Präsenz begleitet durch Netz
Das Seminar findet ausschließlich als Präsenzseminar statt. Alle benötigten Lernmaterialien befinden sich in Büchern, Ordnern, Bibliotheken, Karteien, etc. Im Seminar werden keine Medien genutzt. Man könnte sagen, im Grunde findet kein eLearning statt, es sei denn, man wolle die Tatsache, dass die Studierenden gelegentlich im Internet recherchieren und Quellen aus dem Internet nutzen, als partielle Form des eLearning bezeichnen.	Das Seminar findet ebenfalls ausschließlich als Präsenzseminar statt. Ab und zu werden im Seminar elektronische Materialien aus dem Internet genutzt. Die Studierenden greifen über eine Web-Site oder eine Austausch-Plattform wie BSCW auf Lernmaterial und Aufgaben zu. Gelegentlich werden die im Internet gesammelten Beispiele in den Unterricht im Präsenzseminar einbezogen. Präsenz- und eLearning-Komponente bleiben getrennt.
Blended Learning	Virtuelles Seminar
Das Seminar ist zwar Präsenzseminar, aber einige Sitzungen oder betreute Arbeitsgruppen finden online statt. Die Studierenden stellen in einer Plattform die Ergebnisse ihrer Recherchen, ihre Präsentationen und ihre Hausaufgaben ein. Diese Arbeit findet unabhängig von Terminen asynchron statt. Die Arbeitsgruppen treffen sich gelegentlich online zu bestimmten Terminen und diskutieren dann synchron ihre Aufgaben und Themen.	Das Seminar findet nach einer Einführung in die Software nur noch online statt. Die Studierenden stellen ihre Recherchen und Materialien in den virtuellen Klassenraum ein. Diese Arbeit findet asynchron statt. Die Arbeitsgruppen treffen sich regelmäßig online, ihre synchronen Sitzungen werden evtl. durch Tutoren moderiert. Plenumsitzungen finden synchron online statt und werden durch den Dozenten moderiert.

Abbildung 5.8: Vier Formen der Integration von E-Learning und Präsenzseminar (Schulmeister, 2006, S.192)

(Hochschul-)Lehre. Hierzu zeigt Schulmeister (2006) zunächst allgemein vier Formen der Integration von E-Learning und Präsenzseminar auf (siehe Abbildung 5.8), die einen unterschiedlichen Grad von Virtualität widerspiegeln.

Im Folgenden geht Schulmeister (2006, S.192–198) auf verschiedene konkrete Beispiele ein, anhand derer er die unterschiedlichen didaktischen Szenarien herausarbeitet. Er untergliedert seine Beispiele dabei in *Teleteaching und web-basierte Vorlesung*, *Ansätze für Blended Learning*, *Online-Kurse* und *Selbstlernprogramme*, wobei er bei den Selbstlernprogrammen solche Programme unterscheidet, die parallel zum Präsenzunterricht bearbeitet werden können und solchen, die an den Präsenzunterricht gebunden sind. Da *Teleteaching* Unterricht ist, der zeitgleich an andere Orte übertragen wird (siehe auch Kapitel 5.2.1) kann nach Schulmeister (2006, S.193) hier noch nicht von E-Learning gesprochen werden. Ein erster Ansatz zum E-Learning ist dann geschaffen, wenn die Vorlesung aufgezeichnet wird und anschließend im Internet zur Verfügung steht, da sie hier zeitversetzt angesehen werden an.

Weigand und Weth (2002) klassifizieren insbesondere kommerzielle mathematische Lehr- und Lernprogramme nach den Kategorien *Jahrgangssoftware*, *Themenorientierte Software*, *Medienorientierte Software* und *Mediensammlungen*, *Adventure-Software*, *Tutorielle Systeme* und *ITS* sowie *Werkzeug-Software*. Auf die Beschreibung der einzelnen Kategorien wird in Kapitel 5.7 näher eingegangen.

5.5 Einfluss von Lerntheorien auf Lernsoftware

Der Einfluss der verschiedenen Lerntheorien spiegelt sich auch in der Entwicklung der verschiedenen medialen Angebote wider. So basieren beispielsweise die „Drill-and-Practice“-Programme zu großen Teilen auf dem Behaviorismus, während im Konstruktivismus Simulationen eine wichtige Rolle spielen.

Wie schon in Kapitel 3.1.1 (S.153) zum Multimediabegriff in der Didaktik angemerkt, hatte die Informationstheoretisch-kybernetische Didaktik (vgl. Kapitel 4.2.3, S.259) seit Mitte der 60er-Jahre im deutschsprachigen Raum den stärksten Einfluss auf die Entwicklung medialer Lernangebote, insbesondere auf den Computergestützten Unterricht (CUU, siehe Kapitel 5.6.3, S.319) und auf das Computerbasierte Training (CBT) (Frank und Meder, 1971).

Gleichzeitig ist aber auch eine Wechselwirkung zwischen Lerntheorien und Medienentwicklung zu sehen: So können zum einen die unterschiedlichen Formen des E-Learning auf unterschiedlichen lerntheoretischen Ansätzen basieren; zum anderen werden aber die neuen Medien auch als ein besonders geeignetes Mittel zur Umsetzung lerntheoretischer Ansätze betrachtet.

5.5.1 Einfluss Behaviorismus

Basierend auf der Theorie des Behaviorismus (siehe Kapitel 3.2.3, S.168) entstanden Unterrichtsprogramme (vor allem für den programmierten Unterricht (siehe Kapitel 5.6.1, S.318)) und letztlich Lernprogramme, die folgende Prinzipien berücksichtigen: Die Lernziele sollen klar und objektiv formuliert werden, damit eine gezielte Erzeugung passender Rückmeldungen stattfinden kann. Der Lernende soll auf das Lerntempo Einfluss nehmen können. Die Aufgaben sollten so gestellt sein, dass der Lernende sie mit hoher Wahrscheinlichkeit lösen kann. Der Schwierigkeitsgrad soll sich im Laufe des Lernpfades erhöhen. Auf jede Eingabe bzw. Antwort des Lernenden soll sofort eine Rückmeldung erfolgen, wobei besonders gute Antworten zusätzlich belohnt werden sollen (Steinmetz, 2000, S.819).

Diese Prinzipien sind vor allem in den „Drill-And-Practice“-Übungsprogrammen (siehe Kapitel 5.4.3, S.295) umgesetzt: Jede Aufgabe hat genau eine richtige Lösung. Fehler werden nicht erkannt und behandelt, sondern nur als falsch rückgemeldet und „wegtrainiert“. Das „Reiz-Reaktions“-Schema wird bei diesem Vorgehen sehr deutlich. Somit sind es eher die einfach strukturierten Wissensbereiche und weniger die komplexen Sachverhalte, für die sich eine behavioristische Sichtweise eignet (Steinmetz, 2000, S.819).

5.5.2 Einfluss Kognitivismus

Auf den Kognitivismus (siehe Kapitel 3.2.4, S.170) gehen tutorielle Programme (siehe Kapitel 5.4.5, S.299) und Simulationen (siehe Kapitel 5.4.4, S.296) zurück. Die Programme sollen in der Art eines Tutors dem Lernenden Hilfestellung bei der Lösung vorgegebener Probleme und Aufgaben geben. Das Ziel ist der „Aufbau ei-

ner dem Gegenstandsbereich adäquaten mentalen Repräsentation beim Lernenden“ (Steinmetz, 2000, S.820).

Im Gegensatz zu den Drill-and-Practice-Übungsprogrammen verspricht solche Lernsoftware, die auf eine kognitivistische Sichtweise zurückgreift, viel flexibler zu sein: Der Computer übernimmt die Rolle des Tutors und kann so den Lernenden „beobachten“ und ihm dabei helfen, durch das „Lernen und Anwenden der richtigen Methoden und Verfahren eine oder mehrere richtige Lösungen für ein Problem zu finden“ (Steinmetz, 2000, S.820). Über eine Anfrage zu Beginn oder im Laufe des Programms können zudem bestimmte Stufen eingestellt werden, an die der Programmablauf angepasst wird. Mithilfe des Lernermodells wählt der Computer sowohl die Abfolge der einzelnen Lerneinheiten als auch die Art ihrer Präsentation aus. Somit wird „im Gegensatz zu den starren behavioristischen Programmabläufen ein flexibler, dynamischer Verlauf des Lernprozesses erreicht“ (Steinmetz, 2000, S.820). Auf dem Kognitivismus basieren vom Konzept her vorwiegend adaptive Lernsysteme (siehe Kapitel 4.3, S.273 und Kapitel 5.4.5, S.300) und intelligente tutorielle Systeme (siehe Kapitel 5.4.5, S.301).

Hinsichtlich der konkreten Umsetzung und der tatsächlichen Erreichbarkeit dieser Ziele lassen sich jedoch Bedenken äußern (siehe Kapitel 5.5.5, S.316).

5.5.3 Einfluss Konstruktivismus

Für die theoretischen Annahmen des Konstruktivismus (siehe Kapitel 3.2.5, S.175) sowie der darin enthaltenen theoretischen Annahmen zur Situietheit von Wissen und Lernen wurden in der Instruktionsforschung mehrere Ansätze zur Umsetzung entworfen. Dabei ist nach Mandl, Gruber und Renkl (2002) ein auffallendes und wesentliches Merkmal der meisten dieser instruktionalen Modelle, dass die Verwendung neuer Technologien - und hierbei insbesondere der Einsatz von multimedialen Lernumgebungen - als eine geeignete Möglichkeit zur Umsetzung situierten Lernens gesehen wird.

Alle Instruktionsansätze situierten Lernens schlagen Lernen durch aktives Lösen von komplexen Problemen vor. Dieses Vorgehen soll die Anwendungsqualität des erworbenen bzw. konstruierten Wissens erhöhen.

Nach Issing (2002) können Lehrende oder Lehr- bzw. Lernmedien Lernwelten bereitstellen, die ein Angebot an situationalen Anlässen, Anregungen und Hilfestellungen geben, die beim Lernenden ein im Sinne der konstruktivistischen Auffassung sinnvolles Lernen ermöglichen. Jonassen (1992) bezeichnet Medien in diesem Zusammenhang als „kognitive Werkzeuge“. Schulmeister (2002) sieht gerade hypermediale Lernumwelten als besonders geeignet an, aktives sinnvolles Lernen zu realisieren.

Erziehungswissenschaftler sprechen sich für die Realisierung offener, ressourcenbasierter Lernumgebungen aus (beispielsweise Hannafin et al., 1999). Nach Land (2000) nutzen offene Lernumgebungen die Vorzüge von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität sowie des Internets beispielsweise für die Visualisierung von Informationen, für die Steuerung der Aufmerksamkeit, für die situationale Einbettung, für soziale Interaktionen und die Bereitstellung von Lernhilfen. Jonassen (1999) spricht

sich für die Entwicklung von Lernumgebungen aus, die problembasiertes und projektorientiertes Lernen herausfordern.

Zu der Lernsoftware, die auf dem Konstruktivismus beruht, gehören Simulationen und Mikrowelten (siehe Kapitel 5.4.4, S.296) und vor allem Hypermedia-Systeme (siehe Kapitel 1.4, S.40 und Kapitel 5.4.2, S.294).

Kognitive Medien

Um eine vom Konstruktivismus abgeleitete Mediennutzung zu beschreiben, führt Jonassen (1992) den Begriff der *Cognitive Tools* in die mediendidaktische Diskussion ein. Solche *kognitiven Werkzeuge* sind insbesondere kognitive Medien, die - im Gegensatz zu behavioristischen und auf dem Objektivismus basierenden Konzeptionen - vom Lernenden selbst kontrolliert und gesteuert werden.

Mithilfe eines Würfelmodells im dreidimensionalen Raum lassen sich kognitive Medien gut veranschaulichen und einordnen. Die drei Raumrichtungen sind dabei die *Lerneraktivität*, die *Produktionsart* und die *Art der Kontrolle und der Steuerung*. Die jeweiligen Extremwerte innerhalb der einzelnen Dimensionen gehen bei der Lerneraktivität vom passiven zum aktiven Lernenden, bei der Produktionsart von der Präsentation durch das System bis hin zur Kreation durch den Lernenden und bei der Art der Kontrolle und Steuerung von der Kontrolle und Steuerung durch das System hin zur Kontrolle und Steuerung durch den Lernenden hin zur Kontrolle und Steuerung durch das System.

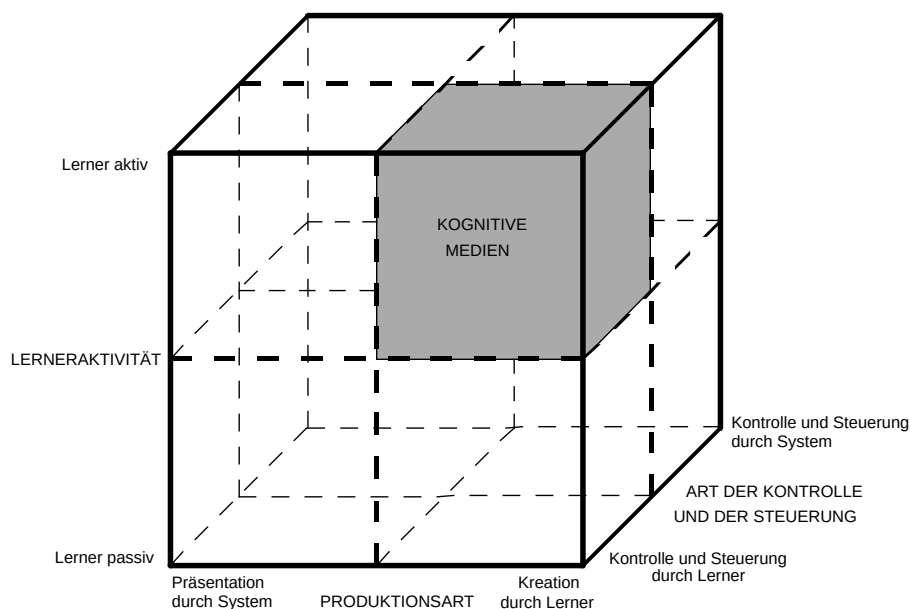


Abbildung 5.9: Kognitive Medien nach Jonassen (1992)

Die kognitiven Medien haben in diesem Modell ihre Position dort, wo die Aktivität des Lernenden ausgeprägt ist, Kreation durch den Lernenden stattfindet und

die Kontrolle und Steuerung beim Lernenden liegt. Kognitive Medien stehen der programmierten Instruktion in diesem Modell diametral gegenüber: Bei der programmierten Instruktion steuert nicht der Lernende die Medien; dort wird er von ihnen gesteuert.

Kognitive Medien werden also als eine Konzeption der Medien und Mediennutzung verstanden, die dem Lernenden die Möglichkeit geben, die Lernsteuerung und Lernkontrolle selbst zu übernehmen und überdies einen gestalterischen Einfluss auf die Medien auszuüben. Die Aktivität des Lernenden ist somit sowohl eine Voraussetzung als auch eine Folge des Einsatzes dieser Medien. Insofern sind kognitive Medien multimedial, multicodal und multimodal.

Der Begriff der *Interaktivität* bekommt vor diesem Hintergrund bereits eine erweiterte Bedeutung. Nach Strzebkoski und Kleeberg (2002) führt die Anwendung und Nutzung kognitiver Tools zu starken Elaborationen und intensiven Denkopoperationen beim Lernenden. Werden zum Beispiel Informationen in semantisch-kausalen Netzwerken dargestellt, so erfordert dies vom Lernenden eine intensive Analyse der Zusammenhänge, um diese verstehen und visualisieren zu können.

Wird didaktische Information in Form von geordneten Zusammenstellungen, Lexika oder Nachschlagewerken angeboten, so erfüllen auch diese Anwendungen einen Toolcharakter. Durch die Wechselwirkung der gesamten Lernumgebung, d.h. der Lernanwendungen in Kombination mit den Aktivitäten und Aufgaben in einem Unterricht oder Seminar, ergibt sich dann aber dennoch eine didaktische Interaktion.

5.5.4 Tabellarischer Vergleich

In der Literatur finden sich viele tabellarische Vergleiche und Zuordnungen von Eigenschaften der einzelnen Lerntheorien und ihrer Verbindungen zu verschiedenen E-Learning-Programmen (siehe zum Beispiel Kleinschroth (1996, S.191, Abbildung 5.10), Baumgartner und Payr (1999, S.174), Strittmatter und Niegemann (2000, S.131), Steinmetz (2000, S.821, Abbildung 5.11), Kron und Sofos (2003, S.174, Abbildung 5.12)).

An drei Beispielen soll hier zum einen eine Zusammenfassung der oben beschriebenen unterschiedlichen Einflüsse dargestellt werden; zum anderen wird aufgezeigt, wie sich die Gestaltung solcher Tabellen im Laufe der Zeit gewandelt hat. Ausgewählt wurden hierzu die Tabellen von Kleinschroth (1996, S.191) (Abbildung 5.10), Steinmetz (2000, S.821) (Abbildung 5.11) und Kron und Sofos (2003, S.174) (Abbildung 5.12). Kleinschroth (1996, Abbildung 5.10) nimmt eine interessante Zuordnung von Learnware, Teachware und Tools sowie Multi- und Hypermedia vor (zur Beschreibung dieser Begriffe siehe Kapitel 5.4, S.293): Demnach ist Learnware dem Behaviorismus, Teachware dem Kognitivismus und Tools sowie Multi- und Hypermedia sind dem Konstruktivismus zugeordnet.

Kleinschroth (1996) versteht unter Learnware im Wesentlichen Programme zum Wiederholen, Üben und Spielen. Somit umfasst diese Kategorie auch das Edutainment. Heutiges anspruchsvolles Edutainment lässt sich nun beispielsweise nicht mehr

	Learnware	Teachware	Tools, Multi-/Hypermedia
Software-typ	Drill-, Übungsprogramm (auch Edutainment)	(intelligente) Tutorien; Expertensystem; Computer Based Training	Lernumgebung; Hypermedium; Simulation; Modellbildungssystem; Mikrowelten
Wie lernt man?	Behaviorismus Anpassung, Üben; Reiz-Reaktions-Lernen; Lernstoff wird gespeichert	Kognitivismus Einsichtiges Verarbeiten neuer Informationen	Konstruktivismus autonomes Lernen; Einbau neuer Information in vorhandene Wissensgebäude
Was lernt man?	Fertigkeiten, die in Fleisch und Blut übergehen sollen; Stoff, den man verstanden hat	Strategien, Methoden zum Lösen von Problemen; Einführung in unbekannte Wissensgebiete	Entdecken neuer Ideen, Probleme und Fragestellungen; Bewältigung von Situationen; vernetztes Denken
Umgang mit dem Lerner?	Stoff wird präsentiert, gelehrt und getestet; Wiedervorlage bei Fehlern	Problemlösungsverhalten wird beobachtet, gestaffelte Hilfen werden gegeben und Antworten analysiert	Lerner werden beraten, begleitet und unterstützt
Lernweg	starr vorgegeben; Einstiegsniveau meist wählbar	begrenzte Anpassung an Lerner; Analyse der Antworten; Korrektur	Lerner gehen eigene Wege
Rolle des Programms	autoritärer Trainer; Monopol des Wissens	flexibler adaptiver Tutor; Monopol der Methoden	Coach, Berater, Wegweiser und Werkzeug

Abbildung 5.10: Einfluss von Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus auf mediale Angebote nach Kleinschroth (1996, S.191)

nur auf die theoretischen Ansätze des Behaviorismus beschränken.

Die Teachware findet eine eindeutige Zuordnung zum Kognitivismus. Auch hier gibt es mittlerweile wie oben dargestellt konstruktivistische Ansätze. Zudem bleibt die Frage der Umsetzung eines „flexiblen adaptiven Tutors“ mit einem „Monopol der Methoden“ sowohl im Rahmen intelligenter tutorieller Programme als auch hinsichtlich der Adaptationsfrage offen (siehe hierzu die kritischen Anmerkungen im Anschluss an dieses Kapitel).

Einsichtig erscheint, dass Tools, Multi- und Hypermedia insofern dem Konstruktivismus zugeordnet werden, als sie für einen Lernenden in seinem eigenen Bestreben, etwas zu lernen, frei wählbare Hilfsmittel sind. Andererseits lässt sich dann darüber diskutieren, wie sie den Lernenden gleichzeitig „beraten, begleiten und unterstützen“ sollen.

Auf einer anderen Ebene verwendet Kleinschroth (1996) den Begriff der Lernumge-

bung ausschließlich im Kontext des Konstruktivismus. Auch hier lassen sich, wie in Kapitel 4 zum Thema Lernumgebungen dargestellt, andere Einordnungen vornehmen.

	Behaviorismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Denken bzw. menschliches Gehirn ist ein(e) ...	Black Box	informations-verarbeitender Prozeß	geschlossenes Informationssystem
Wissen wird ...	angeeignet und gespeichert	verarbeitet und gespeichert	konstruiert und gespeichert
Wissen ist ...	eine korrekte Ein-/Ausgabe-Relation	ein passender interner Verarbeitungsprozeß	mit einer Situation umgehen zu können
Lernen ist ...	Bildung von Reiz-Reaktionsketten	Aufbau kognitiver Strukturen	Erwerb von Erfahrungen
Lernziel ist ...	eine (einzige) richtige Antwort zu finden	sich richtige Methoden zur Findung einer Lösung anzueignen	komplexe Situationen zu bewältigen
Der Computer ist ein ...	autoritärer Lehrer	Tutor, der beobachtet und hilft	Berater, der kooperiert
Programmablauf wird ...	starr vorgegeben	dynamisch, abhängig vom Lernmodell, erstellt	selbst bestimmt, autonom
Problemstellung und Lösung(en) sind ...	vorgegeben, nur eine richtige Antwort	vorgegeben, mehrere Lösungen möglich	zuerst wird Problem konstruiert, dann Lösung
Lernprogrammtyp	Computer Aided Instruction (CAI), „drill and practice“-Programme	Computer Based Training (CBT), (Intelligente) Tutorensysteme	Simulationen, Mikrowelten

Abbildung 5.11: Einfluss von Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus auf mediale Angebote nach Steinmetz (2000, S.821)

Steinmetz (2000, Abbildung 5.11) schränkt seine konkrete Zuordnung verschiedener Softwaretypen zu bestimmten Lerntheorien auf eine kleine Auswahl ein. Diese deckt sich aber mit der Zuteilung von Kleinschroth (1996). Bei Steinmetz (2000) entfällt die Klassifikation von Tools, Learnware und Teachware schon von vornherein bei seiner Gliederung von Lernsoftware. Der Begriff der Lernumgebung ist dafür breiter gefasst und umfasst Animationen und Simulationen, Problemlöse-Umgebungen sowie Lernspiele und Edutainment (siehe Kapitel 5, S.293). Als Oberbegriff definiert findet sich dieser nicht in der Tabelle wieder.

Auch bei Steinmetz (2000) lässt sich wieder vor allem hinsichtlich der Tabellenzeilen zur Funktion des Computers, zum Programmablauf und zur Problemstellung über eine konkrete und tatsächlich gegebene Umsetzung in den genannten Programmtypen diskutieren (siehe hierzu die kritischen Anmerkungen im Anschluss an dieses Kapitel).

Softwaretypus	Funktionen	Mediendidaktische Konzepte	Lerntheoretischer Hintergrund
Präsentations- und Visualisierungssoftware	Erinnern und Rezipieren von Faktenwissen	Lehrerzentrierung, Modulatorientierung	Behaviorismus
Drill- und Testsoftware	Üben und Festigen von Faktenwissen	Modulatorientierung, Aufgabenorientierung	Behaviorismus
Tutorielle Systeme	Auswählen, Entscheiden	Aufgabenorientierung, Systemorientierung	Kybernetik
Intelligente tutorielle Systeme	Modellieren von Lösungsstrategien, Lösen von Problemen	Aufgabenorientierung, Entdeckungsorientierung, Handlungsorientierung	Kybernetik Kognitivismus
Simulationen	Verstehen komplexer Relationen, Entdecken neuer Zusammenhänge	Entdeckungsorientierung, Handlungsorientierung	Kognitivismus, Konstruktivismus
Hypermedia	Handeln nach Plan	Entdeckungsorientierung, Handlungsorientierung	Konstruktivismus

Abbildung 5.12: Einfluss von Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus auf mediale Angebote nach Kron und Sofos (2003, S.174)

Kron und Sofos (2003, Abbildung 5.12) gliedern ihre Tabelle bereits ganz anders: Statt den einzelnen Lerntheorien Eigenschaften, Ziele, definierende Merkmale für Lernsoftware sowie konkrete Beispiele solcher Lernsoftware zuzuordnen, fokussieren sie sich auf die von ihnen gewählte Einteilung von Lernsoftware und ordnen der Software jeweils drei Merkmale zu. Der lerntheoretische Hintergrund ist dabei eines dieser drei Merkmale. Zudem berücksichtigen sie mediendidaktische Konzepte (siehe Kapitel 3.1.1, S.153).

5.5.5 Kritische Anmerkungen

Die oben aufgeführten Beschreibungen von Lernsoftware stellen insbesondere für die vom Kognitivismus und Konstruktivismus abgeleiteten Möglichkeiten für Lernsoftware durchaus hohe Anforderungen an ein konkretes Produkt. Insofern stellt sich die Frage, ob sich diese Anforderungen tatsächlich umsetzen lassen bzw. ob sie bereits umgesetzt worden sind.

Wurde vom Computer (beispielsweise im Rahmen eines programmierten Unterrichts (siehe Kapitel 5.6.1, S.318)) zunächst erwartet, dass er „irgendwann einmal“ den Lehrer ganz ersetzen könne, so hat sich diese Vorstellung bereits gewandelt. In Kapitel 3.1.1, S.153, wurden bereits Quellen zitiert, die in Neuen Medien, Computer und Lernsoftware keinen Lehrerersatz sehen und ein solches Ziel auch für nicht sinnvoll erachten. Steinmetz (2000) formuliert unter der Überschrift „Trends und aktuelle Entwicklungen“, dass sich auf „der Basis langjähriger Erfahrungen mit dem Einsatz des Computers zu Lernzwecken [...] allmählich eine Schwerpunktverlagerung

in Forschung und Entwicklung in mehrfacher Hinsicht [vollzieht]“:

- ▷ Lernsoftware werde zunehmend weniger als Lehrersersatz angesehen, stattdessen rücke der Lernende und sein Lernprozess in den Mittelpunkt. Lernsoftware werde somit zum Informationslieferanten und Lernwerkzeug.
- ▷ Lernsoftware, insbesondere in der Form von Lernumgebungen, beziehe alle am Lernprozess Beteiligten stärker mit ein; die Kooperation und Kommunikation mit anderen Lernenden, Tutoren, Lehrern und Experten rücke in den Mittelpunkt.
- ▷ Lernsoftware werde zunehmend im Kontext des flexiblen und lebenslangen Lernens nach Bedarf und „on-the-job“ betrachtet. Neben geschlossenen Kursen trete das Vermitteln kleinerer Wissensseinheiten in den Vordergrund.
- ▷ Es erfolge eine zunehmende Abstimmung zwischen Lernsoftware und anderer am Lernprozess beteiligter Elemente wie beispielsweise Lernmethode und mediale Aufbereitung.

Steinmetz (2000) betont an dieser Stelle die Kommunikation und die Einbindung lernerspezifischer Eigenschaften. Letztere spielen insbesondere bei den (intelligenten) tutoriellen sowie bei den adaptiven Systemen eine wichtige Rolle. Gerade hier äußert Schulmeister (2006) heftige Kritik. Diese wurde bereits in Kapitel 4.3.5 zu kritischen Anmerkungen zu intelligenten tutoriellen Systemen und Adaptation ausführlich wiedergegeben. Da sie auch an dieser Stelle hätte stehen können, sei hier nun noch einmal ausdrücklich darauf verwiesen.

Auf einer anderen Ebene formulieren auch Mandl, Gruber und Renkl (2002) Grenzen für den Einsatz und die Möglichkeiten von Lernsoftware. Sie äußern Bedenken, sich von der Befundlage offener, multimedialer Lernumgebungen zu optimistisch stimmen zu lassen. Sie formulieren explizit drei Grenzen für das situierte Lernen in entsprechenden Lernumgebungen:

Zum einen erfordert die Erstellung von Lernmedien, die den Anforderungen situierten Lernens entsprechen, einen außerordentlich hohen Aufwand. Es ist nicht so, dass jede multimediale Lernumgebung diese Anforderungen quasi von selbst erfüllt. Gerade bei der Gestaltung von Lernumgebungen, die situiertes Lernen betonen, gibt es eine solche Fülle von Freiheitsgraden, dass diese auch - kontraproduktiv - alle Möglichkeiten eröffnen, ineffektive oder gar sinnlose Produkte zu erstellen. Erhalten Lernende keine adäquate Unterstützung, ist beispielsweise gerade in Hypertext- bzw. Hypermediasystemen die Gefahr, im System verloren zu gehen, sehr groß (vgl. Kapitel 7.4 über Lernprobleme im Zusammenhang mit Navigation). Insofern ist gerade bei Lernumgebungen mit Betonung des situierten Lernens die didaktische Einbettung sehr wichtig.

Zum Zweiten profitieren nicht alle Lernenden in gleichem Maße von der Verwendung multimedialer Lernumgebungen. Untersuchungen belegen, dass lediglich Lernende mit besseren generellen Lernvoraussetzungen einen angemessenen Nutzen aus einer Hypertext- bzw. Hypermedia-Lernumgebung ziehen können (Mandl et al. (1992), vgl. auch Kapitel 4.3 über Adaptierbarkeit und Adaptivität).

Im Vergleich des fallbasierten Lernens im Rahmen einer Hypertextumgebung mit einer eher traditionellen, dekontextualisierten Form der Wissensdarbietung konnten Jacobson und Spiro (1994) nachweisen, dass die Hypertextlernumgebung lediglich für Lernende mit einer eher konstruktivistischen Lernauffassung zu größerem Lernerfolg führte.

Zum dritten kann eine technologiebasierte Lernumgebung die Distanz zwischen Lernsituation und Anwendungssituation zwar minimieren und somit das Ausmaß an hergestellter Authentizität maximieren - ganz schließen kann sie diese Kluft aber nicht. Dennoch können Lernumgebungen die Forderung nach Authentizität eher erfüllen als herkömmlicher Unterricht. Multimediales Lernen bereitet auf späteres Lernen an realen Problemstellungen vor. Insofern sollte Lernen mithilfe multimedialer Angebote als Bindeglied zwischen typischem Schullernen und der Anwendungspraxis gesehen werden (Mandl et al., 2002).

5.6 Einsatz des Computers im Unterricht

Hinsichtlich des Einsatzes von Computern im Unterricht gibt es verschiedene Möglichkeiten. Das Spektrum reicht dabei vom *computerangereicherten*, über den *computerunterstützten* zum *computergestützten* bis hin zum *computergesteuerten* Unterricht. Allerdings ist an dieser Stelle anzumerken, dass gerade der Begriff des „computerunterstützten Unterrichts“ oft für jegliche Form des Computereinsatzes im Unterricht verwendet wird. Gleiches gilt für eine Vielzahl von Synonymen, wie beispielsweise den Begriff des „rechnerbasierten Unterrichts“ (Leutner, 2006b). Dennoch lassen sich verschiedene Formen des Einsatzes abgrenzen mit allerdings oft recht fließenden Übergängen. Als ein Vorläufer jeglichen Computereinsatzes im Unterricht kann der *Programmierte Unterricht* angesehen werden.

5.6.1 Programmierter Unterricht

Der *Programmierte Unterricht*, auch *Programmierte Instruktion* oder *Programmierte Unterweisung* genannt, geht auf Burrhus F. Skinner zurück (Skinner, 1958; Skinner und Correll, 1967; Skinner, 1971). Dabei handelt es sich um eine Übertragung behavioristischer Annahmen auf die Unterrichtspraxis. Der Programmierte Unterricht sollte die Strategie vervollkommen, jeden einzelnen Lernschritt nach dem Konzept des Operanten Konditionierens systematisch zu verstärken.

Skinner war der Überzeugung, dass die Einführung entsprechender Lehrprogramme und Lehrmaschinen den traditionellen Lehrerunterricht weitgehend ersetzen könnte. Dabei zeichnet sich der Programmierte Unterricht durch folgende Merkmale aus (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 2001, S.610f.):

- ▷ Ein komplexer Lerninhalt (Verhaltenssequenz) wird in kleine Einheiten aufgeteilt, die jeweils für sich dargeboten und durch positives Feedback verstärkt werden.
 - ▷ In der Trainingsphase werden jeweils für eine einzelne Einheit konkrete Lernaufgaben dargeboten.
-

- ▷ Der Lernende muss auf jede Aufgabe reagieren (zum Beispiel durch Beantworten einer Frage).
- ▷ Unmittelbar nach seiner Reaktion erhält der Lernende eine Rückmeldung. Richtige Antworten werden verstärkt; auf falsche Antworten erfolgt keine Reaktion (Extinktion).
- ▷ Die einzelnen Lernschritte sind systematisch aufgebaut, so dass die Lernenden schrittweise von ihrem Ausgangsniveau zum erwünschten Endergebnis geführt werden.

Der Ansatz der programmierten Instruktion strebte in den 60er- und 70er-Jahren insgesamt eine Objektivierung der Lehrmethoden durch den Medieneinsatz an. Ziele dieses Ansatzes waren sowohl ein wiederholbarer als auch ein lerngerechterer, da objektiverer Unterricht. Dabei waren Informationsvermittlungsprozesse wichtiger als Prozesse der Informationssuche (Klimsa, 2002). Gerade Letztere spielen aber in konstruktivistischen Ansätzen eine wichtige Rolle.

5.6.2 Computerangereicherter Unterricht

Wird der Computer im Unterricht nur sporadisch und zeitlich sehr begrenzt eingesetzt, so wird von *computerangereichertem Unterricht*, engl. *computer-enriched instruction* gesprochen. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn der Computer mithilfe von Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität medialer Angebote hin und wieder zur Veranschaulichung von Sachverhalten verwendet wird. Dem Computer kommt dabei nur eine untergeordnete Rolle zu.

5.6.3 Computerunterstützter Unterricht (CUU/CAI)

Beim *computerunterstützten Unterricht (CUU)*, engl. *computer-assisted instruction (CAI)*, nimmt der Computer eine begleitende Funktion zum laufenden Unterricht ein. Über Bildungs- oder Lernsoftware können Unterrichtsinhalte wiederholt, vertieft oder auch erweitert werden. Lernende können so selbstständig bereits Gelerntes wieder aktivieren oder auch zusätzliches, neues Wissen zum Unterrichtsthema erwerben. Vor diesem Hintergrund können Übungsprogramme und auch Lernspiele (Edutainment) dem computerunterstützten Unterricht zugeordnet werden (Kron und Sofos, 2003).

In den Einsatzbereich computerunterstützten Unterrichts fällt auch die Verwendung des Computers als Hilfsmittel, beispielsweise als Werkzeug bei der Textverarbeitung, zum Zeichnen mathematischer Funktionen mithilfe eines Computer-Algebra-Systems oder zur Darstellung komplexer mathematischer Zusammenhänge mithilfe dynamischer Geometrie-Software.

Der Computer unterstützt den laufenden Unterricht durch die Vermittlung bzw. Festigung von Faktenwissen und Fertigkeiten im Sinne des Einübens und Trainings (Cottmann, 1998). Dadurch können Schwierigkeiten und Schwächen einzelner Schüler individuell abgebaut und intensivere Lernprozesse unterstützt werden.

Der Computer ist somit in einer unterstützenden Funktion in den laufenden Unterricht integriert; die aktive Tätigkeit des Lehrens liegt aber geschlossen beim Lehrenden.

5.6.4 Computergestützter Unterricht (CGU/CBI)

Eine Erweiterung des computerunterstützten Unterrichts ist der *computergestützte Unterricht (CGU)*, engl. *computer-based instruction (CBI)*. Der Computer wird nicht mehr ausschließlich ergänzend, sondern auch gezielt zur Erarbeitung und Bearbeitung einzelner Unterrichtsabschnitte eingesetzt. Dadurch ist der Computer nicht mehr nur reines Hilfsmittel für Lehrer und Schüler - für die ausgewählten Unterrichtssequenzen findet ein Übergang vom lehrer- zum computer-orientierten Unterricht statt (Cottmann, 1998).

Im Rahmen eines computergestützten Unterrichts kann auch solche Lernsoftware zum Einsatz kommen, die nicht nur das nötige Material für das betreffende Themengebiet zur Verfügung stellt, sondern bereits einen Lernweg vorgibt: Sie kann zum Beispiel in die Thematik einführen, Informationen in kleinen Lerneinheiten präsentieren, Fragen an den Lernenden stellen, dessen Antworten prüfen und Hinweise zur Wiederholung anderer Lerneinheiten geben (Kron und Sofos, 2003). Die Lernsoftware übernimmt somit in beschränktem Umfang die Funktion eines Tutors, der Lehrende ist aber nach wie vor präsent.

In den Kontext computergestützten Unterrichts fällt auch die Erarbeitung einer Unterrichtssequenz in der Form, dass sich Lernende einzeln oder in kleinen Gruppen neue Inhalte oder neue Aspekte zu einem gegebenen Thema, beispielsweise mithilfe eines Lernprogramms oder dem Zugriff auf das Internet erarbeiten (Kron und Sofos, 2003). Der Lehrende übernimmt dabei eher eine beratende als eine steuernde Funktion.

Insofern können zu dieser Arbeitsform auch komplexe Übungsprogramme, tutorielle Software und Simulationen gerechnet werden.

Beim computergestützten Unterricht findet eine intensivere Nutzung und Integration des Computers in den Unterricht als beim computerunterstützten Unterricht statt. Die aktive Tätigkeit des Lehrens liegt aber insofern immer noch beim Lehrenden, als er Umfang und Ausmaß des Einsatzes des Computers gezielt bestimmt. Innerhalb der vom Lehrenden ausgewählten und meist auch aktiv vorbereiteten Lernsequenz übernimmt der Lehrende dann jedoch mehr die Rolle eines Moderators - der eigentliche Lernprozess wird über den Computer vermittelt.

5.6.5 Computergesteuerter Unterricht (CGU/CMI)

Beim Übergang vom computergestützten zum *computergesteuerten Unterricht (CGU)*, engl. *computer-managed instruction (CMI)* gibt der Lehrende die aktive Form des Lehrens vollständig auf und wird ausschließlich zum Moderator, d.h. er wirkt beratend, gibt Hilfestellungen und organisiert den Unterricht in seiner äußeren Form (Cottmann, 1998).

Die Lernenden arbeiten selbstständig mit verschiedenen Lernprogrammen wie beispielsweise Hypermediasystemen. Diese Arbeitsform ermöglicht den Lernenden die Auswahl eines individuellen Lernweges und Lerntempos sowie verschiedener Schwerpunkte als auch unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade.

Wenn dem Lehrenden bei dieser Art des Unterrichts auch eine eher passive Funktion hinsichtlich der Gestaltung des Lernprozesses zukommt, so ist gerade bei dieser Form des Unterrichts ein Höchstmaß an Organisation und Strukturierung des gesamten Unterrichtsablaufs oder Projektes nötig, um einen Lernerfolg bei den Lernenden zu gewährleisten. Meist werden zu diesem Zwecke Arbeitsmappen geführt oder spezielle Programmdokumentationen angelegt.

Beim computergesteuerten Unterricht wird der Computer nach Kron und Sofos (2003) dazu verwendet, Informationen zu einem speziellen Thema zur Verfügung zu stellen. Dies kann beispielsweise durch den Einsatz einer Software oder über den Zugriff auf ausgewählte Internetseiten geschehen. Lernende können sich dabei frei im Programm bewegen und eigene, individuelle Lernwege einschlagen. Diese Arbeitsform bietet sich nach Kron und Sofos (2003) beispielsweise im Rahmen angeleiteter Projekte oder für Recherchen zu einer speziellen Thematik an.

Der Übergang von computergestütztem zu computergesteuertem Unterricht ist jedoch nicht eindeutig, sondern fließend: Hier wurde in Anlehnung an Cottmann (1998) ein fast ausschließliches Arbeiten mit einem Lernprogramm, wobei eine Lehrperson nur als Moderator im Hintergrund präsent ist, dem computergesteuerten Unterricht zugeordnet. In anderen Kategorisierungen wird diese Form des Wissenserwerbs in einer verschärften Form, nämlich als rein autodidaktischer Wissenserwerb, zum Beispiel im Rahmen des Einsatzes von Lernprogrammen in der Aus- und Weiterbildung oder im universitären Bereich, noch dem computergestützten Unterricht zugerechnet. Von computergesteuertem Unterricht wird erst dann gesprochen, wenn das zugrunde liegende Lernprogramm bestimmte Formen der Adaptierbarkeit, Adaptivität und Interaktion erfüllt (vgl. Kapitel 4.3 zur Adaptierbarkeit und Adaptivität sowie Kapitel 6 zur Interaktivität).

5.6.6 Computerunterstütztes Lernen (CUL/CAL)

Kron und Sofos (2003) definieren den Begriff des *computerunterstützten Lernens*, engl. *computer-assisted learning (CAL)* wie folgt:

COMPUTERUNTERSTÜTZTES LERNEN (CUL): *Bezeichnung für den gezielten, zusätzlichen Einsatz von Computer, Lernsoftware und vorbereitete Internetangebote für individuelles Lernen im Unterricht. (Kron und Sofos, 2003, S.179)*

Nach Kron und Sofos (2003) werden unter anderem die Begriffe des „Computer-Based Training (CBT)“ oder des „computerunterstützten Unterrichts (CUU)“ oftmals als Synonyme verwendet. Genau genommen handelt es sich hierbei jedoch - wie oben dargestellt - um Begriffe mit einer wenn auch nicht eindeutigen, so aber

doch eigenen Bedeutung. Sämtliche Arten von Lernprogrammen können dem computerunterstützten Lernen zugerechnet werden.

Steinmetz (2000) fasst in Anlehnung an Oberle und Wessner (1998) wie folgt zusammen:

Computerunterstütztes Lernen umfaßt alle Einsatzformen der Lern-Software zur Steuerung oder Erleichterung des Lernens. (Steinmetz, 2000, S.816)

Computerunterstütztes kooperatives Lernen (CUKL/CSCL)

Individuelles computerunterstütztes Lernen unterliegt nach Steinmetz (2000) folgenden Grenzen und Schwächen: Lernsoftware bietet oft nur ein sehr begrenztes Maß an Interaktivität (vgl. hierzu Kapitel 6 zur Interaktivität). Meist beschränken sich die Auswahlmöglichkeiten des Lernweges durch den Lernenden auf nur wenige, vom Autor der Lernsoftware vorgedachte und angefertigte Pfade. Ebenso kann eine Lernsoftware inhaltliches Feedback oft nur für relativ einfach strukturierte Wissensbereiche geben.

Kommunikation und Kooperation mit anderen Lernenden im Team kann nach Steinmetz (2000) hier Abhilfe schaffen. Kooperative Lernmethoden ermöglichen das nötige Maß an Interaktivität, Individualisierung und Feedback. Zusätzlich fördern sie Teamfähigkeit und die Befähigung zu selbstorganisiertem Lernen. Dies ist insofern von Bedeutung, als Wissen in der heutigen dynamischen Arbeitswelt meist nicht mehr in Büchern verfügbar ist, sondern im Prozess der Arbeit entsteht und auf mehrere Personen innerhalb einer Organisation verteilt ist.

Die Möglichkeiten zur Kommunikationsunterstützung durch den Computer können auch hier die Isoliertheit eines einzelnen Lernenden überwinden und ihn mit anderen Lernenden, Tutoren und Lehrenden in Kontakt bringen.

Insofern ist das *Computerunterstützte kooperative Lernen (CUKL)*, engl. *Computer Supported Cooperative Learning (CSCL)*, als eine Erweiterung des computerunterstützten Lernens zu betrachten. Steinmetz (2000) betont die Möglichkeiten computerunterstützten kooperativen Lernens: Synchrones und asynchrones kooperatives Lernen, Verteilung von Lernenden vor Ort und weltweit, Möglichkeiten individueller Lernphasen und Gruppenlernphasen.

5.7 Mathematische Lernsoftware

Mathematische Lernsoftware gibt es für verschiedene Altersstufen und unterschiedliche Bereiche: Zum einen gibt es eine Vielzahl von Programmen für den Kindergarten und den Vorschulbereich, zum anderen eine große Auswahl an mathematischer Lernsoftware für die Grundschule und die Schule, die sich über die verschiedenen Jahrgangsstufen bis hin zum Abitur und Prüfungsvorbereitungen erstreckt. Insbesondere für den Schulbereich bieten einige Verlage Übungs- und Trainingssoftware als Ergänzung zu ihren Schulbüchern an. Mediale Angebote dieser Art werden in der Regel auf CD-ROM vertrieben.

Neben diesen kommerziellen Produkten betreuen einige Universitäten Projekte, in deren Rahmen Lernsoftware zu mathematischen Themenbereichen entwickelt wird. Diese Projekte gehören dann meist zu der Kategorie des Online-Lernens ohne tutorielle Betreuung. Darüber hinaus wird mathematische Lernsoftware an Hochschulen und im Bereich der Fernuniversitäten eingesetzt, indem Lernmaterial Studenten über das Internet zur Verfügung gestellt wird.

Die einzelnen Bereiche sollen im Folgenden kurz skizziert werden. Generell lässt sich dabei festhalten, dass alle in Kapitel 5.4 vorgestellten Arten von Lernsoftware auch im mathematischen Bereich Verwendung finden.

Kindergarten, Vorschul- und Grundschulbereich

Bei mathematischer Lernsoftware für den Kindergarten, Vorschul- und Grundschulbereich fällt auf, dass sie sich fast ausschließlich auf Übungsaufgaben zum Zählen und Rechnen beschränkt. Das Angebot hierzu ist allerdings sehr vielfältig: Es reicht von Zahlenmauern über Schätzaufgaben bis hin zu schriftlichen Multiplikationsaufgaben mit Zahlenlücken.

Alle diese Aufgaben konzentrieren sich jedoch hauptsächlich auf den Zahlenbegriff. Vereinzelt gibt es noch Aufgaben zum Thema Symmetrie, die sich dann aber meist auf einfache Achsenspiegelungen oder solche Aufgaben beschränken, die räumliches Sehen und Zählen zum Beispiel von Würfeln in dreidimensionalen Würfelobjekten trainieren.

Die Gestaltung ist meist sehr spielerisch und farbenfroh realisiert. Dabei findet die Raummetapher häufig Verwendung, so dass sich der Lernende beispielsweise in einem Wald oder in einem Labor wiederfindet, in welchem er durch Anklicken verschiedener Gegenstände zu den verschiedenen Aufgaben kommt. Charaktere wie zum Beispiel Gespenster oder ein Professor mit Katze leiten durch das Programm.

Auditive Elemente werden durchaus eingesetzt, sind aber oft auf kurze Aussagen der Charaktere der Lernumgebung beschränkt. Sie melden sich mit einer kurzen Hilfe zu Wort, wenn bei der Lösung einer Aufgabe ein Fehler gemacht worden ist oder geben positives Feedback, wenn Aufgaben richtig gelöst wurden oder ein Aufgabenblock komplett abgeschlossen wurde. Einzelne richtige oder falsche Eingaben werden dabei oft mit einem entsprechenden Signalton unterlegt.

Die Aufgabenstellung ist meist selbsterklärend und greift auf vorhandenes Wissen zurück. Neues Wissen wird in mathematischer Lernsoftware für diesen Bereich meist nicht angeboten.

Schulbereich

Mathematische Lernsoftware im Schulbereich unterscheidet sich von mathematischer Lernsoftware für den Kindergarten, Vorschul- und Grundschulbereich in der Regel dadurch, dass sie sachlicher gehalten ist, einzelne mathematische Themen deutlich abgrenzt und fast immer eine Art Nachschlagewerk zur Verfügung stellt.

Der *Spielcharakter* einer solchen Lernumgebung nimmt deutlich ab und bekommt

stattdessen einen ausgeprägteren *Übungscharakter*. Zwar gibt es auch für diesen Bereich Software, die Übungs- und Trainingsaufgaben in eine abenteuerliche Rahmenhandlung einbettet; die Übungen und Aufgaben selbst sind dann aber meist trotzdem fachmathematisch aufbereitet. Dabei sind die Übungsaufgaben in der Regel gezielt für den jeweiligen Schulstoff ausgesucht und bauen somit auf das vorhandene Wissen beim Lernenden auf. Es besteht aber fast immer die Möglichkeit, zu den einzelnen Themen Wissen nachzuschlagen. Das Üben und Trainieren mathematischer Fertigkeiten und Standardaufgaben steht somit im Vordergrund und weniger die Vermittlung von (neuem) Wissen.

Neben dieser Lernsoftware, die hauptsächlich das Üben und Trainieren von Aufgaben aus dem Schulalltag fokussiert, gibt es noch eine weitere Art mathematischer Programme für das Lehren und Lernen, die bereits in Kapitel 1.5.3 und 1.5.4 als mathematische Werkzeuge kurz vorgestellt wurden: Tabellenkalkulationen, Computer-Algebra-Systeme und dynamische Geometriesoftware.

Sie sind insofern gesondert zu betrachten, als dass sie zwar auch gezielte Anwendung in mathematischer Übungs- und Trainingssoftware finden, jedoch von ihrem Konzept her ganz anders aufgebaut sind: Im Sinne mathematischer Werkzeuge stehen sie Lehrenden und Lernenden zur Verfügung, ohne selbst explizit anzuleiten oder ein Thema aufzubereiten. In der Regel beinhalten sie auch keine Nachschlagewerke für mathematische Sachthemen und geben auch keine konkreten Aufgabenstellungen vor.

Aufgaben, die beispielsweise mithilfe einer gegebenen Geometriesoftware von Schülern gelöst werden sollen, müssen somit immer erst bewusst erstellt werden - sei dies gezielt durch einen Lehrer für ein ganz bestimmtes Thema einer Schulstunde oder im Rahmen einer groß angelegten Aufgabensammlung zu geometrischen Themen. Solche Aufgabensammlungen können dann natürlich wieder mit einem Nachschlagewerk für mathematische Themen ergänzt werden.

Weigand und Weth (2002) unterteilen kommerzielle mathematische Lehr- und Lernprogramme für den Schulbereich in sechs verschiedene Kategorien: *Jahrgangs-Software*, *Themenorientierte Software*, *Medienorientierte Software* und *Mediensammlungen*, *Adventure-Software*, *Tutorielle Systeme* und *ITS* sowie *Werkzeug-Software*. Diese einzelnen Kategorien werden im Folgenden vorgestellt. Anschließend wird darauf eingegangen, inwieweit diese Einteilung fünf Jahre später und damit derzeit noch zutreffend ist und wo sich gegebenenfalls Abweichungen ergeben haben.

▷ JAHRGANGS-SOFTWARE

Nach Weigand und Weth (2002) werben viele Anbieter mathematischer Lernsoftware damit, mit ihrem Lernprogramm den mathematischen Unterrichtsstoff einer bestimmten *Jahrgangsstufe* anzubieten oder sogar abzudecken. Oftmals gibt es derartige Lernprogramme dann in verschiedenen Ausführungen für die unterschiedlichen Jahrgangsstufen, oder sie werden zusammenfassend jeweils für die Bereiche Grundschule, Unterstufe, Mittelstufe oder Oberstufe angeboten.

Weigand und Weth (2002, S.231) warnen jedoch insofern vor Versprechungen dieser Art, als es „die“ Mathematik einer bestimmten Jahrgangsstufe gar nicht geben

kann: Zum einen hat jedes Bundesland seine eigenen Lehrpläne, wobei Lehrplaninhalte auch innerhalb eines Bundeslandes noch zusätzlich variieren können; zum anderen unterscheiden sich die Inhalte von Mathematikunterricht im Rahmen der verschiedenen Schultypen von Haupt-, Realschule und Gymnasium. Selbst wenn dasselbe Thema in allen Schulformen gelehrt wird, können Art und Intensität der Behandlung des jeweiligen Stoffes stark voneinander abweichen. Diese Problematik spiegelt sich bereits bei den Schulbüchern wider, die deshalb oftmals in verschiedenen Länderausgaben vertrieben werden.

Dennoch kann nach Weigand und Weth (2002, S.231) diese Art der Jahrgangs-Software zur „Orientierung über bestimmte Inhalte, die üblicherweise in einer Jahrgangsstufe auftreten“, sinnvoll genutzt werden und zu „(hoffentlich) zentralen Themen des Mathematikunterrichts Beispiele und ggf. Rückmeldung über das Beherrschen des Stoffs“ geben. Gleichzeitig äußern Weigand und Weth (2002, S.232) aber sehr kritisch, dass ein „Mehr an Inhalten auf Kosten der Qualität der Aufbereitung, der Fehlerbehandlung und der Rückmeldung des Systems an den Benutzer zu gehen [scheint]“.

▷ THEMENORIENTIERTE SOFTWARE

Im Gegensatz zu der oben beschriebenen Jahrgangs-Software konzentriert sich *themenorientierte Software* jeweils auf einen bestimmten mathematischen Themenbereich wie zum Beispiel *Bruchrechnen* oder *Geometrische Konstruktionen*. Dabei geht eine gute themenorientierte Software nach Weigand und Weth (2002, S.233) über eine reine Aufgabensammlung hinaus und bietet stattdessen eine „komplette Lernumgebung“ zum jeweiligen Thema an. Diese umfasst dann beispielsweise propädeutische Einführungen oder spezielle mathematische Werkzeuge, welche die Erarbeitung des Themas unterstützen können. Solche Werkzeuge können zum Beispiel ein Taschenrechner, eine Formelsammlung oder eine Kartei zum Nachschlagen zentraler Begriffe sein.

Weigand und Weth (2002) beschreiben erhebliche Unterschiede solcher Programme sowohl bezüglich gegebener Hilfestellungen als auch hinsichtlich der Präsentation von Lösungen: „Während das eine Programm Rückmeldungen über die Korrektheit einer Eingabe lediglich mit rotem oder grünem Untergrund signalisiert, werden in einem anderen Programm typische Fehler vom Rechner analysiert und dem Schüler angepasste Hilfetexte geliefert“ (Weigand und Weth, 2002, S.235). Eine ähnliche Bandbreite an Reaktionen gibt es auf den Wunsch eines Anwenders, die korrekte Lösung einer Aufgabe präsentiert zu bekommen: „Während das eine Produkt den letzten Lösungsschritt unkommentiert und erst nach dreimaliger Fehleingabe (bzw. Drücken der Return-Taste) ausgibt, wird bei anderen Produkten die komplette Lösung (also inklusive Lösungsweg) jederzeit auf Wunsch dargestellt“ (Weigand und Weth, 2002, S.235).

▷ MEDIENORIENTIERTE SOFTWARE UND MEDIENSAMMLUNGEN

Unter *medienorientierter Software und Mediensammlungen* fassen Weigand und Weth (2002) die Art von medialen Angeboten zusammen, die eher den Charakter

einer Formelsammlung, eines Nachschlagewerkes oder einer Arbeitsumgebung besitzen. Dabei unterscheiden Weigand und Weth (2002) zwei Formen: Zum einen lassen sich solche Angebote abgrenzen, die im Vergleich zu den beiden oben genannten Konzeptionen der Jahrgangs-Software und der themenorientierten Software die mathematischen Inhalte weniger systematisch, sondern eher „spielerisch und unstrukturierter“ anbieten. Ziel dieser Programme ist in erster Linie, den Schüler zu motivieren, sich mit den mathematischen Inhalten auseinanderzusetzen. Animationen und gesprochene Texte können dieses Vorhaben unterstützen. Generell werden nach Weigand und Weth (2002, S.236) im Rahmen solcher Programme die Möglichkeiten neuer Technologien gerne dahingehend ausgenutzt, den Anwender emotional zu „fesseln“, so dass dieser weniger durch eigenes Überlegen, Rechnen und Arbeiten lernt, sondern durch die Präsentation an sich und das Interesse an dieser.

Zum anderen gibt es reine Mediensammlungen oder so genannte *Mediotheken*, die Materialien in Form von Filmen, Fotos, Bildern, Bildsequenzen und gegebenenfalls auch Texten enthalten. Sie sind speziell für die Hand des Lehrers entwickelt und ohne dessen Erklärung für einen Schüler auch eher unbrauchbar (Weigand und Weth, 2002, S.236).

▷ ADVENTURE-SOFTWARE

Adventure-Software ist nach Weigand und Weth (2002) jene Art von Software, bei der ein sehr großer Aufwand in eine motivierende Arbeitsumgebung gesteckt wird. Die Einbettung mathematischer Themen und Aufgaben in beispielsweise eine Abenteuergeschichte soll den Schüler extrinsisch motivieren, die entsprechenden, meist strukturiert dargebotenen Kapitel durchzuarbeiten und abschließend Aufgaben zu lösen, um damit beispielsweise Codewörter zu bekommen, die für die Weiterführung der Rahmenhandlung notwendig sind. Solche „Belohnungen“ für erfolgreich abgeschlossene Kapitel können aber auch mathematische, kombinatorische, Knobel- oder Denksportaufgaben sein (Weigand und Weth, 2002, S.238).

▷ TUTORIELLE SYSTEME UND ITS

Weigand und Weth (2002) unterscheiden hier im Wesentlichen zwischen solchen Programmen, deren Überprüfung von Eingaben sich letztlich nur auf die Syntax der Eingaben bezieht und solchen, die dabei die Semantik berücksichtigen. So kann es bei Programmen, die nur die Syntax einer Eingabe mit einer vorgegebenen korrekten Eingabe vergleichen, dazu kommen, dass die Eingabe „0.5 a“ als falsch gewertet wird, weil die interne Datenbank des Systems die Antwort in der Bruchschreibweise „1/2 a“ erwartet hat. Nach Weigand und Weth (2002, S.239) gibt es für eng umgrenzte Themenbereiche wie beispielsweise *Rechnen mit Dezimalbrüchen* oder *Dreieckskonstruktionen* bereits *Intelligente Tutorielle Systeme* (zu Intelligenten Tutoriellen Systemen siehe Kapitel 5.4.5, S.301).

Weigand und Weth (2002) sprechen hier jedoch von Prototypen, deren Bedienung und Interpretation der Darstellungen ein hohes Maß an Benutzerkompetenz fordere. Sie erwägen, dass „voraussichtlich ITS zukünftig an Bedeutung gewinnen“

werden und sich „für aufgabenorientierte und gleichzeitig intelligent unterstützende Software [...] damit ein Zukunftsmarkt zu ergeben scheint“ (Weigand und Weth, 2002, S.240).

