

**Konzeption und Entwicklung webbasierter
multimedialer Lehr-/Lernangebote
in der Geographie
Exemplarische Umsetzung anhand
geomorphologischer Prozesse und ihrer Modellierung**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie
im Fachbereich Geowissenschaften/Geographie
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

vorgelegt von

Alexander Tillmann

aus: Lemgo

2006

(Einreichungsjahr)

2006

(Erscheinungsjahr)

1. Gutachter: Prof. Dr. Volker Albrecht
2. Gutachter: Prof. Dr. Johannes B. Ries

Tag der mündlichen Prüfung: 27.06.2006

Vorwort

Die Konzeption und Entwicklung webbasierter multimedialer Lehr-/Lernangebote in der Geographie ist aufgrund der unterschiedlichen Aspekte, die in einem iterativen Prozess sorgfältig aufeinander bezogen werden müssen, um (medien-) didaktische und methodische, fachwissenschaftliche und technische Dimensionen in Einklang zu bringen, ohne fortwährende interdisziplinäre Diskussion undenkbar.

Mein Dank gilt all denen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. In erster Linie bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Volker Albrecht, der von Beginn an mit seinem engagierten Interesse an der Thematik wertvolle Impulse gegeben und sich intensiv mit meinen Gedanken und Konzepten auseinander gesetzt hat. Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Johannes B. Ries, der – vor allem aus fachwissenschaftlicher Sicht – eine große Stütze bei der Konzeption der Arbeit und praktischen Umsetzung der webbasierten Lehr-/Lernobjekte war.

Frau Prof. Dr. Petra Döll danke ich für die gute Kooperation in der Leitung des gemeinsamen Projektes „Hessen-Geo“ und die produktive Zusammenarbeit im Rahmen der Lehrveranstaltung „Erstellung von E-Learning-Modulen zu hydrologischen Themen“. Die Möglichkeit zur Übertragung, Anwendung und Überprüfung der in der Dissertation erarbeiteten Konzepte konnte so wesentlich zur Verbesserung und Bestätigung der theoretischen Ansätze durch die Praxis beitragen.

Mein Dank geht auch an das gesamte Team von WEBGEO, insbesondere an das der Universität Frankfurt. Durch das mir gebotene interdisziplinäre Arbeitsumfeld wurde die Erstellung dieser Arbeit erst möglich.

Großer Dank gilt meiner Familie für das Verständnis und die durchgehende Unterstützung während der Erarbeitung der vorliegenden Dissertation. Besonders danke ich meiner Frau und meinem Vater, die mir als kritische Diskussionspartner und gewissenhafte Lektoren zur Seite standen.

Frankfurt am Main, 23. Februar 2006

Alexander Tillmann

Inhaltsverzeichnis

<i>Vorwort</i>	<i>III</i>
<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>IV</i>
<i>Abbildungsverzeichnis</i>	<i>XI</i>
<i>Tabellenverzeichnis</i>	<i>XX</i>
<i>Abkürzungen</i>	<i>XXI</i>
1 Einleitung	23
1.1 Frage- und Problemstellungen	25
1.2 Aufbau der Dissertation	27
A Theoretischer, fachdidaktisch-fachwissenschaft-	
licher Teil	32
2 Grundlagen multimedialer Lehr-/Lernmaterialien	33
2.1 Klärung von Begriffen und ihres Bedeutungshorizontes	33
2.1.1 Multimedia	34
2.1.2 Interaktivität	37
2.1.3 Animation	39
2.1.4 Simulation	40
2.1.5 Wissen und Wissensstrukturierung	40
2.2 Mediendidaktik und Didaktisches Design	42
2.2.1 Einordnung des Arbeitsthemas	42
2.2.2 Präskriptiver Forschungsansatz	46
2.2.3 Lerntheoretische Bezüge mediengestützten Lernens	51
2.2.3.1 Theoretische Annahmen des Behaviorismus	
und die Programmierte Unterweisung	51
2.2.3.2 Kognitivismus, Adaptive Systeme und	
„klassische“ Modelle des Instruktionsdesign	53
2.2.3.3 Konstruktivismus und Situiertes Lernen	57
2.2.4 Mehrdimensionaler Entscheidungsraum der	
Mediendidaktik	66
2.3 Funktionen und Gestaltung von Medien	67
2.3.1 Medien und Wissenserwerb	69
2.3.1.1 Modelle der Wissensaneignung mit Medien	69

2.3.1.2	Forschungsergebnisse zum Wissenserwerb mit Medien	70
2.3.1.3	Wissensorganisation und didaktische Reduktion	71
2.3.1.4	Funktionen von Visualisierungen in mmL-Objekten	72
2.3.2	Allgemeine Gestaltungskriterien multimedialer Lehr- /Lernangebote	74
2.3.3	Konsequenzen für die Gestaltung von mmL-Objekten	75
2.4	Die Bedeutung der Interaktivität beim Lernen mit mmL-Objekten	80
2.4.1	Kategorisierung von Interaktivität	81
2.4.2	Steuerungs- und didaktische Interaktionen	89
2.4.3	Resümee	92
3	Geomorphologische Prozesse und ihre Modellierung in internetbasierten Lernumgebungen	94
3.1	Zur Frage der didaktischen und methodischen „Vereinfachung“	94
3.1.1	Konsequenzen für die Konzeption von mmL-Objekten	100
3.2	Die Auswahl der Inhalte	102
3.3	Bodenerosion und Bodenerosionsmodellierung	104
3.3.1	Relevanz des Themas	104
3.3.2	Fachwissenschaftliche Orientierung	105
3.3.3	Thematische Zugänge unter Berücksichtigung von Potentialen webbasierter digitaler Medien	113
3.3.3.1	Screening Modelle in Verbindung mit GIS-basierten Internet Mapping Systemen und deren Nutzung in mmL-Objekten	115
3.3.3.2	Modellierung zur quantitativen Abschätzung des Bodenabtrages – Umsetzungsperspek- tiven in mmL-Objekten	116
3.3.3.3	Prozessorientierte Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten – Umsetzungsperspektiven in mmL-Objekten	124

4	Potentiale und Rahmenbedingen technischer Entwicklungen für die Konstruktion webbasierter multimedialer Lehr-/Lern-Objekte in der Geographie/Geomorphologie.....	128
4.1	Entwicklungen im Bereich der Geographie/Geomorphologie.....	129
4.1.1	Geographische Informationssysteme (GIS).....	131
4.1.1.1	Interaktionsmöglichkeiten in Geographischen Informationssystemen	138
4.1.1.2	GIS-Web als Visualisierungs- und Analyse- Umgebung.....	144
4.1.1.3	Landschafts- und Geländemodellierung	145
4.2	Allgemeine Entwicklungstendenzen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie	147
4.2.1	Autorenwerkzeuge	148
4.2.2	Virtual Reality.....	149
4.2.3	Die Rolle von Entwicklungen in Bereich der Web-Technologie.....	151
4.2.4	Gestaltungstrends.....	153
4.3	Fazit.....	154
5	Systematik zur Kategorisierung webbasierter multimedialer Lehr-/Lernobjekte in der Geographie/Geomorphologie.....	156
5.1	Konzeption von mmL-Objekten	157
5.1.1	Lernaufgaben als mediendidaktisches Element.....	158
5.1.2	Komponenten aufgabenorientierter mmL-Objekte (Lernaufgaben).....	165
5.1.2.1	Aufgabentypen.....	166
5.1.2.2	Darstellungsformen.....	170
5.1.2.3	Interaktionsmöglichkeiten.....	178
5.1.2.4	Rückmeldung	181

6	Empfehlungen zur Konzeption und Entwicklung webbasierter multimedialer Lehr-/Lernobjekte in der Geographie/Geomorphologie.....	185
6.1	Erwerb deklarativen, prozeduralen und kontextuellen Wissens	188
6.2	Gestaltung aufgabenorientierter mmL-Objekte (Lernaufgaben)	193
6.2.1	Beschreibung unterschiedlicher Aufgabenformen	196
6.2.1.1	Orientierungsaufgaben.....	197
6.2.1.2	Verständnisaufgaben.....	200
6.2.1.3	Aufgaben zum Verständnis von Beziehungen und Relationen	203
6.2.1.4	Aufgaben zur Strukturierung von Abläufen und Prozessen.....	207
6.2.1.5	Anwendungs- und Gestaltungsaufgaben.....	209
6.2.1.6	Analyseaufgaben.....	213
6.2.1.7	Problemlöseaufgaben	216
6.2.1.8	Bewertungsaufgaben.....	219
6.2.2	Sozialformen der Aufgabenbearbeitung	220
B	Praxisbezogener Teil.....	223
7	Verbundprojekt WEBGEO	224
7.1	Zielsetzung des Verbundvorhabens WEBGEO	225
7.2	Organisationsstruktur	225
7.3	Das Teilprojekt Geomorphologie (WEBGEO geo)	226
7.4	Modularisierung des Lehr-/Lernangebotes bei WEBGEO	227
7.4.1	Der Aufbau von Basis- und Strukturlernmodulen	228
7.4.1.1	Basislernmodule.....	228
7.4.1.2	Strukturlernmodule	229
7.5	Technische Grundlagen von WEBGEO	231
7.5.1	Standards und Web-Technologien von WEBGEO.....	232
7.5.2	Technische Anforderungen auf Anwenderseite.....	233
7.5.3	Technische Anforderungen für die Entwicklung.....	234

8	Beschreibung exemplarisch entwickelter, aufgabenorientierter mmL-Objekte zum Prozesskomplex	
	Bodenerosion	235
8.1	Bodenerosionsmodellierung	237
8.1.1	Aufgabenorientiertes mmL-Objekt zum Einsatz eines Screening Modells in Verbindung mit einem GIS-basierten Internet Mapping System.....	238
8.1.1.1	Beschreibung des mmL-Objektes	238
8.1.1.2	Integrierte Lernaufgabe.....	240
8.1.1.3	Zu erwerbende Kompetenzen	241
8.1.1.4	Kategorisierung.....	241
8.1.1.5	Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung in Präsenzphasen	242
8.1.2	Aufgabenorientiertes mmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung im Rahmen einer Beispiel-landschaft	243
8.1.2.1	Beschreibung des mmL-Objektes	243
8.1.2.2	Integrierte Lernaufgaben.....	244
8.1.2.3	Beispiel für eine zusätzliche Lernaufgabe zum mmL-Objekt.....	245
8.1.2.4	Zu erwerbende Kompetenzen	246
8.1.2.5	Kategorisierung.....	246
8.1.2.6	Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung in Präsenzphasen	247
8.1.3	Aufgabenorientiertes mmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung von Standorten in Mitteleuropa.....	248
8.1.3.1	Beschreibung des mmL-Objektes	248
8.1.3.2	Integrierte Lernaufgaben.....	257
8.1.3.3	Beispiele für zusätzliche Lernaufgaben zum mmL-Objekt.....	257
8.1.3.4	Zu erwerbende Kompetenzen	261
8.1.3.5	Kategorisierung.....	262

8.1.3.6	Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung in Präsenzphasen	263
8.1.4	Aufgabenorientiertes mmL-Objekt zur prozess- orientierten Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten.....	264
8.1.4.1	Beschreibung des mmL-Objektes	264
8.1.4.2	Integrierte Lernaufgaben.....	265
8.1.4.3	Beispiele für zusätzliche Lernaufgaben zum mmL-Objekt.....	266
8.1.4.4	Zu erwerbende Kompetenzen	268
8.1.4.5	Kategorisierung.....	268
8.1.4.6	Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung in Präsenzphasen	269
9	Hochschuldidaktisches Konzept zur Erstellung von multimedialen Lehr-/Lernangeboten im Rahmen von Lehrveranstaltungen durch Studierende	270
9.1	Erstellung von mmL-Angeboten in Lehrveranstaltungen	270
9.1.1	Zu erwerbende Kompetenzen	271
9.2	Anleitung und Vorgaben.....	271
9.2.1	Grundlegende Anforderungen an ein Lernmodul	271
9.2.2	Inhaltliche Vorgaben.....	272
9.3	Verlauf der Lehrveranstaltung	273
9.4	Evaluation der Lehrveranstaltung	274
9.5	Ausblick auf Weiterentwicklungen und Veränderungen des hochschuldidaktischen Konzeptes	278
10	Diskussion	280
10.1	Anwendbarkeit der theoretischen Konzeption zur Entwicklung aufgabenorientierter mmL-Objekte	281
10.1.1	Umsetzung der Empfehlungen anhand des mmL-Objektes „Globaler Wasserkreislauf“	281
10.1.2	Umsetzung der Empfehlungen anhand des mmL-Objektes „Wasserspeichermodell des Bodens“	284

10.2 Kritische Reflexion der theoretischen Konzeption zur Entwicklung aufgabenorientierter mmL-Objekte	287
10.3 Praxisnahe Reflexion des Stellenwertes von Lernaufgaben im Rahmen von multimedialen Lehr-/Lernangeboten	289
11 Schlussbetrachtung und Ausblick	294
12 Literaturverzeichnis	300

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Übersicht über den Aufbau der Dissertation	27
Abb. 1.2: Zyklusdiagramm zum Entwicklungsprozess der Dissertation.	28
Abb. 1.3: Dimensionen der Konzeption webbasierter multimedialer Lehr- /Lernmaterialien, die eng miteinander verbunden sind.....	29
Abb. 2.1: Planungsebenen bei der Erstellung von mediengestützten Lehr-/Lernangeboten im Hochschulbereich	49
Abb. 2.2: Medien als Übermittler von Lehrinhalten (aus KERRES 2001, 146)	69
Abb. 2.3: Lernangebote zur Aktivierung von Lernprozessen (aus KERRES 2001, 147)	70
Abb. 2.4: Interaktive Geschwindigkeitssteuerung der Animation zum Sandtrans- port (mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Lernmodul „Dünenbewegung“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_009;3)	84
Abb. 2.5: Interaktive Anwahlmöglichkeit bestimmter Stellen in der Animation (mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Lernmodul „Plattentektonik“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_007;1).	84
Abb. 2.6: Manipulation des 3D-Erdkugel-Objektes. Links die Ausgangsposition, rechts eine gedrehte und vergrößerte Ansicht (mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Lernmodul „Plattentektonik“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_007;1).	85
Abb. 2.7: Zwei thematische Karten erzeugt durch Parameterwahl und Modellberechnung. Auf Grundlage der Fruchtfolgenwahl (Dateneingabe, links) wird für ein Einzugsgebiet der Bodenabtrag berechnet und in der Karte (rechts) dargestellt (mmL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Landnutzungssimulation auf Grundlage eines Bodenerosionsmodells“ (http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_037;1).....	86
Abb. 2.8: Anwendung zur Konstruktion von geometrischen Figuren. In dem Beispiel ist die Konstruktion eines Mittelpunktes zwischen zwei Punkten gefordert (GEBERT & KORTENKAMP 1999) URL (http://antique.cinderella.de/de/demo/gallery/midpoint.html) (Zugriffsdatum 21.07.2005).....	87

Abb. 2.9: Diagramm zum Einzeichnen von Winderosionsraten durch den Nutzer (Die roten Linien sind von einem Nutzer eingezeichnet worden. Nach der Bearbeitung wird das Ergebnis mit der Lösung verglichen.) (mmL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Bodenerosion – ein Weltproblem“ (http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030;1)	88
Abb. 2.10: Interaktive Abbildung der Startseite des WEBGEO-Lernmoduls „Bodenerosion – ein Weltproblem“, (http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030)	90
Abb. 3.1: Formen der didaktischen Reduktion (Weiterentwicklung auf Grundlage des Ansatzes von GRÜNER; eigene Darstellung)	96
Abb. 3.2: Die Modellbildung im Rahmen des didaktischen Reduktionsfeldes (Weiterentwicklung auf Grundlage des Ansatzes von GRÜNER 1967; eigene Darstellung).....	98
Abb. 3.3: System der dimensionsübergreifenden Bodenerosionsmodellierung (vgl. WICKENKAMP <i>et al.</i> 2000, 111; eigene Darstellung)	111
Abb. 4.1: Einflussfaktoren und Entwicklungen im Kontext webbasierter mmL-Angebote in der Geographie (Geomorphologie) aus technischer Sicht	129
Abb. 4.2: Layer-Konzept der Datenhaltung eines GIS in einer Geodatenbank (verändert nach TILLMANN 1999, 23).....	132
Abb. 4.3: Auswertung des digitalen Geländemodells (DGM) der USA mit einem schattierten Ausschnitt der Region um den Mount St. Helen. Zusätzlich sind Zufahrtsrouten digitalisiert. (eigene Darstellung auf der Basis des National Elevation Dataset (NED) von der U.S. Geological Survey (USGS) (http://www.esri.com/data/download/usgs_ned/index.html)	133
Abb. 4.4: 2,5D Darstellung landwirtschaftlicher Nutzflächen bei Weiler / Nahe mit Vermessungslinien der erosiven Hanglänge (aus TILLMANN 1999, 80).....	134
Abb. 4.5: Kartierung von Weinbauflächen auf Grundlage einer digitalen topographischen Karte zur Vorbereitung einer Erosionsprognose am Velencer See in Ungarn (eigene Darstellung, Kartengrundlage: Topographische Karte von Ungarn 1:25.000 Blatt 54_241 Nadap)	134
Abb. 4.6: Vereinfachte Darstellung einer Sequenz zur Abschätzung der Boden- erosion durch Implementierung des Modells der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung in ein GIS (eigene Darstellung).....	135

Abb. 4.7: Funktionen von Medien zwischen Didaktisierung (im Sinne von zielgerichteter Konzeption und dem Einsatz in einem spezifischen Lehr-/Lernsetting) und Polyvalenz (im Sinne einer vielschichtigen Einsetzbarkeit eines Mediums in verschiedenen Kontexten und Zusammenhängen) (verändert, nach KERRES 2001, 99)	137
Abb. 4.8: Zunehmendes Anspruchsniveau von interaktiv zu bewältigenden Aufgabenstellungen und Anwendungen (nach CRAMPTON 2002, 88).	140
Abb. 4.9: Geländeoberfläche in 2,5D-Darstellung überlagert mit Bodenerosionsraten (aus WEBGEO-Lernmodul „Landnutzungssimulation“, Datengrundlage: Topographische Karte von Ungarn 1:25.000 Blatt 54_241 Nadap. http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_037;2)	142
Abb. 4.10: Verlinkung zwischen 2D-Karte und 2,5D-Ansicht (aus WEBGEO-Lernmodul „Landnutzungssimulation“, Datengrundlage: Topographische Karte von Ungarn 1:25.000 Blatt 54_241 Nadap. http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_037;2)	143
Abb. 4.11: Einzelbilder der Animation zur Umformung einer Sicheldüne zur Parabeldüne. Entwicklung in Cinema4D. (mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Lernmodul „Dünenformen“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_010;3)	146
Abb. 4.12: Interaktives Blockbild einer Karstlandschaft. (mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Struktur-Lernmodul „Karst“, (http://www.webgeo.de/module/rahmen.php?string=24;f_024;4.1).....	147
Abb. 4.13: Forschreitende Miniaturisierung von Sichtgeräten. (Quellen: www.keo.com , www.mvis.com)	151
Abb. 5.1: Unterschiedliche Funktionen von Lernaufgaben für Lehr-/Lernprozesse (in Anlehnung an SEEL 1981, 46).....	160
Abb. 5.2: Aufgabenorientiertes mmL-Objekt zur Kontinentalverschiebung (mmL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Plattentektonik“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_007;3).	161
Abb. 5.3: Verhältnis von Steuerungsinteraktionen, didaktischen Interaktionen und Aufgabenstellungen in mmL-Angeboten (eigene Darstellung).....	162
Abb. 5.4: Aufgabenorientiertes mmL-Objekt zur Pegelstandentwicklung im 20. Jahrhundert. (mmL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Meeresspiegelschwankungen I“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_004;4).	164

- Abb. 5.5: Single-Choice-Aufgabe mit einer Ankreuzmöglichkeit (mmL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Meeresspiegelschwankungen II“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_005;5). 166
- Abb. 5.6: Multiple-Choice-Aufgabe mit mehreren Ankreuzmöglichkeiten (aus WEBGEO-Lernmodul „Meeresspiegelschwankungen I“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_004;7) 167
- Abb. 5.7: Drag & Drop-Aufgabe, bei der die Regionen der Erde zu den entsprechenden Beschreibungen zugeordnet werden sollen. (aus WEBGEO-Lernmodul „Bodenerosion – ein Weltproblem“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030;8) 167
- Abb. 5.8: Drag & Drop-Aufgabe, bei der die Symbole **Mu** und **Zw** in der Planungskarte unterschiedlichen landwirtschaftlichen Flächen zugewiesen werden können. Die Symbole stehen für Bewirtschaftungsweisen, die im Modell eine Reduzierung des Bodenabtrags bewirken. (aus WEBGEO-Lernmodul „Landnutzungssimulation auf Grundlage eines Bodenerosionsmodells“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_037;2) 168
- Abb. 5.9: Aufgabe mit Pull-Down-Auswahlmenüs zum Vergleich zweier Sachverhalte, die in zwei Animationen visualisiert sind. (aus Goethe-Geo-Lernmodul „Speichergleichung“, http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_501;4) 169
- Abb. 5.10: Aufgabe des Short-Answer-Typs, bei der die Niederschlagsintensität berechnet und in die leeren Textfelder eingetragen werden soll. 170
- Abb. 5.11: Short-Answer-Aufgabe, bei der die Aufgabenstellung in Form einer Frage gestellt ist. 170
- Abb. 5.12: Mediale Darstellungsformen (nach KAMMERL 2000, 55; stark verändert) 171
- Abb. 5.13: Beispiele unterschiedlicher visueller Abstraktionsniveaus von Abbildungen (exemplarisch). Quellen von links nach rechts: Video zur Interzeption bei einer Pflanze (aus: Modul „Wasserkreislauf“ http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_503;4); Zeichnung eines Schwemmfächers (aus: AHNERT 1996, 242), Karte (Blatt Velence), Diagramm zur Funktionalbeziehung zwischen der relativen Höhe von Gipfeln verschiedener Gebirge und ihrer Distanz vom jeweiligen Gebirgsrand (aus: AHNERT 1996, 44) 172

Abb. 5.14: Beispiel einer Animation mit Text und Linien als symbolische Codierungen (aus dem WEBGEO-Lernmodul „Dünenbewegung“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_009).	173
Abb. 5.15: Integration von Film und Animation (mit Text) (aus dem Goethe-Geo-Lernmodul „Wasserkreislauf“, http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_503;4 ;).....	174
Abb. 6.1: Die Aufgabe dient der Aneignung raum-zeitlicher Orientierung zum Thema „Kontinentaldrift seit Beginn des Jura“ (WEBGEO geo) und ist durch die Verbindung von animierter Karte und Zeitleiste realisiert. Durch die Animation werden unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten der kontinentalen Platten deutlich und Rotationsachsen werden sichtbar, so dass ein Mehrwert zu Einzelbildsequenzen durch zeitliche Verlaufstrukturen der Animation bedeutend besser zum Ausdruck kommen und angestrebte Einsichten zum Prozessablauf deutlich besser veranschaulicht werden. Um den Mehrwert sicherzustellen, sollten allerdings Fragen ergänzt werden, die auf den Prozessablauf mit unterschiedlichen Plattengeschwindigkeiten und Rotationsachsen abzielen.	198
Abb. 6.2: Mind Map zum Thema Hochwasser. In dem Aufgabenentwurf sollen die Begriffe durch Drag & Drop an die entsprechenden Positionen gezogen werden. Mehr Kreativität können Lernende bei der freien Gestaltung einer Mind Map entwickeln, die dann mit einer Musterlösung verglichen oder zur Auswertung an eine/n Tutor/in gesandt wird.....	199
Abb. 6.3: Ausschnitt der Concept Map zum Thema Bodenerosion der Lernaufgabe in Abb. 6.4. Einzelne Elemente stehen über Rückkopplungen miteinander in Beziehung. Es gilt diese Beziehungen zu finden und zu benennen.	199
Abb. 6.4: Aufgabenvorlage zum Thema Bodenerosion durch Wasser mit Hilfe einer Concept Map.	200
Abb. 6.5: Lernaufgabe zur glazial-isostatischen Hebung Skandinaviens. Durch die Aufgabenstellung kann sichergestellt werden, dass die wesentlichen Elemente und Sachverhalte der Animation beachtet werden. (aus dem Modul Meeresspiegelschwankungen II, http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/web/beispiele/rahmen.php?string=1;g_005;4).....	202

- Abb. 6.6: Aufgabe zur Interpretation der Entwicklung der Pegelstände im 20. Jahrhundert. Durch den analytischen Vergleich der Stationsbeschreibungen mit dem Diagramm erfolgt eine intensive kognitive Auseinandersetzung mit dem Sachverhalt. Bei der Bearbeitung wird deutlich, dass sich in Meeresspiegelschwankungen immer globale und lokale Effekte summieren sowie Ursachen für Niveauveränderungen durch eustatische und isostatische Ausgleichsbewegungen sowie Kompaktion oder Lokaltektone zustande kommen. 203
- Abb. 6.7: Der Kreislauf der Gesteine als logisches Bild, bei dem einzelne Elemente (Landschaft mit Bewölkung und Niederschlag, Textur der Gesteine) abbildhaft dargestellt sind..... 204
- Abb. 6.8: Das Diagramm zeigt die Beziehung zwischen Bodenverlust und Niederschlag. Die Aufgabe besteht darin, die Ursache für die Niederschlagswirkung zu finden.
(http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030;4)..... 205
- Abb. 6.9: Das Degradationsmodell der traditionellen Landwirtschaft in Entwicklungsländern soll durch Drag & Drop richtig zusammengesetzt werden. Über den Regler werden die Pfeile gesteuert, die das Beziehungsgeflecht symbolisch verdeutlichen
(http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_031;4)..... 205
- Abb. 6.10: Das interaktive Diagramm ist in eine Modellanwendung zur Bodenerosionsprognose auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung integriert. Mit Hilfe der Regler können die Einflussgrößen Hangneigung und Hanglänge dynamisch verändert werden. Zur Laufzeit wird der Einfluss dieser Variablen auf den LS-Faktor berechnet und die quantitative Abhängigkeit des Bodenabtrags (bei sonst gleichen Bedingungen) von den unterschiedlichen Parametern im Modell verdeutlicht.
(http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/web/beispiele/rahmen.php?string=1;g_038;4)..... 206
- Abb. 6.11: Aufgabe der Studierenden ist es, den Einfluss des Niederschlages in der Sahelzone in Beziehung zur Winderosion für Bereiche mit und ohne Vegetation zu setzen. Die Graphen sollen dazu in das Diagramm eingezeichnet werden. (http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030;4) ... 206
- Abb. 6.12: Aufgabe zur Zusammenstellung zweier Ablaufschemata von Niederschlagsereignissen in Bezug auf Bodenerosionsprozesse. Die Einzelprozesse sollen dabei von den Studierenden in eine dem Prozessablauf entsprechend logische Reihenfolge gebracht werden. 208

- Abb. 6.13: Lernaufgabe zum morphologischen Formenschatz eines Trogtales (WEBGEO|geo). Der Prozess ist in einzelne Schritte gegliedert (erste Abbildung oben links; die weiteren Abbildungen [untere Reihe] erscheinen nach und nach im selben Rahmen durch „klick“ auf die Schaltfläche „nächstes Bild“). Studierende können den Prozessablauf schrittweise nachvollziehen (http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_042;3)..... 209
- Abb. 6.14: Aufgabe zur Ermittlung der zusätzlich löslichen Kalkmenge bei der Mischung zweier kalkgesättigter Wässer mit Hilfe des Steigungsmaßes. (aus dem Modul Mischungskorrosion, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_002;1) 212
- Abb. 6.15: Aufgabe zur Ermittlung der Bodenarten unterschiedlicher Korngrößengemische mit Hilfe eines interaktiven Streckeisendiagramms. 213
- Abb. 6.16: Beispiel c) Analyseaufgabe zur Prognose von Umweltwirkungen durch Verkehrserschließung im Rahmen eines Internet-Mapping-Systems. Durch Pufferbildung sollen in der Aufgabe raumanalytische Informationen generiert werden, die in einem weiteren Schritt zur Entscheidungsfindung bei der Planung einer Umgehungsstraße herangezogen werden können (SCHWARZ V. RAUMER & SCHILL 2003, 297). 216
- Abb. 7.1: Organisationsstruktur des Verbundprojektes WEBGEO. Die Teilgebiete der Physischen Geographie werden durch die Didaktik verbunden und gruppieren sich um die zentralen Einrichtungen WEBGEO | fevil und WEBGEO | kamo..... 226
- Abb. 7.2: Ein Lernzugang im Strukturlernmodul Karst, der die selbstgesteuerte Auswahl von Inhalten über sensitive Schaltflächen in einem Blockbild ermöglicht. (http://www.webgeo.de/module/rahmen.php?string=24;f_024;3.1;) 230
- Abb. 7.3: Fragen- und problemorientierter Zugang im WEBGEO-Strukturlernmodul Karst. Neben den Fragestellungen und Themen soll das 3D-Blockbild einer Karstlandschaft, welches interaktiv gedreht und geneigt werden kann, Zusammenhänge von ober- und unterirdischen Prozessabläufen verdeutlichen und zur Motivation der Studierenden, sich mit dem Thema zu beschäftigen, beitragen. (http://www.webgeo.de/module/rahmen.php?string=24;f_024;4.1;) 231

Abb. 8.1b: MmL-Objekt zur Ermittlung der potentiellen Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe eines GIS-basierten Internet Mapping Systems (IMS).	238
Abb. 8.2: Anleitung zur Anwendung des Screening Modells im Rahmen eines Internet Mapping Systems (IMS).	239
Abb. 8.3: Internet Mapping System (IMS) zur Ermittlung potentiell erosionsgefährdeter Flächen in Abhängigkeit von Bodenart und Hangneigungsstufe. Die Ansicht zeigt die Klassifikation der Hangneigungsstufen nördlich des Velencer Sees in Ungarn. Der See wird als große homogene Fläche im unteren Teil der Kartenansicht dargestellt.	239
Abb. 8.4: mmL-Objekt zur Anfälligkeit des Bodens gegenüber Wassererosion	240
Abb. 8.5: MmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung in einem Teileinzugsgebiet des Velencer Sees in Ungarn.	243
Abb. 8.6: MmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung einzelner Standorte	248
Abb. 8.7: Schaltflächen der Menüleiste zur Berechnung der ABAG mit Markierung	249
Abb. 8.8: Schaltflächen der Menüleiste mit und ohne Markierung des Eingabezustandes.....	250
Abb. 8.9: Menü zur Niederschlagserosivität	251
Abb. 8.10: Menü zur Bearbeitungsrichtung. Ist die erosive Hanglänge mehr als doppelt so lang wie die kritische Hanglänge, wird (dynamisch generiert) auf eine Möglichkeit zur Reduktion des Bodenabtrags hingewiesen.	253
Abb. 8.11: Menü „Topographie“ zur Einstellung des Hangprofils (Hangneigung und –länge) über Schieberegler (links), die mit einer 2,5D-Geländeansicht gekoppelt sind.....	254
Abb. 8.12: Menü „Topographie“ zur Einstellung des Hangprofils (Hangneigung und –länge) über die Untermenüs „Detaillierte Hangform“ oder „Pauschalisierte Hangform“	255
Abb. 8.13: Blockbild mit Angabe des Bodenverlustes in Zentimetern bei gleich bleibender Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsweise (rot) des Standortes und bei Einhaltung des Tolerierbaren Bodenabtrags (grün) in 100 Jahren.....	256
Abb. 8.14: MmL-Objekt zur prozessorientierten Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten	264

Abb. 8.15: Aufgabe 5 zum mmL-Objekt „Prozessorientierte Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten“	266
Abb. 9.1: Frage zur Motivation der Studierenden, an der Lehrveranstaltung teilzunehmen (n = 11).....	274
Abb. 9.2: Frage der Zwischenevaluation, ob die Studierenden glauben, ein gutes E-Learning-Module erstellen zu können (n = 11).	274
Abb. 9.3: Frage der Abschlussevaluation, welche Schulnote die Studierenden dem in ihrer Gruppe entwickelten Modul geben würden (n = 14).	275
Abb. 9.4: Frage der Abschlussevaluation, ob die Studierenden das Modell der Entwicklung von E-Learning Modulen durch Studierende für ein gutes Konzept halten (n = 13).....	275
Abb. 9.5: Frage der Abschlussevaluation, ob fertige E-Learning-Module nach dem vorgestellten mediendidaktischen Konzept für das Grundstudium eine große Bereicherung darstellen (n=13).....	276
Abb. 9.6: Positives Feedback am Ende der Lehrveranstaltung (n = 9).....	276
Abb. 9.7: Kritisches Feedback am Ende der Lehrveranstaltung (n = 13).	277
Abb. 10.1: Aufgabe zur Animation des globalen Wasserkreislaufs. Dem Abfluss als einzige regenerative Süßwasser-Ressource kommt besondere Bedeutung zu. (aus dem Goethe-Geo Modul „Wasserkreislauf“, http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_503;1).....	282
Abb. 10.2: MmL-Objekt auf Grundlage eines Wasserspeichermodells des Bodens im Rahmen des Goethe-Geo Moduls „Hydrologische Speichergleichung“, http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_501;1).....	284

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Instruktionale Ereignisse (nach GAGNÉ in BRIGGS <i>et al.</i> 1992)	56
Tab. 3.1: Auswahl digitaler Modelltypen zur Bearbeitung großer Datenmengen (nach GREGORY & WALLING 1973 bei MORGAN 1999, 73; CHORLEY & HAGGET 1967)	108
Tab. 6.1: Hypothesen zur Bedeutung von Lernaufgaben im Rahmen von mmL-Angeboten	195
Tab. 8.1: Kategorisierung des mmL-Objektes zum Einsatz eines Screening Modells in Verbindung mit einem GIS-basierten Internet Mapping System	241
Tab. 8.2: Kategorisierung des mmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosions- modellierung im Rahmen einer Beispiellandschaft	246
Tab. 8.3: Kategorisierung des mmL-Objektes zur quantitativen Boden- erosionsmodellierung von Standorten in Mitteleuropa	262
Tab. 8.4: Kategorisierung des mmL-Objektes zur prozessorientierten Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten	268

Abkürzungen

AR	Augmented Reality
AVI	Audio Video Interleave
BLOW	Basis-Lernobjekt WEBGEO
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAD	Computer Aided Design
CBI	Computer Based Instruction
CBT	Computer Based Training
CGI	Common Gateway Interface
CUL	Computerunterstütztes Lehren und Lernen
D	Dimension
DivX	Digital Video Xtreme
E-2D/3D	Erosion-2D/3D
GIF	Graphics Interchange Format
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
GVis	Geographische Visualisierung
HTML	Hypertext Markup Language
HMD	Head-mounted Device/Display
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMS	Internet Mapping System
JPEG	Joint Pictures Expert Group
LOM	Learning Objects Metadata
mmL-Angebot	Multimediales Lehr-/Lernangebot
mmL-Materialien	Multimediale Lehr-/Lernmaterialien
mmL-Objekt	Multimediales Lehr-/Lernobjekt
MPEG	Motion Pictures Expert Group
OpenGL	Open Graphics Language
PHP	Personal (Homepage Tools) Hypertext Preprocessor
PNG	Portable Network Graphics
QTVR	Quicktime Virtual Reality
SLOW	Struktur-Lernobjekt WEBGEO
SQL	Structured Query Language

SVG	Scalable Vector Graphics
SWF	Shockwave Flash
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modelling Language
W3C	World Wide Web Consortium
WBT	Web Based Training
WEBGEO	Verbundprojekt „Webbing von Geoprozessen für die Grundausbildung Physische Geographie“
WMV	Windows Media Video
WYSIWYG	What You See Is What You Get
XML	Extensible Markup Language
ZIP	Zukunftsinvestitionsprogramm

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des durch das BMBF geförderten Projektes „WEBGEO – Webbing von Geoprozessen für die Grundausbildung Physische Geographie“, einem Verbundvorhaben zur Entwicklung multimedialer, webbasierter Lehr-/Lernmodule für die Grundausbildung in der Allgemeinen Physischen Geographie. Das Projekt zielte auf die Umsetzung universitärer Grundstudiumsinhalte in Form von selbstgesteuerten, modular einsetzbaren Lehr-/Lerneinheiten mit Hilfe interaktiver, webbasierter Technologien zur Ergänzung traditioneller Lehre. Eigenständige Lerneinheiten können jedoch auch - entkoppelt von der Lehre - zur selbstständigen Aus- und Weiterbildung genutzt werden. Die Dissertation ist thematisch gesehen dem Teilprojekt „Geomorphologie“ (WEBGEO|geo) des Institutes für Physische Geographie und dem Teilprojekt „Didaktik“ (WEBGEO|didakt) des Institutes für Didaktik der Geographie der Universität Frankfurt am Main zuzuordnen. Sie befasst sich mit der Konzeption und Entwicklung multimedialer Lehr-/Lernobjekte (mmL-Objekte) in der Physischen Geographie, im Wesentlichen in der Teildisziplin Geomorphologie.

Der Umgang mit digitalen Medien ist aus dem universitären Alltag mit der Nutzung des Internets und netzbasierter Kommunikation nicht mehr wegzudenken. Mit der Integration von E-Learning an den Universitäten entwickeln sich neue Formen des Lernens und Lehrens. Digitale Medien werden zunehmend Träger von Bildung und Kultur (KRAFT 2003, 7). Als „E-Learning“ wird in diesem Zusammenhang das internetgestützte, um moderne Kommunikationsmedien wie Chat, Foren und E-Mail erweiterte Lernen mit Computern bezeichnet. Förderprogramme von Seiten der Europäischen Union, des Bundes und der Länder sollen den Prozess der Integration neuer Lehr- und Lernformen unterstützen und fördern. Erwartet wird nicht nur eine deutlich verbesserte Qualität von Lehren und Lernen, sondern auch eine deutlich erhöhte Effizienz der Wissensvermittlung und eine bessere Vorbereitung auf die Erfordernisse des lebenslangen Lernens (BMBF 2004). Dabei setzen die Förderer auf Innovationspotentiale computerbasierter Medien mit einer Optimierung (z.B. durch Veranschaulichung) des Lernens und

Lehrens durch Motivationsmöglichkeiten (z.B. authentische Kontexte) und neue didaktische Methoden und Konzepte (z.B. situiertes Lernen), die schließlich zu besseren Lernergebnissen führen sollen. Verbunden sind diese Hoffnungen – nicht zuletzt vor dem Hintergrund der stetig steigenden Anzahl Studierender¹ – mit dem Wunsch nach einer langfristigen Reduzierung der Kosten gegenüber bisheriger Verfahren. Mit dem Auslaufen staatlicher Förderprogramme für Medienprojekte macht sich jedoch eine gewisse Ernüchterung breit und vielfach sind die Innovationspotentiale, die mit der Einführung der digitalen Medien verbunden wurden, nicht in erhoffter Weise eingetreten (KERRES 2003). So reifte die Erkenntnis, dass wirkliche Bildungsinnovationen oder –revolutionen nur schwer erreicht werden können und die Steigerung der Lernmotivation und des Lernerfolges nicht mit der Einführung der Technik allein greift. Erhoffte Einsparpotentiale können durch die Möglichkeit, Präsenzlehre durch E-Learning-Angebote zu ersetzen, soweit das heute abzusehen ist, nur teilweise umgesetzt werden. Erfolgversprechender scheint das Konzept des „Blended Learning“² („auch „Hybrides Lernen“³ genannt), das bei direkter Bezugnahme zwischen den Inhalten des jeweiligen E-Learning-Moduls und dem Inhalt der Präsenzlehre einen Synergieeffekt im Sinne einer Ergänzung bzw. Verzahnung von Wissen entfalten kann. Die Potentiale der Neuen Medien sind daher nicht grundsätzlich in Frage zu stellen (KERRES 1999, 2) und *„die Bedeutung des mediengestützten Lernens für die Wissensgesellschaft von morgen ist offensichtlich“* (KERRES 2001, 24). Häufig besteht eine Diskrepanz zwischen den Erwartungen an Lernzuwächsen mittels Neuer Medien einerseits und der faktischen Nutzung sowie den erzielten Nutzeffekten der Medien für das Lehren und Lernen andererseits. Bei der Nutzung digitaler Medien im Hochschulbereich überwiegt – subsumiert unter dem Begriff E-Learning – faktisch das „Ins-Netz-Stellen“ von Vorlesungsskripten, Folien-Präsentationen und Bildmaterial bei weitem. HENDRICKS, der den Stand der Neuen Medien und des IT-gestützten Lernens im Vergleich mit den USA beobachtet, beklagt die sinnlose Plattformentwicklung an jeder einzelnen deutschen Hochschule und meint zugleich: *„Viel wichtiger als die Konzentration so vieler [...] auf die Herstellung von Lernumgebungen oder Lernplattformen ist die Entwicklung und der umfassende Vertrieb*

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit ist in den Fällen, in denen nur die männliche Form verwendet wird, selbstverständlich die weibliche mit eingeschlossen.

² z.B. bei REINMANN-ROTHMEIER 2003, 4; BREMER 2004, 11

³ z.B. bei KERRES 2002

von wesentlich mehr guten Inhalten über das Netz [...] . Hier gibt es zu wenig überzeugende E-Learning-Angebote für das nahezu unendlich breite Lern- und Inhaltsspektrum“ (HENDRICKS 2001, 21). Vor diesem Hintergrund eröffnet sich für die Konzeption und Entwicklung webbasierter Lehr-/Lernmaterialien in der Geographie ein Fragenhorizont zu Potentialen internetbasierter digitaler Medien und ihrer Erschließung für das Lernen und Lehren.

1.1 Frage- und Problemstellungen

Lernen und Lehren mit Multimedien sind häufig mit der Erwartung verknüpft, die Lernmotivation und den Lernerfolg durch ihren Einsatz direkt steigern zu können. Diese den Medien zugeschriebenen immanenten Wirkfaktoren scheinen sich jedoch nicht unmittelbar – wie häufig angenommen – allein durch eine multimediale Präsentationsweise zu entfalten (KERRES 2003, 32; TULODZIECKI & HERZIG 2004, 76; WEIDENMANN 2002a, 59). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ergibt sich daraus die zentrale Frage, wie didaktisch-methodische Aspekte, Aktivierungs-, Strukturierungs-, Darstellungs- und Gestaltungsmöglichkeiten sowie Möglichkeiten des unmittelbaren individuellen Feedbacks so aufeinander bezogen werden können, dass Potentiale digitaler Medien für Lehr-/Lernprozesse zu geographischen / geomorphologischen Problemstellungen erschlossen werden können, die einen Mehrwert im Bildungsangebot der Hochschule gegenüber etablierten Lösungen darstellen. Auf welche Weise können durch den Einsatz webbasierter Medien Lehr-/Lernszenarien ermöglicht werden, die heutigen Forderungen nach einem stärker selbstgesteuerten, anwendungsnahen und kooperativen Lernen entgegenkommen? In diesem Zusammenhang ist eine theoretische Konzeption zu entwickeln, die Rahmenbedingungen spezifiziert, welche eine aktive Auseinandersetzung mit den Lehr-/Lernmaterialien sowie die Kommunikation und Kooperation unter den Studierenden und unter Studierenden und Lehrenden initiiert, unterstützt und sicherstellt. In Verbindung mit Lehr-/Lernangeboten, die komplexe räumliche Zusammenhänge der Geographie/Geomorphologie thematisieren, besteht die Aufgabe, die zur Zeit vorwiegend in der (Forschungs-) Praxis eingesetzten Verfahren der computerbasierten Modellierung, Simulation und Datenverarbeitung mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen (GIS), auch im Rahmen von internetbasierten Lehr-/Lernangeboten, nutzbar zu machen. Welche Funktionen können webbasierte Medien in derartigen Lehr-/Lernprozessen über-

nehmen? Welche Arten von Wissen und welche Fähigkeiten und Fertigkeiten sollen oder können sich durch das Arbeiten mit einem webbasierten Lernangebot angeeignet werden (z.B. Erklärungswissen, Handlungswissen, Anwendung des Wissens usw.)? In welcher Weise geschieht dies?

Interaktivität wird als der Vorteil der Neuen Medien eingeschätzt (SCHULMEISTER 2002b, 323). Die Veränderung von Lernobjekten durch Manipulationen (z.B. per Mauszeiger) oder Eingaben (z.B. über die Tastatur) kann andere Darstellungen erzeugen. Dadurch können Zusammenhänge visualisiert und explorativ untersucht werden. Wie kann dieses Zusammenspiel von Interaktivität und Visualisierung bei der Erschließung geowissenschaftlicher Konzepte nutzbar gemacht werden? Welche Potentiale liegen in diesem Bereich in technischen Weiterentwicklungen geographischer Arbeitsmethoden, in der graphischen Datenverarbeitung und Internet-Technologie? Zu beachten sind auch Einschränkungen, die durch die Technologie und durch die Distribution der Medien via Internet entstehen.

Für eine zielgerichtete Entwicklung webbasierter Lehr-/Lernangebote in der Geographie/Geomorphologie ist eine theoriegeleitete Konzeption notwendig, die die aufgeworfenen Fragestellungen aufgreift und systematisiert. Um die Konzepte in der Praxis nutzbar zu machen, können anschließend Empfehlungen für Autoren und Entwickler zur Professionalisierung des Herstellungsprozesses entwickelt werden.

Entscheidend für eine breite Anwendung und Weiterentwicklung theoretischer Konzepte, Empfehlungen und Entwicklungen ist die Frage – auch außerhalb der Fachdisziplin der Geomorphologie –, ob eine praktische Umsetzung anhand gewählter Beispiele überzeugend und nachvollziehbar gelingt und vor allem, ob eine Übertragung des Ansatzes auf Projekte auch mit geringeren finanziellen Mitteln und im Rahmen des regulären Lehrbetriebs möglich ist. Erst wenn diese zwei Bedingungen erfüllt sind, kann der zu entwickelnde Ansatz mit höherer Wahrscheinlichkeit eine Breitenwirkung entfalten, mit dem ein Qualitätsstandard für E-Learning-Materialien in der Hochschule implementiert werden kann. Dies wirft im Anschluss an theoretische Konzeptionen und exemplarische Umsetzungen die Frage auf, inwieweit didaktisch-methodische und technische Elemente zur Unterstützung der Erstellung von webbasierten Lehr-/Lernangeboten im Rahmen eines im regulären Lehrbetrieb verankerten hochschuldidaktischen Konzeptes umgesetzt werden können.

1.2 Aufbau der Dissertation

Die Arbeit besteht aus zwei Teilen (Abb. 1.1). Der eine Teil behandelt die theoretischen Grundlagen sowie eine praxisnahe Reflexion der Konzeption und Entwicklung webbasierter multimedialer Lehr/Lernangebote in schriftlicher Form. Der andere Teil umfasst die praktische Umsetzung webbasierter Lehr-/Lern-Materialien. Durch die zeitgleiche Bearbeitung und wechselseitigen Rückkopplungen sind beide Teile eng miteinander verknüpft.

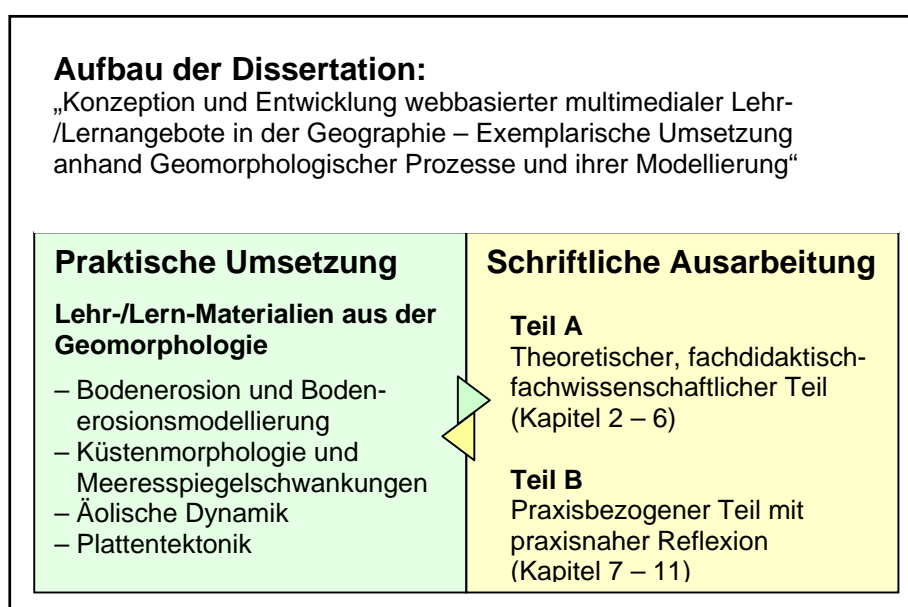


Abb. 1.1: Übersicht über den Aufbau der Dissertation.

Inwieweit beide Teile der Arbeit in einem ganzheitlichen Entwicklungsprozess verknüpft sind, zeigt das Zyklusdiagramm (Abb. 1.2), das die Entstehung der Arbeit in einem Prozessfluss darstellt.

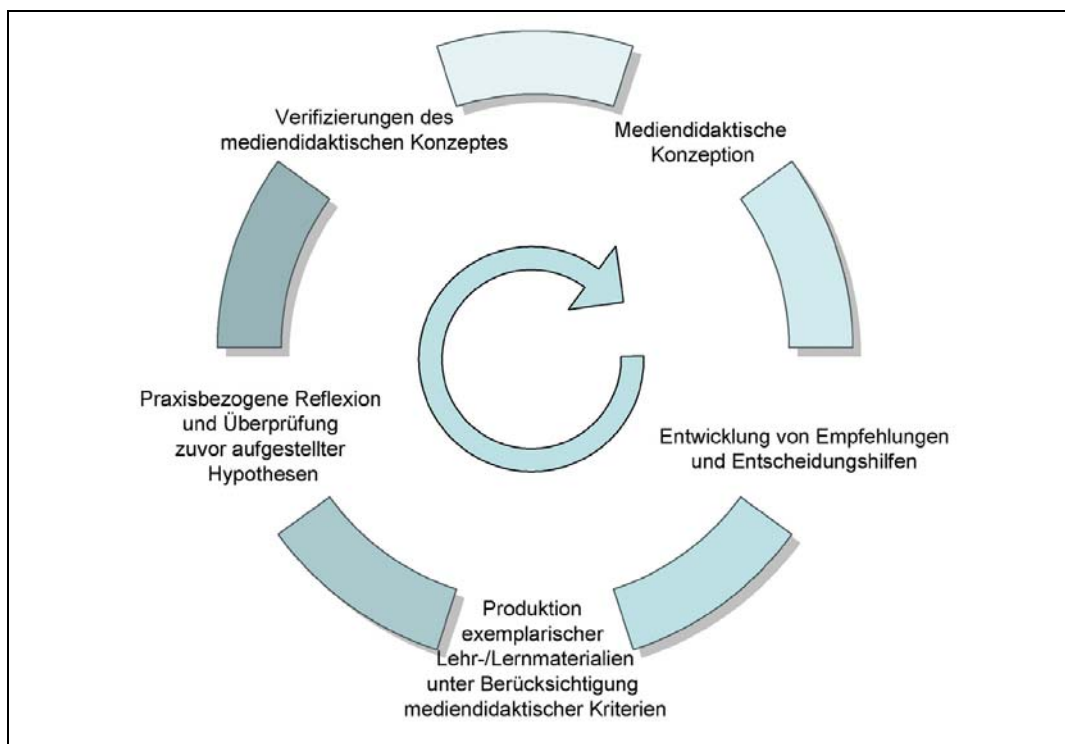


Abb. 1.2: Zyklusdiagramm zum Entwicklungsprozess der Dissertation.