▷ WERKZEUG-SOFTWARE

Als eine weitere Kategorie mathematischer Lernsoftware kennzeichnen Weigand und Weth (2002) die *Werkzeug-Software*. Hierzu zählen Tabellenkalkulationen, Computer-Algebra-Systeme und dynamische Geometriesoftware.

Fünf Jahre später ergeben sich im Hinblick auf diese Einteilung einige interessante Aspekte: Weigand und Weth (2002) nennen für jede der von ihnen definierten Kategorien ein bis zwei Beispiele. Bei dem Versuch, diese im Verkaufsangebot von *Amazon.de* zu finden, ist festzustellen, dass die meisten der genannten Programme nur noch gebraucht und einige gar nicht mehr zu erwerben sind. Gleichzeitig stellt sich bei vielen der vorgestellten Beispiele die Frage, inwieweit eine Verwendung auf den heutigen leistungsstarken Rechnern überhaupt noch sinnvoll ist.

Abfragen mit den Stichwörtern *Mathe* bzw. *Mathematik* in der Rubrik *Software* von *Amazon.de* liefern jedoch rund 250 bzw. rund 580 Einträge. Dabei fällt allerdings auf, dass zum einen bei einer Sortierung nach Erscheinungstermin die Zahl der Softwareangebote, die nur noch gebraucht zu erwerben sind, ab dem jeweils ungefähr 20. Eintrag sehr stark ansteigt, zum anderen das Angebot an mathematischer Lernsoftware für die Grundschule sehr hoch ist.

Der überwiegende Anteil der angebotenen Softwareprodukte entspricht dabei eindeutig der von Weigand und Weth (2002) beschriebenen Jahrgangssoftware, wie beispielsweise *Lernvitamin M - Mathematik* jeweils für die 5. bis 8. Klasse, *MatheCoach* jeweils für die 5. bis 10. Klasse oder *Addy Mathe*, ein Programm, das sowohl für die Grundschulklassen 1 bis 4 als auch für die Klassen 5 bis 8 angeboten wird. Jahrgangs-Software ist damit immer noch aktuell, auch wenn es einzelnen Produkten nicht zu gelingen scheint, sich über einen längeren Zeitraum auf dem Markt halten zu können, sondern diese jeweils durch neue Reihen abgelöst werden. Für die von Weigand und Weth (2002) beschriebene themenorientierte Software und Adventure-Software gilt Ähnliches. Interessant ist in diesem Zusammenhang allerdings die bei *Amazon.de* zu findende *Produktbeschreibung des Herstellers* zur Software *Lernvitamin M - Mathematik 8.Klasse* mit dem Erscheinungsdatum 19. Juni 2007. Dort heißt es: „Ohne jede Abkenkung [sic!] durch spielerische Elemente oder Adventure-Episoden konzentrieren sich Kinder bei 'Lernvitamin M' auf das Wesentliche: lernen - üben - testen“.

Im Hinblick auf die Kategorie der medienorientierten Software und der Mediensammlungen scheint diese Art der Software durch den mittlerweile sehr einfachen und schnellen Zugriff auf das Internet sowie die Organisation öffentlicher Nachschlagewerke wie beispielsweise *Wikipedia* abgelöst worden zu sein.

Auch mathematische Werkzeug-Software scheint gewissen Wandlungen unterworfen zu sein, jedoch finden sich hier noch am ehesten Produkte, die stetig weiterentwickelt werden und sich über einen längeren Zeitraum auf dem Markt halten können.

Der von Weigand und Weth (2002) vorausgesehene Zukunftsmarkt für mathematische Intelligente Tutorielle Systeme scheint sich jedoch nicht ergeben zu haben. Das von Weigand und Weth (2002) für diese Kategorie genannte Programm *GeologWin* konnte sich beispielsweise nicht durchsetzen. Insofern scheinen die in Kapitel 4.3.5, S.278, und Kapitel 5.5.5, S.316, generellen kritischen Anmerkungen über Intelligente Tutorielle Systeme auch für derartige Systeme in der Mathematik zu gelten.

Hochschulbereich

Mathematische Lernsoftware im Hochschulbereich lässt sich grob in zwei Kategorien unterteilen: zum einen in von Universitäten betreute Projekte, die Lernumgebungen für mathematische Themen entwickeln, zum anderen in solche einfachen bis sehr komplexen medialen Angebote, die Studenten entweder zur Unterstützung von Präsenzlehre oder im Rahmen von Teleteaching zur Verfügung gestellt werden. Auf welche unterschiedliche Art und Weise mediale Angebote dabei eingebunden werden können, wurde in Kapitel 5.2 und Kapitel 5.4.9 bereits beschrieben.

5.8 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Kapitel 5 setzte sich vertiefend mit dem Begriff *E-Learning* auseinander. Dabei war zunächst festzustellen, dass dieser Begriff auf ein sehr breites Spektrum medialer Angebote angewendet wird: Während einige diesen Begriff auf die unterschiedlichen Formen von speziell mit dem Computer aufbereiteten medialen Angeboten beziehen, reservieren andere diesen Begriff für die unterschiedlich ausgeprägte Einbindung medialer Angebote in Schule und Hochschule. Insofern ist eine Begriffsabgrenzung oder vielmehr Begriffseingrenzung letztlich nicht sinnvoll durchzuführen, so dass im weiteren Verlauf des Kapitels ein Überblick über die mit diesem Begriff assoziierten Möglichkeiten und Umsetzungen gegeben wurde.

Kapitel 5.2 stellte hierzu verschiedene Formen von *Offline- und Online-Lernen* vor, Kapitel 5.3 beschrieb die unterschiedlichen *Rollen des Computers* im Lehr-/Lerngeschehen. Kapitel 5.4 gab einen Überblick über das Angebot an *Lernsoftware* und Kapitel 5.5 setzte die hier vorgestellten Möglichkeiten in Zusammenhang mit den in Kapitel 3.2 vorgestellten Lerntheorien. Kapitel 5.6 konzentrierte sich dann auf die verschiedenen Formen des *Einsatzes von Computern im Unterricht*. Ziel von Kapitel 5.7 war es, speziell einen Überblick über *mathematische Lernsoftware* zu geben.

Damit wurden in diesem Kapitel eine Vielzahl von Möglichkeiten aufgezeigt, die sich auch in insbesondere mit dem Computer medial aufbereiteten mathematischen Lernumgebungen umsetzen lassen.

Die beiden folgenden Kapitel werden nun auf zwei sehr spezielle Aspekte eingehen, die im Kontext mathematischer Lernsoftware Berücksichtigung finden sollten: *Interaktivität* (Kapitel 6) und *Navigation* (Kapitel 7).

Kapitel 6

Interaktivität und Cinderella

Nach Rose (1999) hat die „inflationäre Verwendung des Begriffs der Interaktivität“ auch Lernsoftware-Autoren, E-Learning- Produzenten und wissenschaftliche Evaluatoren erfasst. Insofern gilt es, differenziert für unterschiedliche Lernstile, Lernaufgaben, Lerndomänen und institutionelle Bildungskontexte zu prüfen, ob die neuen Formen der Interaktivität und der Präsentation medialer Angebote wirklich den Lernerfolg und die Lernzufriedenheit verbessern (Schulmeister, 2001). Dazu ist es notwendig, den Begriff der Interaktivität abzugrenzen.

Kapitel 6.1 nimmt diese Begriffsabgrenzung vor und stellt die Vielschichtigkeit des Begriffes dar. Anschließend geht Kapitel 6.2 auf in diesem Zusammenhang wesentliche didaktische Aspekte ein. Eine Abstufung nach Grad und Ausmaß von Interaktivität wird in Form von Taxonomien in Kapitel 6.3 wiedergegeben. Dynamische Geometriesoftware und eine damit verbundene Interaktion mit mathematischen Sachthemen stehen im Zentrum von Kapitel 6.4. Auch auf diesem speziellen Gebiet der kontextbezogenen Interaktivität lassen sich verschiedene Stufen voneinander abgrenzen.

Diese werden in Kapitel 6.5 in ihrer Bedeutung für mit dem Computer medial aufbereitete Lernumgebungen noch einmal betont. Kapitel 6.6 fasst die zentralen Inhalte abschließend kurz zusammen.

6.1 Begriffsabgrenzung Interaktivität

Die Vielschichtigkeit der Begriffe *Interaktivität* und *Interaktion* wird in folgendem Zitat von Haack (2002) besonders deutlich:

Mit dem Attribut „interaktiv“ wird inzwischen fast jedes neu auf den Markt gebrachte Softwareprodukt versehen, unabhängig davon, wie differenziert die Eingriffs- und Entscheidungsspielräume des Nutzers sind, welches Ausmaß und welche Qualität die Feedbackformen haben und wie kontextsensitiv die Hilfefunktionen sind, um nur einige Merkmale zu benennen. (Haack, 2002, S.127)

Die verschiedenen Facetten des Begriffes werden hier bereits ersichtlich, zumal sie nur einen Auszug aller Interpretations- und Definitionsmöglichkeiten darstellen. Kerkau (2002) definiert *Interaktion* wie folgt:

Unter Interaktion wird eine wechselseitige Aktion von Mensch und Computer, Computer und Mensch sowie Mensch und Mensch mittels Computer verstanden. (Kerkau, 2002, S.223)

Dabei findet im Rahmen der Multimediadidaktik überwiegend eine Bearbeitung von Aufgabenstellungen des Systems durch den Anwender statt, die an das System rückgemeldet wird. Das System analysiert daraufhin die gegebene Antwort und gibt ein Feedback an den Nutzer aus. Die einfachste Form der Interaktion ist nach Kerkau (2002) der Multiple-Choice-Test, bei dem Antworten über das Anklicken von Check-boxes eingegeben und mit der richtigen Antwort abgeglichen werden. Freie Antworteingaben sind nach Kerkau (2002) deutlich schwieriger zu handhaben.

Freibichler (2002) konzentriert sich bei seiner Definition von *Interaktion* auch auf die Bereitstellung von Aufgaben und Reaktion auf deren Lösungen, gleichzeitig nimmt er aber noch die Navigation mit hinzu (siehe hierzu auch Kapitel 7.1, S.382):

Unter Interaktionen fasst man Navigationsaktionen und die Beantwortung von Aufgaben durch den Benutzer zusammen, wobei die gegebene Antwort analysiert und die vorprogrammierte Reaktion des Systems ausgelöst wird. (Freibichler, 2002, S.206)

Schulmeister (2005) dagegen unterscheidet streng zwischen *Navigation* und *Interaktion*. Auch er hält fest, dass vielfach Autoren von Lernprogrammen ihre Anwendung als „interaktiv“ bezeichnen, obwohl ihr Programm gar keine interaktiven Objekte enthält. In diesem Zusammenhang stellt Schulmeister (2005) ein Beispiel einer Seite einer Lernanwendung vor, die nur Menüs und Schaltfelder für den Wechsel zu anderen Kapiteln oder Seiten des Lernprogramms sowie einige Hypertext-Auszeichnungen enthält, und äußert sich hierzu wie folgt:

Wird eine solche Anwendung als interaktiv bezeichnet, liegt eine Verwechslung von Navigation und Interaktion vor. Die Navigation dient lediglich zum Steuern des Ablaufs oder zum Wechseln des Displays. Interaktivität ist streng zu unterscheiden von Navigation. Unter Interaktivität verstehe ich in Übereinstimmung mit den Metadaten-Konzepten das Handeln mit den Lernobjekten oder Ressourcen des Programms [...]. Nicht gemeint ist hier Interaktion im Sinne von Kommunikation und Kooperation. Der Umgang mit Lernobjekten hat kognitive, semantische und symbolische Dimensionen, es geht um Denkprozesse, die der Lerner in Manipulation der Lernobjekte realisiert. (Schulmeister, 2005, S.209)

Dabei sind Metadaten solche Daten, die Informationen über andere Daten enthalten (wie beispielsweise die Angabe von Autor, Titel und Erscheinungsjahr eines Buches). Schulmeister (2005) bezieht sich hinsichtlich des von ihm zitierten Metadaten-Konzepts auf einen Entwurf der *Learning Objects Metadata (LOM)* von der *Institute*

of *Electrical and Electronics Engineers (IEEE) - Organisation*. In einem „unapproved standards draft“ vom 6. Februar 2000 wird darin *Interaktivität* definiert. Der „approved IEEE Standards Draft“ vom 15. Juli 2002 ist in Abbildung 6.1 und Abbildung 6.2 wiedergegeben und entspricht im Wesentlichen der Fassung vom 6. Februar 2000. Schulmeister (2005, S. 207) bemerkt jedoch kritisch, „dass die standardisierten Metadaten für die effektive Konstruktion von Multimedia-Systemen oder netzbasierten Lernumgebungen gar nicht ausreichen“, und dass aus der formalen Art der Definition „kaum praktischer Nutzen für die Konstruktion und die Didaktik dieser Lernsysteme erwächst“.

Während Schulmeister (2005) die Interaktion im Sinne von Kommunikation und Kooperation bewusst ausschließt, bezieht Haack (2002) diesen Aspekt mit ein:

Betrachtet man Situationen des kooperativen Lernens, so können Interaktionstechniken in Multimedia- und Hypermediaprogrammen die gemeinsame Lösung eines Problems mit anderen Lernenden erleichtern und die Synergieeffekte zwischen individuellen Beiträgen verstärken. Neben den zurzeit stark diskutierten Formen kooperativen Lernens [...] sind in Zukunft neuartige Interaktionsformen in virtuellen Lerngemeinschaften zu erwarten, die auf innovations- und kreativitätsunterstützenden Benutzerschnittstellen basieren [...]. (Haack, 2002, S. 129)

Die obigen Definitionen haben gezeigt, dass ähnlich dem Multimedia-Begriff auch der Begriff der *Interaktivität* auf ein breites Spektrum von Szenarien angewendet werden kann und wird. Dieses Spektrum soll im Folgenden noch einmal zusammenfassend dargestellt und um einige Aspekte ergänzt werden. Auf einige der einzelnen Gesichtspunkte wird dann in den jeweiligen Unterkapiteln eingegangen.

Zum einen wird *Interaktion* und *Interaktivität* im Sinne der *Mensch-Maschine-Kommunikation* betrachtet. Dabei lassen sich auf der rein technischen, medialen Ebene *interaktive Medien* definieren, die Interaktivität in diesem Sinne ermöglichen.

Mediale Angebote liegen in der Regel als Hypertext- bzw. Hypermediasysteme vor. Navigation in Hypertext- bzw. Hypermediabasen erlaubt dem Nutzer einen in jeweils unterschiedlichem Ausmaß aktiven und selbstgesteuerten Umgang mit dem medialen Angebot. Insofern kann die Navigation als ein Aspekt von Interaktivität betrachtet werden. Andererseits lässt sie sich wie oben dargestellt auch davon abgrenzen. Da sie vor dem Hintergrund einer Mensch-Maschine-Kommunikation aber letztlich ein Teil dieser Kommunikation ist, sollte sie als eine Form der Interaktivität berücksichtigt werden. Kapitel 7 geht vertiefend auf diesen Begriff ein.

Die in Kapitel 4.3 bereits vorgestellte *Adaptierbarkeit und Adaptivität* medialer Lern- und Informationssysteme setzt ebenfalls eine Interaktion zwischen System und Lernendem voraus. Vor allem die Adaptierbarkeit wird dabei zu großen Teilen mithilfe der Navigation umgesetzt. Insofern können auch Adaptierbarkeit und Adaptivität als ein Aspekt von Interaktivität verstanden werden.

Kommunikation und Kooperation können auch als ein Teil von Interaktion und Interaktivität aufgefasst werden. Hierbei geht es dann um Mischformen von Mensch-

Nr.	Name	Explanation	Size	Order	Value space	Datatype	Example
5.1	Interactivity Type	Predominant mode of learning supported by this learning object. “Active“ learning (e.g., learning by doing) is supported by content that directly induces productive action by the learner. An active learning object prompts the learner for semantically meaningful input or for some other kind of productive action or decision, not necessarily performed within the learning object’s framework. Active documents include simulations, questionnaires, and exercises. “Expositive“ learning (e.g., passive learning) occurs when the learner’s job mainly consists of absorbing the content exposed to him (generally through text, images or sound). An expositive learning object displays information but does not prompt the learner for any semantically meaningful input. Expositive documents include essays, video clips, all kinds of graphical material, and hypertext documents. When a learning object blends the active and expositive interactivity types, then its interactivity type is “mixed“. NOTE:–Activating links to navigate in hypertext documents is not considered to be a productive action.	1	unspecified	active expositive mixed	Vocabulary (State)	active documents (with learner’s action): · simulation (manipulates, controls or enters data or parameters); · questionnaire (chooses or writes answers); · exercise (finds solution); · problem statement (writes solution). expositive documents (with learner’s action): · hypertext document (reads, navigates); · video (views, rewinds, starts, stops); · graphical material (views); · audio material (listens, rewinds, starts, stops). mixed document: · hypermedia document with embedded simulation applet.

Abbildung 6.1: 15 July 2002, Final Draft Standard, IEEE 1484.12.1-2002
(Quelle: http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM_1484.12.1_v1_Final_Draft.pdf)

Nr.	Name	Explanation	Size	Order	Value space	Datatype	Example
5.2	Learning Resource Type	Specific kind of learning object. The most dominant kind shall be first. NOTE:–The vocabulary terms are defined as in the OED:1989 and as used by educational communities of practice.	smallest permitted maximum: 10 items	ordered	exercise simulation questionnaire diagram figure graph index slide table narrative text exam experiment problem statement self assessment lecture	Vocabulary (State)	-
5.3	Interactivity Level	The degree of interactivity characterizing this learning object. Interactivity in this context refers to the degree to which the learner can influence the aspect or behavior of the learning object. NOTE 1:–Inherently, this scale is meaningful within the context of a community of practice.	1	unspecified	very low low medium high very high	Vocabulary (Enumerated)	NOTE 2:–Learning objects with 5.1:Educational.InteractivityType=“active“ may have a high interactivity level (e.g., a simulation environment endowed with many controls) or a low interactivity level (e.g., a written set of instructions that solicit an activity). Learning objects with 5.1:Educational.InteractivityType=“expositive“ may have a low interactivity level (e.g., a piece of linear, narrative text produced with a standard word processor) or a medium to high interactivity level (e.g., a sophisticated hyperdocument, with many internal links and views).

Abbildung 6.2: 15 July 2002, Final Draft Standard, IEEE 1484.12.1-2002
(Quelle: http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM_1484_12_1_v1_Final_Draft.pdf)

Maschine-Kommunikation und der Kommunikation von Mensch zu Mensch mithilfe der Maschine.

Hinsichtlich einer echt haptischen Komponente von Interaktivität finden sich in der Literatur in Bezug auf mathematische Lernumgebungen allerdings kaum Hinweise. Lernumgebungen in Form medialer Angebote scheinen generell und nicht nur in der Mathematik auf den Computer als Hauptkommunikations- und Vermittlungsmittel festgelegt zu sein. Ein Lernen „ohne den Computer mithilfe des Computers“ scheint nicht vorgesehen zu sein. Dennoch können die in Kapitel 1.6.2 und Kapitel 3.5.5 vorgeschlagenen Umsetzungen echt haptischer Komponenten in den Kontext von Interaktivität eingebettet werden.

Eine besondere Rolle spielt die Interaktivität im Rahmen *dynamischer Geometrie-software*. Selbst innerhalb dieser speziellen Betrachtung von Interaktivität lassen sich unterschiedliche Ebenen und Abstufungen unterscheiden. Diese werden in einem eigenen Unterkapitel (Kapitel 6.4) vertiefend dargestellt.

6.1.1 Mensch-Maschine-Kommunikation

Der Begriff *Interaktion* kommt aus dem Lateinischen: „inter“ bedeutet „zwischen“ und „agere“ steht für „handeln“. In den Sozialwissenschaften kennzeichnet der Begriff der Interaktion die gegenseitige Beeinflussung, die wechselseitige Abhängigkeit und das „Miteinander-in-Verbindung-Treten“ zwischen Individuen und sozialen Gebilden (Haack, 2002). Allerdings wurde dieser ursprüngliche Verwendungszusammenhang in verschiedene Richtungen erweitert. So auch in den 1980er-Jahren auf den Bereich der *Mensch-Computer Interaktion* oder engl. *Human Computer Interaction (HCI)*. Vor diesem Hintergrund bezeichnet der Begriff zum einen das reale Nutzungsgeschehen zwischen Mensch und Computer, zum anderen aber auch die entsprechende Teildisziplin der Informatik, die sich mit der Beschreibung, Erklärung und Optimierung dieser Vorgänge befasst. Die amerikanische Computergesellschaft *Association for Computing Machinery (ACM)* unterhält eine eigene *Special Interest Group for Computer Human Interaction (SIGCHI)* mit aktueller Webseite im Internet (Special Interest Group for Computer Human Interaction (SIGCHI), 2007). Diese beschreibt das Aufgabenfeld dieser Disziplin wie folgt:

Human-Computer Interaction is a discipline concerned with the design, evaluation and implementation of interactive computing systems for human use and with the study of major phenomena surrounding them. (Hewett et al., 1996)

Vom Begriff der *Interaktion* ist der Begriff der *Interaktivität* abgeleitet. In Bezug auf Computersysteme beschreibt dieser die Eigenschaften von Software, die dem Benutzer eine Reihe von Eingriffs- und Steuermöglichkeiten eröffnen. Wesentliche Merkmale von Interaktivität sind dabei die aktive Rolle des Benutzers sowie die Freiheitsgrade der Auswahl und auch die wechselnde Dialoginitiative von Mensch und Maschine.

Viele Definitionen von Interaktivität sind nach Haack (2002) aber häufig unscharf; ebenso gibt es keine von allen Fachdisziplinen und Anwendergruppen akzeptierte Klassifikation der Grundformen von Interaktivität. Dennoch lassen sich insbesondere für Lernprogramme bestimmte Stufen der Interaktivität unterscheiden (siehe hierzu Kapitel 6.3).

6.1.2 Interaktive Medien

Auf der rein technischen Ebene nach Interaktivität zu fragen, bedeutet zu klassifizieren, welche Medien hinsichtlich ihrer Verwendung Interaktivität zulassen. Kerres (2002) unterscheidet hierzu zwischen linearen und interaktiven Medien. Tonbänder oder Filme gehören für ihn zum Beispiel zu den linearen Medien, da sie einen wohldefinierten Anfang und ein ebenso wohldefiniertes Ende haben. Zudem erfordern sie einen sequenziellen Zugriff auf die Informationen, die sie darstellen. Anders ist es beispielsweise bei Disketten oder Festplatten. Dort besteht die Möglichkeit des wahlfreien Zugriffs und somit die Möglichkeit, eine starre Struktur der Wiedergabe aufzubrechen.

Doch auch lineare Medien ermöglichen in gewissem Rahmen Interaktivität. Bei einem Videorekorder kann man beispielsweise vor- und zurückspulen, die Kapitel eines Buches nach einer selbst gewählten Reihenfolge lesen, Texte markieren und kennzeichnen.

Dennoch gibt es einen grundlegenden Unterschied: Bei der Aufnahme von Information durch Medien entwickelt der Rezipient ein kognitives Schema, insbesondere über die logisch-temporale Struktur der dargebotenen Information. Die einzelnen Handlungsabschnitte eines Films werden beispielsweise in der präsentierten Reihenfolge erinnert. Generell deckt sich bei linearen Medien dieses kognitive Schema in der Regel mit der physikalischen Organisation dieser Information auf dem Speichermedium. Anders bei den interaktiven Medien: Hier wird der Zusammenhang zwischen physikalischer Speicherorganisation im Medium und der mentalen Repräsentation beim Nutzer aufgebrochen.

Somit ist zwischen der technisch motivierten Definition interaktiver Medien und ihrer interaktiven Nutzung zu unterscheiden. Interaktive Medien können sehr wohl für eine lineare Nutzung programmiert und insofern nicht interaktiv genutzt werden. Andererseits können lineare Medien wiederum auch für eine nicht-sequenzielle und somit interaktive Nutzung konzipiert werden.

Interaktivität ist auch im Zusammenhang „didaktischer Bilder“ zu betrachten. Im Kontext medialer Angebote können Bilder so gestaltet werden, dass bestimmte Teile eines Bildes angeklickt werden können und dadurch Zusatzinformationen in Form von Beschriftungen oder auch akustischen Kommentaren aufgerufen werden. Auf diese Art und Weise können auch weitere Abbildungen auf einer anderen Detailliertheitsstufe dargestellt oder Querverbindungen zu anderen Teilen des Bildes sichtbar gemacht werden. Links zu ganzen Videospots oder Tonfiles sind ebenso möglich.

Solche *interaktiven Bilder*, die auf diese Art und Weise vom Lernenden selbst gesteuert werden können, haben eine so genannte „Pull-Funktion“. Der Lerner kann

steuern, wann er zusätzlich zum Bild einen Text, ein Video, ein Geräusch oder eine gesprochene Information abrufen möchte. Rezeptionspsychologisch ist ein solcher Aufbau einer vom Lerner nicht beeinflussbaren Push-Präsentation vorzuziehen. Diese konfrontiert den Lernenden direkt mit dem vollen medialen Angebot, was zu einer Überlastung durch Überfülle führen kann (Weidenmann, 2002a).

Ausblick

Haack (2002) gibt einen Ausblick hinsichtlich der Weiterentwicklung interaktiver Möglichkeiten. So werden neue periphere Ein- und Ausgabewerkzeuge völlig neue Lerninteraktionsformen mit sich bringen, beispielsweise so genannte „non-command user interfaces“ ((Nielsen, 1994; Shneidermann, 2000)).

Mithilfe von Interaktionstechniken der virtuellen Realität werden Lernende direkt in computergenerierte Welten integrierbar sein. Neben visuellen und auditiven Sinneserfahrungen wird dabei auch zunehmend und gleichzeitig der Tastsinn eingebunden. Die Navigation ist auch in virtuellen Räumen eine der grundlegenden Interaktionsformen. Sie wird häufig umgesetzt als ein „erkundendes Sehen“ aus der Perspektive des Lernenden. Dies wird durch eine Rotation des Blickpunkts ermöglicht oder auch durch eine Verschiebung des Blickpunkts, um an einen anderen Standort zu gelangen.

Technische Konfigurationen, die in diesem Zusammenhang eingesetzt werden, sind so genannte Datenhandschuhe, engl. *data gloves*, und Monitorbrillen, engl. *head mounted displays*, die ein virtuelles Gehen, engl. *walk through*, ermöglichen.

Nach Haack (2002) ist es denkbar, dass die Projektion bestimmter naturwissenschaftlicher Phänomene aus dem Mikro- und Makrokosmos in virtuelle Welten ein besseres Verständnis dieser Phänomene ermöglicht. Auch dort, wo Ressourcen knapp sind, könnten bestimmte Techniken virtuell simuliert und eingeübt werden, beispielsweise in der medizinischen Ausbildung am „virtuellen Patienten“ mit einem „virtuellen Skalpell“ (Astheimer et al., 1994; Preece, 1994).

Weiser (1991) führt die Vision einer ständigen Verfügbarkeit von Computern („ubiquitous computing“) ein. Diese ständige Verfügbarkeit ist dabei gegeben in Form von „personal digital assistants“ (PDAs), digitalen Wandtafeln und intelligenten Räumen, die sowohl bei individuellen Lernern als auch bei Lerngruppen zur Etablierung neuartiger Interaktionsformen führen können.

6.1.3 Steuerungs- und Didaktische Interaktionen

Strzebkoski und Kleeberg (2002) unterscheiden zwischen Steuerungsinteraktionen und didaktischen Interaktionen, wobei diese Abgrenzung fließend vorzunehmen ist.

Steuerungsinteraktionen

Steuerungsinteraktionen beziehen sich auf die Navigations- und Systemfunktionen, wie beispielsweise Wechsel der Lernschritte, Auswahl bestimmter Inhalte, Steuerung

von Videosequenzen oder Speichern eines Zwischenzustandes.

Zu den einfachen und klassischen Steuerungsinteraktionen zählen nach Strzebkoski und Kleeberg (2002, S.233) folgende Interaktionen:

- ▷ Steuerung des Ablaufs des Programms,
- ▷ Auswahl der Inhalte und Präsentationsformen,
- ▷ Steuerung der Wiedergabe von zeitbasierten Inhalten wie Ton oder Video,
- ▷ Auswahl des eigenen Lernweges,
- ▷ Einzelworteingabe als beschränkte Form des Dialogs mit dem Computer.

Didaktische Interaktionen

Didaktische Interaktionen unterstützen direkt den Erkenntnisprozess, wie zum Beispiel interaktive Animationen, Modellmanipulationen, Simulationen, Texteingaben oder Informationstransformationen.

Strzebkoski und Kleeberg (2002, S.233) zählen zu den didaktischen Interaktionen die folgenden:

- ▷ Steuerung von interaktiven Animationen, Modellen und Simulationen, auch per Eingabe von Parametern,
- ▷ Möglichkeit der Eingabe komplexer Antworten auf komplexe Fragestellungen oder von Mehrworteingabe mit logischen Operationen, zum Beispiel bei der Suche nach Information,
- ▷ Modifikation oder Anpassung vorhandener Daten und Lernwege, beispielsweise durch Markieren relevanter Daten oder Seiten oder im Fall von Hypermediadiagrammen durch Erstellung individueller Links zwischen verschiedenen Informationen,
- ▷ Kreation neuer multimedialer Daten oder Objekte, beispielsweise die Erstellung neuer individueller Objekte aus vorgegebenen, bereits vorhandenen Teilen,
- ▷ Nutzung eines elektronischen Notizblocks,
- ▷ adaptives, tutorielles Feedback und adaptive Hilfe seitens des Lernprogramms, d.h. das Lernprogramm gibt dem Lernenden Rückmeldungen, die sich genau auf seine Eingaben oder Interaktionen beziehen und bietet ihm gegebenenfalls Hilfe an, die auf genau diesen Eingabedaten basiert.

Nach Strzebkoski und Kleeberg (2002) bietet die Mehrzahl von Lernprogrammen Interaktionsformen an, die sich hauptsächlich im Rahmen der klassischen und einfachen Steuerungsinteraktionen bewegen. Oft verbirgt sich unter dem Etikett der Interaktion nur eine versteckte Selektivität: Ein Lernender kann zwar Inhalte und Objekte (beispielsweise mit der Maus) bestimmen und auswählen, bleibt jedoch in der Phase der Informationserschließung, also des eigentlichen Erkenntnisprozesses, in der Rolle eines passiven Rezipienten.

Darum betonen Strzebkoski und Kleeberg (2002), dass erst dann von sinnvollen didaktischen Interaktionsformen gesprochen werden kann, wenn diese bei den Lernenden Folgendes bewirken:

- ▷ Auslösung aktiven Denkens und intensiver Elaborationsprozesse
- ▷ Zulassung und Förderung expressiver und kreativer Tätigkeiten
- ▷ Hinführung zu einsichtsvollem, bedeutungsvollem und entdeckendem Lernen

6.1.4 Beispiele von Adaptierbarkeit und Adaptivität

Adaptierbarkeit und Adaptivität wurden bereits in Kapitel 4.3 (S. 273) vorgestellt und definiert. Dabei ist die Adaptierbarkeit zur Makro-Adaptation zu zählen und ermöglicht ein Einwirken auf die speziellen Bedürfnisse und Voraussetzungen des Lernenden „von außen“. Adaptivität entspricht einer Mikro-Adaptation und vermag ein Lehrsystem „von innen“ heraus kontinuierlich an die sich verändernden Bedürfnisse des Lernenden anzupassen. Folgende Beispiele sollen einen Einblick in die Möglichkeiten von Adaptierbarkeit und Adaptivität geben:

Beispiele adaptierbarer Komponenten in Lehrsystemen

Wie bereits in Kapitel 2.3.4 (S. 101) vorgestellt, lassen sich bei Lernenden durchaus kognitive Stile im Sinne von Verbalisierern und Visualisierern unterscheiden. Vor diesem Hintergrund ist die Möglichkeit der Auswahl verbaler oder visueller Zusatzinformationen als eine sehr spezielle Art der Makro-Adaptation zu werten: Der Lernende wird hierbei nicht einer extern adaptierten Lernbedingung zugewiesen, sondern schafft sich diese durch eine eigene Auswahl selbst (Leutner, 2002).

Ein anderes Beispiel für Makro-Adaptation findet sich im Rahmen von Softwaretrainings, bei denen der effektive und gleichzeitig auch effiziente Umgang mit einer neuen, meist komplexen PC-Software vermittelt und gelernt werden soll. Viele Lernende haben dabei Schwierigkeiten: Gerade zu Beginn verwirrt die Fülle von Funktionen und gezielte Anwendungen sind schwer zu finden. Erst mit zunehmendem Lernfortschritt baut sich eine tragfähige kognitive Struktur der Software auf.

Zur Behebung dieser Problematik gibt es den so genannten Training-Wheel-Ansatz (Bannert, 2000): Zu Beginn des Softwaretrainings werden den Lernenden sehr einfache Übungsaufgaben gegeben und die Funktionalität der Software wird so weit reduziert, dass nur die zur Bearbeitung der Aufgabe nötigen Funktionen zur Verfügung stehen. Schritt für Schritt werden die Aufgaben dann im weiteren Verlauf des Trainings komplexer mit einer gleichzeitigen angepassten Erweiterung der Funktionalität der Software. Am Ende des Trainings steht den Lernenden dann die volle Funktionalität der Software zur Verfügung. Diese makroadaptive Vorgehensweise hat sich in umfangreichen Trainingsexperimenten mit hochkomplexer Computer-Aided-Design-Software (CAD) als lernförderlich erwiesen (Leutner, 2002).

Beispiele adaptiver Komponenten in Lehrsystemen

Leutner (1992, 2002) nennt einige Beispiele adaptiver Komponenten in Lehrsystemen. Er betont die empirische Nachweisbarkeit der genannten Beispiele:

▷ ADAPTATION DES INSTRUKTIONSUMFANGS UND DER LERNZEIT

Vor dem Hintergrund zielerreichenden Lehrens und Lernens sollte so lange unterrichtet und trainiert werden, bis das jeweilige Lernziel erreicht worden ist. Hierzu ist eine Diagnose des jeweils aktuellen Wissensstands in kurzen Zeitabständen nötig. Je nach Diagnose ist dann die Entscheidung zu treffen, weiterzulernen oder das nächste Ziel anzustreben. Es gibt verschiedene und zum Teil nicht einfache Ansätze, dieses zu realisieren (zum Beispiel Tennyson und Rothen (1977); Vos (1995)).

Nach Leutner (2002) konnte jedoch ein sehr einfaches Kriterium experimentell nachgewiesen werden: Wenn der Lernende bei der Bearbeitung von Aufgaben, die das jeweilige Lernziel repräsentieren, die letzten fünf Aufgaben in Folge richtig bearbeitet hat, kann davon ausgegangen werden, dass das Lernziel im Großen und Ganzen erreicht worden ist. Es lässt sich sogar ableiten, dass der Lernende dann mit 75-prozentiger Sicherheit in der Lage ist, mehr als 75 Prozent aller Aufgaben desselben Typs richtig bearbeiten zu können.

▷ ADAPTATION DER INSTRUKTIONSSEQUENZ

Diese Adaptationsmaßnahme ist ein wesentliches Merkmal der programmierten Instruktion der 1960er-Jahre (Leutner, 2006b). Das System entscheidet anhand der Fehler des Lernenden, zu welcher Aufgabe als nächstes weiterverzweigt wird. Beim Klassifikationslernen kann der Einsatz sehr effektiver Generalisierungs- und Diskriminationsstrategien empirisch nachgewiesen werden. Dabei wird zunächst der Prototyp eines Begriffes aufgebaut und dann erst anschließend die Klassifikation atypischer Beispiele trainiert (Park und Tennyson, 1980).

▷ ADAPTATION DER AUFGABENPRÄSENTATIONSZEIT
UND ADAPTIVE ANTWORTZEITBEGRENZUNG / SYSTEMWARTEZEIT

In der Regel sollen Lernende nicht nur Wissen erwerben, sondern dieses auch anwenden können. Um nun diesen Übergang vom deklarativen zum prozeduralen Wissen zu beschleunigen, ist es nach Anderson (1983) angebracht, den Lernenden gerade am Anfang möglichst wenig Fehler begehen zu lassen. Eine Möglichkeit, hierauf Einfluss zu nehmen, ist die folgende: Wird eine Aufgabe fehlerhaft beantwortet, so wird die für die nächste Aufgabe zur Verfügung gestellte Bearbeitungszeit - entgegen der Intuition - verkürzt und erst dann wieder verlängert, wenn eine Aufgabe richtig gelöst worden ist. Die Nützlichkeit dieses Vorgehens konnte anhand zahlreicher Experimente empirisch nachgewiesen werden (zum Beispiel Tennyson und Park (1984); Leutner und Schumacher (1990)).

Zeitinformationen können auch auf andere Weise genutzt werden: Kann das System eine Störung oder Unterbrechung bei der Ausführung von Funktionsaufrufen

feststellen, die eigentlich in regelmäßigen Abständen ausgeführt werden sollten, so kann es dem Software-Nutzer adaptiv Unterstützungsvorschläge unterbreiten, ohne dass der Nutzer selbst eine Anfrage an das Hilfesystem richtet (Leutner, 2002).

▷ ADAPTATION DER AUFGABENSCHWIERIGKEIT

Eine weitere Möglichkeit der Adaptation besteht in der Adaptation der Schwierigkeit von Übungsaufgaben. Litchfield et al. (1990) beschreiben hierzu eine Regel, deren Anwendung im Experiment zum beschleunigten Erreichen des Lehrziels bei gleichem Wissensstand im Vergleich zu einer Kontrollbedingung geführt hat. Ist eine Anordnung von Aufgaben in Schwierigkeitsstufen gegeben, so lautet die Regel wie folgt: Löst der Lernende die gegebene Aufgabe korrekt, so wird er unmittelbar zur nächsthöheren Aufgabenstufe geleitet. Wird die Aufgabe nicht korrekt gelöst, wird er zur nächstniedrigeren Stufe zurückverwiesen.

Liegen hinsichtlich ihrer Schwierigkeit rasch skalierte Aufgaben vor, so lässt sich eine ähnliche Regel anwenden. Weinberg et al. (1994) konnten den experimentellen Nachweis erbringen, dass einfache computeradaptive Testverfahren (CAT) maßgebliches Lernen induzieren können, sofern detaillierte informative Rückmeldungen zur Aufgabenlösung gegeben werden.

▷ ADAPTIVE HILFE BEIM ENTDECKENDEN LERNEN

Auch entdeckendes Lernen kann adaptiv unterstützt werden: Beim entdeckenden Lernen mit computersimulierten Planspielen wird spielübergreifendes Wissen vor allem dann gelernt, wenn die Hintergrundinformationen, die zur Bewältigung und Lösung der jeweiligen Problemsituation notwendig sind, zum einen explizit verfügbar sind und zum anderen auf sie adaptiv aufmerksam gemacht wird. Dies konnte in einer Reihe von Experimenten nachgewiesen werden (Leutner, 1992, 2002). Dabei sollte ein solcher Hinweis genau dann erfolgen, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind: Die Information ist in der gegebenen Situation nützlich und wurde bislang vom Lernenden noch nicht zur Kenntnis genommen.

▷ ADAPTIVE DEFINITION NEU ZU LERNENDER BEGRIFFE

Vor dem Hintergrund vernetzten Lernens und der möglichst engen Anbindung neuen Wissens an schon vorhandenes Wissen bietet sich folgende Vorgehensweise an: Neue Wissensinhalte können adaptiv mit genau denjenigen Begriffen eingeführt werden, die kurz zuvor ebenfalls neu erworben worden sind. Damit werden zum einen die schon vorhandenen und etwas älteren Wissensbestände ständig wiederholt und trainiert und zum anderen die neuen Inhalte eng mit den alten verbunden. Leutner (2002) konnte die Wirksamkeit dieser Vorgehensweise mit einem Experiment zum Lehren hierarchisch organisierter Begriffssysteme nachweisen. Adaptive Hypertextsysteme ermöglichen beispielsweise eine gute Umsetzung dieses Vorgehens.

▷ ADAPTIVER INFORMATIONSZUGRIFF IN HYPERTEXTSYSTEMEN

Umfangreiche Hypertextsysteme bestehen aus vielen Informationsknoten und Verbindungen zwischen diesen Knoten. Ein adaptiver Informationszugriff ist als ein „dynamic linking“ zu verstehen, ein online-dynamisches Verbinden der Informationseinheiten, und zwar in Abhängigkeit von online erfassbaren Eigenschaften des Informationssuchverhaltens eines Nutzers. Dabei ist die grundlegende Überlegung die, dem Nutzer automatisch diejenigen Informationen zur Verfügung zu stellen, die nach lexikografischer Analyse zu einem möglichst großen Anteil mit dem übereinstimmen, das den Nutzer gerade zu interessieren scheint (Brünken, 1998; Leutner, 2002).

6.1.5 Interaktive Aufgaben

Freibichler (2002) definiert Interaktivität unter anderem über interaktive Aufgaben (siehe Zitat S.330). Im Kontext von Autorensystemen hebt er dabei hervor, dass sich diese gerade im Punkt der Antwortanalyse deutlich unterscheiden:

Autorensysteme unterscheiden sich mittlerweile weniger in der Seitengestaltung und den elementaren Navigationsfunktionen, sondern vor allem in der Zahl und Komplexität der Aufgabentypen sowie der „Qualität“ der Antwortanalyse und der Gestaltung des Feedbacks. (Freibichler, 2002, S.206)

Freibichler (2002) unterscheidet drei Hauptgruppen von Aufgabentypen:

- ▷ geschlossene Aufgabentypen,
wie Auswahlaufgabe, Zuordnung, Reihenfolge
- ▷ offene Aufgabentypen,
wie Eingabe eines Wortes, einer Zahl, eines Satzes
- ▷ so genannte direkt manipulative Aufgabentypen,
meist Drag-and-Drop-Aktionen

Bei einem Vergleich verschiedener Autorensysteme für Offline-Lernangebote kommt Freibichler (2002) zu dem Ergebnis, dass manche Autorensysteme gar keine Aufgabentypen anbieten, andere etwa fünf bis zehn und wieder andere eine große Palette von fünfzig und mehr Aufgabentypen. Dennoch ist diese Anzahl allein kein signifikantes Merkmal für die Qualität der Interaktivität des fertigen Produkts.

Freibichler (2002) betont die Wichtigkeit der differenzierten Analyse von Antworten des Lernenden, wobei beispielsweise auch die Anzahl der Antwortversuche und frühere Lernerdaten mit einbezogen werden können. Werden diese Bedingungen in dem Sinn erfüllt, dass tatsächlich Bezug auf vorherige Antworten des Anwenders genommen und insofern ein individualisiertes Feedback gegeben wird, so wird diese Art des Feedbacks als adaptives Feedback bezeichnet (Kerkau, 2002, zu Adaptivität siehe Kapitel 4.3.2). Dieses adaptive Feedback beschränkt sich jedoch nach einer

Untersuchung von Freibichler (2002) auch bei aufwändig gestalteten Lernprogrammen häufig nur auf „richtig“, „falsch“ und „noch ein Versuch“, und die richtige Antwort bzw. die richtige Lösung wird einfach nach einer festen Zahl von Versuchen mitgeteilt.

Freibichler (2002) sieht zwei Gründe für dieses niedrige Niveau der Antwortanalyse: zum einen den großen Aufwand auf Seiten der Autoren, welche die zu erwartenden Antworten eines Lernenden vorausszusehen und entsprechend darauf zu reagieren haben; zum anderen einen großen Aufwand auf Seiten der Implementierung, da meist nur über die Skript- oder Programmiersprache, in der unter anderem auch die Variablen verwendet werden, differenziert auf eine Antwort eingegangen werden kann.

(Kerkau, 2002) spricht im Zusammenhang von Online-Lernangeboten davon, dass für die Realisierung eines Feedbacks, welches über Standardantworten, Auswahlen oder die automatische Erkennung von Keywords in einer Antwort hinausgeht, eine serverseitige Verarbeitung oder die Implementierung eines menschlichen Teletutors notwendig sei. Dieser werde dann in den meisten Fällen via E-Mail kontaktiert, wobei seine Antwort in der Regel asynchron erfolgt.

Interaktive Aufgaben spielen vor allem im Kontext mathematischer Lernumgebungen eine wichtige Rolle. Dieser Aspekt wird in Kapitel 6.4 über *Interaktivität in dynamischer Geometriesoftware* (insbesondere in Kapitel 6.4.3) sowie in den *Aspekten zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen* (Kapitel 6.5) aufgegriffen.

6.2 Didaktische Aspekte von Interaktivität

Über den Stellenwert von Interaktivität in medialen Angeboten äußern sich Strzebkoski und Kleeberg (2002) wie folgt:

Interaktivität ist eine der bedeutendsten, wenn nicht die fundamentalste Eigenschaft von didaktischen Multimediaanwendungen, da sie sowohl im kognitiven als auch im motivationalen Bereich eine tiefe Wirkung hinterlässt. (Strzebkoski und Kleeberg, 2002, S.231)

Wenn Lernende mithilfe von Interaktivität selbstständig ausprobieren und Zusammenhänge nachvollziehen können, dann wird entdeckendes Lernen gefördert, aktives Denken verstärkt und selbstständiges Entscheiden gefordert (Strzebkoski und Kleeberg, 2002).

Fehlende Möglichkeiten zur Interaktivität kann den Lernenden zum rein passiven Konsumenten werden lassen und so einen „natürlichen“ Lernprozess verhindern. Im Bereich des Fernsehens schneiden beispielsweise Lernangebote per interaktivem Video deutlich besser ab als Lernangebote ohne die Möglichkeit zur Interaktivität (Weidenmann, 2002b).

Sinnvolle Interaktionen sollen ein einsichtsvolles Lernen ermöglichen. Bei den Lernenden soll ein individueller, selbstständiger und auch sehr bewusster Lernprozess stattfinden. Dabei soll erkannt werden, *wie* und *warum* etwas genauso funktioniert

und nicht anders und welche Sachverhalte wie zusammenhängen. Durch diesen aktiven Prozess werden komplexe Zusammenhänge verständlicher, weil diese selbst entdeckt werden (Bruner, 1981).

Haack (2002) stellt die Frage nach Sinn und Zweck des Einsatzes von Interaktivität und nennt als zwei wesentliche Funktionen von Interaktivität individualisiertes und motiviertes Lernen. Strzebkoski und Kleeberg (2002) betonen neben Individualisierbarkeit und Motivation auch noch die Handlungsorientierung:

▷ INDIVIDUALISIERBARKEIT:

Wenn die Interaktivität eines Programms die Auswahl und Präsentation von Lerninhalten ermöglicht, die den jeweiligen Interessen und Lernbedürfnissen des Lernenden an einer bestimmten Stelle im Lernprozess entsprechen, findet individualisiertes Lernen statt. Essenziell sind dabei angemessene Formen des zyklischen Feedbacks, innerhalb derer in Frage, Antwort, Lösungsversuch und Korrektur in individuellem Lerntempo vorangeschritten werden kann (Haack, 2002, S.129).

Strzebkoski und Kleeberg (2002) sehen in der Interaktivität eine Schlüsselkomponente des computerunterstützten Lernens, die den so wichtigen Aspekt der Individualisierbarkeit bei Lernprozessen fördert. Dabei verstehen sie unter der Individualisierbarkeit von Lernprozessen die Freiheit der Entscheidung über die Auswahl gewünschter Information, deren Präsentationsform, die zeitliche Steuerung des Programmablaufs sowie die Form der Wissenserschließung, -anwendung und -überprüfung. Steuerungs- und didaktische Interaktionen (siehe Kapitel 6.1.3) erlauben diese Individualisierbarkeit eines Lernprozesses entsprechend der oben beschriebenen Art und Weise.

▷ HANDLUNGSORIENTIERUNG:

Die erweiterten didaktischen Interaktionsformen ermöglichen beispielsweise erst eine Umsetzung des Ansatzes handlungsorientierten Lernens. Handlungsorientierung bedarf konkreter Handlungssituationen, in denen „handelnd gelernt“ und „lernend gehandelt“ wird, und in denen „die Lernenden vor praktische Aufgaben gestellt werden, die sie praktisch lösen müssen“ (Ballin und Brater, 1996, S.33).

Vor allem in der Berufsausbildung ist das Erlernen der Fähigkeit, Handlungssituationen bzw. Arbeitsabläufe selbstständig zu bewältigen, also der Erwerb von Handlungskompetenzen, besonders wichtig. Beispiele solcher Arbeitsabläufe sind Herstellungsprozesse, Entdeckung und Beseitigung von Fehlern, Bearbeitung von Sachvorgängen oder die kompetente Beratung von Kunden (Strzebkoski und Kleeberg, 2002).

Soll handlungsorientiertes Lernen mithilfe von Lernsoftware erworben werden, so darf sich das Lernen mit der Software nicht nur auf das Lesen von Texten, das Betrachten von Grafiken und Animationen, Fotos oder Videos auf dem Bildschirm oder allein durch auditive Information geschehen. Vielmehr verlangt handlungsorientiertes Lernen mithilfe von Lernsoftware nach Interaktivität, die intensive Denk- und Handlungsprozesse auslöst (Strzebkoski und Kleeberg, 2002).

▷ MOTIVATION:

Wird Motivation als aktiver Einbezug des Lernenden in das Lerngeschehen verstanden, so kann dies durch interaktive Techniken gefördert werden. Argumentativ strukturierte Dialoge (Argument - Gegenargument) können darüber hinaus das Problembewusstsein schärfen und das Potenzial der Denk- und Lernstrategien des Lernenden erweitern (Moore, 2000).

Computerunterstütztes Lernen ist oftmals insofern ein individueller Vorgang, als dass sich ein Lernender allein mit einer Lernsoftware auseinandersetzt. In einer solchen Lernsituation ist der Lernende auf ein hohes Motivationspotenzial angewiesen, wenn die Lernmaßnahme nicht vorzeitig abgebrochen oder in Teilen übersprungen werden soll.

Wenn Lernende selbst ein ausgeprägtes Interesse an dem Thema mitbringen, sind sie intrinsisch motiviert. Ist dieses Interesse aber ursprünglich nicht vorhanden, so müssen sie extrinsisch motiviert werden, um eine durchgängige Bearbeitung der Lehrmaßnahme zu unterstützen oder überhaupt erst zu ermöglichen. Interaktivität spielt gerade für die extrinsische Motivation eine wichtige Rolle (Strzebkoski und Kleeberg, 2002).

Nach Neber (1978) und Friedrich und Mandl (1990) ist das Erleben von Selbstverantwortlichkeit für eigene Handlungen eine der wesentlichen Voraussetzungen für selbstständige Lernaktivität. Von großer Bedeutung sind dabei die Erwartungen der Lernenden, die sich auf Konsequenzen aus den Lernhandlungen beziehen. Diese Erwartungen stellen eine bedeutende persönliche Antriebskraft in selbstständigen Lernprozessen dar: Sie haben einen Einfluss auf die Festlegung selbst gesetzter Ziele, die Ausdauer bei deren Bearbeitung und auch auf emotionale Begleitprozesse des Handelns (Friedrich und Mandl, 1990).

6.2.1 Konstruktivismus und Interaktivität

Nach Piaget (1973, S.23) bedeutet die Erkennung von Objekten nicht, sie nur abzubilden, sondern auf sie einzuwirken, d.h. ein Transformationssystem zu konstruieren. In diesem Sinne sind nach Klimsa (2002) Multimediaanwendungen auch als Transformationssysteme zu verstehen, die eine umfassende Benutzereinwirkung ermöglichen müssen. Insofern sind die Exploration, die Anpassung an eigene informationelle Bedürfnisse und die Anwendung in einem vom Nutzer selbst definierten Lern- und Informationskontext im Licht der konstruktivistischen Forschung wichtige Voraussetzungen für den effizienten Einsatz multimedialer Anwendungen.

Nach Strzebkoski und Kleeberg (2002) liegt der zentrale Punkt des konstruktivistischen Lernparadigmas „in der Förderung der Eigenaktivität der Lernenden und damit in den individuellen mentalen Konstruktionsprozessen sowie in der weitgehenden Selbststeuerung des Lernprozesses“ (vgl. Kapitel 3.2.5 über Lernen und Lehren). Vor dem Hintergrund des aktiven Tuns von Lernenden greifen Strzebkoski und Kleeberg (2002, S.229f.) folgende Prinzipien des konstruktivistischen Lernparadigmas auf:

- ▷ die Einbettung des Lerngegenstandes in authentische (realitätsnahe) und komplexe Situationen, in die sich die Lernenden mental versetzen sollen,
- ▷ die Konfrontation der Lernenden mit mehreren Perspektiven und Kontexten eines Sachverhalts,
- ▷ die vorwiegend explorative und assoziative Vorgehensweise bei der Erschließung neuer Informationen,
- ▷ „learning by doing“ - Lernen direkt in der Aktion,
- ▷ die Möglichkeit der Konstruktion eigener Ideen und Inhalte,
- ▷ die Möglichkeit der Artikulation und der Selbstreflektion über die eigenen Lern- und Lösungsstrategien,
- ▷ die sofortige Anwendung des Gelernten auf lebensnahe Problemsituationen.

Nach Strzebkoski und Kleeberg (2002) verdeutlichen diese Prinzipien, dass Lernen nach dem konstruktivistischen Paradigma mit umfangreichen Aktivitäten des Lernenden verbunden ist: Zum Beispiel sind Informationen zu sammeln, Situationen zu beurteilen, Zusammenhänge zu erkennen oder herzustellen, „virtuelle Geräte“ oder Systeme zu bedienen oder schließlich Aufgaben und Problemstellungen aktiv zu lösen. Solche kognitiven Verknüpfungen sorgen für zahlreiche Verknüpfungen der neu erworbenen Informationen zu vorhandenen kognitiven Strukturen im Gedächtnis. Dadurch wird eine flexible Anwendung und der Abruf des Gelernten erleichtert (Anderson, 1989).

Strzebkoski und Kleeberg (2002) leiten daraus ab, dass das Lernen mithilfe computerunterstützter Lernumgebungen nicht ohne einen gewissen Grad an anspruchsvoller „Interaktivität“ auskommt, wenn es bedeutende Veränderungen im kognitiven und affektiven Bereich zum Ziel haben soll. Im Vergleich traditioneller Lernformen hat sich gezeigt, dass ein solider Wissenserwerb umso schwächer ausfällt, je höher die passiv-rezeptiven Anteile in einem Lernprozess sind. Beispielsweise ist dieser Anteil bei der Teilnahme an einer Vorlesung, einem Vortrag oder dem Anschauen einer Fernsehsendung im Allgemeinen sehr hoch. Anders verhält es sich bei aktiven und expressiven Tätigkeiten von Lernenden, wie beispielsweise die Gestaltung von Referaten und Präsentationen, Diskussionen, direktes Lernen in einer Arbeitsumgebung oder eigenes Problemlösen: Diese Tätigkeiten sind für die Bildung tiefer Wissensstrukturen und die Verinnerlichung erworbener Fähigkeiten förderlich (Döring und Ritter-Mamczek, 1998).

Strzebkoski und Kleeberg (2002) stellen folgende Implikation auf:

Je höher die Qualität der Interaktivität in einem Lernprogramm, desto effektiver ist seine lernpsychologische Wirkung. Deshalb ist die genauere Betrachtung der Lernsoftwarekomponente „Interaktivität“ von großer Bedeutung. (Strzebkoski und Kleeberg, 2002, S.230)

6.2.2 Wechselwirkung Präsentation - Interaktion

Nach Strzebkoski und Kleeberg (2002) ist die Qualität der Interaktivität von der Präsentation der Interaktionselemente abhängig. Zum einen ist die sinnvolle Auswahl, Strukturierung und Anordnung der Steuerungsinteraktionen von großer Bedeutung für die Bedienbarkeit des medialen Angebots. Zum anderen ist die ansprechende und anschauliche Darstellung der zu vermittelnden Inhalte ein wesentlicher Faktor für die Aufnahme und Festigung von Wissen.

Strzebkoski und Kleeberg (2002, S.237) fassen einige grundlegende Gestaltungsprinzipien zusammen:

- ▷ Beim Entwurf die Perspektive des Nutzers übernehmen: Die Oberfläche sollte die Arbeitsaufgaben bzw. das Lernziel unterstützen.
- ▷ Eine Kontrolle des Nutzers über die Anwendung wird durch die Wahl der Interaktions- und Darstellungsformen erreicht. Häufig genutzte Optionen gut sichtbar anbieten, selten genutzte zunächst verstecken.
- ▷ Die Einfachheit der Oberfläche wird gewährleistet durch
 - ein übersichtliches, natürliches, ästhetisches Aussehen,
 - die Ablehnung an die reale Welt mittels Einsatz von Metaphern,
 - eine flache Hierarchie der Gliederungsebenen,
 - die Einhaltung des Objekt-Aktions-Paradigmas und der direkten Manipulation.
- ▷ Dem Nutzer Information und Feedback geben: Jede bedeutende Aktion sollte durch eine visuelle und/oder akustische Rückmeldung behandelt werden, wie beispielsweise das Verlassen des Programms ohne vorherige Abspeicherung, Fehlbedienung, aber auch Meldungen zur Reflexion des Wissenserwerbs.

Bei der Verwendung von Farben ist darauf zu achten, dass diese nicht von den Inhalten ablenken. Eine farbliche Abgrenzung der Steuerungselemente von den Inhalten kann dagegen bei der Orientierung im Programm helfen. Ganz allgemein sollte sich die Gestaltung an den natürlichen Seh- und Lesegewohnheiten der Nutzer orientieren (Strzebkoski und Kleeberg, 2002).

Die in Kapitel 6.1.3 vorgestellten Steuerungs- und didaktischen Interaktionen sollten bei der Entwicklung von Benutzeroberflächen für Lernanwendungen unterschiedlich berücksichtigt werden: Um dem Anwender ein schnelles Erreichen der gewünschten Information zu ermöglichen, sollten die Steuerungsinteraktionen intuitiv angelegt sein. Didaktische Interaktionen sollen die Auseinandersetzung des Lernenden mit den zu vermittelnden Inhalten unterstützen. Insofern steht hier nicht die schnelle und einfache Navigation und Steuerung im Vordergrund, sondern der aktive Wissenserwerb. Die zu diesem Zweck eingesetzten Interaktionselemente sollten daher Explorationscharakter haben.