Auf der Grundlage einer mediendidaktischen Konzeption und ihrer Begründung werden Entscheidungshilfen und Empfehlungen zur Konstruktion webbasierter Lehr-/Lernmaterialien entwickelt. Der theoretische Ansatz für ein strukturiertes Vorgehen bei der Entwicklung webbasierter Lehr-/Lernmaterialien wird anschließend auf seine praktische Anwendbarkeit hin überprüft. Grundlage einer praxisnahen Reflexion sind empirisch gewonnene Lernerdaten sowie Erfahrungen aus dem Einsatz der Materialien in Lehrveranstaltungen. Rückschlüsse dienen als Entscheidungsgrundlage für Verifizierungen des mediendidaktischen Konzeptes. Der Prozesskreislauf wird daraufhin erneut durchlaufen. Werden hierbei Schwächen festgestellt, können diese sukzessive überarbeitet werden.

Die entwickelten Lehr-/Lernmodule und Materialien bilden den praktischen Teil der Arbeit und sind über die angefügte CD-ROM zugänglich.

Die schriftliche Ausarbeitung gliedert sich in einen ersten theoretischen, fachwissenschaftlich/fachdidaktischen Teil (Kapitel 2 – 6) und einen praxisbezogenen zweiten Teil (Kapitel 7 – 11), der anhand exemplarisch entwickelter Lehr-/Lernmaterialien und deren praxisnaher Reflexion zuvor aufgestellte Hypothesen verifiziert und falsifiziert.

Der theoretische Teil der schriftlichen Ausarbeitung befasst sich mit Strategien der didaktischen Wissensstrukturierung, Interaktivität und Visualisierung im Lernkontext geomorphologischer Prozesse und ihrer Modellierung im Internet. Teilaspekte der Didaktik und Methodik, fachwissenschaftlicher Inhalt und Technik beeinflussen die Konzeption multimedialer, interaktiver Lehr-/Lernmaterialien wechselseitig (Abb. 1.3).

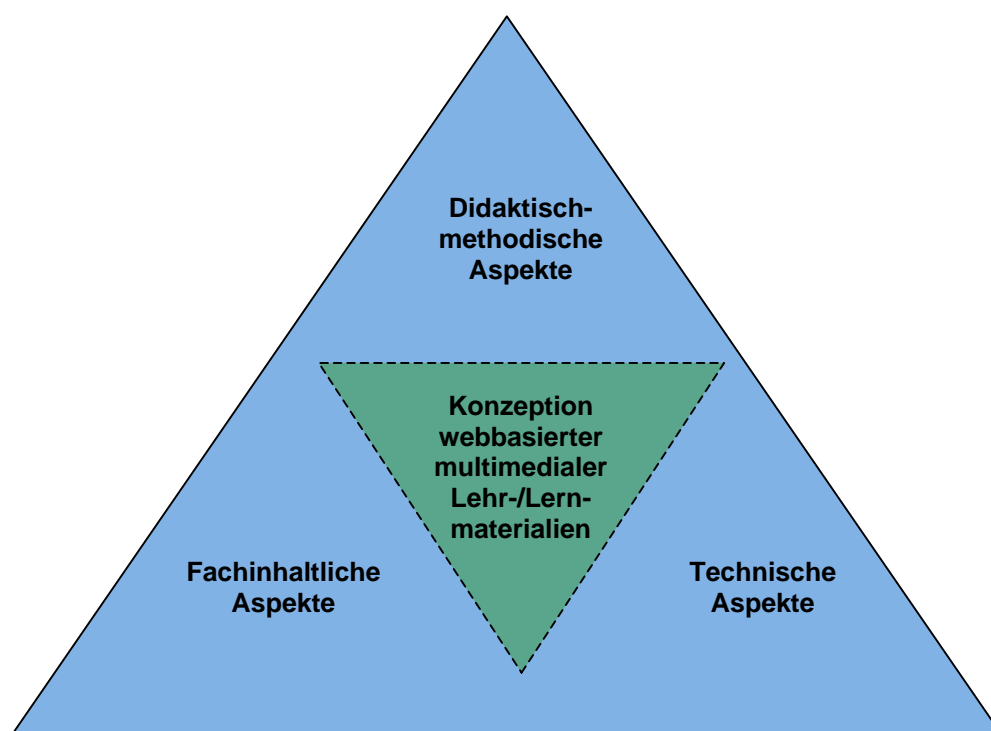


Abb. 1.3: Dimensionen der Konzeption webbasierter multimedialer Lehr-/Lernmaterialien, die eng miteinander verbunden sind.

In Verbindung mit den neuen Informations- und Kommunikationstechnologien werden Begriffe wie „Neue Medien“, „E-Learning“, „Multimedia“ oder „Interaktivität“ nicht einheitlich verwendet. Kapitel 2 dient der begrifflichen Klärung einiger Termini, die im Sprachfeld von „Multimedia“ häufig als Schlagworte benutzt werden. Darüber hinaus werden in Kapitel 2 die für die Arbeit wesentlichen mediendidaktischen Grundlagen zusammengefasst und hinsichtlich der Konsequenzen für die Konzeption und Entwicklung von multimedialen Lehr-/Lernmaterialien erörtert. Kapitel 3 beschäftigt sich mit der Aneignung physisch-geographischen / geomorphologischen Wissens und fachwissenschaftlicher Methodik. Die Aufbereitung des Prozesskomplexes Bodenerosion steht im Mittelpunkt. In Kapitel 4 werden vor dem Hintergrund technischer Rahmenbedingungen

neue Ansätze und Möglichkeiten der mediendidaktischen Aufbereitung von Lehr-/Lerninhalten vorgestellt. Potentiale durch neue Entwicklungen in den Bereichen computergestützter Modellierung und Visualisierung, webbasierter Geographischer Informationssysteme (GIS) sowie der graphischen Datenverarbeitung und Internet-Technologie werden zur Entwicklung webbasierter multimedialer Lehr-/Lernmaterialien aufgezeigt. Die Konzeption zur systematischen Entwicklung physisch-geographischer Lehr-/Lernobjekte wird in Kapitel 5 auf Grundlage der Analyse von Strukturierungs-, Interaktivitäts- und Visualisierungsmöglichkeiten dargestellt. Dabei wird ein qualitativer Kategorierahmen entwickelt, der die Charakterisierung und Einordnung von multimedialen Lehr-/Lernobjekten und ihre Wirkung auf kognitive Auseinandersetzungen von Lernenden ermöglicht. Kapitel 6 legt eine Lösung für das Fehlen von Entscheidungs- und Konstruktionshilfen vor und entwickelt Empfehlungen zur Konstruktion von webbasierten Lehr-/Lernobjekten in der Geographie/Geomorphologie. Zielsetzung ist die Unterstützung der Professionalisierung des Verfahrens zur Entwicklung von webbasierten Lehr-/Lernangeboten im Hinblick auf Aneignungsprozesse von Schlüsselqualifikationen der geographischen Ausbildung. Die Ausführungen gehen schwerpunktmäßig auf die Konstruktion von multimedialen Lehr-/Lern-Objekten (mmL-Objekte) in Verbindung mit der Konstruktion von Lernaufgaben ein.

Der zweite schriftliche Teil der Arbeit befasst sich mit der praktischen Entwicklung der Lehr-/Lernmaterialien. Beispiele aus der Geomorphologie dienen der Überprüfung der im theoretischen Teil entwickelten Konzepte. Die Aufbereitung des Prozesskomplexes Bodenerosion stellt einen fachinhaltlichen Schwerpunkt dar. Die entstandenen Lehr-/Lernmaterialien wurden in Lehrveranstaltungen mehrerer Geographischer Institute in der Präsenz- und Onlinelehre eingesetzt und evaluiert. In Kapitel 7 werden die organisatorischen und technischen Arbeitsbedingungen des Verbundprojektes WEBGEO beschrieben. In Kapitel 8 folgt die Beschreibung ausgewählter Lehr-/Lernmaterialien, die auf Grundlage des im ersten Teil der Arbeit entwickelten mediendidaktischen Konzepts und der Erkenntnisse aus den in den Lehrveranstaltungen gewonnenen Lernerdaten konzipiert wurden.

Ein häufig vorgebrachtes Argument gegen die Entwicklung von multimedialen Lehr-/Lernangeboten (mmL-Angeboten) ist der Arbeitsaufwand, der mit der Pro-

duktion verständnis- und anwendungsorientierter Wissensbausteine verbunden sei. In einer Lehrveranstaltung wurde die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte mediendidaktische Konzeption mit ihren technischen und didaktisch-methodischen Elementen auf Anwendbarkeit, Übertragbarkeit und Effizienz überprüft. Kapitel 9 zeigt das hochschuldidaktische Konzept zur Entwicklung von mmL-Angeboten im Rahmen von Lehrveranstaltungen durch Studierende auf. Faktoren einer erfolgreichen Durchführung werden aus Sicht der Studierenden und Lehrenden diskutiert. Auf Grundlage der praxisbezogenen Reflexion wird in Kapitel 10 die Anwendbarkeit der im theoretischen Teil ausgearbeiteten Konzepte und Empfehlungen auf die praktischen Beispiele sowie das Konzept zur Entwicklung von mmL-Angeboten in Lehrveranstaltungen besprochen. Die Auswertungen von Fragebögen und Aufzeichnungen des so genannten „user tracking“ (automatisierte „Benutzerüberwachung“ und Lernwegverfolgung sowie von Übungs- und Testergebnissen), die zugleich als Entscheidungsgrundlage für Überarbeitungen des mediendidaktischen Konzeptes während der Entwicklung des medialen Lernangebotes dienen, werden zur Überprüfung aufgestellter Hypothesen herangezogen. In Kapitel 11 werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Forschungsmöglichkeiten gegeben.

Teil A

Theoretischer, fachdidaktisch-fachwissenschaftlicher Teil

Entwicklung einer Konzeption zur Erstellung web-basierter Lehr-/Lernmaterialien für die Grundausbildung in Physischer Geographie unter besonderer Berücksichtigung von Strukturierungs-, Interaktivitäts- und Visualisierungsmöglichkeiten.

2 Grundlagen multimedialer Lehr-/Lernmaterialien

2.1 Klärungen von Begriffen und ihres Bedeutungshorizontes

Im Zusammenhang mit dem Lehren und Lernen mit Neuen Medien werden Begriffe wie Multimedia, Interaktivität, Animation und Simulation völlig unterschiedlich diskutiert und verwendet sowie als werbewirksame Schlagworte bei der Beschreibung webbasierter Lehr-/Lernangebote eingesetzt. Der Begriff Multimedia dient als Sammelbezeichnung für die vielfältigen Anwendungsfunktionen der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien mit der Integration neuartiger, vielfältiger Medien, der Verschmelzung traditioneller und moderner Medien, der Integration mehrerer Symbolsysteme und nicht zuletzt der Multifunktionalität anspruchsvoller Computertechnologie. Durch pseudowissenschaftliche, überwiegend technik- und marktorientierte, Ansätze werden naive Annahmen über das Lernen mit digitalen Medien verbreitet. So verbessere sich durch die Ansprache mehrerer Sinneskanäle die Merkfähigkeit durch Multimedia. Beim reinen Lesen merke man sich nur 10% der Information dauerhaft, beim Hören 20%, von Gesehenem verblieben schon 30% im Gedächtnis, von Gesehenem und Gehörtem sogar 50% (Karikierend bei WEIDENMANN 2002a, 48; ernst gemeint DER SPIEGEL 1994, 40). Die einfache Schlussfolgerung, dass der gleichzeitige Einsatz mehrerer Medien für Informations- und Lernprozesse in jedem Fall vorteilhaft sei, kann jedoch keinesfalls bestätigt werden. Forschungsergebnisse zur menschlichen Informationsverarbeitung zeigen, dass die Behaltensleistung von Anwendung zu Anwendung in Abhängigkeit von konkreten Aufgaben und individuellen Wahrnehmungsfaktoren stark variiert (KLIMSA 2002, 10) und die Wirksamkeit von Medien auch sozialen und kulturellen und damit gesellschaftlichen Aspekten unterliegt (KERRES 2003, 42). Multimedia als Werbeetikett gehört so zu

einem der am häufigsten missbrauchten Schlagworte. Unsicherheiten bestehen auch bei anderen Begriffen, die im Begriffsumfeld von Multimedia genutzt werden. Animation und Simulation werden häufig synonym verwandt. Es stellt sich z.B. die Frage, ob Visualisierungen, mit deren Hilfe Prozessabläufe dargestellt werden, als Animationen oder Simulationen bezeichnet werden sollten.

Darüber hinaus werden vielfach Anwendungen in Lernprogrammen mit dem Attribut „interaktiv“ versehen. Unter diesem werbewirksamen Etikett werden dabei völlig unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten und –formen zusammengefasst. Benutzerhandlungen, die als Interaktion bezeichnet werden, reichen von der Navigation innerhalb eines Hypermedia-Systems über die Bedienung von Menüs und Schaltflächen bis hin zu Interaktionsmöglichkeiten einer Simulation, bei der durch Nutzereingaben andere Darstellungen erzeugt und Relationen sichtbar werden. Der Begriff Interaktion bedarf daher einer differenzierenden Betrachtung.

Um Unsicherheiten bei der Verwendung von Begriffen im Zusammenhang mit neuen Informations- und Kommunikationstechnologien präventiv zu vermeiden, werden daher einige Begriffserläuterungen an den Anfang dieser Arbeit gestellt.

2.1.1 Multimedia

Eine Annäherung an eine Definition des Multimedia-Begriffes lässt sich durch eine Differenzierung in technische und didaktische sowie psychologische Aspekte erreichen.

Die rein technische Betrachtung des Begriffes „Multimedia“ hebt hervor, dass alle Informationen in digitaler Form vorliegen. In Verbindung mit dem Computer können dadurch Einzelmedien zu neuen „Mediensystemen“ zusammengefügt werden. Präsentation und Benutzung erfolgen dabei durch ein einziges technisches System.

Eine Multimedia-Definition aus didaktischer und psychologischer Perspektive wie z.B. „Multimedia ist die Integration von Text, Graphik, Pixelbildern, Video und Audio“ (<http://www.e-teaching.org> 2004, digitales Dokument ohne Seitenangabe) geht unsystematisch vor und umfasst zwei Arten inhaltlicher Codierungen (Text und Graphik), eine technisch definierte Codierung (Pixelbilder), ein Medium (Videotechnologie) und eine Sinnesmodalität (Audio). In diesem Ansatz wird die Vielfalt von Codes und Modalitäten hervorgehoben. Andere Ansätze betonen den Hardware-Aspekt und verstehen unter Multimedia die Kombination unterschiedli-

cher Technologien und Geräte. Ein wissenschaftlich differenzierter Ansatz ermöglicht eine genauere Zuordnung von medialen Angeboten. In neueren psychologischen und medienwissenschaftlichen Beiträgen wird in Kategorien wie mediales Angebot, Codierung und (Sinnes-) Modalität differenziert (WEIDENMANN 2002a, 45).

Ein Medium steht für einen Träger bzw. Transporteur für kommunikative Inhalte und übernimmt so eine Mittlerrolle. Bei medialen Angeboten besteht eine enge Verschränkung von Medium und Inhalt. Mediale Angebote zeichnen sich durch Botschaften, Codierungen und Strukturierungen aus, die medial kommuniziert werden und von Lernenden als bedeutungsvolle Informationen wahrgenommen und verarbeitet werden können.

Codierung ist die Benennung, Verkürzung oder Umwandlung häufig wiederkehrender Informationen. Informationen lassen sich demnach in verschiedenen Formaten oder Symbolen codieren und präsentieren. Symbolsysteme sind z.B. das verbale, das piktorale (abbildhafte) und das Zahlensystem.

Die Sinnesmodalität gibt Aufschluss über die Sinnesorgane (auditiv, visuell), mit denen Lernende ein mediales Angebot wahrnehmen oder mit diesem interagieren.

Für die Beschreibung multimedialer Lernangebote schlägt WEIDENMANN (2002a) zur genaueren Charakterisierung die Dimensionen „multimedial“, „multicodal“ und „multimodal“ vor:

- Multimedial seien jene Angebote, die auf unterschiedliche Speicher- und Präsentationstechnologien verteilt sind, jedoch gemeinsam präsentiert werden, z.B. auf einer einzigen Benutzerplattform (wie das Abspielen eines Hörbuches vom CD-ROM-Player und die gleichzeitige simultane Präsentation des Textes auf dem Bildschirm eines PC).
- Als multicodal können jene Lernangebote bezeichnet werden, die mehrere Symbolsysteme und Codierungen zur Darstellung von Inhalten aufweisen (z.B. Diagramme und erläuternde Texte).
- Multimodal seien Angebote, die mehrere unterschiedliche Sinnesmodalitäten bei Anwendern ansprechen (Hören und Sehen bei einem Video oder einem Lernprogramm mit Ton zum Beispiel).

Als „multimedial“ sollten streng genommen also nur die Lehr-/Lernmaterialien bezeichnet werden, welche multimediale, multicodale und multimodale Dimensionen beinhalten.

Im Rahmen dieser Arbeit wird Multimedia immer auf webbasierte Anwendungen (im Gegensatz zu CDs und DVDs) bezogen und gleichzeitig als ein Konzept verstanden, welches die Dimensionen Interaktivität, Multitasking (gleichzeitige Ausführung mehrerer Prozesse) und Parallelität (parallele Medienpräsentation) vereint. Durch die Integration der technischen und anwendungsbezogenen Dimension ist Multimedia ein Konzept, das zur Unterstützung von Lehr-/Lernprozessen eingesetzt werden kann.

Zusammenfassend soll folgende Definition von „Multimedia“ gelten:

Multimedia bezeichnet ein webbasiertes Lernangebot zur interaktiven Informationsverarbeitung durch mehrere Präsentationsformen, welche in der Lage sind, mehrere Sinne anzusprechen.

Welche Konsequenzen ergeben sich aus der Multimedia-Forschung für die Konzeption und Entwicklung von mmL-Materialien?

Forschungsergebnisse der Psychologie (u.a. Gedächtnispsychologie, Wahrnehmungspsychologie, kognitiv-experimentelle Psychologie⁴) liefern wertvolle Hinweise für die Entwicklung von mmL-Materialien. Die Untersuchungen zeigen beispielsweise, dass Bilder mit geringerer gedanklicher Anstrengung aufgenommen und verarbeitet werden können als Texte. Sie werden zudem leicht erinnert und haben einen starken emotionalen Einfluss. Insbesondere Text-Bildkombinationen können die Behaltensleistung erhöhen: PAIVIO (1986) führte die Unterscheidung zweier getrennter Speichersysteme für verbale Inhalte („Logogens“) und Vorstellungsbilder („imagens“) ein. Viele Inhalte sind in beiden Gedächtnisbereichen vorhanden und miteinander verknüpft. Dies erhöht die Behaltensleistung („Prinzip der Doppelcodierung“). Neuropsychologische Forschungen (LURIA 1992) konnten zeigen, dass sich die Wahrnehmung von bekannten Gegenständen unter Einbeziehung vorangegangener Erfahrungen verkürzt vollzieht. Folgende Schlussfolgerungen sind daraus ableitbar: Zur Verarbeitung neuer Informationen ist es hilfreich, Sinnbezüge herzustellen und Assoziationen hervorzu-

⁴ ENGELKAMP 1991, KRAPP & WEIDENMANN 2001, KULIK & KULIK 1991, MANDL *et al.* 2004, MAYER 2001, ROST 2001, TULODZIECKI & HERZIG 2004, VATH *et al.* 2001

rufen. Für die Präsentation neuen Wissens ist es daher von Bedeutung, stets das vorhandene Wissen zu aktivieren und als Hilfe heranzuziehen. Durch die Forschungsergebnisse erhalten Thesen zum Vorteil induktiven Vorgehens am Fall (situiertes Lernen) und von Praxisorientierung (z.B. praktische – bekannte oder nachvollziehbare – Beispiele als Ausgangspunkt) neuropsychologische Fundierung (MANDL *et al.* 2004, 9).

Forschungen der visuellen Kognition dienen als Grundlage für die lerneffektive Gestaltung von Multimedia-Produkten⁵. Erkenntnisse zum Sehen statischer Formen, Erkennen visueller Objekte, dynamische Aspekte des visuellen Systems, visuelles Gedächtnis oder visuelle Aufmerksamkeit haben HUMPHREYS und BRUCE (1989) aus experimenteller und neuropsychologischer Forschung zusammengestellt. Derartige Ergebnisse der Multimediaforschung aus psychologischer und neuropsychologischer Sicht bieten wichtige Hilfestellungen für die Gestaltung konkreter Teilkomponenten von mmL-Angeboten (vgl. Kapitel 2.3).

2.1.2 Interaktivität

Interaktivität als Kennzeichen von digitalen Medien wird als *der* Vorteil webbasierter Medien eingeschätzt („The first benefit is great interactivity“ KAY 1991, 106) und wird aufgrund der positiven Konnotation des Begriffs in den Branchen der Informations- und Kommunikationstechnologien inflationär verwendet. Dies führt zu besonders vielen unterschiedlichen Deutungen und Irreführungen bei der Nutzung des Begriffs. HAACK (2002, 128) leitet bei seinem Definitionsansatz „Interaktion“ aus dem Lateinischen ab (inter = zwischen und agere = handeln) und erweitert den Verwendungszusammenhang des „Miteinander-in-Verbindung-tretens“ zwischen Individuen auf den Bereich der Mensch-Computer Interaktion. Die allgemeine Definition des Begriffes „Interaktivität“ wird von mir wie folgt erweitert:

Interaktivität wird in Bezug auf webbasierte Medien als ein Ausdruck der Eingriffsmöglichkeiten in computergestützte Prozesse verstanden. Wesentliche Merkmale sind die aktive Rolle des Benutzers und die freie Informationsauswahl.

⁵ VATH *et al.* (2001) stellen in ihrer Übersicht „Multimedia-Produkte für das Internet“ kognitionspsychologische Gestaltungsprinzipien für die Optimierung von Multimedia-Produkten zusammen und betonen, dass dabei die für das Lernen relevanten Eigenschaften der Nutzer von Multimedia-Anwendungen besonders berücksichtigt werden.

Irreführend ist das Adjektiv „interaktiv“ für Multimedia-Anwendungen, die das Kommunizieren mit Lernpartnern oder einem Tutor mit Hilfe eines Multimedia-systems ermöglichen. Verschiedene Autoren (BODOMO *et al.* 2001, MARKWOOD & JOHNSTONE 1994, MOORE 1992) beziehen bei der Kategorisierung von Interaktivität auch diese kommunikativen Elemente mit ein. MOORE (1992, 3 stellvertretend für ähnliche Konzepte) unterscheidet in:

- Learner-content interactivity („Lerner – Inhalt Interaktivität“) also die aktive Beschäftigung der Lernenden mit Lernmaterialien.
- Learner-instructor interactivity („Lerner – Lehrer Interaktivität“) als Beschreibung einer Unterrichtssituation mit Interaktionen zwischen Lehrer und Lerner. Kommunikationselemente können dabei auch durch digitale Medien unterstützt werden.
- Learner-learner interactivity („Lerner – Lerner Interaktivität“) als Zusammenarbeit und Austausch zwischen den Lernenden, auch mit Hilfe elektronischer Medien (Chat, Foren, E-Mail).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden mediengestützte Interaktionen zwischen Personen dem Bereich Kommunikation zugeschrieben. Der Begriff „Interaktivität“ beschreibt daher immer die Interaktionen zwischen Lernenden und den webbasierten mmL-Materialien im Sinne der „learner-content interactivity nach MOORE (1992).

KERRES (2002, 3) grenzt sequentielle Medien wie Tonbänder oder Filme von den computerbasierten Medien (Diskette, Festplatte, CD – ROM, DVD, etc.) ab. Letztere bezeichnet KERRES (2002, 4) als interaktiv, da sie einen wahlfreien Zugriff auf Informationen erlauben. Anstelle einer starr festgelegten Wiedergabe können digitale Medien während der Laufzeit im Prinzip jede beliebige Sequenz aus den gespeicherten Daten erzeugen.

Ist damit jeder Hypertext schon interaktiv? In gewissem Sinne schon, jedoch rechtfertigt die Möglichkeit der Informationsauswahl allein keinesfalls eine derart hohe Aufmerksamkeit. Bei der Kategorisierung von Interaktivität nehmen die Intentionen der Benutzerhandlung eine wichtige Funktion ein. Diese können sehr unterschiedliche sein: Die Auswahl von Informationen, Umblättern, Navigieren, oder aber kreativ tätig sein. Je nach Ziel der Interaktivität können Handlungsformen völlig unterschiedlich ausfallen. Nicht jede Aktivität eines Benutzers von

Computerprogrammen kann dabei als lernfördernd betrachtet werden. Beschränkt sich die Interaktionsmöglichkeit beispielsweise allein auf die Navigation durch ein Informationsangebot, so kann sich – auch bei einem bloß oberflächlichen „Durchklicken“ eines Lernangebotes – bei Lernenden die Illusion einstellen, den Lernstoff bereits bearbeitet zu haben (KERRES 2002, 5). Zur Beurteilung des Mehrwertes durch Interaktivität sind Möglichkeiten zur Unterstützung von Lernprozessen entscheidend. Aufgrund der zentralen Rolle der Interaktivität zur Aktivierung von Lernprozessen wird der Begriff in einem eigenen Kapitel (2.4) ausführlich diskutiert. An dieser Stelle soll die allgemeine Definition ausreichen.

2.1.3 Animation

Animationen entstehen durch das Aneinanderreihen von Bildern mit unterschiedlichen Bildinhalten bzw. Bildpositionen. In Bilder- bzw. Grafik-Animationen werden mehrere Objekte übereinander gelegt. Die einzelnen Bilder aus dem Bilder-Stapel werden an einer definierten Position in einer bestimmten Reihenfolge eingeblendet. So können komplexe graphische Trickfilme als Animation bezeichnet werden, aber auch sonstige Bewegungen auf dem Bildschirm eines Computers wie der Mauszeiger und Werbebanner oder animierte Auswahlmenüs, die bei Interaktionen mit dem Mauszeiger ausklappen und aufleuchten. Animationen sollten daher Interaktionen nicht inhaltlich gegenübergestellt werden, da eine Animation eine Repräsentationsform bezeichnet, welche verschiedene Möglichkeiten zur Interaktion aufweisen kann. Im folgenden soll der Begriff „Animation“ Visualisierungen beschreiben, die durch eine Abfolge mehrerer Einzelbilder einen zeitlichen Ablauf beschreiben und den Eindruck von Bewegung erwecken. Sie können damit Abläufe und Entwicklungen wiedergeben.

Im Gegensatz zu Simulationen, die ebenfalls zur Darstellung von Bewegung auf dem Bildschirm dienen können, beschränken sich Animationen jedoch auf Phänomene, ohne dass ihnen ein funktionales Modell eines Ausschnittes der „realen“ Welt zugrunde liegt.

2.1.4 Simulation

Grundlage jeder Simulation ist immer ein Modell eines Wirklichkeitsausschnittes (z.B. HILLE *et al.* 1978, 11). Das Modell ist in Form entsprechender Algorithmen im Simulationsprogramm enthalten. Nach der Manipulation durch den Benutzer (Eingabe von Daten, Veränderung von Daten) liefern diese Algorithmen ein Ergebnis. Prozesse und Systeme sowie Reaktionen auf spezifische Eingriffe (z.B. Änderung von Erosionsprozessen auf einem Hang durch Entfernen der Vegetationsbedeckung) lassen sich mediengestützt veranschaulichen. Zudem kann eine Experimentiersituation entstehen, bei der Lernende interaktiv die Abhängigkeit der Simulationsergebnisse von den eingegebenen Parametern, Anfangs- oder Randbedingungen erkunden können (DICK 2000, 28). Parameter können gezielt verändert werden. Im Rahmen geographischer Lehr-/Lernprozesse kann die Behandlung räumlicher Prozesse mit Hilfe von Simulationen erfolgreich durchgeführt werden. Sie findet jedoch selten Anwendung (SCHRETTENBRUNNER & SCHLEICHER 2002, 27). Einsatzmöglichkeiten von Simulationen können nach LEUTNER (2001) wie folgt beschrieben werden: „Sie können sowohl den Erwerb neuen als auch der Festigung, der Anwendung und der Übertragung vorhandenen Wissens dienen, so dass sie nahezu alle Lehrfunktionen erfüllen können.“ (LEUTNER 2001, 557). Je nach Interaktivitätsmöglichkeiten differenziert LEUTNER in „Prozess-Simulation“, „simuliertes Experiment“, „simuliertes Planspiel“ und „Microwelt“ (LEUTNER 2001, 557).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll folgende allgemeine Definition gelten: Simulationen stellen dem Lernenden ein Modell eines bestimmten Realitätsbereiches zur Verfügung, anhand dessen er Veränderungen von Prozessen und Systemen im Rahmen des Modells durch interaktive Eingriffsmöglichkeiten beobachten kann.

2.1.5 Wissen und Wissensstrukturierung

Auf der Webseite des Studienkreises der Cornelsen Verlagsgruppe heißt es: „Geballtes Wissen auf CD-ROM“ (<http://www.studienkreis.de>). Kann Wissen überhaupt in CD-Form gepresst werden?

Wissen kann im engeren Sinne als die Gesamtheit der gedächtnismäßigen Repräsentationen eines Individuums definiert werden. Nach dieser aus kognitions-wissenschaftlicher Sicht abgeleiteten Definition (vgl. HOLZINGER 2001, S. 54 zu Definitionen von Wissen unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen) müsste man die oben aufgestellte Frage also verneinen. Jedoch wird nicht nur in der Alltags-sprache, sondern auch in vielen wissenschaftlichen Publikationen (KERRES 2001, POLLAK & KAMMERL 2000, REGLIN & HÖLBING 2004, SCHULMEISTER 2002) ein weiter gefasster Wissensbegriff verwendet, bei dem auch symbolische Repräsentationen von Wissen mittels externer Medien als Wissen bezeichnet werden. Nach der engeren Definition handelt es sich bei solchen Repräsentationen von Wissen durch Medien um Informationen. Deren Wahrnehmung und interne Verarbeitung kann allerdings in Lehr-/Lernkontexten bei Lernenden zur Folge haben, dass vorhandenes Wissen aktiviert bzw. konstruiert oder verändert oder auf der Basis des vorhandenen Wissens „neu“ konstruiert wird. Im Folgenden wird der erweiterte Wissensbegriff angewandt. Dabei wird zwischen dem im Gedächtnis gespeicherten Wissen und dem in einem externen Medium niedergelegten „objektivierten“ Wissen unterschieden. Ist im Rahmen dieser Arbeit von Wissensstrukturierung und –konstruktion die Rede, so beziehen sich diese Begriffe auf Wissen im weiteren Sinne. Es geht um die Frage, welche Arten und Merkmale von Wissen im Zusammenhang mit der Konzeption und Gestaltung von Lehr-/Lernangeboten relevant sind. Bei der Beschreibung von Lernzielen wird in der Regel das von Lernenden zu erwerbende Wissen spezifiziert. Ein zentrales Problem bei der Modularisierung eines Lehr-/Lernangebotes besteht darin zu entscheiden, welche Wissenseinheiten bzw. –elemente auf welche Weise den Lernenden dargeboten werden sollen. Wissenschaftliche Grundlage für die in der Dissertation erarbeiteten Entscheidungskriterien liefern die Mediendidaktik und die erziehungswissenschaftliche Teildisziplin des „Instructional Design“ bzw. des „Didaktischen Design“.

2.2 Mediendidaktik und Didaktisches Design

2.2.1 Einordnung des Arbeitsthemas

Didaktische Inhalte dieser Arbeit berühren Forschungsfelder der Mediendidaktik und damit der Medienpädagogik, des Didaktischen Designs sowie der Fachdidaktik. Darüber hinaus wird auf Erkenntnisse der Pädagogischen Psychologie mit der empirischen Lehr-/Lernforschung über das Lernen und Lehren mit Medien zurückgegriffen. Für die Ziel- und Inhaltsbestimmung des Lehr-/Lernangebotes sind fachdidaktische Fragestellungen entscheidend sowie Bezüge zur Allgemeinen Didaktik und zur Allgemeinen Pädagogik. Mediendidaktische Fragestellungen der vorliegenden Arbeit fokussieren primär auf den Prozess der Planung und Gestaltung von Lehr-/Lernangeboten und sind damit nach KERRES (2001) der gestaltungsorientierten Mediendidaktik zuzuordnen. Diese untersucht die Abläufe bei der Konzeption und Entwicklung didaktischer Medien. Daraus sollen Hinweise auf eine Optimierung der Planungs- und Produktionsprozesse von Lehr-/Lernmedien erwachsen. Die Fragestellungen müssen jedoch vor einem größeren Forschungskontext beleuchtet werden, um der Forderung nach einem wirkungsvollen, effizienten und nachhaltigen Einsatz digitaler Medien zu genügen.

Pädagogisch orientierte Beschäftigungen mit Medien in Theorie und Praxis werden üblicherweise der *Medienpädagogik* zugeschrieben (DOELKER 1998, ISSING 1987, KNOLL & HÜTHER 1976, PAUS-HAASE *et al.* 2002). Dazu gehören als zentrale Bestandteile von Medienpädagogik die Medienerziehung und Mediendidaktik. Die *Medienerziehung*, die auf den reflektierten Medienkonsum und kritischen Umgang mit Medienangeboten abzielt, interessiert sich vorwiegend für den Umgang mit Medien bei Kindern und Jugendlichen und bezieht sich zur Entwicklung von medienerzieherischen Ansätzen insbesondere auf Ergebnisse der Medienwirkungsforschung und Forschung zur Mediensozialisation (CHARLTON & NEUMANN-BRAUN 1992, FRITZ *et al.* 2003, FROMME *et al.* 1999). Traditionell beschäftigt sich die Medienerziehung stärker mit Gefahren des Medienkonsums und der Mediennutzung, etwa dem Fernsehkonsum und neuerdings auch der Nutzung des Internets (vgl. MOSER 2000, SPANHEL 2002). Aufgrund der Fokussierung der Medienerziehung auf die Auswirkungen und die Bedeutung von Medien für Schülerinnen und Schüler, Bildung und Kultur, ist die Sicht vielfach kritischer als die mediendidaktische Perspektive. Der Medienkonsum übt einen deutlichen Einfluss auf menschliche Wahrnehmung und Verhaltensweisen (und z.B. auch das

Konsumverhalten) aus. Dies dokumentieren Ergebnisse der Medienwirkungsforschung (BONFADELLI 2000, BROSIUS *et al.* 2002, GROEBEL & SCHULZ 1987, JÄCKEL 2002, KROEBER-RIEHL & ESCH 2000, SCHENK 2002). Die Wirkungsmechanismen sind dabei sehr komplex, so dass mediale Angebote nicht unmittelbar auf den Einzelnen wirken, sondern eine Vielzahl von Verarbeitungsschritten die Wirkung des Wahrgenommenen beeinflusst. Individuelle Erfahrungen, soziale Normen und Werte spielen eine wichtige Rolle. Das enorm steigende Angebot an Medien richtet das Forschungsinteresse der Kommunikationswissenschaften jedoch heute weg von der Frage nach der Wirkung von Medien auf die Rezipienten hin zu der Frage, wie sich Menschen bestimmten Medien zuwenden, so dass Medienerfahrungen durch Selektion bestimmter Medieninhalte selbst bestimmt werden (KERRES 2003, 34).

Die Mediendidaktik, die sich mit der Funktion und Bedeutung von Medien in Lehr- und Lernprozessen beschäftigt, zielt auf neue Qualitäten der Lernens und Lehrens. Die Frage nach deren Effektivität und Effizienz durch den Einsatz von Technik und auch die Kosten-Nutzen-Relation ist dabei von Interesse. Im pädagogischen Diskurs und auch in der Geographie (vorwiegend in der Humangeographie) werden Begriffe wie Optimierung, Kostenvorteile oder Effizienzsteigerung kritisch hinterfragt, da Bildung – so auch das aus meiner Sicht richtige Argument – nicht erzeugt, sondern allenfalls „ermöglicht“ werden kann. Die Motivation zu lernen und das (Mit-) Tun des Lernenden ist Voraussetzung und bestimmt die Richtung und Intensität des Lernprozesses. Damit ist Bildung letztlich Selbstbildung.

Die Spannweite der kontroversen Begriffe und Zielhorizonte der Medienerziehung und Mediendidaktik sollte bei medienpädagogischen Diskursen in der Zukunft stärker aufgegriffen und gemeinsam fortentwickelt werden. Auch wenn sich die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit auf Planung und Gestaltung von Lehr-/Lernangeboten konzentrieren, so ist es doch wichtig zu bedenken, dass diese Aktivitäten in einen übergeordneten reflexiven Diskurs einzubinden sind, denn eine Sichtweise, die lediglich die Effizienz und Optimierung des Lernens betrachtet, kann mögliche (Neben-) Wirkungen des Medieneinsatzes auf Individuen, Bildung und Kultur übersehen. Andererseits ist eine Perspektive verengt, die den möglichen Beitrag didaktischer Medien für neue Qualitäten des Lernens

und zur Steigerung von Effektivität und Effizienz des Lernens und Lehrens ignoriert.

Es lässt sich jedoch auch nicht erwarten, dass sich diese mediendidaktischen Innovationen allein durch die Medienkonzeption und –produktion einstellen und damit die erhofften Effekte „von alleine“, also durch die Medien selbst, eintreten. Die Medienforschung hat gezeigt, dass den Medien zugeschriebene immanente Wirkfaktoren und postulierte Effekte von einem zu einfachen Ursache-Wirkungsmodell ausgehen. Genannte Effekte sind z.B.:

- Medien tragen zu einer höheren Motivation bei.
- Medien führen durch Möglichkeiten des individuellen Lerntempos und selbstbestimmter Auswahl der Lerninhalte zum Wechsel von fremdgesteuertem Lehren hin zu selbst organisiertem Lernen.
- Medien führen zu einer grundlegenden Erneuerung des Bildungswesens, sie stellen Bildungsinstitutionen in Frage und führen zu weitreichenden Veränderungen des Bildungswesens.

Zahlreiche Ergebnisse empirischer Forschung zu Medienwirkungen (vgl. sehr ausführlich zu den Ergebnissen JONASSEN 1996) lassen folgende Aussagen als belegbar erscheinen:

- Durch den Einsatz computerbasierter Medien lässt sich eine Steigerung der Lernmotivation erreichen. Diese beruht jedoch häufig auf dem so genannten Neuigkeitseffekt, dessen Wirkung sehr schnell wieder verloren geht und damit nicht den Aufwand für Produktion und Einsatz hochwertiger digitaler Medien rechtfertigt.
- Das Lernen mit Medien beschränkt sich nicht auf einfache kognitive Lehrinhalte und die Vermittlung von Faktenwissen, sondern kann ebenso für den Aufbau kognitiver Fertigkeiten und in kommunikativen und kooperativen Lernszenarien auch zum Aufbau sozialer Verhaltenskompetenzen eingesetzt werden.
- Von der systematischen und grundsätzlichen Überlegenheit eines bestimmten Mediensystems kann nicht ausgegangen werden. Der durchschnittliche Lernerfolg ist relativ unabhängig von dem gewählten Mediensystem und der eingesetzten Technologie. Das Lernen mit Medien

schneidet nicht besser, aber auch nicht schlechter als konventioneller Unterricht ab.

Erzielte Lernerfolge mit mediengestützten Lernangeboten hängen von Variablen wie Selbstlernfertigkeiten oder Fertigkeiten zur Aufschlüsselung hypertextueller Bezüge ab. Zentrale Bedeutung kommt der Akzeptanz der mediengestützten Lernangebote zu, die wesentlich davon bestimmt wird, ob Lernende und/oder Lehrende sich zu einem bestimmten Medium hinwenden, einen Mehrwert durch das mediale Angebot wahrnehmen bzw. sich einen Nutzen durch das neue Medium versprechen. Erwartungen an eine Technik und der Umgang mit ihr prägen nach KERRES (2003, 43) ganz wesentlich, was dann als Effekte wiederum den Medien zugeschrieben wird. Trifft das Lernangebot auf hohe Akzeptanz, so kann das Lernen mit diesem Angebot tatsächlich positive Effekte auf den Lernerfolg haben – nämlich genau dann, wenn die Lernenden dies erwarten. Diese Erkenntnis macht deutlich, dass eine unmittelbare Vergleichbarkeit unterschiedlicher Vermittlungsformen nicht gegeben ist und direkte Vergleichsstudien zwischen „neuen“ und „alten“ Medien auf der Basis der Variable Lernerfolg der Fragestellung nicht gerecht werden. Jedes Medium hat bestimmte Implikationen, die aus verschiedenen Arten von Lernangeboten resultieren. Es ist nicht die Medientechnologie, die Einfluss auf das Lernen ausübt, sondern die mediale und didaktische Aufbereitung von Inhalten (ACHTENHAGEN 2003, 89; WEIDENMANN 2002a, 59). Die Entfaltung von Medienwirkungen ist danach eine *Gestaltungsaufgabe* und kein Effekt der Medientechnik. Von einer unmittelbaren Wirkung digitaler Medien auf den Lernerfolg kann nicht ausgegangen werden. Medien sollten nach KERRES (2001) vielmehr als ein „Rohstoff“ gesehen werden, der Potentiale für bestimmte Innovationen in der Bildung eröffnet. Eine wesentliche Aufgabe besteht dann darin, diese Potentiale tatsächlich einzulösen.

Dass nicht allein die Medien-Produktion Potentiale digitaler Medien im Hochschulbereich einlösen können, zeigen die Schwierigkeiten bei der effektiven Integration von E-Learning-Angeboten nach der auf „Content“-Produktion ausgerichteten Förderphase des BMBF (Förderprogramm „Neue Medien in der Bildung“ NMB) der Jahre 2000 bis 2004. Die Ausrichtung der anschließenden Förderphase (ab 2005) auf die Strukturentwicklung zur Etablierung von E-Learning

in der Hochschullehre macht deutlich, dass der Erfolg entsprechender Vorhaben von einer ganzen Reihe von Aktivitäten abhängt und eine weitaus vielschichtigere Aufgabe darstellt. Neben der Konzeption, Entwicklung und dem Einsatz von Medien für das Lernen und Lehren spielt der Ausbau der Infrastruktur und die Entwicklung der personellen und strukturellen Voraussetzungen mit der Implementierung von Organisationsmodellen, die die Nutzung, Effizienz und Qualität von E-Learning an den Hochschulen nachhaltig steigern, eine entscheidende Rolle. (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG 2004, KERRES 2001).

2.2.2 Präskriptiver Forschungsansatz

Angesichts der Vielzahl und der Komplexität der bei der Konzeption von Lernangeboten zu berücksichtigenden Dimensionen stellt die gestaltungsorientierte Mediendidaktik Raster vor, die den Planungsprozess der Entwicklung von multimedialen Lernangeboten strukturieren. Diese basieren auf einem präskriptiven Ansatz der Lehr-/Lernforschung (vgl. KLAUER 1985) und gründen im Wesentlichen auf Forschungsergebnissen der pädagogischen Psychologie. Ein präskriptiver Ansatz beschreibt, wie bestimmte Ergebnisse (z.B. Lernerfolg) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Voraussetzungen erreicht werden können. Gestaltungsorientiert werden Prinzipien formuliert und Vorgehensweisen beschrieben, wie Lernprozesse ermöglicht bzw. gefördert werden können. Empfehlungen zur Konzeption, Produktion und zum Einsatz multimedialer Lehr-/Lernangebote⁶ werden beschrieben.

Kritik an dem Interesse an praktischer Aufbereitung von Empfehlungen für die mediendidaktische Konzeption und dem Einsatz multimedialer Lernangeboten ist unbegründet. Praktische Empfehlungen sollten keinesfalls lediglich zweckrationalen Intentionen zugeschrieben werden. Vielmehr soll mediendidaktisches Wissen bei der Planung und Gestaltung von Lernangeboten als Grundlage professionellen Handelns verfügbar gemacht werden.

Lehrende handeln häufig intuitiv nach solchen Regelsystemen, die sie als kognitive Schemata über Unterrichtsplanung und –durchführung aufgebaut haben. Sie

⁶ Bei den Medien geht es nicht um die technische oder ästhetische Qualität, sondern um ihren Beitrag zur Lösung von Bildungsproblemen bzw. der Gestaltung eines Bildungsanliegens. Entscheidend ist nicht die Verfügbarkeit einer bestimmten (neuen) Medientechnik, sondern ein Bildungsbedarf. Die Medienproduktion ist dann nicht „*technology driven*“, sondern „*problem driven*“.

können dann flexibel auf unterschiedliche Lehrsituationen angewendet werden. Dieses Wissen von Lehrenden ist meist implizit und orientiert sich oft nur vage an theoretischen Konzepten der Didaktik.

Auf Unvorhergesehenes in dieser flexiblen Form einzugehen ist – auch beim interaktiven Lernen mit Medien – grundsätzlich nicht möglich. Die Interaktion des Lerners beschränkt sich mit dem technischen Medium auf den vom Autor definierten Interaktionsraum. Das schließt jedoch nicht aus, dass sich durch die Beschäftigung mit dem technischen Medium nicht völlig neue Erkenntnisse und Einsichten gewinnen ließen. Im Gegensatz zur Unterrichtsplanung ist eine explizite und vollständige Planung bei der Medienkonzeption erforderlich. Die im Unterricht spontan realisierbare flexible Anpassung an aktuelle Bedingungen muss bei der Medienkonzeption im Rahmen des Lernarrangements, z.B. durch personale Betreuung, berücksichtigt werden. Möglichkeiten der Interaktion zwischen Lerner und Medium müssen von vornherein mehr oder weniger stark festgelegt werden (DIFF 2000, 68; NIEGEMANN & WEDEKIND 1999, 58). Dazu ist zu antizipieren, wie der Lerner auf das Angebot reagieren wird. Zu jeder Information, Frage, Darstellung oder Übung muss sich der Autor bzw. Entwickler fragen, ob der Lerner in der intendierten Art und Weise mit den Materialien umgeht. Versteht er die Abbildung? Was kann angeboten werden, wenn dies nicht der Fall ist? Wie kann sichergestellt werden, dass Informationen nicht nur oberflächlich rezipiert werden, sondern eine intensive kognitive Auseinandersetzung mit dem Lernstoff stattfindet? Wie kann die Motivation oder die Kooperation gefördert werden? Dies zwingt zu einer erheblich aufwendigeren Planung als bei personalem Unterricht.

Die gestaltungsorientierte Mediendidaktik folgt dabei Erkenntnissen des *Instructional Design*, die in Deutschland lange Zeit wenig beachtet wurden (DIFF 2000, 68; NIEGEMANN 2003, SEEL 1999). Aus Sicht konstruktivistischer oder situierter Ansätze ist der Begriff Instruktionsdesign insofern problematisch, da vermeintlich die Bedeutung von *Lehrprozessen* gegenüber *Lernprozessen* betont wird. In erster Linie sollten aber Lernprozesse gefördert werden. Lehre wird nicht als notwendige noch hinreichende Bedingung für die Initiierung von Lernprozessen angesehen. Der (alternative) Begriff *didaktisches Design*⁷ betont dagegen die

⁷ In der Praxis werden die Begriffe Instruktionsdesign oder didaktisches Design fälschlicherweise mit dem Design von Benutzeroberflächen von Lernsoftware also der ästhetischen Gestaltung

Gestaltung aller Strukturen und Prozesse, die im Kontext des Lernens relevant werden und schließt damit insbesondere Lernumgebungen ein, die Lernangebote auch nicht instruktioneller Art beinhalten. Modelle der Planung von Bildungsangeboten, vom Schulunterricht bis zum multimedialen Lehr-/Lernangebot, werden im englischsprachigen Raum als „Instructional Development Models“ oder „Instructional Design Theories“ bezeichnet (REIGELUTH 1999).

In den englischsprachigen Ländern, aber auch in den Niederlanden, Belgien und Finnland, hat sich das „instructional design“ als eigener wissenschaftlicher Arbeitsbereich erfolgreich etabliert. Bis zum „PISA-Schock“ galten die psychologisch fundierten technologischen Ansätze seitens der dominierenden Pädagogik im deutschsprachigen Raum weithin als unerwünscht, so dass entsprechende Theorieansätze im wissenschaftlichen Diskurs hierzulande erst in jüngster Zeit an Bedeutung gewinnen (NIEGEMANN 2003, 146). ACHTENHAGEN (2003, 86) formuliert in diesem Zusammenhang noch schärfer: *„Mindestens die Hälfte des auf der Welt vorhandenen didaktischen Wissens wird in Deutschland ignoriert. Hier liegt sicher mit ein Grund für die PISA-Misere“*.

Die Forschungsrichtung des Instruktions-Design bzw. (im deutschsprachigen Raum treffender) Didaktischen-Design sucht nach Modellverfahren, die beschreiben, wie didaktische Medien als Teil einer Lernumgebung konzipiert und entwickelt, wie sie eingeführt und evaluiert werden können und verfolgt damit, wie die gestaltungsorientierte Mediendidaktik, einen präskriptiven Ansatz der Lehr-/Lernforschung. Auf unterschiedlichen Ebenen werden Merkmale einzelner lernförderlicher Elemente identifiziert und z.B. bei der Text und Bildgestaltung, der Segmentierung von Lehrinhalten, der Sequenzierung von Lernobjekten eines Lehr-/Lernmoduls und auch bei der Frage der Aufbau- und Ablauforganisation von Fernstudiensystemen berücksichtigt. So greift das Modell des didaktischen Designs auf allen Planungsebenen – vom Bildungssystem über Studiengänge bis hin zum einzelnen Lehr-/Lernobjekt (nach FLECHSIG & HALLER 1975; übertragen für den Hochschulbereich). Die unterschiedlichen Ebenen fordern unterschiedliche Methoden der Problemlösung, Organisation, Planung, Umsetzung und Qualitätssicherung.

grafischer oder anderer multimedialer Elemente verbunden. Dies ist jedoch nur ein untergeordneter Aspekt des didaktischen Designs.