▷ STEUERUNGSINTERAKTIONEN:

Für die Gestaltung von Steuerungsinteraktionen können so genannte Styleguides verwendet werden: Werden beispielsweise Buttons und Menüs in Form, Farbe und Anordnung wie in viel genutzten Anwendungsprogrammen gestaltet, so wird zum einen eine Wiedererkennung gefördert und damit die Orientierung innerhalb der Anwendung unterstützt. Zum anderen basiert dieser Ansatz hinsichtlich der Anordnung der einzelnen Steuerungselemente auf dem Prinzip der Ortscodierung: Nach diesem Prinzip sollen die gleichen Informationen auch immer am gleichen Ort auffindbar sein (Zeidler und Zellner, 1994).

Dennoch sollte nicht die strikte Einhaltung solcher Styleguides um ihrer Einhaltung willen im Vordergrund stehen. Vielmehr ist darauf zu achten, dass eine Anpassung für den jeweiligen Zweck vorgenommen wird. Beispielsweise kann sich die Gestaltung des Menüs für den Ausdruck von Dokumenten durchaus von der Gestaltung des Menüs zum Aufruf von Hilfefunktionen unterscheiden. Wichtig für eine intuitive Benutzerführung ist die Konsistenz der Steuerungsinteraktionen innerhalb der Anwendung. Interaktionselemente, die der Navigation und Steuerung dienen, sollten immer als solche erkennbar sein. Die Information, wohin man beispielsweise durch das Klicken eines Buttons gelangt bzw. welche Aktion damit ausgelöst wird, sollte dem Nutzer immer zugänglich sein (Strzebkoski und Kleeberg, 2002).

▷ DIDAKTISCHE INTERAKTIONEN:

Das Ziel bei der Gestaltung mittels didaktischer Interaktionen zu vermittelnde Inhalte ist die Motivation des Nutzers, diese Inhalte zu erforschen. Dazu ist es nicht notwendig, dass die Interaktionen und deren Folgen sofort erkennbar sind. Sie können vielmehr durch Ausprobieren, wie beispielsweise durch Verschieben von Reglern oder die Manipulation abgebildeter Gegenstände, entdeckt werden. Dennoch sollte die Gestaltung so beschaffen sein, dass sie die Aufmerksamkeit des Anwenders auf die interaktiven Elemente lenkt. Eine Möglichkeit, dies umzusetzen, ist beispielsweise die Zustandsänderung eines Elementes, sobald mit der Maus drübergefahren wird.

▷ BILDAUFTEILUNG:

Eng mit der Navigation und Interaktion verknüpft ist das Seitenlayout einer medialen Lernanwendung. Eine sinnvolle Bildaufteilung ist von grundlegender Bedeutung für die Interfacegestaltung in Lernanwendungen. Nach Strzebkoski und Kleeberg (2002) sollen „Konzepte der Softwareergonomie nur ein Grundgerüst liefern, das von einem Lernprogrammdesigner unterschiedlich kreativ weiter ausgebaut werden kann“.

Eines dieser Grundkonzepte ist die Aufteilung des Bildschirms in bestimmte Funktionsbereiche. Folgendes Diagramm zeigt das Standardlayout für Bildschirmmasken nach Eberleh, Oberquelle und Oppermann (1994):

Kennzeichnungsbereich
Arbeitsbereich
Steuerungsbereich
Meldebereich

Bei dem vorgestellten Layout handelt es sich um ein Layout für Anwendungssoftware. Soll dieses Konzept für das Layout von Lernsoftware angewendet werden, so ist es nach Strzebkoski und Kleeberg (2002) leicht zu modifizieren. In Lernprogrammen gibt es kaum Aktionen, die eine ständige Anzeige der Zustandsänderung erfordern. Insofern wird der Meldebereich in Lernprogrammen in der vorgestellten Form nicht benötigt. Generell sehen Strzebkoski und Kleeberg (2002) in dem Gestaltungskonzept keine verbindliche Vorgabe, sondern vielmehr eine modifizierbare Vorlage.

Interaktionsdesign

Haack (2002) weist darauf hin, dass Designverfahren für die Ausstattung von Lernumgebungen mit Interaktivität von mindestens drei wissenschaftlichen Zuträgerdisziplinen profitieren können, nämlich von der Lehr- und Instruktionspsychologie, der Human-Computer-Interaction-Forschung (HCI-Forschung) und als nicht zu unterschätzender Quelle der künstlerischen Designwissenschaften. Gerade in den Designwissenschaften werden Strategien kontrollierter Intuition vor dem Hintergrund psychologischen und technologischen Grundlagenwissens entwickelt.

Haack (2002) äußert sich konkret wie folgt:

Interaktionsdesign sollte nicht allein den kumulierten Praxiserfahrungen und der Intuition eines Lernprogrammautors oder eines Entwicklungsteams überlassen bleiben, sondern aus dem breiten interdisziplinären Wissenspool der Lern- und Instruktionspsychologie, der Human-computer-interaction-Forschung und der Designwissenschaften Anregungen schöpfen.
(Haack, 2002, S.136)

6.3 Taxonomie von Interaktivität

Obwohl - oder möglicherweise auch gerade weil - es keine allgemeingültige Definition des Begriffes der Interaktivität gibt, existieren verschiedene Ansätze zur Klassifikation unterschiedlicher Interaktivitätsniveaus. Haack (2002, S.128f.) trifft folgende Einteilung einer schrittweise zunehmenden Interaktivität:

▷ *Implizite Interaktion*, engl. *covert interaction*:

Rein passives Rezipieren, Lesen, Zuhören und Anschauen von Lerninhalten in

einer vom Programmator festgelegten Reihenfolge

- ▷ Zugriff auf bestimmte Informationen, Auswählen, Umblättern
- ▷ Ja/Nein- und Multiplechoice-Antwortmöglichkeiten und Verzweigen auf entsprechende Zusatzinformationen
- ▷ Markieren bestimmter Informationsteile und Aktivierung entsprechender Zusatzinformationen
- ▷ Freier Eintrag komplexer Antworten auf komplexe Fragestellungen mit intelligentem tutoriellem Feedback (sokratischer Dialog)
- ▷ Freier ungebundener Dialog mit einem Tutor oder mit Lernpartnern mithilfe von Multimedia- und Hypermediasystemen

Haack (2002) fokussiert bei seiner Einteilung die Art und Weise, in der ein Lernprogramm Aufgaben bereitstellt und auf vom Lernenden eingegebene Lösungen reagiert. Schulmeister (2005, S.210–S.218) unterscheidet ebenfalls sechs Stufen der Modellierung von Interaktivität in Lernsystemen, konzentriert sich bei seiner Einstufung aber mehr auf die Interaktionsmöglichkeiten zwischen Anwender und Objekt im Sinne unterschiedlich abgestufter Möglichkeiten der Einflussnahme durch den Lernenden. Dabei bezieht er sich zunächst allgemein auf die Komponenten eines mit dem Computer umgesetzten medialen Angebotes. In einem zweiten Schritt wendet er seine Taxonomie gezielt auf Visualisierungsmethoden und auf Programmkomponenten an. Im Folgenden werden sowohl seine allgemeine Taxonomie als auch deren Konkretisierungen wiedergegeben:

Taxonomie von interaktiven Komponenten

Grundlage der Taxonomie nach Schulmeister (2005) ist eine Differenzierung, inwieweit der Benutzer zum einen die Repräsentationsform und zum anderen den Inhalt der Komponente bzw. das Objekt selbst modifizieren kann:

▷ STUFE I: OBJEKTE BETRACHTEN UND REZIPIEREN

Wenn den Komponenten eines medialen Angebotes ausschließlich die Funktion der Information, Instruktion oder Illustration zukommt, und die Inhalte dabei fest vorgegeben und unveränderbar sind, ordnet Schulmeister (2005, S.210) diesem Arrangement die Stufe I zu. Dabei betont er, dass ein derartiges mediales Angebot eigentlich mit der Stufe 0 versehen werden müsste, da es letztlich gar keine Interaktivität ermöglicht. Der Anwender kann zwar gewisse Aktionen wie beispielsweise das Abspielen eines Films veranlassen, kann aber weder dessen Darstellungsform noch dessen Inhalt verändern. Das Objekt „[entzieht] sich sozusagen seinem Einfluss“.

▷ STUFE II: MULTIPLE DARSTELLUNGEN BETRACHTEN UND REZIPIEREN

Sind die einzelnen Komponenten ebenfalls vorgefertigte Objekte, existieren aber für einige dieser Komponenten mehrere Varianten, besitzt ein solches mediales

Angebot die Stufe II. Dabei besteht eine Komponente aus mehreren Varianten, wenn beispielsweise durch Mausklick auf ein Bild ein weiteres Bild im selben Rahmen dargestellt wird, aus einer Liste mehrere Filme abgespielt werden können oder ganz allgemein durch Klicken auf ein Objekt, durch Auswahl von Optionen sowie durch Hypertext-Links mehrere Bilder nacheinander aufrufen, Musikstücke angehört, Filme oder Animationen abgespielt werden können.

Auch auf dieser Stufe kann der Anwender die Objekte nur betrachten; die einzelne Komponente hat nach wie vor ausschließlich die Funktion der Information oder Illustration. Auch wenn ein Film beispielsweise in Zeitlupe oder Einzelsequenzen angeschaut werden kann, ändert sich dadurch weder die Darstellungsart an sich noch dessen Inhalt. Generell können auf dieser Stufe weder Darstellung noch Inhalt von Komponenten verändert werden. Dennoch führt die Varianz, die der Lernende durch einen Wechsel der einzelnen Komponenten herbeiführen kann, neue motivationale und kognitive Elemente in die Lernsituation ein.

▷ STUFE III: DIE REPRÄSENTATIONSFORM VARIIEREN

Bei medialen Angeboten der Stufe III kann deren Darstellungsformen direkt vom Anwender verändert werden. Hierzu zählt beispielsweise die Skalierung zweidimensionaler und die Rotation dreidimensionaler Grafiken oder das Auslösen eines Sprunges innerhalb eines Films durch das Klicken auf dreidimensionale Objekte des gerade gezeigten Ausschnitts.

Auf dieser Stufe bleibt nach wie vor der Inhalt bzw. das Lernobjekt an sich unverändert, auf dessen Art der Repräsentation kann der Lernende aber aktiv Einfluss nehmen. Somit kann die Repräsentationsform einer solchen Komponente geändert werden, nicht aber deren Inhalt. Nach Schulmeister (2005, S.212) ist diese Stufe der Interaktivität insbesondere für die Motivation des Lernenden bedeutsam.

Abbildung 6.3 zeigt ein Beispiel eines interaktiven Films dieser Stufe: Die Schreibtischlampe kann mit der Maus bewegt werden; entsprechend ändern sich Licht und Schatten. Zudem besteht die Möglichkeit des Zooms innerhalb des Bildes. Die Lampe als solche kann aber nicht entfernt oder ausgetauscht werden.

▷ STUFE IV: DEN INHALT DER KOMPONENTE MODIFIZIEREN

Wenn der Inhalt einer medialen Komponente nicht mehr vorgefertigt ist, sondern auf Anforderung durch den Anwender generiert wird, liegt Interaktivität der Stufe IV vor. Dabei können durch Eingabe von Daten oder Variieren von Parametern innerhalb eines gesetzten Rahmens wie beispielsweise des Typs der Repräsentation andere Darstellungen erzeugt oder andere Relationen visualisiert werden.

Nach Schulmeister (2005, S.213) kann „diese Methode heuristische Funktionen für Denkprozesse übernehmen und eine Interaktion mit den kognitiven Konzepten des Benutzers eingehen“. Er nennt hier ein Beispiel aus der Statistik, eine Übungsaufgabe für Psychologie-Studenten, bei der durch Verschieben von Punkten in einem Punktegitter verschiedene vorgegebene Korrelationen erzeugt



Abbildung 6.3: Beispiel Interaktivität Stufe III: Das interaktive Bild einer Schreibtischlampe (Quelle: http://w3-mmt.inf.tu-dresden.de/lernumgebungen/mms/medien/uk_medien.html)

werden sollen. Dabei geht es bei dieser Übung weniger darum, das statistische Konzept zu *vermitteln*, sondern vielmehr darum, dieses selbst zu *entdecken*. Dieses *Entdeckende Lernen* (Bruner, 1961, 1981) verfügt nach Schulmeister (2005, S.215) über ein „hohes Potential zur Förderung der Meta-Lernfähigkeit“ (siehe hierzu auch *Entdeckendes Lernen nach Bandura* in Kapitel 3.2.4, S.174).

Voraussetzung für die Entwicklung einer solchen Übung ist allerdings ein Wissen um die kognitiven Konzepte der Studierenden und ihre kognitiven Fehler. So gehen viele Studenten von der Annahme aus, dass Korrelation oder Zusammenhangsmaß etwas Ähnliches bedeutet wie Nähe, Nachbarschaft oder Beziehung. Dabei beruht Korrelation auf der Kovarianz und braucht Streuung. Dementsprechend führt das auf der naiven Annahme basierende Zusammenschieben aller Punkte nicht zu dem erwünschten Ergebnis einer hohen Korrelation, sondern liefert stattdessen eine Null-Korrelation. Der explorative Raum, den die vorgestellte Übung öffnet, lässt die Studierenden zunächst ihre naiven kognitiven Konzepte aktivieren, sie anschließend verändern und schließlich ein Verständnis des wissenschaftlichen Konzeptes entwickeln.

▷ STUFE V:

DAS OBJEKT BZW. DEN INHALT DER REPRÄSENTATION KONSTRUIEREN

Wenn nicht nur der Inhalt einer medialen Komponente konstruiert werden kann, sondern dem Benutzer beispielsweise im Rahmen eines Lernprogramms Werkzeuge zur Verfügung stehen, mit denen er selbst Objekte kreieren, Ideen visualisieren oder Modelle entwerfen kann, handelt es sich um Interaktivität der Stufe V. Insbesondere in wissenschaftlichen Domänen, in denen die Objekte gut definierbar sind, wie beispielsweise in Mathematik und Physik, stehen häufig Programme für derartige Operationen zur Verfügung. Schulmeister (2005, S.215) nennt hier als Beispiel explizit die dynamische Geometriesoftware *Cinderella*.

▷ STUFE VI: DAS OBJEKT KONSTRUIEREN UND RÜCKMELDUNG ERHALTEN

Interaktivität der Stufe VI ist dann erreicht, wenn das entsprechende Programm in der Lage ist, dem Lernenden eine intelligente Rückmeldung zu geben. Nach Schulmeister (2005, S.216) ist die Entwicklung solcher Systeme in einigen Bereichen relativ weit vorangeschritten, so beispielsweise bei Mathematikeditoren und Geometrieprogrammen - überall dort, wo in Programmen die symbolischen Inhalte auch als sinntragende Objekte modelliert werden können. Dies gilt nach Schulmeister (2005, S.216) für die Naturwissenschaften, nicht aber für die Geschichts-, Geistes-, Kultur- und Sozialwissenschaften.

Interaktivität auf dieser Stufe bedeutet, dass der Lernende dem „Partner“ Computer oder Programm bedeutungstragende Objekte bzw. Aktionen schickt, die das Programm zu einem versteht und auf die es zu einem anderen mit entsprechend bedeutungsvollen Rückmeldungen antworten kann. Nach Schulmeister (2005, S.216) ist damit aber noch nicht der Bereich der menschlichen Kommunikation oder sozialer Interaktion erreicht.

Skalierung von Visualisierungsmethoden

Schulmeister (2005, S.219–224) vergleicht seine Taxonomie der Interaktivität von Komponenten medialer Angebote mit der Skalierung nach dem Grad der Interaktivität, die El Saddik (2001) für Methoden der Visualisierung angibt. Auch wenn beide Einteilungen nicht völlig identisch sind, zeigt sich doch eine hohe Übereinstimmung. Im Folgenden wird die von Schulmeister (2005) modifizierte Skalierung wiedergegeben:

Stufe I: Bilder betrachten

Stufe II: Filme betrachten (inklusive Abspielen, Anhalten, Rückspulen, Wiederholen, etc.)

Stufe III: Die Darstellungsweise in Filmen und deren Ablauf manipulieren (Drehen, Skalieren, zu anderen Stellen im Film verzweigen)

Stufe IV: Den Inhalt der Filme oder der Visualisierung durch Dateneingabe beeinflussen

Stufe V: Filme oder Visualisierungen generieren

Stufe VI: Rückmeldung zu Manipulationen in Visualisierungen erhalten (nach Schulmeister, 2005, S.218f.)

Skalierung von Programmkomponenten

Da für die Illustration der Interaktivitätsniveaus überwiegend Bild- oder Filmbeispiele verwendet worden sind, nimmt Schulmeister (2005) eine weitere Skalierung speziell von Programmkomponenten vor, um die generelle Tragfähigkeit seiner Taxonomie darzustellen:

▷ STUFE I: AUTOMATISCHEN PROGRAMMABLAUF AUSFÜHREN

Ein Programm dieser Stufe kann vom Anwender gestartet werden, um anschließend automatisch wie ein Film abzulaufen. Gegebenenfalls kann der Anwender diesen Ablauf beobachten und ansonsten nur das Ergebnis zur Kenntnis nehmen. Es bestehen keine Eingriffsmöglichkeiten in den Programmablauf.

▷ STUFE II: MEHRFACHE OPTIONALE PROGRAMMABLÄUFE VERANLASSEN

Erlaubt das Programm ein mehrfaches Ausführen mit gegebenenfalls verschiedenen Optionen, wird ihm die Interaktivitätsstufe II zugeordnet. Dabei handelt es sich um Variationen innerhalb derselben vorgegebenen Übung. Der Anwender kann weder den Ablauf des Programms an sich noch das Lernobjekt der Übung modifizieren; insbesondere kann er das Lernobjekt nicht austauschen.

▷ STUFE III:

VARIATION DER DARSTELLUNG DURCH EINGRIFF IN EIN PROGRAMM

Programme der Stufe III erlauben Variationen in der Repräsentationsform des Lernobjekts wie beispielsweise die Skalierung einer Kurve oder die Darstellung von Daten in unterschiedlichen Diagrammtypen. Der Anwender hat aber nach wie vor nicht die Möglichkeit, den Programmablauf oder den Inhalt der Übung zu beeinflussen.

▷ STUFE IV: VARIATION DURCH PARAMETER ODER DATENVARIATION

Auf dieser Stufe sind Variationen auch des Inhaltes des Programms möglich wie beispielsweise die Veränderung von Parametern in physikalischen Simulationen oder das Aufrufen anderer als der zunächst vorgegebenen Datensätze in Statistikprogrammen. Der Anwender kann hier Objekte modifizieren und somit zu anderen Ergebnissen gelangen.

▷ STUFE V: OBJEKTE KONSTRUIEREN UND PROZESSE GENERIEREN

Programme dieser Stufe erlauben dem Benutzer, den Gegenstand der Repräsentation selbst zu konstruieren, wie beispielsweise andere Modelle im Rahmen von Simulationen zu generieren. Das Programm wird zum kognitiven Werkzeug, das dem Benutzer die Konstruktion eigener Mikrowelten ermöglicht.

▷ STUFE VI: PROZESSE UND PROGRAMME MIT RÜCKMELDUNG

Auf dieser Stufe der Interaktivität müssen Programme nicht nur die Modifikation der Repräsentation des Lernobjekts sowie des Lernobjekts selbst ermöglichen, sondern auch Rückmeldungen zu den Handlungen des Anwenders geben. Schulmeister (2005, S.223) betont jedoch an dieser Stelle, dass Programme, die den Benutzer mit intelligenten Rückmeldungen bei der Konstruktion seiner Mikrowelten unterstützen, noch selten und Ansätze hierzu vorwiegend auf dem Gebiet des Programmierens mit Programmiersprachen zu finden sind.

Die hier vorgestellte Taxonomie ermöglicht ein differenziertes Abgrenzen von Interaktivitätsniveaus für verschiedene Komponenten eines medialen Angebots. Dabei sind die jeweiligen Möglichkeiten der Interaktion an der Schnittstelle „Mensch-Computer“ entscheidend für eine entsprechende Einordnung in eine der sechs Stufen. Speziell im Kontext dynamischer Geometriesoftware spielt aber noch eine weitere Art der Interaktivität eine sehr bedeutsame Rolle, die hier als *programmintrinsische Interaktivität* bezeichnet werden soll. Sie setzt an der hier vorgestellten Stufe V an, in deren Rahmen das Erzeugen und Kreieren eigener Objekte möglich ist. Es geht dabei um die Frage, inwieweit ein Programm „echte Interaktivität“ im Sinne einer „echten Interaktion“ miteinander kommunizierender Elemente beispielsweise im Rahmen einer mathematischen Konstruktion oder einer Physiksimulation erlaubt. Die Beantwortung dieser Frage ist Thema von Kapitel 6.4, insbesondere Kapitel 6.4.4.

6.4 Interaktivität in dynamischer Geometriesoftware

In seiner Taxonomie von Interaktivität ordnet Schulmeister (2005) dynamische Geometriesoftware, speziell sogar die dynamische Geometriesoftware *Cinderella*, der von ihm definierten Stufe V zu („Das Objekt bzw. den Inhalt der Repräsentation konstruieren“, siehe Kapitel 6.3, S.351). Innerhalb dynamischer Geometriesoftware lässt sich diese Taxonomie jedoch noch verfeinern: Auch hier gibt es sehr unterschiedliche Formen der Interaktivität, die auf die Interaktion mit mathematischen Sachverhalten einen großen Einfluss nehmen können und insofern genauer betrachtet werden sollten.

Dazu wird hier zunächst eine allgemeine Beschreibung dynamischer Geometriesoftware vorgenommen und auf didaktische Aspekte dieser Art von Software eingegangen. Anschließend wird speziell die dynamische Geometriesoftware *Cinderella* vorgestellt und in ihren wesentlichen Merkmalen beschrieben. Anhand dieses konkreten Beispiels lassen sich die verschiedenen Formen von Interaktivität innerhalb dynamischer Geometriesoftware dann voneinander abgrenzen.

6.4.1 Dynamische Geometriesoftware

Dynamische Geometriesoftware (DGS) erweitert die Möglichkeiten herkömmlicher geometrischer Konstruktionen mit Zirkel, Lineal, Bleistift und Papier. Nach Weigand und Weth (2002) beruht dabei jedoch ihr Ausgangspunkt auf genau dieser Art von Konstruktionen:

Die Grundphilosophie aller DGS [Dynamischen Geometrie-Systeme] entspricht der griechischen Tradition der Zirkel- und Linealgeometrie, dass außer einem Zirkel (zum Zeichnen von Kreisen und zum Übertragen von

Strecken) und einem Lineal ohne Maßeinteilung (zum Zeichnen von Geraden) keine weiteren Instrumente (wie Winkelmesser, „Rechte Winkel“, Zeichendreiecke, Parabelschablonen, Ellipsenzirkel, ...) verwendet werden (dürfen)“. (Weigand und Weth, 2002, S.156f.)

Dementsprechend stellt dynamische Geometriesoftware alle Zirkel- und Linealoperationen zur Verfügung. Somit lassen sich Punkte, Geraden, Halbgeraden, Strecken, Dreiecke und Kreise sowie die Schnittpunkte dieser Objekte zeichnen und zeichnerisch konstruieren. Darüber hinaus ermöglichen sie auch „Geodreiecksoperationen“ (Weigand und Weth, 2002, S.157) wie zum Beispiel das Abtragen von Winkeln vorgegebener Größe, die Konstruktion von Parallelen und Geraden oder das Zeichnen von Strecken bestimmter Länge oder Kreise mit bestimmtem Radius. Abbildung 6.4 zeigt beispielsweise die zur Verfügung stehenden geometrischen Operationen der Toolbar der Dynamischen Geometriesoftware *Cinderella 1.4*.

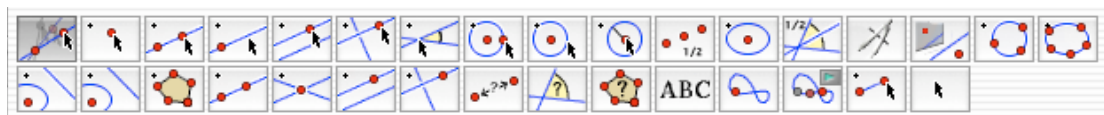


Abbildung 6.4: Geometrische Operationen der DGS *Cinderella 1.4* (**Obere Reihe:** Elemente bewegen, Punkt hinzufügen, Zwei Punkte mit Verbindungsgerade, Gerade durch einen Punkt, Parallele, Senkrechte, Gerade mit festem Winkel, Zwei Punkte und ein Kreis, Kreis um einen Punkt, Kreis mit festem Radius, Mittelpunkt zweier Punkte, Kegelschnittmittelpunkt definieren, Winkelhalbierende, Zirkel benutzen, Spiegelungen benutzen, Kreis durch drei Punkte, Kegelschnitt; **untere Reihe:** Polare Gerade zu einem Punkt, Polarer Punkt zu einer Geraden, Polygon definieren, Verbindungsgerade definieren, Schnittpunkt definieren, Parallele definieren, Senkrechte definieren, Abstand messen, Winkel messen, Fläche messen, Beschriftung ändern/anbringen, Ortskurve definieren, Automatische Animation, Strecke zwischen zwei Punkten, Elemente auswählen)

Insofern ist dynamische Geometriesoftware zunächst ein *Zeichenprogramm*, das einen beschränkten Vorrat an Zeichenwerkzeugen anbietet und gegenüber Zirkel und Lineal den Vorteil hat, „dass Konstruktionen schneller, sauberer und präziser durchgeführt werden können, als dies mit Papier und Bleistift üblicherweise der Fall ist“ (Weigand und Weth, 2002, S.157).

Der entscheidende Vorzug von dynamischer Geometriesoftware gegenüber den herkömmlichen Zeichenwerkzeugen liegt nach Weigand und Weth (2002) in den drei Optionen *Zugmodus*, *Ortslinienfunktion* und *Modulares Konstruieren*, die von dynamischer Geometriesoftware zusätzlich zur Verfügung gestellt werden:

▷ **ZUGMODUS:**

Der *Zugmodus* ermöglicht die Variation einmal erstellter Konstruktionen. In jeder Konstruktion gibt es *freie* und *abhängige* geometrische Objekte. Beispielsweise sind zwei Punkte, durch die eine Gerade gelegt wird, nach der Konstruktion der Geraden immer noch frei; der Schnittpunkt zweier Geraden ist aber ein (von der Konstruktion) abhängiger Punkt. Ebenso ist die Senkrechte zu einer vorgegebenen Geraden und durch einen vorgegebenen Punkt auf dieser Geraden ein abhängiges geometrisches Objekt.

Die Lage freier Punkte einer Konstruktion kann im Zugmodus durch Ziehen mit der Maus verändert werden. Dabei berechnet die dynamische Geometriesoftware sofort die Koordinaten aller von diesem Punkt abhängigen Objekte wie beispielsweise andere Punkte, Geraden, Winkel oder Kreise und stellt diese am Bildschirm neu dar. Die ursprünglichen geometrischen Relationen der Konstruktion bleiben dabei vollständig erhalten. Die hohe Rechenleistung von Computern ermöglicht es, die jeweils mit den veränderten Eingangsparametern verknüpften Konstruktionen fortlaufend durchzuführen und entsprechend auf dem Bildschirm darzustellen. Starre Zeichnungen werden somit beweglich bzw. dynamisch.

Dabei ist an dieser Stelle anzumerken, dass eine ausreichende Rechenleistung für viele Einsatzgebiete dynamischer Geometriesoftware bereits vor ca. 15 Jahren vorhanden war. Dennoch wird die heutige, im Vergleich zu damals noch einmal um ein hohes Vielfaches größere Rechenleistung eher in neue Gebiete wie beispielsweise *Fraktale*, *dynamisches Funktionsplotting* oder 3D-Grafik investiert und nicht in das Teilgebiet der Zugmodus-Darstellung. Diese könnte von der hohen Rechenleistung insofern profitieren, als dass damit nun auch vor dem Hintergrund tiefer Mathematik aufwändige und sehr komplexe Berechnungen für Zugmodus-Darstellungen möglich wären. Welchen Einfluss die mathematische Modellierung von dynamischer Geometriesoftware in Kombination mit dem entsprechenden mathematischen Hintergrundwissen auf den Zugmodus nehmen kann, wird in Kapitel 6.4.4 näher erläutert.

▷ ORTSLINIENFUNKTION:

Die *Ortslinienfunktion* ermöglicht die Darstellung der Kurve eines „irgendwie konstruierten Punktes, wenn ein anderer Punkt (auf einer Geraden, einem Kreis oder völlig frei) bewegt wird“ (Weigand und Weth, 2002, S.161). Abbildung 6.5 zeigt ein solches Beispiel: Der freie Kreismittelpunkt B läuft entlang der Geraden a . Dabei wird die Spur des von der Konstruktion abhängigen Punktes C aufgezeigt. Seine Ortslinie ist die rote Gerade. Es ist aber auch möglich, dass sich eine freie Gerade um einen Punkt bewegt und dabei die Ortslinie eines abhängigen Punktes erzeugt wird. In Abbildung 6.6 dreht sich beispielsweise die freie Gerade a um den freien Punkt C . Die rote Kurve gibt die Ortslinie des von der Konstruktion abhängigen Punktes E wieder.

Ortslinien bleiben auch im Zugmodus erhalten und werden entsprechend den neuen Koordinaten der mit der Maus bewegten freien Punkte aktualisiert. Eine Animation der sich bewegenden Punkte bzw. Geraden unterstützt die Darstellung von Ortslinien.

▷ MODULARES KONSTRUIEREN:

Beim *Modularen Konstruieren* kann auf bereits erstellte Konstruktionen zurückgegriffen werden. Ein solches *Modul* oder *Makro* ist zum Beispiel die Konstruktion des Höhenschnittpunktes eines Dreiecks. Weigand und Weth (2002, S.163f.) unterscheiden in diesem Zusammenhang unterschiedliche Niveaus von Konstruktionen:

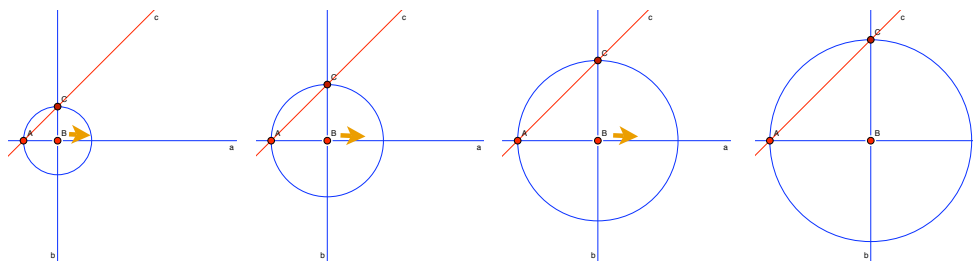


Abbildung 6.5: Ortslinie des konstruierten Punktes C . Vier verschiedene Positionen des Kreismittelpunktes B innerhalb derselben Konstruktion mit jeweils denselben Parametern für alle anderen freien geometrischen Objekte, erstellt mit *Cinderella.2* (**Konstruktionsbeschreibung in Stichworten:** Freie Gerade a durch einen Punkt $A \rightarrow$ weiterer freier Punkt B auf der Geraden $a \rightarrow$ Kreis mit Mittelpunkt B durch den Punkt $A \rightarrow$ Senkrechte b zur Geraden a durch den Punkt $B \rightarrow$ bestimmt abhängigen Schnittpunkt C von Kreis und der Senkrechten b . Läuft nun Punkt B entlang der Geraden a , entsteht die zugehörige Ortskurve (in rot) von Punkt C .)

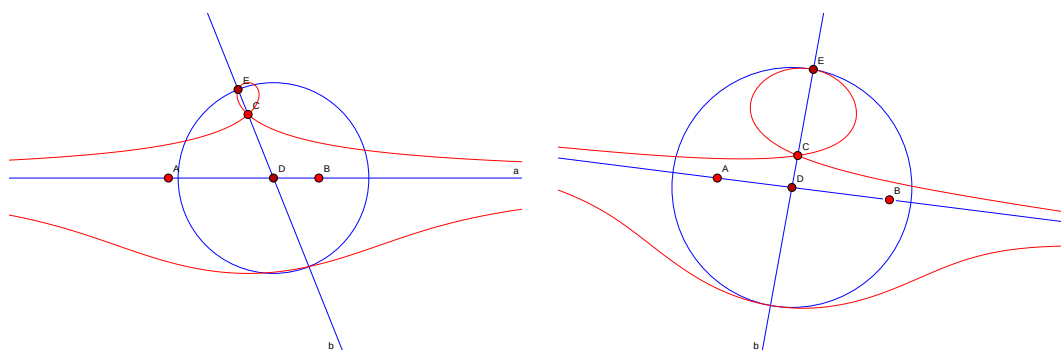


Abbildung 6.6: Ortslinie des konstruierten Punktes E . Dargestellt ist dieselbe Konstruktion, aber mit jeweils unterschiedlichen Parametern der einzelnen freien geometrischen Objekte (unterschiedliche Lage der Punkte A , B und C sowie unterschiedliche Kreisradien), erstellt mit *Cinderella.2* (**Konstruktionsbeschreibung in Stichworten:** Freie Gerade a durch zwei Punkte A und $B \rightarrow$ weitere freie Gerade b durch einen Punkt $C \rightarrow$ bestimmt abhängigen Schnittpunkt D der Geraden a und $b \rightarrow$ Kreis mit freiem Radius um diesen Schnittpunkt $D \rightarrow$ bestimmt abhängigen Schnittpunkt E von Kreis und der Geraden b . Dreht sich nun die Gerade b um den Punkt C , läuft der Schnittpunkt D entlang der Geraden a . Damit wird die zugehörige Ortskurve von Punkt E (in rot) erzeugt.)

Werden Zirkel- und Lineal-Operationen als *Elementaroperationen bezeichnet*, so finden sich auf der untersten Stufe der Hierarchie, dem *1.Niveau von Konstruktionen*, die so genannten *Grund- bzw. Fundamental-Konstruktionen*. Sie lassen sich allein mithilfe der Elementaroperationen wiedergeben wie beispielsweise die Konstruktion der Verbindungsgeraden zweier Punkte, die Konstruktion eines Kreises um den Mittelpunkt M mit Radius r , Konstruktionen zur Strecken- und Winkelübertragung oder die Konstruktionen zur Achsen- und Punktspiegelung.

Konstruktionen auf dem *2.Niveau von Konstruktionen* greifen neben den Elementaroperationen auf Konstruktionen des ersten Niveaus zurück. Beispiele sind hier das Halbieren von Strecken und Winkeln, Errichten und Fällen von Loten, Parallelenkonstruktionen und Dreieckskonstruktionen.

Auf dem *3.Niveau von Konstruktionen* werden dann entsprechend Konstruktionen des ersten und zweiten Niveaus verwendet. Beispiele sind hier Zerlegung einer Strecke in n gleiche Teile, Tangentenkonstruktionen an Kreisen, Konstruktion des Thaleskreises oder die Konstruktion besonderer Punkte und Linien eines Dreiecks wie beispielsweise Höhen oder Mittelsenkrechten.

Neben diesen drei speziellen Merkmalen dynamischer Geometriesoftware lassen sich noch weitere Besonderheiten dieses Programmtyps aufführen, wobei sich diese von Programm zu Programm unterscheiden können. Richter-Gebert (2004b) fasst beispielsweise allgemein unter der Überschrift *Dynamische Geometrie* die Stichworte

- ▷ Konstruieren
- ▷ Bewegen (Zugmodus)
- ▷ Experimentieren
- ▷ Lernen und Lehren
- ▷ Veröffentlichen
- ▷ WWW
- ▷ Automatisches Beweisen

In dieser Aufzählung wird neben den Aspekten *mathematischen Tuns* und den damit verbundenen Möglichkeiten für das Lehren und Lernen auch die *Kommunikation über Mathematik* hervorgehoben. Die Erstellung von Bilddateien und vor allem die Erstellung interaktiver Applets, die via HTML-Seiten im Internet veröffentlicht werden können, unterstützen zum einen eine Kommunikation über Mathematik beispielsweise innerhalb mathematischer Foren, zum anderen ermöglichen sie es, Eleganz und Schönheit mathematischer Konstruktionen auf ansprechende Art und Weise einer breiten Öffentlichkeit zu präsentieren und somit Mathematik transparent darzustellen.

Dynamisch ist an dynamischer Geometriesoftware nicht nur der Zugmodus; nach Richter-Gebert (2007b) spiegelt sich die Dynamik dynamischer Geometriesoftware in folgenden drei Punkten wider:

- ▷ Interaktion mit dem mathematischen Objekt
- ▷ Mathematische Experimentierfelder
- ▷ Abbilden der mathematischen „Wirklichkeit“

Im Zuge der Weiterentwicklung und des Zusammenwachsens der großen drei „Trias-Programme“ Tabellenkalkulation, Computer-Algebra-Systeme und Dynamische Geometriesoftware sowie der damit verbundenen Erweiterung des mathematischen Kontextes kann nach Richter-Gebert (2007a) sogar nicht mehr nur von *dynamischer Geometrie*, sondern bereits von *dynamischer Mathematik* gesprochen werden. Kapitel 6.4.3 wird insbesondere diesbezügliche Erweiterungen von *Cinderella.2* vorstellen.

Einordnung von DGS

In Kapitel 2.3.11 und Kapitel 1.5.4 wurde dynamische Geometriesoftware als *mathematisches Lernwerkzeug* charakterisiert. In Kapitel 5.4.4, S.298, wurde zudem die Frage gestellt, ob und inwieweit dynamische Geometriesoftware zu den Simulationsprogrammen gezählt werden kann. Um diese Frage beantworten zu können, ist der Einsatz von dynamischer Geometriesoftware auf zwei Ebenen zu betrachten: Zum einen in der reinen Verwendung als Werkzeug in der vom Programm selbst zur Verfügung gestellten (Zeichen-)Umgebung, zum anderen in der Form von „Endprodukten“, die mit dem Werkzeug DGS ganz oder teilweise erstellt worden sind. Auf beiden Ebenen gibt es unterschiedliche Abstufungen.

So kann auf der reinen Werkzeugebene das Werkzeug DGS in seiner Gesamtheit und ohne spezielle Arbeitsanweisungen zur Verfügung stehen oder zur Verfügung gestellt werden. Dabei ist eine Einschränkung der Auswahl von Elementen in der Toolbar möglich. *Cinderella.2* erlaubt hier beispielsweise neben der Default-Auswahl unter anderem die Einstellungen „Schule“, „alle Werkzeuge“, „CindyLab“ oder „keine Toolbar“.

Neben dieser offenen und freien Nutzung von dynamischer Geometriesoftware kann diese auch gezielt im Rahmen einer Aufgabenstellung eingesetzt werden. Kapitel 6.4.2 nennt hier einige Beispiele. Dabei ist es die Aufgabe des Lehrenden, diese Aufgabenstellung entsprechend vorzubereiten und Art und Ausmaß der Einbindung der dynamischen Geometriesoftware zu bestimmen. Möglich ist hier sowohl die schriftliche oder mündliche Formulierung von Aufgaben, die dann mithilfe von dynamischer Geometriesoftware in Einzel- oder Gruppenarbeit gelöst werden soll, als auch die Vorbereitung ganzer Lernsequenzen und tutoriell begleiteter Übungsaufgaben im Rahmen von HTML-Seiten. Sämtliche Übergänge sind dabei fließend.

Aus der Sicht des *Lehrenden* bleibt dynamische Geometriesoftware dabei immer ein Werkzeug. Aus der Sicht des *Lernenden* kann der *Werkzeugcharakter* zugunsten eines ausgeprägteren *Präsentationscharakters* abnehmen. Vor diesem Hintergrund kann ein mit dynamischer Geometriesoftware erstelltes Applet durchaus als Simulation eines mathematischen Sachverhaltes oder eines mathematischen Konzeptes aufgefasst werden. *Cinderella.2* ermöglicht hier als dynamische Geometriesoftware sogar explizit Physik-Simulationen.

Steinmetz (2000) beschreibt „baukastenartig aufgebaute Simulationsprogramme“ als eine von zwei Arten von Simulationen und bedient sich dabei eines Beispiels aus der Physik (siehe Kapitel 5.4.4, S.297). Konstruktion und Aufbau von dynamischer Geometriesoftware legen die Bezeichnung eines „geometrischen Experimentierkastens“ (Richter-Gebert, 2007a) oder im Hinblick auf die oben erwähnte Erweiterung des mathematischen Kontextes eines „mathematischen Baukastens“ nahe. Entscheidend ist an dieser Stelle jedoch, inwieweit derartige mathematisches oder physikalisches Verhalten tatsächlich simuliert oder nur dargestellt wird (dieser Aspekt wird in Kapitel 6.4.4 diskutiert).

Generell lassen sich viele der in Kapitel 5.4 vorgestellten verschiedenen Arten von Lernsoftware im mathematischen Bereich mithilfe von dynamischer Geometriesoft-

ware umsetzen. Dennoch sollte dynamische Geometriesoftware in erster Linie als ein sehr mächtiges mathematisches Werkzeug verstanden werden, das in den verschiedenen Formen seiner Anwendung verschiedene Arten bzw. die Unterstützung verschiedener Arten von Lernsoftware ermöglicht.

Vor diesem Hintergrund kann dynamische Geometriesoftware auch die in Kapitel 3.1.4, S.163, formulierten Forderungen an ein hohes Maß an Interaktivität, herausfordernde Probleme mit variablem Schwierigkeitsgrad, ermutigendes, leistungsorientiertes Feedback sowie das Wecken von Fantasie und Kreativität beim Lernenden als zentrale Mittel zur Förderung von Interesse erfüllen. Im Folgenden werden hierzu konkrete Beispiele genannt.

6.4.2 Didaktische Aspekte dynamischer Geometriesoftware

Dynamische Geometriesoftware lässt sich wie Computer-Algebra-Systeme und Tabellenkalkulationen im Kontext des Lehrens und Lernens vielfältig einsetzen. In der Literatur finden sich viele Beispiele, welche von einer konkreten Software ausgehend deren Anwendung für Mathematik und insbesondere Mathematikunterricht beschreiben. Beispielsweise liefert die Eingabe des Namens des Computer-Algebra-Systems *Derive* bei *Amazon.de* unter anderem folgende Titel: „Mathematik lernen mit Derive“, „Derive für den Mathematikunterricht“, „Analysis 1. Ein Arbeitsbuch mit Derive“, „Mathematik entdecken mit Derive, von der Algebra bis zur Differentialrechnung“ oder „Mathematisches Praktikum mit Derive“. Ähnliches gilt für die Computer-Algebra-Systeme *Mathematica* und *Matlab*, aber auch für dynamische Geometriesoftware wie beispielsweise *Cabri* oder *Geometer's Sketchpad*.

Weigand und Weth (2002) sowie Barzel, Hußmann und Leuders (2005) fokussieren dagegen mathematische Themen und Schwerpunkte und nennen anhand dieser konkrete Möglichkeiten für den didaktisch sinnvollen Einsatz mathematischer Lernsoftware. Sie beschränken sich dabei nicht auf ein einziges konkretes Produkt, sondern gehen auf allgemeingültige Möglichkeiten der entsprechenden Programme ein. Im Folgenden soll ein Überblick speziell über den Einsatz dynamischer Geometriesoftware gegeben werden.

Weigand und Weth (2002) heben wie oben beschrieben als besondere Merkmale von dynamischer Geometriesoftware den *Zugmodus*, die *Ortslinienfunktion* und das *modulare Konstruieren* hervor. Sie nennen Beispiele für deren gezielten Einsatz mit mathematikdidaktischem Hintergrund.

So erweist sich beispielsweise der *Zugmodus* „als eine schnelle, einfach zu handhabende und relativ sichere Methode, um die Richtigkeit von Konstruktionen zu überprüfen“ (Weigand und Weth, 2002, S.160). Optische Eindrücke „nach Augenmaß“ lassen sich mit dynamischer Geometriesoftware schnell als richtig oder falsch überprüfen. Das Anfertigen mehrerer händischer Zeichnungen zum Aufspüren von Sonderfällen oder generischer Konstellationen wird durch eine einzige dynamische Konstruktion ersetzt. Weigand und Weth (2002, S.160) sprechen in diesem Zusammenhang von einer *Zugmodusinvarianz* als einem Kriterium für die Richtigkeit einer Konstruktion: „Eine DGS-Konstruktion gilt dann als korrekt, wenn die geforderten

geometrischen Relationen auch bei Variation der Ausgangskonfiguration mit dem Zugmodus erhalten bleiben“.

Dabei ist festzuhalten, dass sich eine Aussage über vermeintliche Eigenschaften einer geometrischen Konstruktion (wie beispielsweise eine Aussage über rechte Winkel, Parallelität von Geraden oder gemeinsame Schnittpunkte mehrerer geometrischer Objekte) durch eine Ausführung bzw. Bewegung im Zugmodus leichter als falsch nachweisen lässt, als dass ihre Richtigkeit tatsächlich bewiesen werden könnte. Im Sinne des *Falsifikationismus* nach Karl Popper (1902-1994) kann dynamische Geometriesoftware genau genommen weniger verifizieren als falsifizieren. Auch wenn Popper (1966) das Wort „Erfahrung“ in einem anderen Zusammenhang verwendet, erscheint folgendes Zitat in vorliegendem Zusammenhang zutreffend:

Nun wollen wir aber doch nur ein solches System als empirisch anerkennen, das einer Nachprüfung durch die „Erfahrung“ fähig ist. Diese Überlegung legt den Gedanken nahe, als Abgrenzungskriterium nicht die Verifizierbarkeit, sondern die Falsifizierbarkeit des Systems vorzuschlagen [...]; mit anderen Worten: Wir fordern zwar nicht, daß das System auf empirisch-methodischem Wege endgültig positiv ausgezeichnet werden kann, aber wir fordern, da es die logische Form des Systems ermöglicht, dieses auf dem Wege der methodischen Nachprüfung negativ auszuzeichnen. (Popper, 1966)

Während also der Zugmodus im Sinne der oben definierten Zugmodusinvarianz die korrekte *Ausführung* einer Konstruktion bestätigen kann, kann die *Aussage* eines mathematischen Satzes an sich durch die „vielen Beispiele“, die im Rahmen des Zugmodus entstehen, zwar als sehr wahrscheinlich angenommen, letztlich dadurch aber nicht wirklich bewiesen werden. Eine Falsifizierung einer solchen geometrischen Aussage ist dagegen mit dem Werkzeug *dynamische Geometriesoftware* durch das Auffinden von einem (oder mehreren) „Gegenbeispielen“ mithilfe des Zugmodus möglich.

Ortslinien lassen sich zum Beispiel bei der Einführung und Behandlung von Kegelschnitten verwenden. Mithilfe verschiedener Konstruktionen lassen sich Parabeln und Ellipsenbögen als Ortslinien darstellen (siehe Abbildung 6.7).

Modulares Konstruieren in Form von Modulen bzw. Makros kann dabei helfen, den Blick für das Wesentliche einer Konstruktion nicht zu verlieren. Es kann in größeren zusammenhängenden Schritten gedacht werden, wenn nicht jeder einzelne Konstruktionsschritt in Zirkel- und Lineal-Operation zerlegt werden muss (siehe die weiter oben in Kapitel 6.4.1, S.356, dargestellten unterschiedlichen Niveaus von Konstruktionen).

Weigand und Weth (2002) nennen als ein einfaches Beispiel einer Modulsammlung das Geodreieck:

Das Geodreieck erspart bei Senkrechten, Parallelen, Winkelhalbierenden usw. dem Schüler das Einzeichnen und Berücksichtigen tieferliegender

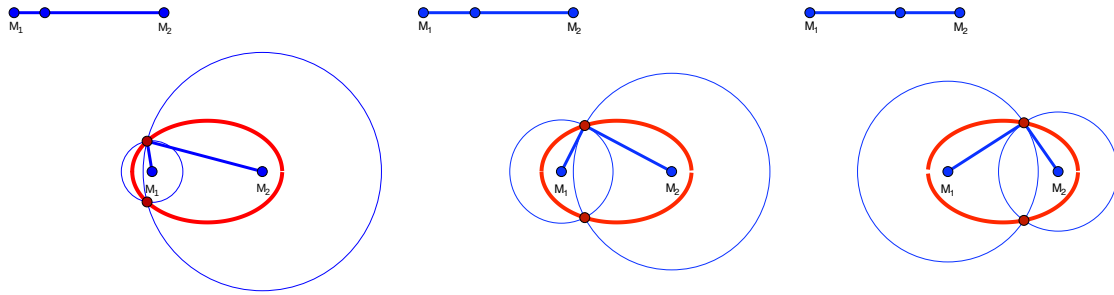


Abbildung 6.7: Ellipsen als Ortskurven abhängiger Punkte. Gärtnerkonstruktion einer Ellipse (Die Summe der beiden Kreisradien ist immer konstant). Die Kreisradien können über den Schieberegler verändert werden. Die Abbildung zeigt drei unterschiedliche Einstellungen des Schiebereglers. Erstellt mit *Cinderella.2*.

Elementarkonstruktionen. Der Schüler kann sich besser auf die wesentlichen Gedanken einer Konstruktion konzentrieren, wenn nicht jeder „Mikroschritt“ bedacht werden muss, sondern von einem geeigneten Werkzeug übernommen wird. (Weigand und Weth, 2002, S.162f.)

Dynamische Geometriesoftware bietet insbesondere durch die Option von Makros eine Vielfalt derartig geeigneter Werkzeuge. Weigand und Weth (2002) erinnern daran, dass ein Zerlegen in größere Konstruktionsschritte nicht neu ist:

Obwohl also die Tragfähigkeit der Modulsammlung beim Geodreieck sehr beschränkt ist (und bei den klassischen Zeichenwerkzeugen Zirkel und Lineal völlig fehlt), wird trotzdem bei der Beschreibung von Konstruktionen seit alters her (sinnvollerweise) eine modulare Struktur gewählt. So findet sich im dritten Buch im Elemente des [Euklid (1980)] die Konstruktionsaufgabe: „Von einem gegebenen Punkte aus an einen Kreis eine Tangente zu ziehen.“ Die „Konstruktionsbeschreibung“ lautet dort: „Der gegebene Punkt sei A, der gegebene Kreis BCD. Man soll vom Punkte A an den Kreis BCD eine Tangente ziehen. Man verschaffe sich den Kreismittelpunkt E (III,1), ziehe AE und zeichne mit E als Mittelpunkt, ... [(Euklid, 1980, S.59)]

In dieser Beschreibung wird auf eine bereits gelöste Aufgabe zurückgegriffen - die Konstruktion des Mittelpunktes einer gegebenen Kreislinie. Im weiteren Verlauf der Aufgabe werden noch zwei weitere gelöste Aufgaben verwendet: die Konstruktion des Mittelpunktes einer Strecke und die Konstruktion der Senkrechten auf eine Strecke. Weigand und Weth (2002, S.168–228) nennen Beispiele zur Verwendung des *Computers als heuristisches Werkzeug*, betrachten *Beiträge des Computers zum Beweisen*, den *Aufbau von Raumvorstellungen mit dem Computer* sowie *Beiträge des Computers zur Entfaltung von Kreativität*. Bei Barzel, Hußmann und Leuders (2005) finden sich Beispiele für den Einsatz von dynamischer Geometriesoftware im Rahmen des *Argumentierens und Beweisens*, zur *dynamischen Erkundung von Funktionen*, zur *Entdeckung und Erforschung des Satzes des Pythagoras*, zum *Einsatz als schwarze Kisten* sowie zum *Problemlösen und Begriffe bilden*.

6.4.3 Die dynamische Geometriesoftware *Cinderella*

Cinderella (Richter-Gebert und Kortenkamp, 2007) ist eine dynamische Geometriesoftware, bei der die Entwicklung von *dynamischer Geometrie* zu *dynamischer Mathematik* und deren Umsetzung im Rahmen eines einzigen Softwareproduktes besonders deutlich wird. *Cinderella.1* ist eine rein dynamische Geometriesoftware in dem in Kapitel 6.4.1 beschriebenen Sinn, wobei *Cinderella.1* hier im Vergleich zu anderen Programmen bereits einige Besonderheiten aufzuweisen hat. Aufgrund dieser kann es bereits als *Dynamisches Geometrieprogramm der zweiten Generation* (Richter-Gebert, 2004b) bezeichnet werden.

Wie durch das Logo angedeutet (siehe Abbildung 6.10), besteht *Cinderella.2* nun aus drei eng miteinander verzahnten Komponenten: *Geometrie*, *Scripting* und *Simulation*. Dabei umfasst der Baustein *Geometrie* das ursprüngliche Programm sowie erweiterte Funktionen und Operationen für geometrisches Arbeiten; die beiden anderen Bausteine sind als eigenständige Komponenten neu hinzugekommen, wobei alle drei Bausteine dynamisch miteinander verknüpft sind. Insbesondere das *Scripting* ermöglicht eine vielschichtige Einflussnahme auf die Gestaltung und Steuerung geometrischer Konstruktionen in Applets. Die wesentlichen Merkmale von *Cinderella.1* und *Cinderella.2* werden im Folgenden vorgestellt:

Cinderella.1

Mit den weiter oben unter der Überschrift *Dynamische Geometrie* genannten Stichworten *Konstruieren*, *Bewegen (Zugmodus)*, *Experimentieren*, *Lernen und Lehren*, *Veröffentlichen*, *WWW* und *Automatisches Beweisen* lässt sich *Cinderella.1* gut charakterisieren. Sie sind Ausdruck dessen, was nach Richter-Gebert (2004b) im Fokus dieser ersten Release stand:

- ▷ Breit gefächerte Geometrieoperationen
- ▷ Mathematische Konsistenz
- ▷ Tutorielle Aufgaben
- ▷ Internet Export

Der in Abbildung 6.4 gezeigte Ausschnitt aus der Toolbar von *Cinderella.1* gibt einen ersten Eindruck über die verschiedenen Geometrieoperationen dieser Version wieder. Darüber hinaus ermöglicht *Cinderella.1* ein Umschalten von Euklidischer auf Hyperbolische oder Elliptische Geometrie. Dabei lassen sich *gleichzeitig* eine *euklidische*, eine *hyperbolische*, eine *sphärische*, eine *polare euklidische* und eine *polare sphärische Zeichenoberfläche* in verschiedenen Fenstern öffnen, so dass dieselbe geometrische Konstruktion in allen diesen Zeichenoberflächen dargestellt und dynamisch verändert werden kann: Eine Änderung in einer der Darstellungen führt automatisch zu den entsprechenden Veränderungen in den anderen Darstellungen.

Hinsichtlich der drei in Kapitel 6.4.1 genannten speziellen Funktionen dynamischer Geometriesoftware ist bei *Cinderella.1* der *Zugmodus* und die Konstruktion von *Ortslinien* implementiert. Eine Erstellung von Makros ist in dieser Version noch nicht möglich.

Ein wesentliches und gleichzeitiges besonderes Merkmal von *Cinderella.1* ist die diesem Programm zugrunde liegende *mathematische Konsistenz*. Sie spielt gerade im Kontext von Interaktivität eine wichtige Rolle und wird in Kapitel 6.4.4 vertiefend behandelt.

Eine weitere Besonderheit von *Cinderella.1* ist die eigene integrierte Umgebung zur Erstellung von Übungsaufgaben auf der Grundlage einer zuvor durchgeführten geometrischen Konstruktion. Hierbei kann eine Auswahl über die geometrischen Operationen (Knöpfchen der Toolbar) getroffen werden, die zum Lösen der Aufgabe zur Verfügung gestellt werden sollen. Die Aufgabe kann in mehrere Einzelschritte untergliedert werden, wobei zu jedem Schritt Hilfstexte eingegeben werden können. Diese lassen sich dann bei der Bearbeitung der Aufgabe bei Bedarf und auf Wunsch abrufen. Zudem ist es möglich, hier bestimmte Zeitspannen und Wartezeiten vorzugeben, so dass ein einfaches „Durchklicken“ verhindert werden kann. Abbildung 6.8 zeigt die Konstruktion einer Übungsaufgabe in der dafür konzipierten Umgebung von *Cinderella.1*.

Somit ermöglicht *Cinderella 1.4* das Erstellen tutorieller Aufgaben, wobei die tutorielle Begleitung zuvor bei der Erstellung vom Konstrukteur der jeweiligen Aufgabe einzugeben ist. Dennoch wird eine richtige Lösung einer solchen Aufgabe auch dann vom Programm als solche erkannt, wenn sie *nicht* nach dem vorgegebenen Lösungsweg gefunden wurde. Dies geschieht mithilfe eines *automatischen Beweisers*, der bei *Cinderella.1* im Hintergrund arbeitet (siehe Abbildung 6.9).

In dieser Version von *Cinderella* lassen sich geometrische Konstruktionen bereits per Knopfdruck in eine HTML-Seite verwandeln, welche die erstellte Konstruktion als Applet enthält. Die Dynamik der Konstruktion bleibt dabei voll erhalten. *Cinderella.1* bietet somit einen sehr einfachen und sehr schnellen Internet-Export an.

Cinderella.2

Cinderella.2 spiegelt die Erweiterung von *dynamischer Geometrie* zu *dynamischer Mathematik* wider: Aus mathematischer Sicht wurde die dynamische Geometrie dabei beispielsweise um *Fraktale*, *Transformationen* und *Transformationsgruppen*, *Funktionen*, *Diskrete Mathematik*, *Simulationen* sowie *Skizzenerkennung* bereichert (siehe Abbildung 6.11, S.367).

Alle genannten Aspekte finden eine Umsetzung in *Cinderella.2*. Dabei wurde auch der ursprüngliche geometrische Baustein um viele Funktionen erweitert. So sind nun beispielsweise Kreisbögen oder Winkelmarkierungen möglich und die Erstellung und Konstruktion von *Makros*.