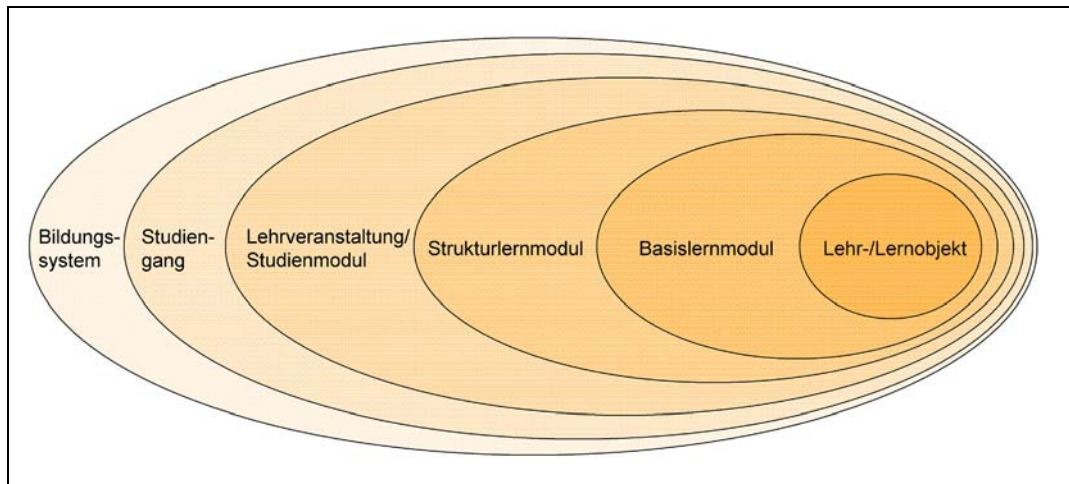


Abb. 2.1: Planungsebenen bei der Erstellung von mediengestützten Lehr-/Lernangeboten im Hochschulbereich

Die vorliegende Arbeit fokussiert auf die Planungsebene multimedialer Lehr-/Lernobjekte (mmL-Objekte). Sie lassen sich als „Wissensbausteine“ charakterisieren, die je nach Bedarf mit anderen mmL-Objekten kombiniert und in verschiedenen Lehr-/Lernkontexten mehrfach verwendet werden können. Sie bestehen aus mehreren Komponenten, die im Planungs- und Entwicklungsprozess sorgfältig aufeinander bezogen werden müssen. Hauptbestandteile von mmL-Objekten sind:

- Visualisierungskomponenten ,
- Interaktivitätskomponenten,
- Aufgaben-(Struktur-)Komponenten

MmL-Objekte beinhalten eine instruktionale Mikro-Strategie, die durch die Kombination und strukturelle Einbettung der Komponenten bestimmt wird. Fragestellungen zur Konstruktion von Aufgabenstellungen mit Feedback, Interaktivität und Gestaltung werden vor dem Hintergrund der Prozesskette von Konzeption, Entwicklung und Einsatz von exemplarisch umgesetzten mmL-Objekten untersucht. Dabei wird auf gewonnene Lernerdaten („user tracking“), und Erfahrungen aus Lehr- und Beratungstätigkeiten zurückgegriffen.

Die Einbettung der mmL-Objekte in einen Lehr-/Lernkontext kann in einer Präsenzveranstaltung stattfinden oder durch die Integration in ein so genanntes Basis-

Lernmodul⁸ erfolgen. Im Sinne einer Makro-Strategie wird auf dieser Ebene die zeitliche Organisation beziehungsweise die Struktur einer Lehr-/Lernsequenz gestaltet. Basislernmodule zeichnen sich durch eine (überwiegend lineare) Lernsequenz aus, in der lehrzielorientiert⁹ zu einem Teilthema der Physischen Geographie einzelne Wissensbausteine (in den mmL-Objekten) erarbeitet werden. Die übergeordnete Komplexitätsebene bilden die Strukturlernmodule. Ihr Ansatz sieht vor, dass in ihnen die Basislernmodule in unterschiedlicher Weise zu komplexen systemisch angelegten Lernstrukturen vernetzt werden können, die auch ein nicht-sequenzielles Aufrufen und Bearbeiten der Inhalte ermöglichen (vgl. TILLMANN *et al.* 2004, 31). Die Strukturierung der Lerneinheiten in den unterschiedlichen Komplexitätsniveaus von Basislernmodulen und Strukturlernmodulen wurde unter meiner Mitarbeit im Rahmen des Verbundprojektes WEBGEO entwickelt (vgl. Kapitel 7.4.1).

Struktur- und Basislernmodule sowie mmL-Objekte können Bestandteile von Studienmodulen darstellen. Potentiale der digitalen Medien können dabei durch die inhaltliche Verzahnung von Präsenzlehrveranstaltungen und Inhalten der mmL-Angebote zum Tragen kommen. Beispielsweise kann durch die direkte Bezugnahme zwischen den Inhalten des jeweiligen Moduls und dem Inhalt der Präsenzlehre ein Synergieeffekt im Sinne einer Ergänzung bzw. Verknüpfung von Wissen und methodischer Anwendung des Wissens hergestellt werden. Vorteile im Bereich der Visualisierung, Modellierung, interaktiver Anwendung und Simulation bieten Möglichkeiten zur besseren Veranschaulichung, kognitiven Organisation und Erinnerbarkeit von theoretischen Inhalten. Auf diese Weise kann ein Beitrag zur Optimierung der Präsenzlehre geleistet werden. Eine Unterstützung der Studierenden durch mmL-Angebote in der Selbstlernphase ermöglicht den weiteren Aufbau einer einheitlicheren Wissensbasis. Darüber hinaus können bestimmte als sinnvoll erachtete Inhalte aus der Präsenzphase ausgelagert werden, um damit die Präsenzlehre zeitlich und inhaltlich zu entlasten. Die dadurch in der Präsenzveranstaltung zur Verfügung stehende Zeit kann intensiv für Diskussionen

⁸ Die Terminologie „Basis-Lernmodul“ und „Struktur-Lernmodul“, entspricht den Begriffsdefinitionen des Verbundprojektes WEBGEO. Ziel des Projektes war die Entwicklung multimedialer, webbasierter Lehr-/Lernmodule für das Grundstudium in Physischer Geographie.

⁹ Man kann meines Erachtens in diesem Zusammenhang nur von Lehrzielen sprechen, da keineswegs sicher ist, ob die Ziele der Lernenden (also die Lernziele) mit denen der Lehrenden übereinstimmen. Allerdings wird davon ausgegangen, dass die entwickelten Medien Lernangebote beinhalten, die Lernende im Sinne ihrer Lernziele für die Konstruktion von Wissen nutzen können.

zu Lernmodulaufgaben genutzt werden. Wie eine konkrete Umsetzung der genannten Mehrwerte realisiert werden kann, wird in Kapitel 8 anhand von Beispielen aufgezeigt.

2.2.3 Lerntheoretische Bezüge mediengestützten Lernens

Der Kenntnis einschlägiger Lerntheorien kommt eine oft unterschätzte Bedeutung zu, da jede dieser Theorien trotz ihrer offensichtlichen Unterschiede für die Konzeption von E-Learning Angeboten wertvolle Beiträge leisten kann (DICHANZ & ERNST 2001, 10). Im Bereich der Lehr-/Lernforschung finden sich mit dem Behaviorismus, dem Kognitivismus und dem Konstruktivismus drei große Theoriegebäude, die das mediengestützte Lehren und Lernen, wenn auch zeitlich in der genannten Reihenfolge nacheinander entwickelt, bis heute beeinflussen. Vielfach werden die erkenntnistheoretischen Ansätze in der Lehr-/Lernforschung als Paradigmen aufgefasst. Dies erscheint jedoch vor dem Hintergrund der gestaltungsorientierten Mediendidaktik als wenig funktional, denn: *„Im Alltag der täglichen Lernprozesse werden wahrscheinlich unterschiedliche Lernprozesse zu beobachten sein, für die je nach konkretem Einzelfall einmal behavioristische Lerntheorien, einmal kognitivistische oder konstruktivistische Ansätze für die theoretischen Erklärungen nützlich sind. Es dürfte einleuchten, dass für die Konstruktion von Lernwelten, auch für das Design von elektronischen Lernangeboten die Kenntnis gewisser Lerntheorien und der Bezug zu bestimmten Lernkonzepten unverzichtbar sind“* (DICHANZ & ERNST 2001, 8). Grundlegende Ansätze des Lehrens und Lernens werden im Folgenden übersichtartig aufgezeigt.

2.2.3.1 Theoretische Annahmen des Behaviorismus und die Programmierete Unterweisung

Behavioristische Lerntheorien sehen im Lernen eine Reiz-Reaktions-Abfolge, die entweder konditionierbar ist oder verstärkt werden kann. Der erste Einsatz von Computern als Lehr-/Lernmedium in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts ist eng mit dem lernpsychologischen Ansatz von SKINNER (1968) verbunden und basiert auf dieser dem Objektivismus zuzurechnenden Theorie. Aus behavioristischer Sicht kommt es in Lehr-/Lernsituationen darauf an, geeignete Stimuli (Reize) zu setzen und den Reaktionen ein angemessenes Feedback folgen zu lassen. Interne

Verarbeitungsvorgänge nach der Reizaufnahme sind dabei nicht von Interesse. Im Fokus der Analyse des Lerngeschehens liegt nicht der kognitive Verarbeitungsprozess der Lernenden, sondern liegen die Möglichkeiten Verhaltensweisen zu konditionieren und für Lernprozesse nutzbar zu machen. Wesentlicher Mechanismus, der das Verhalten nach behavioristischen Annahmen steuert, sind die Konsequenzen (Bekräftigung, Bestrafung oder Löschung), die auf das Verhalten (in der Regel Antworten der Lernenden) folgen. Damit wird ein sehr einfacher Mechanismus des Lernens konstatiert:

- Durch Bekräftigung oder Verstärkung eines gezeigten Verhaltens in Form einer positiven Konsequenz –wie z.B. Lob – wird dieses Verhalten in Zukunft mit höherer Wahrscheinlichkeit auftreten.
- Durch Bestrafung des Verhaltens, z.B. Tadel oder Punktabzug, kann zuvor gezeigtes Verhalten reduziert werden. Paradoxerweise ist diese Reaktion nur von kurzer Dauer. Langfristig verschwindet das Verhalten, welches zur Bestrafung geführt hat, keineswegs. Es kann nach einer gewissen Zeit wieder auftauchen.
- Erfolgt auf ein Verhalten keine Reaktion, sondern wird einfach ignoriert, so wird dieses Verhalten in Zukunft wahrscheinlich weniger gezeigt. Unerwünschtes Verhalten kann so mit der Zeit „gelöscht“ werden.

In der Kombination von Bekräftigung und Löschung kann systematisch eine Verhaltensänderung herbeigeführt werden. Erwünschtes Verhalten ist schrittweise aufzubauen und unerwünschtes Verhalten durch Ignorieren zu löschen. Auf diese Weise können nach behavioristischer Vorstellung notwendige Lernaktivitäten aufgebaut werden (TULODZIECKI & HERZIG 2004, 128).

Anwendungen, die bei der Gestaltung von Lernangeboten nach diesem Konzept vorgehen, werden als programmierte Instruktion bzw. programmierte Unterweisung bezeichnet. Die Entwicklungen waren vielfach von der Idee geleitet, den personalen Unterricht durch das Lernen mit computerbasierten Medien zu ersetzen (anstatt digitale Medien in Lehr-/Lernprozesse zu integrieren), da die Mechanismen der Verstärkung für den Aufbau von Verhalten bei computerbasierten Programmen nach SKINNER (1968) besser zur Geltung kämen als in personalem Unterricht. Der Verlust des personalen Dialogs mit den Potentialen der Flexibilität, Spontaneität und Kreativität sollte durch Verfeinerung des Mediums ausgegli-

chen werden. Durch möglichst kleinschrittige Regelkreise in Frage-Antwort-Mustern sollte sichergestellt werden, dass Lehrinhalte immer in Abhängigkeit vom aktuellen Lernfortschritt präsentiert werden. Nach der Präsentation war jeweils eine Prüfung vorzunehmen, ob das Dargestellte gelernt (behalten) wurde. Bei einem Fehler musste die Lernsequenz erneut präsentiert werden. Es wurde eine vorprogrammierte Sequenz von Lernschritten abgearbeitet (FRANK 1966).

In der Praxis zeigte sich die immer gleiche Folge von Informationseinheiten mit anschließender Überprüfung für die Lernenden schnell als zu stereotyp. Die Motivation sank nach der Phase des Neuigkeitseffektes sehr stark ab. CROWDER & MARTIN (1961) entwickelten das Konzept so weiter, dass bei fehlerhaften Antworten sich nicht der gleiche Lehrstoff erneut präsentierte, sondern durch Verzweigungen im Programm alternative Darstellungen je nach Art des Fehlers angeboten wurden. Der Aufwand für die Erstellung selbst kleiner Ausschnitte, so genannter Wissensdomänen, erwies sich jedoch dabei als so groß, dass er für didaktische Anwendungen in der Regel nicht in Frage kommt (MANDL *et al.* 1990). Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass das Prinzip, den Lernfortschritt durch Tests laufend zu prüfen und den Fortgang des Programms von dem erreichten Wissensstand abhängig zu machen, von Lernenden vielfach abgelehnt wurde (KERRES 2002, 11). Mit der Abkehr von behavioristischen Lerntheorien und der zunehmenden Bedeutung kognitiver und konstruktivistischer Ansätze des Lernens wurde die Relevanz von Lerntests zunehmend infrage gestellt. Im Einzelfall ist zu prüfen, inwieweit auf solche Elemente verzichtet werden kann und wie sie gegebenenfalls zu gestalten sind. Entscheidend sind Fragen nach der Funktion der Testaufgaben, ob sie z.B. zur Selbstkontrolle angeboten werden oder wie eine Rückmeldung erfolgt (vgl. Kapitel 5.1.2.4).

2.2.3.2 Kognitivismus, Adaptive Systeme und „klassische“ Modelle des Instruktionsdesign

Defizite des Behaviorismus, wie die nur als vage zu bezeichnende Analogie von „Verstärker“ und „Lernerfolg“, führten schnell zur Kritik an behavioristischen Lernmodellen (z.B. HILGARD 1964). Der Zusammenhang zwischen den auf Konditionierung zielenden Lernmechanismen behavioristischer Modellvorstellungen und den seinerzeit gewählten Lehrinhalten und –zielen lässt sich allein deshalb schwer herstellen, da sie eindeutig dem kognitiven Bereich zuzuordnen sind. Die

Möglichkeiten zur Schulung von Verhalten oder Verhaltenstraining mit Computerunterstützung (z.B. durch Computersimulationen oder mit interaktiven Schulungsvideos) waren aus technischer Sicht zur Zeit SKINNERS noch sehr beschränkt. Kognitivistische Ansätze können so als historische Reaktion auf offensichtliche Mängel des Behaviorismus aufgefasst werden. Im Kognitivismus wird Lernen als ein Informationsverarbeitungsprozess angesehen (KLIMSA 1993, 206). Der Fokus ist dabei auf die internen Strukturen gerichtet, über die Lernende verfügen, um eine Selektion, Einordnung und Verarbeitung von „Reizen“ vorzunehmen. *„Der Organismus verfügt über Schemata und Strukturen, mit deren Hilfe er die Gegenstände und Situationen der Umwelt assimilieren, begreifen kann. Nur das kann gesehen, begriffen und manipuliert werden, wofür Assimilationsschemata bestehen“* (MONTADA 1970, 22). Dabei geht der Kognitivismus, wie auch der Behaviorismus, von der Vorstellung einer einzigen, objektiv wahren und erkennbaren Realität aus. Informationen über die Realität werden Lernenden über ein (z.B. visuell) codiertes Medium angeboten. Im Lernprozess decodieren Lernende diese Informationen aufgrund der ihnen zur Verfügung stehenden Informationen und internen Schemata.

In Bezug auf die Konzeption und Entwicklung von Lehr-/Lernangeboten führt dies zu der Frage, wie Informationen dargeboten werden müssen, dass die so genannten Assimilationsschemata der Lernenden aktiviert und Informationen in gewünschter Weise decodiert werden können. Ein Problem kognitivistischer Ansätze besteht darin, dass mediale Angebote von Lernenden aufgrund unterschiedlicher Erfahrungen und Kenntnisse offensichtlich unterschiedlich interpretiert werden. Untersuchungen von SALOMON & PERKINS (1998) belegen darüber hinaus, dass Lernende bei der Beschäftigung mit ein und demselben medialen Angebot unterschiedliche kognitive Aktivitäten ausführen. Kognitive Ansätze computerbasierten Lernens verfolgen daher das Ziel, adaptive Systeme zu entwickeln, die die jeweiligen Informationsdarbietungen in Form eines Mediums genau auf den momentanen Bedarf der Lernenden anpassen und sich so wesentlich besser auf den Lernfortschritt einstellen, als dies bei der programmierten Unterweisung der Fall war. Dazu werden bei adaptiven Lernsystemen Benutzereingaben während der Bearbeitung von Lerneinheiten computerbasiert registriert und ausgewertet, um auf zugrunde liegende Kompetenzen beziehungsweise Defizite zu schließen. Auf Grundlage der Auswertung werden anschließend abgestimmte Se-

quenzen von Lehrangeboten generiert. Bis heute ist es nur in kleinsten Ansätzen gelungen, adaptive Systeme zu entwickeln, mit denen sich computerbasierte Diagnosen des aktuellen Lernverhaltens realisieren lassen (KERRES 2001, 72).

„Klassische“ Modelle des Instruktionsdesign

Auf der Basis kognitivistischer Grundpositionen wurden Modelle zur Konzeption mediengestützter Lernangebote entwickelt, die nach den Prinzipien des Instruktionsdesign präskriptive Aussagen oder Empfehlungen vorschlagen. Sie machen Aussagen darüber, was zu tun ist, wenn unter bestimmten Rahmenbedingungen bei Lernenden mit bestimmten Lernvoraussetzungen Lehrziele einer bestimmten Kategorie erreicht werden sollen. Ein Prototyp dieser didaktischen Modelle, die beschreiben, welche Prozesse erforderlich oder günstig sind, um Lernerfolge zu erzielen, ist das Modell der „Events of Instruction“ (GAGNÉ *et al.* 1988), einem vor allem in den USA populären Ansatz. In dem Modell wird davon ausgegangen, dass eine Folge von neun „Ereignissen“ in einem Lehr/Lernprozess stattfinden soll, um einen Lernerfolg sicherzustellen. Die konkrete Planung des Lernangebotes hängt von der Art des Lehrinhaltes ab und – im kognitiven Lehrzielbereich – ob es sich um die Vermittlung von Fakten, Konzepten, Prozeduren oder Prozessen handelt. Die Folge von neuen Aktivitäten, seien sie durch eine Lehrperson oder ein mediales Lernangebot motiviert, korrespondieren jeweils mit Aktivitäten des Lernenden (Tab. 2.1). Die neun Schritte sollen dabei den unterschiedlichen Möglichkeiten der externen Förderung interner Lernprozesse entsprechen.

Tab. 2.1: Instruktionale Ereignisse (nach GAGNÉ in BRIGGS *et al.* 1992)

Ereignisse der externen Förderung	Aktivität der Lernenden
Aufmerksamkeit gewinnen	Konzentration mobilisieren
Über Lehrziele informieren	Realistische Erwartung über Lernergebnis aufbauen
An Vorwissen anknüpfen	Langzeitgedächtnis aktivieren
Lernmaterial präsentieren	Lernmaterial wahrnehmen
Lernhilfen anbieten	Übernahme in Langzeitgedächtnis durch semantische Enkodierung fördern
Gelerntes anwenden	Rückschlüsse auf Lernergebnis ermöglichen
Informative Rückmeldung geben	Diagnostische Information und Verstärkung geben
Leistung kontrollieren und beurteilen	Hinweise zur Verfügung haben, die bei der Erinnerung benötigt werden
Behalten und Transfer sichern	Leistung in neuen Situationen erproben

Das Augenmerk sollte nach GAGNÉ im Lehr-/Lernprozess auf die Aktivitäten der Lernenden gerichtet sein, da die Ereignisse der externen Förderung durch Aktivitäten eines Lehrenden oder eines Lernangebotes nur insofern notwendig sind, als sie korrespondierende Aktivitäten der Lernenden motivieren beziehungsweise sicherstellen. Die oben beschriebenen adaptiven Systeme versuchen dieser Forderung Rechnung zu tragen.

Kritisch kann aus heutiger Sicht die Vernachlässigung sozialer Prozesse und das Modell der relativ starren Folge von Lehr-/Lernaktivitäten gesehen werden, das unabhängig von den Rahmenbedingungen des didaktischen Feldes, wie z.B. der Zielgruppe, immer das gleiche Vorgehen vorschlägt.

Für die Konzeption von multimedialen Lehr-/Lernangeboten stellt sich die Frage, ob die Entscheidung über die Sequenzierung des Angebotes nicht einfach dem Nutzer überlassen werden kann. Damit tritt die Frage nach der Gestaltung der Interaktivität, die eine selbstgesteuerte Informationsauswahl ermöglicht, in den Vordergrund. Entscheidend ist dann, ob im Lernangebot unterschiedliche Dar-

stellungsformen integriert sind und wie dem Benutzer dieses Angebot zugänglich gemacht wird.

Auf Grundlage der Elaborationstheorie nach REIGELUTH (1999) wurden weitere Instruktionsdesign-Modelle zur Planung von Lehr-/Lernangeboten entwickelt, die als Grundlage weitgehend selbstständigen Lernens dienen sollen. Im Gegensatz zum Gagné'schen Modell propagieren Empfehlungen nach der Elaborationstheorie jedoch ein variables Modell der Sequenzierung des Lehrstoffs. Das Gagné'sche Modell fordert eine hierarchische Anordnung der Lehrinhalte. Eine Lernsequenz schreitet dabei stets vom Teil zum Ganzen fort. Zuerst werden die elementaren Inhalte vermittelt, die einen niedrigen Rang in der Hierarchie aufweisen; es folgen zunehmend komplexere Kombinationen dieser Bestandteile. Die Elaborationstheorie empfiehlt dagegen Sequenzen nach dem Prinzip „vom Allgemeinen zum Speziellen“. Möglichst früh soll im Lernprozess ein Überblick vermittelt werden, um darauf sukzessive die Details zu erarbeiten. Eine typische Instruktionssequenz gibt demnach zunächst nur die Hauptkomponenten des Lehrstoffs und deren Beziehungen zueinander wieder. Das Segment dient als Überblick zur Orientierung im Stoffgebiet. Nacheinander werden dann einzelne Lehrstoffbereiche zunehmend detaillierter behandelt. Eine Gesamtübersicht stellt die einzelnen Ausschnitte von Zeit zu Zeit im größeren Zusammenhang dar.

Beide Modelle werden als Vorlagen zur Planung von Weiterbildungskursen in den USA und Kanada genutzt und erfolgreich angewandt (DIFF 2000, 78).

2.2.3.3 Konstruktivismus und Situiertes Lernen

In der erkenntnistheoretischen Grundposition des Konstruktivismus wird Wissen nicht als ein „von außen“ aufgenommenes und gespeichertes Produkt eines kognitiven Lernprozesses verstanden, sondern als internale Operation, die der Mensch subjektiv und individuell wahrnimmt (DUFFY & JONASSEN 1992; KNUTH & CUNNINGHAM 1991). Die Individualität des Lernprozesses zeigt sich beispielsweise daran, dass verschiedene Menschen dieselbe Aufgabe gut lösen, obwohl sie verschiedene Wissensrepräsentationen (Zugänge, Vorbilder, Vorkenntnisse) haben können. Wissen muss also von jedem Individuum selbst „aufgebaut“ (aktiv konstruiert) werden und kann nicht - etwa durch einen schulischen Prozess - „von außen importiert“ werden. Wissen wird nicht als eine Ansammlung von Fakten, Konzepten, Strukturen und Regeln einer „objektiven“ Realität aufgefasst, welches

im Gedächtnis gespeichert, abgerufen und rekonstruiert werden kann, sondern wird nach konstruktivistischer Grundposition subjektiv interpretiert (KNUTH & CUNNINGHAM 1991). Als reflexive Erkenntnistheorie macht der Konstruktivismus keine Aussagen über das „Sein“, im Sinne einer Metaphysik, sondern über die menschliche Orientierung *in* der Welt. Sinnesorgane, Kognitionen und Gedächtnis produzieren und entwickeln keine Abbilder der äußeren Realität, sondern sie konstruieren Wirklichkeiten zum Zweck erfolgreicher Handlungen. Maturana und Varela, die als Begründer des modernen Konstruktivismus bezeichnet werden können, beschreiben den Zusammenhang wie folgt: „Wir erleben nicht den ‚Raum‘ der Welt, sondern wir erleben *unser* visuelles Feld, wir sehen nicht die ‚Farben‘ der Welt, sondern wir erleben *unseren* chromatischen Raum“ (Maturana & Varela 1987, 28). Im Gegensatz zu der Behauptung „Der Himmel *ist* blau“, könnten wir streng genommen dann lediglich feststellen: „Der Himmel *erscheint* uns blau“.

Welche Bedeutung haben die konstruktivistischen Theorieansätze für eine scheinbar sehr „objektive“ Naturwissenschaft, wie der Physischen Geographie/Geomorphologie, die darauf ausgerichtet ist, Phänomene und Prozesse der Erdoberfläche – also der „objektiven realen Welt“ – zu beschreiben, zu analysieren und zu modellieren?

Dem Beobachter (des Geosystems) selbst kommt eine bedeutende Rolle zu, denn die von ihm gewählte Methode entscheidet grundlegend über den Erkenntnishorizont. Wissenschaftler beschreiben die Welt nicht so, wie sie „wirklich“ ist, sondern sie konfrontieren die Welt mit ihren Fragestellungen und Beobachtungen. Anders gesagt: Auch wissenschaftliches Wissen ist beobachtungsrelativ, ist abhängig von Standpunkten und eingenommenen Perspektiven, die aus einem gewissen kulturellen, sozialhistorischen Kontext heraus eingenommen werden. Forschung wird beeinflusst von erkenntnisleitenden Interessen und Traditionen.

Die grundlegende Bedeutung der Beobachtungsperspektive verdeutlicht Peukert (2000) mit einem Beispiel aus der Physik (eine aufgrund der vermeintlichen Objektivität so genannten „harte Naturwissenschaft“) im Rahmen der Formulierung der Quantenmechanik von Heisenberg, Bohr, Schrödinger u.a.: Der Beobachter von Quantensystemen entscheidet „*durch die Wahl des Messapparates zugleich über die Wirklichkeit. ... Wirklichkeit ist nur in strenger Korrespondenz zum Handeln des Messenden zu bestimmen*“ (Peukert 2000, 514).

Wissenschaftliche Aussagen werden jedoch durch diesen Bedeutungszusammenhang nicht beliebig. Bewährte Kriterien gegen Beliebigkeit sind z.B. die logische Konsistenz der Argumentation, der Einfachheit und Widerspruchsfreiheit der Theorie und empirische Überprüfung (SCHMIDT 1998, 44).

In Bezug auf das Lehren und Lernen von geomorphologischen Prozessen und ihrer Modellierung stellt sich die Frage, wie in internetbasierten Lernumgebungen ein reflexiver Umgang mit naturwissenschaftlicher Methodik gefördert und auf welche Weise ein Bewusstsein für die Reziprozität zwischen der Wahl der Untersuchungsmethode und den beobachteten Phänomenen und Prozessen bei den Lernenden durch die Nutzung von mmL-Angeboten geweckt werden könnte? Die Problematik wird in Kapitel 3 in Verbindung mit geomorphologischen Modellierungskonzepten und deren Abbildung in webbasierten mmL-Objekten aufgegriffen und fachbezogen thematisiert.

Relevanz für Lehr-/Lernprozesse

Die Ausführungen zeigen, dass das Phänomen des Erkennens demnach nicht so aufgefasst werden kann, *„als gäbe es ‚Tatsachen‘ und Objekte da draußen, die man nur aufzugreifen und in den Kopf hineinzutun habe“* (MATURANA & VARELA 1987, 31). Wissen kann demnach nicht einfach von einem Lehrer auf einen Schüler oder durch ein Medium übertragen werden, sondern wird stets individuell und situationsabhängig – und zwar in jeder Situation neu – konstruiert (MANDL 2004, 9). „Von außen“ können Gedanken allenfalls „perturbieren“, d.h. angeregt werden (vgl. MATURANA & VARELA 1987, 85). Wird das Lernen in dieser Weise als Konstruktion betrachtet, so lassen sich nach REICH (1996, 83) drei Lernformen unterscheiden:

- Lernen als Konstruktion, d.h. als Aufbau von handlungsrelevanten Wissensnetzen
- Lernen als Rekonstruktion, d.h. als Erwerb und Integration vorhandener Wissensbestände (wie z.B. geographisches Fachwissen)
- Lernen als Dekonstruktion, d.h. als Abbau von Verhaltensmustern und normativen Orientierungen, die nicht mehr viabel (d.h. gangbar, passend, funktional) sind.

Vor diesem Hintergrund stellen Bedingungen des Lehrens und Lernens wie der Selbstorganisation des Lernprozesses, der Aktivierung von Vorwissen und Fähigkeiten, der Reflexion und Metakognition wichtige Größen im Lehr-/Lernprozess dar (TULODZIECKI & HERZIG 2004, 171).

Aufgrund der unterschiedlichen didaktischen Ansätze und Methoden sowie Menschenbilder, auf die der Begriff des Konstruktivismus bezogen wird, ist es schwierig, eine direkte Verbindung zu einer didaktischen Position herzustellen (KERRES 2001, 76). SIEBERT (2003, 83) erinnert in diesem Zusammenhang daran, dass der Konstruktivismus eine analytische, deskriptive Erkenntnistheorie ist und keine Handlungstheorie, wie die Erziehungswissenschaft. Daraus schlussfolgert er, dass pädagogisches Handeln lediglich auf die Verträglichkeit mit konstruktivistischen Positionen überprüft, jedoch aus einer Erkenntnistheorie nicht pädagogisches Handeln abgeleitet werden kann.

Situiertes Lernen

Das situierte Lernen ist von seiner grundsätzlichen erkenntnistheoretischen Ausrichtung konstruktivistisch geprägt (MANDL *et al.* 2002, 140), gibt das Konzept der kognitiven Informationsverarbeitung jedoch nicht grundsätzlich auf, sondern bewertet deren Bedeutung anders als die bisher in der vorliegenden Arbeit diskutierten kognitiven Ansätze. So wird einerseits das Lernen in Problem- bzw. Handlungszusammenhängen – im Sinne konstruktivistischer Auffassungen – herausgestellt und andererseits Möglichkeiten geeigneter Instruktionen – im Sinne kognitivistischer Ansätze – zum Aufbau kognitiver Strukturen beziehungsweise mentaler Modelle betont. Didaktische Modelle, die gewissermaßen eine „pragmatische Zwischenposition“ einnehmen, werden von MERRIL (1991) auch als Instruktionale Modelle der zweiten Generation bezeichnet (MERRIL 1991, 51).

Aus konstruktivistischer Sicht wird bei den durch Instruktion geprägten Lernformen kognitivistischer Art kritisiert, dass erworbenes Wissen häufig „träge“ bleibt und unzureichend transferiert werden kann. In den klassischen Instruktionsansätzen kann zwar eine große Menge von Wissen vermittelt werden, dessen tatsächlicher Nutzen ist den Lernenden jedoch häufig unklar (BRANSFORD *et al.* 1990, 117). Das Wissen ist dann zwar prinzipiell vorhanden, kann aber im konkreten Fall nicht abgerufen werden, da praktische und authentische Anwendungssituatio-

nen bei der Vermittlung nur eine untergeordnete Rolle spielen. Eng verbunden ist damit das Problem mangelnder Fähigkeiten erworbenes Wissen auf unterschiedliche Situationen und Kontexte zu transferieren (vgl. CUNNINGHAM *et al.* 1993, MANDL *et al.* 2002).

Vor diesem Hintergrund werden spezifische Anforderungen für die Gestaltung situierter Lernens abgeleitet. (KOMMERS *et al.* 1996, MANDL *et al.* 2002, MANDL *et al.* 2004, REINMANN-ROTHMEIER *et al.* 1994):

Die Darstellung komplexer Ausgangsprobleme

Als Ausgangspunkt des Lernprozesses sollte die Darstellung eines komplexen interessanten Problems stehen, welches im Idealfall vom Lernenden als eine Herausforderung angesehen wird und daher besonders motivierend wirkt. Solch ein möglichst intrinsisch motivierendes Ausgangsproblem kann beispielsweise ein komplexer Entscheidungsfall, eine Gestaltungs- oder Beurteilungsaufgabe sein.

Gestaltung situierter Anwendungskontexte mit authentischen Aktivitäten von Lernenden, statt Aktivitäten von Lehrenden

Lernende sollen realistische Probleme in authentischen Situationen bearbeiten können, die einen Rahmen und Anwendungskontext für das zu erwerbende Wissen bereitstellen. Lernende können dann „mit dem Wissen auch die Anwendungsbedingungen dieses Wissens erwerben“ (REINMANN-ROTHMEIER *et al.* 1994, 46). Betont wird in diesem Zusammenhang die Abkehr von der Lehrerzentrierung des klassischen Frontalunterrichts hin zu einer Sichtweise, die sich auf die Lernenden konzentriert und an deren Lernprozessen orientiert.

Präsentation multipler (statt einfacher) Perspektiven auf Probleme

Die Darstellung multipler Anwendungskontexte soll sicherstellen, dass das Wissen nicht nur in dem einen erlernten Kontext angewandt, sondern Gelerntes auf andere Situationen übertragen werden kann. Unterschiedliche Kontexte eröffnen darüber hinaus multiple Perspektiven auf Problemstellungen. Die Bearbeitung von Inhalten unter variierenden Aspekten und von verschiedenen Standpunkten aus soll letztlich die flexible Anwendung des Wissens fördern.

Sozialer Kontext

Als ein wesentlicher Bestandteil der Situiertheit des Handelns und Lernens wird das Lernen im sozialen Austausch gesehen. Die Kommunikation der Lernenden untereinander sowie kollaboratives Problemlösen und Arbeiten sollen dabei ebenso gefördert werden wie die gemeinsame Bearbeitung von situierten Problemstellungen von Lernenden mit Experten.

Aus den genannten Anforderungen wurden Modelle des didaktischen Designs abgeleitet und in verschiedenen Ansätzen zur Gestaltung von Lehr-/Lernprozessen und –umgebungen konkretisiert, die im folgenden kurz erläutert werden sollen.

Konstruktivistische Modelle des Instruktionsdesign

Anchored instruction

Das Modell des sog. „Geankerten Lehrens“ (engl. anchored instruction) (BRANSFORD *et al.* 1990) setzt auf die motivierende Wirkung authentischer Problemsituationen auf Lernaktivitäten. Durch die Kontextualisierung der Inhalte in realistische, komplexe Situationen erschließt sich für die Lernenden der Bezug zu ihrer Alltagserfahrung und zur Anwendung. Es gilt einen „Anker“ zu finden, der die Aufmerksamkeit beim Lernen steuert und die Bedeutung des zu erwerbenden Wissens in der Anwendungssituation herausstellt. Ankerpunkte können zusammenhängende Geschichten oder Problemsituationen sein, die möglichst auf viele Lernende motivierend wirken und die Lernaktivitäten in einen größeren Kontext einbetten. Damit soll niedriger Lernmotivation und geringer Bereitschaft zum Lernen abstrakter Konzepte und Theorien entgegengewirkt werden.

Cognitive Apprenticeship

Mit dem Modell der so genannten „kognitiven Lehre“ (Cognitive Apprenticeship) (COLLINS *et al.* 1989) wird zum Aufbau (meta-) kognitiver Kompetenzen das Modell der Lehrlingsausbildung (engl. apprenticeship) auf den Wissenserwerb insgesamt übertragen. In der „Handwerkslehre“ vollzieht sich das Lernen durch Beobachtung von Experten, den intensiven Austausch und durch Nachahmung. In dem „Cognitive Apprenticeship“ Ansatz wird versucht, dieses Konzept auf das Lernen in einem Lernsystem zu übertragen. Bei der Gestaltung der Lehr-/Lernumgebung wird dabei gefordert, wie in der Handwerkslehre, verschiedene

Grade und Qualitäten der Anleitung zu berücksichtigen und Aufgabenstellungen in authentischen Situationen anzubieten. Die Schwierigkeit der Übertragung des Modells der Lehrlingsausbildung mit überwiegend manuellen Tätigkeiten auf kognitive Lehrinhalte, wie z.B. das Lösen eines mathematischen Problems – also interne Verarbeitungs- und Entscheidungsprozesse, die durch Beobachtung nur schwer erschlossen werden können – soll durch verschiedene Methoden der Explizierung und Externalisierung in einer Abfolge mehrerer Lehrschritte überwunden werden:

Modellierung (modeling): Die Präsentation und Erläuterung modellhafter Vorgehensweisen anhand authentischer Problemstellungen dienen dem Lernenden als Modelle für seine eigenen Problemlöseprozesse. Dabei ist vor allem auch die Modellierung der nicht unmittelbar sichtbaren Prozesse von Bedeutung.

Begleitung und Unterstützung (coaching und scaffolding): Beim Lösen von möglichst realistischen und damit komplexen Aufgaben werden Lernende mit Hilfestellungen, Hinweisen und Rückmeldungen im Lernprozess begleitet.

Ausblenden der Hilfestellung (fading): Mit zunehmendem Wissenstand werden Hinweise und Begleitung schrittweise geringer.

Artikulation und Reflexion (articulation und reflection): Die Artikulation und Reflexion von Denkprozessen und Problemlösestrategien im sozialen Austausch fördert die Bildung multipler Kontexte und Perspektiven, da eigene Vorgehensweisen mit anderen verglichen werden können. Unterstützend wirkt der Prozess der Metakognition, d.h. die Reflexion eigener Denkprozesse, der im konstruktivistischen Ansatz große Bedeutung zukommt: „*Kowing how we know is the ultimate human accomplishment.*“ (KNUTH & CUNNINGHAM 1991, 174). Die Reflexion über Aneignungsprozesse versetzt Lernende in die Lage sich allgemeine Problemlösungsstrategien anzueignen und Wissen über die unmittelbare Situation hinaus zu strukturieren.

Exploration (exploration): In dem Lehrschritt sollten Lernende jetzt in der Lage sein, zu einem Sachverhalt die richtigen Fragen zu stellen, den richtigen Bezugsrahmen zu finden und die richtigen Antworten zu geben. Die Unterstützung ist in dem Modell nun komplett ausgeblendet.

Das Methodenrepertoire von Modellierung, Begleitung und Unterstützung bis hin zur Reflexion und Metakognition macht deutlich, dass beim Ansatz der „Kognitiven Lehre“ Lernprozesse durch äußere Anleitung unterstützt werden. In der Kon-

frontation Lernender mit authentischen und komplexen Problemen erweist sich diese instruktionale Unterstützung im Rahmen multimedialer Lernumgebungen von besonderer Bedeutung (MANDL *et al.* 2002, 146).

Cognitive Flexibility

In dem Ansatz der „kognitiven Flexibilität“ (engl. Cognitive Flexibility Theory) (SPIRO & JEHNIG 1990) zielt die multiple Präsentationen eines Inhaltes auf die Förderung von flexiblen mentalen Repräsentationen, die in verschiedenen Problemstellungen zur Lösung herangezogen werden können. Um den Aufbau solcher multipler und flexibel einsetzbarer Wissensstrukturen zu unterstützen, werden dieselben Konzepte und Sachverhalte unter verschiedenen Perspektiven, in veränderten Kontexten und unter anderen Zielsetzungen betrachtet. Als Ergebnis wird ein höherer Abstraktionsgrad des Wissens und damit flexiblere Anwendung und Einsichten in übergeordnete Zusammenhänge erwartet. Die praktische Umsetzung kann durch die Bearbeitung von Fallbeispielen, das Arbeiten mit Modellen, durch Vergleichen mehrerer Ansichten oder Hypertext-Techniken erfolgen. Durch die flexible Bereitstellung von Wissenskomponenten in Hypertext-Strukturen können diese in völlig flexibler Reihenfolge angefordert und in verschiedenen Kontexten und unter veränderten Zielsetzungen abgerufen werden (SPIRO & JEHNIG 1990, 163).¹⁰

Für die Entwicklung und Gestaltung von multimedialen Lehr-/Lernmaterialien stellt sich die Frage, auf welcher Ebene bzw. auf welchem Komplexitätsniveau die Anforderungen situierten Lernens umgesetzt und das Methodenrepertoire der kognitiven Lehre oder des geankerten Lehrens nutzbar gemacht werden kann. Die hier nur kurz umrissenen konstruktivistisch geprägten Modelle, Anforderungen und Methoden beziehen sich in erster Linie auf die Ebene der Strukturlernmodule und übergeordneter Strukturen (vgl. Abb. 2.1). Mit der Betonung *sozialen* Austausches in *authentischen* Kontexten ergeben sich für die Entwicklung und Gestaltung einzelner Lernobjekte weitaus weniger ableitbare Konsequenzen als für den Einsatz und die Kombination mehrerer Lernobjekte in Basis- und Strukturlernmo-

¹⁰ Das Prinzip der flexiblen Bereitstellung von Wissensbausteinen, die in unterschiedlicher Reihenfolge und Kombination zu unterschiedlichen Fragestellungen herangezogen werden, wird in dem Verbundprojekt WEBGEO durch das Konzept der Strukturlernmodule aufgegriffen (vgl. Kapitel 7.4).

dulen und der Integration von E-Learning-Elementen in Lehrveranstaltungen und Studienmodulen (vgl. Abb. 2.1). Bei der Konzeption dieser übergeordneten Lehr-/Lernszenarien stellt sich die Frage, welche Elemente sinnvollerweise technologiebasiert umgesetzt und welche effizienter durch eine Kombination von Präsenzlehre und computerbasierten Medien realisiert werden sollten.

Entscheidend ist für die Konzeption und Entwicklung von Lehr-/Lernangeboten die veränderte Bedeutung, die dem Medium in situierten Ansätzen zugeschrieben wird. Medien dienen hier der „Kommunikation“ von Wissen. Als kognitive Werkzeuge ermöglichen sie Wissen zu erschließen und zu konstruieren. Im Kognitivismus wird der Prozess der mediengestützten „Kommunikation“ als Aneignung und Austausch zwischen Individuen verstanden, bei dem Wissen von einer Person über das Medium kommuniziert wird (SALOMON 1993).

Aus konstruktivistisch geprägten Ansätzen lässt sich für das didaktische Design von mmL-Objekten schlussfolgern, dass Wissen nicht über ein Medium in die kognitive Struktur der Lernenden „transportiert“ wird, sondern Medien vielmehr selbst Bestandteil der Wissensbasis darstellen, an der Lernende durch aktive Erschließung teilhaben sollen. Die Aufgabe besteht also darin, diese Wissensbasis als Angebote so aufzubereiten, dass Teilhabe an dem Wissen möglich wird. Auf diese Art und Weise können Ansätze wie das situierte Lernen Alternativen gegenüber z.B. abstrakten Darstellungen sein, die sich unter bestimmten Bedingungen als pädagogisch sinnvoll und empirisch günstig erweisen. Es geht nicht um den Nachweis der Überlegenheit *eines* mediendidaktischen Modells, sondern um die Frage, wann bestimmte Darstellungsformen und Strukturen anderen vorzuziehen sind. Ein Beispiel: Spezifische Anforderungssituationen – wie eine geringe Lernbereitschaft gegenüber abstrakten und komplexen Sachverhalten – welche erfahrungsgemäß bei einer Vielzahl von Studierenden im Grundstudium der Physischen Geographie auftreten, können die Darstellung praxisnaher Beispiele und authentischer Problemsituationen, die als „Anker“ die Relevanz des zu erwerbenden Wissens in unterschiedlichen Kontexten darstellen, als sinnvoll erscheinen lassen.

2.2.4 Mehrdimensionaler Entscheidungsraum der Mediendidaktik

In der wissenschaftlichen Diskussion werden die verschiedenen lerntheoretischen Ansätze häufig als konkurrierende Paradigmen aufgefasst (JONASSEN 1991, ISSING 2002, 154). So wurde in jüngerer Zeit von Erziehungswissenschaftlern (REIGELUTH 1999) aufgrund der von ihnen identifizierten Anforderungen des Informationszeitalters ein Paradigmenwechsel vom instruktionsbasierten zum problemorientierten, lernerzentrierten Unterricht konstruktivistischer Prägung gefordert. KERRES (2001, 83) stellt dagegen heraus, dass ebenso wenig, wie es das eine „beste“ Medium für didaktische Zwecke gibt, die eine „beste“ Methode für die didaktische Konzeption von Medien existiert. Heute scheint sich für die Konzeption und Gestaltung medialer Lernangebote ein eher gemäßigtes und flexibles konstruktivistisches Konzept als günstig herauszustellen (MANDL *et al.* 2004; TULODZIECKI & HERZIG 2004, 146). Ergebnisse der verschiedenen lerntheoretischen Paradigmen fließen in einem mehrdimensionalen Entscheidungsraum zusammen. Die Praxis zeigt dabei, dass Ergebnisse kognitivistischer Forschung sowie instruktionistisch geprägte Lernformen bei der Konzeption multimedialer Lernangebote nicht vernachlässigt werden sollten, weil sie sich nicht zuletzt für das Erreichen gut definierter – d.h. operationalisierbarer – Lernziele seit Jahrtausenden als erfolgreich erweisen (ISSING 2002, 155). So hat sich bestätigt, dass ein rein exploratives Lernen in Bezug auf den erzielten Lernerfolg generell weniger effektiv ist, als wenn Phasen „direkter Instruktion“ und ein problemorientiert-selbstgesteuertes Lernen adäquat kombiniert werden. Nach mehrfach empirisch abgesicherten Befunden liegen die Stärken des explorativen selbstgesteuerten Lernens in der Förderung von Problemlösefähigkeiten. In der Regel haben sich dagegen qualitativ hochwertige „direkte Instruktionen“ mit systematisch gesteuertem Lernweg beim Neuerwerb von Wissen und Fähigkeiten im Vergleich zu Formen des selbstgesteuerten Lernens als deutlich überlegen erwiesen (NIEGEMANN 2003, 152; WEINERT & HELMKE 1995).

Die Gestaltung didaktischer Medien sollte daher nicht an eine bestimmte theoretische Konzeption des Lernens oder Lehrens gebunden sein. Der Prozess der Konzeption und Entwicklung stellt vielmehr ein vielschichtiges Entscheidungsproblem dar. Konstruktivistische Lernmodelle stellen dann eine Bereicherung der Möglichkeiten dar, Lernangebote systematisch zu gestalten. Entscheidend ist die

Nutzung einer Vielfalt didaktischer Modelle und Methoden, die jeweils ohne ideologische Vorbehalte (z.B. gegen Formen der „direkten Instruktion“) funktional eingesetzt werden. Die inhaltlichen Aussagen der verschiedenen lerntheoretischen Paradigmen können als ein Fundus von Argumenten und Ergebnissen verstanden werden, die im Entscheidungsprozess zum Lösen spezifischer Problemstellungen herangezogen werden. Es geht darum, Wege aufzuzeigen, wie Potentiale der Neuen Medien eingelöst werden können. Da die Vorgehensweisen nicht algorithmischer Natur sind, empfiehlt es sich, verschiedene lerntheoretische Paradigmen auf ihren Beitrag zu einem analytischen Rahmenmodell zu untersuchen, welches eine Professionalisierung der Produktion didaktischer Medien unterstützt. Professionelle Produktion zeichnet sich durch Zielorientierung und Reflexion des eigenen Handelns aus. Dabei muss auch der Mehrwert gegenüber anderen (ggfs. bereits etablierten) Lösungen aufgezeigt werden. In der Praxis ergeben sich Aufgaben etwa der Gestaltung von Interaktion als Schnittstelle zwischen Lerner und Medium oder der Organisation von Wissen (Segmentierung, sequenzielle Strukturierung, logische hypertextuelle Strukturierung etc.) (KERRES 2002, 15; MANDL *et al.* 2004, 13). Die situative Einbettung mediengestützter Lernangebote ist dabei für den Lernerfolg von erheblicher Bedeutung (KERRES 2002, 6), so dass die Synthese von verschiedenen lerntheoretischen Paradigmen zu einem mediendidaktischen Modell je nach Problemstellung immer wieder neu erfolgen muss. Übereinstimmend wird in den verschiedenen lerntheoretischen Ansätzen die aktive Rolle der Lernenden als Grundvoraussetzung für die Aneignung von Wissen hervorgehoben. Besondere Bedeutung kommt bei der Entwicklung multimedialer Lernangebote daher die Gestaltung von Interaktivität zu (vgl. Kapitel 2.4). Diese sollte auf die Aktivierung intensiver kognitiver Auseinandersetzungen zielen und zur aktiven Wissenskonstruktion als Voraussetzung für das Lernen anregen.

2.3 Funktionen und Gestaltung von Medien

Bereits bei der Planung des Einsatzes von multimedialen Lernangeboten sollte die Frage nach der Funktion der Medien im Lehr-/Lernprozess beantwortet werden. Je nach Sichtweise kann der Medieneinsatz unterschiedlich gewichtet und begründet werden. Aus mediendidaktischer und psychologischer Sicht stehen die Unterstützung geeigneter Lehr-/Lernmethoden sowie die kognitiven Funktionen von Medien im Lernprozess im Vordergrund. Dagegen betont die ökonomische

Sichtweise die Gestaltung von Strukturen und Abläufen zur Optimierung des Verhältnisses von Aufwand und Ertrag. Im Planungsprozess sollte daher die Funktion der Medien, deren Mehrwert, Integration und Nutzung im Hochschulbetrieb von Anfang an klar formuliert werden. Die Gefahr, dass der Einsatz von mmL-Angeboten erfolglos bleibt, kann unter anderem aus einer verengten Sichtweise des Medieneinsatzes resultieren. Die aus psychologischer und lerntheoretischer Sicht abgeleiteten Forderungen an die Konzeption und Gestaltung digitaler Medien stellen bei einer Vielzahl von Modellen und Forschungsbefunden hohe Anforderungen an die konzeptionelle Umsetzung. Bleibt die Relation von Aufwand und Ertrag unberücksichtigt, so besteht die Gefahr, dass unter den gegebenen Bedingungen die Forderungen in der Realität nicht mehr umsetzbar sind. Die Anwendungsbedingungen und Einsatzszenarien zu entwickelnder Medien sollten bei der Planung stets berücksichtigt werden, da der Erfolg nicht zuletzt von umgebenden Faktoren wie der curricularen Verankerung oder der Integration in Präsenzveranstaltungen abhängt und nicht nur von Merkmalen des Mediums. Im konkreten Fall können Medien beispielsweise zur Entlastung der Präsenzlehre dienen, indem durch Auslagerung von Inhalten Präsenzveranstaltungen von inhaltlicher Überfrachtung befreit, Möglichkeiten der besseren Visualisierung genutzt oder andere Lernformen, zum Beispiel mit Hilfe von Modellen oder Simulationen, angeboten werden.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie Medien den Wissenserwerb überhaupt unterstützen können (Kapitel 2.3.1.1 u. 2.3.1.2). Damit verbunden ist die Frage, wie Lehr-/Lernangebote zum Wissenserwerb genutzt werden (Kapitel 2.3.1.3 u. 2.3.1.4). Wie verarbeitet z.B. ein Geographiestudent eine Animation der Kontinentaldrift in einem mmL-Modul zur Plattentektonik? Wie fasst er in einem mmL-Objekt zur Bodenerosionsmodellierung die Darstellung einer Geländeoberfläche auf, auf die Bodenerosionsraten projiziert sind? Hier schließt sich die Frage nach einer effektiven Gestaltung von Medien an. Wann und wie können Nutzer die enthaltenen Informationen am besten entnehmen (Kapitel 2.3.2) ? Auch wenn die besonderen Bedingungen von mmL-Objekten wie beispielsweise Visualisierungen in Multimediaanwendungen bislang kaum untersucht wurden (WEIDENMANN 2002b, 84), so kann die Forschung zu Strukturen und Prozessen menschlicher Informationsverarbeitung sowie Gestaltungskriterien multimedialer

Lehr-/Lernangebote einige Beiträge leisten (z.B. ANDERSON 1988, MAYER 2001, ENGELKAMP 1991, SCHNOTZ 1994, VATH *et al.* 2001, 18).