Unter der Rubrik *Transformationen* bietet *Cinderella.2* nun nicht nur *Spiegelungen*, *Drehungen* und *Verschiebungen* an, sondern auch *affine*, *projektive* und *Moebius-Transformationen* sowie *Ähnlichkeitsabbildungen*. Transformationen können miteinander verknüpft und invertiert, *Transformationsgruppen* berechnet und dargestellt werden. *Iterierte Funktionensysteme* ermöglichen die Generierung von *Fraktalen*. Mit *Cinderella.2* lassen sich Funktionen über ihre Funktionsgleichungen eingeben

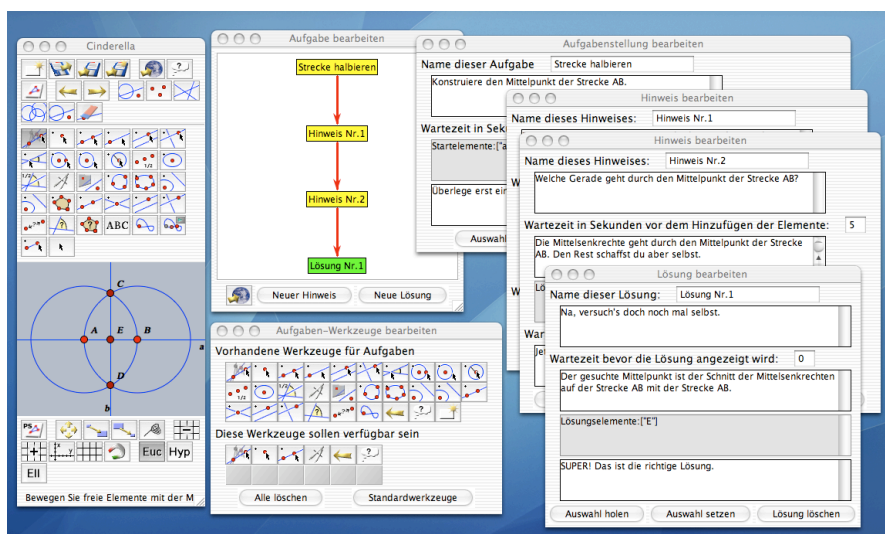


Abbildung 6.8: Konstruktion einer Aufgabe mit *Cinderella 1.4*: **Links:** Fenster mit der geometrischen Konstruktion des Mittelpunktes einer vorgegebenen (dynamisch veränderbaren) Strecke AB . **Mitte oben:** Übersichtsfenster zur Konzipierung der Aufgabe in einzelnen Aufgabenteilen. **Mitte unten:** Fenster zur Auswahl der Konstruktionselemente, die zur Bearbeitung der Aufgabe zur Verfügung stehen sollen. **Rechts:** Fenster zur Beschreibung und Ausarbeitung der einzelnen Konstruktionsschritte und damit verbundener Hilfen.

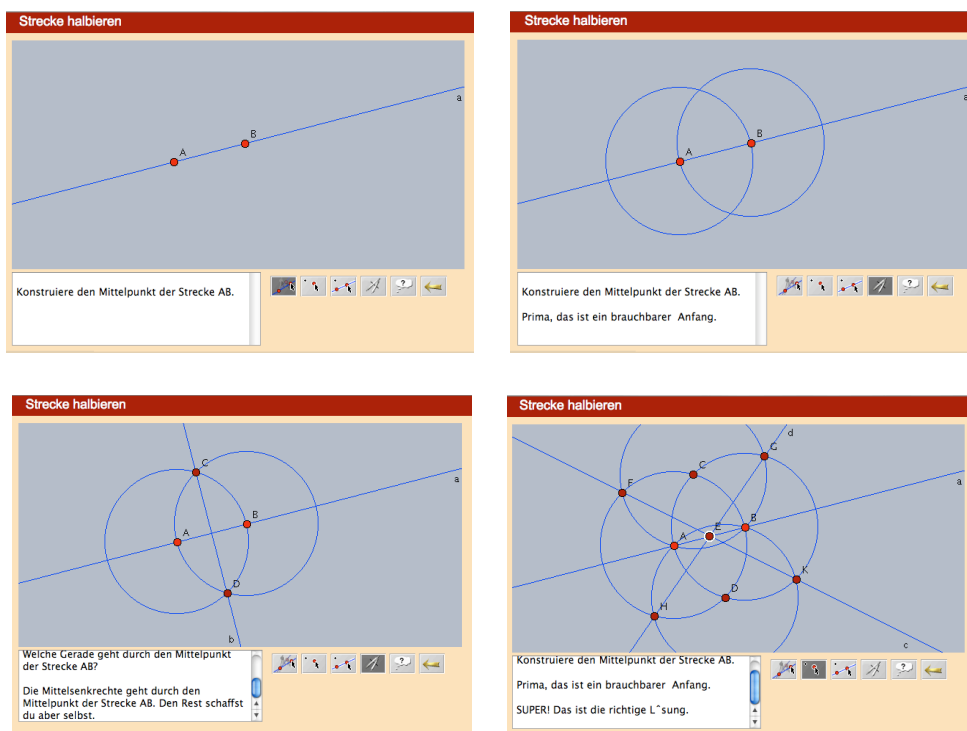


Abbildung 6.9: Bearbeitung einer mit *Cinderella 1.4* erstellten Übungsaufgabe: Die beiden Bilder oben und das Bild unten links zeigen (in dieser Reihenfolge) Screenshots einer schrittweisen Bearbeitung der Aufgabe, wobei nach dem Zeichnen der beiden Kreise die Hilfefunktion zweimal nacheinander in Anspruch genommen wurde: Zuerst, um einen Hinweis zu erhalten, dann nochmals, um diesen Hinweis ausgeführt zu sehen. Das Bild unten rechts zeigt eine alternative Lösung zur Konstruktion des Streckenmittelpunktes, der nicht der vorgegebenen Lösung entspricht. Dennoch erkennt *Cinderella 1.4* die Richtigkeit der Lösung (Quelle: Aufgabensammlung aus *Cinderella Geometrie - Klasse 5-10*, Heureka-Klett, 1999)

Cinderella.2 Examples

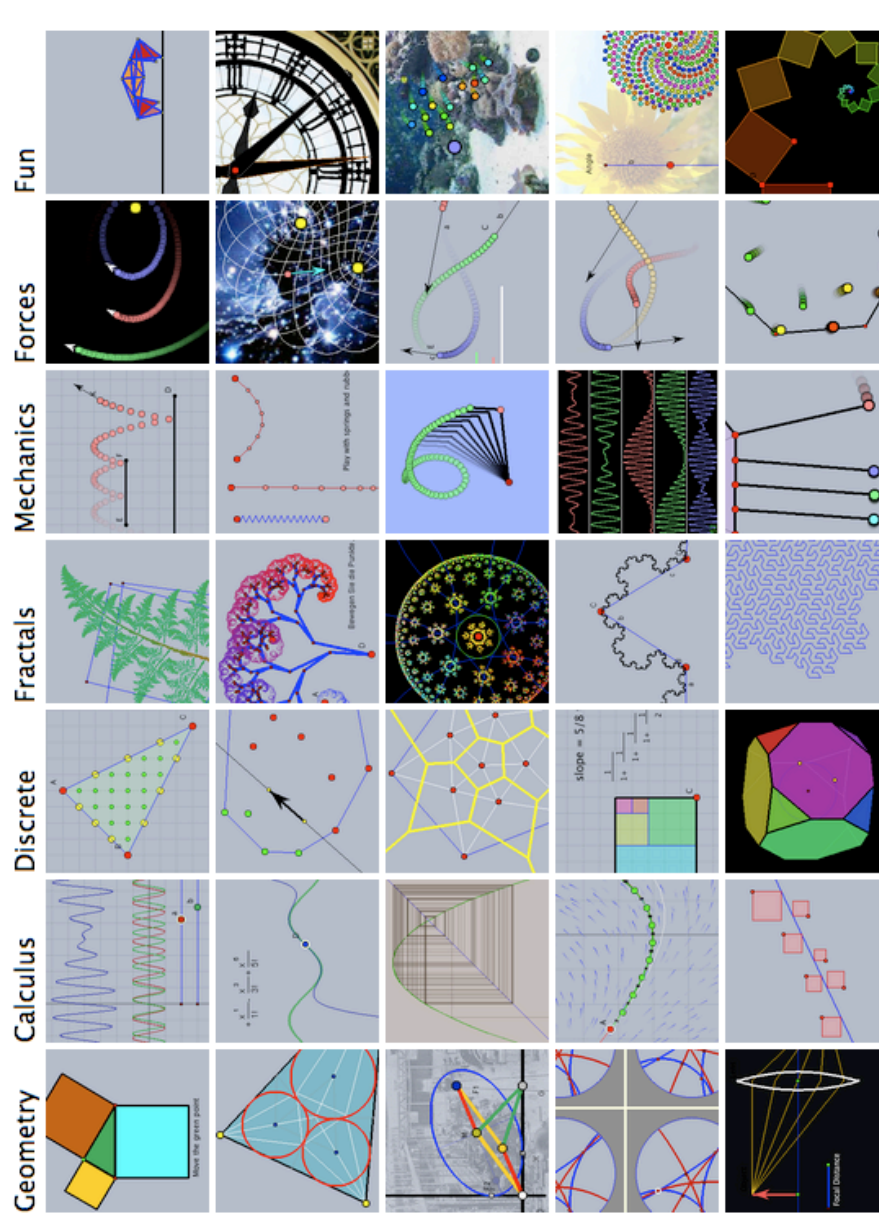


Abbildung 6.10: Beispiele für mit *Cinderella.2* erstellte Applets aus verschiedenen Bereichen (Quelle: <http://cinderella.de/files/HTMLDemos/>)

und darstellen. Beispiele aus der Analysis und Numerik, die sich mit *Cinderella.2* umsetzen und darstellen lassen sind *Taylorentwicklung*, *Chaotische Iterationen*, *Numerische Integration* und *Lineare Regression*.

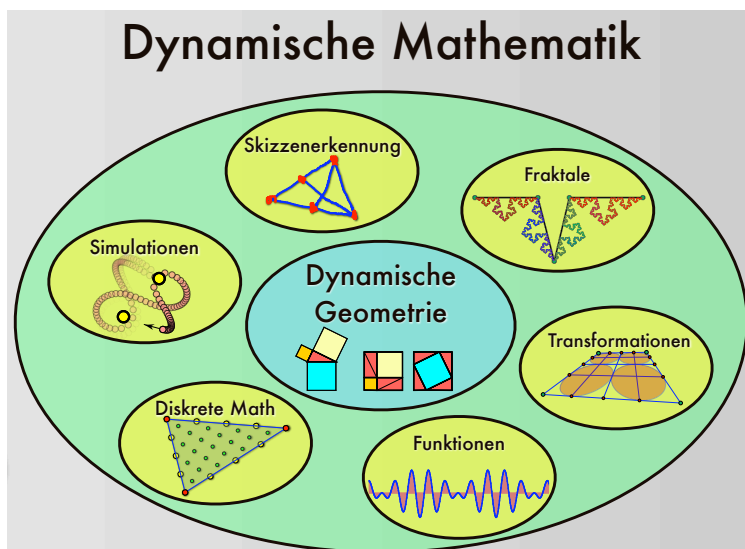


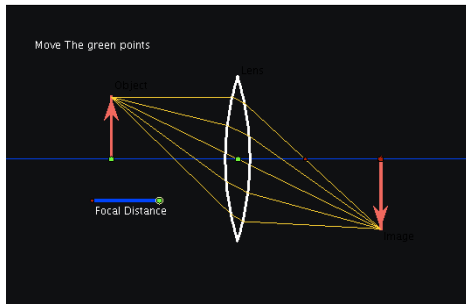
Abbildung 6.11: *Dynamische Geometrie und Dynamische Mathematik:* Exemplarische Erweiterung des ursprünglichen Kontextes (Richter-Gebert, 2007a)

Im Bereich der Diskreten Mathematik lassen sich beispielsweise Algorithmen zur Berechnung und Darstellung der *konvexen Hülle* oder des *Voronoi-Diagramms* einer Punktemenge konstruieren.

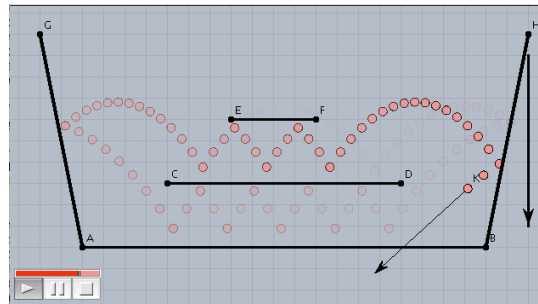
Mit *CindyLab* ist eine Umgebung für *Physik-Simulationen* geschaffen worden. Hier kann unter anderem mit *Punktmassen*, *Federn*, *Kräften* sowie *Sonnen* und *Planeten* experimentiert werden. Die Darstellung von *Feldlinien* ist dabei ebenso möglich wie die Konstruktionen von *Planetenbahnen* in einem Sonnensystem. Dabei lassen sich die entsprechenden Elemente einfach „hinmalen“ und dann per Knopfdruck physikalisch aktivieren und verändern. Abbildung 6.12 zeigt hierzu einige Screenshots interaktiver Beispiele, die mit *Cinderella.2* erstellt wurden.

Die *Skizzenerkennung* ist eine besondere Komponente von *Cinderella.2*. Sie erlaubt das Zeichnen von geometrischen Figuren „frei Hand“, d.h. es kann zum Beispiel mit einem entsprechenden „Stift“ auf einer elektronischen Tafel eine Skizze wie auf einer Wandtafel gezeichnet werden. *Cinderella.2* erkennt entsprechende „Linien“ als Geraden und Kreise und kann mit diesen genauso exakt umgehen wie mit den üblicherweise mit der Maus über das Menü des Programms erstellten geometrischen Objekten. Dabei lassen sich die Objekte nicht nur im so genannten *Scribblemode* zeichnen, sondern es kann auch mit ihnen in diesem Modus gearbeitet werden, d.h. es können beispielsweise Senkrechten konstruiert oder Winkel gemessen werden.

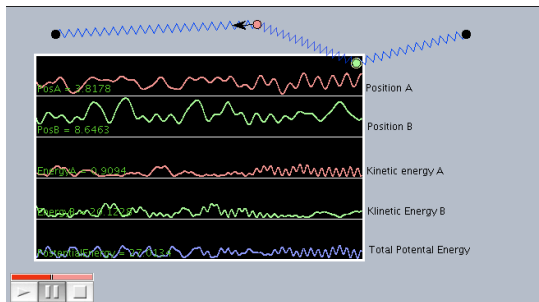
Abbildung 6.10 gibt mit der Beispielseite der Homepage von *Cinderella* (<http://cinderella.de>) einen kleinen Einblick in die Möglichkeiten von *Cinderella.2*. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den jeweiligen Bildern um Links zu interaktiven Applets handelt.



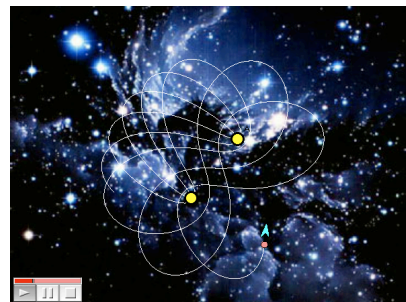
Optics



A Bouncing Ball



Coupled Pendulum



Two suns and one planet

Abbildung 6.12: Beispiele von Physik-Simulationen mit *Cinderella.2*(Quelle: <http://cinderella.de/files/HTMLDemos/>)

Neben diesen mathematischen Erweiterungen bietet *Cinderella.2* ein zusätzliches Angebot an Optionen für das „Look and Feel“: So lassen sich beispielsweise die einzelnen geometrischen Objekte durch zahlreiche Einstellmöglichkeiten persönlichen Wünschen anpassen. Mit *CindyTeX* wird ein Formelsatz zur Verfügung gestellt, der die Bezeichnung von Elementen einer Konstruktion und die Eingabe von Text in *LaTeX* erlaubt. Hintergrundbilder können eingebunden und einzelne Elemente mit Bildern oder Fotos verknüpft werden, so dass reale Gegenstände wie beispielsweise ein Rechenschieber als solche auf dem Bildschirm dargestellt werden können, dennoch aber einer „schematischen“ geometrischen Konstruktion folgen (siehe Abbildung 6.13).

Viele dieser Applets greifen dabei auf die in *Cinderella.2* neu implementierte Skriptsprache *CindyScript* zurück bzw. werden durch diese in ihrer Feinheit und Vielseitigkeit erst möglich. *CindyScript* ist eine funktionale Sprache, die freies Programmieren erlaubt. Sie bildet die Schnittstelle zu Geometrie und Physik und bietet dabei individuelle Funktionalität (Richter-Gebert, 2007a).

Wesentliche Merkmale von *CindyScript* sind, dass sie einer einfachen Syntax folgt, sich geometrische Sachverhalte und Anweisungen einfach und schnell implementieren lassen, dabei keine Typendeklarationen verwendet werden muss und diese Skriptsprache insofern auch leicht erlernbar ist (Richter-Gebert, 2007a). Abbildung 6.14 zeigt beispielsweise links den *CindyScript*-Code für das rechts entstandene Fraktal in Form einer Pflanze. Mit *CindyScript* muss nach Richter-Gebert (2007a) „nur das Nötigste“ geskriptet werden, um anspruchsvolle Ergebnisse zu erzielen. *Cinderella.2*



Abbildung 6.13: Multiplizieren mit dem Rechenschieber - ein mit *Cinderella.2* erstelltes Applet zur Funktionsweise des Rechenschiebers (Quelle: http://www-m10.ma.tum.de/twiki/bin/view/Lehre/Bsp7_1)

```
list(x):=(
  gsave();
  repeat(length(x),
    turtle(x_#));
  grestore();
);

turtle(x):=(
  (if(x=="F",foreward));
  (if(x=="+",left));
  (if(x=="-",right));
  (if(x=="[",open));
  (if(x=="]",close));
);

foreward:=(draw((0,0),(1,0));
  translate((1,0)));
left:=rotate(angle);
right:=rotate(-angle);
open:=gsave();
close:=grestore();

l=0.2;
angle=A.x/4;

n=4;
s="F";
repeat(n,s=replace(s,
  "F","F[+F]F[-F]F"));

rotate(pi/2);
list(s)
```

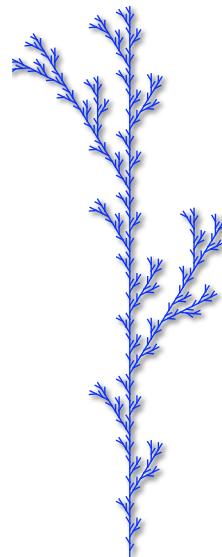


Abbildung 6.14: Beispiel für eine Konstruktion mit *CindyScript* (Richter-Gebert, 2007a)

dient dabei als Ein- und Ausgabe, was bedeutet, dass auf die Koordinaten und Informationen konstruierter Punkte, Geraden und allgemein geometrischer Objekte mit *CindyScript* zugegriffen werden kann und mit *CindyScript* daraufhin erstellte Berechnungen wieder im Rahmen von *Cindella.2* dargestellt werden. *CindyScript* kann somit bewegen, Werte lesen sowie zeichnen und ist damit ein mächtiges Werkzeug zur Steuerung der Interaktion von Applets.

So lassen sich beispielsweise interaktive Applets von geometrischen Konstruktionen erstellen, bei denen besonders interessante Spezialfälle der gegebenen Konstruktion per Knopfdruck auf animierte Art und Weise angesteuert werden können. Dabei bleibt der Zugmodus jedoch voll erhalten, so dass vor und nach einem Ausführen des Spezialfalles der Anwender wieder selbst mit der Konstruktion experimentieren kann. Dadurch können beispielsweise lange Erklärungen in Textform zur Bearbeitung eines Applets vermieden werden, indem der Anwender verschiedene Sonderfälle direkt optisch nachvollziehen kann. Insbesondere lässt sich die Aktivierung solcher Sonderfälle auch von außen über einen entsprechenden Befehl im Rahmen einer HTML-Seite ansteuern. Dies unterstützt die Begleitung eines Lernenden bei der Bearbeitung eines solchen Applets (siehe Abbildung 6.15).

Bild eines Ursprungskreises unter einem Polynom

Hier kann man das Bild eines Ursprungskreises unter einem Polynom

$$f(z) := a + bz + cz^2 + dz^3 + ez^4$$

betrachten. Die Parameter a, b, c, d, e sind frei bewegbar.

Ist der Kreis , so dominiert der lineare Term und das Bild des Kreises ist ein sehr kleiner Kringel um den Punkt a . Ist hingegen der Ursprungskreis , so dominiert der Term mit der höchsten Potenz. In diesem Falle wird das Bild des Ursprungskreises den Nullpunkt mehrmals umlaufen.

Für einen geeigneten Zwischenwert, trifft das Bild des Kreises den Ursprung. Auf dem Kreis der diesem Zwischenwert entspricht, muss es eine Nullstelle des Polynoms geben. Mit ein wenig formalem Aufwand kann man dieses Argument zu einem Beweis des Fundamentalsatzes der Algebra ausbauen: *Jedes Polynom hat wenigstens eine komplexe Nullstelle.*

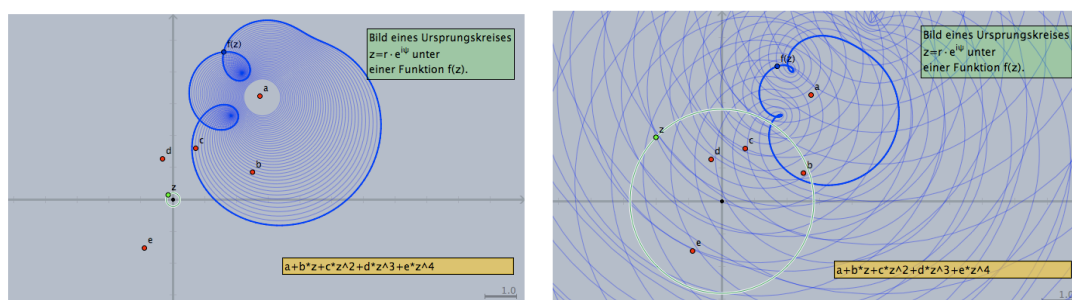


Abbildung 6.15: Ansteuerung von Sonderfällen mit *Cindella.2*: Wird der Knopf mit der Aufschrift *sehr klein* gedrückt, bewegt sich die Darstellung mit Animation der Zwischenschritte auf diesen Sonderfall zu, analog bei dem Knopf mit der Aufschrift *sehr groß*. Dabei wird aus der gerade vorhandenen Darstellung heraus gestartet. Davor und danach kann der Betrachter selbst interaktiv mit dem Applet arbeiten, was in diesem Beispiel bedeutet, die Kreisgröße verändern sowie den Punkt z auf dem Kreis bewegen zu können. (Quelle: <http://www-m10.ma.tum.de/twiki/bin/view/Lehre/Bsp10.8>)

Generell bietet *CindyScript* viele Möglichkeiten für *Funktionsplotting und Rechnen*, die *grafische Gestaltung* von Elementen, Konstruktionen und Applets, die *Steue-*

rung verschiedenster Elemente oder auch für *Formelsatz* und *Spieleprogrammierung* (Richter-Gebert, 2007a), wobei dies nur eine Auswahl aus vielen weiteren Einsatzformen darstellt.

Mit den oben dargestellten Funktionen sind die Möglichkeiten von *Cinderella* dennoch nicht erschöpft. *Cinderella* wird stetig weiterentwickelt und um neue Funktionen erweitert. Gerade ganz neu ist beispielsweise die Komponente *Syntherella*, die einen Bezug zur Musik herstellt: Mit *Syntherella* können Töne produziert, Harmonien erzeugt und gleichzeitig als Tonsignale dargestellt werden. Damit ließen sich beispielsweise Projekte mit den Überschriften *Tastaturklavier*, *Harmonielehre*, *Programmierung von Kanons*, *Physik der Töne* oder den Hintergründen zu *reiner Stimmung* durchführen. Zudem sind weitere Schnittstellen wie beispielsweise zu *Lego* und *Mathematica* angedacht.

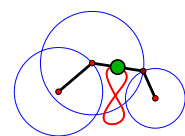
6.4.4 Interaktivität versus Interaktivität

Eine der wichtigsten Anforderungen an eine dynamische Geometriesoftware, die im vorangegangenen Kapitel 6.4.3, S.363, bereits angesprochen worden ist, sollte eine *hohe mathematische Konsistenz* in der Darstellung und dem dynamischen Verhalten der geometrischen Konstruktionen sein. Hier lassen sich jedoch von Programm zu Programm erhebliche Unterschiede feststellen.

Ein sehr einfaches, aber eindrucksvolles Beispiel zur Verdeutlichung der Bedeutung mathematischer Konsistenz ist die Konstruktion von Winkelhalbierenden. Grundsätzlich gibt es immer zwei verschiedene Möglichkeiten, die Winkelhalbierende zweier sich schneidender Geraden einzuzichnen. Während der Anwender sich für eine dieser beiden Möglichkeiten entscheidet und erwartet, dass seine Wahl auch und vor allem im *Zugmodus* erhalten bleibt, muss das Programm stets entscheiden, welche der beiden Winkelhalbierenden darzustellen ist. Dies kann je nach mathematischer Modellierung zu Problemen führen. Dementsprechend ist bei manchen Programmen ein sprunghafter Wechsel der Winkelhalbierenden von der einen zur anderen möglichen Position zu beobachten.

Dies kann bei Konstruktion der beiden Geraden als Geraden durch je zwei Punkte, von denen jeweils einer der beiden Punkte der Schnittpunkt der beiden Geraden ist (siehe erstes Bild links in Abbildung 6.16) beispielsweise dann der Fall sein, wenn der zweite Konstruktionspunkt einer der beiden Geraden durch den Schnittpunkt der beiden Geraden bewegt wird. Zwei identische Punkte definieren keine Gerade; durch das Hindurchziehen des zweiten Punktes durch den Schnittpunkt wird somit die Gerade zunächst eliminiert und dann deren Orientierung (bezüglich der beiden Punkte) umgekehrt, was zu besagtem sprunghaftem Wechsel der Darstellung der Winkelhalbierenden führen kann. Dieser Effekt tritt bei *Cinderella* nicht auf (siehe Abbildung 6.16).

Ein ähnliches Problem entsteht, wenn der Vorgang des Winkelhalbierens iteriert wird und anschließend eine der beiden ursprünglichen Geraden um den gemeinsamen Schnittpunkt aller Geraden gedreht wird: Abbildung 6.17 zeigt diese Konstruktion in einer dreifachen Iteration und Screenshots der Zugmodus-Ausführung mit



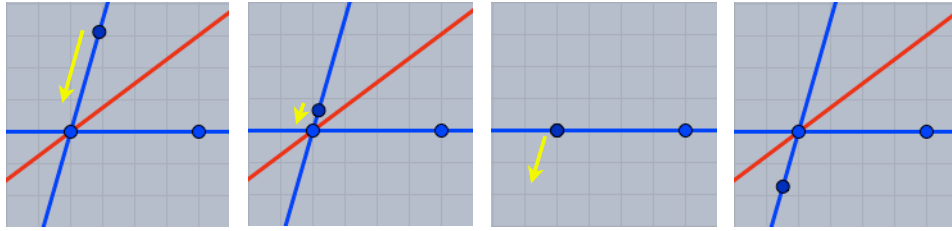


Abbildung 6.16: Konstruktion einer Winkelhalbierenden mit *Cinderella*: Auch wenn einer der beiden Punkte, die die Gerade definieren, im Zugmodus durch den Schnittpunkt der beiden Geraden gezogen wird, bleibt - trotz kurzzeitigem Verschwinden der einen Geraden - die ursprüngliche Winkelhalbierende erhalten.

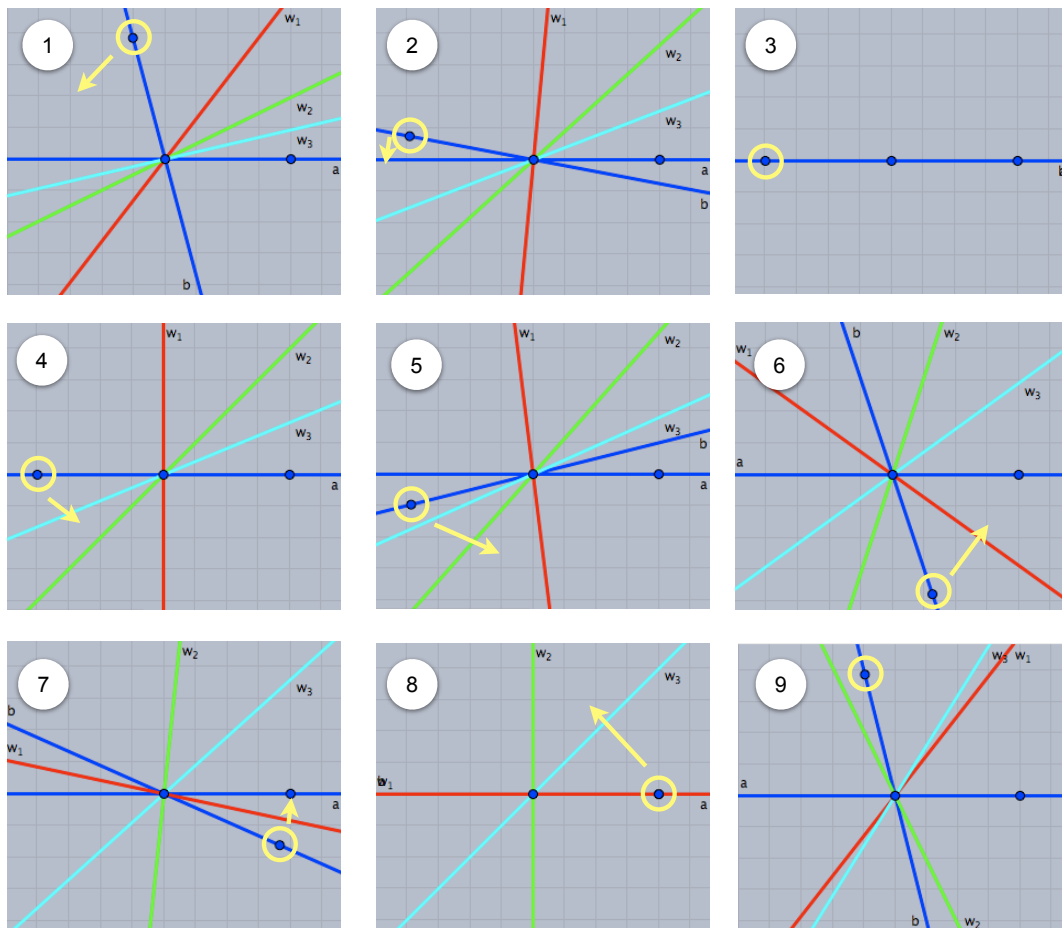


Abbildung 6.17: Iterierte Winkelhalbierende mit *Cinderella*: **Bild 1:** Zuerst wird die rote Winkelhalbierende w_1 der beiden blauen Geraden a und b konstruiert, dann die grüne Winkelhalbierende w_2 der beiden Geraden w_1 und a , dann die hellblaue Winkelhalbierende w_3 der beiden Geraden w_2 und a . **Bild 2 - Bild 9:** Die blaue Gerade b wird einmal um 360° um den Schnittpunkt der Geraden gedreht - die Winkelhalbierenden verhalten sich jeweils entsprechend mathematisch konsistent (vergleiche Bild 1 und Bild 9): die rote Winkelhalbierende w_1 dreht sich um 180° , die grüne Winkelhalbierende w_2 um 90° , die hellblaue Winkelhalbierende w_3 um 45° .

Cinderella.

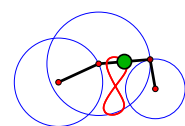
Alle geometrischen Objekte bewegen sich hier kontinuierlich. Der Fall identischer Geraden a und b in Bild 3, bei dem alle Winkelhalbierenden vorübergehend nicht mehr existieren (und der im Übrigen nur mit Fingerspitzengefühl so einzustellen ist), führt nicht zu einem sprunghaften Wechsel der verschiedenen Winkelhalbierenden, sondern zeigt sogar das Bild an, das eigentlich „erwartet“ wird (Bild 4) und setzt sich dann „erwartungsgemäß“ fort (Bild 5). Wird die Gerade einmal ganz herumgedreht, entsteht *nicht* das Bild der Ausgangssituation (vergleiche hierzu Bild 1 und Bild 9): Wird die eine der beiden Geraden mit konstanter Drehgeschwindigkeit ω gedreht, so läuft die erste Winkelhalbierende mit Geschwindigkeit $\omega/2$, die zweite Winkelhalbierende mit Geschwindigkeit $\omega/4$ und die dritte Winkelhalbierende mit Geschwindigkeit $\omega/8$ um den Schnittpunkt herum - wie die Screenshots in Abbildung 6.17 zeigen.

Andere dynamische Geometrie-Programme zeigen hier oft sprunghafte Wechsel der verschiedenen Winkelhalbierenden bzw. springen beim Erreichen der ursprünglichen Konstellation wieder in die anfängliche Konstruktion zurück. Sind solche „springenden Geraden oder Punkte“ zusätzlich Grundlage für weitere Konstruktionen, kann dies zu entsprechendem Springen oder Verschwinden dieser Folgekonstruktionen führen.

Das Verhalten von *Cinderella* scheint hier eine höhere „mathematische Konsistenz“ zu haben, da das Springen von Elementen vermieden wird. Andersherum kann aber auch die Frage gestellt werden, ob es nicht vielmehr „mathematisch konsistent“ wäre, wenn gleiche geometrische Konstellationen zu gleichen Darstellungen führen, und *Cinderella* gerade deswegen *nicht* „mathematisch konsistent“ ist, weil dieselbe geometrische Konstellation hier zu verschiedenen Darstellungen führt.

An exakt dieser Stelle ist innezuhalten und bewusst die Frage zu stellen: Was genau *ist* eigentlich *mathematische Konsistenz*? Das Besondere an dieser Frage ist, dass sie sich nicht allgemein beantworten lässt. Mathematische Konsistenz in dynamischer Geometriesoftware ist abhängig von der ihr zugrunde liegenden mathematischen Modellierung: In dem in Abbildung 6.16 dargestellten Beispiel der verschwindenden und dann gegebenenfalls springenden Winkelhalbierenden verhält sich eine springende Winkelhalbierende „mathematisch konsistent“, wenn ihr eine Modellierung zugrunde liegt, die mithilfe der Orientierung von geometrischen Objekten eine Entscheidung über darzustellende Elemente trifft. Andersherum ist die natürliche Erwartungshaltung in diesem speziellen Fall wahrscheinlich eine andere.

Insofern ist die ursprüngliche Frage wie folgt zu erweitern: Was genau ist *sinnvolles mathematisches Verhalten*? Und auch diese Frage ist erwartungsgemäß nicht allgemeingültig beantwortbar. Während das Beispiel mit der Winkelhalbierenden in Abbildung 6.16 eines ist, bei dem sich die Frage nach einem sinnvollen mathematischen Verhalten im Zugmodus noch relativ einfach beantworten lässt, gibt es andere Beispiele, bei denen das nicht der Fall ist: Durch die beiden Schnittpunkte zweier sich schneidender Kreise kann eine Gerade gelegt werden. Was soll mathematisch sinnvoll mit der Schnittgeraden passieren, wenn die beiden Kreise im Zugmodus voneinander wegbewegt werden? In dem Moment, da sich die beiden Kreise nur



noch berühren, wird durch zwei identische Punkte keine Gerade mehr definiert. Ist es insofern sinnvoll, die Tangente trotzdem zu zeichnen? Werden die beiden Kreise in einem zweiten Schritt so weit voneinander entfernt, dass sie sich nicht mehr berühren, existieren dennoch zwei komplexe Schnittpunkte, durch die eine reelle Gerade gelegt werden kann. Ist es sinnvoll, diese zu zeichnen? Und wenn ja, ist es dann nicht auch sinnvoll, die Tangente zum Zeitpunkt der Berührungspunkte zu zeichnen, um eine kontinuierliche Bewegung der Schnittgeraden zu erhalten?

Eine Beantwortung dieser Fragen hängt wiederum stark von dem mathematischen Hintergrund und dem mathematischen Verständnis desjenigen ab, der sie beantworten soll. Wenn Mathematik im Rahmen einer dynamischen Geometriesoftware in der Euklidischen Ebene betrieben wird, stellt sich beispielsweise die Frage, inwieweit komplexe Zahlen und komplexe Schnittpunkte von geometrischen Objekten hierbei wirklich zu berücksichtigen sind. Richter-Gebert (2007a) erinnert in diesem Zusammenhang an die „*Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus*“ von Felix Klein (1849-1925, siehe kle (1968); Klein (1968b,a), Originalausgaben 1908,1909,1902) Um scheinbar „einfache Dinge“ (wie die beiden Beispiele in Abbildung 6.16 und Abbildung 6.17) auf einem hohen mathematischen Niveau konsistent zu halten, ist manchmal die Verwendung tiefer Mathematik notwendig.

Vorab ist jedoch immer für die Grundlage der mathematischen Modellierung die Frage zu klären, welches Verhalten unter mathematischer Konsistenz zu verstehen ist. Kortenkamp und Richter-Gebert (2001) formulieren für *Cinderella* folgende Grundforderungen:

- ▷ GRUNDFORDERUNG 1 (OBJEKTIDENTITÄT):
*In jeder Instanz einer Konstruktion sollen existente Objekte der während der Konstruktion festgelegten Typisierung gehorchen.
Kurz gesagt: Ein Punkt ist ein Punkt und bleibt ein Punkt.*
- ▷ GRUNDFORDERUNG 2 (RELATIONSKONSISTENZ):
Jede vom DGS [Dynamisches Geometrie-System] gezeigte Instanz einer Konstruktion soll den durch die Konstruktion gegebenen Relationen genügen.
- ▷ GRUNDFORDERUNG 3 (DETERMINISMUS):
Ein DGS soll sich deterministisch verhalten: Bei der Ausführung der gleichen Bewegung von der gleichen Ausgangssituation aus soll man immer in der gleichen Endsituation anlangen.
- ▷ GRUNDFORDERUNG 4 (KONTINUITÄT):
Für eine Konstruktion sollen unter einem linearen Weg der freien Elemente die Wege der abhängigen Elemente keine nichthebbaren Unstetigkeiten enthalten. (Kortenkamp und Richter-Gebert, 2001)

Um diese Anforderungen zu erfüllen und damit letztlich derart „einfache Dinge“ wie in den oben vorgestellten Beispielen in diesem Sinne mathematisch konsistent darstellen zu können, greift *Cinderella* auf tiefe Mathematik zurück: *Projektive Geometrie* ermöglicht durch *Punkte im Unendlichen* und *homogene Koordinaten* letztlich eine Vereinfachung vieler Spezialfälle (beispielsweise besitzen parallele Geraden nach

wie vor einen Schnittpunkt, nur liegt dieser nun im Unendlichen); *komplexe Analysis* und die Navigation auf *Riemannschen Flächen* erlauben ein Umfahren von Singularitäten, wodurch insbesondere reell nicht mehr existierende Schnittpunkte intern komplex noch vorhanden sind und insofern wieder dargestellt werden können, sobald sie wieder reell werden. Zudem wird die *Vorgeschichte einer Konstruktion* berücksichtigt, um spontane Wechsel in einer Darstellung zu vermeiden (Richter-Gebert und Kortenkauf, 2001). Eine detaillierte Beschreibung der mathematischen Modellierung von *Cinderella* findet sich in Kortenkauf und Richter-Gebert (2001) sowie Richter-Gebert und Kortenkauf (2002).

Der Zusammenhang zwischen mathematischer Konsistenz bzw. zugrunde liegendem mathematischem Modell und Interaktivität besteht nun darin, dass die *programm-intrinsische Interaktivität* mit der mathematischen Konsistenz zunimmt. Die programmintrinsische Interaktivität bezeichnet dabei die „dem Programm ineliegende Interaktivität“, die durch die besondere Beschaffenheit des jeweiligen Programms erst möglich wird (siehe auch Kapitel 6.3, S. 354). Beispielsweise lassen sich mit *allen* dynamischen Geometrieprogrammen geometrische Konstruktionen erstellen und im Zugmodus bewegen - insofern erfüllen sie alle die Stufe V in der Taxonomie nach Schulmeister (2005, siehe Kapitel 6.3, S.351)). Die bisherigen Beispiele haben jedoch bereits Unterschiede in der Ausführung gezeigt, was wiederum einen Einfluss auf die Interaktion mit dem mathematischen Sachverhalt nimmt: Je höher die programmintrinsische Interaktivität, umso mehr Möglichkeiten sind dem Anwender zu einer intensiven interaktiven Auseinandersetzung mit dem jeweiligen geometrischen Kontext gegeben.

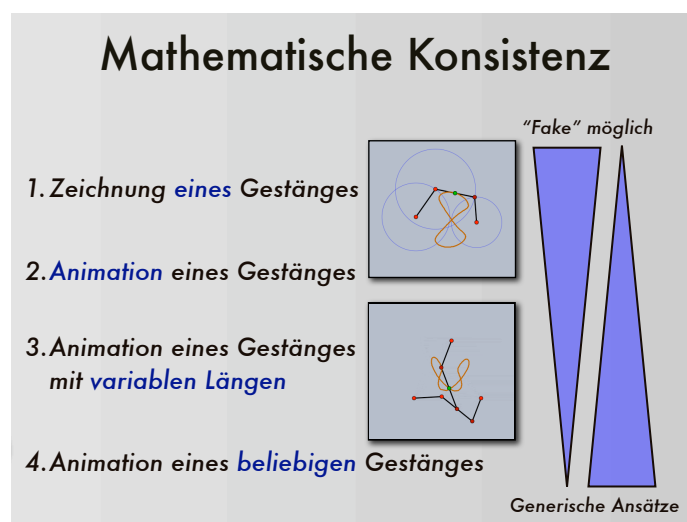
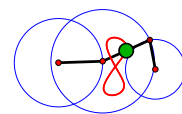


Abbildung 6.18: Unterschiedliche Ebenen mathematischer Konsistenz am Beispiel eines Gestängemechanismus (Richter-Gebert, 2007a)

Verschiedene Stufen mathematischer Tiefe und damit verbundener mathematischer Konsistenz sowie programmintrinsischer Interaktivität sollen am Beispiel der Konstruktion eines Gestängemechanismus' verdeutlicht werden. Richter-Gebert (2007a) unterscheidet hier vier unterschiedliche Stufen (siehe Abbildung 6.18). Diese werden im Folgenden erläutert.



Ein Gestängemechanismus besteht aus mehreren durch ein zweidimensionales Gelenk miteinander verbundenen Stangen, die in der Ebene so weit bewegbar sind, wie es die Konstruktion der jeweiligen Verbindungen zulässt. Abbildung 6.19 zeigt das Modell eines solchen mit *Cinderella* konstruierten Gestängemechanismus, der aus drei voneinander abhängigen Stangen besteht.

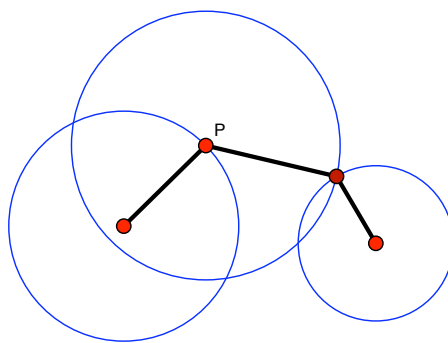


Abbildung 6.19: Gestängemechanismus mit drei Stangen: Konstruktion des Mechanismus aus drei Kreisen und drei Strecken; die Mittelpunkte der beiden Kreise links und rechts sind frei sowie Punkt P als Mittelpunkt des mittleren Kreises.

Im Prinzip bedarf es keines mathematischen Hintergrundes, wenn der Gestängemechanismus lediglich *gezeichnet* werden und als starres Bild zur Verfügung stehen soll. Eine solche Zeichnung kann theoretisch mit jedem Malprogramm erstellt werden. Wird ein solches Bild eines Gestängemechanismus' jedoch mit einer dynamischen Geometriesoftware erstellt, bekommt dieses Bild bereits eine höhere mathematische Qualität: Strecken und Punkte sind gleichermaßen aufeinander abgestimmt (beispielsweise können Strecken nicht „überstehen“ oder Punkte einmal „vor“ und einmal „hinter“ der Linie liegen), Kreise sind immer rund (und können zum Beispiel nicht versehentlich verzerrt werden) und vor allem liegen die Schnittpunkte der Kreise am mathematisch korrekten Ort. Im Rahmen einer dynamischen Geometriesoftware kann auf eine solche Zeichnung auch immer der Zugmodus angewendet werden, womit gleich mehrere Gestängemechanismen desselben Typs dargestellt werden und sich gegebenenfalls abfotografieren lassen können.

Gleichzeitig muss das Programm im Zugmodus im in Abbildung 6.19 gegebenen Beispiel aber jeweils entscheiden, welchen der beiden möglichen Schnittpunkte es vom mittleren mit dem rechten Kreis anzuzeigen hat. In dem Moment, da der mittlere Kreis im Zugmodus derart verkleinert wird, dass es keinen (reellen) Schnittpunkt mit dem rechten Kreis mehr gibt, verschwindet folgerichtig der Gestängemechanismus und wird erst wieder sichtbar, wenn sich die entsprechenden beiden Kreise wieder berühren bzw. schneiden. Abbildung 6.20 zeigt das Verhalten von *Cinderella* in diesem Fall. Dabei ist die Wahl des „anderen“ Schnittpunktes beim erneuten Schneiden der Kreise ein im Sinne des *Cinderella* zugrunde liegenden mathematischen Modells konsistentes Verhalten: Der ausgewählte Schnittpunkt umwandert im Komplexen die Singularität und kommt entsprechend „von der anderen Seite“ zurück. Andere dynamische Geometrieprogramme liefern bei dieser Ausführung im Zugmodus

wieder denselben Schnittpunkt.

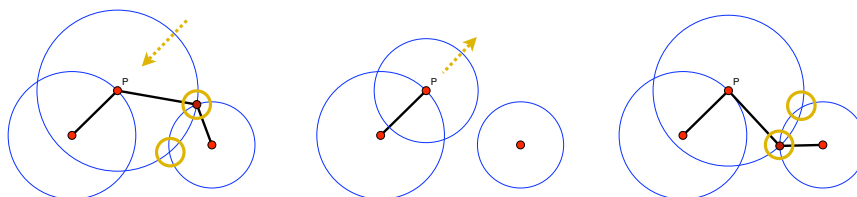


Abbildung 6.20: Gestängemechanismus mit drei Stangen: Wird der Radius des mittleren Kreises verkleinert, verschwindet der Gestängemechanismus; wird der Radius anschließend wieder vergrößert, wird der Gestängemechanismus wieder sichtbar. Dabei wird der „andere“ Schnittpunkt ausgewählt, was einer mathematischen Konsistenz des *Cinderella* zugrunde liegenden Modells entspricht.

Ein ähnliches Verhalten lässt sich beobachten, wenn der freie Punkt P entlang der Kreislinie bewegt wird, auf der er liegt (siehe Abbildung 6.21): Wird Punkt P auf der Kreislinie gegen den Uhrzeigersinn so weit bewegt, dass der mittlere Kreis zu weit vom rechten Kreis wegrückt, als dass er sich noch mit ihm schneiden könnte, verschwindet folgerichtig der Gestängemechanismus, um bei einer Bewegung von Punkt P zurück (im Uhrzeigersinn) mit dem „anderen“ Schnittpunkt wieder sichtbar zu werden.

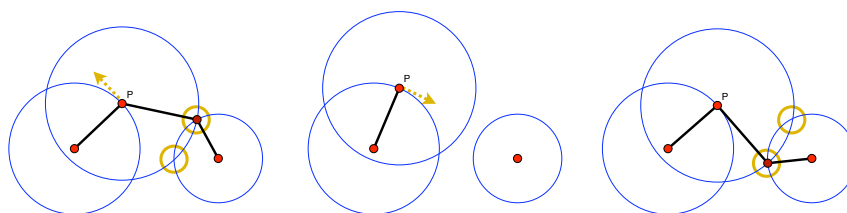
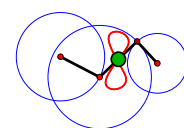


Abbildung 6.21: Gestängemechanismus mit drei Stangen: Läuft Punkt P entlang des Kreises gegen den Uhrzeigersinn, verschwindet der Gestängemechanismus, wird mit dem „anderen“ Schnittpunkt aber wieder sichtbar, wenn Punkt P wieder an die alte Position bewegt wird.

Eine zweite Stufe programmintrinsischer Interaktivität ist dann erreicht, wenn der entsprechende Gestängemechanismus animiert werden soll. Punkt P ist ein freier Punkt, der entlang der Kreislinie, auf der er sich befindet, bewegt werden kann. Zusätzlich lässt sich dabei zum Beispiel die dabei entstehende Ortslinie des (grünen) Mittelpunktes der mittleren Stange verfolgen (siehe Abbildung 6.22).

Beruhet hier die mathematische Modellierung nur auf reellen Zahlen, kann es passieren, dass Punkt P seine Kreisbahn immer wieder abläuft, wobei je nach Wahl der Kreisradien der Gestängemechanismus nur für einen Teil der Kreisbahn sichtbar ist, für den Rest der Kreisbahn aber verschwindet. Dies wiederum kann Einfluss auf die Ortskurve des ausgewählten Mittelpunktes nehmen und diese beispielsweise nur zur Hälfte anzeigen.

An dieser Stelle stellt sich die Frage nach dem Verhalten eines solchen Gestängemechanismus' „in der Realität“. Hier würde der Impuls, der durch die Bewegung von Punkt P gegeben ist, zu einem „Umschlagen“ des Mechanismus führen.



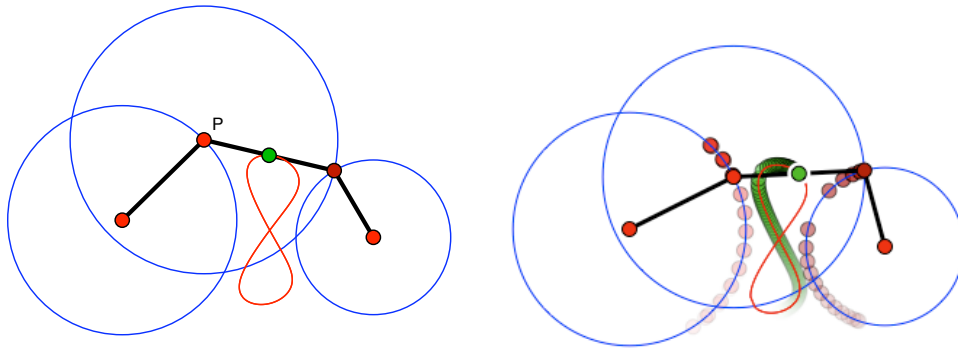


Abbildung 6.22: Gestängemechanismus mit drei Stangen: Ortskurve des Mittelpunktes der mittleren Stange bei Animation des Gestänges, d.h. wenn sich Punkt P entlang der Kreislinie bewegt.

Abbildung 6.22 zeigt rechts einen Screenshot der Animation, wobei die Punktspuren die Bewegung andeuten. Da aber auch bei starren Bildern mit Punktspuren eine *Bewegung* nicht wirklich zu sehen ist, findet sich auf den Seiten 371 bis 395 unten rechts ein kleines Daumenkino dieser Animation (hierzu die entsprechenden Seiten inklusive ein paar weiterer zur Stabilisierung zwischen Finger und Daumen der rechten Hand nehmen und mit dem Daumen „als Bremser“ durchlaufen lassen). Da Cinderella mit komplexen Zahlen arbeitet, sind die jeweiligen Schnittpunkte aller Kreise gegebenenfalls als echt komplexe Lösungen, aber somit *immer* existent und als Größen präsent, auf die explizit zugegriffen und mit denen explizit gerechnet werden kann. Dies führt dazu, dass bei einer entsprechenden Animation des Gestängemechanismus dieser jeweils dann in der Bewegung umschlägt, wenn beide Lösungen des Schnittes der beiden Kreise echt komplex werden. Dadurch wird auch die korrekte Angabe der Ortslinie des ausgewählten Mittelpunktes möglich. Somit ermöglicht die vorhandene mathematische Modellierung eine höhere programmintrinsische Interaktivität und damit eine tiefere Interaktion mit dem gegebenen Sachverhalt.

Soll der Aktionsraum auf ein *konkretes Gestänge mit festen Längen der Stangen* beschränkt bleiben, lässt sich das gewünschte Verhalten noch relativ einfach „von außen“ modellieren bzw. korrigieren. Die entsprechenden Koordinaten der Ortslinie könnten beispielsweise mithilfe eines Versuches oder einer Messung konkret ermittelt und dann zeichnerisch einfach dargestellt werden. Somit wäre die optische Wirkung nach außen noch dieselbe, obwohl die programmintrinsische Interaktivität hier schon deutlich eingeschränkt ist.

Schwieriger wird eine solche Korrektur, wenn nicht mehr ein fest vorgegebenes Gestänge animiert werden soll, sondern ein Gestängemechanismus mit variablen Längen der Stangen. Um bei obigem Beispiel zu bleiben, wäre es dann bereits nicht mehr möglich, über die Daten konkreter Versuche oder Messungen die Animation eines solchen Gestänges „von außen“ zu modellieren. Gegebenenfalls ließen sich noch aus vorhandenen Daten neue Daten interpolieren, jedoch ist dabei mit zunehmend ungenaueren Ergebnissen zu rechnen.

Eine weitere und vierte Stufe ist dann erreicht, wenn es um die Animation *beliebiger* Gestängemechanismen gehen soll. Fehlt hier die entsprechende mathematische Tiefe

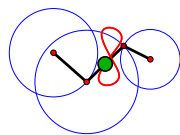
und Konsistenz, ist ein Experimentieren mit derartigen Mechanismen und damit eine Interaktivität mit dem entsprechenden Sachverhalt im Rahmen einer dynamischen Geometriesoftware gar nicht mehr möglich.

Insofern gilt insbesondere für die durch eine dynamische Geometriesoftware „generell“ gegebene Interaktivität, dass „Interaktivität nicht immer gleich Interaktivität“ ist. Die hier dargestellten unterschiedlichen Stufen *programmintrinsischer Interaktivität* nehmen einen erheblichen Einfluss auf die Möglichkeiten der Interaktion des Anwenders mit dem jeweiligen mathematischen Sachverhalt. Je generischer die Ansätze für das mathematische Modell einer dynamischen Geometriesoftware gewählt werden, umso eher lässt sich damit „echte mathematische Interaktivität“ umsetzen und erreichen. Die tiefe Mathematik, die *Cinderella* zugrunde liegt, ermöglicht eine Ausführung auf allen der genannten vier Stufen und kann somit als *hochinteraktiv* bezeichnet werden.

6.5 Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen

Die in diesem Kapitel dargestellten vielschichtigen Formen von Interaktivität spielen auch und gerade im Kontext von Lernumgebungen eine wichtige Rolle. Wenn der Dialog zwischen Mensch und Maschine bereits durch eine komplizierte Bedienung und Steuerung des Programms erschwert wird, vermindern sich die Ressourcen für die Aufnahme der eigentlichen Lerninhalte. Steuerungsinteraktionen sowie adaptierbare Komponenten können hier Abhilfe schaffen. Sie ermöglichen in gewissem Rahmen eine Anpassung der Lernumgebung an die individuellen Wünsche des Lernenden, wobei hier in erster Linie die *Umgebung* einer Lernumgebung gestaltet wird. Didaktische Interaktionen und adaptive Komponenten können dagegen Einfluss auf das *Lernen* in einer Lernumgebung nehmen. Interaktive Aufgaben spielen dabei eine wichtige Rolle. Dabei lassen sich verschiedene Intensitätsstufen sowohl auf einer allgemeinen Ebene in Bezug auf das Ausmaß der Einflussnahme auf Repräsentationsform und Inhalt verschiedener Komponenten als auch auf einer sehr speziellen kontextspezifischen Ebene in Bezug auf eine *programmintrinsische Interaktivität* abgrenzen.

Die dynamische Geometriesoftware *Cinderella* bietet gerade im Rahmen dieser programmintrinsischen Interaktivität ein breites Spektrum an Möglichkeiten an, das sich nicht nur auf geometrische Konstruktionen beschränkt. Zudem können mit *Cinderella* tutoriell begleitete Aufgaben erstellt und geometrische Konstruktionen in Form eines Applets im Rahmen einer HTML-Seite per Knopfdruck für das Internet bereitgestellt werden. Insbesondere die in Kapitel 6.4.3, S.370, beschriebene Funktion der Ansteuerung von Spezialfällen sowie die neue Komponente der Skriptsprache machen *Cinderella* zu einem mathematischen Werkzeug mit vielen Einsatzmöglichkeiten. Insofern sollte speziell im Kontext mathematischer Lernsoftware darüber nachgedacht werden, wie sich diese Ressourcen für die jeweils zu vermittelnden Lehrinhalte einsetzen und nutzen lassen.



Zudem sollte Interaktivität auf einer ganz anderen Ebene beachtet werden - auf der Ebene der echt haptischen Auseinandersetzung mit einem mathematischen Sachverhalt. Die hierzu in den vorangegangenen Kapiteln (insbesondere Kapitel 3.5.5 und Kapitel 1.6.2) erwähnten Möglichkeiten wie beispielsweise der Anleitung zu Bastelarbeiten und dem Erstellen realer Modelle sollten auch und gerade vor dem Hintergrund einer Interaktion mit dem Lerngegenstand selbst Berücksichtigung finden.

6.6 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Dieses Kapitel setzte sich mit den verschiedenen Formen von *Interaktivität* auseinander. Kapitel 6.1 gab hier zunächst eine Begriffsabgrenzung. Demnach kann grob zwischen einer Interaktion von Mensch und Maschine und einer Interaktion von Mensch und Lerninhalt mithilfe der Maschine unterschieden werden.

Steuerungs- und didaktische Interaktionen (Kapitel 6.1.3) sowie *adaptierbare und adaptive Komponenten* (Kapitel 6.1.4) können das Lernen am und mit dem Computer unterstützen. Während sich Steuerungsinteraktionen sowie adaptierbare Komponenten eher auf den Dialog zwischen Mensch und Maschine konzentrieren, können didaktische Interaktionen und adaptive Komponenten die aktive Auseinandersetzung mit den Lerninhalten fördern. Interaktive Aufgaben (Kapitel 6.1.5) spielen dabei eine wichtige Rolle.

In Kapitel 6.2 wurden mit *Individualisierbarkeit*, *Handlungsorientierung* und *Motivation* drei wesentliche didaktische Aspekte von Interaktivität aufgezeigt. Mithilfe der in Kapitel 6.3 vorgestellten Taxonomien lassen sich verschiedene Intensitätsstufen von Interaktivität abgrenzen.

Besondere Aspekte von Interaktivität im Kontext dynamischer Geometriesoftware wurden in Kapitel 6.4 betrachtet. Dynamische Geometriesoftware ermöglicht dabei eine Interaktion mit mathematischen Inhalten auf zwei Ebenen: Zum einen auf der Ebene der eigenen Nutzung als *mathematisches Werkzeug*, zum anderen in Form der Bearbeitung bereitgestellter Lerninhalte, insbesondere Applets, die von anderen mit dynamischer Geometriesoftware erstellt worden sind. Wie in Kapitel 6.4.4 dargestellt, lassen sich auch in dem abgegrenzten Rahmen dynamischer Geometriesoftware verschiedene Stufen einer programmintrinsischen Interaktivität voneinander abgrenzen. Diesen korrelieren stark mit der mathematischen Tiefe der Modellierung einer solchen Software.

Das nächste Kapitel wird sich mit dem Aspekt der Navigation in Hypermediasystemen auseinandersetzen - einem Aspekt, der in der Literatur sowohl als ein Teilaspekt der Interaktivität betrachtet wird als auch, wie in diesem Kapitel dargestellt, scharf von dieser abgegrenzt wird.

Kapitel 7

Navigation

Die Navigation regelt die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine in einem Hypermediasystem. Sie ist letztlich die Schnittstelle zwischen den präsentierten Inhalten und deren Aufnahme und Verarbeitung beim Anwender. Insofern gilt ihr besondere Beachtung.

Kapitel 7.1 gibt zunächst eine *Begriffsabgrenzung*. Kapitel 7.2 nennt *unterschiedliche Arten der Navigation* in Bezug auf *Informationszugriff* und unterschiedliche *Navigationsstypen* seitens der Anwender. Kapitel 7.3 stellt Metaphern und ihre Bedeutung für die Navigation vor.

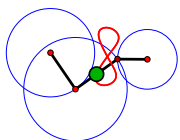
Kapitel 7.4 nennt als die beiden hauptsächlichen *Lernprobleme* das Problem der *Desorientierung* und das Problem der *kognitiven Überlast*. Verschiedene Ansätze zu ihrer Lösung gibt Kapitel 7.5. Der *Einfluss von Lernereigenschaften* wird anschließend in Kapitel 7.6 diskutiert.

Kapitel 7.7 stellt einen Ansatz für eine Navigation vor, der die verschiedenen Navigationsmöglichkeiten miteinander verbindet und dabei gleichzeitig unterschiedliche Lernereigenschaften berücksichtigt. Kapitel 7.8 fasst die zentralen Inhalte abschließend zusammen.

7.1 Begriffsabgrenzung

Nach Nielsen (1996) werden die Bewegungen eines Nutzers in einem Hypermediasystem unter dem Oberbegriff *Navigation* zusammengefasst. Dies gilt auch für die Entscheidungen eines Lernenden im Verlauf der Nutzung eines hypermedial strukturierten Dokumentes. Nach Freibichler (2002) wird Navigation dabei entweder über Standardfunktionen wie „zur nächsten Seite“ oder „zur vorangegangenen Seite“ oder über Auswahllisten realisiert.

Die Hypertexttechnologie ermöglicht das Arbeiten mit so genannten *Hotwords* oder *Hotspots*. Erstere sind Wörter oder Textbereiche, letztere Bilder, Grafiken oder Grafikausschnitte, die als Ankerpunkte für Verzweigungen dienen und entsprechende Aktionen oder Links ausführen. Eine Anzeige solcher Ankerpunkte kann explizit beispielsweise durch Unterstreichung oder farbliche Hervorhebung erfolgen; sie kann



aber auch erst aktiviert werden, wenn die Maus über den sensitiven Bildschirmbereich bewegt wird. Mit einer solchen Bewegung der Maus können statt Links auch direkt Informationen angezeigt werden.

Nach Freibichler (2002) ist die Verzweigung auf eine Seite eine der häufigsten, letztlich aber nur *eine* von vielen möglichen Aktionen. Andere Beispiele sind die Anzeige separater Fenster, das Sichtbarmachen zuvor versteckter Objekte oder das Abspielen von Video und Audio.

Nach Freibichler (2002) lassen sich Navigations- von Interaktionsfunktionen nur schwer voneinander abgrenzen (vergleiche hierzu die strikte Trennung nach Schulmeister (2006, Kapitel 6.1, S.330)). Beispielsweise kann aufgrund einer falschen Antwort ein spezifischer Link auf eine spezielle Seite vorgenommen werden, wodurch eine Interaktion mit dem System einen speziellen Schritt in der Navigation auslöst.

Da zudem die Navigation letztlich die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine im Rahmen einer Hypermedianwendung steuert und diese wie in Kapitel 6 dargestellt zur Interaktivität gezählt wird, erscheint es sinnvoll, die Navigation als eine besondere Form von Interaktivität zu betrachten.

7.2 Arten von Navigation

Mediale Angebote und insbesondere Lernprogramme liegen in der Regel als Hypertext- bzw. Hypermediasystem vor. Ein wesentlicher Bestandteil eines solchen Systems ist die Navigation. Sie macht ein reflektiertes „Sich-Bewegen“ innerhalb der Wissensknoten einer Hypertextbasis und damit ein effizientes Lernen erst möglich.

Dabei kann das Konzept der Navigation durch einen virtuellen Raum in Analogie zur Bewegung durch den realen Raum gesehen werden, und zwar durch einen strukturierten Raum, vergleichbar mit einer Stadt, oder durch einen unstrukturierten Raum, vergleichbar mit dem offenen Land (Whitaker, 1998).

Zum einen lassen sich auf Seiten der Umsetzung der Navigation verschiedene Arten des Informationszugriffs realisieren; zum anderen lassen sich auf Seiten der Nutzer verschiedene Navigationstypen abgrenzen:

7.2.1 Informationszugriff

Wie in Kapitel 1.4.2 bereits angedeutet, gibt es drei wesentliche Formen des Informationszugriffs: *Browsing*, *gezielte Suche* mithilfe von Suchalgorithmen und das *Folgen vorab definierter Pfade* (Kuhlen, 1991). Die einzelnen Formen werden im Folgenden vorgestellt.

▷ BROWSING:

Die am meisten verbreitetste Form des Informationszugriffs in einem Hypertext-/Hypermediasystem ist das *Browsing*. Nach Kuhlen (1991) entspricht dies einem „Stöbern“ und „Herumschmökern“ in der Datenbasis. Dabei wird zwischen gerichtetem und ungerichtetem Browsing unterschieden.

Beim *gerichteten Browsing* ist das Ziel vorgegeben, eine bestimmte Information zu finden. Links und Informationen werden entsprechend dieser Zielsetzung gesucht und verfolgt. *Ungerichtetes Browsing* geschieht ohne eine solche Zielvorgabe. Ist dabei allein die Attraktivität des Hypertext-/Hypermedia-Systems dirigierend, so spricht man auch von einem *assoziativen Browsing*: Eine Information macht neugierig auf die nächste, diese wiederum auf die danach folgende usw.

▷ GEZIELTE SUCHE:

Hypertext- und Hypermediasysteme ermöglichen oft eine *gezielte Suche* mithilfe von Schlüsselbegriffen und Suchalgorithmen. Filter können dabei den Suchraum innerhalb einer Datenbasis einschränken und die Suche dadurch erleichtern.

▷ FOLGEN VON PFADEN, engl. GUIDED TOURS:

Pfade sind fest vorgegebene Verknüpfungen von Informationsknoten einer Datenbasis. Sie geben eine bestimmte Reihenfolge der Verarbeitung vor. Ist ein Knoten vom Benutzer eingesehen worden, führt ihn ein Link, meist in der Form eines „Weiter“-Knopfes zum nächsten vorgesehenen Informationsknoten. Solche vorab definierten Pfade werden als so genannte *Guided Tours* häufig in Lernumgebungen eingesetzt, wo sie vor allem ungeübte Nutzer bei der Orientierung und Navigation in komplexen Hypertext-/Hypermediasystemen unterstützen. Rücksprünge innerhalb des Pfades sowie Abweichungen sind dabei in der Regel möglich.

Auf die Wirkweise und Akzeptanz der unterschiedlichen Arten von Navigation im Kontext des Lehrens und Lernens wird in Kapitel 7.5, insbesondere Kapitel 7.5.1 eingegangen.

7.2.2 Navigationstypen

Auf Seiten der Nutzer lassen sich nach Lawless und Kulikowich (1998) folgende Navigationstypen von Hypermedia-Lernern voneinander abgrenzen:

▷ KNOWLEDGE SEEKER:

Der *Knowledge Seeker* bevorzugt das strategische Lernen.

▷ FEATURE EXPLORER oder „RESOURCE JUNKIE“:

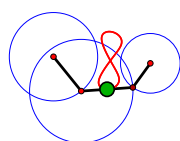
Der *Feature Explorer* ist regelrecht „verliebt“ in die Explorationsmöglichkeiten und das Mediendesign.

▷ APATHIC HYPERTEXT USER:

Der *Apathic Hypertext User* betreibt hauptsächlich Zufallsnavigation und ist in der Komplexität des Systems verloren.

7.3 Metaphern

Metaphern nutzen die Bedeutungszusammenhänge *eines* Sachverhaltes, um damit Inhalte eines *anderen* Sachverhaltes darzustellen:



Me-ta-pher die; -, -n <über gleichbed. lat. metaphora aus gr. metaphorá zu metaphérein »anderswohin tragen, übertragen«: sprachlicher Ausdruck, bei dem ein Wort, eine Wortgruppe aus dem eigentlichen Bedeutungszusammenhang in einen anderen übertragen wird, ohne dass ein direkter Vergleich zwischen Bezeichnendem u. Bezeichnetem vorliegt; bildhafte Übertragung (z. B. das Haupt der Familie). (Duden, 2007, Das große Fremdwörterbuch)

Diese Art der Darstellung ist im Zusammenhang des allgemeinen Umgangs mit dem Computer bereits nicht mehr wegzudenken. Ganz selbstverständlich werden beispielsweise im Kontext der Dateiverwaltung eines Rechners die Begriffe *Dokument*, *Ordner* und *Ablage* verwendet, ohne dass sich der Anwender dabei wirklich bewusst ist, dass es sich hierbei eigentlich um völlig neue „elektronische Objekte“ handelt, die zunächst mit den wohlbekannten Begriffen aus dem Büroalltag nicht wirklich etwas zu tun haben. Die Übertragung der Bedeutung ist jedoch so naheliegend, dass sie heute insbesondere auch durch die grafischen Darstellungsmöglichkeiten auf dem Bildschirm schon gar nicht mehr als solche auffällt: Datenfiles „sind“ Dokumente und eine Sammlung von Files „ist“ dementsprechend ein Ordner.

Metaphern spielen auch und gerade bei der Realisierung von Informations- und Lehrsystemen eine wichtige Rolle. Sie geben oft einen Rahmen für die Einbettung interaktiver Funktionen und der damit verbundenen Navigation. So kann die Benutzeroberfläche eines Lernprogramms beispielsweise ganz im Sinne einer Metapher gestaltet sein. Eine farbenfrohe und spielerische Gestaltung von Lernsoftware für den Kindergarten (wie in Kapitel 5.7 dargestellt) greift beispielsweise auf eine Raummetapher zurück, wenn sie das Lerngeschehen in ein Labor oder einen Zauberwald einbettet.

Interessant ist die Beobachtung, dass sich Metaphern auf diesem Gebiet mittlerweile auch „selbst zitieren“ können. So wurden beispielsweise die so genannten *Playlists* von *MP3-Playern* in Anlehnung an Schallplatten- oder CD-Sammlungen gestaltet. Diese Analogie wurde nun von *Mac OS X Leopard* zur bildreichen Darstellung von Dateien genutzt: Soll beispielsweise der Inhalt eines Ordners mit zahlreichen HTML-Files dargestellt werden, werden die einzelnen Seiten grafisch und mit ihrem *grafisch korrekten Inhalt* a miniature dargestellt, so dass mithilfe der optischen Eindrücke durch die einzelnen Files „geblättert“ werden kann.

7.3.1 Arten von Metaphern

In Verbindung mit der Kommunikation zwischen Mensch und Computer im Allgemeinen und der Gestaltung von Lehr-/Lernprogrammen im Speziellen gibt es viele verschiedene Arten von Metaphern. Die folgende Auflistung gibt einen Überblick:

▷ VERBALE METAPHERN

Verbale Metaphern haben in einführenden Beschreibungen und Anweisungen von Mensch-Computer-Dialogen bereits breite Verwendung gefunden. Dabei ist das

verbindende Element die natürliche menschliche Kommunikation zwischen Gesprächs- oder Lehr-/Lernpartnern, die nun in den Kontext der Mensch-Maschine-Kommunikation übertragen wird (Haack, 2002). Der Computer übernimmt dabei die Rolle des Gesprächs-Partners und „agiert“, wie man es bei einem echten Dialog erwarten würde.

▷ INTERFACE-METAPHERN

Eine weitere Art von Metaphern sind die so genannten *Interface-Metaphern*. Hier wird ein elektronisches Gegenstück zu einem bekannten physikalischen Sachbereich geschaffen. Statt abstrakter Handhabung von Objekten oder nur Begriffen auf dem Bildschirm kann der Benutzer intuitiv mit bildlichen Repräsentationen, den so genannten *Ikonen*, arbeiten und interagieren (Haack, 2002).

Das wohl bekannteste Beispiel aus diesem Bereich ist die (oben bereits angedeutete) *Desktop-Metapher*, die Gegenstände und Handlungen aus der vertrauten Schreibtisch-Büro-Welt in metaphorischer Form auf den Umgang mit elektronischen Dokumenten überträgt. Ganz explizite Beispiele sind die Darstellung von Datenfiles als Blatt Papier oder das Löschen von Files mithilfe eines Papierkorbes, in den die betreffenden Dokumente mit einer Mausbewegung zu befördern sind.

Im Zusammenhang mit der Verwendung von Hypertext- und Hypermediasystemen ist ein häufiger Rückgriff auf die Buch-Metapher (im Sinne eines elektronischen Buches) zu beobachten.

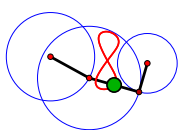
▷ RÄUMLICHE METAPHERN

Ganz allgemein orientieren sich Interaktionsmetaphern häufig an vertrauten Handlungen und Prozessen im physikalischen Raum. Beispiele hierfür sind das Durchwandern eines Hauses, der Einkauf in einem Warenhaus, das Knüpfen eines Netzwerkes oder das Reisen in einer Landschaft. Florin (1990) führt in diesem Zusammenhang beispielsweise die *Informational Landscapes* ein. Bei all diesen Metaphern handelt es sich um Raummetaphern, da sie Strukturprinzipien des Raumes in den virtuellen Kontext übertragen.

Zur Verwendung solcher textueller oder grafischer Interaktionsmetaphern, die weitgehend auf einer Raummetapher basieren, gibt es aber auch kritische Beiträge: *Cognitive-map*-Studien, die die mentale Repräsentation menschlicher Raumorientierung betreffen, lassen sich nach Dillon et al. (1993) nicht ohne Weiteres auf die Navigation in einem Hypermediaraum übertragen.

Stanton (1994) gibt zu bedenken, dass Lernende nicht immer globale Pläne für die Interaktion entwickeln und anhand dieser Pläne eine Route im entsprechenden Hypermediaraum aufstellen. Stattdessen sind viele Aktionen Reaktionen auf Hinweisreize und werden als solche zeitnah in einem bestimmten Kontext ausgeführt. Suchmann (2007) hat in diesem Zusammenhang den Begriff der *Situated Actions* geprägt.

Bei der Untersuchung der Navigation von Lernenden ist zu berücksichtigen, dass die Entscheidungen des Lernenden jeweils im Kontext seiner sich verändernden



kognitiven Struktur zu analysieren sind. Es gibt Anregungen, einen einfachen, aber radikalen Wechsel der Betrachtungsweise vorzunehmen: Statt der Verbindungen bzw. Kanten bzw. Links eines Netzwerkes sollten (ähnlich wie bei der objekt-orientierten Programmierung) die Knoten des Netzwerkes als programmierbare Einheiten fungieren.

▷ ZEITLICHE METAPHERN

Räumliche Darstellungen und Übersichten von Hypermediastrukturen können den Bildschirm überladen und in ihrer Komplexität den Lernenden überfordern. Dieser Kritikpunkt hat zu einer Entwicklung neuer Interaktionsmetaphern geführt (Haack, 2002): Diese orientieren sich an der zeitlichen Dimension erzählender (narrativer) und dramatischer Ausdrucksformen.

Ganz bewusst werden dabei die klassischen Kunstformen des Erzählens und des Theaters mit ihren gegliederten spannungsreichen Abläufen als Vorbild genommen und metaphorisch auf die Navigation in Hypermediasystemen übertragen. Dadurch sollen die Aufmerksamkeit und das Interesse des Lernenden geweckt und wach gehalten werden. Eine Art dieser Umsetzung sind die so genannten *Guides* oder *Interface Agents*. Dies sind filmische oder computerbasierte Begleitpersonen, die nach Bedarf Navigationsunterstützung aus verschiedenen Perspektiven geben (Laurel, Oren und Don, 1992).

Eine andere Art der Umsetzung ist die Konzeption von „computers as theatre“. Hier geschieht eine Übertragung dramentheoretischer Ansätze auf die Interaktion mit dem Computer. Zentrales Element ist dabei die These, dass eine anregende dramatische Gestaltung die Interaktion des Lernenden wie ein intensives Theatererlebnis im Fluss motivierter Aufmerksamkeit hält (Laurel, 1990, 2003) (vgl. hierzu auch Kapitel 3.2.9 *Der Computer als Schauspiel*).

Schank (1990) schlägt eine andere Metapher zur Konzipierung von Lernsystemen vor, die Metapher des Geschichtenerzählens, engl. *Story Telling*. Dabei nimmt er Bezug auf Situationen der Alltagskommunikation, aber auch auf Lerngespräche innerhalb verschiedener Bildungskontexte. In solchen Lerngesprächen werden Informationen häufig anschaulich und adressatenfreundlich narrativ strukturiert, d.h. in Form einer Geschichte wiedergegeben. Deswegen sollen narrativ strukturierte Präsentationsformate auch gezielt für die Auslösung impliziter Lernvorgänge durch mediale Angebote eingesetzt werden.

▷ KONVERSATIONS- UND RHETORIKMETAPHERN

Schuler, Hannemann und Streitz (1995) verwenden *Konversations- und Rhetorikmetaphern*. Dabei wird die Interaktion mit dem Computer als Konversation zwischen zwei Partnern realisiert. Dabei geht es nicht nur um eine verbale Umsetzung, sondern auch um die Einbindung solcher Komponenten einer Kommunikation wie das *Denken* und das *Verhalten*.

▷ PERSONENBEZOGENE METAPHERN

Manche Programme, vor allem Spiele, aber auch Lernsysteme verwenden „künstliche Personen“ oder grafische Stellvertreter einer echten Person, die im entsprechenden Programm als Protagonisten agieren. Der Anwender erlebt das Programm aus der Sicht dieses Protagonisten. Eine derartige künstliche Person wird als *Avatar* bezeichnet.

7.3.2 Einfluss von Metaphern auf die Navigation

Nach Kerkau (2002) besteht ein Abhängigkeitsverhältnis zwischen gewählter Metapher und der konkreten Realisierung von Navigation: Wird beispielsweise die Metapher *Buch* verwendet, so sollte die Navigation in Analogie zum Umblättern gestaltet sein. Bei der Verwendung einer Raummetapher bedeutet Navigation die Bewegung an einen anderen Ort. 3D-Technologien bieten hier immer bessere Möglichkeiten der Gestaltung. Bei der Implementation eines Avatars wird die Navigation meist dynamisch gestaltet. Dabei ist die vorgestellte Unterteilung nicht als strikt anzusehen: Es finden sich meist Kombinationen und Mischformen. Die häufigste Art der Navigation ist jedoch deren Realisierung durch Hyperlinks.

7.3.3 Wirkweise von Metaphern

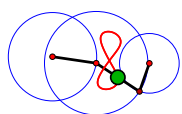
Der Einsatz von Metaphern kann unterschiedliche Wirkungen haben: Nach Strzeboski und Kleeberg (2002) kann er zum Beispiel eine Akzeptanz der Anwendung beim Nutzer erreichen, die intuitive Navigation und Steuerung gewährleisten oder auch einen aktiven Wissenserwerb in Lernanwendungen fördern.

Anwender, die noch unerfahren im Umgang mit Computern sind, können eine Anwendung allein schon deshalb ablehnen, weil sie eine komplizierte, nicht intuitive Benutzeroberfläche nicht verstehen. Metaphern können hier helfen, Distanz zu überwinden und eine Akzeptanz zu schaffen, indem Situationen und Gegenstände aus der realen Welt die noch fremde Welt des Computers ersetzen.

Metaphern können insofern auch dazu genutzt werden, an das Wissen und die Erfahrungen des Anwenders aus seinem Alltagsleben anzuknüpfen und diese über die Metapher in die Bedienung und Nutzung der Anwendung einfließen zu lassen. Beispielsweise können Schaltflächen realen Bedienelementen technischer Geräte nachempfunden sein.

Metaphern werden mit einer bestimmten Intention entwickelt. Diese bestimmt die Funktion(en) der Metapher. Dabei können Metaphern verschiedene Funktionen haben (Busch, 1998):

- ▷ innersprachliche Funktion
- ▷ Prädikatsfunktion
- ▷ heuristische Funktion
- ▷ affektiv-emotionale Funktion



- ▷ soziale Funktion
- ▷ rhetorische/ manipulative/ irreführende Funktion
- ▷ ästhetische Funktion
- ▷ didaktische Funktion

Ob eine Metapher ihre Funktionen erfüllen kann, hängt davon ab, ob die Rezipienten sie zu einem bestimmten Zeitpunkt und in einer bestimmten Situation annehmen, verstehen, benutzen und eventuell sogar selbst weiterentwickeln (Busch, 1998). Damit eine Metapher ihre Funktion(en) erfüllen kann, sollte sie das Alltagsleben, mögliche Vorerfahrungen sowie die Computerkompetenz der jeweiligen Rezipientengruppe aufgreifen und soweit möglich verwenden. Zudem muss eine Abstimmung auf das Thema und die Lernziele der Anwendung gegeben sein (Strzebkowski und Kleeberg, 2002).

Metaphern sind auch noch in einem anderen Zusammenhang zu berücksichtigen. Mandl und Huber (1983) geben eine Zusammenfassung über Untersuchungen, die belegen, dass die *emotionale Komponente* eine bedeutende Rolle bei der kognitiven Informationsverarbeitung spielt. Emotion, Motivation und Kognition beeinflussen sich gegenseitig, wobei Emotion und Motivation eine treibende Kraft für die Kognition darstellen.

Der Affekt als Energie-Lieferant kann sich mit kognitiv-strukturellen Schemata verbinden, um das Interesse des Individuums auf ein bestimmtes Ding oder eine bestimmte Idee zu lenken. (Mandl und Huber, 1983, S.17)

Insofern ist bei der Entwicklung von Lernsoftware nicht nur die *kognitive Informationsverarbeitung* zu berücksichtigen, sondern ebenso die *emotionale und motivationale Wirkung* einer Lernanwendung. Ohne Emotion und Motivation ist keine effektive Kognition möglich. Gerade in diesem Bereich der Emotion und Motivation bietet sich Interaktivität in Verbindung mit dramaturgischen und narrativen Mitteln (Strzebkowski, 1997) sowie der Einsatz von Metaphern bei der Gestaltung von Benutzeroberflächen als Lösungsmöglichkeiten an.

7.4 Lernprobleme

Bei der Nutzung von Hypertext lassen sich zwei Grundtypen von Lernproblemen feststellen: das Lernproblem der Desorientierung und das Lernproblem der kognitiven Überlast (Kuhlen, 1991, S.125). Dabei ist es unerheblich, ob es sich um lokale oder netzbasierte Hypertext- bzw. Hypermediasysteme handelt. Die beiden genannten Grundtypen werden im Folgenden näher erläutert.

7.4.1 Desorientierung

Bietet die Navigation eine große Zahl von Wahlmöglichkeiten, kommt es für den Nutzer dabei oft zu einer Verwirrung oder Desorientierung (Gay und Mazur, 1991).

Dieses Problem der Desorientierung wird von Conklin (1987) als *lost in hyperspace* bezeichnet. Dabei lassen sich zwei Formen der Desorientierung unterscheiden: Zum einen kann die kognitive Orientierung innerhalb der in der Hypertextbasis dargestellten Sachstruktur verloren gehen, zum anderen ist eine konzeptuelle Desorientierung auf semantischer Ebene möglich.

Wenn Nutzer innerhalb eines Hypertextsystems navigieren, verlieren sie dabei oft den „Überblick“ hinsichtlich ihres eigenen, aktuellen „Standorts“. Sie sind dann nicht mehr in der Lage, ihren Standpunkt im Netzwerk zu bestimmen oder nachzuvollziehen, wie sie dorthin gelangt sind. Ebenso fällt es sehr schwer, mögliche Auswege zu finden. Fehlt aber diese Vorstellung der Organisationsstruktur der Datenbasis, so fällt eine Einordnung des gerade gegenwärtigen Hyperdokuments in das Gefüge der Informationen der Hypertextbasis schwer.

Nach Tergan (2002) gelingt Nutzern von Hypertextsystemen diese Vorstellung der internen Organisationsstruktur der Datenbasis ohne Hilfen nur schwer und ist somit eine Ursache für Desorientierung.

Unkenntnis darüber, auf welchem Weg und mit welchen Mitteln Zugriffe auf bestimmte, wissentlich vorhandene Informationen einer Hypertextbasis möglich sind, erschweren zudem die Navigation in einem Hypertextsystem. Mangelnde Kenntnisse über vorhandene Navigationsmöglichkeiten und deren adäquate Anwendung können somit weitere Ursachen für eine Desorientierung sein.

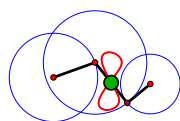
Nimmt die Komplexität einer Datenbasis und damit gegebenenfalls deren Grad an Unstrukturiertheit zu, so ist in der Regel auch eine größere Desorientierung bei den Nutzern zu beobachten. Gleiches gilt, wenn die verwendete Browsing-Strategie des Nutzers durch ein assoziatives statt zielorientiertes Explorieren gekennzeichnet ist (Tergan, 2002).

Assoziatives Browsing führt oft zu einer konzeptuellen Desorientierung. Nutzer von Hypertextsystemen sind dann nicht in der Lage, die semantische Bedeutung der aufgesuchten Informationen zu erfassen. Dadurch kann keine kohärente Wissensrepräsentation aufgebaut werden.

Mangelndes Vorwissen, aber auch fehlende zusätzliche Hinweise führen dazu, dass die Bedeutung von bearbeiteten Informationen für die jeweils eigene Aufgabenstellung vom Lernenden nicht richtig eingeschätzt werden kann.

Wenn die semantische Beziehung zwischen einzelnen gerade bearbeiteten Informationsknoten unklar bleibt und keine klare Vorstellung darüber besteht, auf welche Knoten der Datenbasis als nächstes zugegriffen werden soll, kann sich ebenfalls eine konzeptuelle Desorientierung ergeben.

Ein gewisses Maß an Desorientierung in einer Hypermediabasis kann allerdings auch eine notwendige Voraussetzung für Verstehensprozesse sein, um das Engagement des Lernenden herauszufordern (Haack, 2002). Dies ist jedoch nicht im Widerspruch zu den oben genannten Befunden zu sehen. Es sind die bereits erwähnten zwei Arten von Lernerinteraktionen zu unterscheiden: solche, die sich auf das reine Management von Informationen und solche, die sich auf die Verarbeitung der eigentlichen Lerninhalte beziehen. So konnten McDonald und Stevenson (1999) beispielsweise



nachweisen, dass räumliche Landkarten gegenüber inhaltlichen Themenlisten zwar Vorteile bei der Navigation, jedoch nicht beim langfristig vertiefenden Lernen bieten.

7.4.2 Kognitive Überlast

Effektives Lernen in Hypertext- bzw. Hypermediasystemen stellt zusätzliche, spezifische Anforderungen an den Lernenden. Es muss zum Beispiel im Gedächtnis behalten werden, welche Informationsknoten bereits aufgesucht worden sind, wie man zu ihnen gelangt ist, welchen Inhalt sie hatten, welche Informationen noch aufgesucht werden sollen, welche Möglichkeiten der Navigation zur Verfügung stehen und welche Funktion einzelne Navigationsmittel erfüllen.

Dies erfordert zusätzliche Gedächtniskapazität sowie Aufmerksamkeit und Fähigkeiten zur metakognitiven Kontrolle (Tergan, 2002). Da diese zusätzlichen Kapazitäten beim Lernenden nicht immer zur Verfügung stehen, kann eine solche *kognitive Überlast*, engl. *Cognitive Overload* (Conklin, 1987) eine tiefere Informationsverarbeitung stark behindern.

Insofern ist die Frage zu stellen, wie eine solche kognitive Überlast vermieden oder zumindest reduziert werden kann (Conklin, 1987; Chen und Rada, 1996). Das nächste Kapitel nennt hierzu einige Möglichkeiten.

7.5 Orientierungs- und Navigationsmittel

Nach Klimsa (2002) macht der subjektive Verlust der Orientierung in einem System die Kontrolle durch den Nutzer und in Folge einen aktiven Umgang mit dem System unmöglich. Um diesen Orientierungsverlust zu verhindern, kann die Benutzeroberfläche entsprechend zweckmäßig gestaltet werden. Ist es dem Nutzer möglich, das System zu explorieren, so erleichtert dies die Transferleistungen. Eine erhöhte Lernzeit findet ihren Ausgleich im späteren effizienten Transfer.

Werkzeuge wie ein *Task-Action-Trace* und ein *History-Tracer* ermöglichen im Nachhinein die Orientierung darüber, wie bestimmte Ergebnisse erzielt worden sind. Ein solcher Rückblick auf den Realisierungsweg trägt zum Verständnis der Funktionsweise und der Logik des Gesamtsystems bei.

Da nach Klimsa (2002) die Aufmerksamkeitsleistung besonders dann steigt, wenn ihr eine aktive Erwartung vorausgeht, sollten neue und wichtige Informationen stets zuvor angekündigt werden. In einem hypermedialen System ist dies aufgrund der Strukturkomplexität schwer realisierbar, was bei Hypermedia-Anwendungen schnell zu dem im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Verlust der Orientierung im Sinne eines *lost in hyperspace* führen kann. Eine Ankündigung neuer und wichtiger Informationen lässt sich in einem linearen CBT-Programm besser realisieren.

Zu leichte, in Bezug auf das Niveau des Nutzers unangemessene Aufgaben sollten vermieden werden. Dies bedeutet jedoch letztlich eine Adaption des Systems an den Wissensstand des Benutzers. Da aber teure Systeme nicht nur für eine kleine Gruppe von Nutzern entwickelt werden können, ist es notwendig, mehrere Aufgaben

und Vorgehensweisen zu integrieren.

Um dem Problem von Desorientierung und kognitiver Überlast zu begegnen, gibt es zudem verschiedene Ansätze, hypertextspezifische Orientierungs- und Navigationsmittel zur Verfügung zu stellen. Forschung und Entwicklung haben sich mit dieser Zielsetzung in hohem Maße auf die Gestaltung der Hypertextbasis sowie der Navigations- und Suchkomponente konzentriert. Dabei geht es oft gezielt um die Bereitstellung hypertextspezifischer technologischer und somit syntaktischer Mittel, die bestehenden Orientierungs- und Navigationsproblemen bei der Exploration der Datenbasis entgegenwirken sollen.

Tergan (2002) gibt jedoch zu bedenken, dass bisherige Erfahrungen und empirische Befunde zeigen, dass Mittel der Systemgestaltung die Probleme der Desorientierung und kognitiven Überlast nicht ausreichend lösen, sondern in manchen Fällen sogar im Gegenteil diese Probleme noch verstärken können.

Beispiele für Orientierungs- und Navigationsmittel sind zum einen solche Orientierungshilfen, die schon in den eher linear aufgebauten Printmedien verwendet werden, wie beispielsweise *Inhaltsverzeichnisse*, *Register*, *alphabetische Glossare*, *Fußnoten* und *Verweise*. Es gibt aber auch weitere Navigationswerkzeuge, die zum Teil gezielt für den Einsatz in Hypertext- und Hypermediasystemen entwickelt worden sind (Berk und Devlin, 1991; Hofmann und Simon, 1995; Jonassen und Mandl, 1990; Kuhlen, 1991; Dillon und Gabbard, 1998; Gall und Hannafin, 1994; Rouet, Levonen, Dillon und Spiro, 1996; Rouet, 2000). Folgende Liste nennt einige Beispiele:

▷ GRAFISCHE ÜBERSICHTEN bzw. BROWSER

Grafische Browser ermöglichen den Überblick über die globale Struktur einer Hypertextbasis oder über die lokale Struktur eines Ausschnitts daraus (*Global Maps* und *Local Maps*). Dabei kann für die Darstellung auf Baum- oder Netzstrukturen zurückgegriffen werden. Beispielsweise lassen sich die Informationseinheiten mit ihren hierarchischen und assoziativen Verknüpfungen zwei- oder pseudo-dreidimensional darstellen.

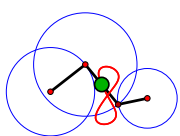
Gerade bei großen Hypertextdatenbanken kann die globale Übersicht aber auch Probleme mit sich bringen, da beispielsweise mit dem Computerbildschirm nur ein beschränkter Platz zur Darstellung zur Verfügung steht und die Datenverwaltung recht arbeits- und zeitintensiv sein kann.

▷ FISCHAUGENSICHTEN bzw. FISH-EYE VIEWS

Fischaugen sind vergleichbar mit einer Linse mit einem großen Winkel. Dementsprechend geben sie eine detaillierte Sicht der nahen Umgebung und eine weniger detaillierte Sicht der weiteren Umgebung.

▷ LESEPROTOKOLLE bzw. BACKTRACK-FUNKTIONEN, HISTORY LISTS

Leseprotokolle bzw. *History Lists* sind Listen, in denen die bisher bearbeiteten und besuchten Knoten aufgezeichnet werden. Somit wird ein direkter Zugriff auf diese Knoten als auch ein schrittweises Zurückverfolgen bzw. *Backtracking* des eigenen Lernpfades ermöglicht.



▷ BREADCRUMBS

Bei einer *Breadcrumbs-Navigation* oder *Brotkrümelnavigation* wird in Anlehnung an die von Hänsel und Gretel auf den Waldweg gestreuten Brotkrumen zum Wiederfinden des Heimweges eine automatische Kennzeichnung bereits bearbeiteter Teile einer Hypermediabasis vorgenommen, um damit ein unfreiwilliges neues Bearbeiten zu vermeiden. Zudem können Links zu vorher besuchten, übergeordneten oder themenverwandten Elementen angeboten werden, um die Orientierung speziell in tief verzweigten Elementbäumen wie beispielsweise Hypermediasystemen zu erleichtern. Mithilfe seiner „Brotkrumenspur“ findet der Anwender immer wieder zurück.

▷ LESEZEICHEN bzw. BOOKMARKS

Subjektiv wichtige Bereiche können durch den Lernenden mit *Lesezeichen* gekennzeichnet werden und ermöglichen eine persönliche Ordnung einer umfangreichen Hypermediabasis nach persönlichen Lernbedürfnissen.

▷ AUTORENHINWEISE bzw. THUMB TABS

Autorendefinierte Übersichtsmittel können extern mithilfe verfügbarer Grafikprogramme erstellt und als fertige Übersichtsgrafiken zur gesamten Basis oder zu speziellen Teilen in die Hypertextbasis importiert werden. Dies ermöglicht es Lernsystemautoren, relevante Lernbereiche gesondert hervorzuheben. Nachteile entstehen dann, wenn in der Hypertextbasis neue Informationen hinzukommen oder diese umstrukturiert wird. Die vorhandenen extern erstellten Übersichten müssen dann manuell abgeglichen werden, was einen größeren Aufwand bedeuten kann und eine gewisse Fehleranfälligkeit birgt. Besondere Probleme ergeben sich, wenn Lernende neue Informationsknoten selbstständig einfügen dürfen.

▷ PFADE bzw. PATHS, TRAILS

Das völlig freie Navigieren kann durch *Pfade* eingeschränkt werden und so den Lernenden gezielt durch den vorgegebenen Lerninhalt leiten. Dabei können drei verschiedene Haupttypen von Pfaden unterschieden werden:

Sequenzielle Pfade definieren eine geordnete Reihenfolge oder eine ungeordnete, thematisch zusammengehörige Zusammenstellung. *Verzweigte Pfade* überlassen dem Nutzer selber die Auswahl der Entscheidungsmöglichkeiten, und *bedingte Pfade* reagieren auf Eingaben des Nutzers und verzweigen dementsprechend weiter.

Bedingte Pfade können auch als interaktive Programme interpretiert werden. Hier lassen sich vier Arten unterscheiden: *prozedurale*, *programmierbare*, *variable* und *parallele Pfade*. Bei *prozeduralen Pfaden* kann ein Pfad als Eintrag eines anderen Pfades verwendet werden. Dadurch kann die Modularität bzw. die Mehrfachverwendung von Pfaden unterstützt werden. Bei *programmierbaren Pfaden* können beispielsweise Variablenwerte zur Steuerung von *Indexed Loops* oder andere Informationen für eine weitere Verwendung gespeichert werden. *Variable Pfade* ermöglichen variable Verknüpfungen, wobei der jeweils nächste Eintrag

dynamisch untergebracht werden kann. So kann er beispielsweise durch Berechnungen aus einem früheren Eintrag angestoßen werden. *Parallele Pfade* können synchronisiert mit anderen Pfaden abgearbeitet werden.

7.5.1 Freies Explorieren versus Guided Tours

Werden Lernende vor die Wahl gestellt, eine Hypertextbasis selber zu explorieren oder einem vorab definierten Pfad zu folgen, so entscheiden sich die meisten Lernenden für den vorab definierten Pfad. Hypertext- und Hypermediasysteme bieten zwar ein großes Potenzial für selbstgesteuertes Lernen, dennoch wird dieses eher selten adäquat genutzt (Tergan, 2002).

Gründe hierfür sind zum einen, dass Lernende in der Nutzung von Hypertext- und Hypermediasystemen (noch) ungeübt sind und daher nur suboptimale Strategien verwenden. Eine effektive selbstgesteuerte Nutzung bereitgestellter Lernmöglichkeiten kann daher nicht erfolgen. Zum anderen stehen gerade im Lehr-/Lernkontext häufig traditionelle Kriterien des Verstehens, der mentalen Kohärenzbildung und der Wiedergabe von Sachverhalten im Vordergrund. Traditionelle Lernformen wie beispielsweise das Folgen von Pfaden haben sich dabei als geeignet erwiesen (Tergan, 2002).

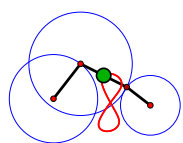
7.6 Einfluss von Lernereigenschaften

Bei der Gestaltung der Navigation eines Lehr-/Lernprogramms in Form eines Hypermediasystems und der Auswahl entsprechender Orientierungs- und Navigationshilfen sollte berücksichtigt werden, dass die individuellen Eigenschaften des jeweiligen Lernalters auch einen Einfluss auf die Wirkweise der Navigation haben.

Ein positiver Effekt auf den Wissenserwerb durch ein solches Lehr-/Lernsystem konnte am ehesten bei Lernenden mit guten Lernvoraussetzungen wie beispielsweise einem großen Vorwissen, gutem räumlichen Vorstellungsvermögen und adäquaten Lernstrategien nachgewiesen werden (Jacobson und Spiro, 1994). Dabei spielen Merkmale der Aufgabenstellung eine bedeutsame Rolle. Unstrukturierte Hypertextbasen erschweren das Verstehen von Sachverhalten besonders für Lernende mit nur geringem Vorwissen. Hier zeigt sich eine stärkere Strukturierung als hilfreich (Tergan, 2002).

Insbesondere ist die Bedeutung des Vorwissens nicht zu unterschätzen. Vorwissen stellt nicht nur einen Kontext für neue Informationen bereit, sondern beeinflusst auch schemageleitete Entscheidungen bei der Auswahl neuer Lernstoffe (Haack, 2002).

Darüber hinaus lässt sich der Einfluss weiterer Lernereigenschaften untersuchen: Steinberg (1989) gibt beispielsweise eine zusammenfassende Darstellung des Einflusses von Alter und kognitivem Entwicklungsstand auf die Auswahl- und Steuerungsfähigkeiten beim computergestützten Lernen. Chung und Reigeluth (1992) geben Hinweise auf unterschiedliche Faktoren bei der Auswahl von Lerninhalten und



Lernsequenzierungen im Vergleich zur Wahl von Hilfsfunktionen und Glossaren.

Allerdings stellt Reeves (1993) die Frage, ob sich diese Studien zur Lernersteuerung so direkt auf die Hypermedianutzung anwenden lassen: Mediale Angebote in Form von Hypermediasystemen bieten oft keine tutorielle Anleitung. Insofern besteht ein erhöhter Bedarf an metakognitiven Orientierungsfähigkeiten auf Seiten der Lernenden. Oft stehen aber gerade diese den mit dem System nicht vertrauten Lernanfängern nicht zur Verfügung (Kinzie und Berdel, 1990; Marchionini, 1988).

Kognitive Stile und Lernstile finden hinsichtlich des hohen Selbststeuerungsbedarfs ebenfalls zunehmende Berücksichtigung in der empirischen Forschung (Rasmussen und Davidson-Shivers, 1998, zur Diskussion der Lernstilforschung siehe Kapitel 3.2.12).

Da viele Lernende äußere Unterstützung bevorzugen, stufen sie offene Lernumgebungen oft als frustrierend, unmotivierend und ineffizient ein (Haack, 2002). Alexander, Kulikowich und Jetton (1994) analysieren in einer Review-Studie von 60 empirischen Untersuchungen den Zusammenhang von Sachwissen und persönlichen Interessen bei der Verarbeitung von linearen und nicht-linearen Texten und Hypertexten.

7.7 Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen

Wie die bisherigen Ausführungen gezeigt haben, gibt es bei der Gestaltung der Navigation eines Hypermediasystems mehrere Probleme zu lösen: Zum einen sind Desorientierung und kognitive Überlast nach Möglichkeit zu vermeiden, zum anderen gilt es, einen Weg zu finden, der am besten *gleichzeitig* eine *freie Exploration* der Hypermediabasis *und Guided Tours* ermöglicht, um sowohl lernstarke als auch lernschwache Lernende gleichermaßen anzusprechen.

Eine Möglichkeit, insbesondere das Problem eines parallelen Angebots von freier Navigation und geführter Touren zu lösen, ist folgender Ansatz eines *linearen* und gleichzeitig *multidirektionalen Navigationskonzepts*:

Innerhalb des zu vermittelnden Themenbereiches werden mehrere linear „geführte“ Kurse erstellt, die durch einfaches „Vor“-und „Zurück“-Klicken durchlaufen werden können und sich in erster Linie an die lernschwachen Lernenden richten. Dabei werden bzw. sind diese einzelnen Kurse an jeweils passenden Schnittstellen miteinander verlinkt wie beispielsweise bei der Verwendung gleicher Beispiele oder sonstiger gleicher oder ergänzender Bausteine wie zum Beispiel Definitionen, Strukturen, Herleitungen oder Vorgehensweisen. Dabei wird die Navigation so gestaltet, dass sie bei jeder aktuellen angezeigten Seite erlaubt, dem ursprünglichen Kurs weiter zu folgen oder in einen anderen Kurs, der ebenfalls diese Seite enthält, zu wechseln. Je mehr lineare Kurse vorhanden sind, umso dichter und vielseitiger wird das entstehende Netz und umso mehr Möglichkeiten ergeben sich für ein freies Navigieren in diesen vernetzten Kursen.

Um einer Desorientierung auch und gerade beim freien Navigieren entgegenzuwir-

ken, wird der komplette Verlauf inklusive aller Wechsel aufgezeichnet, so dass der Lernende immer wieder die Möglichkeit hat, seinen eigenen Weg zurückzuverfolgen und an einer gewünschten Stelle wieder aufzunehmen.

Grundsätzlich soll eine hohe Transparenz durch eine Vielzahl von Übersichtsmöglichkeiten hinsichtlich besuchter Seiten erreicht werden. Zum einen soll eine grafische Übersicht vorzugsweise in Form eines farbigen Balkens die Bereiche eines linearen Kurses anzeigen, die direkt und solche, die im Rahmen eines anderen Kurses bereits besucht worden sind. Farbschattierungen können hier diesen Unterschied darstellen. Zum anderen sollen Übersichten zu bestimmten Rubriken wie beispielsweise interaktiven Aufgaben, Kurztests oder Bastelanleitungen eine Anzeige der bereits gelösten bzw. bearbeiteten Elemente darstellen. Auf diese Art und Weise hat der Lernende zu jeder Zeit die Möglichkeit, sich einen Überblick darüber zu verschaffen, welche Teile der Lernumgebung er bereits bearbeitet hat, und zwar sowohl auf der Ebene des Kurses als auch auf der Ebene der unterschiedlichen Rubriken.

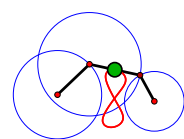
Die Einteilung in Rubriken und ein Zurverfügungstellen ihrer jeweiligen Inhaltsverzeichnisse (mit Links zu den jeweiligen Einträgen) ermöglicht zudem eine gezielte Auswahl und Entscheidung einer Lernhandlung wie beispielsweise die Bearbeitung eines Kurses, das Lösen von Aufgaben oder die Erstellung von Modellen nach Bastelanleitungen.

Ein anderer Aspekt, der auch bei der Navigation helfen kann, ist der bereits in Kapitel 2.5.2 dargestellte und in Kapitel 3.4.3 sowie Kapitel 3.5.6 wieder aufgegriffene Vorschlag der Personifizierung von Mathematik. Im Sinne von personenbezogenen Metaphern können mathematische Objekte über sich selbst erzählen und damit in den direkten Dialog mit dem Lernenden treten. Zusätzliche Aspekte des *Story Telling* können dem Lernenden dabei helfen, sich nicht nur in der Lernumgebung, sondern auch in der mathematischen Welt zurechtzufinden. Die ebenfalls in Kapitel 2.5.2 vorgestellte und in Kapitel 3.5 sowie Kapitel 4.4 wieder aufgegriffene Möglichkeit der Darstellung von Mathematik auf zwei Ebenen (umgangs- und fachsprachliche Formulierungen) kann letztlich auch eine Navigation auf zwei Ebenen insofern unterstützen, als dass sie gleichzeitig lernstarke und lernschwache Lernende auf unterschiedlichen Ebenen ansprechen und motivieren kann.

7.8 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Während der Begriff der Navigation an sich zumindest relativ eindeutig in seiner Bedeutung festgelegt ist (Kapitel 7.1), gibt es unterschiedliche Auffassungen darüber, ob er noch zur Interaktivität zu zählen ist. Aufgrund seiner Schnittstellenfunktion zwischen Mensch und Maschine kann er jedoch als eine besondere Form der Interaktivität betrachtet werden.

Hinsichtlich der konkreten Gestaltung von Navigation lassen sich im Wesentlichen drei verschiedene Arten der Navigation unterscheiden (Kapitel 7.2): *Browsing*, *gezielte Suche* und *Guided Tours*. Für die konkrete Gestaltung sind zudem *Metaphern*



(Kapitel 7.3) von großer Bedeutung. Durch das Aufgreifen vertrauter Konzepte und Symbole können sie den Lernenden bei seiner Kommunikation mit dem Computer unterstützen.

Wie die Ausführungen dieses Kapitels gezeigt haben, spielt die Navigation in Hypermediasystemen eine wichtige und entscheidende Rolle, insbesondere dann, wenn diese im Kontext des Lehrens und Lernens eingesetzt werden. Eine noch so gute didaktische Aufbereitung des eigentlichen Lerninhalts nutzt wenig, wenn sie den Lernenden aufgrund einer schlecht organisierten Navigation nicht erreicht.

Die beiden hauptsächlichen Lernprobleme, die dabei auftreten können, sind *Desorientierung* und *kognitive Überlast* (Kapitel 7.4). Eine Reihe von *Orientierungs-* und *Navigationsmitteln* (Kapitel 7.5) versucht, hier Abhilfe zu schaffen. Dabei handelt es sich jedoch in erster Linie um syntaktische Mittel, die auf der Ebene der Systemsteuerung ansetzen.

Gleichzeitig spielen individuelle Unterschiede eine wichtige Rolle in der Wirkweise von Navigation auf das Lernen (Kapitel 7.6): Während Lernende mit guten Voraussetzungen eher von einer *freien Exploration* in einer Lernumgebung profitieren und von einer linearen Vermittlung in Form von *Guided Tours* sogar in ihrem Lernprozess behindert werden können, sind lernschwache Lernende bei großzügiger und freier Exploration überfordert und „verloren“ und bedürfen einer „Führung“ durch das Lernmaterial (Kapitel 7.5.1). Kapitel 7.7 stellt hier einen Ansatz vor, beide Navigationsarten sinnvoll miteinander zu verbinden.

Mit der Navigation wurde nun der letzte Aspekt des zu Beginn dieser Arbeit in Kapitel 1.3 vorgestellten Multimediakonzeptes dargestellt und erläutert. Der dritte Teil dieser Arbeit wird nun konkrete Gestaltungsvorschläge für eine mit dem Computer medial aufbereitete Lernumgebung zum Thema *Symmetrie* geben. Dazu wird zunächst im nächsten Kapitel der Symmetriebegriff in der Schulmathematik näher betrachtet.

Teil III

Einblicke und Ausblicke

Kapitel 8

Konzept Symmetrie in der Schulmathematik

Die bisherigen Kapitel konzentrierten sich einerseits auf computerspezifische und andererseits auf mathematische und mathematikdidaktische Aspekte, die es bei der Erstellung einer speziell mit dem Computer medial aufbereiteten Lernumgebung zu berücksichtigen gilt. Dabei wurde auf die mathematischen und mathematikdidaktischen Aspekte eher im Allgemeinen und anhand von Fallbeispielen eingegangen.

In Kapitel 9 wird ein Ansatz zu einer mathematischen Lernumgebung zum Thema *Symmetrie* vorgestellt, der die vorgestellten wissenschaftlichen Ergebnisse, Ausführungen und abgeleiteten Möglichkeiten und Ideen im Rahmen einer konkreten Umsetzung integriert. Dazu untersucht dieses Kapitel, auf welche Art und Weise, in welchem Umfang und in welcher Tiefe der *Symmetriebegriff* sowie die zugehörigen mathematischen Inhalte im Schulunterricht und somit in Schulbüchern präsentiert werden.

Die Kapitel 8.1 bis Kapitel 8.4 stellen hierzu die Lehrplaninhalte zum Thema *Symmetrie* für die Grund-, Haupt-, Realschule und das Gymnasium dar und zeigen exemplarisch einige Auszüge aus den jeweiligen Schulbüchern zum Thema. Kapitel 8.5 leitet hieraus einige allgemeine Aspekte für die Erstellung einer Lernumgebung zu diesem Thema ab. Kapitel 8.6 fasst die zentralen Inhalte abschließend kurz zusammen.

8.1 Grundschule

Nach den bayerischen Lehrplänen (ISB-Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2007) werden die Grundelemente mathematischer Symmetrie in Form von *Spiegeln*, *Verschieben* und *Drehen* in der ersten bis vierten Grundschulklasse vermittelt. Dabei steht in der ersten Klasse das Entdecken der Flächenformen im Vordergrund. Diese sollen unter anderem untersucht, ertastet, beschrieben, benannt und zum Beispiel durch Spannbilder auf dem Geobrett, Falten, freihändiges Schneiden und Zeichnen mit und ohne Lineal oder Schablone hergestellt werden.

In diesem Rahmen sollen Figuren und Muster erfunden, gelegt, nachgelegt, ergänzt, gezeichnet und nachgezeichnet sowie insbesondere *Bandornamente* aus geometrischen Formen erfunden, nachgebaut und fortgesetzt werden. Zudem sollen Figuren, *Muster*, *Parkette* und *Ornamente* aus geometrischen Grundformen zusammengesetzt und beschrieben werden. Somit werden hier bereits symmetrische Muster erfahren, ohne dabei explizit auf den Symmetriebegriff einzugehen.

Abbildung 8.1 zeigt zwei Seiten aus *Das Zahlenbuch 1* (2000, S.30, S.32) für das erste Grundschuljahr. Unter der Überschrift „Was der Spiegel alles kann“ werden hier die Eigenschaften des Spiegels spielerisch erkundet. Dabei wird insbesondere darauf eingegangen, dass sich mithilfe eines Spiegels alles „verdoppelt“.

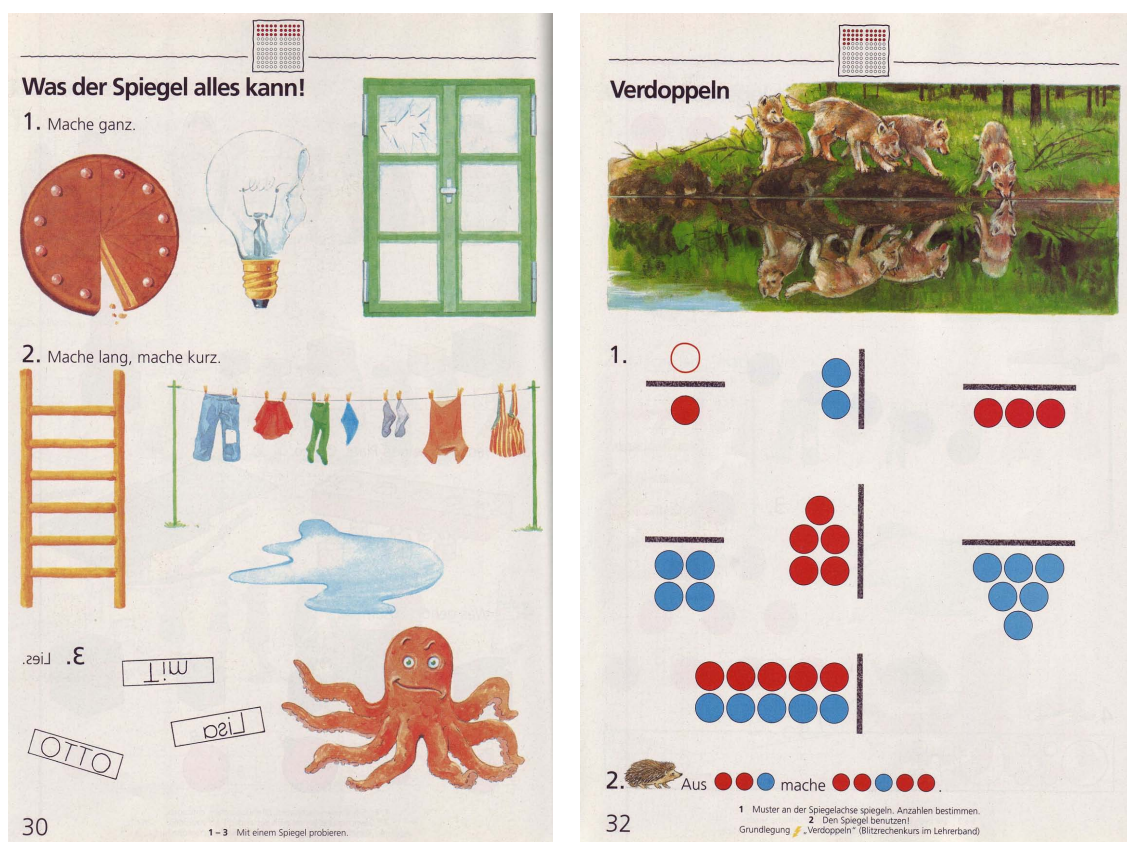


Abbildung 8.1: Symmetrie im ersten Schuljahr Grundschule: Auszug aus *Das Zahlenbuch 1* (2000, S.30, S.32)

In der dritten und vierten Jahrgangsstufe wird auf die Begrifflichkeit eingegangen. Die *Achsensymmetrie* nimmt einen eigenen Abschnitt des Lehrplanes für die dritte Jahrgangsstufe der Grundschule ein: Demnach sollen die Eigenschaften symmetrischer Figuren zum Beispiel durch Falten, Reißen, Schneiden, Klecksbilder oder Experimenten mit einem Spiegel entdeckt werden. Symmetrische Figuren sollen aber nicht nur entdeckt, sondern auch erstellt, gezeichnet und beschrieben werden. Dazu können die Figuren oder Teile von Figuren gespiegelt, gelegt, ergänzt oder auf dem Geobrett gespannt werden (siehe Abbildung 8.2 oben links). Insbesondere ist hier auch der Einsatz von dynamischer Geometriesoftware vorgesehen, um Achsenspie-

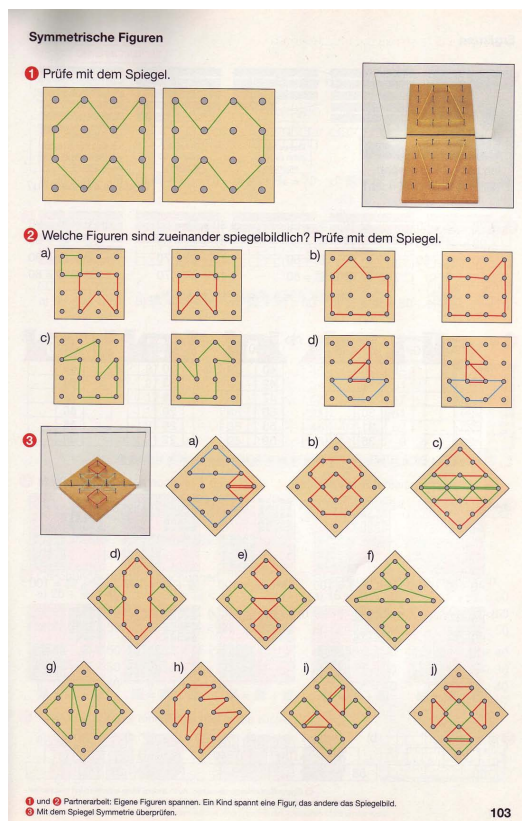


Abbildung 8.2: Symmetrie im dritten Schuljahr Grundschule: Symmetrie und Geobrett (*Denken und Rechnen 2* (2001, S.103), oben links); Spiegelsymmetrie beobachten und aktiv erfahren (*Denken und Rechnen 3* (2002, S.65, S.68f.), oben rechts und unten)

gelungen mithilfe des Computers darzustellen. Für leistungsstärkere Schüler wird empfohlen, diese auch Mehrfachspiegelungen an parallelen bzw. aufeinander senkrecht stehenden Achsen durchführen zu lassen. Zudem sollen Symmetrien in der Umwelt gefunden werden, beispielsweise bei Gebäuden oder Buchstaben. Explizit sollen in dieser Jahrgangsstufe die Fachbegriffe *Symmetrieachse*, *symmetrisch* und *deckungsgleich* eingeführt werden.