2.3.1 Medien und Wissenserwerb

2.3.1.1 Modelle der Wissensaneignung mit Medien

Wie unterstützen Medien den Wissenserwerb? Je nach lerntheoretischer Sichtweise kann die Antwort auf diese Frage unterschiedlich ausfallen.

In behavioristischen Lernansätzen werden Medien als Übermittler von Wissen betrachtet. Der Prozess des Wissenserwerbs wird als Aneignung und Austausch zwischen Individuen verstanden, bei dem Wissen von einer Person über das Medium „in“ die andere Person gelangt. Daher wird diese Sichtweise des Lernens auch als „Kopiermodell“ des Lernens bezeichnet (Abb. 2.2).

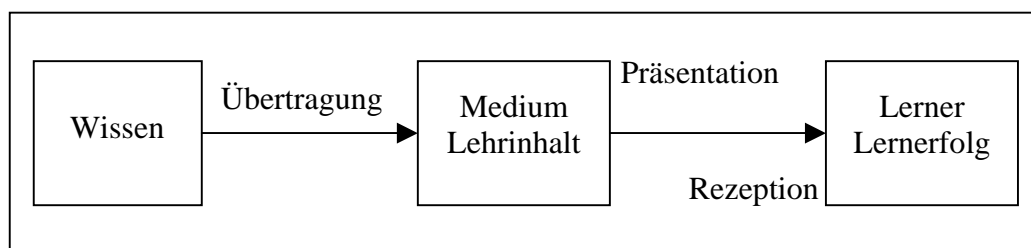


Abb. 2.2: Medien als Übermittler von Lehrinhalten (aus KERRES 2001, 146)

Bei der Sichtweise der Übertragung des Wissens über ein Medium im Sinne einer „Kopie“ muss sich die mediendidaktische Konzeption um eine möglichst fehlerfreie Präsentation von Informationen bemühen. Der Lernerfolg scheint dann besonders groß zu sein, wenn sichergestellt werden kann, dass die Lernenden die Informationen möglichst genau in ihr Gedächtnis aufnehmen.

Im Gegensatz zum „Kopiermodell“ werden Medien in einem didaktischen Modell konstruktivistischer Prägung als Angebote einer sozialen Umwelt verstanden, die bestimmte Lernprozesse möglich machen. Ein Lernerfolg kann sich nur dann einstellen, wenn es gelingt, ein aktivierendes Lernangebot zur Verfügung zu stellen, welches die angestrebten kognitiven und emotionalen Lernprozesse ermöglicht (Abb. 2.3).

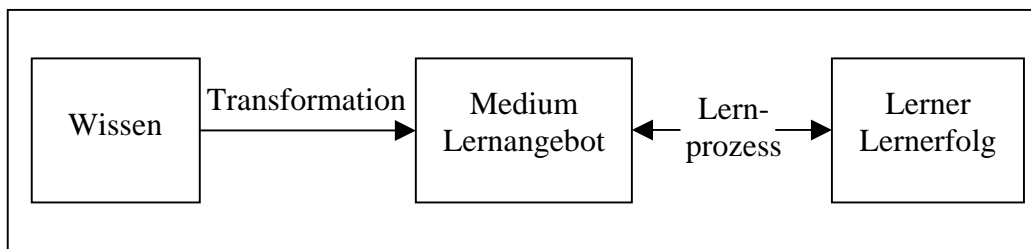


Abb. 2.3: Lernangebote zur Aktivierung von Lernprozessen (aus KERRES 2001, 147)

Im Vordergrund steht der Lernprozess als intensive kognitive Auseinandersetzung mit den Lerninhalten. Das mediale Angebot regt also im Gegensatz zur reinen Rezeption via Lesen, Hören oder Sehen durch Instruktionen zu bestimmten Tätigkeiten an – z.B. zur individuellen oder gemeinsamen Bearbeitung multimedialer Materialien. Wie grundlegende Erkenntnisse der Forschung zum Lernen mit Medien (z.B. PARK & HANNAFIN 1994) zeigen, steigt – gegenüber der reinen Rezeption – auf diese Weise die Intensität der kognitiven und emotionalen Auseinandersetzung mit den Lehrinhalten und gilt als Schlüssel zum Lernerfolg.

2.3.1.2 Forschungsergebnisse zum Wissenserwerb mit Medien

Erkenntnisse der Gedächtnisforschung zur Informationsverarbeitung (ENGELKAMP 1991) unterstützen die konstruktivistische Sichtweise zum Wissenserwerb, da das, was zwischen Lerner und Medium passiert, deutlich offener und weniger determiniert erscheint, als in dem „Kopiermodell“ beschrieben. Von besonderer Bedeutung ist bei der Informationsverarbeitung der Prozesscharakter der Wissensspeicherung. Gedächtnisleistungen vollziehen sich nach ENGELKAMP (1991) nicht im Sinne additiver Informationsaufnahme; sie sind als dynamische Prozesse der Informationsverarbeitung anzusehen. Das Wissen wird von den Lernenden im Rahmen des Lernprozesses (re-) konstruiert und Vorwissen in Form kognitiver Schemata und mentaler Modelle durch die Integration neuer Bedeutungselemente erweitert. Vorhandene Wissensstrukturen sind so ständigen dynamischen Modifizierungen unterworfen. Die Aktivierung von Vorwissen stellt daher, wie lernpsychologische Untersuchungen (FORTMÜLLER 2004, 6) zeigen, einen wesentlichen Erfolgsfaktor beim Erwerb neuen Wissens dar.

Auf dieser Forschungsgrundlage lassen sich wesentliche Eigenschaften eines multimedialen Lernangebotes benennen: Sie sollten zu bestimmten Lernprozessen

anregen und so konzipiert werden, dass die kognitiven und emotionalen Auseinandersetzungen der Lernenden intensiviert werden. Dies kann gelingen, indem Lehrinhalte nicht einfach präsentiert werden, da sonst die Gefahr besteht, dass das bloße Rezipieren von Informationen notwendige Lernprozesse nicht intensiv genug anregt. Bei der Konzeption und Entwicklung von mmL-Objekten sollte darauf geachtet werden, dass Lernprozesse zuverlässig stattfinden. Besondere Bedeutung scheinen daher Möglichkeiten der Interaktivität zuzukommen (vgl. Kapitel 2.4 u. 5.1.1).

2.3.1.3 Wissensorganisation und didaktische Reduktion

Im Rahmen des Wissenserwerbes können Medien neben der Repräsentation von Wissen in Form von Texten, Abbildern, Modellen oder Simulationen die Lernenden und Lehrenden bei der Wissensorganisation unterstützen. Der Verstehensprozess (z.B. komplexer und abstrakter Sachverhalte) ist durch den Aufbau von Ordnungsbeziehungen und Verknüpfungen innerhalb neuen Wissens sowie durch die Reduzierung komplexer Informationen auf relevante Wissensmerkmale (durch die Lernenden selbst) gekennzeichnet (SCHULZ 1999, 11). Organisation und Reduktion neuen Wissens ist mit tiefen Verarbeitungsprozessen verbunden und fördert die intensive kognitive Auseinandersetzung mit dem Lehrstoff. Die bei der Wissenaneignung vollzogene Reduzierung komplexer Informationen führt zur Entwicklung offen strukturierter Wissenseinheiten, die gut erinnert werden und daher für die dauerhafte Speicherung des Wissens von besonderer Bedeutung sind. Wissensorganisation und Reduktion auf relevante Wissensmerkmale kann durch Medien unterstützt werden, die das Verstehen und Behalten beim Lernen erleichtern. Dies kann insbesondere durch das Entfernen von Details, das Hervorheben essentieller Bestandteile sowie einer (Vor-) Strukturierung, z.B. durch Gliederungen, Graphiken, Flussdiagramme und Schaubilder geschehen (BALLSTAEDT 1997).

Eine Strukturierung kann ebenso durch die Unterteilung von Informationen in kleinere Wissenseinheiten vorgenommen werden. Durch interaktive Medien besteht die Möglichkeit diese Segmente so miteinander zu verknüpfen, dass ein nicht sequenzielles Aufrufen und Bearbeiten der Inhalte möglich wird (vgl. Kapitel 7.4). Während die rein sprachliche Darstellung überwiegend lineare Verarbeitungsformen voraussetzt und dadurch den Lernprozess stärker auf eine rezeptive Informationsaufnahme orientiert, eröffnen strukturgraphische Darstellungsformen

selbstgesteuerte Lernwege, indem sie eine Bezugnahme auf das Vorwissen der Lernenden ermöglichen und die reflexive Auseinandersetzung sowohl mit dem Lehr-/Lerninhalt als auch mit eigenen Lernstrategien fördern (vgl. Kapitel 7.4.1).

2.3.1.4 Funktionen von Visualisierungen in mML-Objekten

Forschungsergebnisse liegen vor allem zu Funktionen von Visualisierungen in Verbindung mit Texten vor (vgl. LEVIN *et al.* 1987, SCHNOTZ, 2002, VATH *et al.* 2001). Möglichkeiten effektiver Unterstützung durch Visualisierungen bei der Wissensaneignung mit Texten konnten nachgewiesen werden. Abbildungen können dabei die Aufmerksamkeit lenken, auf Inhalte in Texten hinweisen, Textausagen ordnen, erklären oder leichter erinnerbar machen. Welche Funktionen können Visualisierungen im Rahmen von multimedialen Lehr-/Lernangeboten übernehmen und wie können diese zum Wissenserwerb genutzt werden? Es wird davon ausgegangen, dass Gedächtnisinhalte aus Informationseinheiten bestehen, die durch spezifische Relationen miteinander verknüpft sind. Diese können dann semantische Netzwerke bilden, in denen das Wissen gespeichert wird. Texte eignen sich daher besonders zur Beschreibung von Regeln, abstrakten Begriffen oder Prinzipien (VATH *et al.* 2001; 22). Komplexe Informationen können jedoch nicht nur in Form symbolischer Repräsentationen (wie z.B. der Sprache) als kognitive Schemata erfasst werden, sondern auch in analogen Repräsentationen als mentale Modelle, die auf visuellen Vorstellungen über verschiedene Eigenschaften oder Kausalbeziehungen eines Sachverhaltes basieren. Im Vergleich zu kognitiven Schemata können mentale Modelle vom Gedächtnis leichter verarbeitet werden, so dass im Hinblick auf die Informationsverarbeitung die graphische Darstellung komplexer Sachverhalte wesentliche Vorteile gegenüber der rein sprachlichen Repräsentation besitzt (SCHNOTZ 1993, 247). Ein komplexer Sachverhalt kann dann als „verstanden“ angesehen werden, wenn es Lernenden gelingt, den Sachverhalt kognitiv in Form eines adäquaten mentalen Modells zu repräsentieren (DUTKE 1994, GENTNER & STEVENS 1983, SEEL 1991). Die Konstruktionsaufgabe zur Bildung eines mentalen Modells – z.B. zur Ablösung von Bodenpartikeln durch Regentropfenaufprall – kann durch eine Visualisierung unterstützt werden, indem sie sowohl über die wesentlichen Elemente (Regentropfen, Bodenpartikel, deren Größe, etc.) als auch über das Zusammenspiel dieser

Elemente (Aufprall, Zerschlagen der Bodenpartikel etc.) visuell informiert. In dem Beispiel erscheint wegen der dynamischen Zustandsänderungen eine Visualisierung mit Hilfe einer Animation zum Aufbau eines adäquaten mentalen Modells am geeignetsten (vgl. Kapitel 2.3.3).

Eng verbunden ist diese Konstruktionsfunktion von Visualisierungen mit der Funktion möglichst zutreffende bildhafte Vorstellungen von einem „Gegenstand“ entwickeln zu können. Diese Zeigefunktion zu erfüllen – z.B. zu geomorphologischen Formen oder Landschaftsausschnitten in geologischer Vergangenheit sowie zu Bewegungsabläufen wie etwa äolische Transportmechanismen – ist eine durchaus anspruchsvolle Aufgabe, da es gilt, mit Hilfe der Visualisierung Wichtiges von Unwichtigem zu unterscheiden sowie Charakteristisches hervorzuheben. Empirische Ergebnisse instruktionspsychologischer Forschung (PEECK 1994, 59) zeigen, dass gezielte Hinweise in Textform, in denen auf Bestandteile, Zusammenhänge oder Details einer Visualisierung von Lernenden hingewiesen wird, die Zeigefunktion von Visualisierungen unterstützen. Allgemeine Anweisungen an Lernende ein Bild, eine Abbildung oder eine Animation besonders zu beachten, erzielen dagegen nur sehr geringe Effekte.

Darüber hinaus ist in informierenden und instruktionalen mmL-Angeboten die Situierungsfunktion von Visualisierungen von besonderer Bedeutung. Visualisierungen können einen „kognitiven Rahmen“ beziehungsweise situativen Kontext bereitstellen und beim Betrachter individuelle Situationsvorstellungen hervorrufen. Der Aktivierung persönlicher Erfahrungen wird die emotionale Wirkung von Bildern zugeschrieben und kann die Aktivierung von Vorwissen erleichtern sowie die Motivation steigern.

Die Gestaltung von mmL-Objekten sowie die darin enthaltenen Visualisierungen spielen zur Unterstützung des Lernprozesses eine wichtige Rolle. Welche Gestaltungskriterien tragen zu einer Optimierung ihrer Funktionalität und damit der Lerneffektivität bei? Es stellen sich z.B. Fragen, ob die realistische oder die abstrakte, statische oder bewegte, zweidimensionale oder dreidimensionale Darstellung am wirkungsvollsten ist? Für die Konstruktion von Basis- und Strukturlernmodulen sind darüber hinaus folgende Fragestellungen wesentlich: Welche Segmentierung und Sequenzierung von multimedialen Lernmaterialien sind zum Aufbau mentaler Modelle und damit besseren Verständnisses und Behaltens hilf-

reich? Ist eine schrittweise Präsentation angemessen oder ist die Präsentation einer Makrostruktur geeigneter, die dann stufenweise elaboriert wird?

Aus kognitions- und instruktionspsychologischen Studien lassen sich zur Beantwortung dieser Gestaltungs- und Konzeptionsfragen von mmL-Objekten und -Modulen bis heute lediglich übergeordnete Prinzipien zu Teilaspekten der Konzeption ableiten (Kapitel 2.3.2 und 2.3.3), jedoch keine generellen Aussagen zu Effekten multimedialer Lernangebote treffen.

2.3.2 Allgemeine Gestaltungskriterien multimedialer Lehr-/Lernangebote

Bei der Gestaltung von multimedialen Lehr-/Lernangeboten sind die für das Lernen relevanten Eigenschaften der Nutzer – wie Vorwissen, Motivation, Bereitschaft und Fähigkeiten zum selbständigen Lernen – von besonderer Bedeutung (VATH *et al.* 2001, 10). Werden diese bei der inneren und äußeren Gestaltung der Lernangebote vernachlässigt, so entfalten sie häufig nur eine geringe Lernwirksamkeit (VATH *et al.* 2001, 2).

Unterschiedliche Darstellungscodes können auf ihre Wirksamkeit zur Optimierung der Medienfunktionalität durch kognitionspsychologische Untersuchungen – z.B. zur Verarbeitung von Abbildungen, gedruckten oder gesprochenen Texten – überprüft werden (MAYER 2001, 59). WEIDENMANN (2002b, 88) unterscheidet bei Visualisierungen Darstellungscodes, die dem Betrachter helfen, den abgebildeten Gegenstand im Bild zu erkennen (z.B. durch Perspektive, Schattierung etc.) und Steuerungscodes, die Lernenden helfen, das Lernangebot optimal zu verarbeiten. Typische Steuerungscodes sind Pfeile, Größenverzerrungen oder Umrandungen, die zu Vergleichen anregen sollen oder Lernende dazu veranlassen, Zusammenhänge zu finden und Schlussfolgerungen zu ziehen. Um bestimmte Funktionen der Medien im Lernprozess zu erfüllen, müssen diese „absichtsvoll“ gestaltet sein. So kann z.B. darauf geachtet werden Abbildungen von Ausschnitten (z.B. Landschaftsausschnitte, Ausschnitte geomorphologischer Formen etc.) zu kontextualisieren, indem alternativ eine Gesamtabbildung angeboten wird sowie Visualisierungen so zu gestalten, dass durch Darstellungscodes wesentliche Bestandteile eines Gegenstandes hervorgehoben werden. In instruktionalen Kontexten reicht es nicht aus, realistische Abbilder (z.B. Fotos) eines Gegenstandes zu präsentieren. Empirische Untersuchungen belegen (DIFF 2000), dass Abbildungen

und Visualisierungen häufig nur flüchtig betrachtet und dementsprechend oberflächlich verarbeitet werden, da nach üblichen Sehgewohnheiten die Betrachtenden die Visualisierung mit einem Blick erfassen und vorschnell glauben, den Informationsgehalt damit schon extrahiert zu haben. Bei multimedialen Lernangeboten scheint die Gefahr der oberflächlichen Verarbeitung besonders groß, da Bildschirmmedien mit Unterhaltungserwartungen verknüpft sind. Wesentliche Aufgabe ist es bei der Konzeption und Entwicklung von mmL-Objekten daher, intensive Lern- und Verarbeitungsprozesse anzuregen und damit einer oberflächlichen Rezeption entgegenzuwirken. Gezielte Handlungsaufforderungen zum Umgang mit mmL-Objekten und Möglichkeiten des interaktiven Umgangs mit den Lernmedien können durch die verstärkte Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand die aktive Erarbeitung von Einsichten und Strukturen unterstützen.

2.3.3 Konsequenzen für die Gestaltung von mmL-Objekten

Im folgenden Abschnitt soll untersucht werden, welche Forschungsbefunde aus Bereichen der Psychologie Hinweise auf Gestaltungsprinzipien ermöglichen, die zur Konzeption und Entwicklung von mmL-Objekten in der Geographie herangezogen werden können. Kognitions- und instruktionspsychologische Forschung zur Optimierung von Teilkomponenten von Medien können in diesem Zusammenhang eine praktische Grundlage für eine lerneffektive Gestaltung bieten. Relevante Eigenschaften der Lernenden wie Vorwissen, Lernmotivation, Lerngewohnheiten sowie die Qualität kognitiver Informationsverarbeitung spielen nach einer Vielzahl von Forschungsergebnissen eine entscheidende Rolle (VATH *et al.* 2001 für einen Überblick). Sie bestimmen daher die Konzeption von mmL-Objekten grundlegend. Die Präsentationsform kann darüber hinaus die Motivation der Lernenden und Effizienz im Umgang mit multimedialen Lernangeboten deutlich verbessern (STRZEBKOWSKI & KLEEGERG 2002, 230). Für das graphische Design dienen empirische Befunde der Usability-Forschung als Handlungsempfehlungen. Prinzipien der angemessenen Informationsgestaltung mit Farben, von Fehlermeldungen und Hinweisen sowie der Anordnung von Informationen und Komponenten auf dem Bildschirm werden zusammenfassend bei VATH *et al.* (2001) dargestellt. Eine Reihe von empirischen Studien belegt, dass durch die Integration von Bildern und Diagrammen in Texte eine Lernförderung erreicht werden kann (SCHNOTZ 2002, 68; MAYER 2001, 186). Die Untersuchungen stützen

die Annahme, dass die Art der Darstellung bestimmter Zusammenhänge für die Bildung adäquater mentaler Modelle beim Lernenden ausschlaggebend ist. Mentale Modelle als dynamische individuelle Denkmodelle prägen das Verständnis eines Sachverhaltes; sie sind durch multiple Repräsentationsformen charakterisiert, die sich durch die Art der externen Informationsdarbietung stützen lassen (vgl. Kapitel 2.3.1.4). Damit die Effekte zum Tragen kommen sind allgemeine Kriterien zur Gestaltung von Texten mit Bildern (z.B. Anordnung, Qualität, Informationsdichte, Aussagekraft, Komplementarität zwischen Bild und Text etc.) zu berücksichtigen (Übersichtliche Zusammenfassungen u.a. bei LEVIN *et al.* 1987, MAYER 2001, SCHNOTZ 1994). Gestaltungskriterien sind jedoch lediglich als Orientierungshilfe zu verwenden, da eine mechanische Anwendung einfacher Regeln aufgrund der Vielzahl gegeneinander abzuwägender Gesichtspunkte nicht zum Erfolg führen kann. Die verschiedenen Komponenten von mmL-Objekten sind dagegen systematisch aufeinander zu beziehen. Über die rein intuitive Entscheidungsfindung hinaus können dann multimediale Lernangebote so gestaltet werden, dass psychologische Gesetzmäßigkeiten des Aufbaus von Wissensstrukturen Beachtung finden (vgl. Kapitel 2.3.1.2).

Seit einigen Jahren wird zur Gestaltung von multimedialen Lernangeboten sowie zum Wissenserwerb mit Hilfe von digitalen Medien und deren unterschiedlichen Kombinationen intensiv geforscht. Heute geht es nicht mehr um die Frage, ob Multimedia lernwirksamer ist oder nicht. Es geht vielmehr darum, die Rahmenbedingungen zu bestimmen, wie und warum Kombinationen von Texten, Bildern, Diagrammen, Animationen usw. den Lernerfolg beeinflussen. Übereinstimmende lernpsychologische Forschungsergebnisse bestehen nach langjährigen instruktionspsychologischen Forschungen zu Bedingungen multimedialen Lehrens und Lernens (MAYER 2001) und zusammenfassenden Studien von VATH *et al.* (2001) und WEIDENMANN (2002a) zufolge vor allem hinsichtlich folgender übergeordneter Prinzipien:

- **Multicodalität:** Die Nutzung verschiedener Darstellungsarten und Kombinationen von Medien kann bei den Lernenden eine mentale Multicodierung des Informationsangebotes stimulieren. Durch die kombinierte Verwendung von Texten, Bildern, Animationen etc. in multimedialen Lernumgebungen kann die Motivation, die Entwicklung adäquater mentaler Modelle und damit die Verfügbarkeit und Anwendbarkeit von Wissen

und die Behaltensleistung gefördert werden. Lernende mit geringerem inhaltsspezifischem Vorwissen können dabei einen vergleichsweise höheren Lernerfolg erzielen als Fortgeschrittene mit größerem Vorwissen in einem Sachgebiet. Bei geringerem Vorwissen ist eine multimediale Repräsentation besonders nützlich, da Lernende dann noch nicht in der Lage sind, anhand einer einzigen Form der Informationsdarbietung multiple mentale Repräsentationen zu konstruieren (SCHNOTZ 2002, 72). Die gleichzeitige Präsentation von Texten, Bildern, Diagrammen erfordert jedoch vom Lernenden auch die Fähigkeit, die verschiedenen Formen der Informationsdarbietung adäquat aufeinander zu beziehen. Bedingung für die effektive Nutzung multipler Symbolsysteme sind die Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit schriftlichem Lernmaterial (engl. „verbal literacy“) und im Umgang mit Bildern und Diagrammen, also der piktoralen Lesefähigkeit (engl. „visual literacy“) (PETTERSON 1994, MOORE & DWYER 1994). Je nach Lernkompetenz kann dann die Art der instruktionalen Unterstützung eine lernrelevante Bedingung darstellen (TERGAN 1999, 131). Eine Steigerung des Lernerfolges ist demzufolge an verschiedene Bedingungen des didaktischen Feldes (z.B. Lernkompetenzen der Zielgruppe) gebunden.

- **Multimodalität:** Durch Nutzung zweier Sinnesmodalitäten kann durch die Erhöhung der funktional verfügbaren Arbeitsgedächtniskapazität die Lernleistung verbessert werden. Dies kann durch die gleichzeitige Darbietung von visuellem und auditorischem Material geschehen. Die auditive Darbietung eines Textes und visuelle Darbietung eines Bildes oder Animation kann so zu höherer Lernleistung führen, indem angeleitet durch den auditiven Kommentar, ein Bild, eine Abbildung oder Animation in Ruhe verarbeitet werden kann, da wegen der unterschiedlichen Modalität die Verarbeitung in unterschiedlichen Gehirnzentren erfolgt. Aus didaktischer Sicht hat die audiovisuelle Präsentation jedoch auch Nachteile. Texte können zügig überflogen werden, um festzustellen, ob die Inhalte von Belang sind. Eine audiovisuelle Präsentation ist jedoch zeitabhängig und kann nicht ohne Datenverlust (vor allem Ton) vorgespielt werden. Die Gefahr, dass durch Vorspulen wichtige Informationen übersehen werden, kann reduziert werden, indem kürzere Segmente von Audio- oder Video-

files mit textuellen Überschriften versehen und nacheinander aufgerufen werden.

- **Redundanzen**

Bei zeitgleicher schriftlicher und akustischer Textpräsentation kann es zu Synchronisationsstörungen zwischen dem gesprochenen und dem gelesenen Text kommen, da das Auge durch schnelleres Lesen schon weiter als die Stimme ist, die den Text vorliest. Behaltens- und Transfereffekte sind deutlich besser, wenn der Text entweder nur gesprochen oder nur geschrieben dargeboten wurde (MAYER 2001, 147).

- **Kohärenz**

Das Anreichern mit „interessantem Material“ ist bei „unerfahrenen“ Multimedia-Autorinnen und –Autoren ein beliebtes Gestaltungsmittel zur Steigerung der Lernmotivation¹¹. MAYER (2001, 113) hat jedoch gezeigt, dass Bilder; Animationen oder Geschichten die zwar interessant, jedoch für den konkreten Lehrgegenstand irrelevant sind, zu kognitiven Überlastungen führen, die deutlich niedrigere Behaltens- und Transferleistungen bewirken.

- **Personalisierung**

Ein personalisierender Sprachstil kann in multimedialen Lernangeboten die Lernleistung verbessern. Experimentell konnte nachgewiesen werden, dass ein Sprachstil mit personalisierender Ansprache im Vergleich zu einer rein sachlichen Sprache deutlich bessere Lernergebnisse zur Folge hatte (CLARK & MAYER, 2003, 131).

- **Prinzip der räumlichen Nähe (Kontiguitätsprinzip)**

Zusammengehörende Texte und Abbildungen sind nahe beieinander zu platzieren. Textliche Erläuterungen, die erst auf einer anderen Bildschirmseite wiedergegeben, werden haben deutlich schlechtere Lernresultate zur Folge als Text und Bild in unmittelbarer Nähe. Die Variante der direkten Integration von Erläuterungen in Abbildungen zeigt die besten Lernresultate (MAYER 2001, 89).

- **Animationen:** Animationen bieten im Vergleich zu Standbildern die Möglichkeit zur Visualisierung von komplexen Abläufen und Prozessen, die

¹¹ Die Erfahrung konnte ich im Rahmen einer Lehrveranstaltung zur Entwicklung multimedialer Lehr-/Lernmodule in der Hydrologie (Wintersemester 2004/05) machen, bei der Studierende an der Produktion der Module beteiligt waren.

durch eine Sequenz von statischen Einzelbildern nur unzulänglich dargestellt werden könnten (MAYER 2001, 136; WEIDENMANN 2002b, 95) und sind daher zur Visualisierung physisch-geographischer Prozessabläufe von besonderer Bedeutung. Eindeutige Vorteile liegen bei der Visualisierung durch Animationen in der Möglichkeit unsichtbare Zusammenhänge (z.B. von Evapotranspiration und Grundwasserneubildung oder Bodenspeicherkapazität und Oberflächenabfluss) sowie Prozesse, die in Bruchteilen von Sekunden (z.B. Splash-Effekt) oder extrem langsam ablaufen (z.B. Gebirgsbildungsvorgänge), darstellen zu können. Darüber hinaus lassen sich kausale Modelle komplexer Verhaltenssysteme (z.B. Zusammenspiel von eustatischen und isostatischen Meeresspiegelschwankungen) visualisieren oder Sachverhalte durch visuelle Analogien (Wasserspeicherung in einem Schwamm als Analogie zur Speicherung im Boden) veranschaulichen. Belegt ist jedoch auch, dass bewegte Bilder zu kognitiver Überlastung (engl. „cognitive overload“,) und damit unzulänglicher Verarbeitung führen können (MAYER 2001, 49). Geeignete Maßnahmen, wie die Möglichkeit einer Selbststeuerung der Abspielgeschwindigkeit oder eine mentale Vorbereitung der Lernenden, können das Risiko mindern. Durch die starke Aufmerksamkeitssteuerung von Bewegungen auf dem Bildschirm kann die Lerneffizienz durch unnötige Animationen (bewegte oder blinkende Elemente) gesenkt werden. Daher sollte nach VATH *et al.* (2001, 42) der motivational-dekorative Aspekt von Animationen und Bildern auf thematische Eingangsseiten oder Startsequenzen beschränkt werden.

- **Begrenzte Handlungsalternativen:** Aufgrund der begrenzten Informationsverarbeitungskapazität sollten sich Nutzer möglichst weniger mit der Handhabung als mit den Inhalten eines Lernangebotes beschäftigen. Um der Gefahr der kognitiven Überlastung in multimedialen Lernumgebungen entgegenzuwirken, wird empfohlen, Möglichkeiten der Steuerungsinteraktivität (vgl. Kapitel 2.4.2) auf jeder Hierarchieebene (mmL-Objekte, Basis- und Strukturmodule) gezielt zu begrenzen (VATH *et al.* 2001, 33). Das Risiko einer Beeinträchtigung der Motivation und des Wissenserwerbs kann damit vermindert werden.

Die zitierten Untersuchungen zur Gestaltung von multimedialen Lernangeboten und ihres Einsatzes sind stark psychologisch orientiert. Die oben zusammengefasst übergeordneten Gestaltungsprinzipien sollten als Kriterien zur Entwicklung von mmL-Objekten und Modulen herangezogen werden. Sie müssen aber in einen größeren Kontext gestellt werden, denn kognitive Prozesse werden stark durch die Methode, d.h. durch die implizite didaktische Strategie und Strukturierung der Lehrinhalte in einem mmL-Objekt, beeinflusst (WEIDENMANN 2002a, 59). Möglichkeiten zur Unterstützung aktiver Lernprozesse in multimedialen Lehr-/Lernangeboten als Grundvoraussetzung für das Lernen sind vergleichsweise wenig untersucht (VATH *et al.* 2001). Ein Schlüssel zur Aktivierung von Lernprozessen in mmL-Angeboten besteht in den Interaktionsmöglichkeiten von digitalen Medien. Über die Anwendungsbedingungen von Interaktivität existieren nur wenige Arbeiten. Aufgrund der zentralen Bedeutung der Interaktivität in mmL-Objekten und Modulen sollen daher im folgenden Kapitel verschiedene Kategorien und Funktionen von Interaktivität intensiver untersucht werden.

2.4 Die Bedeutung der Interaktivität beim Lernen mit mmL-Objekten und -Modulen

Im Zusammenhang mit mmL-Angeboten wird Interaktivität als entscheidendes Merkmal für die Wirksamkeit von Lernprogrammen genannt (SCHULMEISTER 2002, 324) und neue Formen der Interaktivität als wesentlicher Mehrwert von Multimedien identifiziert (KERRES 2001, 100). Gleichzeitig wird auf den unterentwickelten Stand der Interaktivität in Lernprogrammen und die Schwierigkeit der Entwicklung von lerneffektiver Interaktivität in webbasierten mmL-Angeboten hingewiesen. Interaktionen kommen meist nicht über die Möglichkeit des „Durchklickens“ einer Text- und Bildserie hinaus (SCHULMEISTER 2002, 323) und entfalten so keinen Mehrwert gegenüber „klassischen Medien (z.B. einem Lehrbuch). Aus technischer Sicht sind – wenn auch aufwendiger – heute Interaktionen wie die freie Informationsauswahl über Auswahlmenüs, sensitive Schaltflächen, der interaktiven Steuerung von Animationen bis hin zu Daten- und Visualisierungsmanipulationen möglich. Entscheidend ist für die Konzeption und Entwicklung von mmL-Angeboten die Frage, welche Art der Interaktivität den Lernprozess in welcher Weise unterstützt?

Durch Interaktionen in mmL-Angeboten soll entsprechend den Grundfunktionen des Lehrens im konventionellen Unterricht (Motivieren, Informieren, Verstehen fördern, Behalten fördern, Transfer fördern und den Lernprozess organisieren und regulieren; KLAUER 1985) die Unterstützung von Lernprozessen angestrebt werden. Nach NIEGEMANN (2003, 152) ist *„Interaktivität, die keine dieser Funktionen unterstützt wahrscheinlich überflüssig, wenn nicht kontraproduktiv.“* Die unterschiedlichen Funktionen erfordern verschiedene Kategorien von Interaktivität. Die aktive Organisation des Lernprozesses erfordert beispielsweise Interaktionen, die wahlfreien Informationszugriff gewähren oder die eine individuelle Strukturierung der Lernmaterialien ermöglichen. Das Verstehen und Behalten kann dagegen durch Möglichkeiten der direkten Manipulation von Lernobjekten (z.B. durch das Variieren der Präsentationsform) gefördert werden. Die Beispiele verdeutlichen, dass unter Interaktivität völlig unterschiedliche Handlungsfreiheiten und Handlungsformen verstanden werden können. Daher ist es notwendig, einen eindeutigen Kategorierahmen zu entwickeln, der die Einordnung und Bewertung von Interaktivität in Bezug auf mmL-Objekte und Module ermöglicht.

2.4.1 Kategorisierung von Interaktivität

Das INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE 2002) definiert in seinem Metadatenkatalog Lernobjekte (Learning Objects Metadata, LOM) nach folgenden Interaktivitätscharakteristika:

- Typ der Interaktivität (engl. „Interactivity Type“): Durch die standardisierten Begriffe „aktiv“ (engl. „active“), „erklärend“ (engl. „expositive“) und „gemischt“ (engl. „mixed“) werden die Lernobjekte nach der Interaktion (Interaktionsrichtung) zwischen Medien und Nutzer eingeteilt. „Aktive“ Lernobjekten zeichnen sich durch Zugriffsmöglichkeiten auf die Medien aus und werden durch aktives Handeln oder die Möglichkeit von semantisch bedeutsamen Eingaben charakterisiert („learning-by-doing“). Bei Lernobjekten mit „erklärendem“ Charakter besteht ein Informationsfluss lediglich vom Medium zum Nutzer, der den Inhalt rezeptiv aufnehmen kann („learning-by-reading“). Darunter wird auch die Navigation in Hypertextdokumenten subsumiert.
- Typ der Lernressource (engl. „Learning Ressource Type“): In der Kategorie werden Lernobjekte durch nicht-standardisierte Begriffe in nominaler

Einteilung beschrieben. Beispiele sind: Diagramm, Abbildung, Graphik, Übung, Simulation, Fragebogen etc.

- Interaktivitätsniveau (engl. „Interactivity level“): Es beschreibt den Grad der Interaktion zwischen Medium und Nutzer auf einer ordinal eingeteilten Skala von „sehr gering“ bis „sehr hoch“.

Der praktische Nutzen der Kategorisierung nach dem LOM-Standard erscheint für die systematische Konzeption von mmL-Objekten gering, da die Einordnung von Lernmaterialien vor allem den subjektiven Eindruck der Entwickler wiedergibt. Der eine Autor stuft – z.B. vor dem Hintergrund der Häufigkeit der Interaktion – das Interaktivitätsniveau eines Lernobjektes als sehr hoch ein. Ein anderer sieht dagegen die Qualität der Interaktion im Vordergrund, ein dritter gewichtet den medialen Charakter eines Lernobjektes stärker.

Offensichtlich fehlen dem LOM-Standard qualitative Kriterien, die eine objektivere Kategorisierung ermöglichen. Soll Lernen nach Prinzipien der Eigenaktivität der Lernenden und damit individuellen mentalen Konstruktionsprozessen sowie weitgehender Selbststeuerung der Lernprozesse stattfinden, so wird deutlich, dass Lernen mit umfangreichen Aktivitäten der Lernenden verbunden ist. Wenn durch den Umgang mit mmL-Objekten und -Modulen bedeutende Lehrziele im kognitiven und affektiven Bereich angestrebt werden, dann ist ein gewisser Grad anspruchsvoller „Interaktivität“ notwendig. Nach Untersuchungen traditioneller Lernformen zeigt sich beim Vergleich von Lehrveranstaltungen mit hohem passiv-rezeptiven Anteil – wie es z.B. in Vorlesungen der Fall ist – mit Lehrveranstaltungen, die aktive und expressive Tätigkeiten der Lernenden einfordern (Präsentationen, Diskussionen, eigenes Problemlösen, direktes Lernen in einer Arbeitsumgebung), ein deutliches Bild: Je größer der passiv-rezeptive Anteil im Lernprozess, desto schwächere Lernleistungen werden erreicht. Aktive Tätigkeiten fördern dagegen die Bildung tiefer Wissensstrukturen und die Verinnerlichung von erworbenen Fertigkeiten (DÖRING 1991, 88). Schulmeister (2003, 207) betont die Bedeutung des aktiven Umgangs mit Lernobjekten zur Aktivierung von Denkprozessen, die „*der Lerner in Manipulationen der Lernobjekte realisiert.*“ Er schlägt eine Einteilung von sechs Interaktionsniveaus vor, die im Vergleich zur Einteilung der IEEE um eine objektivere Bewertung der einzelnen Interaktionsstufen bemüht ist. Die Interaktionskonzepte der verschiedenen Kategoriestufen

werden im Folgenden anhand von Beispielen verdeutlicht, die von mir im Rahmen dieser Arbeit konzipiert und entwickelt wurden¹².

Stufe 1: Objekte betrachten und rezipieren

Multimediale Objekte der Stufe 1 können betrachtet (Bilder, Graphiken) und abgespielt werden. Die Aktion des Auslösens, wie z.B. das Abspielen einer Animation, wird von SCHULMEISTER noch nicht als Interaktion angesehen, da das multimediale Objekt selbst keine Veränderung erfährt. Erst dann könne von Interaktivität gesprochen werden, wenn sich entweder Darstellungsform oder Inhalt eines Objektes ändern.

Stufe 2: Multiple Darstellungen betrachten und rezipieren

Wie in Stufe 1 kann der Nutzer die fertigen Multimedia-Komponenten lediglich betrachten. Auch hier dienen sie der Information oder Illustration. Der Unterschied zu Stufe 1 besteht in der Möglichkeit, von einem Objekt verschiedene Darstellungsformen abzurufen – wie z.B. eine Animation des Sandtransportes in Zeitlupe abzuspielen (Abb. 2.4) – oder über ein Menü an eine bestimmte Stelle in der Animation zu springen (siehe z.B. Steuerungsmenü der Animation zur Kontinentaldrift, Abb. 2.5).

¹² Bei mmL-Objekten, die in Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Hilfskräften entstanden, werden die Entwickler ausdrücklich genannt.

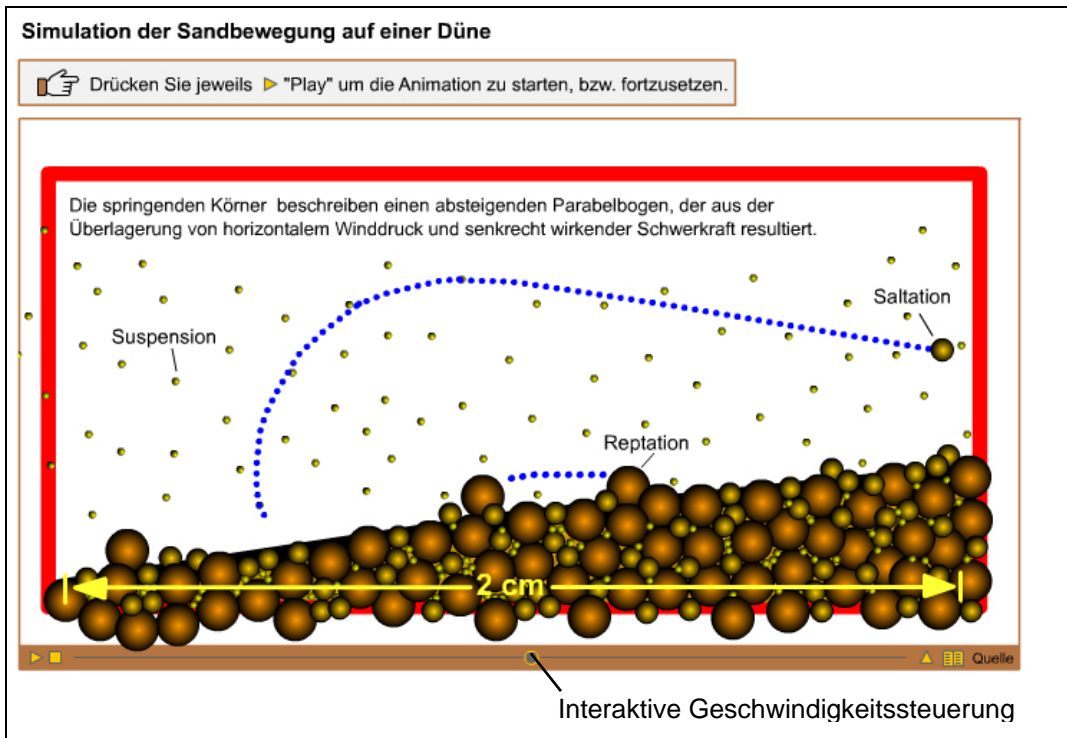


Abb. 2.4: Interaktive Geschwindigkeitssteuerung der Animation zum Sandtransport (mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Lernmodul „Dünenbewegung“¹³, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_009;3)

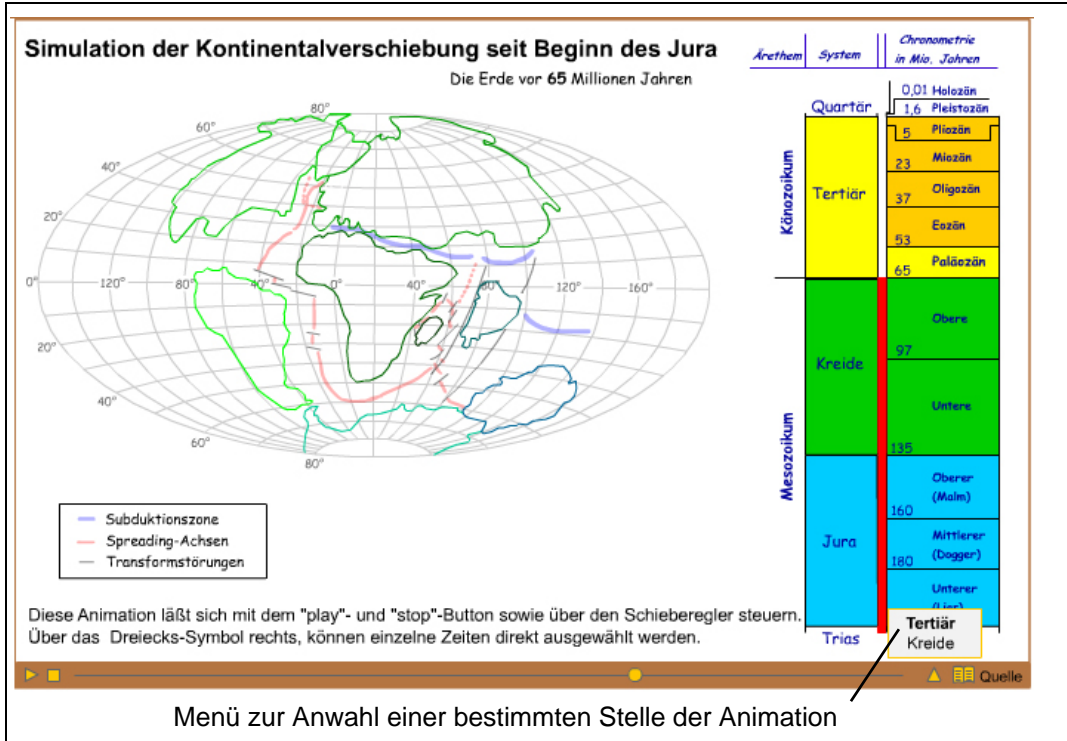


Abb. 2.5: Interaktive Anwahlmöglichkeit bestimmter Stellen in der Animation (mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Lernmodul „Plattentektonik“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_007;1).

¹³ Umsetzung der Konzeption der mmL-Objekte Abb. 2.4 u. 2.5 in Flash durch R. Ziegler.

Stufe 3: Die Repräsentationsform variieren

Die Möglichkeit der direkten Einflussnahme auf das multimediale Objekt durch Skalieren oder Rotieren sieht SCHULMEISTER als bedeutsam für die Motivation der Lernenden an. Eine dreidimensionale Grafik der Erdkugel, die durch Mausklick und –bewegen rotiert und durch Tastatureingaben skaliert werden kann (Abb. 2.6), fielle in die 3. Interaktivitätsstufe, bei der nur die Darstellungsform aber nicht der Inhalt des Lernobjektes verändert werden kann.

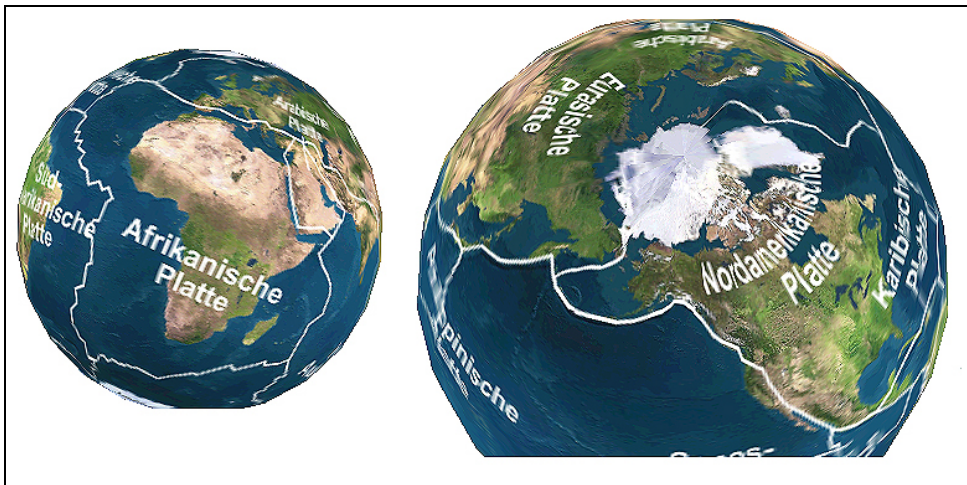


Abb. 2.6: Manipulation des 3D-Erdkugel-Objektes. Links die Ausgangsposition, rechts eine gedrehte und vergrößerte Ansicht

(mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Lernmodul „Plattentektonik“,
http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_007;1).

Stufe 4: Den Inhalt der Komponente modifizieren

Durch Nutzereingaben von Daten oder Variieren von Parametern eines Modells werden dazugehörige Visualisierungen erst erzeugt. Relationen eines Modells werden für den Nutzer sichtbar („verständlich“) gemacht. Ein Beispiel für diese Interaktivitätsstufe ist ein Teilbereich der Landnutzungssimulation zur Bodenerosion (Abb. 2.7). Dateneingaben (Wahl der Fruchtfolge) erzeugen andere Darstellungen (Karte mit Erosionsraten) und visualisieren so bodenerosionspezifische Relationen. Die Nutzer können ihre eigenen kognitiven Konzepte überprüfen und durch die Interaktion verifizieren. Auf diese Weise kann die Methode erkenntnisstiftende Funktionen für Denkprozesse übernehmen.

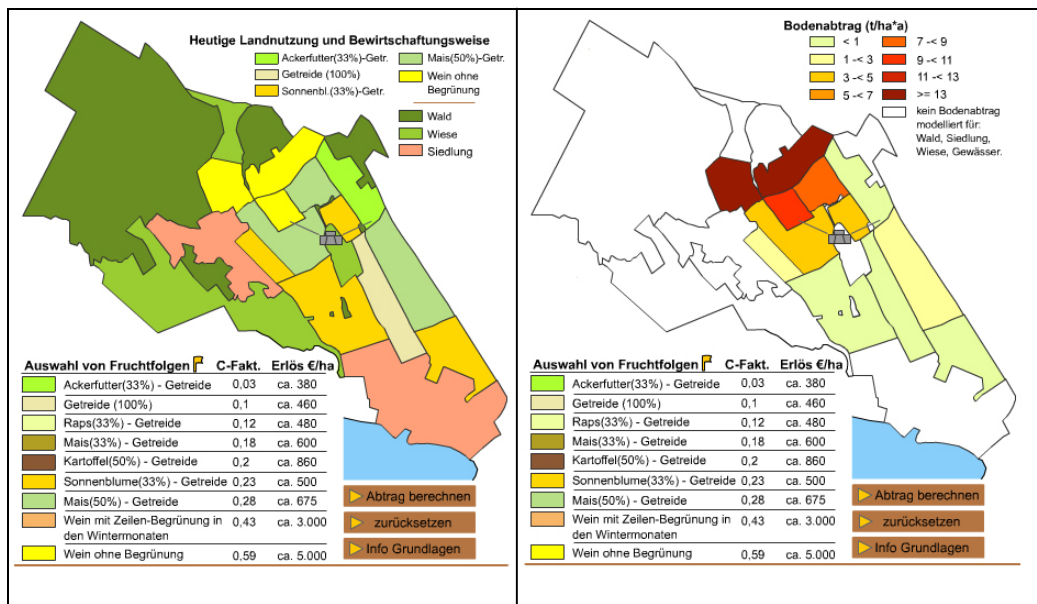


Abb. 2.7: Zwei thematische Karten erzeugt durch Parameterwahl und Modellberechnung. Auf Grundlage der Fruchtfolgenwahl (Dateneingabe, links) wird für ein Einzugsgebiet der Bodenabtrag berechnet und in der Karte (rechts) dargestellt (mmL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Landnutzungssimulation auf Grundlage eines Bodenerosionsmodells“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_037;1).

Stufe 5: Das Objekt bzw. den Inhalt der Repräsentation konstruieren

Auf der Interaktionsstufe können Objekte selbst kreiert, Ideen visualisiert und mit Hilfe von Werkzeugen konstruiert werden. SCHULMEISTER (2003, 215) sieht hier vor allem Möglichkeiten für wissenschaftliche Domänen wie der Mathematik, in denen die Objekte gut definierbar sind (geometrische Figuren, Abb. 2.8).

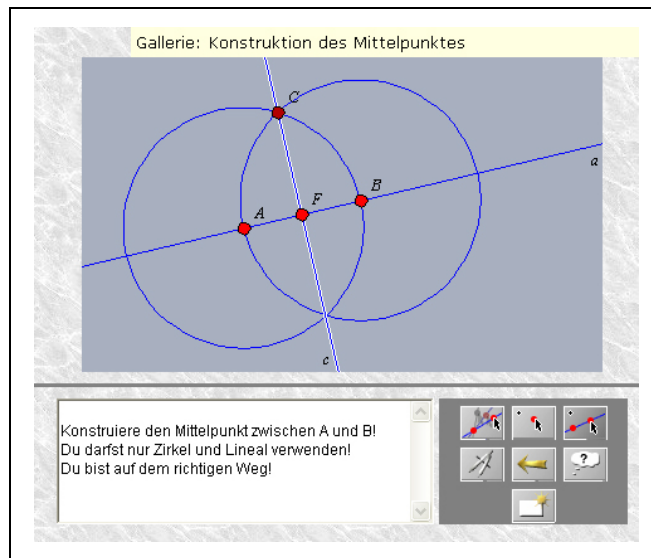


Abb. 2.8: Anwendung zur Konstruktion von geometrischen Figuren (im Beispiel: Konstruktion eines Mittelpunktes (RICHTER-GEBERT & KORTENKAMP 2002)

(<http://antique.cinderella.de/de/demo/gallery/midpoint.html>) (Zugriffsdatum 21.07.2005)

In dem von mir entwickelten Objekt können Nutzer ihre eigene Vorstellung des Wirkungszusammenhanges von Winderosion, Niederschlag und Vegetation visualisieren (Abb. 2.9).