Hinsichtlich der Art der Vermittlung steht der spielerische und aktive Zugang zu symmetrischen Figuren und Formen auch in der dritten Jahrgangsstufe nach wie vor im Vordergrund. Allerdings werden die Beispiele symmetrischer Formen und Figuren zunehmend komplexer. Abbildung 8.2 (oben rechts) zeigt eine Seite aus *Denken und Rechnen 3* (2002, S.65), bei der nicht nur Spiegelungen mit einem Spiegel, sondern auch Spiegelungen mit einem Klappspiegel oder in einem Löffel betrachtet werden. Es gibt viele Anleitungen zur eigenen Gestaltung symmetrischer Figuren wie zum Beispiel durch das Legen von Plättchen allein oder zu zweit, der Erstellung von Klappbildern oder das Herausschneiden von Formen und Figuren aus zuvor entsprechend zusammengefaltetem Papier (siehe Abbildung 8.2 unten).

Auch der Lehrplan der vierten Jahrgangsstufe sieht ein eigenes Thema *Symmetrie* vor. Hierzu sollen zunächst achsensymmetrische Figuren gezeichnet werden. Außerdem ist ein Einsatz des Geobretts hierzu vorgesehen. Im Folgenden sollen dann einfache *Verschiebungen* und *Drehungen* vermittelt und von den Schülern nach gegebener Vorschrift durchgeführt werden. Abbildung 8.3 zeigt hierzu zwei Seiten aus *Denken und Rechnen 4* (1998, S.68f.) Die Eigenschaften der Drehsymmetrie sollen entdeckt und drehsymmetrische Figuren gelegt, ergänzt und auf Karopapier gezeichnet werden. Vorgeschlagen wird die Ausführung von Vierteldrehungen und halben Drehungen durch die Schüler; für leistungsstarke Schüler wird die Nacheinanderausführung von Verschiebung und Drehung empfohlen. Auch hier sollen Drehsymmetrien wieder in der Umwelt gefunden werden wie beispielsweise bei Windrädern, Sonnenschirmen oder Autofelgen.

Ein weiterer Abschnitt des Lehrplans für die vierte Jahrgangsstufe ist dem Zeichnen geometrischer Figuren gewidmet. Hier sollen Linien und Strecken abgemessen, Zeichnungen mit Zirkel und Lineal erstellt, parallele und zueinander senkrechte Geraden gezeichnet, das Zeichendreieck (Geodreieck) entdeckt sowie Kreise und Kreisbögen geschlagen werden. Es sollen abschließend Muster entworfen werden, wobei dabei über mögliche Regelmäßigkeiten wie zum Beispiel Symmetrien nachgedacht werden soll.

Zusammenfassend ist das Thema *Symmetrie* (neben *Raumerfahrung und Raumvorstellung*, *Flächen- und Körperformen* sowie *Geometrische Figuren zeichnen*) eines von vier Themen des Geometrieunterrichts der Grundschule, das für die dritte und vierte Jahrgangsstufe vorgesehen ist. Die Lehrpläne für die weiterführenden Schulformen setzen dieses Grundwissen voraus.

Die Beispiele aus den Schulbüchern zeigen, dass der Umgang mit dem Symmetriebegriff in der Grundschule sehr bunt und spielerisch gestaltet ist. Das eigene Tun und Erfahren steht im Vordergrund. Mathematische Fachbegriffe werden sparsam verwendet. Der Symmetriebegriff konzentriert sich in erster Linie auf die Spiegelsym-

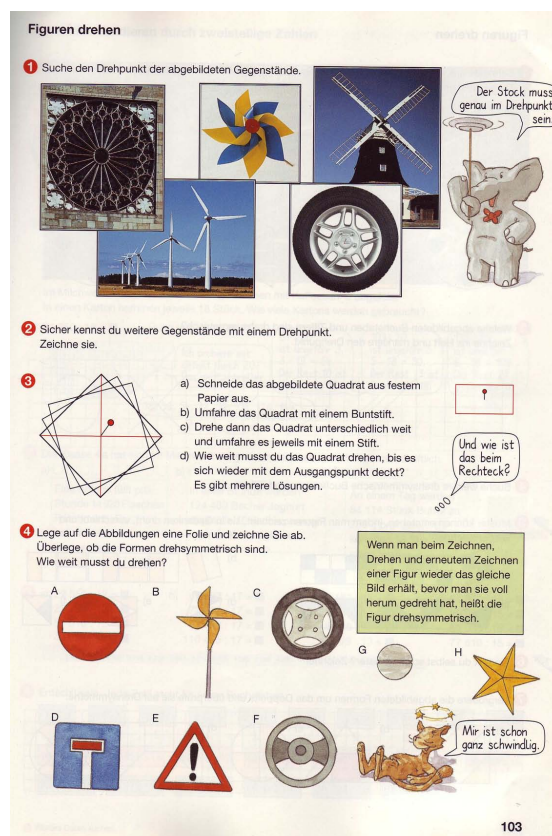
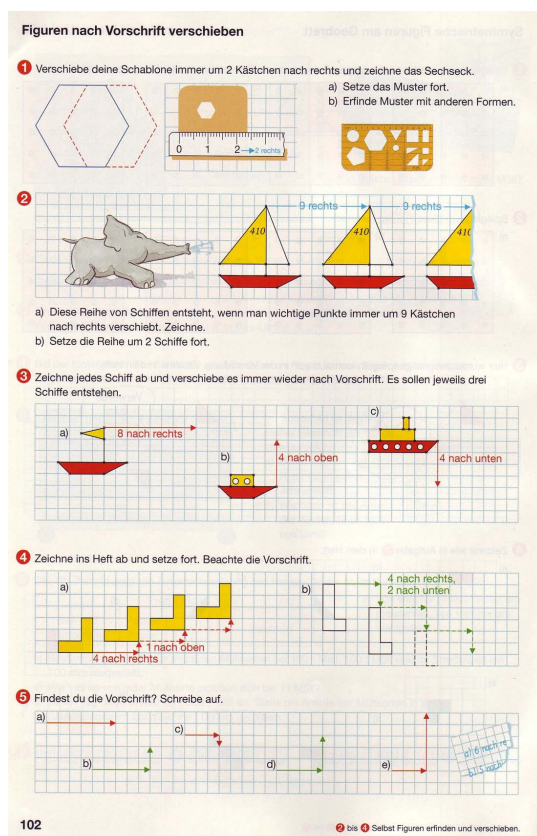


Abbildung 8.3: Symmetrie im vierten Schuljahr Grundschule: Verschiebungen und Drehungen (aus *Denken und Rechnen 4* (1998, S.102f.))

metrie, in einem zweiten Schritt werden Dreh- und Verschiebesymmetrie eingeführt. Zudem nähern sich viele Schulbücher aus dem Grundschulbereich dem Symmetriebegriff indirekt über das Zeichnen und Malen von Mustern und Mandalas und „ästhetischer Formen und Figuren“.

8.2 Hauptschule

Der bayerische Lehrplan für Hauptschulen sieht das Thema *Symmetrie* für die fünfte und sechste Jahrgangsstufe vor. Dabei werden die in der Grundschule erworbenen Kenntnisse im fünften Schuljahr vertieft: Durch Achsenspiegelungen in einem Koordinatensystem werden symmetrische oder symmetrisch zueinander liegende Figuren erzeugt. Zum einen sollen Punkte und geometrische Figuren an einer Symmetrieachse gespiegelt, zum anderen sollen Symmetrieachsen zu symmetrischen und symmetrisch liegenden Figurenpaaren gefunden werden. Zu den Fachbegriffen *Symmetrieachse*, *symmetrisch* und *deckungsgleich* sowie *Bild* und *Urbild* soll eine begriffliche Vorstellung vorliegen. Für die sechste Jahrgangsstufe sind neben den geometrischen Figuren und deren Beziehungen *Parallelverschiebung* und *Drehung* vorgesehen.

Dabei wird die Darstellung der jeweiligen Themen im Schulbuch deutlich sachlicher.

Achsenspiegelung

1. a) Aus welchem Papierbogen wurden die jeweiligen Flugbilder ausgeschnitten?
b) Versuche die Begriffe „symmetrisch“ und „deckungsgleich“ an den Abbildungen zu erläutern.
c) Wo findest du noch Symmetrien in der Natur?

2. Falte ein Blatt Papier. Markiere Punkte, welche gefaltet aufeinander liegen mit einer Spitze (z. B. Bleistift).
a) Falte auf. Verbinde die Punkte mit einer geraden Linie. Wie steht diese Linie zur Faltlinie?
b) Miss den Abstand der Punkte zur Faltlinie. Was stellst du fest?

Achsensymmetrie

Eine Figur, die man so falten kann, dass beide Teile genau aufeinander passen, heißt achsensymmetrisch. Die Faltachse nennt man Symmetrieachse.

3. Mit den vorgegebenen Teilen sollten achsensymmetrische Figuren hergestellt werden. Überprüfe die Ergebnisse. Lege mit den 6 Teilen weitere symmetrische Figuren und zeichne sie dann ins Heft. Trage in die Zeichnungen alle Symmetrieachsen ein.

Teile:

Ergebnisse:

Achsenspiegelung

1. Zeichne die Figuren ab und ergänze sie über die rote Symmetrieachse zu achsensymmetrischen Figuren. Arbeite mit dem Geodreieck.

Figuren an einer Symmetrieachse spiegeln

2. a) Erkläre die Abbildungen und die Begriffe Urbild und Bild.
b) Zeichne in ein Koordinatensystem (Einheit cm) das Dreieck ABC und die Symmetrieachse durch die Punkte G und H. Erstelle dann dazu die Bildfigur.

Dreieck 1 A (2 2); B (4 5); C (3 8); G (5 2); H (5 9)	Dreieck 2 A (1 2); B (3 3); C (2 4); G (2 1); H (4 3)
Dreieck 3 A (1 2); B (2 3); C (3 7); G (0 0); H (4 4)	Dreieck 4 A (1 3); B (5 3); C (5 5); G (3 7); H (7 3)

3. a) Spiegle das Muster zuerst an der roten Symmetrieachse, dann die Gesamtfigur an der blauen.
b) Entwirf selbst weitere Muster und spiegle dann ebenso.

Figuren drehen

1. a) Wer kennt sich mit berühmten Bauwerken in bayerischen Städten aus? Ordne den Bauwerken die richtigen Namen zu.
b) Erläutere den Begriff „achsensymmetrisch“ an den Beispielen.

2.

a) Übertrage Figur a) auf Karopapier, schneide sie aus und probiere: Um welches Drehmaß (z. B. Viertelndrehung) musst du sie nach rechts (links) drehen, um die Figuren 2, 3 und 4 zu erhalten?
b) Welche Figuren erhältst du nach einer Halbdrehung (Viertel-, Voldrehung) der Figuren 2, 3 und 4 in verschiedene Richtungen?

3. Die roten Figuren sind durch Drehen der braunen entstanden. Zeichne ins Heft, markiere jeweils den Drehpunkt und gib Drehwinkel und Drehrichtung an.

Viertelndrehung nach links oder Dreiviertelndrehung nach rechts

Figuren verschieben

1. So ein fortlaufendes Muster nennt man auch Bänderornament.
a) Beschreibe den Vorgang. Erläutere, welche Bedeutung der Klebestreifen und die Markierungen auf ihm haben.
b) Versuche mit einer Schablone aus Papier ein ähnliches Bänderornament ins Heft zu zeichnen.

2. a) Nimm dein Geodreieck und zeichne das Muster über eine Heftbreite.
b) Entwirf selbst weitere Muster, indem du das Geodreieck verschiebst.

3. Beim Verschieben wurde hier der Weg der Eckpunkte durch Verschiebungspfeile gekennzeichnet.
a) Wie weit wurden jeweils zusammengehörige Punkte verschoben?
b) Wie verlaufen die Verschiebungspfeile zueinander?

4. Zeichne die Schiffe in dein Heft. Trage weitere Verschiebungspfeile ein. Miss jeweils ihre Länge und achte darauf, wie sie zueinander verlaufen.

Ist zu einer Figur auch nur ein Verschiebungspfeil gegeben, lässt sich die Verschiebungsfigur zeichnen, weil alle **Verschiebungspfeile** zueinander **parallel** sind und die **gleiche Länge** haben.

5. a) Wie lautet die Anweisung für die nebenstehende Verschiebung?
b) Verschiebe das vorgegebene Dreieck 3 Kästchen nach rechts und 2 Kästchen nach oben.
c) Verschiebe das Dreieck immer um 3 Kästchen nach rechts, so dass ein Muster entsteht.

Abbildung 8.4: Symmetrie in der Hauptschule: Achsenspiegelung (Formel 5 (2004, S.40f.), oben) Drehung und Verschiebung (Formel 6 (2005, S.38, S.40.), unten)

Oftmals heben eingerahmte Kästen klar abgegrenzte Definitionen hervor. Darstellungsweise und Aufgaben werden zudem abstrakter und beschränken sich auf das Wesentliche. Abbildung 8.4 zeigt beispielsweise die beiden Seiten des Schulbuchs *Formel 5* (2004), die zum Thema *Achsenspiegelung* vorgesehen sind sowie die erklärenden Themenseiten des Schulbuchs *Formel 6* (2005) zu *Verschiebung* und *Drehung*. Es wird vermehrt mit Fotos gearbeitet, denen nun jedoch mehr die Funktion einer ergänzenden Illustration zukommt. Spezielle Themen werden dafür auf speziellen Sonderseiten aufwändig bearbeitet und dargestellt. Im Schulbuch *Formel 6* (2005) finden sich beispielsweise zwei solche Sonderseiten zum Thema *Parkettierungen* (siehe Abbildung 8.5)

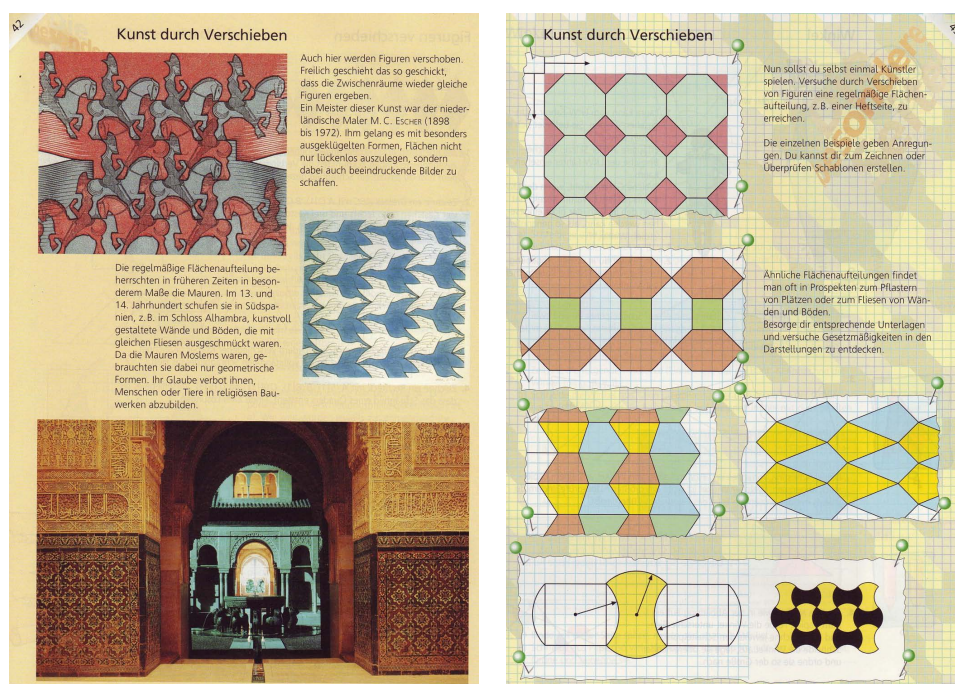


Abbildung 8.5: Symmetrie in der Hauptschule: Sonderseiten „Kunst durch Verschieben“ (Formel 6 (2005, S.42f.))

8.3 Realschule

Bei den Realschulen wird zwischen sechsklassigen Realschulen (Jahrgangsstufe 5 bis 10) und vierklassigen Realschulen (Jahrgangsstufen 7 bis 10) unterschieden. In beiden Zweigen wird Mathematik ab der siebten bzw. ab der achten Klasse als so genanntes Wahlpflichtfach gewählt. Dabei werden im Wahlpflichtfach I jeweils mehr Stunden unterrichtet als im Wahlpflichtfach II/III. Dementsprechend gibt es unterschiedliche Lehrpläne.

Im bayerischen Lehrplan für sechsklassige Realschulen wird das Thema Symmetrie recht ausführlich behandelt. In der fünften Klasse werden die Kenntnisse über geometrische Grundformen und geometrische Grundbegriffe wiederholt, erweitert und

vertieft. Eine sichere Handhabung der entsprechenden Zeichengeräte wird über die zeichnerische Darstellung geometrischer Grundfiguren und beim Entwurf von *Mustern* eingeübt. *Symmetrische Figuren* werden im Lehrplan explizit als Bestandteil des Unterrichts genannt.

Für die sechste Klasse ist eine eigene Unterrichtssequenz zum Thema *Achsenspiegelung* vorgesehen. Im Gegensatz zur Hauptschule wird hier das Thema sehr ausführlich behandelt. Der Lehrplan (ISB-Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2007, Auszug aus dem Lehrplan Realschule R6, Mathematik Jahrgangsstufe 6) lautet hier wie folgt:

▷ M 6.8 ACHSENSPIEGELUNG (ca. 15 Std.):

Die Schüler untersuchen die Eigenschaften achsensymmetrischer Figuren aus der Umwelt und gelangen über eigene Übungen (z. B. beim Falten und Durchstechen von Papierfiguren und beim Arbeiten mit einem geeigneten Geometrieprogramm) zu grundlegenden Einsichten in die Gesetze der Achsenspiegelung. Sie erschließen die Abbildungsvorschrift, Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten einer geometrischen Abbildung.

- Fundamentalsätze (umkehrbar eindeutige Zuordnung, Geradentreue, Längentreue, Winkeltreue, Kreistreue), Abbildungsvorschrift
- Eigenschaften von Ur- und Bildfigur (Kongruenz, Umlaufsinn, Lage von Ur- und Bildgeraden, Fixelemente, Entfernungsgleichheit jedes Achsenpunktes von einem Ursprung und dessen Bildpunkt)
- Fundamentalkonstruktionen (Halbieren einer Strecke, Mittelsenkrechte; Halbieren eines Winkels, Winkelhalbierende)
- achsensymmetrische Figuren; Eigenschaften von achsensymmetrischen Dreiecken und Vierecken
- einfache geometrische Figuren zeichnen

Wie die Schulbücher für die Hauptschule sind auch die Schulbücher für die Realschule im Vergleich zu den Schulbüchern für die Grundschule sachlicher gestaltet. Mehr noch als in den Büchern für die Hauptschule werden Fachausdrücke und mathematische Fachsprache verwendet. Schematische Zeichnungen veranschaulichen abstrakte Sachverhalte. Abbildung 8.6 (oben) zeigt die einführende Seite zum Thema *Achsenpiegelungen* sowie die Gestaltung einer Seite über *Grundeigenschaften der Achsenpiegelung* aus *Thema Mathematik 6* (2002). Es gibt eigene Seiten für eine jeweilige Umsetzung mit dynamischer Geometriesoftware (siehe Abbildung 8.6 (unten)).

In der siebten Jahrgangsstufe werden die beiden Themen *Parallelverschiebung* und *Drehung* ebenfalls sehr ausführlich in jeweils einem eigenen Unterrichtsblock behandelt (ISB-Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2007, Auszug aus dem Lehrplan Realschule R6, Mathematik Wahlpflichtlehrfach I, Jahrgangsstufe 7):

▷ M 7.4 PARALLELVERSCHIEBUNG (ca. 18 Std.):

Die Schüler entdecken die Parallelverschiebung als neue Kongruenzabbildung und ermitteln und begründen jeweils die Abbildungsvorschrift und die Eigenschaften mithilfe ihrer Kenntnisse über die Achsenspiegelung. Bei der rechnerischen

8.1 Abbilden durch Falten

Zum Einstieg
Spritze Tintentropfen auf ein Blatt Papier (auf die Kleidung achten!). Erzeuge Klecksbilder, indem du das Blatt faltest.

Achsensymmetrische Figuren
Eine achsensymmetrische Figur, wie sie zum Beispiel bei Klecksbildern entsteht, kann in zwei Hälften zerlegt werden. Die eine ist eine Punktmenge M , die andere ist ein maßgetreues Abbild davon. Wir nennen sie die Bildmenge von M und bezeichnen sie mit M' .

Beim Aufeinanderfallen überdecken sich die beiden Bildmengen vollständig. Man bezeichnet sie als **deckungsgleich** oder **kongruent**.

Schreibweise: $M \cong M'$
Sprechweise: „ M ist kongruent zu M' .“
„ M und M' sind zueinander kongruent.“

Abbilden von Punkten mittels Durchstechen
Maßgetreue Abbilder kann man auch durch punktwises Durchstechen erzeugen. Die **Urpunkte** dienen als Vorlage. Wir falten das Blatt und stechen diese Urpunkte durch. Dadurch erhalten wir die **Bildpunkte**.

Aufgaben

1. Betrachte den Kilometerstand. Zu welchen Achsen ist die Zahl symmetrisch?
2. Wie musst du einen Taschenspiegel anlegen, um sinnvolle Wörter zu erhalten?
TO T/ NEID D/KE
3. Falte ein Blatt Papier. Zeichne eine Gerade g , welche die Faltachse schneidet. Kennzeichne auf g fünf Punkte A, B, C, D, E und bilde sie mittels Durchstechen ab. Was stellst du fest?

130

8.4 Grundlegende Eigenschaften der Achsenspiegelung

Zum Einstieg
Spiegle zehn Punkte und den Mittelpunkt eines Kreises an einer Achse a . Was kannst du über die Lage der Bildpunkte aussagen?

Grundeigenschaften der Achsenspiegelung

Geradentreue
Beim Abbilden durch Falten sieht man, dass eine Gerade stets auf eine Gerade abgebildet wird. Deshalb genügt es, zwei Punkte der Geraden abzubilden. Dies gilt auch für die Achsenspiegelung.

Längentreue
Die Achsenspiegelung ist so festgelegt, dass eine Strecke mit ihrer Bildstrecke zur Deckung kommt. Das bedeutet, dass Ur- und Bildstrecke gleiche Länge haben müssen. Bei der Achsenspiegelung wird also eine Strecke auf eine Strecke mit gleicher Länge abgebildet.

Kreistreue
Bei einem Kreis haben alle Punkte P vom Mittelpunkt M die gleiche Entfernung r . Bildet man die Radien eines Kreises ab, so sind die Bilder Strecken, die vom Bild M' des Mittelpunktes ausgehen und alle die gleiche Länge, nämlich r , haben. Also wird bei einer Achsenspiegelung ein Kreis wieder auf einen Kreis abgebildet. Sein Mittelpunkt ist M' , sein Radius stimmt mit dem des Urkreises überein.

Winkeltreue
Ein Winkel wird von zwei Halbgeraden mit gemeinsamem Anfangspunkt begrenzt. Diese werden wieder auf solche abgebildet. Das Bild eines Winkels ist also wieder ein Winkel. Da Bild und Urbild beim Falten zur Deckung kommen, müssen Ur- und Bildwinkel gleiches Maß haben. Dabei wird der Drehsinn (man sagt auch die **Orientierung**) von Winkeln umgekehrt. Das Gleiche gilt für den Umlaufsinn von Figuren. Man bezeichnet deshalb Urfigur und Bildfigur bei der Achsenspiegelung als gegenseitig oder entgegengesetzt orientiert.

134

THEMA MATHE am Computer

Grundkonstruktion der Achsenspiegelung

1. Erstelle eine neue Zeichenfläche.
2. Zeichne eine Gerade a durch die freien Punkte A und B . Dies ist die Spiegelachse.
3. Zeichne einen Punkt C . Dieser soll nicht auf a liegen.
4. Konstruiere durch den Punkt C die Senkrechte b zu a .
5. Bestimme den Schnittpunkt D von a mit b .
6. Zeichne einen Kreis k_C mit Mittelpunkt D durch C .
7. Bestimme die Schnittpunkte E und F von b mit dem Kreis k_C . Ein Punkt fällt immer mit dem Punkt C zusammen.
8. Bewege nacheinander die Punkte C, A und B . Für alle möglichen Lagen des Punktes C und der Geraden a hast du jetzt immer den Spiegelpunkt F zu C konstruiert.
9. Ändere die Eigenschaften folgender Objekte:
Benenne den Punkt F in C' um.
Verstecke den Punkt E .
Markiere die Hilfslinien b und k_C der Konstruktion als Entwurf.
10. Mit dem Befehl machst du Konstruktionsschritte rückgängig.
11. Damit kannst du die Konstruktionsschritte wiederherstellen und sie so Schritt für Schritt nochmals ablaufen lassen.

136

THEMA MATHE am Computer

Aufgaben

- 1.0 Gegeben sind die Spiegelachse $a = AB$ und die Punkte C, D', E .
 $A(1|5) \quad B(5|1) \quad C(0|3)$
 $D'(5|5) \quad E(4|1)$
- 1.1 Zeichne die Punkte und die Spiegelachse in ein Gitternetz und konstruiere die Punkte C', D und E' .
- 1.2 Gib die Koordinaten der fehlenden Punkte an.
- 2.0 Das Parallelogramm $ABCD$ wird durch Achsenspiegelung an $a = EF$ auf das Viereck $A'B'C'D'$ abgebildet.
 $A(1|1) \quad B(3|1) \quad C(2|3) \quad D(0|3)$
 $E(3|4,5) \quad F(7|0)$
- 2.1 Zeichne das Parallelogramm $ABCD$ und die Spiegelachse a in ein Gitternetz.
- 2.2 Konstruiere das Bildviereck $A'B'C'D'$ und gib die Koordinaten der Eckpunkte an.
- 2.3 Bestimme die Längen der Seiten $[AB]$ und $[A'B']$. Welcher Fundamentalsatz wird bestätigt? Bestätige auch bei den Längen der übrigen Bild- und Urbildstrecken.
- 2.4 Bestimme das Maß α des Winkels BAD und das Maß α' des Bildwinkels. Welcher Fundamentalsatz wird bestätigt? Bestätige bei den übrigen Winkeln.
- 2.5 Bewege die Eckpunkte des Vierecks $ABCD$ und beobachte dabei das Bildviereck. Wo liegt jeweils der Bildpunkt, wenn ein Punkt auf die Spiegelachse wandert?
3. Verändere das Viereck aus Aufgabe 1 zu einem Rechteck und einem Quadrat. Welche Form hat das Bildviereck? Begründe.

Tipps zur Durchführung der Konstruktionen
Hier sind noch einmal einige nützliche „Werkzeuge“ zusammengefasst.

- Zeigt das Gitternetz an.
- Zeigt das Gitter an.
- Rastet die Punkte in Gitterpunkten ein.
- Zeichnet einen Punkt im Gitternetz.
Freier Punkt mit diesen Startkoordinaten
Kennzeichnet Punkte im Gitternetz als freie, bewegliche Punkte.
- Zeichnet das Viereck.
Punkte A, B, C, D und dann wieder A anklicken.
- Damit kannst du Veränderungen an der fertigen Zeichnung vornehmen.
Gibt den Punkten andere Namen.
Die Zeichnung wird übersichtlicher, wenn du Hilfslinien und Hilfspunkte unsichtbar machst.

137

Abbildung 8.6: Symmetrie in Jahrgangsstufe 6 Realschule: Auszug aus *Thema Mathe 6* (2002, S.130, S.134, S.136f.)

Behandlung der Parallelverschiebung finden die Schüler einen Zugang zu einer algebraischen Sichtweise geometrischer Probleme und damit zu einer engen Verflechtung von Algebra und Geometrie. Die Schüler begründen die Innenwinkelsumme im Dreieck und darauf aufbauend die Innenwinkelsumme in Vielecken. Bei allen Betrachtungen empfiehlt sich der Einsatz eines dynamischen Geometrieprogramms.

- Parallelverschiebung als Doppelachsenspiegelung
- Parallelverschiebung (Abbildungsvorschrift, Abbildungseigenschaften) und Vektor (Pfeil- und Koordinatendarstellung, Spaltenmatrix), Gegenvektor und Umkehrabbildung
- Verknüpfen von Parallelverschiebungen; Vektoraddition
- zeichnerisches Durchführen von Parallelverschiebungen und Berechnen von Punkt- bzw. Vektorkoordinaten (u. a. Koordinaten des Mittelpunktes einer Strecke)
- Parallelenaxiom und Eigenschaften paralleler Geraden; Beziehungen zwischen den Maßen von Stufen- und Wechselwinkeln (aus der Geschichte: Euklid)
- Summe der Innenwinkel im Dreieck, Viereck und Vieleck
- Außenwinkelsatz beim Dreieck

▷ M 7.5 DREHUNG (ca. 11 Std.):

Die Schüler entdecken die Drehung als neue Kongruenzabbildung. Sie ermitteln und begründen die Abbildungsvorschrift und die Eigenschaften mithilfe ihrer Kenntnisse über die Achsenspiegelung. Den Schülern wird bewusst, dass mit der Drehung geometrische Eigenschaften begründet und Figuren geordnet werden können. Der Einsatz eines geeigneten Geometrieprogramms ermöglicht ein tiefes Durchdringen von Zusammenhängen.

- Drehung als Doppelachsenspiegelung
- Drehung (Abbildungsvorschrift, Abbildungseigenschaften)
- Sonderfälle der Drehung: $\varphi = \pm 90^\circ$ und $\varphi = \pm 180^\circ$
- Drehung von Vektoren um $\varphi = \pm 90^\circ$ und $\varphi = \pm 180^\circ$. Berechnen von Punktkoordinaten mithilfe von Vektoren
- dreh- und punktsymmetrische Figuren, insbesondere punktsymmetrische Vierecke

Die Lehrpläne von Wahlpflichtfach I und Wahlpflichtfach II/III unterscheiden sich dabei nur unwesentlich. Für das Thema *Parallelverschiebung* sind für das Wahlpflichtlehrfach II/III bei exakt gleichem Inhalt lediglich ca. 20 Stunden (statt ca. 22 Stunden) und für das Thema *Drehungen* bei leicht reduziertem Inhalt ca. 8 Stunden (statt ca. 11 Stunden) vorgesehen. Die Drehung als Doppelachsenspiegelung sowie das Arbeiten mit Vektoren entfällt.

Abbildung 8.7 (links) zeigt die Einführungsseite zum Thema *Drehungen* aus *Thema Mathe 7* (2003). Auch hier fällt die fachmathematische Darstellung und das Arbeiten mit mathematischen Symbolen auf. Generell werden Fotos vermehrt zur rein ergänzenden Illustration eingesetzt. Auf Comicfiguren (wie zum Beispiel der Elefant

in Abbildung 8.3) wird in der Regel ganz verzichtet. Die Bücher sind zwar immer noch farbig, aber nicht mehr ganz so farbenfroh gestaltet. Dafür gibt es auch hier immer wieder einzelne Seiten, die bewusst als ein „Spezial“ hervorgehoben werden (siehe Abbildung 8.7 (rechts))

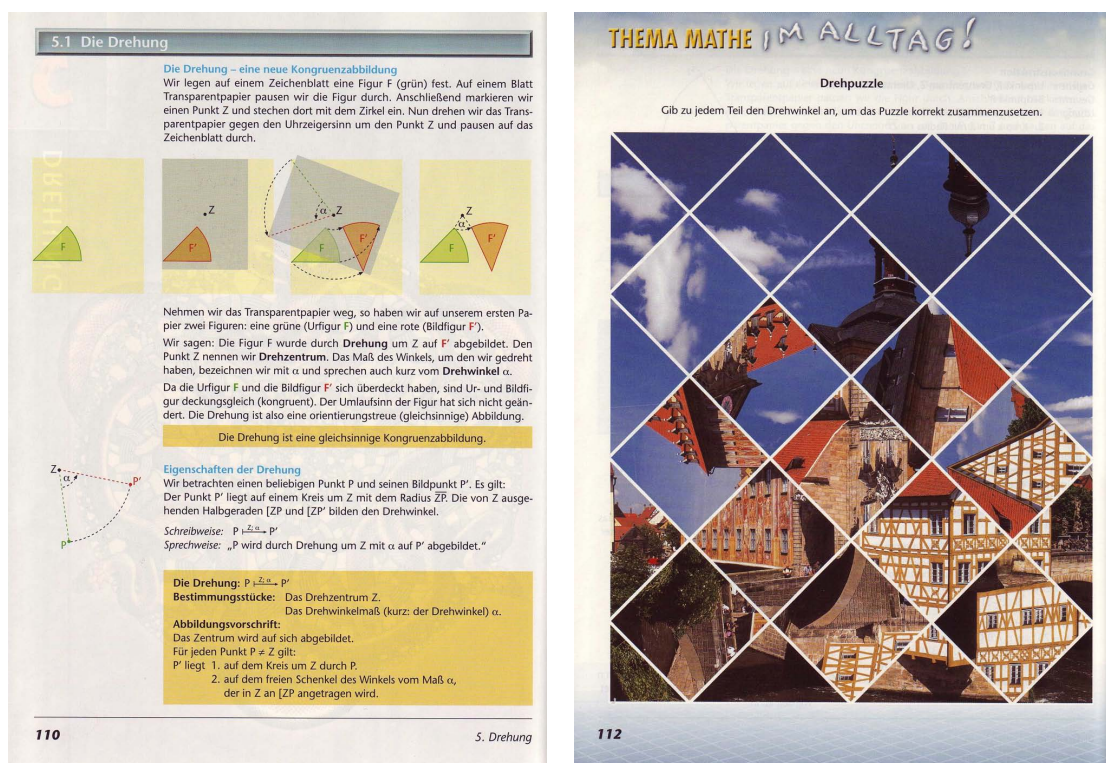


Abbildung 8.7: Symmetrie in Jahrgangsstufe 7 Realschule: Auszug aus *Thema Mathe 7* (2003, S.110, S.112)

In der achten Jahrgangsstufe wird das bisherige Wissen über Symmetrie und Kongruenzabbildungen angewendet. Der Lehrplan (ISB-Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2007, Auszug aus dem Lehrplan Realschule R6, Mathematik Jahrgangsstufe 7) formuliert wie folgt:

▷ M I 8.7 DREIECKE UND VIERECKE (ca. 28 Std.):

Durch die eingehende Beschäftigung mit Dreiecken und Vierecken, vor allem in Konstruktionsaufgaben, erwerben die Schüler grundlegende Kenntnisse und Fähigkeiten für den gesamten weiteren Unterricht. Sie lernen den Aufbau geometrischer Beweise kennen. Anhand exemplarischer, anschaulicher geometrischer Sachverhalte lernen sie, kongruenz- und abbildungsgeometrisch folgerichtig zu begründen. Die Schüler spüren Figureneigenschaften auf und erarbeiten grundlegende geometrische Sätze. Mithilfe der Symmetrieeigenschaften nehmen die Schüler in einem gut überschaubaren Teilgebiet der Geometrie eine systematische Einteilung der Vierecke vor.

- Beziehungen zwischen den Seitenlängen sowie zwischen Seitenlängen und Winkelmaßen im Dreieck

- Konstruierbarkeit von Dreiecken; Kongruenzsätze (aus der Geschichte: Euklid)
- Aufbau von kongruenz- und abbildungsgeometrischen Beweisen
- symmetrische und nicht symmetrische Vierecke; Eigenschaften achsensymmetrischer (diagonal- und lotsymmetrischer) und punktsymmetrischer Vierecke
- Umkreis und Inkreis bei Vierecken
- Begründungen mithilfe von Kongruenzsätzen, Abbildungen und Vektoren

Der Unterschied in den Lehrplänen für das Wahlpflichtfach I und das Wahlpflichtfach II/III besteht in einer verminderten Stundenzahl (ca. 20 statt 28 Stunden) und dem Weglassen von kongruenz- und abbildungsgeometrischen Beweisen.

In der zehnten Jahrgangsstufe werden im Wahlpflichtfach I für die bekannten geometrischen Abbildungen der Ebene jeweils Abbildungsvorschriften mithilfe von Vektoren und Matrizen in einheitlicher algebraischer Form angegeben. Parallelverschiebung, Drehungen (um den Ursprung) und Achsenspiegelungen (an einer Ursprungsgeraden als Spiegelachse) werden somit algebraisch erfasst. Dieser Unterrichtsblock entfällt im Wahlpflichtfach II/III.

Das Thema *Symmetrie* wird in den Lehrplänen für vierklassige Realschulen in ähnlichem Umfang und ähnlicher Tiefe behandelt. Die Unterrichtssequenz zur *Achsen-spiegelung* ist mit fast identischen Inhalten mit ca. 12 Stunden in der Jahrgangsstufe 7 vorgesehen. Die beiden Themen *Parallelverschiebung* und *Drehung* werden zu einem Unterrichtsblock *Doppelachsenspiegelungen* von ca. 25 Stunden zusammengefasst. Dabei unterscheiden sich die Themen inhaltlich nur wenig: Der Lehrplan für vierklassige Realschulen ist etwas mehr auf Spezialfälle (zum Beispiel Punktspiegelung) und konkrete Verfahren reduziert, beinhaltet aber zusätzlich als festen Bestandteil die Einführung in Tabellenkalkulationsprogramme. Ähnlich verhält es sich mit der Unterrichtssequenz zum Thema *Dreiecke und Vierecke*: Mit leichten Abwandlungen vom Lehrplan für sechsklassige Realschulen sind im Lehrplan für vierklassige Realschulen hierfür in der achten Jahrgangsstufe im Wahlpflichtfach I ca. 25 Stunden und im Wahlpflichtfach II/III bei exakt gleichen Inhalten ca. 20 Stunden vorgesehen. Bis auf minimale Unterschiede entsprechen sich auch die Unterrichtsblöcke zum Thema *Abbildungen im Koordinatensystem* - auch hier ist dieser Block nur für das Wahlpflichtfach I, nicht aber für das Wahlpflichtfach II/III vorgesehen.

8.4 Gymnasium

Für Gymnasien gibt es derzeit zwei Lehrpläne: den alten Lehrplan für die bisherigen neunstufigen Gymnasien und einen Lehrplan für die neu eingeführten achtstufigen Gymnasien (G8). Ein Vergleich der beiden Lehrpläne zeigt, dass das Thema *Symmetrie* in beiden Lehrplänen mit ähnlichen Inhalten, im neuen Lehrplan aber wesentlich kompakter und allgemeingültiger vorgesehen ist.

So sollen nach den neuen Lehrplänen in der fünften Jahrgangsstufe die geometrischen Grundvorstellungen weiter vertieft werden. Achsensymmetrische Figuren dienen hier

aber lediglich als mögliches Beispiel. Für die sechste Jahrgangsstufe sind keine speziellen Themen zur Symmetrie vorgesehen. In der siebten Jahrgangsstufe wird dieses mathematische Thema dann jedoch wieder aufgegriffen (ISB-Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2007, Auszug aus dem Lehrplan Gymnasium G8, Mathematik Jahrgangsstufe 7):

▷ M 7.1.1 ACHSEN- UND PUNKTSYMMETRISCHE FIGUREN (ca. 12 Std.):

Anhand von Figuren aus ihrer Erfahrungswelt erkennen die Schüler die Achsen- und Punktsymmetrie als natürliches Gestaltungsprinzip. Sie verwenden aus der Anschauung gewonnene Fundamentalsätze zur Begründung der ersten Grundkonstruktionen. Anhand der Vielfalt der Vierecke erschließt sich ihnen die Symmetrie als ein Ordnungsprinzip.

- Achsensymmetrie: Eigenschaften, Konstruktion von Spiegelpunkt und Achse [→ NT 7.1.1 Optik (Querverweis zum Schulfach *Natur und Technik*)]
- Mittelsenkrechte, Lot; Winkelhalbierende
- Punktsymmetrie: Eigenschaften, Konstruktion von Spiegelpunkt und Zentrum
- Übersicht über symmetrische Vierecke

Für die siebte Jahrgangsstufe sind des Weiteren die beiden Unterrichtssequenzen *Winkelbetrachtungen an Figuren*, *Kongruenz* und *Besondere Dreiecke* vorgesehen, die auf den Symmetriebegriff zurückgreifen. Drehungen werden nicht mehr als eigenes Thema behandelt. Ebenso wird das Thema der Kongruenz allgemeiner behandelt, wobei auch hier die Kongruenzsätze für Dreiecke und grundlegende Konstruktionen fokussiert werden. In der achten Jahrgangsstufe wird das Konzept der Kongruenz dann durch den Begriff der *Ähnlichkeit* verallgemeinert. In der zehnten Jahrgangsstufe wird die *Symmetrie von Graphen* eingeführt.

Ein Vergleich mit den alten Lehrplänen von neunstufigen Gymnasien zeigt, dass der Symmetrie dort in der siebten Jahrgangsstufe eine eigene Unterrichtssequenz zugeordnet ist (die Abkürzungen *B*, *C*, *Ph* und *Ku* stehen dabei für die Schulfächer *Biologie*, *Chemie*, *Physik* und *Kunst*):

▷ 3 SYMMETRIE UND KONGRUENZ VON FIGUREN (ca. 18 Std.):

Interessante, häufig beobachtbare Besonderheiten von Figuren sind Achsensymmetrie und Punktsymmetrie. Ihre Untersuchung führt auf Achsenspiegelungen und Punktspiegelungen, und die Schüler erfahren dabei das fruchtbare Ineinandergreifen von Figurengeometrie und Abbildungsgeometrie. Die Betrachtung von Drehungen und Verschiebungen vertieft diese Einsicht und führt zum Begriff der Kongruenz von Figuren. Beim Zeichnen und Konstruieren, beim Entdecken, Beschreiben und Begründen geometrischer Zusammenhänge sollen die Schüler Einfallsreichtum und geistige Wendigkeit entwickeln.

- Achsensymmetrie Symmetrieachse;
 Eigenschaften achsensymmetrischer Figuren;
 Mittelsenkrechte, Winkelhalbierende, Mittelparallele als
 Symmetrieachsen

- Achsenspiegelungen die Abbildung Achsenspiegelung und ihre Eigenschaften, insbesondere Geradentreue, Längen- und Winkeltreue; Grundkonstruktionen und ihre Anwendungen
(6 Ku: z. B. Architektur)
(6 B: z. B. Schmetterlinge)
(6 Ph9: Reflexion am Spiegel)
- Punktsymmetrie Symmetriezentrum;
Eigenschaften punktsymmetrischer Figuren;
- Punktspiegelungen die Abbildung Punktspiegelung und ihre Eigenschaften; Konstruktionen
- Drehungen Drehpunkt, Drehwinkel;
Eigenschaften der Drehung;
drehsymmetrische Figuren
(6 C: Kristallformen)
(6 B: Blütenformen)
(6 Ku: z.B. Rosetten in der Gotik, Zentralbauten)
- Verschiebungen Verschiebungspfeile, auch in Koordinatendarstellung;
Eigenschaften der Verschiebung;
Verkettung von Verschiebungen
- Kongruenz, Kongruenzabbildungen
kongruente Figuren;
Geradentreue, Längen- und Winkeltreue der Kongruenzabbildungen;
Kongruenzsätze für Dreiecke
(6 Ku: z. B. Mosaik)

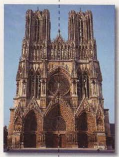
Im Sinne einer Betonung der Figurengeometrie werden Punktspiegelungen, Drehungen und Verschiebungen durch ihre Abbildungsvorschriften definiert. Sie können aber auch als Zweifachspiegelungen eingeführt werden.

In der achten Jahrgangsstufe werden nach den alten Lehrplänen die *Vierecke* als eigenes Thema behandelt, wobei insbesondere die Punktsymmetrie von Parallelogrammen als eine besondere Eigenschaft hervorgehoben werden soll. Auch in den neuen Lehrplänen sind die *Vierecke* Thema der achten Jahrgangsstufe, allerdings ohne dass dabei auf die Punktsymmetrie von Parallelogrammen explizit hingewiesen wird.

Während die alten Lehrpläne den Begriff der Symmetrie auch bei den Themen *Quadratische Funktionen und ihre Graphen* (Jahrgangsstufe 9), *Potenzfunktionen*, *Trigonometrie* (Jahrgangsstufe 10), *Reelle Funktionen*, *Differenzieren reeller Funktionen* und *Kurvendiskussion*, *Extremwertprobleme* (Jahrgangsstufe 11) aufgreifen, wird dieser in den neuen Lehrplänen nur in der oben erwähnten Form als *Symmetrie von Graphen* explizit formuliert.

Was für die Schulbücher für Hauptschulen und Realschulen gilt, trifft auch für die Schulbücher für Gymnasien zu: Sie sind wesentlich sachlicher als die Bücher für die

10 1.1 Achsensymmetrische Figuren



Schmuckformen an Bauwerken sind oft achsensymmetrisch. Das Bild links zeigt die Fassade der Kathedrale „Notre Dame“ in Reims; rechts ist ein Detail aus dem Palazzo Massimo alle Colonne in Rom zu sehen. Die Symmetrieachsen sind eingezeichnet.

Arbeitsaufträge

- Zeichne ein achsensymmetrisches Bild, füge einige (nicht sofort zu erkennende) Fehler ein und lasse sie von deinem Nachbarn oder deiner Nachbarin finden.
- Suche achsensymmetrische Schmuckformen z. B. an Bauwerken und fotografiere sie (oder suche Abbildungen z. B. in Büchern) und stelle dann diese Bilder deiner Klasse vor.

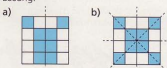
Eine Figur, die man so falten kann, dass ihre beiden Teile miteinander zur Deckung kommen, heißt **achsensymmetrisch**, die Fall(L)inie nennt man **Symmetrieachse** dieser Figur. Achsensymmetrische Figuren haben besondere Eigenschaften:

- Die Verbindungsstrecke zweier zueinander symmetrischer Punkte wird von der Symmetrieachse stets senkrecht halbiert.
- Jeder Punkt der Symmetrieachse ist von zueinander symmetrischen Punkten stets gleich weit entfernt.
- Jeder Punkt auf der Symmetrieachse ist zu sich selbst symmetrisch. Da er mit seinem Bildpunkt zusammenfällt, nennt man ihn **Fixpunkt**.
- Zueinander symmetrische Strecken sind stets gleich lang. Zueinander symmetrische Winkel sind stets gleich groß; ihre Drehlinien sind jedoch stets entgegengesetzt.
- Zueinander symmetrische Geraden schneiden einander auf der Symmetrieachse oder sind zu ihr parallel.
- Zueinander symmetrische Kreise sind stets gleich groß; ihre Mittelpunkte sind stets zueinander symmetrische Punkte.
- Zueinander symmetrische Figuren sind stets deckungsgleich.

Beispiele

- Ergänze die nebenstehende Figur so, dass jeweils der Bruchteil $\frac{1}{2}$ dargestellt wird und die neue Figur
 - achsensymmetrisch mit genau einer Symmetrieachse ist.
 - achsensymmetrisch mit genau vier Symmetrieachsen ist.

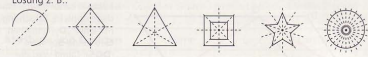
Lösung:



11 1.1 Achsensymmetrische Figuren

- Finde je eine Figur mit genau einer, genau zwei, genau drei, genau vier, genau fünf bzw. unendlich vielen Symmetrieachsen.

Lösung z. B.:



■ Gibt es achsensymmetrische Geradenpaare mit keinem, genau einem bzw. mehr als einem Fixpunkt?
■ Wie viele Symmetrieachsen besitzt jede Gerade?

Aufgaben

- Gib bei jeder der sechs Figuren an, wie viele Symmetrieachsen sie besitzt, und beschreibe jeweils deren Lage(n).
a)  b)  c)  d)  e)  f) 
- Laura sieht im Spiegel eine Bahnhofsuhr. Wie viel Uhr ist es in Wirklichkeit jeweils, wenn das Spiegelbild die folgende Zeit anzeigt?
a) 13.00 Uhr b) 7.00 Uhr c) 18.30 Uhr
Berechne jeweils den kleineren der beiden Winkel, die die Zeiger einschließen.
- Trage die Punkte R (2 | 11), S (12 | 1), E (10 | 3) und F (10 | 11) sowie die Achse EF in ein Koordinatensystem (Einheit 5 mm) ein.
a) Spiegle die Punkte R und S sowie den Mittelpunkt M der Strecke [RS] an der Achse EF. Gib die Koordinaten der Spiegelpunkte R*, S* und M* sowie zwei Paare zueinander symmetrischer Strecken und ein Paar zueinander symmetrischer Winkel und deren jeweilige Länge bzw. Größe an.
b) Wie viele Fixpunkte hat die Gerade RS, wie viele die Gerade RF?
c) Zeichne den Kreis k um den Mittelpunkt P (7 | 10) mit Radiuslänge 1,5 cm und spiegle ihn an der Achse EF. Trage drei verschiedene Gitterpunkte auf k ein, spiegle sie an EF und gib ihre Koordinaten und die ihrer Spiegelpunkte an. Wie viele Fixpunkte besitzt der Kreis k?
- Die Ameisen Franz und Franziska laufen in gleichem „Tempo“ auf den zueinander symmetrischen Kreisen k und k* ($MA^* = 8$ cm; Radiuslänge 3 cm). Übertrage die Figur in dein Heft, ermittle die Entfernungen von Franz und Franziska in den Zeitpunkten (1) bis (8) und stelle sie in einem Säulendiagramm dar.

W1 Wie lässt sich die Zahl 35 als Summe von zwei, fünf bzw. sieben aufeinander folgenden natürlichen Zahlen darstellen?
W2 Wie werden zwei ganze Zahlen addiert, wie werden sie multipliziert?
W3 Welche der Zahlen $\frac{5}{7}$, $\frac{4}{5}$, $-\frac{5}{6}$, 0 , $\frac{1}{3}$ sind Elemente der Menge $\mathbb{Z}$, $\mathbb{N}$ bzw. $\mathbb{Q}$?
Schreibe das Ergebnis jeweils mit Hilfe des Zeichens $\in$.

$1,23 : 0,41 = ?$
 $\left(\frac{5}{7}\right) : \left(\frac{4}{5}\right) = ?$
 $(3 \text{ cm})^3 : (27 \text{ cm})^3 = ?$

24 1.4 Punktsymmetrie



Die Abbildung zeigt vier Karten, die Laura und Lucas für ein Kartenspiel entworfen haben.
Gregor: „Bei einer dieser Karten ist die Zeichnung falsch.“

Arbeitsaufträge

- Formuliere, welche besonderen Eigenschaften die fehlerfreien der abgebildeten Karten besitzen, und gib an, worin der Fehler der fehlerhaften Karte besteht.
- Entwirf mit deinen Mitschülerinnen und Mitschülern ein Kartenspiel der oben gezeigten Art. Stellt eure Karten in einem Schaukasten aus.

Eine Figur heißt **punktsymmetrisch**, wenn sie bei einer **Halbdrehung**, also einer Drehung um 180° , mit sich selbst zur Deckung kommt. Den Punkt Z, um den man dabei die Figur dreht, nennt man **Symmetriezentrum**. Statt von einer Halbdrehung um Z spricht man auch von einer **Punktspiegelung** an Z und nennt deshalb das Symmetriezentrum Z auch **Spiegelzentrum**.

Konstruieren des Spiegelpunkts
Der zu einem Punkt P bezüglich des Symmetriezentrums Z punktsymmetrische Punkt P* liegt

- auf der Geraden PZ und
- auf dem Kreis um den Mittelpunkt Z mit Radiuslänge ZP.

Konstruieren des Symmetriezentrums
Das Symmetriezentrum Z, also der Punkt, bezüglich dessen die Punkte P und P* punktsymmetrisch zueinander liegen, ist der Mittelpunkt Z der Strecke [PP*]. Das Symmetriezentrum liegt also

- auf der Geraden PP* und
- auf der Mittelsenkrechten der Strecke [PP*].

Eigenschaften punktsymmetrischer Figuren
Jede punktsymmetrische Figur geht bei einer Drehung um 180° in sich über. Daraus folgt:

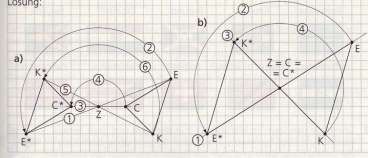
- Zueinander punktsymmetrische Strecken sind stets gleich lang und zueinander parallel.
- Zueinander punktsymmetrische Winkel sind stets gleich groß und haben stets den gleichen Dreh Sinn.
- Jede Gerade durch das Symmetriezentrum ist zu sich selbst punktsymmetrisch.
- Zwei zueinander punktsymmetrische Geraden sind stets parallel zueinander; das Symmetriezentrum hat von beiden Geraden stets den gleichen Abstand.
- Zueinander punktsymmetrische Figuren sind stets deckungsgleich.

25 1.4 Punktsymmetrie

- Zeichne ein beliebiges Dreieck ECK und konstruiere das zu ihm bezüglich eines Punkts Z punktsymmetrische Dreieck E*K*K*.

a) wenn Z außerhalb dieses Dreiecks liegt.
b) wenn Z mit einem Eckpunkt dieses Dreiecks zusammenfällt.

Erkläre deine Vorgehensweise, indem du deine Konstruktionsschritte nummerierst.
Lösung:



Trage die Punkte A (3 | 2), N (1 | 3) und G (3,5 | 5) sowie den Winkel $\angle \text{ANG}$ in ein Koordinatensystem (Einheit 1 cm) ein. Spiegle die Punkte A, N und G sowie den Winkel $\angle \text{ANG}$ am Ursprung des Koordinatensystems, gib die Koordinaten der Spiegelpunkte A*, N* und G* an und formuliere allgemein, was dir bezüglich der Koordinaten auffällt.

Lösung:
A* (-3 | -2), N* (-1 | -3), G* (-3,5 | -5). Hat ein Punkt P die Koordinaten $x_P = a$ und $y_P = b$, so hat der zu ihm bezüglich des Ursprungs O symmetrische Punkt P* die Koordinaten $x_{P^*} = -a$ und $y_{P^*} = -b$.

■ Ist jede Gerade punktsymmetrisch? Wenn ja: Was lässt sich über die Lage des Symmetriezentrums sagen?
■ Kann eine Figur zugleich achsen- und punktsymmetrisch sein?

Aufgaben

- Finde punktsymmetrische Ziffern, Zahlen, Buchstaben und Wörter.
- Finde punktsymmetrische, aber nicht achsensymmetrische Figuren aus dem Alltag; bringe Abbildungen mit oder zeichne diese Figuren.
- Finde Figuren aus dem Alltag, die sowohl punkt- als auch achsensymmetrisch sind.

Abbildung 8.8: Symmetrie in Jahrgangsstufe 7 Gymnasium: Achsensymmetrie (oben) und Punktsymmetrie (unten). Auszug aus *delta 7* (2005, S.10f., S.24f.)

Grundschule, sie sind farbig, aber nicht mehr so farbenfroh, Definitionen und wichtige Eigenschaften werden in Kästen abgegrenzt und hervorgehoben, Fachsprache und somit mathematische Symbole nehmen deutlich zu, generell werden die Seiten textlastiger, Fotos oder realitätsnahen Bildern und Zeichnungen kommt mehr und mehr die Funktion ergänzender Illustration zu, dafür wird vermehrt auf mathematische Diagramme und schematisierende Zeichnungen wie beispielsweise Konstruktionszeichnungen zurückgegriffen, und auch hier gibt es besonders aufbereitete „Themenseiten“, die einen besonderen Aspekt eines Themas fokussieren.

Abbildung 8.8 zeigt beispielsweise die jeweils einführenden Seiten zum Thema *Achsenspiegelung* und *Punktsymmetrie* aus dem Mathematikschulbuch *delta 7* 2005. Allerdings ist festzuhalten, dass sich das Layout „moderner Schulbücher“ im Vergleich zu denen älterer Jahrgänge deutlich verändert hat: Die aktuelle Technik erlaubt ein anspruchsvolles Layout mit neuen Formen der Text- und Bildgestaltung und einen intensiven Einsatz von Farben. Abbildung 8.9 zeigt zum Vergleich einen Auszug zum Thema *Achsenspiegelung* aus *bsv Mathematik Geometrie 7.Schuljahr* - im Zweifarbensatz.

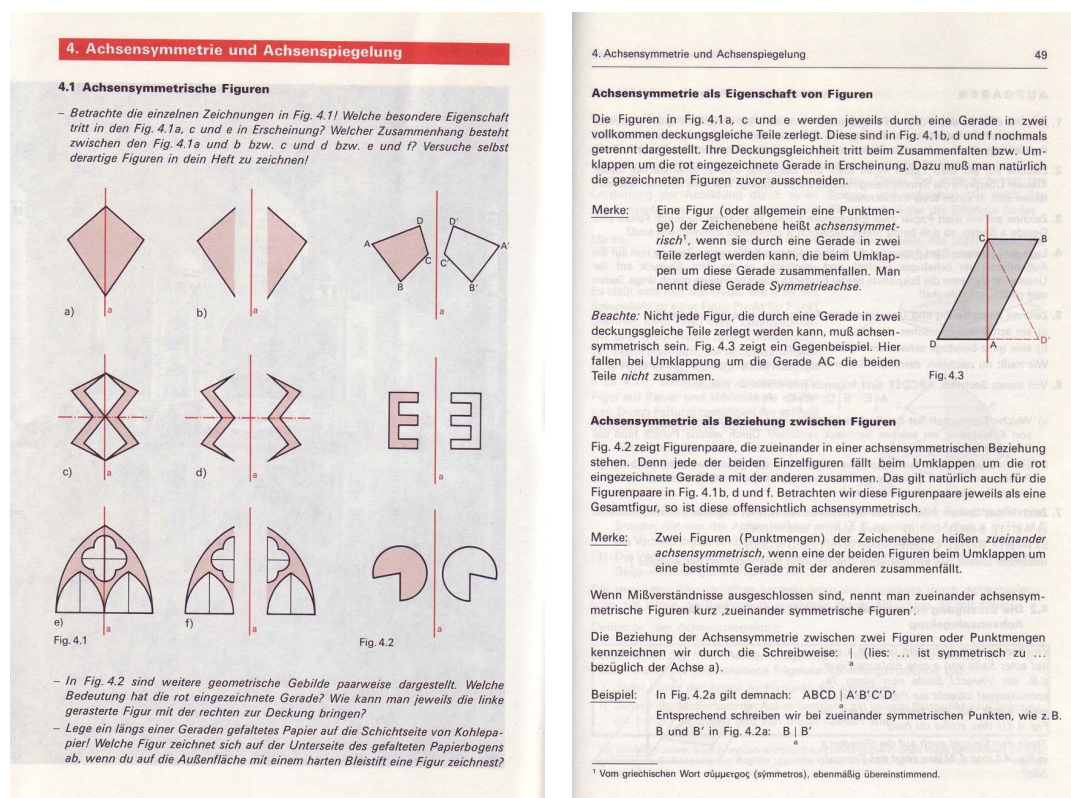


Abbildung 8.9: Symmetrie in Jahrgangsstufe 7 Gymnasium anno 1986. Auszug aus *bsv Mathematik Geometrie 7.Schuljahr* (1986, S.10f., S.24f.)

8.5 Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen

Die obigen Ausführungen haben gezeigt, dass *Symmetrie* ein zentrales Thema des Geometrieunterrichts in den Schulen ist. In unterschiedlicher Intensität und Tiefe ist es in den Lehrplänen von Grund-, Haupt-, Realschule und Gymnasium integriert. Wie im Lehrplan zum achtstufigen Gymnasium explizit angedeutet, gibt es zudem viele Querbeziehungen zu anderen Fächern wie beispielsweise Physik, Chemie, Natur und Technik, aber auch Kunst und Musik.

Aufgrund seiner Vielschichtigkeit und den Möglichkeiten eines vielfältigen Zugangs auf unterschiedlichen Ebenen ist es als Thema für eine Umsetzung in ein mediales Angebot unter Berücksichtigung der in den bisherigen Kapiteln aufgezeigten Aspekte sehr gut geeignet. Dabei lassen sich zum einen Querbezüge zu anderen Fächern explizit integrieren, zum anderen lässt sich das Thema an sich noch weiter vertiefen, wie beispielsweise durch die Darstellung von Kongruenzabbildungen mithilfe von Matrizen und homogenen Koordinaten oder durch eine Erweiterung des Symmetriebegriffs, die zu Fraktalen und iterierten Funktionensystemen führen kann.

Bei der Betrachtung von Schulbüchern fällt auf, dass vor allem die Schulbücher für die Grundschule sehr praxisorientiert sind und die mathematischen Inhalte fast immer „aus dem Tun heraus“ entwickeln. Die Schulbücher der weiterführenden Schulen greifen solche enaktiven Zugänge zwar noch auf, jedoch sind es hier meist in sich abgeschlossene „Arbeitsanweisungen“, die oftmals zur Einführung eines Themas angeboten werden, auf die aber für das Lösen von Aufgaben auch verzichtet werden kann. Die Darstellungen werden symbolischer, die Texte in mathematischer Fachsprache formuliert. Die farbenfrohe und spielerische Gestaltung, die sich in vielen Schulbüchern für die Grundschule findet, ändert sich bei den weiterführenden Schulen in ein farbiges Layout, das auf sich aufmerksam machen möchte. Besondere Aspekte werden abgegrenzt und bewusst „in Szene gesetzt“. Zudem werden Anleitungen für den Einsatz von mathematischen Computerprogrammen integriert.

Trotz aller Veränderungen des Layouts von Schulbüchern bleiben sie als Medium ein Buch. Gerade in Kombination mit dynamischer Geometriesoftware bietet sich hier der Einsatz und die Entwicklung einer entsprechenden Lernumgebung an. Animation und Simulation können beispielsweise die Abbildungsvorschriften der Kongruenzabbildungen dynamisch darstellen und so den Aufbau eines entsprechenden mentalen Modells unterstützen. Die Vorteile dynamischer Geometrie in Bezug auf das Verändern von Parametern und Punktkoordinaten sowie bezüglich des Beobachtens der Auswirkungen dieser Veränderungen können hier eingesetzt werden, um die Funktionsweise von Kongruenzabbildungen „nachzuvollziehen“. Die Interaktion mit dem Computer und eine Interaktion mit dem Thema *Symmetrie* bedingen sich dabei gegenseitig.

Dabei können die in den bisherigen Kapiteln dargestellten Möglichkeiten echt haptischer Komponenten zum Beispiel mit einer Bastelanleitung für ein Geobrett oder Bastelanleitungen für Klappspiegel und Kaleidoskope aufgegriffen werden und somit

eine enaktive Auseinandersetzung mit dem Thema unterstützen. Ebenso können realitätsbezogene wie fantastische Geschichten einen spielerischen Zugang vermitteln.

8.6 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

In diesem Kapitel stand das Thema *Symmetrie* und dessen Behandlung im Schulunterricht von Grund-, Haupt-, Realschule und Gymnasium im Vordergrund. Bei einer Betrachtung der jeweiligen Schulbücher zeigte sich, dass die Schulbücher für die Grundschule sehr praxisorientiert sind und einen spielerischen Zugang zu diesem Thema suchen. Bei den Schulbüchern der weiterführenden Schulen nimmt dieser stark ausgeprägte enaktive Zugang ab; dafür werden Fachsprache und Symbolik etabliert.

Insofern zeigte dieses Kapitel zum einen schulmathematische Problemstellungen auf, die mit dem Symmetriebegriff verknüpft sind. Zum anderen wurde *Symmetrie* dadurch als geeignetes Thema für eine mediale Lernumgebung vorgestellt, in der sich die in den bisherigen Kapiteln genannten Aspekte zur Gestaltung solcher Lernumgebungen anwenden und umsetzen lassen. Im folgenden Kapitel 9 wird ein Konzept für eine solche Lernumgebung vorgestellt.

Kapitel 9

Die mathematische Lernumgebung *Symme*TRICKS

Dieses Kapitel fokussiert die ursprünglich geplante mathematische Lernumgebung zum Thema *Symmetrie*. Kapitel 9.1 stellt hierzu die Entstehung des Projekts und dessen *Leitgedanken* im Sinne von *Motivation* und *Zielsetzung*, Kapitel 9.2 anschließend die wesentlichen Merkmale des Konzeptes vor.

9.1 Leitgedanken

Dieses Kapitel stellt die Hintergründe der ursprünglich geplanten Lernumgebung zum Thema *Symmetrie* vor.

9.1.1 Motivation

Seit gut fünf Jahren gibt es das Mathematik-Museum *ix-quadrat* an der Technischen Universität München in Garching. Als Wechselausstellung konzipiert sind die derzeitigen Themen *Symmetrie*, *Womit Sie rechnen können* und *Perspektiven von Escher*.

Das Besondere an diesem Museum ist seine Gestaltung: Zu jedem der drei Themengebiete gibt es neben historischen Ausstellungsstücken in Vitrinen viele Exponate zum Anfassen und Ausprobieren. Zusätzlich laden Computerstationen mit begleitenden und weiterführenden Informationen, Programmen und Applets zu weiteren Einblicken in die Thematik ein. Die Beschreibungen zu den einzelnen Exponaten enthalten nicht nur Erklärungstexte, sondern ebenso Fragen und Anleitungen, die zum Nachdenken, Spielen und eigenen Versuchen anregen. Selbstverständlich werden auch Führungen angeboten.

Das Museum hält für alle Altersklassen interessante Einblicke in die Mathematik bereit. So konnten bislang neben Schulklassen aller Jahrgangsstufen auch Erzieherinnen und Erzieher für Kindergärten und Kindertagesstätten sowie auch Interessierte aus den verschiedensten Berufssparten, wie zum Beispiel Professoren unterschied-

licher Fachrichtungen, Gastwissenschaftler unterschiedlicher Nationen, Mitarbeiter des Deutschen Patentamtes sowie des Naturschutzbundes oder sogar prominente Persönlichkeiten begrüßt werden.

Das Angebot der Ausstellung wird dabei von den Besuchern sehr unterschiedlich wahrgenommen: Die einen nehmen die ausgestellten Exponate sofort in die Hand und probieren aus, andere lesen zuerst die Begleittexte, bevor sie selbst aktiv werden. Manche fragen lieber direkt nach den Erklärungen als die Begleittexte zu lesen. Einige sind froh, wenn jemand auf sie zugeht und ihnen etwas erklärt, wiederum andere möchten sich gar nichts erklären lassen, sondern sich lieber selbst erst einmal mit dem Thema oder einem speziellen Exponat auseinandersetzen. Manche wollen auch einfach „erst mal nur gucken“. Für manche ist eine Führung zum Verständnis absolut notwendig, für andere ist es eher eine sinnvolle Ergänzung.

Im Gegensatz zum sehr unterschiedlichen Umgang mit dem Angebot der Ausstellung sind die Rückmeldungen der Besucher jedoch recht eindeutig: Den meisten der jüngsten Besucher gefällt der spielerische Zugang zur Mathematik. Eine geradezu magische Anziehungskraft hat für viele von ihnen das Ornament-Programm, mit dem sich mit nur wenigen Strichen farbenfrohe symmetrische Muster auf den Bildschirm malen lassen. Die Schüler der verschiedenen Jahrgangsstufen erleben Mathematik einmal aus einer ganz anderen Perspektive und erhalten zudem Anregungen, die oftmals weit über ihren Schulunterricht hinausgehen. Viele der älteren Besucher sagen am Ende ihres Besuches: „Wenn ich das in meiner Schulzeit so gezeigt bekommen hätte, dann hätte auch ich Mathematik verstanden. Das macht ja richtig Spaß!“

In einem bekannten Zitat von Konfuzius (551-479 v. Chr.) heißt es:

*Sage es mir, und ich vergesse es;
zeige es mir, und ich erinnere mich;
lass es mich tun, und ich behalte es.*

Gerade in der Mathematik besteht bei vielen Lernenden der Wunsch, Mathematik im wahrsten Sinne des Wortes „be-greif-bar“ angeboten zu bekommen. Darum wird bei der Mathematik-Ausstellung *ix-quadrat* sehr viel Wert auf die Möglichkeit von „umfassendem Tun“ sowie den aktiven Umgang mit Mathematik durch ein breit gefächertes Angebot an Interaktion gelegt.

Der viel zitierten „Berührungsangst“ vor Mathematik wird durch die Verwendung von bekannten und vertrauten Materialien wie beispielsweise Papier und Lego entgegengewirkt. Die Modelle und Exponate sind ansprechend und handsam und laden zum Ausprobieren ein.

Häufig fragen die Besucher dann am Ende ihres Ausstellungsbesuches, ob es weiterführendes Material zur Ausstellung gibt. Da gerade das Medium Computer vielfältige Möglichkeiten für ein Lernen auf vielen Wahrnehmungskanälen anbietet, war dies der Anstoß zu der weiterführenden Frage, ob und wie es möglich ist, einen E-Learning-Kurs zum Thema „Symmetrie“ zu entwickeln, welcher der Museums-Philosophie möglichst nahe kommt. Dies war der Beginn von



9.1.2 Zielsetzung

Wie lässt sich nun ein E-Learning-Kurs erstellen, der einem Besuch der Mathematik-Ausstellung *ix-quadrat* mit all seinen vielfältigen Wahrnehmungskomponenten möglichst nahe kommt? Wie lässt sich vor allem eine intensive aktive Auseinandersetzung des Lernenden mit dem Lernstoff umsetzen? Wie kann Distanz abgebaut und ein spielerischer Einstieg und Zugang zum Fach Mathematik geschaffen werden?

Ein dreidimensionaler Museumsbesuch kann dabei sicherlich nicht durch einen (allein schon durch seine äußere Form notwendigerweise gegebenen) zweidimensionalen E-Learning-Kurs ersetzt werden, dennoch lohnt es sich, nach geeigneten Perspektiven zu suchen, deren Projektion dem gewünschten Ergebnis vielleicht doch näher kommen kann als zunächst angenommen.

Die ursprünglichen Zielsetzungen für den E-Learningkurs *SymmeTRICKS* waren somit

- ▷ wissenschaftliche Recherche über bereits erforschte Möglichkeiten zur Verwirklichung der gewünschten Intention sowie ihre Umsetzung oder gegebenenfalls Übertragung in den Kontext mathematischen Lernens
- ▷ Schwerpunkt dabei: Einsatz des Computers als insbesondere interaktives Medium bei gleichzeitiger Nutzung der durch die in einem Computer vereinten klassischen Medien
- ▷ technische Umsetzung eines breit angelegten Navigationskonzeptes
- ▷ Untersuchung, wie sich gegebenenfalls neue Möglichkeiten der mathematischen Wissensvermittlung aus den bestehenden Forschungsergebnissen ableiten und sinnvoll im E-Learningkurs verankern lassen
- ▷ Analyse vor dem Hintergrund der technischen Realisierung, welche Möglichkeiten durch das Zusammenspiel heutiger Medientechnologie (Internet, HTML, Rechnerleistung, etc.) und dem Potenzial dynamischer Geometriesoftware (*Cinderella*) gegeben sind.
- ▷ Konzeption für eine möglichst breite Zielgruppe mathematisch Interessierter (und keine Beschränkung auf eine festgelegte Altersgruppe)
- ▷ Ausbau- und Erweiterungsmöglichkeiten im Rahmen des Kurses und des Themas

Die vorliegende Arbeit deckt nun den theoretischen Teil dieser Zielsetzungen ab. Sie schafft die Grundlage für eine an wissenschaftlichen Erkenntnissen und Ergebnissen

orientierten Umsetzung dieses Kurses. Wie in der Einleitung bereits erwähnt, führte diese theoretische Ausarbeitung jedoch zu einer zunächst nicht erwarteten, breiten Begriffsexploration, die eine konkrete Umsetzung des Kurses im zeitlich vorgegebenen Rahmen nicht mehr ermöglichte. Im Folgenden werden dennoch wesentliche Merkmale des Konzeptes vorgestellt.

9.2 Wesentliche Merkmale des Konzeptes

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Merkmale des Konzeptes der Lernumgebung *SymmeTRICKS* vorgestellt. Sie lassen sich alle aus den wissenschaftlichen Ergebnissen der Kapitel 1 bis 7 ableiten. Die jeweiligen Hintergründe wurden jeweils in den Kapiteln über die *Aspekte zur Umsetzung in mathematischen Lernumgebungen* näher erläutert. An dieser Stelle soll vielmehr die angedachte konkrete Umsetzung dargestellt und soweit möglich mit Bildern illustriert werden.

9.2.1 Navigationskonzept & Hohe Transparenz

SymmeTRICKS verwendet das in Kapitel 7.7 vorgestellte Navigationskonzept einer linearen und gleichzeitig multidirektionalen Navigation. Wie in Kapitel 8 angedeutet, gibt es über die in der Schulmathematik behandelten Themen zur Symmetrie hinaus eine Fülle von zusätzlichem Material und Problemstellungen auf unterschiedlichsten Ebenen zu diesem mathematischen Gebiet. Insofern lässt sich hier ein weitläufiges Netz linearer und miteinander verlinkter Kurse erstellen, so dass eine großzügige freie Navigation in diesem Netz möglich wird.

Abbildung 9.1 zeigt einen Entwurf zur Willkommen-Seite des Programms. Dabei ist das Darstellungsfenster in mehrere Bereiche aufgeteilt: Während der linke Bereich grundsätzlich für den eigentlichen Lerninhalt reserviert ist, ist der rechte Bereich für die Organisation der Navigation vorgesehen. Der obere Kasten in diesem rechten Bereich zeigt dabei den Verlauf des aktuellen Kurses an, wobei bei einem Darüberfahren mit der Maus die möglichen Verzweigungen zu anderen Kursen angegeben werden. Insofern steht der Buchstabe *K* in der Überschriftenleiste des Kastens für *Kurs*, der Buchstabe *V* für *Verlauf*, wobei hier eine Liste aller besuchten Seiten geführt wird, anhand derer sich der Lernende immer wieder orientieren kann, wo er bereits gewesen und wo er gerade ist, und der Buchstabe *B* für *Bookmarks*, die sich der Lernende während der Bearbeitung des Kurses selbst setzen kann.

Generell gibt es auf der Ebene der einzelnen Kurse jeweils ein globales und ein lokales nur auf den Kurs bezogenes Menü. Über das globale Menü erreicht man die eigentliche *Startseite* (dieser Eintrag fehlt noch in der abgebildeten Version) sowie die Seiten zur globalen Übersicht (siehe weiter unten), das *Notizbuch* sowie die Möglichkeit zur Einstellung einer *Hintergrundmusik*. Lokal lassen sich die *Startseite*, eine *Inhaltsübersicht*, eine *Zusammenfassung*, *Übungsaufgaben*, kleinere *Zwischenaufgaben* (ein Beispiel ist in Abbildung 9.5 dargestellt), zugehörige *PDF-Dateien* ansteuern.



Abbildung 9.1: Willkommen-Seite von *SymmeTRICKS*. Programmierung des technischen Rahmens durch Levente Babos.

Neben diesem Navigationsbereich auf der Ebene der einzelnen Kurse, gibt es noch eine eigene globale Startseite, von der aus die einzelnen Kurse ausgewählt sowie die globalen Features erreicht werden können. Abbildung 9.2 zeigt einen Entwurf dieser Startseite, der noch weitere Möglichkeiten auf der globalen Ebene vorsieht.

Während diese globalen Elemente über den rechten Block an Auswahlmöglichkeiten erreicht werden können, ist die kreisförmig angeordnete Auswahl für den Bereich der Kurse reserviert. Hier können zum einen zentral die einzelnen Kurse ausgewählt, zum anderen kann gezielt in verschiedene Rubriken verlinkt werden. Die noch durch die Zahlen 1 bis 5 gekennzeichneten Felder entsprechen dabei Links zu den Rubriken *Interaktive Aufgaben*, *Kurzaufgaben*, *Lerntests*, *Lerngeschichten* und *Spiele*, die jeweils in Form einer Sammlung zur Verfügung gestellt werden. Die Sammlung umfasst dabei jeweils alle Elemente aller Kurse aus dieser Rubrik, so dass sich der Lernende jeweils entscheiden kann, ob er beispielsweise einen Kurs komplett mit allen jeweiligen Elementen oder lieber ganz gezielt und ausschließlich Aufgaben lösen möchte.

SymmeTRICKS möchte dem Lernenden eine möglichst hohe Transparenz in seinen eigenen Lernprozess gewähren. Hierzu gibt es eine Vielzahl von Übersichten, die jederzeit über den *Übersicht*-Knopf des globalen Menüs erreicht werden können. Zu jeder der oben genannten Rubriken gibt es eine eigene Übersichtsseite, die Auskunft über bereits bearbeitete Bestandteile dieser Rubrik Auskunft gibt. Im Beispiel der Übersicht zu den einzelnen linearen Kursen soll dieser Überblick grafisch in Form

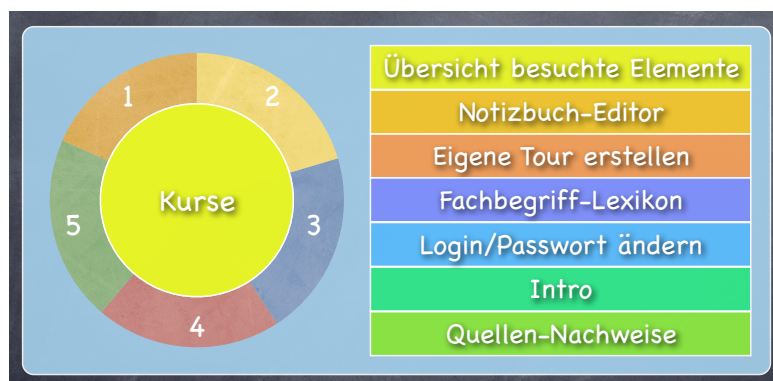


Abbildung 9.2

eines farbigen Balkens angezeigt werden. Dabei können die Seiten, die in mehreren Kursen gleichzeitig enthalten sind, im „echt“ bearbeiteten Kurs in kräftiger und in den jeweils parallelen Kursen in matter Farbe dargestellt werden.

9.2.2 Personifizierung von Mathematik

Die *Personifizierung von Mathematik* ist ein wesentlicher Bestandteil von *symmeTRICKS*. Gleich zu Beginn stellen sich die geometrischen Objekte als lebendige Wesen ihrer Welt, der Mathematik, vor (siehe Abbildung 9.3)

Herzlich Willkommen!

Habt ihr das gehört? Man redet schon wieder über uns!

Immer redet man **über** uns, aber wieso redet eigentlich nie mal jemand **mit** uns?

Sie wollen wissen, wer wir sind?

Wir, das sind zum Beispiel alle diese Transformationen, Deckbewegungen, Kongruenzabbildungen, Platonischen Körper und Fraktale, von denen da oben die Rede ist, und über die man immer so redet, als wären wir nur Dinge, nur Fakten. Dabei sind wir ziemlich munter und haben recht viel Spaß in unserer Welt, der Mathematik. Aber das glaubt ja keiner. Ganz schön frustrierend ist das! Jawohl! Darum melden wir uns jetzt endlich einmal zu Wort ... und wenn Sie wollen, dann hören Sie mal zu, was wir so alles zu erzählen haben. Das ist nämlich eine ganze Menge!

Abbildung 9.3: *SymmeTRICKS* : Mathematik stellt sich vor.

Die Personifizierung ermöglicht ein direktes Ansprechen des Lernenden. Dabei wird Umgangssprache verwendet. Gleichzeitig erlaubt die Modellierung auf zwei Ebenen eine parallele Einführung der Fachsprache (siehe Abbildung 9.4).

Kongruenzabbildungen

Es gilt:
Jede Kongruenzabbildung bewahrt die Form und die Größe der Figur. Sie ist daher winkeltreu, längentreu, geradentreu, parallelentreu, teilverhältnistreu und flächentreu.

Definition:
Die einzige Änderung, die eine Kongruenzabbildung herbeiführen kann, betrifft den Winkelumlaufsinn. Wird er verändert, so nennt man eine Abbildung gegensinnig kongruent. Bleibt er unverändert, so nennt man eine solche Abbildung gleichsinnig kongruent.

Ganz schön viel, was Ihr da von uns verlangt! Aber - wir können das tatsächlich *alles* ! Der ein oder andere von Euch hat bestimmt auch schon einmal von uns gehört. Es gibt sozusagen drei Grundtypen von uns: Das sind die Spiegelungen, die Verschiebungen und die Drehungen. Aber da es viel zu langweilig wäre, immer nur unter uns zu bleiben, mischen wir auch schon mal ganz schön durch. Wenn sich zum Beispiel eine Spiegelung und eine Verschiebung zusammenschließen, dann entsteht eine Gleitspiegelung. Aber eins nach dem anderen - wir möchten Ihnen jetzt erst einmal die drei Grundtypen vorstellen:

Spiegelungen, Drehungen und Verschiebungen

Abbildung 9.4: *SymmeTRICKS* : Die beiden Ebenen von Fach- und Umgangssprache

Dabei erlaubt die Umgangssprache auch einen sehr spielerischen Zugang zum Thema. Emotionen können zum Ausdruck gebracht, Neugierde kann geweckt und der Lernende kann auf erheiternde, aber auch herausfordernde Art zur Mitarbeit animiert werden. Ein kleines Beispiel einer solchen kleinen „Provokation“ ist in Abbildung 9.5 wiedergegeben.

Spiegelung / Reflexion



Jetzt möchte ich Sie aber mal etwas fragen: Eine Spiegelung kennt ja eigentlich jeder, aber wissen Sie auch wirklich, wie ich funktioniert? "Na klar" denken Sie jetzt bestimmt, oder? Dann wollen wir doch mal sehen:

Manche Leute behaupten, dass ich "links" und "rechts" vertausche, weil es doch offensichtlich so ist, dass ihr eigenes Spiegelbild mit der linken Hand zurückwinkt, wenn sie vor dem Spiegel stehen und mit der rechten Hand winken. Aber wenn ich demnach "links" und "rechts" vertausche, warum vertausche ich dann nicht auch "oben" und "unten"? Vertausche ich denn wirklich "rechts" und "links"? Wenn Sie in einem Auto sitzen und im Rückspiegel den Autoverkehr hinter Ihnen betrachten - zieht dann nicht das Auto, das Sie in der linken Spiegelhälfte sehen auch links an Ihnen vorbei? Und wie ist das mit "vorne" und "hinten"? Na, habe ich Sie jetzt doch ein bisschen verwirrt? Wenigstens so ein bisschen?

Abbildung 9.5: *SymmeTRICKS* : Eine Kurzaufgabe in umgangssprachlicher Form

Zudem können Dialoge zwischen den personifizierten mathematischen Elementen Fragen aufwerfen und beantworten und hier im Sinne eines sokratischen Dialoges Wissen entstehen lassen. „Schlauberger“, „Faulenzer“ und andere Charaktere können im Rahmen personifizierter Mathematik miteinander in Kontakt treten und so auch das breite Spektrum der individuellen Unterschiede der Lernenden aufgreifen und widerspiegeln.

Ein weiterer, wesentlicher Faktor, der durch die Personifizierung von Mathematik ermöglicht wird, ist die Einbindung von Emotionen. Verschiedene mathematische Protagonisten in Form geometrischer Elemente können die sie betreffenden mathematischen Sachverhalte mit verschiedenen Emotionen vortragen und dadurch auch eine gewisse „Lebendigkeit“ hineinbringen: Mathematik wird nicht „von außen“ heraus erklärt, sondern stellt sich selbst von „innen“ heraus vor (siehe Abbildung 9.6).

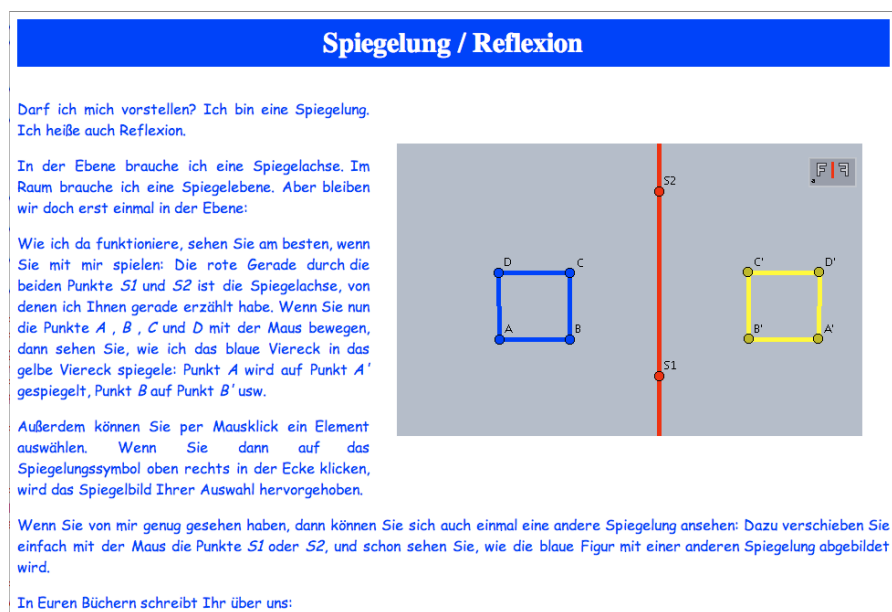


Abbildung 9.6: *SymmeTRICKS* : Mathematische Objekte erklären sich selbst. Applet erstellt mit *Cinderella*

9.2.3 Erzählen

Spielt das Erzählen schon im Sinne der „erzählenden“ personifizierten Mathematik eine wichtige Rolle, so gibt es in *SymmeTRICKS* zusätzlich noch in sich abgeschlossene Geschichten. Da ist zum Beispiel die Geschichte vom kleinen *Mathe-Engel OHO*, der seinen Namen ganz schrecklich und eines Mathe-Engels unwürdig findet. Traurig und enttäuscht fliegt er auf seinen Lieblingsplatz auf der Erde, um dort zwei neue Freunde zu finden: den *Zaubären* und die weise alte Frau Schildkröte. Zusammen finden sie heraus, dass der Name *OHO* ganz tolle Symmetrie-Eigenschaften hat, und zwar nicht nur beim Spiegeln, sondern auch beim Drehen und (in verzauberter Form) beim Verschieben.

Abbildung 9.7 und Abbildung 9.8 zeigen zwei Ausschnitte aus der Geschichte, wobei der Anwender das Wort *OHO* jeweils per interaktivem Applet selbst in das Wasser tauchen kann, um den Spiegeleffekt nachzuvollziehen.

Diese und andere Geschichten werden dabei nicht nur in der Online-Form auf dem Computer-Bildschirm angeboten, sondern auch als *PDF-Files* zum Ausdrucken. Dies ermöglicht ein durch den Computer initiiertes Lernen *ohne* Computer. Wenn auch in der ausgedruckten Form die Applets als solche nicht direkt verfügbar sind, kann

Der kleine Mathe-Engel OHO

Der kleine Engel fand das gerade gar nicht so lustig, aber der Zaubär hatte die drei Buchstaben seines Namens gerade in leuchtend gelber Schrift über den See gezaubert. Irgendwie sah das schon schön aus. Nun zauberte der Zaubär Bewegung in die Schrift. Das leuchtend gelbe Wort "OHO" hüpfte nach links und nach rechts, nach oben und nach unten, und weil die Wasseroberfläche gerade ganz ruhig und glatt war, konnte man das Spiegelbild im Wasser verfolgen. Der Zaubär hatte soviel Spaß, dass er übermütig wurde und das Wort nun ins Wasser eintauchen ließ. Aber was war das?

OHO: Hey, stop! Wart! Hast Du das gesehen?

Zaubär: Was denn?

OHO: Na, als Du meinen Namen vorhin ins Wasser getaucht hast und er genau zur Hälfte drin war, da konnte man den Namen wieder ganz komplett und richtig sehen!

Zaubär: Wie jetzt? Echt?

Der Zaubär konzentrierte sich nun und ließ den Namen diesmal ganz langsam - Stück für Stück - in das Wasser tauchen. Erst gab das ein ganz komisches Bild, aber als der Name dann genau bis zur Hälfte im Wasser war, konnte man ihn wieder ganz normal lesen.



Seien Sie der Zaubär und tauchen Sie 'OHO' mit dem Mauszeiger in den See.

Abbildung 9.7: *SymmeTRICKS* : Der kleine Mathe-Engel OHO. Spiegelung des horizontalen Wortes *OHO*. Applet-Programmierung von Levente Babos.

Der kleine Mathe-Engel OHO

Zaubär: Hey, das ist ja echt cool! Aber jetzt möchte ich auch wissen, was passiert, wenn wir den Namen mal nicht waagrecht eintauchen ...

Der Zaubär ließ den Namen wieder über dem Wasser schweben. Dann drehte er ihn: Das sah aus, als hätte jemand das vordere und das hintere "O" wie ein Lenkrad in die Hand genommen und das ganze Wort so weit gedreht, bis die beiden Buchstaben nicht mehr links und rechts, sondern unten und oben hochkant über dem Wasser schwebten. Und wieder ließ der Zaubär den Namen in das Wasser sinken.

Zaubär: Mal sehen, was jetzt passiert ...

Der Name berührte das Wasser, und es ergab erst einmal wieder ein ganz komisches Bild. Als der Name aber wieder genau bis zur Hälfte im Wasser war, konnte man ihn wieder so wie vorher ganz sehen.

Zaubär: Das klappt also auch:

Ich tauch "OHO" ins Wasser,
da wird es immer nasser,
doch ist es bis zur Mitte drin,
dann macht das Bild schon wieder Sinn,
und man kann's wieder lesen,
als wäre nichts gewesen!

OHO: Du und Deine verrückten Reime, aber Du hast Recht: Wenn Du den Namen genau bis zur Mitte eingetaucht hast, dann ist das wieder so, als hättest Du gar nichts gemacht! Das ist ja echt spannend! Ob das mit anderen Namen oder Wörtern auch so geht?



Tauchen Sie 'OHO' mit dem Mauszeiger in den See.

Abbildung 9.8: *SymmeTRICKS* : Der kleine Mathe-Engel OHO. Spiegelung des vertikalen Wortes *OHO*. Applet-Programmierung von Levente Babos.

hier auf anderes (im Rahmen des Kurses vorgestelltes) Material wie beispielsweise Spiegelkacheln zurückgegriffen werden (siehe auch Kapitel 9.2.5). Ausgedruckte Geschichten lassen sich zudem gegebenenfalls besser vorlesen oder nachspielen als dies mit einer reinen Online-Version der Fall möglich wäre.

Jeder Lernende kann nach seinen eigenen Wünschen selbst entscheiden, ob er die Geschichte am Computer, in der ausgedruckten Papierversion oder auch gar nicht lesen möchte. Computer und klassische Medien werden hier miteinander kombiniert.

9.2.4 Auditive Komponenten

Im Kontext von Geschichten und Erzählungen liegt es nahe, diese nicht nur in schriftlicher Form zu präsentieren, sondern diese auf Wunsch per Knopfdruck auch vorlesen lassen zu können.

SymmeTRICKS nutzt eine weitere Einbindung auditiver Komponenten: Nach dem *Modality-Effect* (siehe Kapitel 2.3.10) ist eine sprachliche Begleitung von Applets besser als eine sie erläuternde schriftliche Beschreibung geeignet, den mit dem Applet verbundenen Lerninhalt zu vermitteln. Insofern ist eine auditive Begleitung von Applets als didaktisch wertvoll einzustufen.

9.2.5 Haptische Komponenten

Ein wesentlicher Bestandteil von *SymmeTRICKS* ist die Einbindung echt haptischer Komponenten. Neben den oben erwähnten Ausdrucken, die in weitestem Sinne bereits dazugezählt werden können, bietet *SymmeTRICKS* viele Anleitungen zur Erstellung dreidimensionaler Objekte an wie beispielsweise Bastelbögen zur Erstellung der Platonischen Körper oder eines Soma-Würfels, aber auch Bauanleitungen für Klappspiegel, Kaleidoskope, Schlüsselringketten oder dreidimensionale Sterne aus Pfeifenreinigern.

SymmeTRICKS möchte damit eine „be-greif-bare“ Mathematik unterstützen. Zudem werden Spiele angeboten, beispielsweise in der Form von Würfelspielen auf mathematischen Spielbrettern (zum Ausdrucken). Dies soll neben dem spielerischen Zugang gleichzeitig ein Üben und Wiederholen sowie die Kommunikation unter den Lernenden fördern.

9.2.6 *Cinderella*

Einer der wichtigsten Bausteine von *SymmeTRICKS* ist die dynamische Geometriesoftware *Cinderella*. Dabei bieten speziell die neuen Möglichkeiten von *Cinderella.2* insbesondere die Skriptsprache viele und vielfältige Perspektiven für interessante, ansprechende und didaktisch wertvolle Applets.

Da sich Applets weniger durch Bilder als durch Ausprobieren erfahren lassen, soll an dieser Stelle auf ein anderes Projekt verwiesen werden, bei dem in größerem Umfang Materialien zum Thema Symmetrie-Visualisierung mit *Cinderella* entstanden sind.

Das hier angesprochene Projekt (Richter-Gebert, 2007c)

<http://www-m10.ma.tum.de/twiki/bin/view/Lehrstuhl/IndrasPearls>

stellt einen Computergestützten Begleitkurs zu einem Hochbegabtenseminar über das Buch *Indra's Pearls* dar, das sich mit Grenzpunktmengen von Möbiustransformationen befasst. Insbesondere in Abschnitt 1 und 3 dieses Begleitmaterials werden elementare Konzepte von Symmetrie anschaulich und interaktiv im Sinne von Kapitel 6.4 dargestellt.

Diese Doktorarbeit endet mit einem kleinen Bilderbogen aus diesem Kurs.

Cinderella-Bilderbogen zum Thema Symmetrie

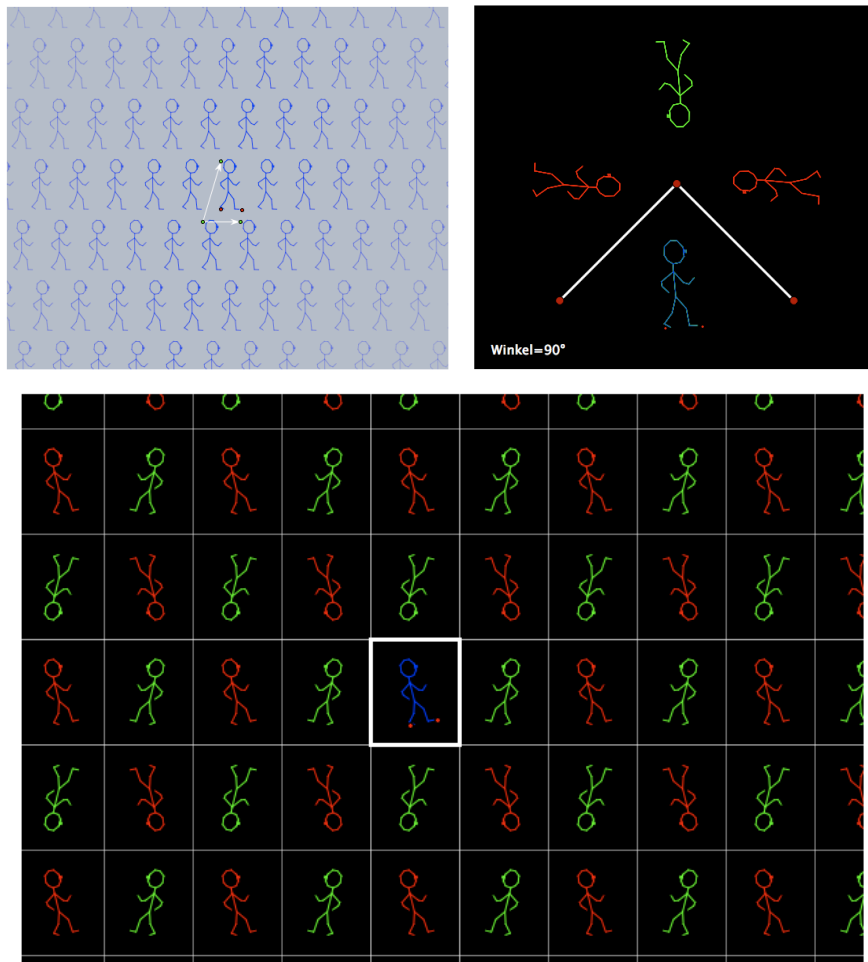


Abbildung 9.9: Screenshots aus *Indra's Pearls in Cinderella*. **Oben:** Verschiebung und Klappspiegel. **Unten:** Spiegelkabinett.

(Quelle: <http://www-m10.ma.tum.de/twiki/bin/view/Lehrstuhl/IndrasPearls>)

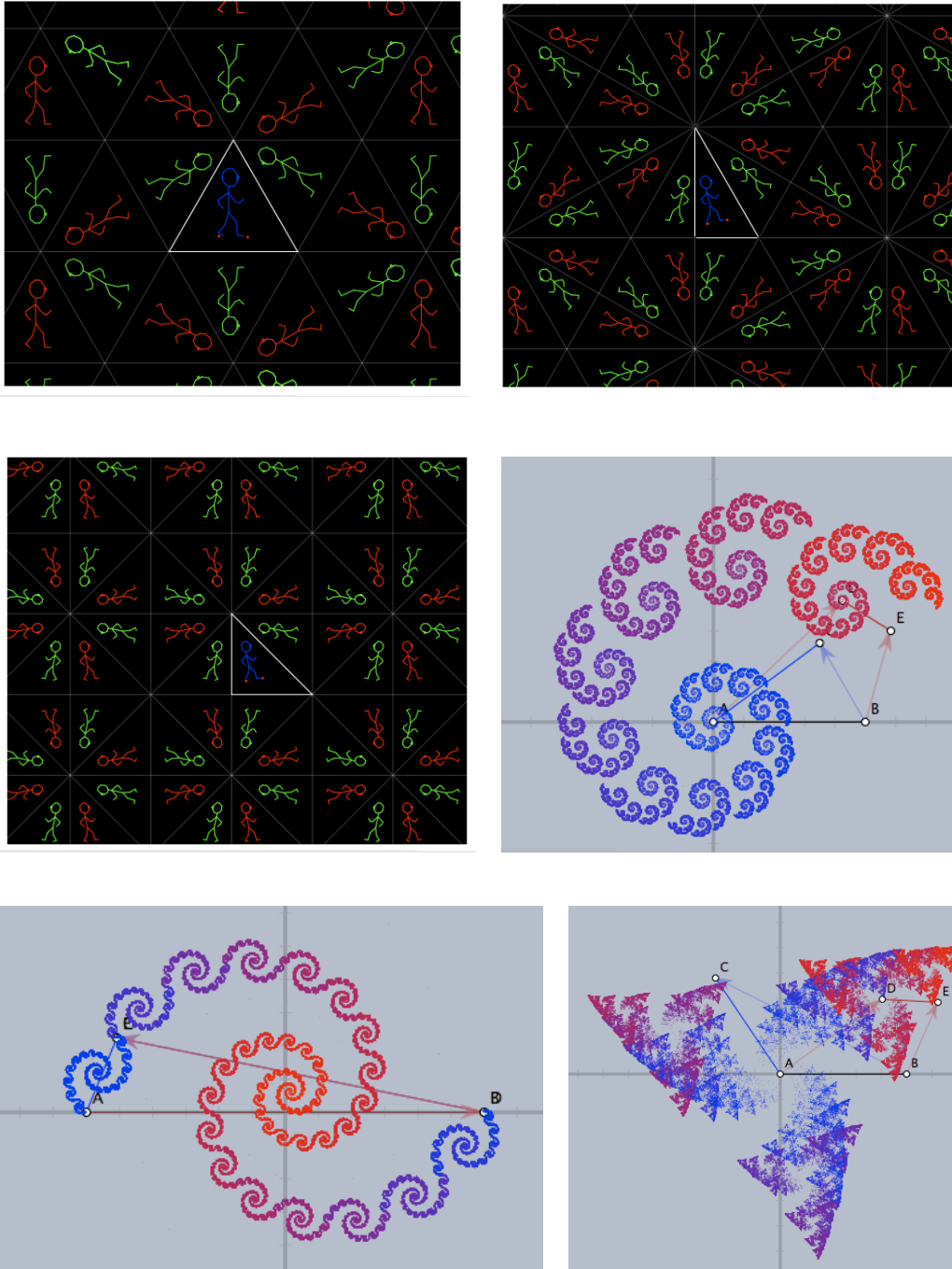


Abbildung 9.10: Screenshots aus *Indra's Pearls in Cinderella*. **Obere drei Bilder:** Unterschiedliche Kaleidoskope. **Untere drei Bilder:** Fraktale.
(Quelle: <http://www-m10.ma.tum.de/twiki/bin/view/Lehrstuhl/IndrasPearls>)

Literaturverzeichnis

- (1968). *Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus. Erster Band: Arithmetik, Algebra, Analysis* (4. Aufl.). Berlin: Springer. Nachdruck, Originalausgabe: 1908.
- Abbott, E. A. (1990). *Flächenland*. Bad Salzdetfurth: Franzbecker. Hersg. und Übers. von Peter Buck, Originalausgabe ca. 1880.
- Aebli, H. (1993). *Denken: das Ordnen des Tuns - Band I: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie* (2. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta. Originalausgabe: 1980.
- Aebli, H. (1994). *Denken: das Ordnen des Tuns - Band II: Denkprozesse* (2. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta. Originalausgabe: 1981.
- Aebli, H. (2006). *Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage* (13. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta. Originalausgabe: *Grundformen des Lehrens*, 1961, Stuttgart: Klett, 1. Auflage *Zwölf Grundformen des Lehrens*, 1983, Stuttgart: Klett-Cotta.
- Albrecht, J. und O'Brien, E. (1993). Updating a mental model: Maintaining both local and global coherence. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 19(5), 1061–1070.
- Alexander, P., Kulikowich, J. und Jetton, T. (1994). The role of subject matter knowledge and interest in the processing of linear and nonlinear texts. *Review of Educational Research* 64(2), 201–252.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, London: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1989). Kognitive Psychologie - Eine Einführung. *Spektrum der Wissenschaft*.
- Anderson, J. R., Reder, L. und Simon, H. (1996). Situated learning and education. *Educational Researcher* 25(4), 5–11.
- Aronson, E. (1984). Förderung von Schulleistung, Selbstwert und prosozialem Verhalten: Die Jigsaw-Methode. In G. Huber, S. Rotering-Steinberg und D. Wahl (Hrsg.), *Kooperatives Lernen*, S. 48–59. Weinheim, Basel: Beltz.

- Astheimer, P., Böhm, K., Felger, W., Göbel, M. und Müller, S. (1994). Die virtuelle Umgebung - Eine neue Epoche in der Mensch-Maschine-Interaktion. Teil II: Interaktions- und Präsentationstechniken, Systeme und Anwendungen. *Informatik-Spektrum* 17, 357–367.
- Atkinson, R. K. (2002). Optimizing learning from examples using animated pedagogical agents. *Journal of Educational Psychology* 94, 416–427.
- Atkinson, R. K. (2005). Multimedia learning of mathematics. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 393–408. Cambridge: Cambridge University Press.
- Atkinson, R. K., Mayer, R. E. und Merrill, M. (2005). Fostering social agency in multimedia learning: Examining the impact of an animated agent's voice. *Contemporary Educational Psychology* 30, 117–139.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D. P. (1974). *Psychologie des Unterrichts*. Weinheim: Beltz.
- Ayres, P. und Sweller, J. (2005). The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 135–146. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Ballin, D. und Brater, M. (1996). *Handlungsorientiert lernen mit Multimedia - Lernarrangements planen, entwickeln und einsetzen*. Reihe: Multimediales Lernen in der Berufsbildung. Nürnberg: BW Bildung und Wissen Verlag und Software GmbH.
- Ballstaedt, S.-P. (1990). Integrative Verarbeitung bei audiovisuellen Medien. In K. Böhme-Dürr, J. Emig und N. M. Seel (Hrsg.), *Wissensveränderung durch Medien - Theoretische Grundlagen und empirische Analysen*, S. 185–196. München: Saur.
- Ballstaedt, S.-P. (1997). Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bandura, A. (1979). *Sozial-kognitive Lerntheorie*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action. A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bandura, A. (2001). Social Cognitive Theory: An agentic perspective. *Annual Review of Psychology* 52, 1–26.
-

- Bannert, M. (2000). The effects of training wheels and self-learning materials in software training. *Journal of Computer Assisted Learning* 16(4), 336–346.
- Baroody, A. J. (2003). The development of adaptive expertise and flexibility: The integration of conceptual and procedural knowledge. In A. Baroody und A. Dowker (Hrsg.), *The development of arithmetic concepts and skills: Constructing adaptive expertise*, S. 1–33. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Barrow, J. D. (1994). *Ein Himmel voller Zahlen*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag. Originaltitel: *Pi in the sky* (1992), New York: Oxford University Press; aus dem Englischen übersetzt von Anita Ehlers.
- Barzel, B., Hußmann, S. und Leuders, T. (2005). Teil I Grundfragen. In B. Barzel, S. Hußmann und T. Leuders (Hrsg.), *Computer, Internet & Co. im Mathematik-Unterricht* (1. Aufl.), S. 9–40. Berlin: Cornelsen.
- Baumgartner, P. und Payr, S. (1999). *Lernen mit Software*. Lernen mit interaktiven Medien, Band 1. Innsbruck, Wien, München: Studien-Verlag.
- Beck, C. (1984). Visual cueing strategies: pictorial, textual and combinational effects. *Educational Communication and Technology Journal* 32(4), 207–216.
- Berger, A., Fischer, M., Hoffmann, M., Jüttemeier, M., Müller, G. N. und Wittmann, E. C. (2000). *Das Zahlenbuch. Mathematik im 1. Schuljahr*. Leipzig, Stuttgart, Düsseldorf: Ernst Klett Grundschulverlag.
- Berk, E. und Devlin, J. (Hrsg.) (1991). *Hypertext / hypermedia handbook*. New York: Intertext.
- Betrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 287–296. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bigalke, H.-G. (1976). Zur gesellschaftlichen Relevanz der Mathematik im Schulunterricht - Aufgaben und Ziele. *ZDM* 8, 25–34.
- Bigalke, H.-G. (1979). Lernzielbegleiteter statt lernzielorientierter Mathematikunterricht. *Praxis der Mathematik* 21, 6–14.
- Biggs, J. B. (1987). *Student approaches to learning and studying*. Hawthorn, Vic: Australian Council for Educational.
- Binni, R., Elsner, A., Klöpfer, D., Maier, H., Müller, S., Sandmann, P. und Schindler, M. (2002). *Denken und Rechnen 3 Bayern*. Braunschweig: Westermann.
- Blum, W., Driike-Noe, C., Hartung, R. und Köller, O. (2006). *Bildungsstandards Mathematik: konkret* (2. Aufl.). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Bodendorf, F. (1990). *Computer in der fachlichen und universitären Ausbildung*. München, Wien: Oldenburg.
-

- Boeckmann, K. (1994). *Unser Weltbild aus Zeichen. Zur Theorie der Kommunikationsmedien*. Wien: Wilhelm Braumüller.
- Bolz, B., Buchner, H., Reich, G. und Rothmeier, D. G. (2002). *Thema Mathe 6. Mathematik für sechststufige Realschulen*. Bamberg: C.C. Buchner.
- Brandl, J., Eisentraut, F., Ernst, S., Horn, B., Leeb, P., Schätz, U., Vogel, H. und Zühlke, D. (2005). *delta 7. Mathematik für Gymnasien*. Bamberg: C.C. Buchner, Duden Paetec Schulbuchverlag.
- Britton, B. K., Westbrook, R. D. und Holdredge, T. S. (1978). Reading and cognitive capacity usage: Effects of text difficulty. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory* 4(6), 582–591.
- Brown, A. L. (1984). Metakognition, Handlungskontrolle, Selbststeuerung und andere, noch geheimnisvollere Mechanismen. In F. E. Weinert und R. H. Kluwe (Hrsg.), *Metakognition, Motivation und Lernen*, S. 60–109. Stuttgart: Kohlhammer.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review* 31, 21–32.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction* (3. Aufl.). Cambridge, Massachusetts: Belknap Press of Harvard University Press.
- Bruner, J. S. (1980). *Der Prozeß der Erziehung* (5. Aufl.). Sprache und Lernen, Band 4. Berlin, Düsseldorf: Berlin-Verlag, Pädagogischer Verlag Schwann. Originaltitel: The process of education, ins Deutsche übertragen von Arnold Harttung.
- Bruner, J. S. (1981). Der Akt der Entdeckung. In H. Neber (Hrsg.), *Entdeckendes Lernen* (3. Aufl.), S. 15–27. Weinheim: Beltz.
- Bruner, J. S. (1986). *Actual minds, possible worlds*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Bruner, J. S. (1996). *The culture of education*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Bruner, J. S. (2002). *Making stories. Law, literature, life*. New York: Farrar.
- Brünken, R. (1998). *Automatische Rekonstruktion von Inhaltsbeziehungen zwischen Dokumenten: Benutzeradaptives Information-Retrieval in Wissensbasen*. Aachen: Shaker.
- Brunner, C. und Tally, W. (1999). *The new media literacy handbook: An educator's guide to bringing new media into the classroom*. New York: Doubleday.
- Brusilovsky, P. (1996). Methods and techniques of adaptive hypermedia. *User Modelling and User Adapted Interaction (special issue on adaptive hypertext and hypermedia)* 6(2-3), 87–129.
-

- Burger, D. (1995). *Silvestergespräche eines Sechsecks*. Köln: Aulis Verlag Deubner und CoKG. Aus dem niederländischen Originalwerk Boland ins Deutsche übertragen von Klaus Wigand, Originalausgabe 1957.
- Busch, C. (1998). *Metaphern in der Informatik, Modellbildung - Formalisierung - Anwendung*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Cennamo, K. S. (1993). Learning from video: Factors influencing learners' pre-conceptions and invested mental effort. *Educational Technology Research and Development* 41(3), 33–45.
- Checkland, P. (1985). Achieving „desirable and feasible“ change: An application of soft systems methodology. *Journal of Operational Research* 9, 821–831.
- Chen, C. und Rada, R. (1996). Interactivity with hypertext. A metaanalysis of experimental studies. *Human Computer Interaction* 11, 125–156.
- Chung, J. und Reigeluth, C. (1992). Instructional prescriptions for learner control. *Educational technology* 32(10), 14–20.
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research* 53(4), 445–459.
- Clark, R. E. (1987). When teaching kills learning. In H. Mandl, E. De Corte, N. Bennet und H. Friedrich (Hrsg.), *Learning and Instruction- European research in an international context*, Volume 2/2, S. 1–22. Oxford: Leuven Univ. Press u.a.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development* 42(2), 21–29.
- Clark, R. E. und Salomon, G. (1986). Media in teaching. In M. C. Wittrock (Hrsg.), *Handbook of research on teaching*. New York: Macmillan.
- Coffield, F., Morsey, D., Hall, E. und Ecclestone, K. (2004). *Learning styles and pedagogy in post-16 learning - A systematic and critical review*. Learning and Skills Research Center, Website: <http://www.lsda.org.uk/files/PDF/1543.pdf>.
- Cognition & Technology Group at Vanderbilt (1990). Anchored instruction and its relationship to situated cognition. *Educational researcher* 19(6), 2–10.
- Cognition & Technology Group at Vanderbilt (1997). *The Jasper Project. Lessons in curriculum, instruction, assessment, and professional development*. Mahawa, NJ: Erlbaum.
- Cohen, E. (1994). Restructuring the classroom: Conditions for productive small groups. *Review of Educational Research* 64, 1–35.
- Colin, I. (1992). Optische Kodierung. Unveröffentlichte habilitationsschrift, Universität Frankfurt/ Main.
-

- Collins, A., Brown, J. S. und Larkin, K. M. (1980). Inference in text understanding. In R. J. Spiro, B. C. Bruce und W. F. Brewer (Hrsg.), *Theoretical issues in reading comprehension*, S. 385–407. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Collins, A., Brown, J. S. und Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing and mathematics. In L. B. Resnick (Hrsg.), *Knowing, learning, and instruction*, S. 453–494. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Comenius, J. A. (1979). *Orbis sensualium pictus* (2. Aufl.). Dortmund: Harenberg. Nachdruck der Erstausgabe von 1658.
- Comenius, J. A. (1992). *Didactica Magna* (7. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta. Übers. und hrsg. von Andreas Flitner, Originalausgabe 1657.
- Conklin, J. (1987). Hypertext: An introduction and survey. *Computer* 20(9), 17–41.
- Cooper, G. und Sweller, J. (1987). The effect of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology* 79, 347–362.
- Cooper, P. (1993). Paradigm shift in designed instruction: From behaviorism to cognitivism to constructivism. *Educational Technology* 33(5), 12–19.
- Corno, L. (1994). Student volition and education: Outcomes, influences, and practices. In D. H. Schunk und B. J. Zimmermann (Hrsg.), *Self-regulation of learning and performance. Issues and educational applications*, S. 229–251. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cottmann, K. (1998). *Wie verstehen Kinder Maschinen und Computer?* KoPäd-Hochschulschriften. München: KoPäd.
- Cronbach, L. J. (1975). Wie kann Unterricht an individuelle Unterschiede angepasst werden? In R. Schwarzer und K. Steinhagen (Hrsg.), *Adaptiver Unterricht: Zur Wechselwirkung von Schülermerkmalen und Unterrichtsmethoden*, S. 42–58. München: Kösel.
- Cronbach, L. J. und Snow, R. E. (Hrsg.) (1977). *Aptitudes and instructional methods*. New York: Irvington.
- Dale, E. (1948). *Audio-visual methods in teaching* (5. Aufl.). New York: Dryden Press.
- Davis, P. J. und Hersh, R. (1996). *Erfahrung Mathematik* (2. Aufl.). Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.
- de Jong, T. (2005). The guided discovery principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 215–228. Cambridge: Cambridge University Press.
-

- Deci, E. und Ryan, R. (1987). The support of autonomy and the control of behaviour. *Journal of Personality and Social Psychology* 53, 1024–1037.
- Derry, S. und Lesgold, A. (1996). Toward a situated social practice model for instructional design. In D. Berliner und R. Calfee (Hrsg.), *Handbook of educational psychology*, S. 787–806. New York: Macmillan.
- Deschauer, S. (1992). *Das Zweite Rechenbuch von Adam Ries*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.
- Dillon, A. und Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: a review of the quantitative research literature on learner comprehension, control and style. *Review of Educational Research* 68, 322–349.
- Dillon, A., McKnight, C. und Richardson, J. (1993). Space - the final chapter or why physical representations are not semantic intentions. In C. McKnight, A. Dillon und J. Richardson (Hrsg.), *Hypertext - a psychological perspective*, S. 169–191. Chichester: Ellis Horwood.
- Döring, K. W. und Ritter-Mamczek, B. (1998). *Die Praxis der Weiterbildung* (2. Aufl.). Weinheim: Deutscher Studienverlag.
- Döring, N. (2002). Online-Lernen. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 5–17. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Dörr, G. und Strittmatter, P. (2002). Multimedia aus pädagogischer Sicht. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 29–42. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Duchastel, P. (1990). Examining cognitive processing in hypermedia usage. *Hypermedia* 2(3), 221–233.
- Duden (2007). *Das große Fremdwörterbuch [CD-ROM]* (4. Aufl.). Mannheim: Dudenverlag.
- Duffy, T. M. und Jonassen, D. H. (1991). Constructivism: New implications for instructional technology? *Educational Technology* 31(5), 7–12.
- Duffy, T. M. und Jonassen, D. H. (Hrsg.) (1992). *Constructivism and the technology of instruction. A conversation*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Düker, H. und Tausch, R. (1971). Über die Wirkung der Veranschaulichung von Unterrichtsstoffen auf das Behalten. In K. W. Döring (Hrsg.), *Lehr- und Lernmittelforschung*, S. 117–132. Weinheim: Beltz.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens - Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie, Hogrefe.
-

- Dwyer, F. M. (1978). *Strategies for improving visual learning*. Pennsylvania: Learning services.
- Eberleh, E., Oberquelle, H. und Oppermann, R. (Hrsg.) (1994). *Einführung in die Software-Ergonomie, Gestaltung graphisch-interaktiver Systeme: Prinzipien, Werkzeuge, Lösungen* (2. Aufl.). Berlin, New York: de Gruyter.
- Edmonds, G., Branch, R. und Mukherjee, P. (1994). A conceptual framework for comparing instructional design models. *Educational Technology Research and Development* 4, 55–72.
- Eidt, H., Klöpfer, D., Lammel, R. und Melchior, D. (1998). *Denken und Rechnen 4*. Braunschweig: Westermann.
- Eidt, H., Lammel, R., Voß, E. und Wichmann, M. (2001). *Denken und Rechnen 2*. Braunschweig: Westermann.
- El Saddik, A. (2001). *Interactive multimedia learning*. Berlin u.a.: Springer.
- Engelkamp, J. (1990). *Das menschliche Gedächtnis. Das Erinnern von Sprache, Bildern und Handlungen*. Göttingen: Hogrefe.
- Engelkamp, J. (1991). Bild und Ton aus der Sicht der kognitiven Psychologie. *Medienpsychologie* 3, 278–299.
- Engelkamp, J. (1994). Episodisches Gedächtnis: Vom Speichern zu Prozessen und Informationen. *Psychologische Rundschau* 45, 195–210.
- Engelkamp, J. und Zimmer, H. D. (1990). Unterschiede der Repräsentation und Verarbeitung von Wissen in Abhängigkeit von Kanal, Reizmodalität, Inhalt und Aufgabenstellung. In K. Böhme-Dürr, J. Emig und N. M. Seel (Hrsg.), *Wissensveränderung durch Medien - Theoretische Grundlagen und empirische Analysen*, S. 84–97. München: Saur.
- Euklid (1980). *Die Elemente*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Euler, D. (1992). *Didaktik des computerunterstützten Lernens: Praktische Gestaltung und theoretische Grundlagen*. Reihe: Multimediales Lernen in der Berufsbildung, Band 3. Nürnberg: Bildung und Wissen Verlag und Software GmbH.
- Felder, R. M. (1996). Matters of style. *American Society for Engineering Education Prism (ASEE Prism)* 6(4), 18–23. Website: <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS-Prism.htm>.
- Felder, R. M. und Silverman, L. (1988). Learning and Teaching Styles in Engineering Education. *Journal of Engineering Education* 78, 674–681.
- Fenk, A. (1980). Ein Bild sagt mehr als tausend Worte...? Lernleistungsunterschiede bei optischer, akustischer und optisch-akustischer Präsentation von Lehrmaterial. *AV-Forschung, Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht* 23, 5–50.
-