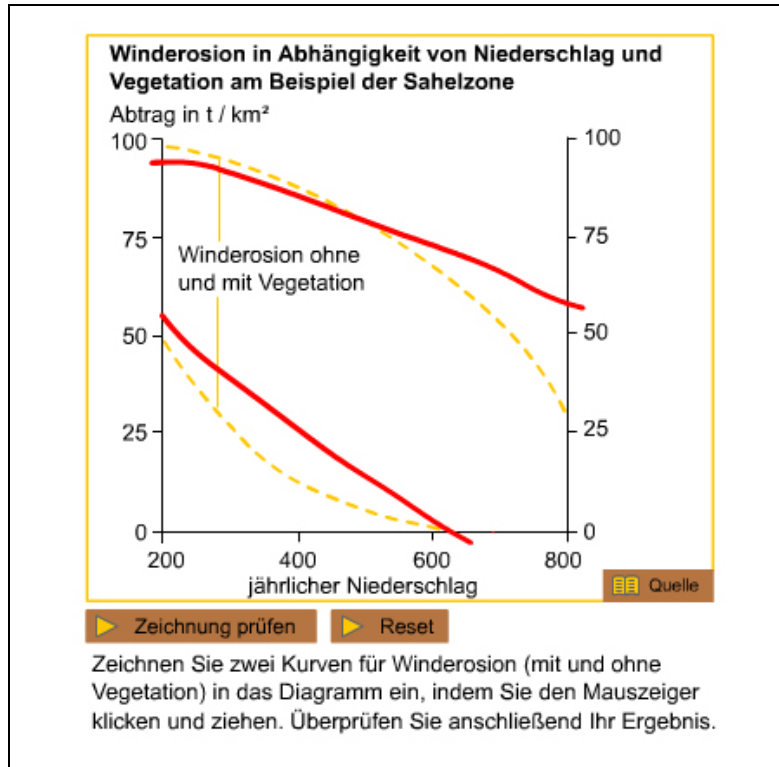


Abb. 2.9: Diagramm zum Einzeichnen von Winderosionsraten durch den Nutzer (Die roten Linien sind von einem Nutzer eingezeichnet worden. Nach der Bearbeitung wird das Ergebnis mit der Lösung verglichen.) (mmL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Bodenerosion – ein Weltproblem“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030;1)

Stufe 6: Das Objekt konstruieren und Rückmeldung erhalten

Interaktivität auf dieser Stufe bedeutet den bedeutungsvollen Austausch symbolischer Inhalte zwischen dem Computer bzw. der Lernsoftware und dem Nutzer, indem Aktionen ausgeführt werden, die das Programm „verstehen“ und auf die es mit entsprechend „intelligenten“ Rückmeldungen antworten kann. Diese Interaktivitätsstufe ist bisher nur in Grundzügen und innerhalb eingeschränkter Bereiche erreicht.

In den höheren Interaktionsniveaus sieht SCHULMEISTER (2003) durch den „vielfältigeren Ereignisraum“ (technische Benutzerhandlungen und Programmabläufe) und „variantenreicheren Darstellungsraum“ (Repräsentationsschicht) einen anwachsenden „Bedeutungsraum“ (symbolische Schicht des Multimediaobjektes,

der die „symbolischen Botschaften des Autors“ und „sinntragende Mitteilungen der Software“ beinhaltet). Eine qualitative Skalierung ist meines Erachtens auf dieser Grundlage jedoch schwierig, da in der Kategorisierung eine gewisse Implikation liegt: Je höher die Interaktivitätsstufe, desto effektiver auch seine lernpsychologische Wirkung. Dieser Zusammenhang ist vor dem Hintergrund der in der Arbeit durchgeführten praxisnahen Reflexion (Kapitel 10.3) jedoch nur dann gegeben, wenn konkrete Aufgabenstellungen mit den Interaktionen verbunden werden, die die Aktivierung von Denkprozessen auch tatsächlich anregen und sicherstellen (vgl. 5.1.1).

Nach SCHULMEISTER (2003) ist bei der Skalierung der Interaktivität ein weiterer Punkt beachtenswert. Er trennt strikt zwischen Navigation und Interaktivität. „*Die Navigation dient lediglich zum Steuern des Ablaufs oder zum Wechseln des Displays*“ (SCHULMEISTER 2003, 209). Nur dann könne von interaktiven Lernangeboten gesprochen werden, wenn interaktive Objekte im Sinne der Kategorisierung enthalten seien. Die motivierende Wirkung der eigenständigen Informationsauswahl wird in diesem Zusammenhang nicht bedacht. Tiefe Wirkung kann durch Interaktivität nicht nur im kognitiven, sondern auch im motivationalen Bereich erreicht werden (SCHANK 1994, 69).

Als Schlüsselkomponente des computerunterstützten Lernens sehen STRZEBKOWSKI & KLEEGERG (2002, 232) die Möglichkeit der Individualisierbarkeit von Lernprozessen. Navigationsinteraktionen zur selbstgesteuerten Informationsauswahl spielen in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle.

2.4.2 Steuerungs- und didaktische Interaktionen

Interaktionen von Lernenden mit computerbasierten Medien können nach STRZEBKOWSKI & KLEEGERG (2002, 232) in Steuerungsinteraktionen und didaktische Interaktionen unterteilt werden. Zum Bereich der Steuerungsinteraktionen gehören die Navigations- und Systemfunktion wie die Auswahl des eigenen Lernweges, die Steuerung der Wiedergabe von Animationen oder die Auswahl der Inhalte und Präsentationsformen. Steuerungsinteraktionen leisten daher einen wichtigen Beitrag zur Individualisierung des Lernprozesses. Lernende können nach individuellen Bedürfnissen (zur Vorbereitung einer Klausur, zur Vertiefung eines Stoffgebietes oder um sich einen Überblick über Lehrinhalte zu verschaffen)

auf das mmL-Angebot zugreifen. Steuerungsinteraktionen beziehen sich in diesem Zusammenhang auf das Informationsmanagement. Lerninhalte, -geschwindigkeit und -intensität können selbstständig bestimmt werden. Den Lernprozess betreffende Steuerungsinteraktionen ermöglichen daher die Aneignung von Selbststeuerungskompetenzen. Diese werden auch Schlüsselqualifikationen genannt (PETSCHENKA & KERRES 2004, 57). Rezeptionspsychologisch bieten Interaktionen zur selbständigen Informationsauswahl und -steuerung einen großen Vorteil gegenüber einer so genannten Push-Präsentation, die von Lernenden nicht beeinflusst werden kann (WEIDENMANN 2002b, 96). Bei einem mmL-Angebot mit Pull-Funktionen werden die multimedial aufbereiteten Inhalte nicht auf einmal präsentiert. Sie können bei Bedarf selbstgesteuert abgerufen werden. Zu einem Bild kann dann z.B. ein Text oder eine Animation individuell herangezogen (engl. „pull“) werden (Abb. 2.10). Kognitive Überlastung aufgrund zeitgleicher Präsentation einer zu großen Informationsfülle ist dadurch vermeidbar.

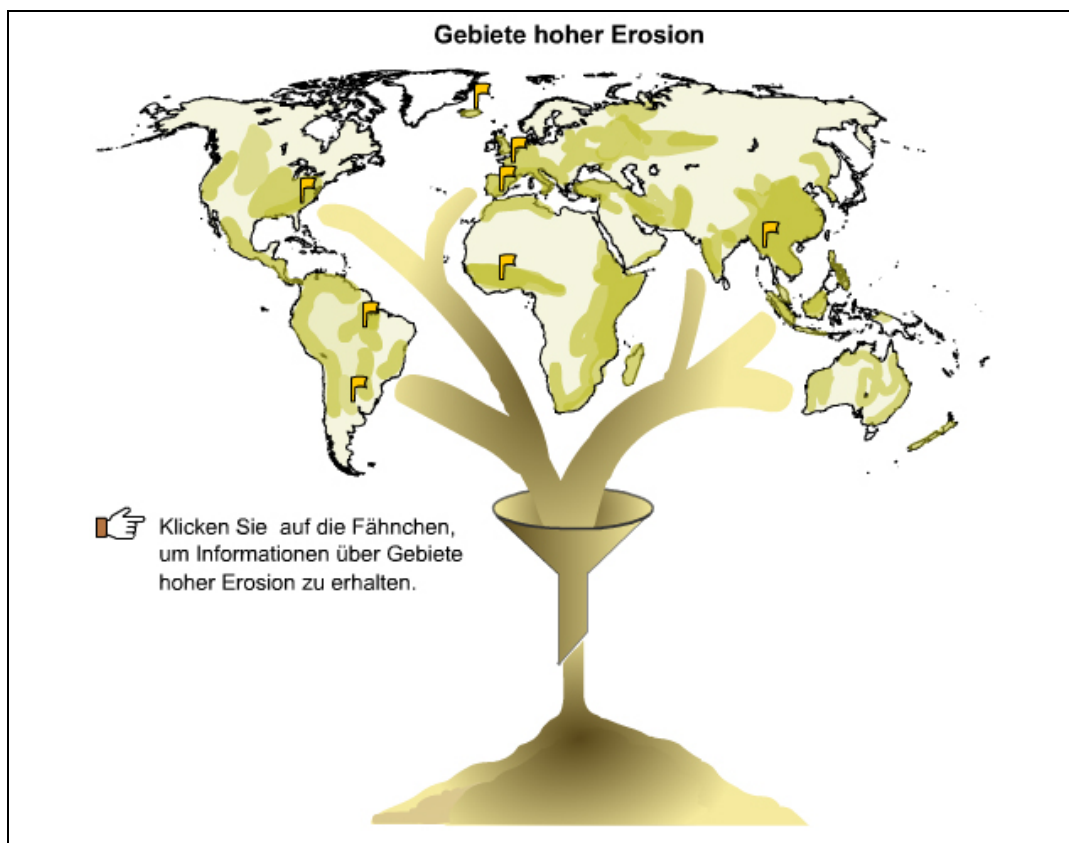


Abb. 2.10: Interaktive Abbildung der Startseite des WEBGEO-Lernmoduls „Bodenerosion – ein Weltproblem“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030

Bei der interaktiven Abbildung können zusätzliche Informationen und Abbildungen durch Anklicken der Fähnchen aufgerufen werden. Die gleichzeitige Präsentation aller zur Verfügung stehenden Informationen würde die Wirkung der Karikatur herabsetzen und eine zu große Informationsfülle hervorrufen.

Didaktische Interaktionen unterstützen direkt den Erkenntnisprozess (STRZEBKOWSKI & KLEEGERG 2002) und werden z.B. in

- Modellen und Simulationen durch Steuerung – auch per Daten oder Parametereingabe,
- durch Modifikation vorhandener Daten und Lernwege,
- durch Möglichkeiten der Eingabe komplexer Antworten auf komplexe Fragestellungen oder Mehrworteingabe mit logischen Operatoren z.B. bei GIS-(Geographische Informationssysteme) basierten Datenabfragen
- oder durch Kreation neuer Daten oder Objekte

realisiert.

Die vorgestellten didaktischen Interaktionsformen beziehen sich demnach auf die aktive kognitive Auseinandersetzung mit den Inhalten und zielen auf einsichtsvolles, bedeutungsvolles und entdeckendes Lernen.

Die Grenzen der von STRZEBKOWSKI & KLEEGERG (2002) vorgestellten Interaktionskategorien sind fließend. Steuerungsinteraktionen, wie das freie Navigieren innerhalb einer Hypertextumgebung, können z.B. durch Kommentare, die vom System zur Unterstützung angeboten werden und zu den didaktischen Interaktionen gehören, ergänzt werden.

Die beschriebenen Charakteristika der didaktischen Interaktionen (Variieren, Modifizieren, Konstruieren etc.) zeigen eine hohe Übereinstimmung mit den Beschreibungen der Interaktivitätsstufen bei SCHULMEISTER (2003), erfahren jedoch keine qualitative Bewertung durch Skalierung in unterschiedliche Interaktionsniveaus.

2.4.3 Resümee

Der Begriff „Interaktivität“ beschreibt im Rahmen der vorliegenden Arbeit Interaktionen zwischen Lernenden und webbasierten mmL-Objekten im Sinne der „learner-content interactivity“ nach MOORE (1992) (vgl. Kapitel 2.1.2). Ansätze zur Taxonomie der Interaktivität von SCHULMEISTER (2003) und die Kategorisierung von STRZEBKOWSKI & KLEEGERG (2002) bilden die Grundlage zur Entwicklung einer Kategorisierung von webbasierten Interaktionskomponenten in der Geographie. Sie werden zusammen mit Ansätzen zur GIS-gestützten geographischen Informationsverarbeitung (vgl. Kapitel 4.1.1) für die in Kapitel 5.1.2. vorgestellte konzeptions- und entwicklungsorientierte Einteilung von mmL-Objekt-komponenten herangezogen.

Folgende Merkmale von Interaktivität sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit von besonderer Bedeutung:

- Interaktivität zielt auf die Unterstützung von Lernprozessen. Durch Interaktivität werden Funktionen wie Motivieren, Informieren, Verstehen fördern, Behalten fördern, Transfer fördern und den Lernprozess organisieren und regulieren, angestrebt.
- Interaktivität eröffnet Handlungsmöglichkeiten mit mmL-Objekten sowie eine freie Informationsauswahl.
- Es kann in Interaktionen zur Informationsauswahl und Steuerung von mmL-Objekten (Steuerungsinteraktionen) und Interaktionen, die direkt den Erkenntnisprozess durch Modifizieren der inhaltlichen Ebene von mmL-Objekten unterstützen (didaktische Interaktionen) differenziert werden.
- Nicht die Häufigkeit der Interaktionen (z.B. wiederholtes Abspielen einer Animation), sondern die durch die Interaktion bedingte Intensität der kognitiven Auseinandersetzungen (mentalen Anstrengung) mit den Inhalten sind in Lehr-/Lernkontexten von besonderer Bedeutung.

Die vorgestellten mediendidaktischen Theorien und Gestaltungskriterien bilden die wissenschaftliche Fundierung für die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Möglichkeiten, die wesentlichen Komponenten für die Konstruktion von mmL-

Objekten systematisch aufeinander zu beziehen und in einem Modell zum Didaktischen Design zusammenzuführen. Den Ausgangspunkt bilden dafür die im anschließenden Kapitel beschriebenen fachdidaktischen und fachwissenschaftlichen Grundlagen der in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Beispiele.

3 Geomorphologische Prozesse und ihre Modellierung in internetbasierten Lernumgebungen

Die Anforderungen an ein Medium ergeben sich aus der Spezifikation der angestrebten Zielsetzungen. Im Planungsprozess sollten daher lehr-/lernorganisatorische Zielsetzungen und fachinhaltliche Ziele (Lehrziele) – vor der Entwicklung – klar definiert werden. Möglichkeiten zur Einbindung und Kombination entwickelter webbasierten Lehr-/Lernmaterialien wird anhand aufgeführter Beispiele exemplarisch in Kapitel 8 vorgestellt. Fachdidaktische und fachwissenschaftliche Grundlagen und Zielsetzungen bei der Konzeption und Entwicklung webbasierter mL-Angebote werden im folgenden Kapitel beschrieben. Theoretische (Vor-)Überlegungen zur didaktischen und methodischen „Vereinfachung“ werden dabei auf webbasierte Lehr-/Lernangebote für die Grundausbildung in Physischer Geographie (Geomorphologie) bezogen.

3.1 Zur Frage der didaktischen und methodischen „Vereinfachung“

Fachdidaktische und fachwissenschaftliche Entscheidungsprozesse sind bei der Konzeption von Lehr-/Lernmaterialien eng miteinander verzahnt. Die Entwicklung von Modellierungen und Visualisierungen für Lehr-/Lernsituationen sind unmittelbar auch didaktisch-methodische Handlungen. Entscheidungen zur Auswahl und dem Arrangement der Lehrinhalte sind zentrale Schritte im Konzeptions- und Entwicklungsprozess. Die Auswahl der Inhalte und Entscheidungen über ihre Repräsentation können unter dem Begriff „didaktische Reduktion“ zusammengefasst werden. Bei didaktischen Reduktionen handelt es sich um eine qualitative und/oder quantitative Beschränkung des Lehrstoffes mit dem Ziel

Sachverhalte überschaubar und begreifbar darzustellen. Die Notwendigkeit zur didaktischen Reduktion entsteht vor allem aus

- der Fülle und der Differenziertheit des Wissensumfanges. In diesem Fall ist die Auswahl bestimmter Einzelheiten bzw. eine Schwerpunktbildung notwendig, die sich auf das Wesentliche und Elementare beschränkt.
- der Komplexität, Vielschichtigkeit und Variabilität des Sachverhaltes. Eine Reduktion kann hier durch das Herausarbeiten von grundlegenden Strukturen, Merkmalen, Ordnungsmustern und dominanten Faktoren stattfinden.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, bis zu welchem Grad reduziert werden kann und soll? Wo liegt die Grenze zwischen einer noch zulässigen Vereinfachung und unzulässiger Simplifizierung?

Der pädagogische Diskurs zur „Vereinfachung“ im Bereich technisch-naturwissenschaftlicher Fächer (KAHLKE & KATH 1984, 14) wurde von HERING (1959) wieder in die wissenschaftliche Diskussion zurückgebracht, der in seiner Publikation Vereinfachungsgrundsätze zu einer Hypothese der „didaktischen Vereinfachung“ zusammengefasst hat: „*Didaktische Vereinfachung einer wissenschaftlichen Aussage ist der Übergang von einer (in die besonderen Merkmale des Gegenstandes) differenzierten Aussage zu einer allgemeinen Aussage (gleichen Gültigkeitsumfangs über den gleichen Gegenstand unter gleichem Aspekt.)*“ (HERING 1959, 47; bei KAHLKE & KATH 1984, 56).

Die Grenze der Vereinfachung sieht Hering in der Wahrung der Sachtreue. Diese sei dann gegeben, wenn die „einfache, allgemeine und gültige Aussage ... widerspruchsfrei den Schritt zur komplizierten (in die besonderen Merkmale des Gegenstandes differenzierten) und gültigen Aussage“ (bei KAHLKE & KATH 1984, 57) zulässt. Nur die Bewahrung des gleichen Gültigkeitsumfangs widerspricht nach HERING nicht dem wissenschaftlich zu wahrenden Anspruch.

Auf dieser Grundlage entwickelte GRÜNER (1967), dem die Forderung für die Schule nach einem stets gleich bleibenden Gültigkeitsanspruch im Hinblick auf unterschiedliche Verständnishorizonte von Schülern verschiedener Altersgruppen als unrealistisch erschien, ein erweitertes Modell zur didaktischen Reduktion, in dem er zwei didaktische „Reduktionsbewegungen“ (vgl. Abb. 3.1) unterscheidet (GRÜNER 1967, bei KATH & KAHLKE 1985, 43). Das Modell wurde im Rahmen

der vorliegenden Arbeit aufgegriffen und zur Veranschaulichung für Entwickler von mmL-Objekten weiterentwickelt und graphisch dargestellt.

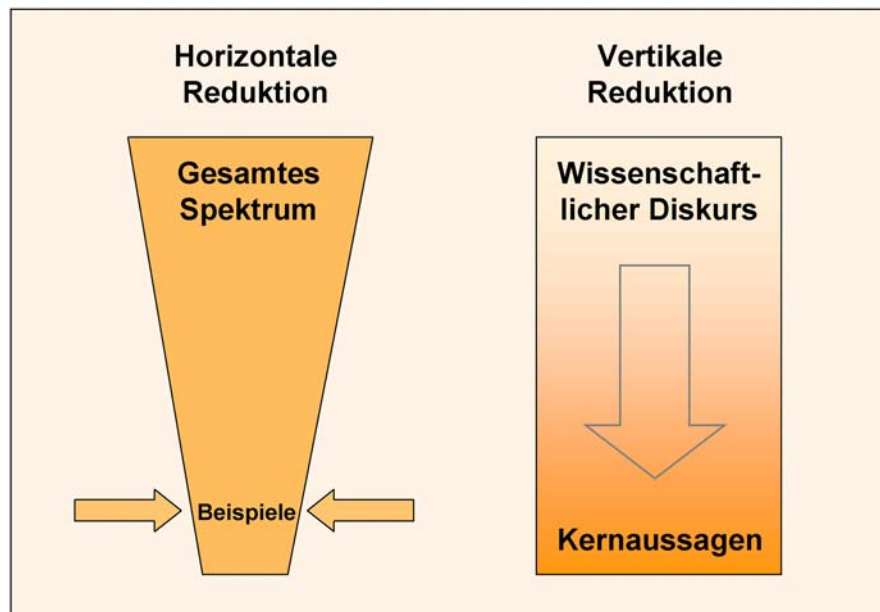


Abb. 3.1: Formen der didaktischen Reduktion (Weiterentwicklung auf Grundlage des Ansatzes von GRÜNER; eigene Darstellung)

Die Unterscheidung in zwei Reduktionsbewegungen eignet sich für Entwickler gut zur Sensibilisierung für die Problematik der didaktischen Reduktion.

Bei der „horizontalen Reduktion“ findet eine Einengung des gesamten wissenschaftlichen Spektrums auf Beispiele, einzelne Fragestellungen und konkrete Prinzipien statt, wobei der Gültigkeitsumfang gleich bleibt. GRÜNER folgend steht *„der Übergang von einer abstrakten ... wissenschaftlichen Aussage zu einer konkreteren und somit leichter fasslichen“* (GRÜNER 1967, bei KATH & KAHLKE 1985, 45) im Vordergrund. Auch die Verwendung von Analogien und Metaphern steht im Dienste dieser Reduktion. Streng genommen findet jedoch dann keine Reduktion im Sinne einer Verminderung statt, sondern eher eine Transformation (siehe unten).

Bei der „vertikalen Reduktion“ wird versucht, aus dem wissenschaftlichen Diskurs die wesentlichen Elemente, gewissermaßen die „Quintessenz“, zu extrahieren. Das Ergebnis sind Kernaussagen, die jedoch aus dem gesamten wissenschaftlichen Diskurs eine gewisse Ausschnittsbildung darstellen und daher vom Gültigkeitsumfang eine Einengung erfahren. Dabei sollte im Sinne HERINGS der wider-

spruchsfreie Übergang von der vereinfachten Aussage zur Ausgangsaussage möglich sein.

Dieser Ansatz ist für die Konzeption von mmL-Objekten besonders interessant, weil im Unterschied zu HERING, bei dem im wesentlichen die Vereinfachung wissenschaftlicher Einzelaussagen (Ausgangsaussage) durch eine semantisch zu bewältigende Reduktion im Mittelpunkt seiner Forschung stand, mit der horizontalen Reduktion bei GRÜNER auch die methodisch-mediale Komponente des Vereinfachungsvorgangs angesprochen wird.

Gelingt es den Lernenden, einen Sachverhalt kognitiv in Form eines mentalen Modells zu repräsentieren, so kann man sagen, er/sie hat den Sachverhalt „verstanden“ (DUTKE 1994; SEEL 1991). Analogiebilder können Lernende beim Aufbau adäquater mentaler Modelle unterstützen. Bei Analogiebildern muss jedoch in besonderem Maße darauf geachtet werden, dass der gewählte Vergleich nicht „hinkt“, denn bei Analogien gibt es immer nur einige strukturelle oder funktionale Korrespondenzen, die zutreffen. Eine häufig verwendete Analogie in der Geomorphologie ist z.B. die beim Zusammenschieben einer Tischdecke entstehenden Falten, die mit der Auffaltung der Alpen verglichen wird. Funktional besteht eine Analogiebeziehung zwischen dem seitlich ausgeübten Druck der zusammenschiebenden Hände und dem der aufeinander zudriftenden Kontinentalplatten. Strukturell besteht eine Analogie in der Faltenbildung mit Über- und Unterschiebungen, jedoch entstehen bei der Tischdecke keine Spannungen, Metamorphosen, Brüche etc. . Damit der Gültigkeitsbereich des Sachverhaltes aufrechterhalten bleibt, muss ein Begleittext die Lernenden dabei unterstützen, die Analogie zutreffend zu elaborieren.

Durch das Entfernen von Details oder das Hervorheben essentieller Bestandteile können wesentliche Elemente, Merkmale und Ordnungsmuster zum Aufbau eines mentalen Modells nutzbar gemacht werden. Gerade bei der Differenziertheit geomorphologischer Prozesse und der Komplexität der Wirkungsgefüge ist die Auswahl der wesentlichen Elemente und grundlegenden Strukturen von zentraler Bedeutung. Mit ihrer Hilfe kann der Aufbau vereinfachter – aber stimmiger Modellvorstellungen – unterstützt und damit der Grad der Komplexität reduziert und gleichzeitig eine Weiterentwicklung zur wissenschaftlichen Aussage sowie eine differenzierende Erweiterung und Ergänzung ermöglicht werden. Bei der Präsentation eines Sachverhaltes ist die Wahl des angemessenen Komplexitätsgrades

gerade bei Lernenden mit geringen Vorkenntnissen von besonderer Bedeutung, da einmal verinnerlichte mentale Modelle und Konzepte sehr viel schwieriger abzubauen bzw. zu verändern sind, als neue Ansätze aufzunehmen, die dann erweitert und um weitere Details ergänzt werden können.

Das Problem bei der Wahl eines angemessenen Vereinfachungsgrades entsteht dort, wo die Grenze für eine noch zulässige Vereinfachung erreicht wird. Im Bereich der Physischen Geographie (Geomorphologie) scheint die Grenze dort zu liegen, wo die sachlich richtige Darstellung von Prozessen und Phänomenen durch Lückenhaftigkeit, sachliche und mediale Verzerrung in Gefahr gerät, verfälscht zu werden (Abb. 3.2). Dies gilt im Übrigen nicht nur für die didaktische Reduktion in Lehr-/Lernsituationen, sondern auch für wissenschaftliche Darstellungen und Modellierungen.

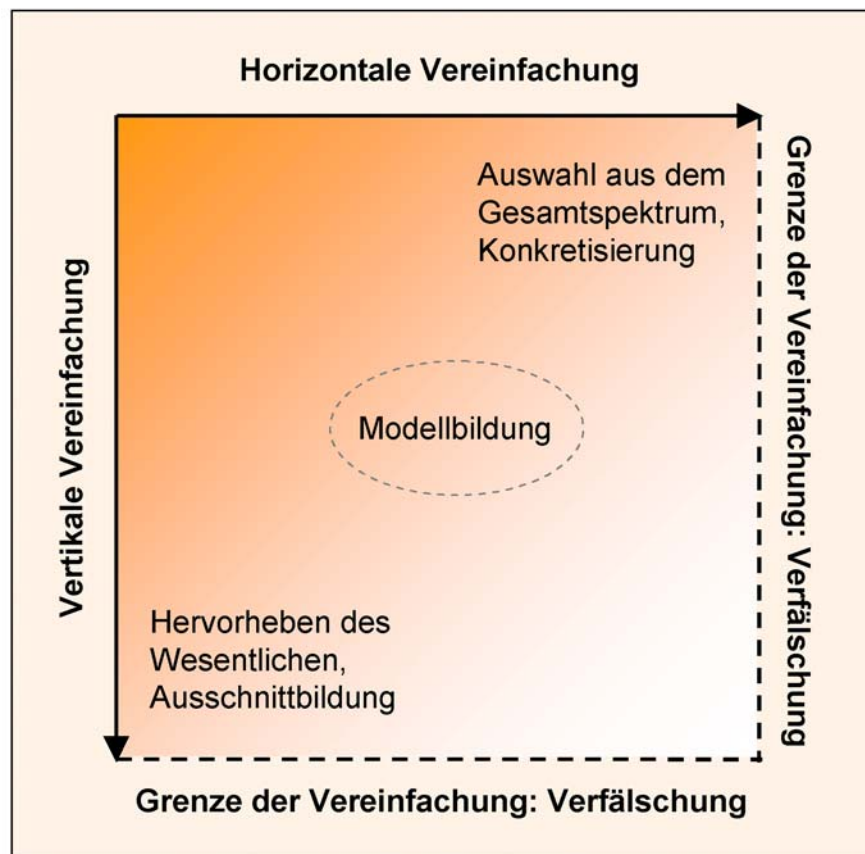


Abb. 3.2: Die Modellbildung im Rahmen des didaktischen Reduktionsfeldes (Weiterentwicklung auf Grundlage des Ansatzes von GRÜNER 1967; eigene Darstellung)

Beispielsweise findet bei der Konstruktion eines Modells zur Bodenerosion eine horizontale und vertikale (didaktische) Reduktion statt. Es wird versucht, wesent-

liche Elemente (vertikale Vereinfachung) des Erosionssystems zu identifizieren und so zu verknüpfen, dass je nach Zielsetzung eine analytische Beschreibung der Funktionsweise des Systems möglich oder deutlich wird, wie das System auf konkrete Veränderungen reagiert (konkretes Prinzip = horizontale Vereinfachung).

Die Grenze der Vereinfachung des Phänomens ist dann erreicht, wenn Randbedingungen des Modells überschritten und Abweichungsfehler überproportional groß werden oder die Ergebnisse nicht mehr mit allgemeinen Beobachtungen übereinstimmen. Innerhalb der Randbedingungen des Modells müssen die Ergebnisse nachvollziehbar und stimmig (d.h. den Gesetzmäßigkeiten des Modells folgend „richtig“ bzw. logisch) sein.

Eine solche Differenzierung des Gültigkeitsbereiches und Zielhorizontes stimmt mit Überlegungen von SALZMANN (1970; bei KATH & KAHLKE 1985, 70) überein, der im Zusammenhang mit der didaktischen Reduktion eine inhaltliche und methodische Differenzierung des „Aufgabenfeldes“ vornimmt.

Er unterscheidet unter anderem in einen:

- **Innenhorizont**, der durch die Kompliziertheit der Struktur bestimmt ist. Die Vereinfachung zielt hier auf das Betonen des Wesentlichen, um das Herausarbeiten essentieller Bestandteile und einfacher Strukturen, die in Form von Modellen, Schemata etc. oder an ausgewählten Sachverhalten (z.B. in Form eines Fallbeispiels) sichtbar werden, einsichtig zu machen. Verfälschungen und damit Grenzen der Vereinfachung sieht SALZMANN, wenn Unwesentliches zur Hauptsache erhoben bzw. das Wesentliche überhaupt nicht angesprochen wird (z.B. ein Modell, welches unwesentliche Einflussfaktoren in den Mittelpunkt stellt).
- **Außenhorizont**, der die Verflechtung mit benachbarten oder umfassenden Zusammenhängen bestimmt. Trotz vereinfachender Isolierung und sektoraler Betrachtung von Teilbereichen soll der Blick für den übergeordneten Zusammenhang nicht verloren gehen. Auch wenn die eingehende Behandlung eines Verknüpfungsbereiches noch nicht erfolgt, sollte auf bestehende Verbindungen hingewiesen werden, um nicht „den Blick auf das Ganze“ zu verlieren. Ebenso birgt eine unzusammenhängende Reihung die Gefahr, dass einzelne Elementen nicht zu einem sinnvollen Ganzen verbunden werden können.

Mit der Differenzierung trifft SALZMANN ein Kernproblem der klassischen, physisch-geographischen Lehre, bei der das Lernen innerhalb fester Fachdisziplinen (Geomorphologie, Klimatologie, Hydrologie, Bodengeographie, Vegetations- und Tiergeographie) zu dem Problem einer so genannten Systemtrennung und zum „Schubladen-Lernen“ führen kann. Die Vielzahl offener, komplexer, vernetzter Systeme, die Gegenstand geographischer Forschung und Lehre sind, stellen jedoch grundsätzlich etwas anderes dar, als das bloße Nebeneinander unzusammenhängender Teile. Geosysteme stehen in Wechselwirkungen zueinander mit vielfältigen Rückwirkungen und Verstärkungseffekten. Leitziel ist heute daher das vernetzende, interdisziplinäre, globale Lernen, welches zu einem Denken in Systemen führen soll (KAMINSKE 2001, 15) und geoökologische Ansätze und Sichtweisen favorisiert, bei denen das Zusammenwirken und die Interdependenzen der Prozesse und Faktoren berücksichtigt werden.

Das Modell SALZMANNs kann darüber hinaus für die Modularisierung von mmL-Angeboten fruchtbar gemacht werden und einen didaktischen Ansatz für eine Segmentierung des Lehrstoffes in unterschiedliche Komplexitätsniveaus darstellen (vgl. Kapitel 7.4).

Auch die Elaborationstheorie von REIGELUTH (1999) greift (indirekt) den Aspekt (Innenhorizont / Außenhorizont) zur Gestaltung von Lernsequenzen auf, indem von einer Gesamtübersicht ausgehend – wie bei einem Zoom einer Kamera vom Weitwinkel zum Teleobjektiv – einzelne Ausschnitte zunehmend detaillierter behandelt (Elaboration) werden. Um Teilbereiche in größerem Zusammenhang darzustellen, wird empfohlen, von Zeit zu Zeit wieder zur Übersicht, die nur die Hauptkomponenten des Lehrstoffs und deren Beziehung zueinander wiedergibt, zurückzukehren (vgl. Kapitel 2.2.3.2 und Kapitel 7.4).

3.1.1 Konsequenzen für die Konzeption von mmL-Objekten

Thematisch kommt der Beschreibung, Analyse und Modellierung von Prozesskomplexen auf der Erdoberfläche und dem damit verbundenen Ansatz, fachspezifische Theorien und Modelle so zu verknüpfen, dass ein tiefgreifenderes Verständnis für diese Prozessabläufe ermöglicht wird, eine Schlüsselposition zu. Ziel der Betrachtungsweise ist es, die aus den Geoprozessen resultierenden räumlichen Verbreitungsmuster und Erscheinungsformen zu erfassen und zu erklären und

letztlich zu einem besseren Verständnis unserer Umwelt beizutragen. Spezifische Aufgaben und Probleme der Repräsentation geomorphologischer Prozesse und ihrer Modellierung in mmL-Objekten sind in ihren Strukturen (Komplexität, Differenziertheit) wie auch in der Methode ihrer Darstellung begründet (abstrakte, formale Darstellung). Bei der Konkretisierung von Darstellungen in Lehr-/Lernsituationen lässt sich die Unterscheidung von KATH und KAHLKE zwischen didaktischer und methodischer Reduktion sowie didaktischer und methodischer Transformation für eine zielgerichtete und bewusste mediale Umsetzung nutzbar machen (KATH & KAHLKE 1985, 27).

Arbeitet man diesen Unterschied aus, so sind die Begriffe folgendermaßen zu differenzieren:

- **Methodische Transformation** betrifft die Übersetzung einer Darstellung in eine verständlichere (fassbarere) Darstellungsform. Dies kann z.B. die Übersetzung von einer formalen Darstellung (mathematische Gleichung) in eine graphische Darstellung sein. In der Regel ist auch eine verbale Darstellung – eine Beschreibung oder Erklärung in Worten – anschaulicher und leichter verständlich, als die formale Darstellung. Naturwissenschaftlich präziser und allgemeingültiger ist jedoch häufig die formale Repräsentation.
- **Didaktische Transformation** zielt auf die Umsetzung einer Darstellung in eine Darstellungsform, mit der zu arbeiten ein wichtiges Lehrziel ist. Ein Beispiel ist das Arbeiten mit dem Steigungsmaß zur Bestimmung der zusätzlich löslichen CaCO_2 -Menge im Zusammenhang mit dem Phänomen der Mischungskorrosion (siehe WEBGEO-Lernmodul „Mischungskorrosion“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_002). Ein weiteres Beispiel wäre die Visualisierung von Datenreihen in Form graphischer Diagramme, wenn der Umgang mit Diagrammen eingeübt werden soll.
- **Methodische Reduktion** beinhaltet die Darstellung eines Inhaltes in seinen vermittelbaren – für Studierende verständlichen – Grundzügen. Prinzipien und Grundlagen der Struktur werden deutlich und einsichtig. Schwer zu verstehende Differenzierungen des Inhaltes werden vernachlässigt.

- **Didaktische Reduktion** stellt vorrangig die Frage nach dem inhaltlich angestrebten, auf die Zielgruppe ausgerichteten Lehrziel. Die Repräsentation des Lehrstoffs orientiert sich nicht primär an den für Studierende *verständlichen* Grundzügen, sondern an den für den Wissensaneignungsprozess der Studierenden *notwendigen* Grundzügen. Es handelt sich um eine pädagogische Entscheidung. Es wird festgelegt, in welchem Umfang und aus welchem Sinn und Zweck Studierende sich mit einem geographischen / geomorphologischen Sachverhalt vertraut machen sollen.

Gerade für die Entwicklung von mmL-Objekten, die auf die Vermittlung komplexer Zusammenhänge abzielen, ist die Aufgabe der methodischen Reduktion und Transformation von großer Bedeutung. Exemplarisch wird anhand der Erosionsmodellierung aufgezeigt, wie die Vereinfachung von Modellen durch methodische Reduktion und Transformation für physisch-geographische Aufgabenstellungen im Grundstudium in Wert gesetzt werden können (Kapitel 8) und die Vorgehensweise auf andere geographische bzw. naturwissenschaftliche Themenbereiche übertragen werden kann (Kapitel 9).

3.2 Die Auswahl der Inhalte

Aus dem Stoffgebiet der Geomorphologie werden exemplarisch einzelne Teilbereiche herausgegriffen. An ihnen werden Möglichkeiten eines systematischen und theoriegeleiteten Vorgehens bei der Konzeption und Entwicklung von internetbasierten mmL-Objekten dargestellt. Der Schwerpunkt der Entwicklungen liegt auf der Modellierung des Prozesskomplexes Bodenerosion in Abhängigkeit interaktiv zu beeinflussender Parameter. Einzelne Beispiele zur Verdeutlichung von weiteren Teilaspekten der theoretischen Konzeption stammen aus den Themenbereichen Plattentektonik, äolische Dynamik, Karst- und Küstenmorphologie.

Schwierigkeiten bei der Aneignung physisch-geographischen (geomorphologischen) Wissens können durch die extrem unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Dimensionen von Prozessabläufen und durch die mit dem vielschichtigen Wirkungsgefüge verbundene Komplexität entstehen. Insbesondere Studierenden im Grundstudium fällt es nicht leicht, Vorstellungen von Landschaftssituationen in geologischer Vergangenheit zu entwickeln und geomorphologische Prozessab-

läufe sehr unterschiedlicher Größenordnungen, die sich über tausende von Jahren erstrecken oder in Bruchteilen von Sekunden ablaufen, richtig zu erfassen und einzuordnen. Es ist die Unzugänglichkeit der unmittelbaren Beobachtung sowie die hohe zeitliche und räumliche Variabilität, die es erschwert, das aus den Prozesskomplexen resultierende räumliche Verbreitungsmuster dem Zusammenspiel unterschiedlicher Umweltfaktoren zuzuordnen und das Wissen über einzelne Formen und Prozesse zu einem sinnvollen Ganzen zu verbinden. Erschwerend kommt hinzu, dass Prozesse und Phänomene je nach Betrachtungsmaßstab unterschiedlich erfasst, analysiert und bewertet werden und mit dem Maßstabswechsel meist auch ein Methodenwechsel notwendig wird. Werden Prozessabläufe abstrakt und mit wenig Anwendungsbezug dargestellt, besteht die Gefahr, dass das Wissen isoliert und „träge“ bleibt. Für das Prozessverständnis und die Umsetzung in Handlungen ist die Darstellung von inhaltlichen Anwendungs- und Praxisbezügen jedoch sehr wichtig. Das Verständnis geomorphologisch – geoökologischer Modellierungstechniken auf der Grundlage von raumbezogenen Geodaten ist jedoch derart komplex, dass ein Heranführen an die Thematik durch die Nutzung von „Neuen Medien“ unterstützt werden soll. Fallbeispiele und Modelle helfen theoretisches und komplexes Wissen verständlich darzustellen. Unterschiedliche Vorgehensweisen und Lösungsansätze können den Verständnisprozess dabei sinnvoll erleichtern. Aus dem Konzept der Problemorientierung lassen sich diesbezüglich Gestaltungsprinzipien zur Repräsentation der Sachverhalte ableiten (vgl. REINMANN-ROTHMEIER & MANDL 2001). Diese gewährleisten, dass aktives und situatives Lernen gefördert und gleichzeitig vom Lernenden eingefordert wird. Nach dem Prinzip der Authentizität und dem Anwendungsbezug greifen entwickelte mmL-Objekte aktuelle Probleme und authentische Fälle auf, z.B. mit Fragestellungen aus dem landwirtschaftlichen Beratungswesen, der Landschaftsrahmen- und Landschaftsplanung sowie aus der Kommunalplanung. Dabei werden multiple Kontexte und Perspektiven integriert, die verschiedene Sichtweisen auf Problemstellungen verdeutlichen.

Anhand des Prozesskomplexes Bodenerosion werden exemplarisch Möglichkeiten zur Entwicklung von mmL-Objekten aufgezeigt, fachspezifische Theorien und Modelle so miteinander zu verknüpfen, dass ein dimensionsübergreifendes Verständnis für diese Prozesse und ihre Abbildung in webbasierten Modellen möglich

wird. Durch die Variation von Steuerparametern und Einflussgrößen bei der interaktiven Modellierung von Erosionsprozessen eröffnen die mmL-Objekte die Möglichkeit, durch Experimentieren, Simulieren und Analysieren einen Eindruck davon zu bekommen, welche Faktoren in welcher Form Bodenabtragsprozesse beeinflussen. Gerade im Hinblick auf den Umgang des Menschen mit seiner Umwelt und auf die Entwicklung möglicher Lösungsstrategien zur Umweltverbesserung bietet die Beschäftigung mit der Problematik Bodenerosion anhand interaktiver Modellrechnungen und praxisnaher Fallbeispiele Einblicke in komplexe Zusammenhänge dynamischer Prozesskomplexe. Dabei soll mit der Wissensaneignung sowohl der Gültigkeitsbereich der Modelle kritisch reflektiert werden können als auch ein Zugang zu umwelt- und naturwissenschaftlichen Modellierungstechniken und raumbezogener Geodatenverarbeitung (GIS) als aktuelle Forschungsmethoden ermöglicht werden. Die Bearbeitung praxisbezogener Planungsszenarien unterstützt einen Transfer des Gelernten in die Anwendung und zielt auf selbständiges Problemlösen.

3.3 Bodenerosion und Bodenerosionsmodellierung

3.3.1 Relevanz des Themas

Von den Böden der ca. 130 Millionen km² umfassenden eisfreien Landoberfläche weisen über 15 % (ca. 19,6 Mio. km²) deutliche Degradationserscheinungen durch Bodenerosion auf (OLDEMAN *et al.* 1991, COUNCIL ON ENVIRONMENTAL QUALITY 2000). Durch die Ausweitung des Ackerbaus und die Intensivierung der Viehwirtschaft nimmt die Bodenerosion global noch zu. Obwohl eine relativ geringe Fläche zur Ernährungssicherung ausreicht (ca. 700 m² / Person), wird befürchtet, dass je nach Entwicklung bereits im Jahr 2050 zwischen 1,6 und 5,5 Milliarden Menschen von einer Knappheit der Nutzfläche betroffen sind (PIMENTEL *et al.* 1995). Die Zwangslage führt dazu, mit den tropisch-subtropischen Regenwäldern auch die letzten großen Reserveräume, welche die Erde im warmhumiden Klimabereich noch bietet, in Nutzung zu nehmen. Die Folge des Landschaftswandels sind extrem starke Bodenerosionsereignisse, so dass die „Neulandgewinnung“ durch Landverluste schnell wieder aufgezehrt wird (PIMENTEL *et al.* 1995). In den Entwicklungsländern stellen sich einer wirksamen Bekämpfung der Bodenerosion sozioökonomische Probleme entgegen (vgl. EL SWAIFY 1994), so dass Armut,

Bevölkerungsdruck und der Zwang zum Export von Rohstoffen oftmals zu umweltzerstörerischem Verhalten führt, was kurzfristig zwar die Lebenssituation verbessert, mittel- und langfristig jedoch die Lebensgrundlage – die Ressource Boden – zerstört. In den Schwellenländern wären für eine ressourcenschonende Landwirtschaft Arbeitskräfte und ökonomische Möglichkeiten vorhanden, jedoch fehlt es oft am Problembewusstsein im Bodenschutz (RICHTER 1998, 241). Auch im Bewusstsein der Bevölkerung in den Industriestaaten rangiert der Bodenschutz noch deutlich hinter anderen Umweltproblemen wie Klimaänderung, Luftreinhaltung und Gewässerschutz. Obwohl die Industriestaaten über ausreichende Mittel (Technik, Finanzkraft, Wissenschaft) verfügen, stellt die Bodenerosion auch hier ein bedeutendes Problem dar. Welches Ausmaß die Bodenerosion in Europa erreicht hat, ist weitgehend unbekannt. Dies liegt sicherlich auch daran, dass die Intensiv-Landwirtschaft erosionsbedingte Mindererträge durch den hohen Einsatz von Düngemitteln, Spritzmitteln u.a. Maßnahmen kurzfristig überdeckt. Trotz hoher Finanzmittel zur Kompensation von Mindererträgen – auch vor dem Hintergrund kontrovers diskutierter Agrarsubventionspolitik – der Belastung der Böden und Gewässer und damit auch der Gefährdung der Gesundheit des Menschen wird das Thema in der breiten Öffentlichkeit kaum zur Kenntnis genommen.

Natürliche und anthropogene Faktoren bedingen komplex ineinander greifende Abläufe, die zum Bodenabtrag führen. Besonders deutlich werden hierbei die schwerwiegenden Auswirkungen der Wirtschaftsweise des Menschen auf natürliche Prozessabläufe. Die Bedeutung des Themas „Bodenerosion“ für die Existenz des Lebens auf der Erde und ihr hoher Stellenwert im Gefüge der Geographie (Geomorphologie) verlangt eine entsprechend intensive Behandlung im Studium.

3.3.2 Fachwissenschaftliche Orientierung

In der Geomorphologie versteht man unter Erosion die natürliche Abtragung von Material durch Wasser, Eis und Wind. Partikel werden dabei aufgenommen und transportiert. Während diese natürlichen Abtragungsprozesse im Wesentlichen nur auf Flächen auftreten, die von Natur aus vegetationsarm sind, tritt Bodenerosion nur nach Eingriffen des Menschen in die Landschaft auf. Durch das Entfernen der schützenden Vegetation werden die Prozesse der Ablösung, des Transportes und der Ablagerung von Bodenbestandteilen vielerorts erst ermöglicht. Der Boden

wird verlagert, abgetragen und fortgeschwemmt, die Bodenfruchtbarkeit verringert, die Nutzung erschwert (*on-site* Schäden) und die Gewässer oder naturnahe Biotopie werden durch den Transport von Böden sowie Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteln aus landwirtschaftlichen Nutzflächen belastet (*off-site* Schäden). Bodenerosion stellt - seit überhaupt Land bebaut wird - ein Problem dar. Ackerbau ist aber zur Nahrungsmittelproduktion notwendig. Die dominierende Art der Bodendegradation geht auf allen Kontinenten der Erde auf Bodenerosionsprozesse durch Wasser zurück. Die exemplarisch vorgestellten mmL-Objekte stammen daher vorwiegend aus dem Themenbereich Wassererosion. Das von mir im Rahmen des Verbundprojektes WEBGEO entwickelte Lehr-/Lernmaterial zur Bodenerosionsproblematik thematisiert auf globaler Ebene (Auswertung der GLASOD Studie, OLDEMAN *et al.* 1991) auch Winderosion sowie physikalische und chemische Degradation (siehe Basislernmodul: Bodenerosion – ein Weltproblem¹⁴).

Die Bodenerosionsforschung war in der Vergangenheit vorwiegend auf die Beschreibung der Erscheinungsformen und das Ausmaß von Schäden ausgerichtet. Diese werden einerseits durch die Summe einer Vielzahl kleinerer Niederschlagsereignisse und andererseits ganz entscheidend durch einzelne extreme Niederschlagsereignisse bestimmt. Der Bodenabtrag ist also kein kontinuierlicher Prozess, sondern ein Produkt zeitlich und quantitativ variierender Einzelereignisse, die aufgrund der Variabilität der Einflussgrößen nicht unmittelbar miteinander verglichen werden können. Erkenntnisse aus Kartierungen und Messungen, die selbst bei größtmöglichem Aufwand immer nur einzelne, durch die örtlichen Gegebenheiten und die jeweiligen äußeren Umstände definierte Zustände erfassen, stoßen an ihre Grenzen, wenn das Verhalten der Erosion auf andere als die bei der Messung gegebenen Zustände übertragen werden soll. Zur Abschätzung von Risikoprognosen und Planungen von Erhaltungsmaßnahmen ist es hilfreich, wenn Einschätzungen der Bodenerosion in eine Vorhersage umgewandelt werden können. Eine Extrapolation des beobachteten Erosionsverhaltens ist in der Regel jedoch ohne Berücksichtigung der zugrunde liegenden physikalischen Zusammenhänge nicht möglich. Forschungsarbeiten zur Bodenerosion konzentrieren sich heute mehr auf die ablaufenden Prozesse, die Quantifizierung und Modellbildung. Mit Hilfe von Modellvorstellungen, die entweder statistisch oder auf der Basis

¹⁴ http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030;1

physikalischer Gesetzmäßigkeiten das Zusammenwirken der einzelnen Faktoren und Prozesse beschreiben, kann das Erosionsverhalten auch für andere als die bei der Messung herrschenden Zustände beurteilt werden. In zunehmendem Maße wurden in jüngerer Zeit derartige Vorhersagemodelle, die auch für die praktische Anwendung am geeignetsten sind, entwickelt (MORGAN 1999, 73). In den meisten Erosionsstudien werden Modelle empirischer Art verwendet. Entscheidende Faktoren werden für die Modellierung identifiziert und über Messreihen mit unterschiedlichen Faktorenausprägungen Gesetzmäßigkeiten des Abtragsgeschehens mit Hilfe statistischer Techniken abgeleitet. Der Hauptnachteil dieser empirisch basierten Modelle ist ihre begrenzte Übertragbarkeit. Außerhalb der Testregion, in der sie entwickelt und durch Feldversuche abgeleitet wurden, müssen in jedem Fall zugrundeliegende Parameter modifiziert werden, um den veränderten regionalen Klima- und Bodenverhältnissen zu entsprechen (SCHWERTMANN *et al.* 1990). Erkenntnisse der Bodenerosionsforschung über grundlegende Erosionsprozesse ermöglichen heute auch die Konstruktion von Modellen des White-Box-Typs und von physikalisch begründeten Modellen (SCHMIDT 1996). Modelle auf physikalischer Basis beruhen auf mathematischen Verfahren, die häufig die Lösung partieller Differential-Gleichungen erfordern. Ein Vorteil physikalisch basierter Modelle liegt in ihrer prinzipiellen räumlichen Übertragbarkeit, da die beschriebenen Gleichungen mit fundamentalen physikalischen oder mechanischen Prozessabläufen in Verbindung stehen. Die Terme der Gleichungen sind in ihrem Definitionsbereich für beliebige Werte ihrer Variablen gültig. Damit beinhalten diese Terme eine Allgemeingültigkeit und das Modell ist in seiner Wirkungsweise vollständig transparent (Tab. 3.1). Demgegenüber stehen Black-Box-Modelle, bei denen lediglich Eingangs- und Ausgabedaten bekannt sind, deren Wirkungssystem jedoch nicht transparent nachvollziehbar ist.

Tab. 3.1: Auswahl digitaler Modelltypen zur Bearbeitung großer Datenmengen (nach GREGORY & WALLING 1973 bei MORGAN 1999, 73)

Typ	Beschreibung	Transparenz
Physikalische Basis	Durch mathematische Gleichungen werden die Prozesse beschrieben, die in das Modell einbezogen sind. Die Modellierung erfolgt unter Berücksichtigung der Gesetze zur Erhaltung von Masse und Energie.	vollständig transparent
Empirisch	Die Modellkonstruktion basiert auf statistisch gesicherten Beziehungen zwischen den (vermutlich) prozessbestimmenden Einflussfaktoren, für die eine ausreichende Datengrundlage existiert. Es werden drei Modelltypen unterschieden: Black-Box: nur Haupteingangsdaten und –ausgabedaten werden untersucht; Grey-Box: es sind nur einige Faktorenbeziehungen des Wirkungssystems bekannt; White-Box: das Wirkungssystem ist in allen Details bekannt.	nicht transparent partiell transparent vollständig transparent

Tatsächlich sind auch physikalisch basierte Modelle immer noch auf empirische Gleichungen angewiesen, so dass ihre regionale Übertragbarkeit eingeschränkt bleibt. Streng genommen sollten sie daher als prozessabhängige Modelle bezeichnet werden (MORGAN 1999, 85).

Aufgrund ihrer Komplexität und ihrer oftmals allzu großen Anzahl an erforderlichen Parametern werden prozessabhängige Modelle bisher kaum in der Praxis angewandt (BASTIAN & SCHREIBER 1999, 221). Ihrer großräumigen Anwendung zur Planung von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen steht der Aufwand zur flächenhaften Erfassung der räumlich kaum erfassbaren Variabilität der Modelleingangsgrößen entgegen. Die prozessorientierte Modellierung des oberirdischen Stofftransportgeschehens kann aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit und der in der Planungspraxis nicht zu leistenden flächendeckenden Erfassung räumlich und zeitlich hoch aufgelöster Basisdaten nur für einzelne landwirtschaftliche Nutzflächen und/oder kleinere Einzugsgebiete realisiert werden. Bei angewandt-

planerischen Problemstellungen (z.B. der Eingriffsregelung in der Landschafts- bzw. Bauleitplanung, agrarstrukturellen Vorplanungen, Umweltverträglichkeitsstudien etc.) reicht die Analyse und Prognose des Erosionsgeschehens nur einzelner Standorte nicht aus. Je nach Anforderungen der Planung ist es erforderlich, von der subtopischen bis zur mesochorischen Dimension (s.u.) flexibel zu reagieren. Das Arbeiten mit digitalen Datensätzen, die bei der Verarbeitung in Geographischen Informationssystemen (GIS) in gewissen Grenzen maßstabsunabhängig sind, erleichtert dimensionssübergreifende Planungen. In unterschiedlichen Dimensionen kann durch die Wahl adäquater Modelle zur Beurteilung der Wasser- und Stofftransporte eine effektive Planung von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen greifen. Der jeweils untersuchte Maßstabsbereich bestimmt dabei das jeweilige Methodenniveau und damit auch die Reichweite der inhaltlichen Aussagen und Ziele (NEEF 1963, 249; WICKENKAMP *et al.* 2000, 110). Ein Wechsel der Betrachtungsdimension geht immer mit einer qualitativen und quantitativen Veränderung der prozessbestimmenden Faktoren einher. Die Bodenerosionsabschätzung und Bodenerosionsmodellierung erfordert folglich eine dem jeweiligen Maßstab angepasste Komplexität und Auflösung. Der Übergang zum größeren Maßstab bedeutet „... *nicht allein größere Genauigkeit, sondern in erster Linie neue Zusammenhänge, neue Methoden und neue Einsichten*“ (NEEF 1963, 255).

Zum Aufbau von Prognose- und Managementsystemen können zunächst auf Grundlage kleinmaßstäbig verfügbarer Basisdaten Flächen mit hoher Erosionsdisposition identifiziert werden. Dies kann mit Hilfe von Modellen auf empirischer Basis zur großräumigen Abschätzung von Bodenabtragspotentialen geschehen. Sie dienen der Orientierung im Raum als Einstieg und Ansatz der Forschung im topischen Dimensionsbereich (LESER 1997, 216) In einem GIS-basierten „Downscaling-Verfahren“ verändert sich dann durch Maßstabsvergrößerung die Wahl der adäquaten Modelle zur Beurteilung der Wasser- und Stofftransporte (MEIER-ZIELINSKI 1999, 220; MENZ 1999, 231; WICKENKAMP *et al.* 2000, 110). Mit den in der Landschaftsökologie verwendeten Dimensionenbezeichnungen „topisch, chorisch, regionisch“ lassen sich die im Rahmen meteorologischer und hydrologischer Untersuchungen gebräuchlichen Bezeichnungen „micro-, meso- und macro-scale“ vergleichen. Diese werden zur Kennzeichnung der räumlichen und zeitlichen Auflösung von Modellen verwendet (vgl. PLATE 1992). Das Downscaling-Verfahren lässt sich in diesem Sinne als ein Skalenwechsel vom

kleineren (z.B. macroscale = regionische Dimension) zum größeren Maßstabsbereich (z.B. mesoscale = chorische Dimension; microscale = topische Dimension) auffassen. Die maßstabsübergreifende Betrachtung des oberirdischen Wasser- und Stofftransportgeschehens erfolgt dabei nicht durch Übertragung der Modelleingangsdaten vom kleinen zum größeren Maßstab, sondern durch Identifikation der in Bezug auf den Erosionsprozess relevanten Flächen, deren Prozessgeschehen jeweils stufenweise mit maßstabsadäquaten Untersuchungsmethoden analysiert und modelliert wird. Mit der Annäherung vom kleinen Maßstabsbereich (z.B. Flusseinzugsgebiete; regionische Dimension) über den mittleren (z.B. Kleineinzugsgebiete von Bächen; chorische Dimension) bis zum großen Maßstab (z.B. einzelne Standorte, Einzelhänge und Parzellen mit gleichartigen Prozessbedingungen; topische Dimension) steigt die Anforderung an die Qualität der Modelleingangsdaten sowie deren räumliche und zeitliche Auflösung (siehe Abb. 3.3). Neben empirischen Methoden können auf chorischer und topischer Ebene auch prozessorientierte, physikalisch begründete Modelle eingesetzt werden. So kann im Rahmen eines GIS-basierten Downscalings jeder Dimensionsstufe eine Anzahl an Schätz- oder Simulationsmodellen zugeordnet werden, die sich in ihrem zugrunde liegenden Ansatz voneinander unterscheiden. Die Ansätze reichen von der großräumigen Abschätzung des Bodenabtrags- und Stofftransportpotentials bis zur Modellierung des oberirdischen Stofftransportgeschehens eines einzelnen Hanges.

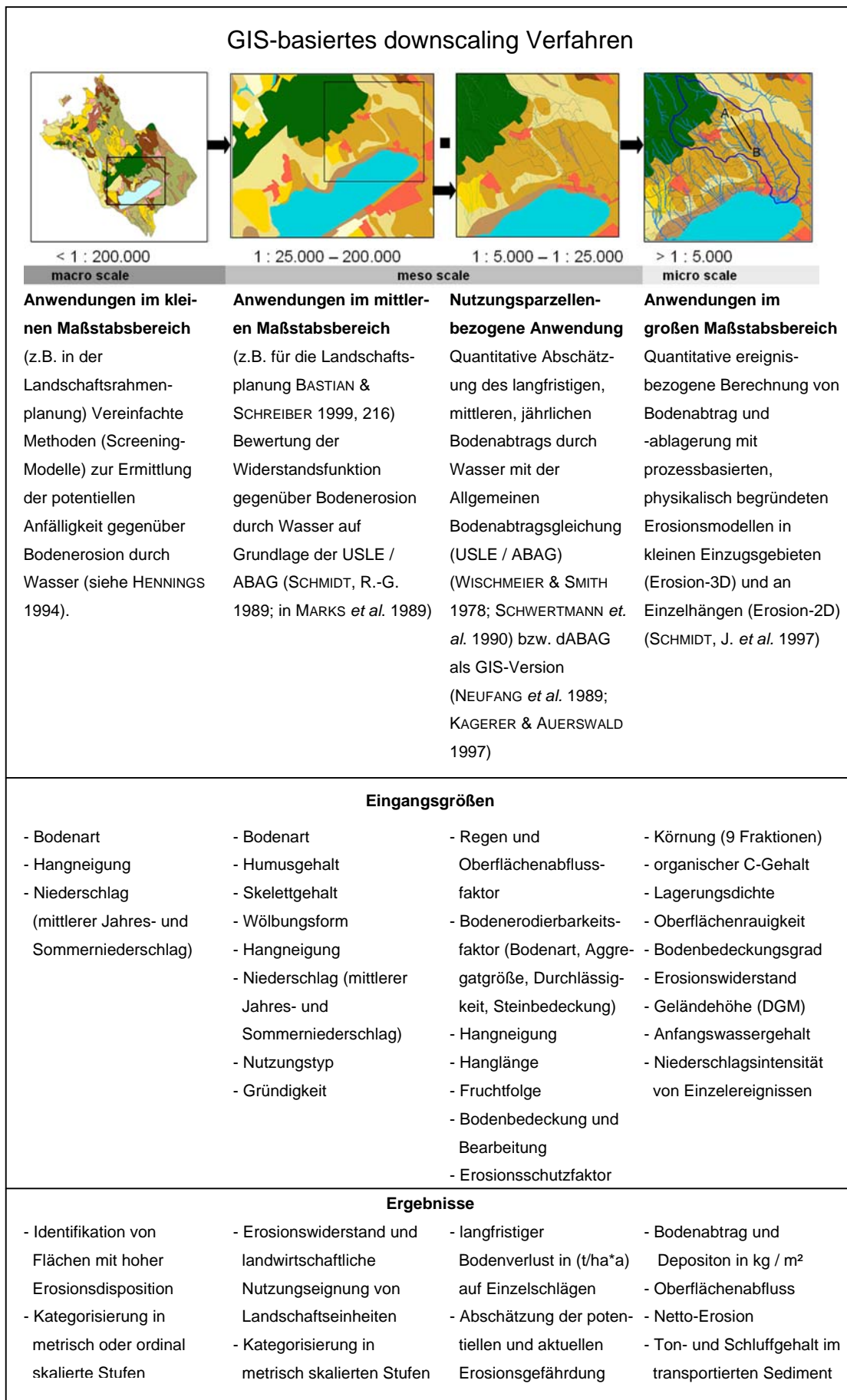


Abb. 3.3: System der dimensionsübergreifenden Bodenerosionsmodellierung (vgl. WICKENKAMP *et al.* 2000, 111; eigene Darstellung)

Neben der räumlichen Betrachtungsdimension beeinflusst die zeitliche Perspektive die Modellkonstruktion. Je nachdem, für welchen zeitlichen Gültigkeitsbereich ein Modell konstruiert ist, für mehrere Jahre z.B. oder nur ein Starkregenereignis, fließen in ein Modell unterschiedliche Prozesse und Prozessbeschreibungen sowie Datentypen ein.

So genannte Screening-Modelle, wie sie im kleinen Maßstabbereich eingesetzt werden, sind recht einfach konzipiert und dienen dazu, Gebiete mit hoher Erosionsdisposition zu identifizieren. Die Anforderung an die Qualität (räumliche und zeitliche Auflösung) der Eingangsdaten ist vergleichsweise gering und die benötigten Daten sind in Deutschland flächendeckend verfügbar (z.B. ATKIS, DGM Daten der Landesvermessungsämter).

Modelle zur Abschätzung des Bodenabtrags unter verschiedenen Bewirtschaftungsweisen (engl. *assessment models*) müssen mit größerer Genauigkeit Vorhersagen ermöglichen, da sie als Planungsinstrumente für die Wahl der Bodenerhaltungsmaßnahmen konzipiert sind. Die Anforderungen an Eingangsdaten sind hinsichtlich der zeitlichen und räumlichen Auflösung und Vielfalt der Parameter deutlich höher als bei den einfachen Screening-Modellen. Das Nutzungsparzellen bezogene Modell der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (USLE / ABAG) (WISCHMEIER & SMITH 1978; SCHWERTMANN *et al.* 1990) ermöglicht die Abschätzung der Erosionsschäden auf den betroffenen Flächen (engl. *on-site*) sowie des Rückgangs der Bodenmächtigkeit und der Produktivitätsverluste. Um das Schadensausmaß beurteilen zu können, sind Erosionsschätzungen für einen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren notwendig. Die USLE / ABAG prognostiziert den Abtrag im Mittel dieses Zeitraumes, auch wenn der Abtrag in Tonnen pro Hektar und Jahr ausgewiesen wird. Wenn in einzelnen Jahren die Abtragsraten der Nutzungsparzellen stark schwanken, heißt das daher nicht, dass die Prognose falsch ist.

Prozessorientierte, physikalisch begründete Modelle besitzen aufgrund ihrer höheren räumlichen und zeitlichen Auflösung eine bessere Vorhersagegenauigkeit. Sie sind in der Lage für einzelne Erosionsereignisse differenzierte Angaben sowohl über Abtragsmengen als auch die Deposition des abgetragenen Bodenmaterials (Ort, Menge und Kornverteilung) zu liefern. Prozessorientierte Modelle wie Erosion-2D/3D (SCHMIDT *et al.* 1997) eignen sich daher auch zur Einschätzung der flächenexternen (engl. *off-site*) Schäden durch Sediment- und Stoffeinträge

(Dünge- und Pflanzenschutzmittel) in angrenzende Binnen- und Fließgewässer sowie naturnahe terrestrische Biotope. Die höhere räumliche und zeitliche Auflösung der physikalisch basierten Modelle geht einher mit hohen Anforderungen an die Qualität der Eingangsdaten. Der praktische Einsatz der Modelle scheitert häufig an der komplexen Parametrisierung der Eingangsgrößen, da Informationen über Kenngrößen nicht vollständig und zuverlässig vorliegen oder an der komplizierten Handhabung der Modelle, für deren Anwendung es einer längeren Einarbeitungszeit bedarf (SCHMIDT 1998, 140). In der Praxis werden daher in der Regel empirische Verfahren mit langfristigen Abschätzungen des Bodenabtrags (z.B. USLE/ABAG) eingesetzt, deren Parametrisierung auf der Grundlage weitgehend verfügbarer Basisdaten stattfindet. Um die Vorteile zur Erfassung der „off-site“-Schäden und räumlich und zeitlich differenzierten Beurteilung des Wasser- und Stofftransportgeschehens in kleinen Einzugsgebieten und an Einzelhängen durch prozessorientierte Modelle für das Flächenmanagement in „Problemgebieten“ nutzen zu können, bedarf es daher der Auswahl von Vorrangflächen, die durch das GIS-basierte Downscaling-Verfahren ermittelt werden können. Der Aufwand zur Erhebung der für die Prozesssimulation benötigten Daten kann so auf ein Mindestmaß reduziert werden. Neben der Möglichkeit einer differenzierten Analyse des Bodenerosionsgeschehens in seiner räumlichen und zeitlichen Verteilung besitzen Modelle wie Erosion-2D/3D den Vorteil, dass ihre Simulationsergebnisse im Vergleich mit ereignisbezogen durchgeführten Erosionsmessungen oder Erosionskartierungen direkt auf ihre Plausibilität hin beurteilt werden können.

3.3.3 Thematische Zugänge unter Berücksichtigung von Potentialen webbasierter digitaler Medien

Die Entwicklung von mmL-Objekten zur Bodenerosion und ihrer Modellierung kann auf unterschiedlichen Verständnisniveaus erfolgen. Die Auseinandersetzung mit den Lehr-/Lernmaterialien setzt unterschiedlich umfangreiche und unterschiedlich vertiefte Kenntnisse und Fertigkeiten der Studierenden voraus.

Die Funktionsweise des Erosionssystems kann auch von Wissenschaftlern nur dann verstanden und modelliert werden (und damit z.B. für Vorhersagezwecke genutzt werden), wenn eine Beschreibung mit den zur Verfügung stehenden Mitteln, häufig Mittel der Mathematik und Physik (z.B. Kenntnisse der Numerik partieller Differential-Gleichungen, Strömungsdynamik oder Hydraulik), gelingt. Bis

heute sind derartige Beschreibungen von Erosionssystemen mit Unsicherheiten verbunden und auch physikalisch begründete Modelle können die realen Prozesse nur stark vereinfacht wiedergeben. Die Modellvereinfachung findet durch eine Auswahl von Prozessen statt, die den größten Einfluss auf das Modellergebnis (engl. *output*) zeigen. Prozesse, die nur eine geringe Wirkung auf das Modellergebnis besitzen, werden dagegen vernachlässigt.

Die bei der Modellierung zur Beschreibung der Prozessabläufe und Phänomene genutzten Mittel (z.B. mathematische Mittel) erfordern für das Verständnis dieser Prozesse und ihrer Modellierung Kenntnisse und Fähigkeiten, die weit über denen von Studierenden im Grundstudium (und Hauptstudium) liegen. In diesem Fall ist eine Entwicklung von Lehr-/Lernmaterialien angebracht, die den zur Verfügung stehenden Mitteln gerecht wird. Durch methodische Reduktion und Transformation kann eine Vereinfachung von Modellen zur Beschreibung des Prozesskomplexes Bodenerosion für geographische (geomorphologische) Aufgabenstellungen im Grundstudium mit Hilfe webbasierter mmL-Objekte durchgeführt werden. Ziel ist die Anwendung der (zum Teil vereinfachten) Modelle, d.h. der Einfluss unterschiedlicher Faktoren und Prozesse in ihrer raum-zeitlichen Variabilität in unterschiedlichen Maßstabs- und Komplexitätsniveaus soll erkannt werden und Erhaltungsmaßnahmen für einen vorsorgenden Bodenschutz sollen qualitativ und quantitativ beurteilt werden können. Gleichzeitig soll an das Arbeiten mit Geographischen Informationssystemen (GIS) sowie an eine fundierte Planungspraxis mit Standardverfahren für Bodenerhaltungsmaßnahmen herangeführt werden, ohne mit allen Details der Modelle vertraut sein zu müssen. Das detaillierte Verständnis der Modellkonstruktionen erfordert fundierte Kenntnisse und Fertigkeiten aus den Fächern Mathematik und Physik, die zum Teil weit über das Niveau hinausgehen, das im Rahmen des Grundstudiums (und Hauptstudiums) der Physischen Geographie gefordert wird. Daher dienen die Modellanwendungen vielmehr als Mittel zum Zweck: In erster Linie haben sie die Funktion, als Medien eine Brücke zum Verständnis der komplexen Wirkungszusammenhänge im Mensch-Umweltgefüge schlagen zu können.

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit webbasierte mmL-Objekte zur Bodenerosion und ihrer Modellierung entwickelt. Die Prozessbeschreibungen finden dabei in unterschiedlichen Skalenniveaus statt. Mit Hilfe der modellbezogenen Aufgabenstellungen kann Studierenden das Thema der Mo-

dellierung von Bodenerosionsprozessen unter einer Systemperspektive dargeboten werden, die zu einer Reflexion über geowissenschaftliche Konzepte und Modellkonstruktionen mit unterschiedlichen Zielsetzungen führen kann. In der Landschaftsökologie wird mit Hilfe von Modellen versucht, einen mehr oder weniger homogenen Ausschnitt der Realität in idealisierter, strukturierter Weise unter einer bestimmten Fragestellung zu beschreiben und zu erklären. Durch das Arbeiten mit Modellen auf unterschiedlichen Komplexitätsniveaus kann diese Herangehensweise einen Zugang zum Verständnis landschaftsökologischen / geographischen Arbeitens und der Komplexität landschaftshaushaltlicher Prozessabläufe eröffnen. Einsichten in Modellkonstruktionen und Modellergebnisse können die Grundlage für Diskussionen über Landschaftsbewertungen hinsichtlich landwirtschaftlicher Nutzungspotentiale und geökologischer Risiken bieten.

3.3.3.1 Screening Modelle in Verbindung mit GIS-basierten Internet Mapping Systemen und deren Nutzung in mML-Objekten

Im kleinen Maßstab ermöglichen einfache Screening-Modelle mit geringer Parameterzahl, wie das Verfahren nach CAPELLE & LÜDERS (1985) zur Bewertung der potentiellen Erosionsgefährdung anhand der Geofaktoren Boden und Relief, ein Heranführen an geökologische Modellierungen und Raumkonzepte. Dabei sollten die heutigen Möglichkeiten der Modellintegration durch Kopplung mit Geographischen Informationssystemen (GIS) für Studierende transparent und durch Möglichkeiten der aktiven Auseinandersetzung mit aktuellen geographischen Arbeitsmethoden zugänglich gemacht werden. Die aktive Datenexploration bietet dabei einen Zugang zur Anwendung von Modellen und Methoden. Da zu Studienbeginn im Allgemeinen noch auf keinerlei Erfahrung mit GIS aufgebaut werden kann, sollte die technische Komponente des GIS-Einsatzes so einfach wie möglich gehalten werden. Eine Auseinandersetzung mit Modellierungstechniken und GIS auf Grundlage von raumbezogenen Geodaten kann gut durch Aufgabenstellungen stattfinden, die mit der ArcIMS-Technologie (Internet Mapping System, siehe Kapitel 4) umgesetzt werden. Der Parameterdatensatz mit den Bodenarten muss dafür mit den aus einem digitalen Geländemodell abgeleiteten Hangneigungsklassen räumlich verschnitten werden. Mit den aufbereiteten Daten kann dann das selbständige Anwenden des Screening-Modells zur Ermittlung von Flä-

chen potentieller Erosionsgefährdung durchgeführt werden. Eine Kurzanleitung zur Flächenselektion sollte nach Bedarf abgerufen werden können. Zusätzliche mML-Objekte zur Parametrisierung der Modelleingangsgröße Boden sollten den Einfluss der Bodeneigenschaften auf das Modellergebnis beschreiben, um das Modellverständnis vertiefen zu können sowie die situative Einbettung der GIS-basierten Modellierung zu erleichtern, indem Arbeitsschritte der Gelände- und Laborarbeit angesprochen werden.

Übertragbarkeit auf andere Themenbereiche

Die Bearbeitung von Problemstellungen mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen (GIS) ermöglicht die Visualisierung räumlicher Zusammenhänge. In Forschung und Praxis werden GIS zur Datenverarbeitung mit Raumbezug eingesetzt. Mit der rasanten technischen Entwicklung internetbasierter GIS-Anwendungen, die heute auch den interaktiven Umgang (Datenselektion und –abfragen, Klassifizierung, räumliche Analysen, etc.) mit räumlichen Daten erlauben, lassen sich mML-Objekte zu Modellierungen, Datenanalysen und Visualisierungen mit Hilfe von webbasierten GIS-Anwendungen in geo-, umwelt- und ingenieurwissenschaftlichen sowie kultur- und wirtschaftswissenschaftlichen Bereichen realisieren.

3.3.3.2 Modellierung zur quantitativen Abschätzung des Bodenabtrags – Umsetzungsperspektiven in mML-Objekten

Eine Erweiterung des Parameterumfangs zur Beurteilung der Bodenerosion wird dann erforderlich, wenn im Rahmen einer Maßstabsvergrößerung eine nutzungsparzellenbezogene Einschätzung des Erosionsausmaßes unter verschiedenen Bewirtschaftungssystemen gefordert wird und das Modell als Planungsinstrument für die Wahl der Erhaltungsmaßnahmen eingesetzt werden soll. Die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG/USLE) als quantitatives Modell zur Abschätzung der aktuellen und potentiellen Bodenerosion gilt als Standardverfahren bei Bodenerhaltungsmaßnahmen (vgl. MORGEN 1999, 78; MOSIMANN & RÜTTIMANN, 1996; WICKENKAMP *et al.* 2000, 111; ausführliche Darstellung des Modells bei WISCHMEIER & SMITH 1965, 1978 und bei SCHWERTMANN *et al.* 1990, die das Modell für Anwendungen in Mitteleuropa angepasst haben).

Modelle zur quantitativen Abtragsschätzung sollten mit größerer Genauigkeit Vorhersagen ermöglichen als Screening-Modelle, da Erosionsschutzmaßnahmen den Bodenabtrag zwar reduzieren können, häufig aber Geld kosten und/oder die Bewirtschaftung erschweren. Nur eine fundierte Erosionsprognose und Planung macht eine standortgerechte Landnutzung möglich, bei der die Bodenfruchtbarkeit langfristig erhalten bleibt und die Forderung nach Erosionsschutz nicht so überzogen ist, dass die Nutzung der Flächen nicht mehr wirtschaftlich möglich ist. Möglichkeiten zur Bearbeitung praxisnaher Fallstudien sind im Studienalltag sehr begrenzt. Damit erworbenes Wissen nicht „träge“ bleibt und auch in verschiedenen Problemsituationen aktiviert werden kann, sollten Lehr-/Lernmaterialien die aktive Bearbeitung authentischer Problem- und Anwendungssituationen ermöglichen.

Bodenerosionsmodellierung im Rahmen einer Beispiellandschaft

Simulationsumgebungen, in denen Bodenabtragsprozesse für eine Beispiellandschaft auf Grundlage der ABAG berechnet werden können und die mit Hilfe aktueller Visualisierungstechnologie Handlungsoptionen von Benutzern im virtuellen Raum sichtbar machen, können die Konstruktion von praxisnahen Planungssituationen ermöglichen. Die räumliche Erfassung des Bodenerosionsgeschehens kann durch die Integration der ABAG in ein GIS erfolgen (KAGERER & AUERSWALD 1997, NEUFANG *et al.* 1989). Weiterentwicklungen im Bereich der GIS-Technologie ermöglichen heute eine rasterzellenbezogene Modellierung der einzelnen Faktoren der ABAG (vgl. TILLMANN 1999). Auf Grundlage eines digitalen Geländemodells (DGM) kann eine gewichtete Ableitung (je nach Position am Hang) der LS-Faktoren (Hanglängen- und Hangneigungsfaktor) in einem GIS durchgeführt werden (z.B. nach der Methode von MOORE bei WILSON & GALLANT 2000, 51). Dabei sollten auch Strukturelemente wie Wege, Gräben, Wälle, usw. über das digitale Geländemodell bei der Berechnung berücksichtigt werden (VOGES 1999, 71). Eingabeparameter und Berechnungsergebnisse einer Beispiellandschaft weisen spezifische räumliche Verteilungsmuster auf, die in verschiedenen Perspektiven dargestellt (2D Karten, 2,5D Vogelperspektive, 3D Panoramaansicht), leichter zu erfassen sind. Nach Ausführungen von DYKES (2002) befähigt das Arbeiten mit unterschiedlichen Darstellungsperspektiven, die dynamisch miteinander verknüpft sind, die Entwicklung einer besseren Raumvorstellung in virtuel-

len Umgebungen. Der Effekt kann sich dann einstellen, wenn Änderungen in einer Darstellung zeitgleich in den anderen Ansichten umgesetzt werden und daher jederzeit korrekte, aufeinander bezogene Darstellungen präsentiert werden.

Zur Konzeption von Planungsaufgaben zu Bodenerhaltungsmaßnahmen kann in einer interaktiven Simulationsumgebung der Einfluss der Landnutzung auf den Bodenabtrag berechnet werden. Studierende können dann die Rolle eines Landwirtes annehmen und unter einer Kosten-Nutzen-Perspektive eine Fruchtfolgenplanung durchführen und Bewirtschaftungsweisen festlegen. Durch die Wahl unterschiedlicher Nutzungsszenarien wird einerseits der Einfluss des Reliefs und andererseits der erhebliche menschliche Einfluss auf Erosionsprozesse anschaulich verdeutlicht. Können unterschiedliche Variationsmöglichkeiten der Repräsentationsform angeboten werden (z.B. 2D, 2,5D-Vogelperspektive, 360° Panorama), so bieten sich dem Studierenden aktive Einflussmöglichkeiten auf das Multimedia-Objekt. Diese Art der Interaktion kann sich positiv auf die Lernmotivation auswirken (SCHULMEISTER 2003, 212). Höhere Interaktionsgrade können dann erreicht werden, wenn durch benutzergesteuerte Eingaben (z.B. Auswahl der Fruchtfolgen und Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsweise) andere Darstellungen erzeugt (Werte des Bodenabtrags) und auf diese Weise Relationen visualisiert werden. Simulationen stellen Lernenden damit ein Modell eines Realitätsbereiches (eine Beispiellandschaft) zur Verfügung, an dem sie Veränderungen im Realitätsbereich beobachten können (LEUTNER 2001, 557). Die Methode der Simulation kann in einem derartigen „Setting“ heuristische Funktionen für Denkprozesse übernehmen, die zu Reflexionen kognitiver Konzepte des Benutzers führen (SCHULMEISTER 2003, 213). Analysen der Geographiedidaktik zum Lernen mit computerbasierten Simulationen betonen Vorteile der Methode zur Schulung vernetzenden Denkens. Die Einsicht in die Dynamik von Systemen und das Erfassen von Wirkungen kann bei der Veränderung von Systemparametern leichter verdeutlicht werden. Der Zugriff auf komplexe Systeme und der Erwerb von Kenntnissen über tatsächliche Ursachen, Verläufe und Folgen wird über ein Experimentieren, Analysieren und Vergleichen ermöglicht. Durch Hypothesenbildung, Verifikation und Falsifikation sowie der Interpretation von räumlichen Prozessen kann nach SCHRETTENBRUNNER & SCHLEICHER vernetzendes Denken *„...nirgendwo im traditionellen Unterricht so gut geschult werden wie heute mit Hilfe von Computersimulationen“* (2002, 28).

Bodenerosionsmodellierung von Standorten in Mitteleuropa

Die Transparenz des Modells kann erhöht werden, indem eine größere Anzahl an Parametern variiert und der Einfluss auf Berechnungsergebnisse unterschiedlichster Kombinationen und Standorte auch außerhalb einer Beispiellandschaft verglichen werden kann. Damit steigt jedoch auch der Komplexitätsgrad der Anwendung, auch wenn die Dateneingabe zur Durchführung einer standortvariablen Erosionsprognose, entkoppelt von einem GIS, auf einzelne Nutzungspartellen bezogen wird. Gelingt die Programmierung als einfach zu handhabendes computerbasiertes Modell mit Wahlmöglichkeiten über den gesamten Parameterumfang der ABAG und einer mediendidaktisch sinnvoll gestalteten Benutzeroberfläche und Abbildungsstruktur, die einen schnellen Zugang und die Anwendbarkeit des Modells gewährleistet, so können durch interaktive Modellierung sehr schnell Bodenerosionsabschätzungen für unterschiedliche Standortbedingungen durchgeführt und das Modell kann unter verschiedenen Problemstellungen angewandt werden. In praxisnahen Aufgabenstellungen oder in Verbindung mit Geländearbeit können Studierende dann erfahren, wie eine fundierte Erosionsplanung durchgeführt wird,

- bei der das Ausmaß des Bodenabtrags für nahezu jeden Standort in Mitteleuropa realistisch abgeschätzt werden kann.
- bei der entschieden werden kann, ob die derzeitige Nutzung standortgerecht ist oder ob erosionsmindernde Maßnahmen und Anbauverfahren ergriffen werden sollten.
- mit deren Hilfe sie beurteilen können, ob zukünftige Maßnahmen ausreichen, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten.
- die einen Vergleich und die Optimierung von Planungsvarianten des Wegenetzes zur Beurteilung von Auswirkungen der Flurbereinigung ermöglicht.

Zur Realisierung müssen die Programmroutinen so entwickelt werden, dass die Faktorenwerte des Modells aus den Eingabedaten generiert werden können. Im Vergleich mit der Simulation von Bodenerosionsprozessen in einer Beispiellandschaft bleibt das Arbeiten mit dem auf einzelne Nutzungspartellen bezogenen Modell mit der Eingabe und Ausgabe von Zahlenwerten jedoch sehr abstrakt. Zur

Interpretation der Werte kann kaum an Erfahrungen und Vorwissen angeknüpft (z.B. Alltagserfahrungen, Schulkenntnisse oder bisheriges Studium) werden. Dies würde jedoch die Aufnahme in eigene, bereits bestehende Wissensstrukturen erleichtern (vgl. Kapitel 2.3.1.2). So fällt es häufig schwer, Größenordnungen von Eingabe- und Ausgabewerten richtig einzuschätzen und treffend zu bewerten. Es fehlt an Vorstellungen z.B. zur Hangneigung (Wie steil sind 5° oder 9 % Neigung?) oder Bodenverlustraten (Sind beispielsweise fünf Tonnen Bodenabtrag pro Hektar und Jahr viel?). Potentiale digitaler Medien können in diesem Zusammenhang genutzt werden, indem z.B. visuelle Verständnishilfen angeboten werden. Interaktive Graphiken von Hangprofilen ermöglichen einen direkten Vergleich zwischen Neigung und Abtrag (bei sonst konstant gehaltenen Werten) oder 2,5D-Geländeansichten können, gekoppelt mit interaktiven Graphiken der Hangprofile, die jeweils gewählten Neigungsgrade in gewohnter Blickperspektive in einer Beispiellandschaft anzeigen. Zur leichteren Verständlichkeit einer quantitativen Bewertung des Bodenabtrags, dessen Ausmaß in dem Modell in Tonnen pro Hektar und Jahr angegeben wird, kann der Bodenverlust zusätzlich als Verkürzung der Bodensäule angegeben (z.B. in Zentimetern) und in einem Blockbild graphisch veranschaulicht werden. Darüber hinaus bietet die Aufbereitung des Modells als Computerprogramm die Möglichkeit Reaktionen auf Benutzereingaben zu integrieren. Dies können

- Hilfestellungen bei Planungs- und Schutzmaßnahmen sein, indem z.B. die kritische Hanglänge für eine wirksame Querbewirtschaftung angegeben wird und situationsabhängig Vorschläge zur wirksamen Reduzierung des Bodenabtrags durch Hangverkürzung angeboten werden.
- Hinweise als Reaktion auf eine bestimmte Benutzerwahl sein, indem z.B. darauf hingewiesen wird, welche Regressionsgleichung zur Bestimmung des R-Faktors die besseren Ergebnisse liefert.
- Fehlermeldungen und Warnhinweise sein, die Randbedingungen des Modells verdeutlichen. Wenn beispielsweise Eingabedaten zu groß werden oder bei der Aufteilung eines Hanges die Berechnung zeigt, dass in einem Teilstück sehr wahrscheinlich Sedimentation auftritt, sollten die Eingabewerte daraufhin überprüft werden (Die ABAG gilt nur zwischen den Bereichen mit Oberflächenabfluss und einsetzender Sedimentation).

Vor allem für unerfahrene Anwender stellen die Reaktionen des Programms eine gute Hilfe im Lernprozess zum sicheren Umgang mit dem Modell dar.

Vertiefende Informationen zur Parametrisierung der Faktorenwerte, wie z.B. Tabellen zu den Regressionsgleichungen zur Ableitung des R-Faktors, der die standortspezifische Erosionswirkung von Niederschlag und Oberflächenabfluss kennzeichnet oder z.B. die Gleichung zur Bestimmung des LS-Faktors, der die Veränderung des Bodenabtrages bei von den Standardbedingungen abweichender Hanglänge und Neigung beschreibt, sollten für eine intensivere Beschäftigung mit der Modellkonstruktion zusätzlich abrufbar sein.

Mit Möglichkeiten zur offenen Variation der Eingangsdaten kann durch Experimentieren, Simulieren und Vergleichen ein konzeptionelles Verständnis für die Modellkonstruktion aufgebaut werden. Bei der Bereitstellung eines derartigen Computermodells als Analyse- und Planungswerkzeug können für unterschiedliche Landnutzungsszenarien und Standorte Wirkungszusammenhänge im Prozesskomplex deutlich und Wirkungsweisen von Erhaltungsmaßnahmen nachvollziehbar werden.

Ein großer Vorteil gegenüber der Bearbeitung von vorgefertigten Fallbeispielen in geschlossenen Systemen besteht dann, wenn Eingangsdaten durch empirische Arbeiten (Kartierungen, Messungen) erhoben und direkt in das System integriert werden können und auf wissenschaftlicher Basis angewandten praxisnahen Fragestellungen individuell nachgegangen werden kann. Verarbeitung und Vergleich der vor Ort durch Studierende gewonnenen Daten, Modell- und Kartiererergebnisse ermöglichen dann eine Überprüfung der vorgeschlagenen und vorgestellten Erklärungsmuster sowie eine kritische Reflexion der Konstruktion von geomorphologischen Prozessen und deren Abbildung in Modellen. Sie erweitern durch den vergleichenden Ansatz den geographischen Horizont.

Möglichkeiten zur Verbesserung des Modellverständnisses durch Sensitivitätsanalysen

Eine wahlfreie Dateneingabe erlaubt auch eine Sensitivitätsanalyse des Modells, die anzeigt, um wie viel sich Ergebniswerte eines Modells im Verhältnis zur Veränderung der Eingangsgrößen ändern. Die eigenständige Durchführung der Analyse kann Studierenden einen vertieften Einblick in modellierte Wirkungszusammenhänge eröffnen, das Modellverständnis und die praktische Handhabung

verbessern, die Beurteilung der Sensitivität von Modelleingangsgrößen und – ergebnissen ermöglichen sowie die kritische Reflexion des Modellkonstruktes fördern. Sensitivitätsanalysen zeigen, ob sich ein Modell bei Veränderung der Parameter logisch verhält und welche Eingangsgrößen die empfindlichsten sind, also den größten Einfluss auf das Modellergebnis ausüben. Sie richten die Aufmerksamkeit des Anwenders darauf, wie genau die Eingangswerte gemessen oder geschätzt werden sollten. Die Kenntnis möglicher Irrtümer, die in den Eingangsdaten enthalten sein können (z.B. wenn sensible Eingangsdaten nicht in adäquater räumlicher oder zeitlicher Auflösung zur Verfügung stehen), ist zur Beurteilung der Modellergebnisse wichtig, weil sie eine potentielle Fehlerquelle für jede Abschätzung oder Vorhersage darstellt.

Eine Sensibilitätsanalyse kann durch Variation der einzelnen Eingangsgrößen von z.B. $\pm 10\%$ (und/oder $\pm 20\%$, $\pm 50\%$ etc.) um einen mittleren Ausgangswert (Werte einer durchschnittlichen Parzelle, deren Eingangsgrößen jeweils auf 100% gesetzt werden) erfolgen. Damit kann die Sensitivität für die Bereiche verdeutlicht werden, in denen die meisten Eingangsgrößen liegen. Die Ergebniswerte (prozentuale Veränderung der berechneten Abtragswerte) können für jeden getesteten Parameter graphisch dargestellt werden. Die Parameter, die die steilsten Graphen aufweisen, haben bei Veränderung die größte Wirkung auf berechnete Abtragswerte. Sie reagieren am sensitivsten. Bei der Erhebung der Eingabedaten ist ein hohes Maß an Genauigkeit erforderlich. Die graphische Umsetzung der Zahlenwerte erleichtert dabei die Interpretation der Analyse und kann von Studierenden (z.B. mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms wie Excel oder auf Papier) eigenständig vorgenommen werden.

NEARING *et al.* (1990) schlagen zum Vergleich der Sensitivität von Parametern in Bodenerosionsmodellen die Definition eines Sensitivitätsparameters vor, der auf dem Konzept von MCCUEN (1973) basiert und nach folgender Gleichung abgeleitet werden kann:

$$S = \frac{O_2 - O_1}{O_{12}} \bigg/ \frac{I_2 - I_1}{I_{12}}$$

- S = dimensionsloses Maß der Sensitivität
- I₁ = kleinster Eingangswert
- I₂ = größter Eingangswert
- I₁₂ = Mittelwert von I₁ und I₂
- O₁ = Abtragswert von I₁
- O₂ = Abtragswert von I₂
- O₁₂ = Mittelwert von O₁ und O₂

S ist ein relatives Maß für die normalisierte Änderung der Abtragswerte im Verhältnis zur normalisierten Änderung der jeweiligen Eingangswerte. Je stärker der S-Wert (positiv oder negativ) von null abweicht, desto größer ist der Einfluss der Eingangsgröße auf die Berechnungsergebnisse des Modells. Ist der ermittelte Sensitivitätsparameter kleiner als null, dann korrespondiert eine Vergrößerung des Eingangswertes mit einer Verkleinerung des Abtragswertes. Ist der Parameter positiv, so nimmt bei einer Vergrößerung des Eingangswertes auch der Abtragswert zu. Das Intervall der Eingangsgrößen kann wie im oben beschriebenen Verfahren um mittlere Werte eines definierten Hanges (Standort mit mittleren Faktorenausprägungen) festgelegt werden (z.B. ± 50% des Mittelwertes) (vgl. GERLINGER 2000, 259).

Eine derartige Sensitivitätsanalyse lässt sich mit Hilfe eines computerbasierten Modells schnell und einfach von Studierenden durchführen. Reaktionen des Modells auf Änderungen der Eingangsgrößen lassen sich leichter nachvollziehen und die Durchführung erweitert das Methodenrepertoire.

Übertragbarkeit auf andere Themenbereiche

Die mit Hilfe webbasierter Medien realisierte Methode des Lehrens und Lernens mit Computersimulationen kann in ähnlicher Form auch in anderen naturwissenschaftlichen Bereichen Wechselwirkungen und Systemzusammenhänge verdeutlichen und die Gefahr der Entwicklung monokausaler Denkstrukturen aufheben. Die Modellierung auf Grundlage eigener Datensätze sowie die Durchführung von Sensitivitätsanalysen ist für quantitative Modelle anderer Bereiche möglich, wenn die Abbildung des Modells im Rahmen eines mmL-Objekts die freie Dateneingabe zulässt und Modellalgorithmen, Gleichungen und Berechnungsprozeduren in die webbasierte Anwendung integriert werden können. Die beschriebene Vorgehensweise kann dann in verschiedene Kontexte quantitativer Modellierung übernommen werden.

3.3.3.3 Prozessorientierte Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten – Umsetzungsperspektiven in mmL-Objekten

Prozessorientierte Modelle mit physikalisch begründeten Ansätzen ermöglichen die Quantifizierung des Feststoffaustrages, des Transportes auf der Bodenoberfläche und der Ablagerung von Bodenmaterial an anderer Stelle. Damit eignen sie sich sowohl zur Vorhersage von erosionsbedingten Schäden auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen („on-site“-Schäden, wie z.B. Verlust der Bodenfruchtbarkeit) als auch zur Abschätzung der so genannten „off-site“-Schäden wie z.B. Stoffeinträge in das Gewässernetz. Die Beschreibung einer größeren Auswahl derzeit verfügbarer Bodenerosionsmodelle mit physikalisch begründetem Ansatz und deren Anwendung bietet SCHMIDT (2000) an (ergänzend siehe JETTEN *et al.* 2003). Eine breite Übersicht über derzeit verfügbare Modelle stellt MICHAEL (2000) vor.

Aufgrund der Vorzüge prozessorientierter Modelle und der zunehmenden Vereinfachung der Parametrisierung von Eingabegrößen durch Monogramme und regionale Parameterkataloge streben Entwickler von Modellen wie Erosion-2D/3D den verstärkten Einsatz in der Planungspraxis an (GEOGNOSTICS 2003). Bei Planungsvorhaben bietet das Modell Erosion-2D/3D (SCHMIDT 1996) Berechnungsergebnisse zur:

- kurz- und langfristigen Prognose des Bodenabtrags für unterschiedliche Fruchtfolgen, Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsweisen;
- Prognose der Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen;
- Optimierung von Planungsvarianten (z.B. des Wegenetzes);
- Beurteilung der Auswirkungen von Flurbereinigungsmaßnahmen;
- Bestimmung des Stoffaustrags aus schadstoffbelasteten Flächen;
- Abschätzung des Eintrags von abgeschwemmtem Bodenmaterial und partikelgebundenen Nähr- und Schadstoffen (Schwermetalle) in das Gewässernetz und in naturnahe Biotope.

Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung von einem Meter können Substrat und Nutzungswechsel unmittelbar berücksichtigt werden. Die zeitliche Auflösung von minimal 10 Minuten-Intervallen ermöglicht die Berechnung des Feststoffaustrages einzelner Niederschlags- bzw. Erosionsereignisse. Werden die einzelnen Erosionsereignisse zu Sequenzen verknüpft, so können auch Zeiträume von Monaten und Jahren abgebildet werden. Das Modell unterscheidet zur rechnerischen Beschreibung des Prozesskomplexes Bodenerosion folgende Teilkomponenten (SCHMIDT 1996):

- Die Infiltration des Niederschlagswassers in den Boden und der davon abhängige Oberflächenabfluss.
- Die Loslösung der Bodenpartikel durch Tropfenaufprall und Überströmung der Bodenoberfläche.
- Der hydraulische Transport der Partikel mit dem Oberflächenabfluss.

Eine räumlich und zeitlich differenzierte Beschreibung des Bodenabtrags und der Deposition erfolgt auf Grundlage der Kontinuitätsgleichung. Sie ist ein Ausdruck für die Feststoffbilanz – bezogen auf ein Hangsegment – und bildet die Grundlage vieler physikalisch begründeter Modelle. Für jeden Teilprozess werden zunächst

kleine, als homogen angesehene Raum- und Zeitsegmente beurteilt. Erst die Verknüpfung dieser Segmente über die Kontinuitätsgleichung zeigt für ein Hangsegment, ob Erosion oder Akkumulation vorherrscht (detaillierte Beschreibung der Modellgrundlagen bei SCHMIDT 1996, Anwendung des Modells bei SCHMIDT *et al.* 1997).

Voraussetzungen für das Verständnis der Modellkonstruktion und einer quantitativen Betrachtung der dem Modell zugrunde liegenden Teilprozesse sind Kenntnisse in (höherer) Mathematik und Physik (Kinematik, Hydraulik, Strömungsdynamik). Aufgrund der Komplexität ist auch die Anwendung der Computermodelle an Voraussetzungen gebunden, deren Vermittlung über Lehr-/Lernziele im Grundstudium der Physischen Geographie hinausreichen. So erfordern Erosionsprognosen mit dem Modell Erosion-2D weitreichende Kenntnisse zur Parametrisierung der Grundlagendaten und Erfahrungen im Bereich der Bodenerosionsmodellierung zur Interpretation der Berechnungsergebnisse. Der Einsatz des Modells Erosion-3D erfordert darüber hinaus zur räumlichen Bereitstellung der Eingabeparameter umfangreiche Fähigkeiten im Umgang mit Geographischen Informationssystemen. Da der Mehrzahl der Studierenden der Geographie im Grundstudium entsprechende Kenntnisse und Fähigkeiten fehlen, sollten Ansätze zur prozessorientierten Modellierung der Bodenerosion auf ein konzeptionelles Verständnis abzielen. Ein webbasiertes Lernangebot ermöglicht dann ein Lernen durch Modellierung, wenn sich Benutzeroberflächen und Abbildungsstrukturen der Modelle an Fähigkeiten der Studierenden orientieren und damit die Anwendbarkeit und Zugänglichkeit gewährleisten. Eigenschaften und Wechselwirkungen der im Modell abgebildeten Prozesse können von Studierenden erschlossen werden, wenn Eingangsdaten und -parameter in Beziehung zu Modellergebnissen gesetzt werden können. Die Modellierung kann bei einem Ansatz, der die Variation von Eingangsdaten und den Vergleich von Eingabedaten und Berechnungsergebnissen ermöglicht, elementare Denkprozesse (analytisch und synthetisch im Wechsel) über Zusammenhänge im Prozessgefüge anstoßen. Zur Verifizierung oder Falsifizierung ihrer Hypothesen können Studierende dann Eingangsgrößen variieren und mit den Modellergebnissen interpretierend vergleichen. Die Auswahlmöglichkeiten an Parametern sollte dabei auf wesentliche Steuergrößen reduziert werden, um eine allzu große Komplexität zu verhindern. Jedoch besteht die Gefahr bei einer zu starken Reduzierung der Parameter, dass zu einfache und falsche Vorstellungen

über Prozessabläufe und Einflussfaktoren entstehen. Es sollte eine Auswahl getroffen werden, mit deren Kombination wesentliche Zusammenhänge verdeutlicht werden können (z.B. Wirkung der Intensität der Niederschläge oder der Hangneigung, -form und -länge auf den Oberflächenabfluss und Sedimenttransport) und die es Studierenden ermöglicht, vertiefende Erklärungsansätze bei Bedarf in ihr mentales Modell zu integrieren, ohne es völlig neu aufbauen zu müssen. Modellierungsergebnisse können –dargestellt als Graphiken, Karten und 2,5D-Abbildungen – leichter interpretiert werden als abstrakte Zahlenwerte. Fragestellungen zu Effekten von Eingangsdaten und Parametern können zur aktiven Auseinandersetzung mit dem vereinfachten Modell anregen und die Aufmerksamkeit auf Kernaussagen und bedeutende Zusammenhänge und Effekte lenken.

Übertragbarkeit auf andere Themenbereiche

Die Wahl eines Ansatzes, der auf ein „Lernen mit Modellen“ ausgerichtet ist, kann prototypisch auf Modellierungen, Gleichungen und Simulationen aus anderen Bereichen der Naturwissenschaften übertragen werden, deren Verständnis weitreichende Kenntnisse und Fertigkeiten voraussetzt, der Erwerb der erforderlichen Mittel jedoch über das Lehr-/Lernziel der entsprechenden Lehr-/Lernsituation hinausreicht. Die Beschreibung der Prozesse sowie die Handhabbarkeit der Modelle kann in der von mir beschriebenen Art und Weise so vereinfacht werden, dass Modellierungen für Studierende mit geringen Vorkenntnissen zugänglich werden.

Die Breite der verschiedenen Modellierungsansätze erfordert sehr unterschiedliche methodische Zugänge. Es stellt sich die Frage, welche Potentiale durch Entwicklungen in der Geographie (z.B. in den Bereichen webbasierte GIS-Anwendungen, Landschaftsmodellierung und –visualisierung) sowie in den Bereichen der graphischen Datenverarbeitung und Internet-Technologie für die Entwicklung von mmL-Objekten nutzbar gemacht werden können und welche Einschränkungen durch die Distribution via Internet entstehen. Im folgenden Kapitel wird daher untersucht, welche Anwendungen sich besonders gut für die Entwicklung webbasierter mmL-Angebote in der Geographie (Geomorphologie) eignen.