- Finke, R. A. (1985). Theories relating mental imagery to perception. *Psychological Bulletin* 98(2), 236–259.
- Fischer, P. M. und Mandl, H. (1982). Metacognitive regulation of text processing: Aspects and problems concerning the relation between self-statements and actual performance. In A. Flammer und W. Kintsch (Hrsg.), *Discourse processing*, S. 339–351. Amsterdam: North-Holland.
- Flehsig, K.-H. (1970). Die technologische Wendung in der Didaktik. In G. Dohmen, F. Maurer und W. Popp (Hrsg.), *Unterrichtsforschung und didaktische Theorie*, S. 243–262. München: Piper.
- Fletcher, J. und Tobias, S. (2005). The multimedia principle. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 117–133. Cambridge: Cambridge University Press.
- Florin, F. (1990). Information landscapes. In S. Ambron und K. Hooper (Hrsg.), *Learning with interactive multimedia*. Redmont: Microsoft Press/ Apple.
- Foth, M., Geipel, R., Reich, G., Rothmeier, D. G. und Schmitt, A. (2003). *Thema Mathe 7 /II. Mathematik für sechststufige Realschulen*. Bamberg: C.C. Buchner.
- Fox, R. und Patterson, R. (1981). *Effect of depth separation on the Ponzo illusion*. Nashville, TN: Department of Psychology, Vanderbilt University.
- Frank, H. und Meder, B. S. (1971). *Einführung in die kybernetische Pädagogik*. München: Deutscher-Taschenbuch-Verlag.
- Frank, H. G. (1969). *Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. Eine Einführung in die Pädagogistik für Analytiker, Planer und Techniker des didaktischen Informationsumsatzes in der Industriegesellschaft. Bd.1: Allgemeine Kybernetik. Bd.2: Angewandte kybernetische Pädagogik und Ideologie* (2. Aufl.). Baden-Baden: Agis.
- Freibichler, H. (2002). Werkzeuge zur Entwicklung von Multimedia, Teil 1: Autorenwerkzeuge für Offline-Lernangebote. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 197–217. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Freudenthal, H. (1973). *Mathematik als pädagogische Aufgabe, Band 1, Band 2* (1. Aufl.). Stuttgart: Klett.
- Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (FIsmE) (1998). Realistic Mathematics Education, work in progress, This text is based on the NORMA-lecture, by Marja van den Heuvel-Panhuizen, held in Kristiansand, Norway on 5-9 June 1998. Website: <http://www.fi.uu.nl> bzw. <http://www.fi.uu.nl/en>, Last Update 2007.
-

- Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (FIsmE) (2007). Homepage. Website: <http://www.fi.uu.nl> bzw. <http://www.fi.uu.nl/en>.
- Friedmann, A. (1979). Framing pictures: The role of knowledge in automatized encoding and memory for gist. *Journal of Experimental Psychology: General* 108(3), 316–355.
- Friedrich, H. und Mandl, H. (1990). Psychologische Aspekte autodidaktischen Lernens. *Unterrichtswissenschaft* 3, 197–218.
- Fritsch, R. (1994). *Der Vierfarbensatz. Geschichte, topologische Grundlagen und Beweisidee*. Mannheim: BI Wissenschaftsverlag.
- Gagné, R. M. (1962). The acquisition of knowledge. *Psychological Review* 69, 355–365.
- Gagné, R. M. (1980). *Die Bedingungen des menschlichen Lernens* (5. Aufl.). Hannover: Schroedel.
- Gagné, R. M. und Briggs, L. J. (1974). *Principles of instructional design*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Gagné, R. M. und Dick, W. (1983). Instructional Psychology. *Annual Review of Psychology* 34, 261–295.
- Gall, J. E. und Hannafin, M. J. (1994). A framework for the study of hypertext. *Instructional Science* 22, 207–232.
- Garcia, T. und Pintrich, P. R. (1994). Regulating motivation and cognition in the classroom: The role of self-schemas and self-regulatory strategies. In D. H. Schunk und B. J. Zimmermann (Hrsg.), *Self-regulation of learning and performance. Issues and educational applications*, S. 127–153. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gay, G. und Mazur, J. (1991). Navigating in hypermedia. In E. Berk und J. Devlin (Hrsg.), *Hypertext / hypermedia handbook*, S. 271–283. New York: Intertext.
- Gelman, R. und Gallistel, C. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gentner, D. und Gentner, D. (1983). Flowing waters and teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner und A. Stevens (Hrsg.), *Mental Models*, S. 99–129. Erlbaum: Hillsdale, NJ.
- Gentner, D. und Stevens, A. (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gerstberger, H. (2006). Ein narrativer Zugang zum semiotischen Blick auf mathematische Themen. *Journal für Mathematik-Didaktik* 27 (3/4), 285–299.
- Goodman, N. (1995). *Sprachen der Kunst*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
-

- Götz, K. und Häfner, P. (2002). *Didaktische Organisation von Lehr- und Lernprozessen* (6. Aufl.). Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Greenfield, P. (1982). *Radio and television experimentally compared: Effects of the medium on imagination and transmission of content*. München: Rep. to Nat. Inst. of Educ., Teach., a. Learn. Prog.
- Greenfield, P. (1987). *Kinder und neue Medien. Die Wirkung von Fernsehen, Videospielen und Computern*. München, Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Greeno, J. G. (1989). Situations, mental models and generative knowledge. In D. Klahr und K. Kotovsky (Hrsg.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon*, S. 285–318. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Groeben, N. (1998). *Die Verständlichkeit von Unterrichtstexten. Dimensionen und Kriterien rezeptiver Lernstadien* (2. Aufl.). Münster: Aschendorff.
- Gruber, H., Mandl, H. und Renkl, A. (2000). Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? In H. Mandl und J. Gerstenmaier (Hrsg.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln: Empirische und theoretische Lösungsansätze*, S. 139–156. Göttingen: Hogrefe.
- Guttman, L. (1981). What is not what in theory construction. In I. Borg (Hrsg.), *Multidimensional data representations: When and why*, S. 47–64. Ann Arbor, Michigan: Mathesis Press.
- Gutzmer, A. (1908). Bericht betreffend den Unterricht in der Mathematik an den neunklassigen höheren Lernanstalten. In A. Gutzmer (Hrsg.), *Die Tätigkeit der Unterrichtskommission der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte*, S. 104–111. Leipzig, Berlin: Teubner.
- Haack, J. (2002). Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 127–136. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Haneghan, J. P. V., Barron, L., Young, M., Williams, S., Vye, N. und Bransford, J. (1992). The Jasper Series: An experiment with new ways to enhance mathematical thinking. In D. F. Halpern (Hrsg.), *Enhancing thinking skills in the sciences and mathematics*, S. 15–38. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hannafin, M., Land, S. und Oliver, K. (1999). Open learning environments: Foundations, methods, and models. In C. M. Reigeluth (Hrsg.), *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory*, Volume 2, S. 115–140. London: Lawrence Erlbaum Associate.
- Hasebrook, J. (1994). *Vermittlung und Erwerb von Strukturwissen: Verwendung von Multimedia und Hypertext bei der Vermittlung von Sachwissen*. Universität Marburg: Unveröffentlichte Dissertation.
-

- Hasebrook, J. (2006). Multi-Media. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (3. Aufl.), S. 516–522. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag.
- Haubner, K., Sailer, W., Schmid, S., Vollath, E. und Weidner, S. (2005). *Formel 6. Mathematik für Hauptschulen*. Stuttgart: C.C. Buchner Klett.
- Haubner, K., Sailer, W., Vogel, G., Vollath, E. und Weidner, S. (2004). *Formel 5. Mathematik für Hauptschulen*. Stuttgart: C.C. Buchner Klett.
- Heckhausen, H. (1973). Entwurf einer Psychologie des Spielens. In C. Graumann und H. Heckhausen (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie 1: Entwicklung und Sozialisation*, Funk-Kolleg Grundlagentexte, S. 155–174. Frankfurt: Fischer Taschenbuch Verlag.
- Hefendehl-Hebeker, L. (2005). Perspektiven für einen künftigen Mathematikunterricht. In H. Bayrhuber, B. Ralle, K. Reiss, H. Schön und H. Vollmer (Hrsg.), *Konsequenzen aus PISA - Perspektiven der Fachdidaktiken*. Innsbruck: Studienverlag.
- Heimann, P. (1962). Didaktik als Theorie und Lehre. *Die deutsche Schule* 54(9), 407–427.
- Heimann, P. (1979). Didaktik 1965. In P. Heimann, G. Otto und W. Schulz (Hrsg.), *Unterricht - Analyse und Planung* (10. Aufl.), S. 7–12. Hannover: Schroedel.
- Heintz, B. (2000). *Die Innenwelt der Mathematik*. Wien, New York: Springer.
- Heinze, A. und Reiss, K. (2007). Reasoning and proof in the mathematics classroom. *International mathematical journal of analysis and its applications. Analysis* 27/2-3, 333–357.
- Heller, R. (1990). The role of hypermedia in education: A look at the research issues. *Journal of Research on Computing in Education* 22(4), 431–441.
- Helmert, U. (1992). Multimedia - Vision und Wirklichkeit. In K. Dette, D. Haupt und C. Polze (Hrsg.), *Multimedia und Computeranwendungen in der Lehre*, S. 56–64. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hentig, H. v. (1993). *Die Schule neu denken*. München, Wien: Carl Hanser.
- Hentig, H. v. (2003). *Die Schule neu denken*. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz.
- Hewett, T. T., Baecker, R., Card, S., Carey, T., Gasen, J., Mantei, M., Perlman, G., Strong, G. und Verplank, W. (1992,1996). ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction. Website: <http://sigchi.org/cdg/cdg2.html>, Last Update: 17.07.07.
- Heymann, H. W. (1996). *Allgemeinbildung und Mathematik*. Weinheim: Beltz.
-

- Hofmann, M. und Simon, L. (1995). *Problemlösung Hypertext - Grundlagen, Entwicklung, Anwendung*. München, Wien: Carl Hanser.
- Hornung, C. (1994). PC-basierte Multimedia-Systeme. In U. Glowalla, E. Engelmann und G. Rossbach (Hrsg.), *Multimedia '94*, S. 2–8. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Horster, D. (1994). *Das Sokratische Gespräch in Theorie und Praxis* (1. Aufl.). Opladen: Leske + Budrich.
- Hudson, W. (1960). Pictorial depth perception in sub-cultural groups in Africa. *Journal of Social Psychology* 52, 183–208.
- Hug, T. (2007). Medienpädagogik unter den Auspizien des mediatic turn - eine explorative Skizze in programmatischer Absicht. In W. Sisnik, M. Kerres und H. Moser (Hrsg.), *Jahrbuch Medienpädagogik 6, Medienpädagogik - Standortbestimmung einer erziehungswissenschaftlichen Disziplin*, S. 10–32. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH.
- ISB-Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (2007, Dezember). Lehrpläne Standards. Website: <http://www.isb.bayern.de>, Rubrik: Lehrpläne Standards.
- Issing, L. J. (1976). Schulfunk - ein veraltetes Unterrichtsmedium? *Aula* 5, 613–616.
- Issing, L. J. (2002). Instruktions-Design für Multimedia. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 151–176. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Issing, L. J. und Haack, J. (1992). Multimedia-Didaktik - State of the art. In K. Dette, D. Haupt und C. Polze (Hrsg.), *Multimedia und Computeranwendungen in der Lehre*, S. 23–31. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Issing, L. J. und Knigge-Illner, H. (Hrsg.) (1976). *Unterrichtstechnologie und Mediendidaktik - Grundfragen und Perspektiven*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Jacobson, M. J. und Spiro, R. J. (1994). Hypertext learning environments and epistemic beliefs: A preliminary investigation. In S. Vosniadou, E. D. Corte und H. Mandl (Hrsg.), *Technology-based learning environments. Psychological and educational foundations* (1. Aufl.), S. 290–295. Berlin: Springer.
- Jank, W. und Meyer, H. (2007). *Didaktische Modelle* (9. Aufl.). Berlin: Cornelson Scriptor.
- Jeffcoate, J. (1995). *Multimedia in Practice - Technology and Applications*. Hertfordshire: Prentice Hall.
- Jeung, H., Chandler, P. und Sweller, J. (1997). The role of visual indicators in dual sensory mode instruction. *Educational Psychology* 17, 329–433.
-

- Johnson-Laird, P. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science* 4(1), 71–115.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jonassen, D. H. (1991). Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm? *Educational Technology Research & Development* 39(3), 5–14.
- Jonassen, D. H. (1992). What are cognitive tools? In P. A. Kommers, D. H. Jonassen und J. Mayes (Hrsg.), *Cognitive tools for learning*, S. 1–6. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Jonassen, D. H. (1993). Thinking technology. The trouble with learning environments. *Educational Technology* 33(1), 35–37.
- Jonassen, D. H. (1999). Designing constructivist learning environments. In C. M. Reigeluth (Hrsg.), *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory*, Volume 2, S. 215–239. London: Lawrence Erlbaum Associate.
- Jonassen, D. H. (2004). *Learning to solve problems. An instructional design guide*. San Francisco: Pfeiffer, John Wiley and Sons.
- Jonassen, D. H. und Grabowski, B. L. (1993). *Handbook of individual differences, learning, and instruction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jonassen, D. H., Lee, C. B., Yang, C.-C. und Laffey, J. (2005). The collaboration principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 247–270. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jonassen, D. H. und Mandl, H. (Hrsg.) (1990). *Designing hypermedia for learning*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kalyuga, S. (2005). Prior knowledge principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 325–337. Cambridge: Cambridge University Press.
- Karmiloff-Smith, A. (1993). *Beyond modularity. A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kearsley, G. P. (1987). *Artificial Intelligence and Instruction - Applications and methods*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Kerkau, F. (2002). Werkzeuge zur Entwicklung von Multimedia, Teil 1: Autorenwerkzeuge für Online-Lernangebote. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 218–226. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
-

- Kerres, M. (1998). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen*. München: Oldenbourg.
- Kerres, M. (2002). Technische Aspekte multi- und telemedialer Lernangebote. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 19–27. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Kieras, D. (1978). Beyond pictures and words: Alternative information-processing models of imagery effects in verbal memory. *Psychological Bulletin* 85(3), 532–554.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension. A paradigm for cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kintsch, W. und Greeno, J. (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, 1–7.
- Kintsch, W. und van Dijk, T. A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review* 85(5), 363–394.
- Kinzie, M. B. und Berdel, R. L. (1990). Design and use of hypermedia systems. *Educational Technology Research and Development* 38(3), 61–68.
- Klauer, K. J. (1973). *Revision des Erziehungsbegriffs*. Studien zur Lehrforschung. Band 5. Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwann.
- Klauer, K. J. (1985). Framework for a theory of teaching. *Teaching & Teacher Education* 1(1), 5–17.
- Klein, F. (1950). *Vorlesungen über die Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert, Teil I*. New York: Chelsea Publishing Company. Nachdruck, früheste auffindbare Ausgabe: Nachdruck der Originalausgabe 1926–27.
- Klein, F. (1968a). *Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus. Dritter Band: Präzisions- und Approximationsmathematik* (3. Aufl.). Berlin: Springer. Nachdruck, Originalausgabe: 1902.
- Klein, F. (1968b). *Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus. Zweiter Band: Geometrie* (3. Aufl.). Berlin: Springer. Nachdruck, Originalausgabe: 1909.
- Kleinschroth, R. (1996). *Neues Lernen mit dem Computer*. Hamburg: Rowohlt.
- Klimsa, P. (2002). Multimedienutzung aus psychologischer und didaktischer Sicht. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 5–17. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Knipping, C. und Reid, D. A. (2005). Schwarze Kisten - Mit black boxes Zusammenhänge erkunden. In B. Barzel, S. Hußmann und T. Leuders (Hrsg.), *Computer, Internet & Co. im Mathematik-Unterricht* (1. Aufl.), S. 167–181. Berlin: Cornelsen.
-

- Kolers, P. A. und Brison, S. J. (1984). Commentary: On pictures, words, and their mental representation. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 23, 105–113.
- Kommers, P. A., Jonassen, D. H. und Mayes, J. (Hrsg.) (1992). *Cognitive tools for learning*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kortenkamp, U. und Richter-Gebert, J. (2001). Grundlagen dynamischer Geometrie. In H. Elschenbroich, T. Gawlick und H. Henn (Hrsg.), *Zeichnung-Figur-Zugfigur. Mathematische und didaktische Aspekte dynamischer Geometriesoftware*, S. 123–145. Verlag Franzbecker. Download: http://www-m10.ma.tum.de/twiki/pub/Lehrstuhl/PublikationenJRG/37_GrundlagenDG.pdf.
- Kozma, R. B. (1991). Learning with media. *Review of Educational Research* 61(2), 179–212.
- Kozma, R. B. (1994). Will media influence learning? Reframing the debate. *Educational Technology Research and Development* 42(2), 7–19.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 45, 186–203.
- Krapp, A. (2006). Interesse. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (3. Aufl.), S. 280–290. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag.
- Kratz, J. (1986). *bsv Mathematik Geometrie 7.Schuljahr*. München: Bayerischer Schulbuch-Verlag.
- Krohn, D., Neißer, B. und Walter, N. (Hrsg.) (2000). *Das Sokratische Gespräch im Unterricht*. Frankfurt am Main: dipa-Verlag.
- Kron, F. W. (2004). *Grundwissen Didaktik* (4. Aufl.). München: Reinhardt.
- Kron, F. W. und Sofos, A. (2003). *Mediendidaktik - Neue Medien in Lehr- und Lernprozessen*. München, Basel: Ernst Reinhardt Verlag.
- Kubli, F. (2005). *Mit Geschichten und Erzählungen motivieren*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Kuhlen, R. (Hrsg.) (1991). *Hypertext: Ein nichtlineares Medium zwischen Buch und Wissensbank*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kuhlhavy, R. W., Stock, W. A. und Kealy, W. A. (1993). How geographic maps increase recall of instructional text. *Educational Technology Research and Development* 41(4), 47–62.
- Lajoie, S. P. (1993). Computer environments as cognitive tools for enhancing learning. In S. P. Lajoie und S. Derry (Hrsg.), *Computers as cognitive tools*, S. 261–288. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
-

- Land, S. (2000). Cognitive requirements for learning with open-ended learning environments. *Educational Technology Research & Development* 48(3), 61–78.
- Langer, I., Schulz von Thun, F. und Tausch, R. (2006). *Sich verständlich ausdrücken* (8. Aufl.). München: Ernst Reinhardt Verlag.
- Lanza, A. und Roselli, T. (1991). Effects of hypertextual approach versus the structured approach on students' achievements. *Journal of Computer Based Instruction* 18(2), 48–50.
- Laurel, B. (1990). Interface agents: Metaphors with character. In B. Laurel (Hrsg.), *The art of human-computer interface design*, S. 355–365. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Laurel, B. (2003). *Computers as theatre* (10. Aufl.). Boston, San Francisco, New York: Addison-Wesley.
- Laurel, B., Oren, T. und Don, A. (1992). Issues in multimedia interface design: Media integrations and interface agents. In M. M. Blattner und R. Dannenberg (Hrsg.), *Multimedia interface design*, S. 53–86. New York: ACM Press.
- Lave, J. (1991). Situating learning in communities of practice. In L. B. Resnick, J. M. Levine und S. D. Teasley (Hrsg.), *Perspectives on socially shared cognition*, S. 63–82. Washington, DC: American Psychological Association.
- Law, L. (1994a). The role of plan and planning in computer programming expertise: A situated action view. *Research Report* 42.
- Law, L. (1994b). Transfer of learning: Situated cognition perspectives. *Research Report* 32.
- Lawless, K. und Kulikowich, J. (1998). Domain knowledge, interest, and hypertext navigation: A study of individual differences. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* 7(1), 51–69.
- Lefrançois, G. R. (2006). *Psychologie des Lernens* (4. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Lehner, F. (2001). *Einführung in Multimedia - Grundlagen, Technologien und Anwendungsbeispiele*. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH.
- Lepper, M. R. und Malone, T. W. (1987). Intrinsic motivation and instructional effectiveness in computer-based education. In R. E. Snow und M. J. Farr (Hrsg.), *Aptitude, learning, and instruction. Volume 3: Conative and affective process analysis*, S. 255–286. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lesgold, A., Roth, S. und Curtis, M. (1979). Foregrounding effects in discourse comprehension. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour* 18, 291–308.
-

- Leutner, D. (1992). *Adaptive Lehrsysteme - Instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Leutner, D. (2002). Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 115–125. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Leutner, D. (2006a). Instruktionspsychologie. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (3. Aufl.), S. 261–270. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag.
- Leutner, D. (2006b). Programmierter und computerunterstützter Unterricht. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (3. Aufl.), S. 595–602. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag.
- Leutner, D. und Plass, J. L. (1998). Measuring learning styles with questionnaires versus direct observation of preferential choice behavior in authentic learning situations: the visualizer/verbalizer behavior observation scale (VV-BOS). *Computers in Human Behavior* 14(4), 543–557.
- Leutner, D. und Schumacher, G. (1990). The effects of different on-line adaptive response time limits on speed and amount of learning in computer assisted instruction and intelligent tutoring. *Computers in Human Behavior* 6(1), 17–29.
- Levin, J., Anglin, G. und Carney, R. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In D. M. Willows und H. A. Houghton (Hrsg.), *The Psychology of Illustration. Vol.1 : Basic Research*, S. 51–85. New York: Springer.
- Linn, M. (1990). Summary: Establishing a science and engineering of science education. In M. Gardner, J. Greeno, F. Reif, A. Schoenfeld, A. D. Sessa und E. Stage (Hrsg.), *Toward a scientific practice of science education*, S. 323–241. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Litchfield, B., Driscoll, M. und Dempsey, J. (1990). Presentation sequence and example difficulty: The effect on concept and rule learning in computer-based instruction. *Journal of computer-based instruction* 17, 35–40.
- Low, R. und Sweller, J. (2005). The modality principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 147–158. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lowe, R. (1993). Constructing a mental representation from an abstract technical diagramm. *Learning and instruction* 3, 157–179.
- Lurija, A. R. (1992). *Das Gehirn in Aktion Einführung in die Neuropsychologie*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
-

- Mackworth, N. und Bruner, J. S. (1970). How adults and children search and recognize pictures. *Human development* 13, 149–177.
- Malone, T. W. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science* 5(4), 333–369.
- Mandl, H., Gruber, H. und Renkl, A. (2002). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 139–148. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Mandl, H. und Huber, G. L. (Hrsg.) (1983). *Emotion und Kognition*. München: Urban und Schwarzenberg.
- Mandl, H., Schnotz, W., Picard, E. und Henninger, M. (1992). Knowledge acquisition with texts by means of flexible computer-assisted information access. In A. Oliveira (Hrsg.), *Hypermedia courseware: Structures of communication and intelligent help*, S. 70–76. Berlin: Springer.
- Marchionini, G. (1988). Hypermedia and learning: Freedom and chaos. *Educational Technology* 28(11), 8–12.
- Mayer, R. E. (1989). Systematic thinking fostered by illustration in scientific text. *Journal of Educational Psychology* 81(2), 240–246.
- Mayer, R. E. (2005a). *Multimedia learning* (7. Aufl.). New York, NY: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005b). Principles for managing essential processing in multimedia learning: Segmenting, pretraining, and modality principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 169–182. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005c). Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 183–200. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005d). Principles of multimedia learning based on social cues: Personalization, Voice, and Image principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 183–200. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005e). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. und Anderson, R. B. (1991). Animations need narration: An experimental test of dual coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology* 83(4), 484–490.
-

- Mayer, R. E. und Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology* 84(4), 444–452.
- Mayer, R. E. und Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology* 82(4), 715–726.
- McDonald, S. und Stevenson, R. (1999). Spatial versus conceptual maps as learning tools in hypertext. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* 8(1), 43–64.
- Meder, N. (2007). Theorie der Medienbildung. Selbstverständnis und Standortbestimmung der Medienpädagogik. In W. Sisnik, M. Kerres und H. Moser (Hrsg.), *Jahrbuch Medienpädagogik 6, Medienpädagogik - Standortbestimmung einer erziehungswissenschaftlichen Disziplin*, S. 55–73. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH.
- Meringoff, L. K. (1980). The influence of the medium on children's story apprehension. *Journal of Educational Psychology* 72(2), 240–249.
- Merrill, M. (2003). The role of animated pedagogical agents in multimedia learning environments. Paper presented at the annual meeting of the Mid-South Educational Research Association, Biloxi, MS.
- Mevarech, Z., Shir, N. und Movshovitz-Hadar, N. (1992). Is more always better? The separate and combined effect of a computer and video program on mathematics learning. *British Journal of Educational Psychology* 62, 106–116.
- Michael, B. (1983). *Darbieten und Veranschaulichen. Möglichkeiten und Grenzen von Darbietung und Anschauung im Unterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. In P. H. Winston (Hrsg.), *The psychology of computer vision*, S. 211–277. New York: McGraw-Hill.
- Montessori, M. (1922). *Mein Handbuch. Grundsätze und Anwendung meiner neuen Methode der Selbsterziehung der Kinder*. Stuttgart: Hoffmann.
- Moore, D. (2000). A framework for using multimedia within argumentation systems. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* 2, 83–98.
- Moore, M. und Dwyer, F. (1994). *Visual literacy. A spectrum of visual learning*. Englewood Cliffs, N.J.: Educational Technology Publications.
- Moreno, R. und Mayer, R. (1999). Multimedia-supported metaphors for meaning making in mathematics. *Cognition and Instruction* 17, 215–248.
- Moser, K. S. (2003). Mentale Modelle und ihre Bedeutung. In U. Ganz-Blättler und P. Michel (Hrsg.), *Schriften zur Symbolforschung, Schriftenreihe der Schweizerischen Gesellschaft für Symbolforschung, Band 13: Sinnbildlich schief - Missgeschichte bei Symbolgenese und Symbolgebrauch*, S. 181–205. Bern, Berlin, Bruxelles, Frankfurt/M., New York, Oxford, Wien: Peter Lang AG.
-

- Mousavi, S., Low, R. und Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology* 87, 319–334.
- Multimedia and Hypermedia Information coding Expert Group (MHEG) (1993,2006). International Organization For Standardization. ISO/IEC JTC1/SC29/WG12; ISO Committee Draft, ISO/IEC 13522-1. Website: <http://www.mheg.org>, Last Update: 12.06.06.
- Nagl, L. (1992). *Charles Sanders Peirce*. Frankfurt, New-York: Campus-Verlag.
- Nathan, M., Kintsch, W. und Young, E. (1992). A theory of algebra-word-problem comprehension and its implications for the design of learning environments. *Cognition and Instruction* 9, 329–389.
- Neber, H. (1978). Selbstgesteuertes Lernen (lern- und handlungspsychologische Aspekte). In H. Neber, A. C. Wagner und W. Einsiedler (Hrsg.), *Selbstgesteuertes Lernen - Psychologische und pädagogische Aspekte eines handlungsorientierten Lernens*, S. 33–44. Weinheim: Beltz.
- Neber, H. (1981). *Entdeckendes Lernen* (3. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality. Principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: Freeman.
- Neisser, U. (1979). *Kognition und Wirklichkeit. Prinzipien und Implikationen der kognitiven Psychologie*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Nelson, D. L. (1979). Remembering picture and words: Appearance, significance and name. In L. Cermak und I. Craik (Hrsg.), *Level of processing in human memory*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Nelson, D. L., Reed, V. und Walling, J. R. (1976). Pictorial superiority effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory* 2(5), 523–528.
- Nelson, W. und Palumbo, D. (1992). Learning, instruction, and hypermedia. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* 1, 355–372.
- Nielsen, J. (1994). Noncommand user interfaces. *Communications of the ACM* 36(4), 82–92.
- Nielsen, J. (1996). *Multimedia, Hypertext und Internet: Grundlagen und Praxis des elektronischen Publizierens*. Wiesbaden: Vieweg.
- Nugent, G. C. (1982). Pictures, audio and print: symbolic representation and effect on learning. *Educational Communication and Technology: Journal of Theory, Research and Development* 30(3), 163–174.
-

- Oberle, T. und Wessner, M. (1998). *Der Nürnberger Trichter - Computer machen Lernen leicht!?* Forum Beruf und Bildung, Band 10. Alsbach / Bergstraße: Leuchtturm (LTV).
- Olson, D. (1974). Introduction. In D. Olson (Hrsg.), *Media and symbol. The forms of expression, communication and education (73rd Yearbook of the National Society for the Study of Education)*. Chicago: University of Chicago Press.
- O'Reilly, T. (2005). What is Web 2.0. Design patterns and business models for the next generation of software. Website: <http://www.oreilly.de/artikel/web20.html>, Last Update 30.09.05; deutsche Übersetzung von Partick Holz auf Website: http://twozero.uni-koeln.de/content/e14/index_ger.html.
- Paas, F., van Gerven, P. W. und Tabbers, H. K. (2005). The cognitive aging principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 339–351. Cambridge: Cambridge University Press.
- Paechter, M. (1996). *Auditive und visuelle Texte in Lernsoftware*. Münster: Waxmann.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Papert, S. (1998). *Die vernetzte Familie. Kinder und Computer*. Stuttgart: Kreuz.
- Park, I. und Hannafin, M. J. (1993). Empirically-based guidelines for the design of interactive multimedia. *Educational Technology Research and Development* 41(3), 63–85.
- Park, O. und Tennyson, R. D. (1980). Adaptive design strategies for selecting number and presentation order of examples in coordinate concept acquisition. *Journal of Educational Psychology* 72(3), 362–370.
- Peeck, J. (1987). The role of illustrations in processing and remembering illustrated text. In D. M. Willows und H. A. Houghton (Hrsg.), *The psychology of illustration. Vol.1: Basic research*, S. 115–151. New York: Springer.
- Peeck, J. (1994). Wissenserwerb mit darstellenden Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*, S. 59–94. Bern: Huber.
- Pestalozzi, J. H. (1994). *Wie Gertrud ihre Kinder lehrt: Ein Versuch, den Müttern Anleitung zu geben, ihre Kinder selbst zu unterrichten* (5. Aufl.). Stuttgart, Tübingen: Cotta. Originalausgabe Pestalozzi, *Darstellung einer neuen Unterrichtsmethode*, 1801, Verlag Heinrich Geßner.
-

- Peterßen, W. (2001). *Lehrbuch Allgemeine Didaktik* (6. Aufl.). München: Ehrenwirth.
- Pettersson, R. (1994). Visual Literacy und Infologie. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*, S. 215–235. Bern: Huber.
- Piaget, J. (1973). *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Piaget, J. (1977). *The development of thought: Equilibration of cognitive structures*. New York: Viking.
- Piaget, J. (2000(1947)). *Psychologie der Intelligenz* (10. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E. und Leutner, D. (1998). Supporting visual and verbal learning preferences in a second-language multimedia learning environment. *Journal of Educational Psychology* 90(1), 25–36.
- Plessner, H. (1970). Anthropologie der Sinne. In H. Plessner (Hrsg.), *Philosophische Anthropologie (conditio humana)*, S. 187–251. Frankfurt/Main: Fischer.
- Polya, G. (1949). *Schule des Denkens*. Bern: A. Francke AG.
- Popper, K. R. (1966). *Logik der Forschung* (2. Aufl.). Tübingen: Mohr (Paul Siebeck).
- Postman, N. (1983). *Das Verschwinden der Kindheit*. Frankfurt: Fischer.
- Preece, J. (1994). *Human-Computer Interaction*. Wokingham: Addison-Wesley.
- Prenzel, M. (1988). *Die Wirkungsweise von Interesse. Ein pädagogisches Erklärungsmodell*. Beiträge zur psychologischen Forschung, Band 133. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Prenzel, M. (1993). Autonomie und Motivation im Lernen Erwachsener. *Zeitschrift für Pädagogik* 39, 239–253.
- Pyter, M. (1994). Textrepräsentation in Hypertext. Empirische Analyse von visuellen versus audiovisuellen Sprachdarbietungen in Hypertext. *Papier zum Kongress der DGPs 1994 in Hamburg*.
- Rasmussen, K. und Davidson-Shivers, G. (1998). *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* 7, 291–308.
- Ratzke, D. (1984). *Handbuch der neuen Medien* (2. Aufl.). Stuttgart: Deutscher Verlags-Anstalt.
- Reese, M. (2002). *Neue Blicke auf alte Maschinen*. Hamburg: Dr. Kovac.
-

- Reeves, T. C. (1993). Research support for interactive multimedia: Existing foundations and new directions. In C. Latchem, J. Williamson und L. Henderson-Lancett (Hrsg.), *Interactive multimedia*, S. 79–96. London: Kogan Page.
- Reigeluth, C. M. (1983). Instructional design: What is it and why is it? In C. M. Reigeluth (Hrsg.), *Instructional-Design Theories and Models: An Overview of Their Current Status*, S. 3–36. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Reigeluth, C. M. (Hrsg.) (1987). *Instructional theories in action: Lessons illustrating selected theories and models*. London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Reigeluth, C. M. (Hrsg.) (1999). *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory*, Volume 2. London: Lawrence Erlbaum Associate.
- Reinmann-Rothmeier, G. und Mandl, H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp und B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (4. Aufl.), S. 601–646. Weinheim: Psychologie Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Renkl, A. (1994). *Träges Wissen: Die „unerklärliche“ Kluft zwischen Wissen und Handeln*. Forschungsbericht Nr. 41. München: Ludwig-Maximilians-Universität München, Lehrstuhl für Pädagogische Psychologie und Empirische Pädagogik.
- Renkl, A. (2005). The worked-out examples principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 229–245. Cambridge: Cambridge University Press.
- Renkl, A. (2006). Träges Wissen. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (3. Aufl.), S. 778–782. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag, Programm PVU Psychologie Verlags Union.
- Renkl, A., Gruber, H. und Mandl, H. (1995). *Kooperatives problemorientiertes Lernen in der Hochschule*. Forschungsbericht Nr. 46. München: Ludwig-Maximilians-Universität München, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Resnick, L. B. (1987). Learning in school and out. *Educational Researcher* 16, 13–20.
- Resnick, L. B. (1992). From protoquantities to operators: Building mathematical competence on a foundation of everyday knowledge. In G. Leinhardt, R. Putnam und R. Hattrop (Hrsg.), *Analysis of arithmetic for mathematics teaching*, S. 373–429. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Resnick, L. B., Williams, S. und Hall, M. (1998). Learning organizations for sustainable education reform. *Daedalus* 127(4), 89–118.
- Richter-Gebert, J. (2004a). Flächenberechnung und das kleine Einmaleins. Vortrag Mathematik spielend lernen.
-

- Richter-Gebert, J. (2004b). Geometry on the internet. Vortrag auf der DMV Jahrestagung, Heidelberg.
- Richter-Gebert, J. (2007a). Cinderella.2 Visualisierung, Simulation und Algorithmen. Vortrag auf der 2.Fachtagung Naturwissenschaften entdecken.
- Richter-Gebert, J. (2007b). Dynamische Geometrie an der Schnittstelle von Schule und Hochschule. Vortrag auf der gemeinsamen Jahrestagung DMV und GDM, Berlin.
- Richter-Gebert, J. (2007c). Indra's Pearls in Cinderella. Website: <http://www-m10.ma.tum.de/twiki/bin/view/Lehrstuhl/IndrasPearls>, Last Update: 02.07.07.
- Richter-Gebert, J. und Kortenkamp, U. (2001). Dynamische Geometrie: Grundlagen und Möglichkeiten. In *SATW Fachtagung 2000 - Neue Medien im Unterricht*, St. Gallen, S. 34–43. Polygon-Verlag. Download: http://www-m10.ma.tum.de/twiki/pub/Lehrstuhl/PublikationenJRG/34_Dynamische_Geometrie.pdf.
- Richter-Gebert, J. und Kortenkamp, U. (2002). Complexity issues in dynamic geometry. In M. Rojas und F. Cucker (Hrsg.), *Festschrift in the honor of Stephen Smale's 70th birthday*, S. 355–404. World Scientific. Download: http://www-m10.ma.tum.de/twiki/pub/Lehrstuhl/PublikationenJRG/32_Complexity.pdf.
- Richter-Gebert, J. und Kortenkamp, U. (2007). Cinderella. Die interaktive Geometrie-Software Cinderella. Website: <http://cinderella.de/tiki-index.php>, Last Update: 17.07.07.
- Rinck, M. und Glowalla, U. (1995). Die Präsentation quantitativer Daten durch graphische und multimediale Darstellungen. In E. Schoop, R. Witt und U. Glowalla (Hrsg.), *Hypermedia in der Aus- und Weiterbildung*, S. 107–117. Konstanz: Universitätsverlag.
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R. und Alibali, M. (2001). Developing conceptual understanding and procedural skills in mathematics: An iterative process. *Journal of Educational Psychology* 93, 346–362.
- Rittle-Johnson, B. und Siegler, R. S. (1998). The relationship between conceptual and procedural knowledge in learning mathematics: A review. In C. Donlan (Hrsg.), *The development of mathematical skills*, S. 75–110. Hove: Psychology Press.
- Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking: Cognitive development in social context*. New York: Oxford University Press.
- Romiszwowski, A. J. (1990). The hypertext/hypermedia solution - But what exactly is the problem? In D. H. Jonassen und H. Mandl (Hrsg.), *Designing Hypermedia for Learning*, S. 321–354. Berlin, Heidelberg: Springer.
-

- Rose, E. (1999). Deconstructing interactivity in Educational Computing. *Educational Technology 39*(1), 43–49.
- Rost, D. H. (Hrsg.) (2006). *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (3. Aufl.). Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag, Programm PVU Psychologie Verlags Union.
- Rouet, J. F. (2000). Guest editorial: Hypermedia and learning - cognitive perspectives. *Journal of Computer Assisted Learning 16*(2), 97–101.
- Rouet, J.-F., Levonen, J. J., Dillon, A. und Spiro, R. J. (Hrsg.) (1996). *Hypertext and cognition*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Rouet, J.-F. und Potelle, H. (2005). Navigational principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 297–312. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rowntree, D. (1974). *Educational Technology in Curriculum Development*. London: Harper and Row.
- Roy, M. und Chi, M. T. (2005). The self-explanation principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 271–286. Cambridge: Cambridge University Press.
- Saettler, P. (1968). *A history of instructional technology*. New York: McGraw-Hill.
- Salomon, G. (1972). Heuristic models for the generation of aptitude-treatment interaction hypotheses. *Review of Educational Research 42*(3), 327–343.
- Salomon, G. (1979). *Interaction of media, cognition, and learning*. San Francisco: Jossey Bass.
- Salomon, G. (1984). Television is „easy“ and print is „tough“ : The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of Educational Psychology 76*(4), 647–658.
- Salomon, G. (1996). Studying novel learning environments as patterns of change. In S. Vosniadou, E. De Corte, R. Glaser und H. Mandl (Hrsg.), *International perspectives on the design of technology-supported learning environments*, S. 363–377. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Salomon, G. und Leigh, T. (1984). Predispositions about learning from print and television. *Journal of Communication 34*, 119–135.
- Sanford, A. J. und Garrod, S. C. (1981). *Understanding written language: Explorations of Comprehension Beyond the Sentence*. Chichester, New York, Brisbane, Toronto: Wiley.
-

- Sanford, A. J. und Garrod, S. C. (1982). Towards a processing account of reference. In A. Flammer und W. Kintsch (Hrsg.), *Discourse processing*, S. 100–110. Amsterdam: North-Holland.
- Schank, R. C. (1990). *Tell me a story: A new look at real and artificial memory*. New York: Scribner.
- Schank, R. C. und Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding. An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Schiefele, U. (1990a). Interesse und Textrepräsentation unter Berücksichtigung kognitiver und motivationaler Kontrollvariablen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 5(4), 245–259.
- Schiefele, U. (1990b). Thematisches Interesse, Variablen des Leseprozesses und Textverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie* 37, 304–332.
- Schmeck, R., Geisler-Brennstein, E. und Cercey, S. (1977). Self-concept and learning: The revised inventory of learning process. *Educational Psychology* 11, 343–362.
- Schneider, M. (1989). *Das Urteil und die Sinne. Transzendentalphilosophische und ästhesiologische Untersuchungen im Anschluß an Richard Höningwald und Helmuth Plessner*. Köln: Janus.
- Schnotz, W. (1984). Comparative instructional text organization. In H. Mandl, N. Stein und T. Trabasso (Hrsg.), *Learning and comprehension of text*, S. 53–81. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Schnotz, W. (1993). Some Remarks on the commentary on the relation of dual coding and mental models in graphics comprehension. *Learning and Instruction* 3(3), 247–249.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten* (1. Aufl.). Weinheim: Beltz PVU.
- Schnotz, W. (2002). Wisenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 65–81. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Schnotz, W. und Bannert, M. (1999). Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Bild- und Textverstehen. *Zeitschrift für experimentelle Psychologie* 46, 216–235.
- Schott, F., Grzondziel, H. und Hillebrandt, D. (2002). UCIT- instruktionstheoretische Aspekte zur Gestaltung und Evaluation von Lern- und Informationsumgebungen. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit*
-

- Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 179–195. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Schuler, W., Hannemann, J. und Streitz, N. (Hrsg.) (1995). *Designing user interfaces for hypermedia*. Berlin: Springer.
- Schulmeister, R. (1996). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme - Theorie-Didaktik-Design* (1. Aufl.). Bonn: Addison-Wesley.
- Schulmeister, R. (2001). *Virtuelle Universität - Virtuelles Lernen*. München: Oldenbourg.
- Schulmeister, R. (2002). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme - Theorie-Didaktik-Design* (3. Aufl.). München: Oldenbourg.
- Schulmeister, R. (2005). *Lernplattformen für das virtuelle Lernen*. München: Oldenbourg.
- Schulmeister, R. (2006). *eLearning: Einsichten und Aussichten*. München: Oldenbourg.
- Schulz, W. (1991). Ein Hamburger Modell der Unterrichtsplanung - Seine Funktionen in der Alltagspraxis. In B. Adl-Amini und R. Künzli (Hrsg.), *Didaktische Modelle und Unterrichtsplanung* (3. Aufl.), S. 49–87. Weinheim, München: Juventa.
- Schumann, J., Kernchen, E. und Strothotte, T. (1995). *Rendering CAAD Models as Preliminary Drafts. Unveröffentlichtes Papier, eingereicht zur Tagung „Computing in Civil and Building Engineering“*. Berlin.
- Schwarzer, R. und Steinhagen, K. (Hrsg.) (1975). *Adaptiver Unterricht: Zur Wechselwirkung von Schülermerkmalen und Unterrichtsmethoden*. München: Kösel.
- Schweinitz, J. (Hrsg.) (1992). *Prolog vor dem Film. Nachdenken über ein neues Medium*. Leipzig: Reclam.
- Seel, N. M. und Dörr, G. (1997). Die didaktische Gestaltung multimedialer Lernumgebungen. In H. F. Friedrich, G. Eigler, H. Mandl, W. Schnotz, F. Schott und N. M. Seel (Hrsg.), *Multimediale Lernumgebungen in der betrieblichen Weiterbildung*, S. 73–163. Neuwied: Luchterhand.
- Sesink, W., Kerres, M. und Moser, H. (Hrsg.) (2007). *Jahrbuch Medienpädagogik 6, Medienpädagogik - Standortbestimmung einer erziehungswissenschaftlichen Disziplin*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH.
- Shachar, H. und Sharan, S. (1994). Talking, relating, and achieving: Effects of cooperative learning in the classroom. In S. Sharan, P. Harew, C. D. Webb und R. Hetz-Lazarowitz (Hrsg.), *Cooperation in Education*, S. 14–46. Provo, UT: Brigham Young University Press.
-

- Shapiro, A. M. (2005). The site map principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 313–324. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shneidermann, B. (2000). Creating Creativity: User interfaces for supporting innovation. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 7(1), 114–138.
- Shuell, T. J. (1988). The role of the student in learning from instruction. *Contemporary Educational Psychology* 13, 276–295.
- Shuell, T. J. (1993). Toward an integrated theory of teaching and learning. *Educational Psychologist* 28(4), 291–311.
- Shuell, T. J. (1996). Teaching and learning in a classroom context. In D. C. Berliner und R. Calfee (Hrsg.), *Handbook of educational psychology*, S. 726–764. New York: Macmillan/Prentice Hall.
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organism: An experimental analysis*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Skinner, B. F. (1954). The science of learning and the art of teaching. Volume 24, S. 86–97. In (reprint) A.A. Lumsdaine and Robert Glaser: *Teaching machines and programmed learning - a source book*, S. 99–113, Washington D.C.: National Education Association of the United States, 1960.
- Skinner, B. F. (1958). Why we need teaching machines. *Science* 128, 969–977.
- Skinner, B. F. (1971). *Erziehung als Verhaltensformung - Grundlagen einer Technologie des Lehrens*. München-Neubiberg: Keimer.
- Skinner, B. F. und Correll, W. (1967). *Denken und Lernen*. Braunschweig: Westermann.
- Snow, R. E. (1992). Aptitude theory: Yesterday, today and tomorrow. *Educational Psychologist* 27(1), 5–32.
- Spanhel, D. (2007). Zur Standortbestimmung der Medienpädagogik aus anthropologischer und bildungswissenschaftlicher Sicht. In W. Sisnik, M. Kerres und H. Moser (Hrsg.), *Jahrbuch Medienpädagogik 6, Medienpädagogik - Standortbestimmung einer erziehungswissenschaftlichen Disziplin*, S. 33–54. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH.
- Special Interest Group for Computer Human Interaction (SIGCHI) (2007). titel. Website: <http://sigchi.org/>, Stand: 24.08.07.
- Spencer, K. (1991). Modes, media and methods: the search for educational effectiveness. *British Journal of Educational Technology* 22(1), 12–22.
-

- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J. und Anderson, D. (1988). Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge aquisition in ill-structured domains. In *Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, S. 375–383. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. und Coulson, R. L. (1992). Knowledge Representation, Content specification, and the Development of Skill in Situation Specific Knowledge Assembly: Some Constructivist Issues as They Relate to Cognitive Flexibility Theory and Hypertext. In T. M. Duffy und D. H. Jonassen (Hrsg.), *Constructivism and the Technology of Instruction: A Conversation*, S. 121–128. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spiro, R. J. und Jehng, J.-C. (1990). Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. In D. Nix und R. J. Spiro (Hrsg.), *Cognition, Education and Multimedia: Exploring ideas in high technology*, S. 163–205. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stanton, N. A. (1994). Explorations into hypertext. *Innovations in Education & Training International* 31(4), 276–294.
- Stark, R., Graf, M., Renkl, A., Gruber, H. und Mandl, H. (1995). Förderung von Handlingskompetenz durch geleitetes Problemlösen und multiple Lernkontexte. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 27.
- Stauffer, J., Frost, R. und Rybolt, W. (1978). Literacy, illiteracy, and learning from television. *Communication Research* 5, 221–232.
- Steen, L. A. (1988). The science of pattern. *Science* 16, 611–616.
- Steinberg, E. (1989). Cognition and learner control: A literature review, 1977-1988. *Journal of Computer-based instruction* 16, 117–121.
- Steinmetz, R. (2000). *Multimedia-Technologie - Grundlagen, Komponenten und Systeme* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Steinmetz, R. und Nahrstedt, K. (2004). *Multimedia Applications*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Stern, E. (2003a). Früh übt sich: Neuere Ergebnisse aus der LOGIK-Studie zum Lösen mathematischer Textaufgaben in der Grundschule. In A. Fritz, G. Ricken und S. Schmidt (Hrsg.), *Handbuch Rechenschwäche. Lernwege, Schwierigkeiten und Hilfen*, S. 116–130. Weinheim: Beltz.
- Stern, E. (2003b). Lernen ist der mächtigste Mechanismus der kognitiven Entwicklung: Der Erwerb mathematischer Kompetenzen. In W. Schneider und M. Knopf (Hrsg.), *Entwicklung, Lehren und Lernen: Zum Gedenken an Franz Emanuel Weinert*, S. 207–217. Göttingen: Hogrefe.
-

- Stern, E., Felbrich, A. und Schneider, M. (2006). Mathematiklernen. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (3. Aufl.). Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag, Programm PVU Psychologie Verlags Union.
- Strittmatter, P. und Niegemann, H. (2000). *Lehren und Lernen mit Medien*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Strittmatter, P. und Seel, N. (1984). Externe und interne Medien: Konzepte der Medienforschung. *Unterrichtswissenschaft* 12, 2–17.
- Strzebkowski, R. und Kleeberg, N. (2002). Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 229–245. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Strzebkowski, R. (1997). Realisierung von Interaktivität und multimedialen Präsentationstechniken. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (2. Aufl.), S. 269–303. Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.
- Sturm, H. (1984). Wahrnehmung und Fernsehen: Die fehlende Halbsekunde. *Media Perspektiven*, 58–65.
- Suchmann, L. A. (2007). *Human-machine Reconfigurations: Plans and Situated Actions* (2. Aufl.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Sweller, J. (2005). The redundancy principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1. Aufl.), S. 159–169. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P. und Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General* 119, 176–192.
- Sweller, J. und Cooper, G. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction* 2, 59–89.
- Sweller, J., Merrienboer, J. und Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review* 10(3), 251–296.
- Tarmizi, R. und Sweller, J. (1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology* 80, 424–436.
- Taylor, R. P. (Hrsg.) (1980). *The computer in the school: tutor, tool, tutee*. New York, London: Teachers College Press.
- Tennyson, R. D. und Park, S. I. (1984). Process learning time as an adaptive design variable in concept learning using computer-based instruction. *Journal of Educational Psychology* 76(3), 452–465.
-

- Tennyson, R. D. und Rothen, W. (1977). Pretask and on-task adaptive design strategies for selecting number of instances in concept acquisition. *Journal of Educational Psychology* 69(5), 586–592.
- Tergan, S.-O. (2002). Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme und Perspektiven. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 5–17. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Thorndike, E. L. (1913). *Educational Psychology*, Volume 1,2,3. New York: Teachers College Press.
- Thorson, E., Reeves, B. und Schleuder, J. (1985). Message complexity and attention to television. *Communication Research* 12, 427–454.
- Treichler, D. (1967). *Are you missing the boat in training aids? Film and AV Communication*, 1, Volume 1. New York: United Business Publications.
- Tufte, E. R. (1983). *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press.
- Tulodziecki, G. und Herzig, B. (2004). *Handbuch Medienpädagogik, Band 2. Mediendidaktik*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Ullman, S. (1984). Visual routines. *Cognition* 18, 97–159.
- van Dijk, T. A. und Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- Veenman, M. V. und Elshout, J. J. (1991). Intellectual ability and working method as predictors of novice learning. *Learning and Instruction* 1(4), 303–318.
- Vester, F. (2001). *Denken, Lernen, Vergessen: Was geht in unserem Kopf vor, wie lernt das Gehirn und wann läßt es uns im Stich?* München: dtv. Originalausgabe 1975, Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- von Cube, F. (1965). *Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens* (1. Aufl.). Stuttgart: Klett.
- von Cube, F. (1986). Die kybernetisch-informationstheoretische Didaktik. In H. Guldjons, R. Teske und R. Winkel (Hrsg.), *Didaktische Theorien*, S. 47–60. Hamburg: Bergmann und Helbig.
- von Glasersfeld, E. (1987). *Wissen, Sprache, Wirklichkeit - Arbeiten zum radikalen Konstruktivismus*. Wiesbaden: Vieweg.
- Vos, H. J. (1995). Applications of Bayesian Decision Theory to Intelligent Tutoring Systems. *Computers in Human Behavior* 11(1), 149–162.
-

- Wagenaar, W. A., Varey, C. und Hudson, P. T. (1984). Do audiovisuals aid? A study of bisensory presentation on the recall of information. In H. Bouma und D. G. Bouwhuis (Hrsg.), *Attention and Performance X - Control of Language Processes*, S. 379–391. London, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wagenschein, M. (1962). *Die pädagogische Dimension der Physik*. Braunschweig: Georg Westermann.
- Wagenschein, M. (1973). *Verstehen Lehren. Genetisch-Sokratisch-Exemplarisch* (4. Aufl.). Weinheim: Beltz. Originalausgabe 1968.
- Walther, P. (2001). Werkzeuge für WBT & Co. *e-learning 2*.
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review 20*, 158–177.
- Weidenmann, B. (1988). *Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern*. Bern, Stuttgart, Toronto: Huber.
- Weidenmann, B. (1993). Instruktionsmedien. *Gelbe Reihe, Arbeiten zur Empirischen Pädagogik und Pädagogischen Psychologie 27*.
- Weidenmann, B. (1994). Codes of instructional pictures. In W. Schnotz und R. W. Kulhavy (Hrsg.), *Comprehension of Graphics*, S. 29–42. Amsterdam: North-Holland.
- Weidenmann, B. (2001). Lernen mit Medien. In A. Krapp und B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (4. Aufl.), S. 415–465. Weinheim: Psychologische Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Weidenmann, B. (2002a). Abbilder in Multimediaanwendungen. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 5–17. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Weidenmann, B. (2002b). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia - Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl.), S. 5–17. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union.
- Weigand, H.-G. und Weth, T. (2002). *Computer im Mathematikunterricht. Neue Wege zu alten Zielen*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Weinberg, I., Hornke, L. und Leutner, D. (1994). Adaptives Testen und Lernen - Effekte von Rückmeldungen unterschiedlichen Informationsgehalts. In K. Pawlik (Hrsg.), *39. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (Abstracts - Band II)*, S. 780. Hamburg: Psychologisches Institut I der Universität.
-

- Weinert, C. und Mayer, R. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Hrsg.), *Handbook of research on teaching*, S. 315–327. New York: Macmillan.
- Weinert, F. E. (1974). Einführung in das Problemgebiet der Pädagogischen Psychologie. In F. E. Weinert, C. F. Graumann, H. Heckhausen und M. Hofer (Hrsg.), *Funkkolleg Pädagogische Psychologie Bd. 1*, S. 29–63. Frankfurt a.M.: Fischer.
- Weiser, M. (1991). The computer in the 21st century. *Scientific American* 265(3), 94–104.
- Wertheimer, M. (1938). Laws of organization in perceptual forms. In W. Ellis (Hrsg.), *A source book of Gestalt psychology*, S. 71–88. London: Routledge & Kegan Paul.
- Weth, T. (1993). Zum Rollenwechsel des Schülers beim Arbeiten mit Unterrichtsoftware. In H. Hirscher (Hrsg.), *Wieviel Termumformung braucht der Mensch?*, S. 106–110. Hildesheim: Franzbecker KG.
- Whitaker, L. A. (1998). Human navigation. In C. Forsythe, E. Grose und J. Ratner (Hrsg.), *Human Factors and Web Development*, S. 63–71. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Wickens, C., Sandry, D. und Vidulich, M. (1983). Compatibility and resource competition between modalities of input, central processing, and output. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 25(2), 227–248.
- Wild, E., Hofer, M. und Pekrun, R. (2001). Psychologie des Lerners. In A. Krapp und B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (4. Aufl.), S. 207–270. Weinheim: Psychologie Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Willis, J. (1998). Alternative instructional design paradigms: What's worth discussing and what isn't. *Educational Technology* 38(3), 5–16.
- Winn, M. (1979). *Die Droge im Wohnzimmer*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Winn, W. (1992). The assumptions of constructivist and instructional design. In T. M. Duffy und D. H. Jonassen (Hrsg.), *Constructivism and the technology of instruction. A conversation*, S. 177–182. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Winn, W. (1994). Contributions of perceptual and cognitive process to the comprehension of graphics. In W. Schnotz und R. W. Kuhlhavy (Hrsg.), *Comprehension of Graphics*, S. 3–27. Amsterdam: North-Holland.
- Winn, W. (1996). Instructional design and situated learning: Paradox or partnership? In H. McLellan (Hrsg.), *Situated learning perspectives*, S. 57–66. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Winter, H. (1975). Allgemeine Lernziele im Mathematikunterricht. *ZDM* 7, 106–116.
-

- Winter, H. (1984). Begriff und Bedeutung des Übens im Mathematikunterricht. *ML* 2, 4–16.
- Winter, H. (1996). Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. *Mitteilungen der GDM* 61, 37–46.
- Wippich, W., Schulte, A. und Mecklenbräuer, S. (1989). Weitere Evidenzen zum Einfluss induzierter Einstellungen auf Erinnerungen an eigenes Verhalten. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie* 36(1), 162–179.
- Witkin, H. (1962). *Psychological differentiation: studies of development*. New York: Wiley.
- Wittmann, E. (1981). *Grundfragen des Mathematikunterrichts* (6. Aufl.). Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.
- Wittmann, E. und Müller, G. (2005). *Handbuch produktiver Rechenübungen, Band 1: Vom Einspluseins zum Einmaleins* (2. Aufl.). Stuttgart: Klett.
- Zech, F. (2002). *Grundkurs Mathematikdidaktik* (10. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz.
- Zeidler, A. und Zellner, R. (1994). *Software-Ergonomie, Techniken der Dialoggestaltung* (2. Aufl.). München, Wien: Oldenbourg.
- Zelazny, G. (1986). *Wie aus Zahlen Bilder werden*. Wiesbaden: Gabler.
- Zimmer, H. D. (1983). *Sprache und Bildwahrnehmung: Die Repräsentation sprachlicher und visueller Informationen und deren Integration in der Wahrnehmung*. Frankfurt: Haag & Herchen.
- Zimmer, H. D. (1993). Modalitätsspezifische Systeme der Repräsentation und Verarbeitung von Information. *Zeitschrift für Psychologie* 201, 203–235.
- Zimmermann, B. und Martinez-Pons, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of educational psychology* 82, 51–59.
-