4 Potentiale und Rahmenbedingen technischer Entwicklungen für die Konstruktion webbasierter multimedialer Lehr-/Lern-Objekte in der Geographie/Geomorphologie

Die Nutzung des Internet gewinnt in der Hochschullehre zunehmend an Bedeutung und ist aus dem universitären Alltag Studierender und Lehrender mit webbasierter Recherche und Kommunikation nicht mehr wegzudenken. Der Internetdiskurs ist heute durch die Suche nach effektiven (und effizienten) Einsatzszenarien webbasierter Lehre geprägt. Von technikzentrierten Schreckensszenarien der Entmenschlichung und Vereinsamung hat man sich ebenso verabschiedet wie von technikzentrierten Heilserwartungen der Erleichterung und Verbesserung des Lebens und des Lernens (DÖRING 2002, 247). GROTEN formuliert zur Stellung des Internet im Bildungswesen: *„Das Internet ist das Leitmedium der Wissensgesellschaft, und Wissen ist ihr Grundstoff. Mehr als heute schon wird dies für die Zukunft gelten.“* (GROTEN 2003, 9).

Durch die zunehmende Leistungsfähigkeit der Informations- und Kommunikationstechnologie können auch für das Fach Geographie (Geomorphologie) weitreichende Möglichkeiten für die Konzeption und Entwicklung webbasierter Lehr-/Lernmaterialien vermutet werden. Aus technischer Sicht sind meines Erachtens dabei folgende Komponenten von besonderer Bedeutung (Abb. 4.1).

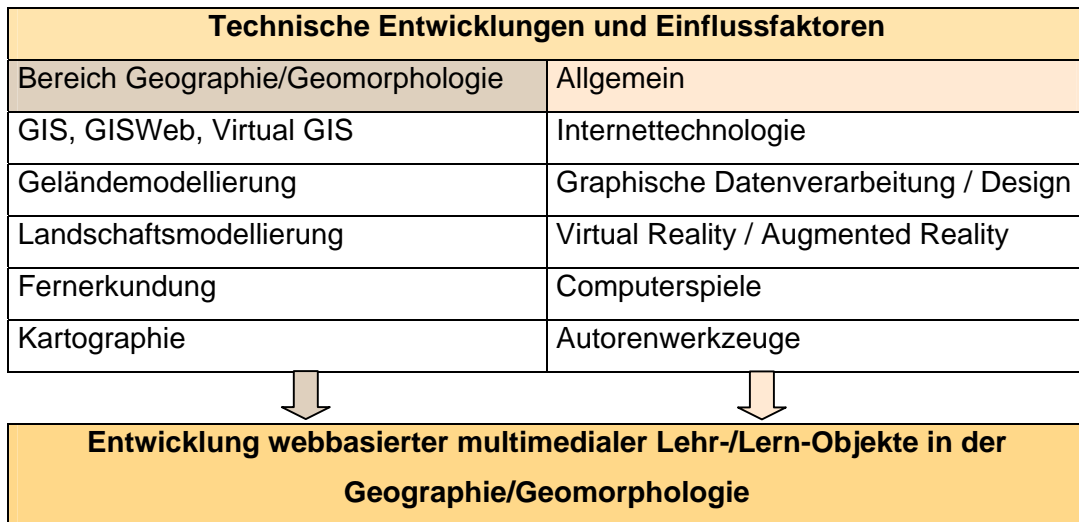


Abb. 4.1: Einflussfaktoren und Entwicklungen im Kontext webbasierter mmL-Angebote in der Geographie (Geomorphologie) aus technischer Sicht

4.1 Entwicklungen im Bereich der Geographie/Geomorphologie

Mit der rasanten IT-Entwicklung konnten sich geographische Anwendungen und Methoden technisch so weiterentwickeln, dass mit ihrer Hilfe Modellierungen und Visualisierungen für webbasierte Lehr-/Lernsettings realisiert werden können. Einsatzbereiche webbasierter Materialien zur Kommunikation¹⁵ und zum Lernen komplexer geomorphologischer Inhalte sind vielseitig (SULLIVAN & DILEK 1997; EXTON 1999; in: SHRODER JR. *et al.* 2002, 343) und Möglichkeiten zur Verbesserung der Lehre und Forschung in der Geomorphologie durch das Internet und den Zugang zum World Wide Web werden mehr und mehr genutzt: „*In the past decade, educators have recognized the potential of technology for stimulating student learning an enabling teachers to address higher-order learning tasks*“ (SHRODER JR. *et al.* 2002, 343). Dennoch macht die Integration von webbasierten

¹⁵ Hier im Sinne von transparent, verständlich machen.

Lehr-/Lernmaterialien in die Hochschullehre nur allmählich Fortschritte. Die Qualität der über das Internet angebotenen Materialien, die von jedermann publiziert werden können und keinerlei Qualitätskontrolle unterliegen, ist sehr unterschiedlich und reicht in vielen Fällen zur Nutzung in Lehr-/Lernsituationen nicht aus (TILLMANN *et al.* 2005, 101). In der Forschung angewandte Methoden, Techniken und Darstellungen sollten, um einen lerneffektiven Einsatz von mmL-Materialien zu gewährleisten, an die Bedürfnisse der Zielgruppe (in diesem Fall Studierende im Grundstudium) angepasst und unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 beschriebenen mediendidaktisch-gestalterischen Aspekte entwickelt werden. Viel zu oft werden Abbildungen, die in Lehr-/Lernkontexten eingesetzt werden, unverändert aus dem Forschungsalltag der Lehrenden entnommen (KRYGIER *et al.* 1997, 149; FRASER 1999, digitales Dokument, ohne Seitenangabe). Auf das Problem fehlender Zielgruppenorientierung und Kontextualisierung von Materialien weisen auch ORLAND *et al.* (2001, 143) im Rahmen von lokalen Planungsprozessen (z.B. in einer Gemeinde) hin: *„Data-driven visualization and photo-realistic visualization are rapidly replacing tabular or verbal information in public presentations and environmental impact statements. In each of these cases however, information has most often been presented as images delivered to the user, often with little description of the context in which they fit, and usually with no opportunity to react and provide feedback.“*

Findet eine Visualisierung auf Grundlage der für Planungszwecke erhobenen Daten ohne methodisch-didaktische Transformation statt, besteht die Gefahr, dass Abbildungen und Materialien die Zielgruppe nicht erreichen. Die Kommunikation der Planungsergebnisse, z.B. innerhalb einer Expertengruppe oder ortsansässiger Bürger, ist – vergleichbar mit der Vermittlung von Inhalten in einer Lehr-/Lernsituation – für einen effizienten Planungsprozess (bzw. Lernprozess) zentral. Das Problem entsteht nicht zuletzt durch eine im Zuge der technischen Perfektion ständig weiter entwickelten Visualisierungstechnologie, gegenüber der Konzepte für einen mediendidaktisch sinnvoll gestalteten Zugang zu den technisch erzeugten Visualisierungen fehlen. Aufgabe ist daher bei der Konzeption und Entwicklung von mmL-Angeboten, potentielle technischer Entwicklungen aufzugreifen und gleichzeitig die verschiedenen technisch, didaktisch-methodischen Aspekte sinnvoll aufeinander zu beziehen, um einen schnellen Zugang und eine einfache Anwendbarkeit der Angebote zu gewährleisten.

4.1.1 Geographische Informationssysteme (GIS)

Geographische Informationssysteme (GIS) stellen eines der zentralen Arbeitswerkzeuge in der Geographie dar. Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, welche Potentiale GIS als eine sich rapide weiterentwickelnde Software-Technologie im Rahmen von Lehr-/Lernkontexten birgt und welche Interaktions- und Visualisierungsmöglichkeiten für Lehr-/Lernzwecke nutzbar gemacht werden können.

Ein Geographisches Informationssystem ist ein System zur Verwaltung, Analyse und Visualisierung von Informationen mit Raumbezug. GIS unterstützen verschiedene Sicht- und Herangehensweisen zur Bearbeitung geographischer Informationen.

GIS als Geodatenbank: Ein GIS ist eine Datenbank mit räumlichen Daten, die geographische Informationen in einem allgemeinen GIS-Datenmodell repräsentieren: Vektordaten (Flächen, Linien, Punkte), Rasterdaten (z.B. Satellitenaufnahmen, Bilddaten), Topologie (Lagebeziehungen) usw. .

Die Datensätze sind in einer Reihe von thematischen Layern (Ebenen, Schichten) und Tabellen organisiert. Sind die Datensätze georeferenziert, besitzen sie Koordinaten und können punktgenau überlagert werden (siehe Abb. 4.2). Datensätze repräsentieren:

- Grundlagendaten (z.B. Messpunkte, Luft- und Satellitenbilder),
- Datenauszüge und interpretierte Informationen (z.B. Landnutzung, Bodenarten),
- Daten, gewonnen durch Modellierung und Analyseverfahren (z.B. Hangneigung, Exposition und Wölbung aus digitalen Geländemodellen).

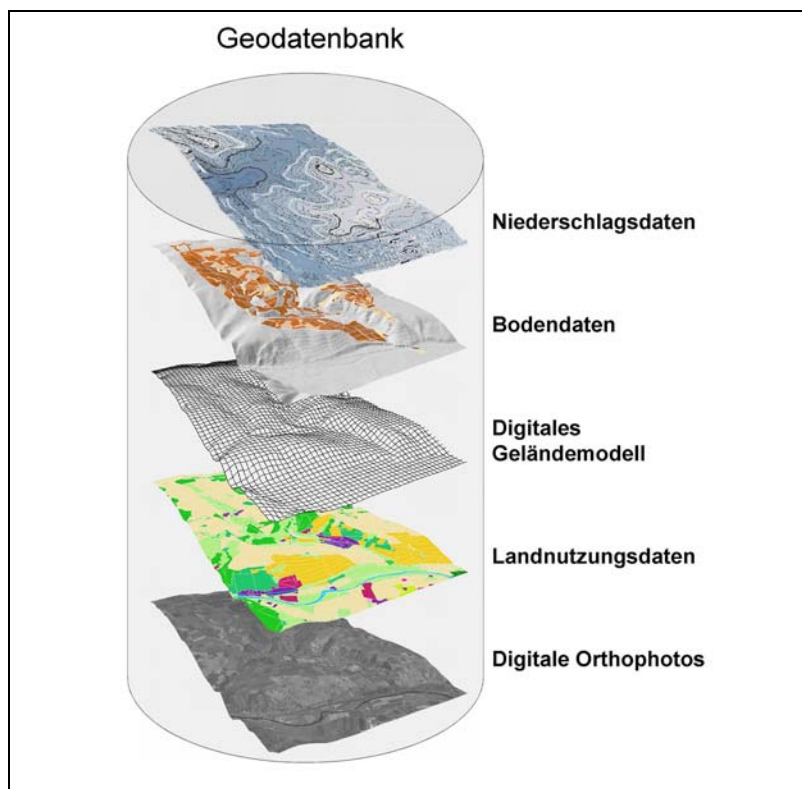


Abb. 4.2: Layer-Konzept der Datenhaltung eines GIS in einer Geodatenbank (verändert nach TILLMANN 1999, 23)

Jede GIS Datenbank unterliegt diesen allgemeinen Prinzipien und Konzepten, mit Hilfe derer geographische Informationen – gemeinsam mit einer Vielzahl an Werkzeugen zur Nutzung und Verwaltung der Daten – beschrieben werden können.

GIS als Visualisierungswerkzeug: Geographische Informationssysteme bestehen aus einer Reihe von „intelligenten“ Karten und anderen Darstellungen (Diagramme, Tabellen, Schemata von Netzwerken), die Eigenschaften und Merkmale der Erdoberfläche mit ihren wechselseitigen Beziehungen aufzeigen können. Verschiedene Kartenansichten (2D, 2,5D Vogelperspektive und 3D) der hinterlegten geographischen Informationen können konstruiert werden und als „Fenster zur Datenbank“ Informationsabfragen, Datenanalysen und die Datenbearbeitungen unterstützen. Die aus den geographischen Datensätzen generierten Darstellungen dienen bei weitem nicht nur zur Entwicklung von Kartenwerken, die auf Grundlage der digitalen Datenbasen schnell und effizient aktualisiert werden können. Als Informations-, Analyse- und Verwaltungssysteme, auf die durch interaktive Karten zugegriffen werden kann, eröffnen sie vielfältige Handlungsmöglichkeiten

mit den Datensätzen. Interaktive Karten fungieren heute als Haupt-Nutzerschnittstelle (Benutzeroberfläche) von GIS-Anwendungen und werden in unterschiedlichen Komplexitätsniveaus und Plattformen, vom mobilen Handgerät über webbasierte interaktive Karten in Internetbrowsern bis zu leistungsfähigen Desktop-GIS-Anwendungen, verfügbar gemacht. Interaktionsmöglichkeiten reichen dabei von der stufenlosen Ausschnittsbildung über gezielte Abfragen von Informationen zu einzelnen Objekten und deren Bearbeitung bis hin zu räumlichen Abfragen und Analysen. Die Abbildungen 4.3 – 4.5 geben einen Eindruck über unterschiedliche Geovisualisierungen und deren Anwendung.

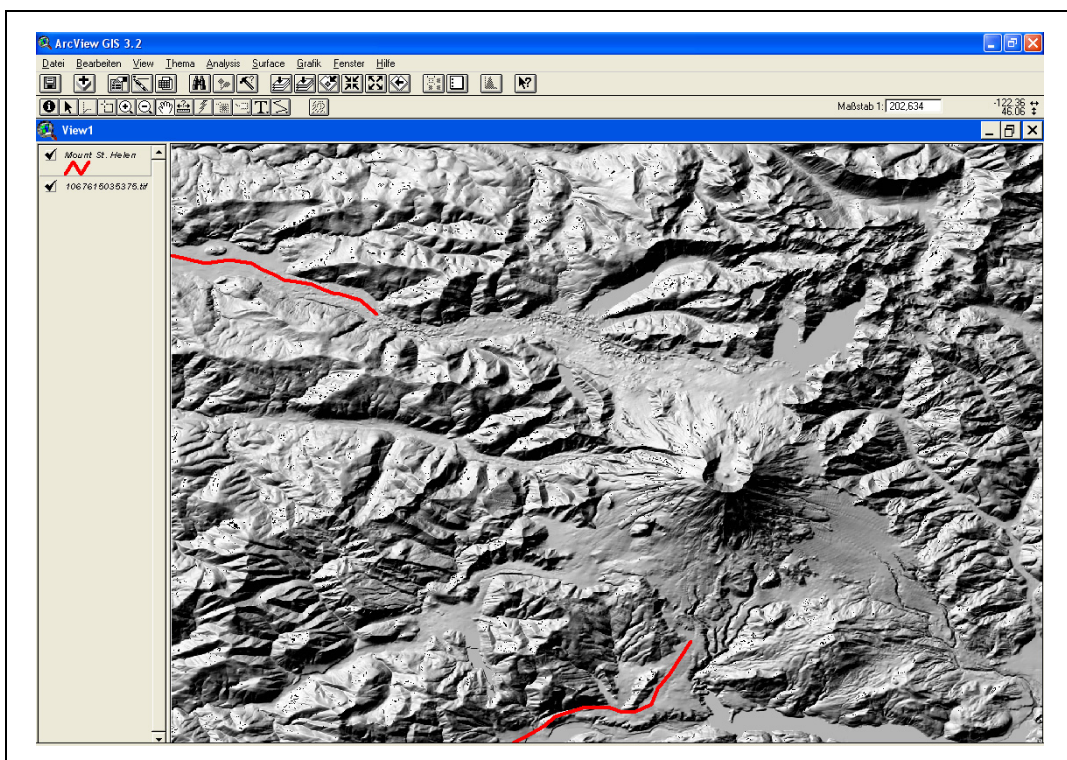


Abb. 4.3: Auswertung des digitalen Geländemodells (DGM) der USA mit einem schattierten Ausschnitt der Region um den Mount St. Helen. Zusätzlich sind Zufahrtsrouten digitalisiert. (eigene Darstellung auf der Basis des National Elevation Dataset (NED) von der U.S. Geological Survey (USGS) http://www.esri.com/data/download/usgs_ned/index.html)

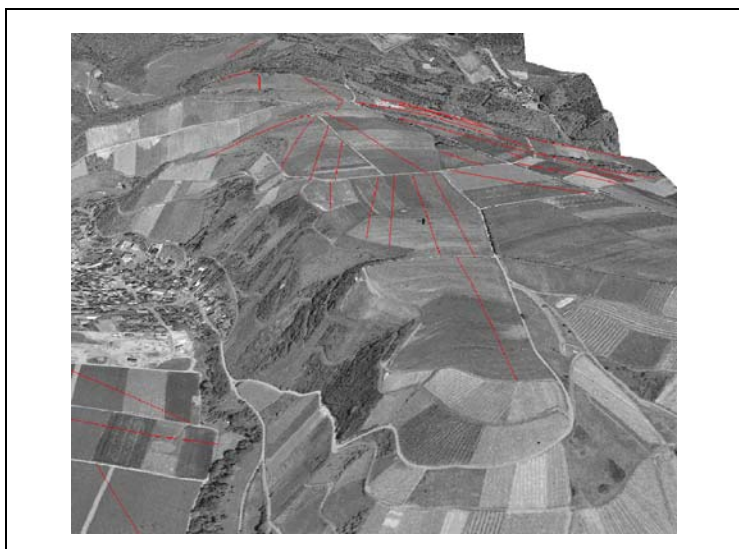


Abb. 4.4: 2,5D Darstellung landwirtschaftlicher Nutzflächen bei Weiler / Nahe mit Vermessungslinien der erosiven Hanglänge (aus TILLMANN 1999, 80).

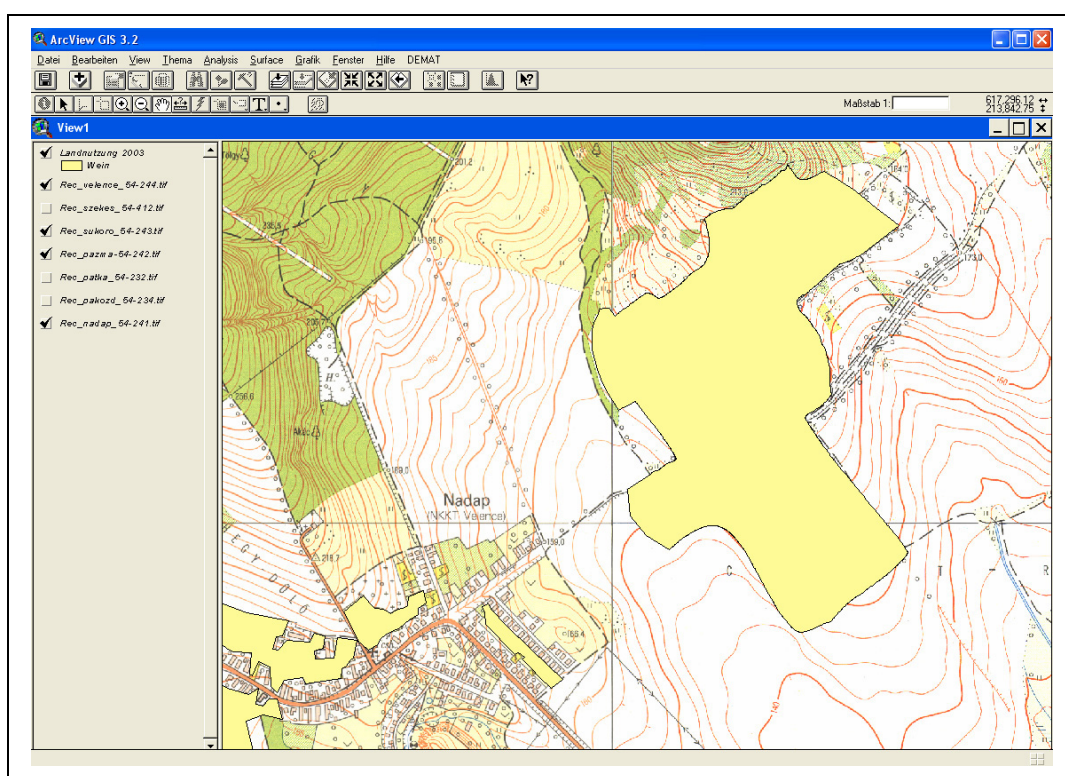


Abb. 4.5: Kartierung von Weinbauflächen auf Grundlage einer digitalen topographischen Karte zur Vorbereitung einer Erosionsprognose am Velencer See in Ungarn (eigene Darstellung, Kartengrundlage: Topographische Karte von Ungarn 1:25.000 Blatt 54_241 Nadap).

GIS aus Sicht der Geodatenverarbeitung: Ein GIS ist ein Instrument zur Transformation von Geodatenbeständen in neue geographische Datensätze und Informationen. Auf bestehende Informationen werden analytische Funktionen und Prozeduren angewandt und die Ergebnisse in neu abgeleitete Datensätze geschrieben.

Prozesse der Geodatenverarbeitung können in einem GIS zu einer Reihe von Teilschritten verbunden werden (Abb. 4.6). Eine derartige Sequenz von Verarbeitungsschritten bildet ein Prozessmodell der Geodatenverarbeitung und wird zur Automatisierung vielfältiger Anwendungen und Funktionen in einem GIS genutzt. Eine Möglichkeit, Arbeitsabläufe der Geodatenverarbeitung zu organisieren, besteht in der Ausführung mehrerer Anweisungen in einer bestimmten Sequenz wie z.B. zur Ableitung verschiedener geländehydrologischer Größen durch Oberflächenanalysen (Wasserscheiden, Fließrichtung, Fließlänge, Flussnetz usw.) oder zur quantitativen Abschätzung der aktuellen und potentiellen Bodenerosionsgefährdung (Abb. 4.6).

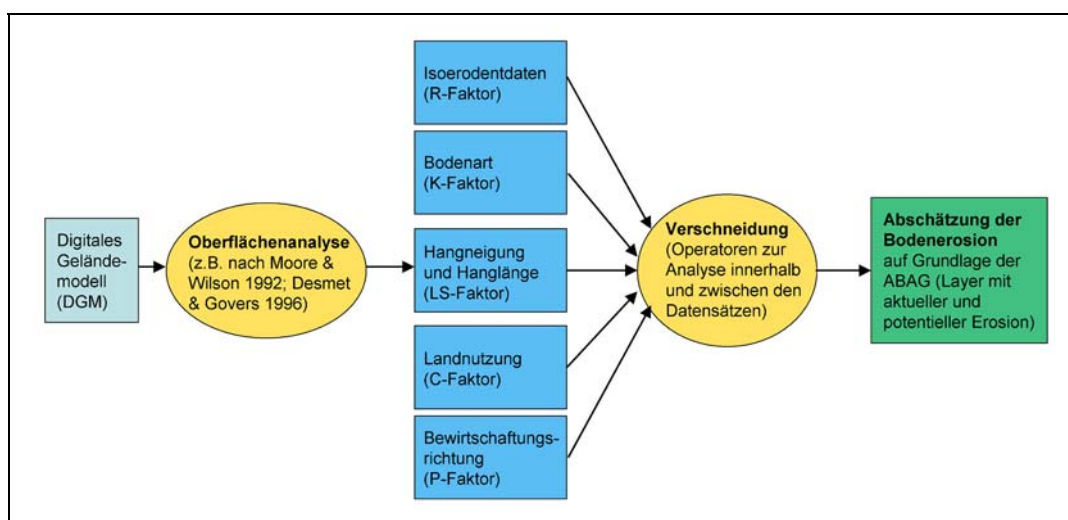


Abb. 4.6: Vereinfachte Darstellung einer Sequenz zur Abschätzung der Bodenerosion durch Implementierung des Modells der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung in ein GIS (eigene Darstellung).

Die Geodatenverarbeitung ist für die geographische räumliche Analyse und Modellierung ein zentrales Methodenwerkzeug. GIS-gestützte Anwendungen modellieren geomorphologisch, geoökologische Größen und Phänomene. Sie berechnen Vorhersagen alternativer Szenarios und unterstützen Bewertungsverfahren anhand multipler Faktorenausprägungen (wie z.B. Interferenzanalysen in Planungsverfahren). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit zur Integration externer Modellanwendungen (wie z.B. Erosion-3D) über standardisierte Datenbankschnittstellen.

Die drei beschriebenen Sichtweisen auf geographische Informationssysteme machen Potentiale für das Lehren und Lernen in der Geographie deutlich. Visualisie-

rungen von Daten, Beziehungen und Vernetzungen über interaktive, thematische Karten bieten ein die mentale Codierung betreffend besonders anregendes Informationsangebot. Nach FALK & HOPPE (2004, 11) kann davon ausgegangen werden, dass thematische Karten (genauso wie Abbildungen) im Vergleich zu Texten durch spezifische, mentale Codierungs- und Verarbeitungsprozesse Wissenskonstrukte bedeutend besser gründen bzw. ergänzen. Es liegt nahe, dass thematische Karten deutlich aufwändiger mental verschlüsselt und verarbeitet werden als Texte und daher besonders effektiv zum Aufbau von Wissensstrukturen genutzt werden können (vgl. Kapitel 2.3.3). Neben den Vorzügen der Repräsentation von Daten und Modellierungsergebnissen sind es vor allem Möglichkeiten zur selbstständigen Informationsverarbeitung, zum Interpretieren, Analysieren, Modellieren und Bewerten von Daten, die GIS-Anwendungen für Lehr-/Lernzwecke als besonders geeignet erscheinen lassen.

KERRES (2001, 99) unterteilt unterschiedliche Medienformen –je nach ihrer Funktion im Lernprozess – in Wissenswerkzeug, Wissenspräsentation und Wissensvermittlung und reiht die unterschiedlichen Medienformen im Spannungsfeld zwischen Didaktisierung¹⁶ und Polyvalenz ein (Abb. 4.7).

Medien zur Wissensvermittlung sind dabei am stärksten auf die Bedingungen des didaktischen Feldes (Zielgruppe, Lehr-/Lernarrangement, Motivation, Vorwissen etc.) ausgerichtet. Das Medium wird dabei möglichst präzise an den Lernprozess angepasst und in der Regel eigens zur Wissensvermittlung (z.B. zur Lösung einer spezifischen Fragestellung) erstellt. Die Wahrscheinlichkeit ist dabei hoch, dass bestimmte Lehr-/Lernziele erreicht werden, auf die das Medium hin konzipiert ist. Die Variabilität zum Einsatz in unterschiedlichen Kontexten (engl. *re-useability*) ist in der Regel jedoch vergleichsweise gering.

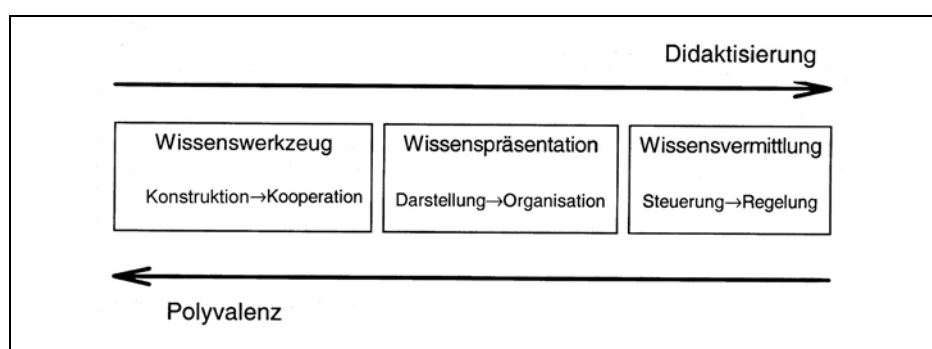


Abb. 4.7: Funktionen von Medien zwischen Didaktisierung (im Sinne von zielgerichteter Konzeption und dem Einsatz in einem spezifischen Lehr-/Lernsetting) und Polyvalenz (im Sinne einer vielschichtigen Einsetzbarkeit eines Mediums in verschiedenen Kontexten und Zusammenhängen) (verändert, nach KERRES 2001, 99)

Medien zur Wissens(re)präsentation dienen von der Darstellung bis hin zur Organisation von Wissen. Sie können in unterschiedlichen Kontexten und Zusammenhängen eingesetzt werden, sind aber auf eine bestimmte Zielgruppe und/oder Lernanforderung abgestimmt (z.B. thematische Karten, Nachschlagewerke).

Wissenswerkzeuge sind Medien und digitale Technologien, deren Funktionalitäten als „Arbeitswerkzeuge“ auch außerhalb von Lehr-/Lernkontexten genutzt werden. Dies sind z.B. Textverarbeitungssysteme, Datenverarbeitungs-, Analyse- und Präsentationssysteme (wie z.B. GIS) oder Technologien zur Kommunikation

¹⁶ Die von KERRES (2001, 100) in diesem Zusammenhang benutzten Begriffe „Didaktisierung“ bzw. „didaktische Aufbereitung“ werden von mir im Sinne methodisch-didaktischer Transformation und Reduktion (vgl. Kapitel 3) verwendet.

und Kooperation. In Lehr-/Lernkontexten können Geographische Informationssysteme daher als Wissenswerkzeuge bezeichnet werden. Um Lernpotentiale nutzbar zu machen, ist es meines Erachtens notwendig, je nach Zielgruppe, Lernaufgaben zu spezifizieren und Lernarrangements so zu organisieren, dass angestrebte Lehr-/Lernziele auch erreicht werden können. Der Einsatz von GIS als Wissenswerkzeug spannt fast zwangsläufig Lehr-/Lernarrangements auf, die durch Kreativität, Problemorientierung und Selbständigkeit im Lernprozess geprägt sind und Lernende im Umfeld komplex miteinander verwobener Informationen mit Raumbezug bei der aktiven Wissenskonstruktion unterstützen können. Diese Verfahren des entdeckenden Lernens (selbsttätig / problemorientiert / entscheidungsbezogen) sind in hohem Maß an Möglichkeiten des interaktiven Umgangs mit den Medien angewiesen. GIS-Anwendungen bieten zur Bearbeitung geographischer Datensätze sehr hohe Interaktionsmöglichkeiten und können durch hohe Polyvalenz in sehr unterschiedlichen Kontexten und Zusammenhängen eingesetzt werden.

4.1.1.1 Interaktionsmöglichkeiten in Geographischen Informationssystemen

Zur differenzierten Analyse und Charakterisierung der Interaktionspotentiale von GIS sollen im Folgenden den verschiedenen Sichtweisen auf Geographische Informationssysteme (als Geodatenbank, als Visualisierungswerkzeug, als Werkzeug zur Geodatenverarbeitung) unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten zugeordnet werden.

- **Interaktionen mit den Daten** beinhalten Datenbankabfragen, Datenselektionen, -filterung, und -klassifikation etc. sowie die Bildung einer statistischen, räumlichen und/oder zeitlichen Auswahl.
- **Interaktionen mit der Datendarstellung** beinhalten Ausschnittsbildung von Kartenansichten (engl. *zoom-in / zoom-out*), Variation der Perspektive, Maßstabsänderungen etc. .
- **Interaktionen mit der zeitlichen Dimension** umfassen Navigationsmöglichkeiten (z.B. im Rahmen von Panoramaansichten) und Überflüge (z.B. bei 3D Gelände- bzw. Landschaftsmodellierungen).

- **Kontextualisierende Interaktionen** werden durch Datenverschneidungen und -kombinationen, multiple Ansichten, dynamische Verknüpfung von Ansichten, vergleichende Ansichtsfenster etc. ermöglicht.

Die aufgeführten Interaktionen zeigen Potentiale digitaler Medien als Erweiterung traditioneller Nutzungsmöglichkeiten geographischer Arbeitsmaterialien (wie z.B. mit gedruckten Karten). Interaktionen mit traditionellen Karten sind unter anderem die Orientierung mit Karten im Gelände, Vergleich von Karte und Gelände, Navigation mit Karten oder Beurteilung des Nutzungswandels. Die technische Weiterentwicklung macht jedoch neue Formen der Interaktivität möglich, die über das Potential von statischen Karten hinausgehen.

CRAMPTON (2002, 88) definiert Interaktivität von Medien zur Visualisierung von Geodaten (GVis) : „, [...] as a system that changes its visual data display in response to user input“. Die Definition trennt auf diese Weise traditionelle statische Karten von digitalen Visualisierungsumgebungen. Analysen und deren visuelle Repräsentation basieren auf interaktive Eingaben von Nutzern. Beispielsweise lassen sich Datenbankabfragen oder Modellierungen ausschließlich mit digitalen Medien realisieren. Es ist leicht nachvollziehbar, dass höhere Interaktivitätsniveaus dann erreicht werden können, wenn vielfältigere Interaktionsmöglichkeiten mit der Visualisierungsumgebung ausführbar sind und Möglichkeiten vorgesehen werden, diese zur anspruchsvollen Analyse von Geodaten zu kombinieren. Durch verschiedene Interaktivitätsformen und deren Kombinationen werden detailliertere und komplexere Untersuchungen durchführbar.

Zur Bewertung verschiedener Interaktionsmöglichkeiten mit Geodaten in Lehr-/Lernkontexten lässt sich das Konzeptes von BUJA *et al.* (1996) und MACEACHREN *et al.* (1998, 88) aufgreifen, welches eine Kategorisierung in Verbindung mit den Anforderungen vornimmt, die durch Interaktionen mit geographischen Datensätzen zu bewältigen sind (Abb. 4.8). Je höher der Komplexitäts- und Schwierigkeitsgrad von Aufgabenstellungen und Anwendungen, desto höher auch das Interaktivitätsniveau und desto größer die Anforderungen an Wissensstand und Expertise der Nutzenden.

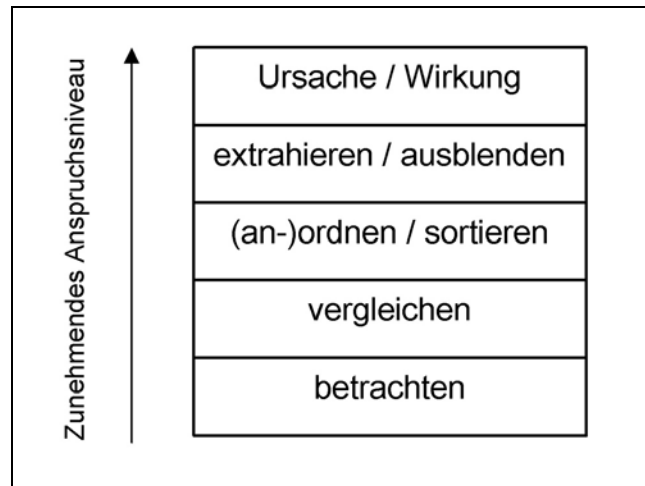


Abb. 4.8: Zunehmendes Anspruchsniveau von interaktiv zu bewältigenden Aufgabenstellungen und Anwendungen (nach CRAMPTON 2002, 88).

Interaktionen können unterschiedlichen Ordnungsstufen zugeordnet werden. Interaktionen mit der Datendarstellung, wie z.B. die Ausschnittsbildung (Zoom), dienen dem betrachten der Datenrepräsentation und erfordern vergleichsweise wenig Vorkenntnisse und Fähigkeiten der Nutzer (niedrige Interaktionsstufe). Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Anforderungen trivial sind. Die Betrachtung der Objekte kann von verschiedenen Perspektiven erfolgen oder die Lichtverhältnisse können variiert werden. In einer dreidimensionalen Visualisierungsumgebung können Objekte durch Drehen und Neigen visuell untersucht werden. Auch wenn das Betrachten einer Karte auf Papier den Interaktionen mit der digitalen Darstellung dieser Interaktionsstufe ähnelt, so eröffnen technische Potentiale doch anspruchsvollere Untersuchungsmöglichkeiten (z.B. kann man bei einer geschummerten Reliefkarte auf Papier keine dynamische vertikale Maßstabsänderung – im Sinne einer Überhöhung – vornehmen, um geomorphologische Strukturen besser sichtbar zu machen).

Interaktionen mit der zeitlichen Dimension ermöglichen das „Bewegen“ (durch interaktive Kameraführung) in einer digitalen Visualisierungsumgebung. Nutzer entscheiden über den Weg durch eine virtuelle Landschaft. Je nach Entscheidung werden unterschiedliche Landschaftsszenen dargeboten. Diese können sehr abstrakt sein und werden dann besser als Datenräume (engl. „*dataspaces*“) bezeichnet oder wirken durch photorealistische Darstellungen sehr realitätsnah. Mit Hilfe der Virtual Reality Markup Language (VRML) können derartige virtuelle Räume, die interaktive Bewegungsmöglichkeiten bieten, auch über Internetbrowser zugänglich gemacht werden. Mit dem Virtual GIS Modul von ERDAS Imagine oder

mit dem 3-D-Analyst von ESRI lassen sich solche dreidimensional wirkenden photorealistischen Darstellungen durch die Überlagerung digitaler Geländemodelle mit hochauflösenden Satellitendaten oder Luftbildern entwickeln. Anwender können sich dann „auf die Suche“ nach geomorphologischen Formen begeben. SHRODER JR. *et al.* (2002, 347) konnten im Rahmen von Virtual Reality Simulationen im VRML-Format neue Moränenwälle und die dazugehörigen Gipfelregionen am Nanga Parbat im Himalaja identifizieren. Die Navigation von Nutzern ist bei einer solchen „Suche“ (bzw. Untersuchung) durch Sequenzen gekennzeichnet, die vergleichend interpretiert werden. Gerade Gesehenes (z.B. Endmoränenwall) wird dabei mit der aktuellen Datenansicht (z.B. Seitenmoräne, Grundmoräne) verglichen. Darüber hinaus wird antizipiert, was als nächstes erscheinen könnte (z.B. zugehörige Gipfelregion mit Gletscher-Karen etc.). In der Rangfolge der Anforderungen (Abb. 4.8) wird das Anspruchsniveau von Betrachten, Vergleichen und Anordnen (bisher Gesehenes, aktuell Sichtbares, zukünftig zu Sehendes) berührt, so dass Interaktionen mit der zeitlichen Dimension in der vorgestellten Kategorisierung einer mittleren Interaktionsstufe zugeordnet werden sollten.

Interaktionen mit den Datensätzen und kontextualisierende Interaktionen können als hohe Stufen kategorisiert werden, da vielfältige Entscheidungen zur Analyse der Daten getroffen werden, die auf umfangreichen Kenntnissen und Fähigkeiten der Benutzer basieren.

Beziehen sich die Interaktionen auf die Daten selbst, so können z.B. raum-zeitliche Analysen und statistische Auswertungen zur Extraktion von Daten angewandt werden (z.B. anhand eines Grenzwertes oder eines bestimmten Signifikanzniveaus). Durch Interaktionen mit den Datensätzen können raum-zeitliche Muster in den Daten identifiziert (Welche Datensätze weisen Veränderungen der Landnutzung auf?) oder Beziehungen zwischen Objekten aufgedeckt und deren Charakter und Stärke beurteilt werden (z.B. Ursache und Wirkung von Prozessen und Faktoren, wie z.B. die Korrelation von Infiltration und Bodendichte).

Kontextualisierende Interaktionen analysieren Beziehungen zwischen unterschiedlichen Datensätzen durch Verschneidungen, multiple Ansichten und Perspektiven sowie deren Verknüpfung. Eine Analyse auf Grundlage einer Layerkombination kann z.B. durch Verschneiden des Datenlayers Hangneigung mit dem Layer Bodenart stattfinden, um einen neuen Datenlayer zu erstellen, der Flächen mit hoher Hangneigung und hohem Schluffanteil aufzeigt. Eine derartige

Verschneidung ergibt sich z.B. aus den Anforderungen zur Modellierung der potentiellen Anfälligkeit gegenüber Bodenerosion durch Wasser (Kapitel 3.3.3.1) und kann in Lehr-/Lernkontexten zur Veranschaulichung geomorphologischer Modellierungskonzepte genutzt werden.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Potentiale durch die Verbindung von kontextualisierender Interaktion und Visualisierung für die Konzeption und Entwicklung von mmL-Objekten bestehen. Interaktive 2D-Darstellungen können dynamisch erzeugte Visualisierungen bereitstellen, die je nach Anforderung der Nutzer auf die jeweiligen Bedürfnisse zugeschnitten sind. 2,5D- und 3D-Darstellungen können genutzt werden, um die Anschaulichkeit zu erhöhen und den Zusammenhang zwischen Themen zu verdeutlichen (Beispielsweise eine 2,5D-Geländeansicht überlagert mit Bodenerosionsraten (Abb. 4.9); 3D-Topographie mit Vegetationsinformationen (Höhenschichten werden gut sichtbar); 3D-Topographie mit geotektonischen Einheiten).

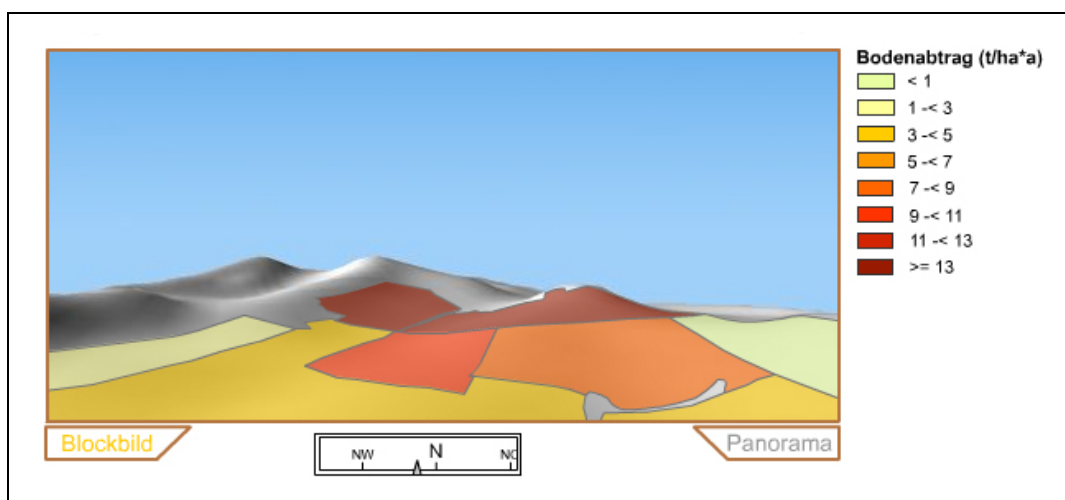


Abb. 4.9: Geländeoberfläche in 2,5D-Darstellung überlagert mit Bodenerosionsraten (aus WEBGEO-Lernmodul „Landnutzungssimulation“, Datengrundlage: Topographische Karte von Ungarn 1:25.000 Blatt 54_241 Nadap.

http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_037;2)

Ein deutlicher Mehrwert ergibt sich aus der dynamischen Verknüpfung mehrerer Ansichten, die – miteinander verlinkt – einen größeren Nutzen bieten, als die Summe der jeweiligen Visualisierungen alleine. Interaktive 2D Visualisierungen können durch die zeitliche Dimension (temporale Animationen durch Key-Frame-Technik; BUZIEK *et al.* 2000; CARTWRIGHT *et al.* 1999) und/oder interaktive 3D-Darstellungen erweitert werden. Die dynamische Verknüpfung verschiedener An-

sichten und Perspektiven eröffnet in der digitalen Verbindung das volle Potential multidimensionaler Visualisierung, Datenanalyse und -exploration. Multidimensionalität kann meines Erachtens einen hohen Beitrag zur Anschaulichkeit und Erfassbarkeit von raum-zeitlichen Prozessen leisten. Grundsätzlich stellt SIEBER (2001) in seinen Untersuchungen fest, dass der Transfer von 2D zu 3D Darstellungen die Lesefähigkeit und visuelle Interpretationsfähigkeiten von Nutzern bzw. Lernenden verbessern kann. In dem Konzept zeigen sich durch dynamische Verlinkung Änderungen, die in einer Ansicht vorgenommen werden, direkt in der anderen (Abb. 4.10).

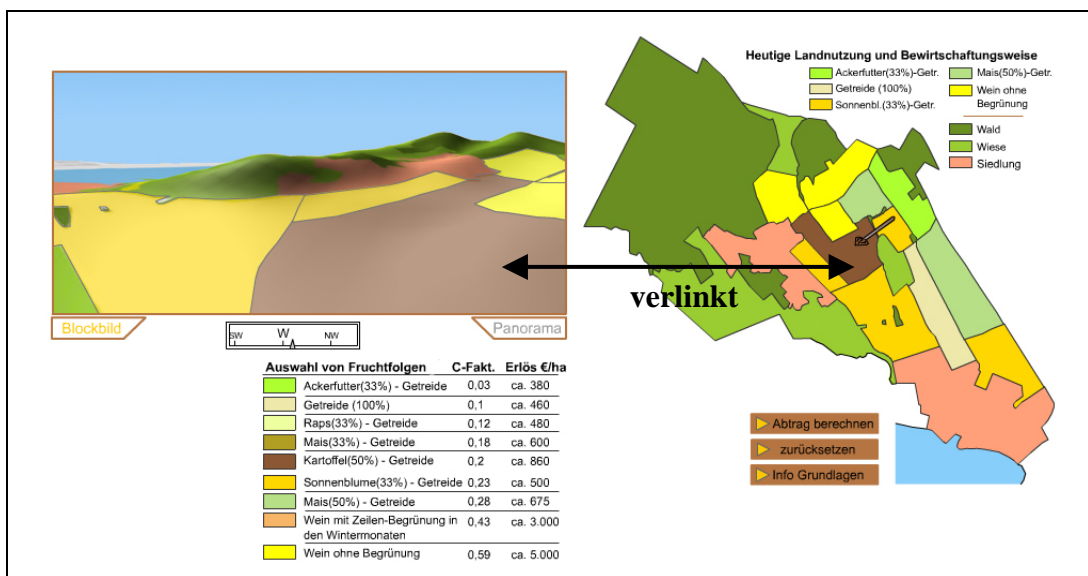


Abb. 4.10: Verlinkung zwischen 2D-Karte und 2,5D-Ansicht (aus WEBGEO-Lernmodul „Landnutzungssimulation“, Datengrundlage: Topographische Karte von Ungarn 1:25.000 Blatt 54_241 Nadap. http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_037;2)

Resümee

Technische Entwicklungen eröffnen Potentiale für Geovisualisierungen und den interaktiven Umgang mit den unterliegenden digitalen geographischen Datensätzen, mit denen Anforderungen geographischen Arbeitens erfüllt werden können, die weit über die Arbeitsweisen mit traditionellen Kartenmaterialien hinausgehen. Verschiedene Interaktionsniveaus bieten nicht nur quantitative Unterschiede in der Anzahl der Sachverhalte, die visualisiert und analysiert werden können, sondern die Möglichkeiten des direkten Zugriffs auf Datensätze und deren Visualisierung münden in qualitative Unterschiede der Wissenskonstruktionen der Benutzer. Die Skalierung (Abb. 4.8) ermöglicht eine qualitative Differenzierung unter-

schiedlicher Interaktionsniveaus. Eine derartige Typologie erlaubt darüber hinaus einen Vergleich unterschiedlicher GIS und Geovisualisierungssysteme. Zum Einsatz in der Lehre kann gezielt der Frage nachgegangen werden, ob Interaktionsfunktionalitäten eines Systems leistungsfähig und umfangreich genug sind, um angestrebte Lehr-/Lernziele zu erreichen. So bietet das Interaktionsniveau ein Kriterium zur Bewertung der Wissenswerkzeuge selbst – für Nutzer und Entwickler.

4.1.1.2 GIS-Web als Visualisierungs- und Analyse-Umgebung

Lassen sich Geographische Informationssysteme als Wissenswerkzeuge über das Internet nutzen? Konnten in den Anfängen webbasierter GIS-Technologie nur sehr einfache Kartendarstellungen mit stark eingeschränkten GIS-Funktionalitäten über das Internet zugänglich gemacht werden, so bieten heute leistungsfähige webbasierte Visualisierungs- und Analyseumgebungen, wie das ArcIMS (IMS = Internet Mapping System) in Verbindung mit einem ArcGIS Server¹⁷, vielfältige GIS Anwendungen, die über einen Web-Browser (wie Netscape, Internet Explorer, FireFox, etc.) zugänglich und für geographische Fragestellungen zur Verfügung gestellt werden können. So besteht die Möglichkeit GIS-Anwendungen in multimediale Lehr-/Lern-Objekte zu integrieren und als Wissenswerkzeuge für internetgestütztes Lehren und Lernen nutzbar zu machen. In dieser Form können Lernaufgaben, Übungen und Tests zu geographischen Frage- und Problemstellungen entwickelt werden, deren Interaktionsanforderungen GIS-Funktionalitäten voraussetzen. Der Umgang mit GIS kann webbasiert durch problemorientierte Lernaufgaben vermittelt werden, die anwendungsbezogen gestaltet sind und multiple Kontexte und Perspektiven integrieren. Ein derartiges Heranführen an geographische Arbeitsmethoden eröffnet Studierenden auch einen Zugang zu den zugrunde liegenden Raum- und Visualisierungskonzepten, so dass die Anwendung der Wissenswerkzeuge auch in anderen Kontexten einfacher und effektiver gelingen kann.

¹⁷ ArcIMS und ArcGIS Server sind Produkte der Firma ESRI™

4.1.1.3 Landschafts- und Geländemodellierung

Wie kann die digitale Modellierung der Erdoberfläche die geographische (geomorphologische) Wissensaneignung unterstützen und welche Analyse- und Visualisierungsmöglichkeiten bieten Potentiale für die Entwicklung von mmL-Angeboten?

In einem digitalen Geländemodell (DGM) ist die Darstellung der Geländeoberfläche durch die räumlichen Koordinaten x , y und z gegeben, wobei die z -Koordinate die Höheninformation beinhaltet. Durch die Überlagerung mit thematischen Layern (Landnutzung, Höhengschichten der Vegetation, etc.) bestehen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten (siehe z.B. Abb. 4.9 u. 4.10). Photorealistische Darstellungen, die einen dreidimensionalen Geländeeindruck vermitteln, können durch die Überlagerung der Geländeoberfläche mit Satellitenbilddaten oder Luftbildern erzeugt werden (Abb. 4.4). Durch die fortschreitende Entwicklung der Satellitenbild-Technologie sind Datengrundlagen in immer größerem Umfang und in steigender Qualität – bei gleichzeitig sinkender Preisentwicklung (bereits in großem Umfang kostenlos) – zu beziehen (SHRODER JR. *et al.* 2002, 345). Visualisierungs- und Analysemöglichkeiten der Reliefeigenschaften (Hangneigung, Exposition, Position am Hang, Wölbungsgrad, Geländedepressionen, Fließpfade, Wasserscheiden, Einzugsgebiete etc.) können die Geländearbeit unterstützen, zum Teil erheblich verringern und zur Vor- und Nachbereitung von Exkursionen dienen. Die Entwicklung virtueller Exkursionen im Hinblick auf geographische Orientierung, Landnutzung, Verteilung von Oberflächenformen, topographischen und geologischen Gegebenheiten etc. ermöglicht es Studierenden (z.B. zur Vorbereitung einer Exkursion oder eines Geländepraktikums), sich mit den standörtlichen Gegebenheiten vertraut zu machen.

Darüber hinaus können Landschaftssituationen in der Vergangenheit und Zukunft (re)konstruiert und photorealistisch dargestellt werden. Große Potentiale entstehen für Lehr-/Lernsituationen, in denen wissenschaftliche Raumkonzepte, Modellvorstellungen und Prozessabläufe, die für Studierende in Form von Tabellen und abstrakten Graphiken häufig nur schwer nachzuvollziehen sind, über Landschaftsmodellierung und –visualisierung sehr viel anschaulicher und greifbarer werden. Der Aufbau mentaler Modelle – z.B. zu geomorphologischen Standortbedingungen während des Pleistozäns – kann so durch dreidimensionale Darstellungen, die der vertrauten Perspektive des Menschen entsprechen, leichter erfolgen

(KRAAK 2001, 221). Unter Einbezug von Animationstechniken in 3D-Modellierungsprogrammen (wie 3-D-Studio Max, Cinema4D, oder Strata3-D) lassen sich auch Prozesse in ihrer zeitlichen Abfolge in photorealistischer Darstellungsform visualisieren. Die Abbildung 4.11 zeigt Ausschnitte einer Animation zur Umformung einer Sichel- zur Parabeldüne. In Verbindung mit einem erläuternden Text ist der Zusammenhang von Prozess und Form sehr viel leichter nachvollziehbar als durch Text alleine.

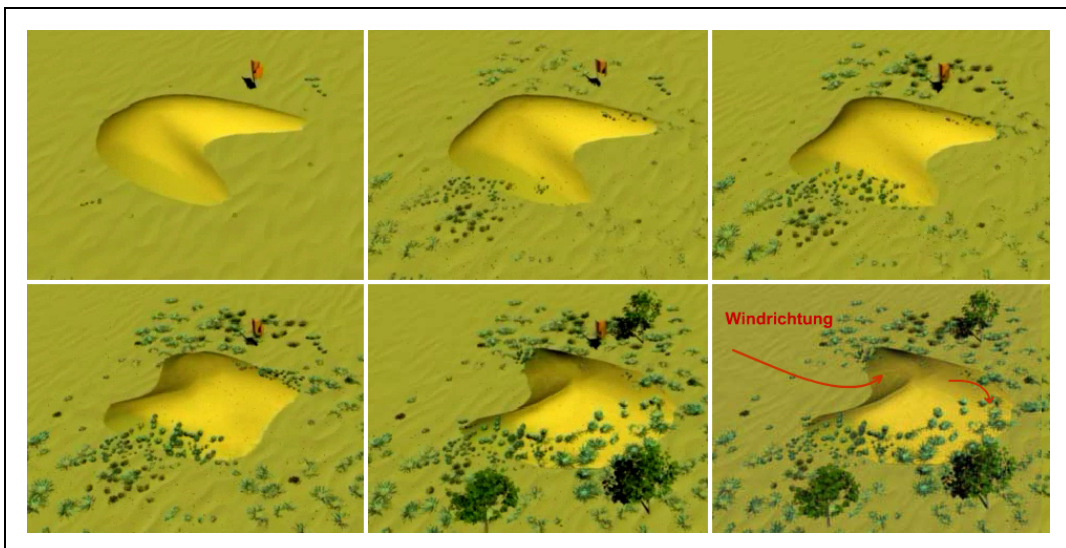


Abb. 4.11: Einzelbilder der Animation zur Umformung einer Sicheldüne zur Parabeldüne¹⁸. Entwicklung in Cinema4D. (mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Lernmodul „Dünenformen“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_010;3)

Mit Hilfe von 3D-Modellierungsprogrammen lassen sich auch Blockmodelle generieren, die – mit Interaktionsfunktionen versehen – gedreht und herangezogen werden können und so Lagebeziehungen komplexer Landschaften (z.B. von Dolinen zu unterirdischen Flüssen und Höhlensystemen in einer Karstlandschaft) im dreidimensionalen virtuellen Raum verdeutlichen (Abb. 4.12). Zur Realisierung der Interaktivität können die Blockmodell Darstellungen aus dem 3D-Modellierungsprogramm exportiert, in ein 3D-fähiges Autorensystem für Internetanwendungen wie Macromedia Director importiert, mit Interaktionsfunktionalitäten versehen und im Shockwave-Format für die Web-Applikation generiert werden.

¹⁸ Gemeinsame Entwicklung mit Zsuzsanna Koncz

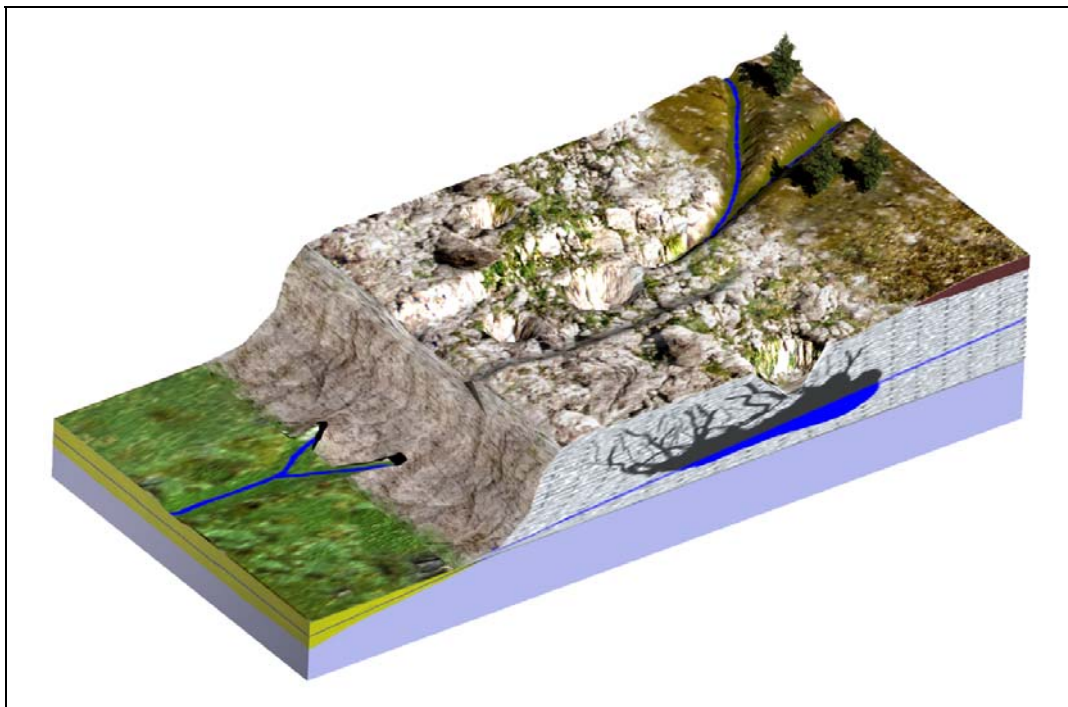


Abb. 4.12: Interaktives Blockbild einer Karstlandschaft. (mmL-Objekt aus dem WEBGEO-Struktur-Lernmodul „Karst“¹⁹, http://www.webgeo.de/module/rahmen.php?string=24;f_024;4.1)

In folge der Komplexität von 3D-Modellierungsprogrammen ist allerdings der Arbeitsaufwand zur Entwicklung von Blockmodellen mit Interaktionsmöglichkeiten sowie von animierten Visualisierungen noch sehr hoch.

Durch die schnelle und einfache mentale Aufnahme der Darstellungen besteht bei photorealistischen Visualisierungen allerdings die Gefahr, dass der Gültigkeitsanspruch der Modellvorstellungen und –visualisierungen durch Studierende in zu geringem Maße reflektiert wird. Deutlich sollte – z.B. durch zusätzliche Erläuterungen – der Modellcharakter der Darstellungen herausgestellt werden.

4.2 Allgemeine Entwicklungstendenzen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie

Entwicklungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie geben vielfältige Impulse für die Entwicklung und Neuorganisation der Lehre an Hochschulen (ISSING & KLIMSA 2002; KEIL-SLAWIK & KERRES 2003, SCHULMEISTER 2003, BREMER & KOHL 2004). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit stellt sich die Frage, welche Potentiale allgemeiner technischer Weiterent-

¹⁹ Gemeinsame Entwicklung mit Zsuzsanna Koncz

wicklungen für den Einsatz und die Entwicklung von webbasierten mmL-Objekten in der Geographie (Geomorphologie) bestehen. Der geprüfte Anwendungsbereich reicht von Autorenwerkzeugen über Virtual Reality bis zur serverseitigen Erzeugung dynamischer Web-Inhalte. Im Folgenden sollen aufgrund der Fülle von technischen Möglichkeiten übersichtsartig aktuelle Entwicklungstendenzen im Hinblick auf Potentiale und Rahmenbedingungen für webbasierte mmL-Objekte untersucht werden.

4.2.1 Autorenwerkzeuge

Werkzeuge zur Entwicklung von webbasierten multimedialen Lehr-/Lernangeboten sollen es Autoren erlauben, ihre Inhalte ohne umfangreiche Programmierkenntnisse für das Internet umzusetzen. Bis heute ist es allerdings nicht gelungen, entsprechend flexible und leistungsstarke Autorenwerkzeuge zu entwickeln, die es ermöglichen, ohne mehr oder weniger zeitaufwändige Einarbeitung in programmier- und programmtechnische Grundlagen (z.B. Scriptsprachen wie Action Script in Macromedia Flash), qualitativ hochwertige interaktive Produkte zu erstellen. Grundsätzlich gilt, dass sich der Grad der Automatisierung durch Autorenwerkzeuge negativ auf die Flexibilität auswirkt. Je einfacher ein Autorenwerkzeug zu bedienen ist, desto eingeschränkter die Leistungsfähigkeit und geringer die Möglichkeiten der kreativen Gestaltung. Dieser Umstand erklärt den scheinbaren Widerspruch, dass dem E-Learning Markt eine milliardenschwere Zukunft vorhergesagt wird und zahlreiche Lernplattformen entwickelt wurden, diese jedoch mit wenig Inhalt (engl. *content*) gefüllt sind bzw. „[...] dass die methodisch-didaktische Qualität der multimedialen Lernangebote oft gering ist“ (FREIBICHLER 2002, 216).

Klassische HTML-Editoren (Hypertext Markup Language, eine sogenannte Beschreibungssprache) wie der Macromedia Dreamweaver oder Go Live von Adobe erlauben die Entwicklung von Webseiten nach der WYSIWYG-Methode (What You See Is What You Get). Bilder und Texte werden dabei im Editor arrangiert und in eine Webseite transformiert, ohne HTML-Code oder eine andere Scriptsprache eingeben zu müssen. Mit der Coursebuilder Erweiterung von Dreamweaver können auch Multiple Choice-Aufgabentypen implementiert werden. Die Flexibilität ist jedoch gering und anspruchsvollere Anwendungen mit weiterreichenden Interaktionsmöglichkeiten, differenzierter Analyse von Nutzerantworten und

differenziertes Feedback erfordern die Einbindung von Programmen wie Java Applets oder Flash-Files (lauffähige Programme im Browser), deren Entwicklung umfangreiche Programmierkenntnisse erfordern. Der Aufbau der HTML-basierten Autorenwerkzeuge ist seitenorientiert. Der Web-Auftritt wird seitenweise in Analogie zur Buchseite erstellt und über Schaltflächen und/oder Schlüsselbegriffe verlinkt.

Zeitachsenorientierte Autorenwerkzeuge wie Macromedia Flash arbeiten mit der Metapher Film. Objekte werden auf der so genannten Bühne platziert, die durch Transformation in das Shockwave-Format zum späteren Anwenderbild wird. Das Verhalten der Objekte auf der Bühne (z.B. Erscheinen, Bewegung, Interaktionen) wird durch den Ablauf der Zeitleiste und durch die den Objekten oder Zeitpunkten zugeordneten Programmcodes (Action-Script) gesteuert. Mit Flash lassen sich vielfältige Interaktionsmöglichkeiten entwickeln, Animationen erstellen und eine Vielzahl von Medien (Video, Sound, Graphiken, Bilder etc.) integrieren. Die Steuerung von 3D-Objekten (vgl. Abb. 4.12 u. 2.6) sowie Interaktionen in 3D-Umgebungen können in Macromedia Director programmiert werden, der wie Flash eine zeitachsenorientierte Arbeitsweise aufweist. Mit Director entwickelte Anwendungen lassen sich dann über das Shockwave Format für das Internet exportieren. Durch eine Erweiterung des Browsers (ein so genanntes Plug-In) können die Anwendungen im Web aufgerufen werden. Allerdings ist für 3D-Anwendungen eine gute Internetanbindung notwendig, da die Verfahren häufig größere Datenmengen produzieren.

4.2.2 Virtual Reality

Anknüpfend an aufgezeigte dreidimensionale Visualisierungsmöglichkeiten in der Landschaft- und Geländemodellierung (Kapitel 4.1.1.3) geht die Entwicklung von dreidimensionalen Räumen, in welchen Nutzer frei navigieren können, noch einen Schritt weiter. Diese als Virtuelle Realität (engl. *Virtual Reality*; kurz VR) bezeichneten Räume sind durch Computertechnologie simulierte Modelle einer visuell projizierten („vorgegaukelten“) Wirklichkeit, die im Gegensatz zu traditionellen künstlichen Wirklichkeiten (z. B. im Film) interaktiv sind; der Benutzer kann in den Programmablauf eingreifen und diesen verändern. Die Potentiale dieser künstlichen 3D-Welten werden von immer mehr Disziplinen wie Architektur, Chemie, Medizin, Geographie, Landschafts- und Raumplanung, Kartographie

usw. genutzt bzw. entdeckt. Im Bereich der Geographie wird auch von „GeoVirtual Environments“ gesprochen, denen weitreichende Entwicklungspotentiale zugesprochen werden (MACEACHREN *et al.* 1999). VR-Systeme können je nach Ausprägung in verschiedene Varianten unterteilt werden. Desktop VR-Systeme (DTVR) weisen den geringsten Grad an virtueller Realität auf, da der Nutzer durch ein „begrenztes Fenster“ (den Bildschirm) in die 3D-Welt blickt. Der Grad an Virtueller Realität wird in den oben beschriebenen Beispielen der Gelände- und Landschaftsvisualisierung erreicht (Kapitel 4.1.1.3). Durch die Betrachtung von „außen“ und dem fehlenden stereoskopischen Sehen ist der Realitätsgrad vergleichsweise niedrig. Bei der „Immersive Reality“ (IR) wird der Eindruck erzeugt, als befände sich der Nutzer inmitten des (Daten-) Raumes. Durch Datenhandschuh und HMD (Head Mounted Display, Abb. 4.13) erscheint es den Nutzern, als seien sie vom Informationsraum umgeben bzw. in ihn eingedrungen (engl. *immersive*).

Bei Augmented Reality (AR) Systemen („erweiterte oder angereicherte Realität“) wird für die Arbeit vor Ort das reale Abbild der Umwelt mit Informationen aus dem virtuellen Raum überlagert bzw. ergänzt. Über ein halbtransparentes brillenähnliches Sichtgerät (siehe Abb. 4.13, ganz rechts) und ein System zur Koordinatenbestimmung wird dabei die Lage des virtuellen Raumes vom AR-System entsprechend dem Standort und der Blickrichtung des Anwenders in den realen Raum projiziert. Dadurch können Raumbezüge auf eine völlig neue Art und Weise verdeutlicht und erschlossen werden. Bei Exkursionen oder Geländepraktika könnten Untersuchungen vor Ort durch Einblenden von Geologie, Hangneigung, Exposition, etc. erleichtert und Zusammenhänge und Wechselwirkungen leichter verständlich werden. Die Orientierung im Raum kann man stark vereinfachen, da ein Routenplan den natürlichen Gegebenheiten überlagert wird. AR-Systeme ersetzen so die zur Zeit üblichen GPS-Geräte mit integrierter Karte. Durch die Möglichkeit zur Integration beliebiger raumbezogener Datensätze ist das Potential der AR-Systeme für geographische Anwendungen besonders hoch. Weitere Beispiele sind Möglichkeiten zur parzellenbezogenen Nutzungskartierung, zur Visualisierung von simulierten Bodenabtragsraten, Bodentypen, Verwerfungslinien oder auch im Untergrund liegenden Versorgungsleitungen etc. . Nicht zuletzt eröffnen AR-Systeme vielfältige Möglichkeiten zur Überprüfung von im Rahmen von Lehr-/Lernsituationen vorgestellten Erklärungsmustern vor

Ort. Die Integration anwendungsbezogener Lernaufgaben, die methodisch auf diesem vergleichenden Ansatz aufbauen können, ermöglichen die Reflexion geographischer Vorgehensweisen und vermittelter Raumkonzepte.

Die Übertragung der Informationen kann schon heute mit einem Sichtgerät erfolgen, das nicht auf kleinen vor den Augen getragenen LCD-Bildschirmen basiert, sondern über einen Projektor, der sich an einem brillenähnlichen Gestell befindet (Abb. 4.13, ganz rechts) und einen sehr schwachen Laserstrahl durch die Pupille sendet. So wird das Gesamtbild Pixel für Pixel direkt auf der Netzhaut erzeugt.



Abb. 4.13: Forschreitende Miniaturisierung von Sichtgeräten. (Quellen: www.keo.com, www.mvis.com, eigene Zusammenstellung)

4.2.3 Die Rolle von Entwicklungen im Bereich der Web-Technologie

Aufgrund der technischen Beschränkungen der Web-Technologie wurden in der Vergangenheit komplexere webbasierte mmL-Angebote erst mit fortschreitender technischer Entwicklung realisierbar. Vielfach bleiben auch heute noch die Online-Anwendungen qualitativ hinter den Offline-Anwendungen zurück (KERKAU 2002, 218), obwohl sich webbasierte Angebote von ihrer Funktionalität kaum noch von Lernsoftware auf CD oder DVD unterscheiden. Visualisierungs- und Interaktionsfunktionalitäten können heute aus technischer Sicht gleichermaßen für Off- und Online-Angebote bereitgestellt werden. Multimediales Online-Lernen wird jedoch noch häufig durch geringe Bandbreiten, (hohe) Kosten und unzureichende technische Ausstattung in der Hochschule und den Privathaushalten gehemmt (DÖRING 2002, 250). Klare Vorteile von Online-Angeboten im Vergleich mit z.B. einer Lern-CD liegen unter anderem in:

- der örtlichen Flexibilität und (weltweiten) Erreichbarkeit,
- der Aktualität der Lehr-/Lerninhalte (Erweiterung, Anpassung von zentraler Stelle aus möglich),

- der Möglichkeit Know-how, Dokumente und Daten orts- und zeitunabhängig zu teilen,
- der Möglichkeit synchrone und asynchrone Kommunikationsfunktionen einzubinden und
- der Möglichkeit einer datenbankgestützten, zeit- und ortsunabhängigen Evaluation der mmL-Angebote sowie einer Lernwegevaluation anhand von Nutzerdaten (user tracking).

Die Nutzung des Internets findet mit Hilfe eines so genannten Browsers wie Netscape Communicator oder Microsoft-Explorer statt. Ein Browser ist eine graphische Benutzeroberfläche, mit der auf Inhalte und Informationen zugegriffen werden kann. Browser sind an sich jedoch nicht multimediafähig. Sie können keine Videos oder Sounddateien abspielen. Dafür sind Zusatzprogramme, so genannte Plug-Ins, erforderlich, wie Videoprogramme (z.B. .avi, .mov, .mpg) oder Soundprogramme (.wav, realplayer, shockwave), die je nach Bedarf implementiert werden können und so die Funktionalität des Browsers erweitern. Nach dem Übertragen einer Webseite im Browser des Anwenders werden die Anwendungen dann clientseitig²⁰ ausgeführt. Animationen können ohne Plug-Ins mit Java-Applets oder mit so genannten „animated-gifs“ (eine Rasterbildabfolge) dargestellt werden, die sich jedoch nur für kürzere Sequenzen eignen und heute nur noch selten (z.B. für Werbebanner) genutzt werden. Im Bereich der Animationstechnologie konnte sich Shockwave Flash (.swf) als 2D Standard etablieren. Auch die Integration von Video und Sound, die aufgrund der großen Datenmengen bisher hauptsächlich in Offline-Multimedia-Produkten eingesetzt wurden, kann in Zukunft durch Weiterentwicklungen der Daten-Kompressionsmethoden (z.B. MPEG 4, DivX) und Streaming-Technologie²¹ problemlos realisiert werden. Serverseitige²² Anwendungen ermöglichen es über ein Common Gateway Interface²³ (CGI) Programme oder Skripte im Web bereitzustellen, die von

²⁰ Clients sind in diesem Fall die Web-Browser, die Inhalte und Daten von einem Server beziehen (in allgemeinen Client-Server Architekturen auch Arbeitsplatzrechner oder Programme, die Dienstleistungen von Servern in Anspruch nehmen).

²¹ Übertragung von Video- oder Audiodaten, wobei die Daten schon während des Download durch den Browser oder ein Plug-In abgespielt werden können. Standardprogramm für streaming Audiodateien ist z.B. RealAudio, für Videodateien QuickTime oder der Windows Media Player

²² Ein auf dem Computer installierter Server stellt anderen Computern, den Clients, die mit ihm durch ein Netzwerk verbunden sind, seine Dienste zur Verfügung. Die Dienste können z. B. in der Bereitstellung von Datenbanken bestehen.

²³ Allgemeine Vermittlungsrechner-Schnittstelle die den Datentransfer ermöglicht.

Internetseiten aus aufgerufen werden und die selbst Inhalte erzeugen (z.B. HTML-Code) und an einen Browser senden können. CGI Skripte oder Programme werden nicht nach dem Übertragen einer Webseite im Browser des Anwenders (wie bei JavaScript), sondern serverseitig ausgeführt. Dadurch können rechenzeitintensive Programme auf einem Server ausgeführt und über einen Web-Browser im Internet abgerufen werden. Auf diese Weise werden webbasierte GIS-Anwendungen verwirklicht, deren Analysen und Visualisierungen dynamisch erzeugt werden; je nach individuellen Anforderungen und Interaktionen der Benutzer. Serverseitige Anwendungen ermöglichen darüber hinaus den Zugriff auf Datenbanken und Inhalte (Content) über dynamische Skript- und Programmiersprachen wie PHP, XML, Java, SQL etc.²⁴ und damit die flexible Zusammenstellung, Navigation (individuelle Lernwege) und Exploration von Content. Derart dynamische Webseiten werden erst bei Aufruf generiert, so dass sich die Inhalte individuell auf die Kriterien des Nutzers zuschneiden lassen. Aufgrund der Flexibilität und der Potentiale aus mediendidaktischer Sicht werden serverseitige Entwicklungsumgebungen in Zukunft sicherlich verstärkt eingesetzt und die Anforderungen an technische Fähigkeiten von Autoren und Entwicklern verringert werden können.

4.2.4 Gestaltungstrends

Bei der Gestaltung der Materialien sollte beachtet werden, dass die Beurteilung von mmL-Angeboten maßgeblich vom graphischen Design mitbestimmt wird. Nicht nur kognitions- und instruktionspsychologische Prinzipien der angemessenen Informationsgestaltung – wie z.B. die Verwendung von Farbe und Anordnung von Informationen und Komponenten auf dem Bildschirm –entscheiden über eine erfolgreiche Gestaltung, die auf breite Akzeptanz stößt. Sehgewohnheiten bei der Nutzung des Mediums „Computer“ lassen Lehr-/Lernangebote als „modern“ oder „veraltet“ erscheinen. Das graphische Design unterliegt Trends und „Moden“, die stark von der Werbe- und Medienindustrie verbreitet und nicht zuletzt von der sich rasant weiterentwickelnden Computerspiele-Technologie beeinflusst werden. Von Lehr-/Lernmaterial mit einem im Trend liegenden graphischen Design verspricht man sich ein qualitativ hochwertiges Angebot, dass fachwissenschaftlich

²⁴ Serverseitige Skript- und Programmiersprache zur Erstellung datenbankgestützter, dynamischer Webseiten.

und methodisch-didaktisch nach aktuellem Stand der Wissenschaft entwickelt wurde. Ein veraltetes graphisches Design wirkt dagegen sehr schnell unprofessionell.

4.3 Fazit

Der im Vergleich zu der Breite der Anwendungen sehr kurze Überblick über Potentiale und Rahmenbedingen webbasierter mmL-Objekte in der Geographie (Geomorphologie) zeigt, wie umfangreich technische Möglichkeiten für die Entwicklung von Lehr-/Lern-Angeboten sind. Die Anforderungen an Software-Kenntnisse und programmiertechnische Fähigkeiten von Autoren und Entwicklern sind daher besonders hoch. Unterschiedliche technische Lösungsansätze müssen von ihnen vor dem Hintergrund einer Arbeitsaufwand (Kosten) / Nutzen-Analyse beurteilt werden. Um den Arbeitsaufwand realistisch einschätzen zu können, muss den Autoren und Entwicklern jedoch erst einmal bekannt sein, was mit welchen Mitteln der vielfältigen Produktpalette möglich ist. Die technischen Voraussetzungen zur Entwicklung anspruchsvoller mmL-Objekte in der Geographie und deren Verbreitung über das Internet sind vorhanden. Einschränkungen bestehen noch häufig durch geringe Bandbreiten der privaten Internetanschlüsse und mangelnde technische Infrastruktur an den Hochschulen. Finanzielle Einschränkungen durch teure Softwaretools stehen der Entwicklung im Allgemeinen nicht entgegen, da für sämtliche Aufgaben technische Lösungsmöglichkeiten in Preiskategorien von Freeware bis zu mehrere tausend Euro teure professionelle Software erhältlich sind. Technische Möglichkeiten zur Entfaltung der Potentiale webbasierter mmL-Objekte sind also vorhanden und schon heute lässt sich absehen, dass die Anwendung der technischen Werkzeuge in Zukunft immer weniger Vorkenntnisse und Einarbeitungszeiten in Anspruch nehmen werden. Als zentrales Problem stellt sich daher die Frage, wie und welche technischen und methodisch-didaktischen Elemente sich derart kombinieren lassen, dass die mediendidaktischen Ziele mit angemessenem Arbeitsaufwand auch erreicht werden können. Denn „*wie der Zehnkampf in der Leichtathletik ist das Erstellen von Lehr-/Lernangeboten die Königsdisziplin in der Entwicklung von Multimedia-Anwendungen*“ (WALTHER 2001, 26).

Um diese Aufgabe zu erleichtern, werden in den folgenden Kapiteln Ansätze zur systematischen Konzeption von mmL-Objekten vorgestellt (Kapitel 5 und 6) und

die praktische Umsetzung und Entwicklung von aufgabenorientierten mmL-Objekten anhand von Beispielen aus der Geomorphologie verdeutlicht (ab Kapitel 7).

5 Systematik zur Kategorisierung multimedialer webbasierter Lehr-/Lernobjekte in der Geographie/Geomorphologie

In den vorangestellten Kapiteln wurde deutlich, dass die Komponenten Interaktivität, Visualisierung und Wissensstrukturierung sowie die technologische Entwicklung im Planungs- und Entwicklungsprozess von mmL-Objekten untrennbar miteinander verbunden sind. Es konnten didaktische und methodische Aspekte sowie technische Potentiale mediengestützten Lernens identifiziert werden, die das Lernen und Behalten von Inhalten erleichtern können. Visualisierungen können beispielsweise durch spezifische Codierungs- und Verarbeitungsprozesse besonders effektiv den Aufbau von Wissenskonstrukten unterstützen. Interaktionen können Denkprozesse anregen und ermöglichen Studierenden den aktiven und konstruktiven Umgang mit den Lernmaterialien (vgl. Kapitel 2.4). Die (Meta-) Analyse konstruktions- und instruktionspsychologischer Befunde empirischer Untersuchungen (vgl. Kapitel 2.3.3) hat gezeigt, dass es nicht primär die technisch realisierbare Vielfalt an Medien, Codes und Modalitäten ist, die das Lernen erleichtert. Als empirisch abgesichert gilt, dass eine multicodierte und multimodale Präsentation die mit der Sinneswahrnehmung verbundenen mentalen Codierungs- und Verarbeitungsprozesse in besonderer Weise stimuliert und so eine mentale Multicodierung des Lerngegenstandes durch den Lernenden herbeigeführt werden kann. Durch die aufwändigere mentale Codierung verbessert sich die Verfügbarkeit des Wissens. Feststellbar erscheint darüber hinaus, dass interaktive Lernangebote den Lernenden eine Vielfalt an Aktivitäten eröffnen und das Spektrum ihrer Lernstrategien und Lernerfahrungen erweitern. Dies heißt jedoch nicht notwendigerweise, dass ein multimediales Informationsangebot das Behalten verbessert oder die Lernenden aktiviert. Die verschiedenen Merkmale von Multimedien wie Codierung, Modalität und Interaktivität bieten in diesem Sinne lediglich Potentiale zur Erleichterung des Lernens, die es nutzbar zu machen gilt. Die Suche

nach „wirksamen“ Medienattributen orientiert sich zu sehr an der Oberfläche der medialen Angebote. Entscheidend für die Konstruktion und Entwicklung von mmL-Objekten erscheint die mediale „Mikro-Struktur“, die implizite didaktische Strategie von mmL-Objekten, die den Lernprozess bei der Beschäftigung mit den Lernobjekten maßgeblich beeinflusst (vgl. Kapitel 2.3.3).

Für die systematische Konzeption von mmL-Objekten bedarf es einer Übersicht möglicher Varianten unterschiedlicher Kombination von Medienformen, Aktionsformen, Methoden und Aufgabentypen. Im ersten Schritt geht es dabei nicht um eine Bewertung einzelner Komponenten und deren Kombinationsmöglichkeiten. Vielmehr gilt es eine Beschreibung zu entwickeln, die einen Überblick über verschiedene Konstruktionsmöglichkeiten als Hilfestellung für Entwickler und Autoren darstellt. Alternativen können dann systematisch untersucht und den Anforderungen entsprechend eine angemessene Strategie gewählt werden. Empfehlungen zur Konzeption und Entwicklung von mmL-Objekten können aus einer solchen Beschreibung noch nicht abgeleitet werden, da zuvor die Zielsetzung und Funktion der Lernangebote ermittelt werden muss. Erst dann können Vorgehensweisen zur Konstruktion von mmL-Objekten angeregt werden, die zu bestimmten (Lehr-) Zielen und Wissenstypen passen (siehe Empfehlungen in Kapitel 6).

5.1 Konzeption von mmL-Objekten

Auf Grundlage der Auswertung erhobener Lernerdaten der im Rahmen der vorliegenden Arbeit in der Lehre eingesetzten mmL-Objekte hat sich gezeigt (vgl. Kapitel 10.3), dass in multimedial aufbereiteten Lernangeboten die Präsentation von Informationen alleine offenbar nicht ausreicht, um einen Lernerfolg zuverlässig zu sichern. Neben einer der Zielgruppe entsprechenden methodisch-didaktischen Transformation und Reduktion der Lehrinhalte (vgl. Kapitel 3) ist sicherzustellen, dass relevante Lernprozesse auch tatsächlich aktiviert werden. Es stellt sich somit die Frage, wie die Struktur eines mmL-Objektes beschaffen sein muss und welche Elemente in welcher Form enthalten sein sollten, um dieses Ziel zu erreichen. Welche Art der Interaktivität ist zur Unterstützung angestrebter Lernprozesse am geeignetsten? Welche Form der Darstellung (sprachlich-symbolisch, piktorial in 2D oder 3D, animiert oder statisch, multidimensional etc.) unterstützt die inhaltliche Aussage am besten? Häufige Interaktionen oder aufwändige Visualisierungen

entfalten eben nicht zwangsläufig eine bestimmte Lernwirksamkeit. Entscheidend für die Aneignung von Wissen mit Hilfe von multimedialen Lernangeboten sind im Besonderen Abhängigkeiten und Beziehungen der Komponenten Interaktion, Visualisierung und (Aufgaben-) Strukturierung. Ein hoher Grad an Interaktivität, wie er z.B. in Modellierungen erreicht werden kann, wird erst durch Techniken dynamischer Visualisierung möglich. Die Veränderung von Lernobjekten durch Manipulationen (z.B. per Mauszeiger) oder Eingaben (z.B. über die Tastatur) erzeugt andere Darstellungen. Relationen können dadurch visualisiert werden. Wie kann dieses Zusammenspiel von Interaktivität und Visualisierung bei der Erschließung geowissenschaftlicher Konzepte nutzbar gemacht werden? Für die Gestaltung von mmL-Objekten stellt sich daher die zentrale Frage, welche Struktur sich durch welche Komponentenkombination in einem mmL-Objekte für welchen Zweck (welche Art des Wissens, welcher Wissenstyp wird angestrebt) am besten eignet und wie die unterschiedlichen Komponenten aufeinander bezogen werden müssen, um Lernprozesse tatsächlich aktivieren zu können. In traditioneller Präsenzlehre kann in einem fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch Wissen nicht bloß präsentiert, sondern in der Kommunikation mit den Studierenden schrittweise erarbeitet werden. Entscheidend für den Lernerfolg ist es, die für das Verständnis erforderlichen kognitiven Auseinandersetzungen anzuregen. In Lernsituationen wie dem fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch ist jedoch nie sicher, welche Lernenden welche kognitiven Verarbeitungsschritte aktiv vollzogen haben. Ziel ist es daher, mmL-Objekte so zu konzipieren, dass die Auseinandersetzung des Einzelnen mit dem Lerngegenstand intensiviert wird und neue Lernerfahrungen möglich werden.

5.1.1 Lernaufgaben als mediendidaktisches Element

Aus mediendidaktischer Sicht stellt sich die Frage, wie in überwiegend selbstgesteuerten Lernkontexten (Unterstützung der Selbstlernphase durch mmL-Objekte) gewährleistet werden kann, dass –wenn auch optisch und ästhetisch überzeugend und fachlich angemessen gestaltet – ein Medium die erforderlichen Lernprozesse auch tatsächlich anregt? Auch wenn das Lernangebot eifrig aufgenommen wird, bleibt zu bedenken, dass begeistertes „Rezipieren“ nicht mit Lernen gleichgesetzt werden kann. Entscheidend für den Lernerfolg ist nach grundlegenden Erkenntnissen der Lernpsychologie (BEDNORZ & SCHUSTER 2002; STRZEBKOWSKI &

KLEEGERG 2002, 234; VATH *et al.* 2001, Anhang 62), ob die Aktivierung der erforderlichen Lernprozesse gelingt. Interaktive Multimedien können kognitive und/oder emotionale Prozesse initiieren, sie tatsächlich zu aktivieren ermöglicht die Konstruktion einer Aufgabenstellung. Diese dient der eigentlichen Anregung des Lernprozesses. Durch die Synthese von Interaktions- und Präsentations- bzw. Visualisierungskomponenten in Verbindung mit einer Aufgabenstellung ergibt sich eine didaktische Strukturierung von mmL-Objekten, die als „Lernaufgabe“ bzw. – in Verbindung mit mmL-Objekten – als „aufgabenorientiertes mmL-Objekt“ Lernprozesse sicherstellen kann.

Anders als Übungsaufgaben oder Tests, die eingesetzt werden können, um z.B. Verfahren oder Methoden, die in einer Präsenzveranstaltung behandelt wurden, einzuüben, Faktenwissen zu memorieren, Gelerntes anzuwenden oder in Tests den Lernfortschritt zu prüfen, setzen Lernaufgaben früher an. Sie dienen nicht, wie die aus der Schule bekannten „Hausaufgaben“, vorrangig dazu einen Lernprozess, der bereits stattgefunden hat, zu festigen oder zu überprüfen, sondern sie können im Kontext mediengestützten Lernens die Funktion der Aktivierung des Lernprozesses als solchen übernehmen (ZIMMER 1998, 156). In Abbildung 5.1 sind unterschiedliche Funktionen von Lernaufgaben einander gegenübergestellt.

In erster Linie sind Lernaufgaben so zu konzipieren, dass die für das Lernen erforderlichen kognitiven Operationen angeregt werden. Der angestrebte Wissenstyp (vgl. Kapitel 6) bestimmt dabei die Anforderungen an die Lernaufgabe. Eine wesentliche Bedingung für den Lernerfolg ist darüber hinaus die Motivation (VATH *et al.* 2001, 14). Besonders günstig ist es, wenn die Beschäftigung mit dem Medium in sich motivierend wirkt und das Eintauchen in eine (Lern-)Umwelt gefördert wird. Lernprozesse werden dann besonders angeregt (TILLMANN *et al.* 2004, 30). Unterstützend wirken Bezüge zur realen Welt sowie authentische Problemsituationen bzw. Fragestellungen, die Studierende emotional und motivational ansprechen und die Bedeutung der entsprechenden Aufgabe unmittelbar erkennen lassen (MANDL *et al.* 2004, 33). Derartige Kontexte, die von Lernenden auch mit ihrem persönlichen Erfahrungshorizont in Verbindung gebracht werden können, sind in der (Physischen) Geographie recht einfach herzustellen. Bezüge können beispielsweise bei der Behandlung von partikulären Transportprozessen – die für das Verständnis erosiver Prozessabläufe erforderlich sind – über Auswir-

kungen der Bodenerosion auf die Bodenfruchtbarkeit oder die Belastung der Gewässer hergestellt werden.

Die Aktivierung sozialer Bezüge ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn eine diskursive Auseinandersetzung mit den Lehr-/Lerninhalten angestrebt wird. Eine Lernaufgabe kann dann so gestaltet werden, dass soziale Interaktion angeregt beziehungsweise eingefordert wird. Ein derart kommunikatives Szenario ist vor allem dann sinnvoll, wenn die Entwicklung und Formulierung einer eigenen Position erwünscht ist, wie beispielsweise im Rahmen einer Diskussion über Landschaftsbewertungen hinsichtlich landwirtschaftlicher Nutzungspotentiale und geökologischer Risiken unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen.

Die Grenze der möglichen Funktionen ist fließend, da die Funktionen der Sicherung auch aktivierenden Charakter haben können. So ist es auch möglich, dass die zum Verstehen erforderliche kognitive Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand erst in der Anwendung, Übung oder in einer Prüfung aktiv vollzogen wird.

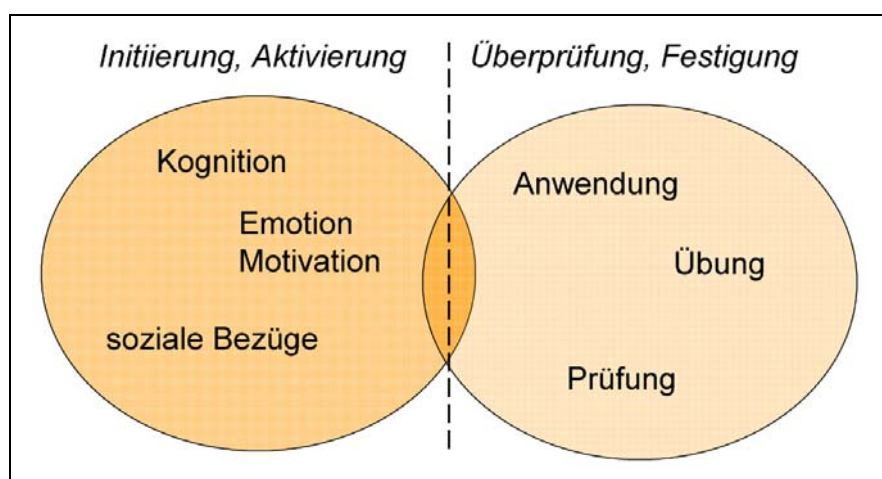


Abb. 5.1: Unterschiedliche Funktionen von Lernaufgaben für Lehr-/Lernprozesse (in Anlehnung an SEEL 1981, 46)

Welche Aktivitäten im Rahmen einer Lernaufgabe in Frage kommen, hängt unter anderem davon ab, welche Art der Auswertung vorgesehen ist, aus der eine Rückmeldung abgeleitet werden soll. Eine automatisierte Online-Auswertung von frei formulierten Texten ist bis heute wenig praktikabel (KERKAU 2002, 223). Eingabemöglichkeiten müssen im Rahmen von selbstgesteuerten Lernkontexten, bei denen die Lernenden mit den Materialien über weite Strecken eigenständig arbeiten, so beschränkt werden, dass die Auswertung mit vertretbarem Aufwand sinnvoll umgesetzt werden kann. Aufgaben, die längere frei formulierte Texte

fordern, können jedoch in hybriden Lernarrangements durch (Tele-)Tutoren oder Dozenten ausgewertet werden.

Die Handlungsmöglichkeiten der Lernenden werden im Rahmen eines aufgabenorientierten mmL-Objektes durch die realisierten Interaktionen bestimmt. In Kapitel 2.4 konnte in diesem Zusammenhang aufgezeigt werden, dass nicht allein die Komponente der Interaktion für eine qualitative Einstufung eines mmL-Objektes herangezogen werden sollte. SCHULMEISTER (2003, 209) und STRZEBKOWSKI & KLEEBERG (2002, 232) trennen zwischen Steuerungsinteraktion (bzw. Navigation) und didaktischer Interaktion. Die Qualität der Interaktion hängt jedoch entscheidend von der kontextuellen Einbettung ab, so dass didaktische Interaktionen häufig erst durch Steuerungsinteraktionen ermöglicht und die für den Lernerfolg kritischen Lernprozesse erst durch die Aufgabenkomponente strukturiert, aktiviert und sichergestellt werden. Diese für Lernprozesse entscheidende Kombination der Interaktivitätskomponente, Aufgaben-(Struktur-) Komponente und Visualisierungskomponente möchte ich an einem Beispiel verdeutlichen (Abb. 5.2).

The screenshot shows a web-based interactive learning object titled "Plattentektonik". It features a simulation of continental drift from the beginning of the Jurassic to the present, 137 million years ago. The simulation includes a map of the Earth with tectonic plates and their boundaries (subduction zones, spreading axes, and transform faults). A legend identifies these boundaries. Below the map, there are controls for playing, pausing, and stopping the animation, as well as a slider to adjust the speed. A timeline on the right shows geological periods from the Quaternary to the Triassic, with corresponding dates in millions of years. A quiz interface on the right asks questions about continental drift, such as "Wann trennte sich Südamerika von Afrika?" and "In welchem Zeitraum trennte sich Grönland von Nordamerika?". The quiz interface includes a "Reset" button and an "Antworten überprüfen" button.

Abb. 5.2: Aufgabenorientiertes mmL-Objekt zur Kontinentalverschiebung

(mmL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Plattentektonik“,

http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_007;3).

Die Animation zur Kontinentalverschiebung wird mit den traditionellen Steuerungsinteraktionen „Wiedergabe, Pause, Stopp, interaktives Vor- und Zurückspulen“ bedient. In der Aufgabenstellung wird unter anderem vom Lerner gefordert,

durch Steuerung der Animation Kenntnis darüber zu erlangen, in welcher geologischen Zeit sich der südamerikanische Kontinent vom afrikanischen (durch „Sea floor spreading“) trennte. Das Spulen der Animation als Steuerungsinteraktion erhält durch die Aufgabenstellung eine didaktische Qualität. Das Beispiel der Lernaufgabe zur Kontinentalverschiebung verdeutlicht, dass durch verbindende Aufgabenstellungen Steuerungsinteraktionen zu didaktischen Interaktionen erweitert werden können (Abb. 5.3).

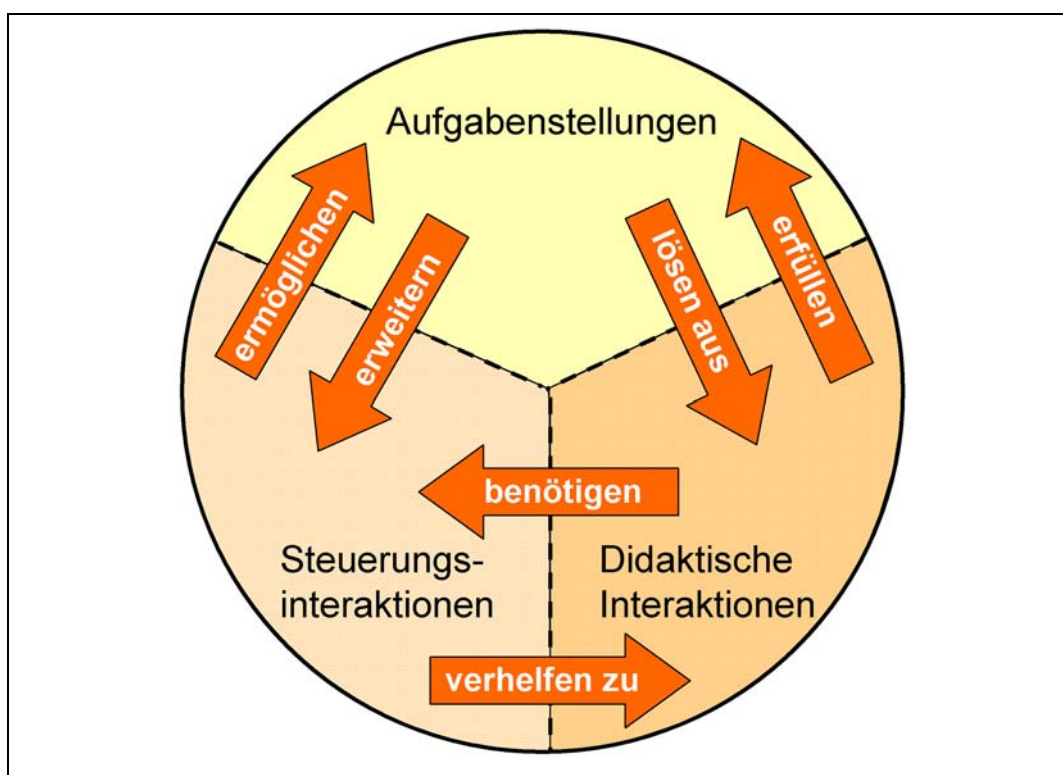


Abb. 5.3: Verhältnis von Steuerungsinteraktionen, didaktischen Interaktionen und Aufgabenstellungen in mmL-Angeboten (eigene Darstellung)

Die Abbildung zeigt, dass Steuerungsinteraktionen die Grundlage für den aktiven Umgang der Lernenden mit den mmL-Objekten darstellen. Sie ermöglichen die Konstruktion von Aufgabenstellungen, die ein bedeutungsvolles Handeln in didaktischen Interaktionen auslösen können.

Bei aufgabenorientierten mmL-Objekten mit automatisierter Online-Auswertung, die den Vorteil einer sofortigen Rückmeldung ermöglichen, ist die Art der (Antwort-) Eingabe beschränkt. Grundsätzlich bedeutet dies jedoch keinen Nachteil für die Aktivierung intensiver kognitiver und/oder emotionaler Auseinandersetzungen. *Multiple Choice*-Anwendungen, in denen systematisch Rückmeldungen

zum Lernerfolg vorgesehen sind, werden häufig mit einer behavioristischen Lerntheorie gleichgesetzt (SCHULMEISTER 2002, 357). Doch anders als bei der Programmierten Unterweisung der 60er Jahre dienen die Lernaufgaben nicht in erster Linie der Lernerfolgskontrolle und Prüfung, sondern der Aktivierung eines Lernprozesses. Im Kontext konstruktivistischer Ansätze spielen Lernaufgaben ebenso eine wesentliche Rolle. Die Anforderung an die Komplexität der Lernaufgaben hat sich in diesen Ansätzen (vgl. Kapitel 2) jedoch erhöht. Mit didaktisch geschickt entworfenen Fragenkonstruktionen und hinreichender Komplexität der Fragen kann eine Aktivierung auch mit Hilfe von *Multiple Choice*-Verfahren und deren Varianten wie *drag & drop* und *pull-down* Auswahllisten sowie *Short-Answer* bzw. Texteingabe erzielt werden und durchaus intensive Auseinandersetzungen mit Lehr-/Lerninhalten angeregt werden. Es ist also keineswegs so, dass die Aufgabentypen lediglich zum Raten animieren. Anspruchsvolle Formate des *Multiple-Choice*-Typs können eine intensive Beschäftigung mit den Lehr-/Lerninhalten nach sich ziehen und sind somit aus didaktischer Sicht nicht abzulehnen. Es kommt jedoch stark auf die didaktische Konzeption an, ob erwünschte Lernprozesse tatsächlich stattfinden können. Bei der Kombination unterschiedlicher Kategorien von Aufgabentypen, Methoden und Medienformen lassen sich unterschiedlich hohe Komplexitätsgrade selbst mit relativ einfachen Strukturen erreichen. Der Interaktivitätsgrad im Sinne einer Skalierung nach SCHULMEISTER (2003, 215) (vgl. Kapitel 2.4) muss dabei nicht zwingend hoch sein, um eine intensive Beschäftigung mit den Lehr-/Lerninhalten zu erreichen.

Diese These möchte ich im Folgenden durch ein Beispiel stützen:

Das Beispiel stammt aus dem Basis-Lernmodul Meeresspiegelschwankungen I (vgl. http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_004;1), bei dem Grundeinsichten zu Ursachen und Auswirkungen von Niveauveränderungen des Meeresspiegels behandelt werden. Bei der Aufgabe sollen Pegelmessungen des Meeresspiegels im 20. Jahrhundert verschiedener Standorte der Erde mit Hilfe eines Diagramms verglichen werden (vgl. TILLMANN *et al.* 2004, 34). Wichtige kognitive Lehr-/Lernziele sind:

- Den Prozess des andauernden absoluten globalen Meeresspiegelanstiegs beschreiben können.
- Erkennen, dass sich in Meeresspiegelschwankungen immer globale und lokale Effekte summieren.

- Die Ursachen für Niveauveränderungen durch eustatische und isostatische Ausgleichsbewegungen sowie Kompaktion oder Lokaltektonek nennen und erklären können.

Die Interaktion beschränkt sich auf die Zuordnung der Namen der Stationen zu den Kurzbeschreibungen (Abb. 5.4). Die Anzeige von „richtig/falsch“ sowie eine Rückmeldung in Textform geben Lernenden direkt Rückmeldung zur Bearbeitung.

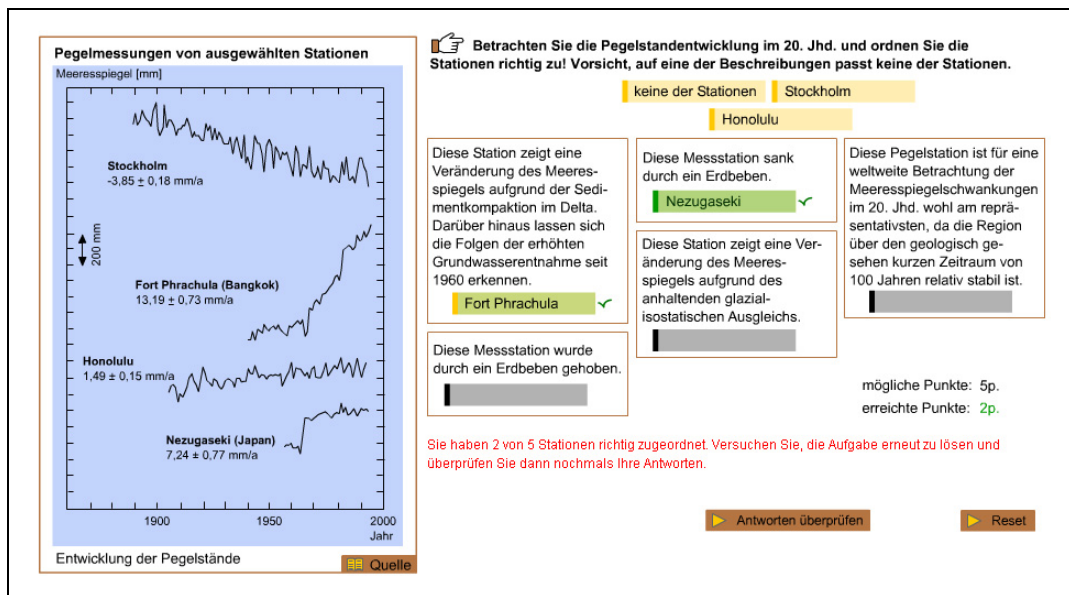


Abb. 5.4: Aufgabenorientiertes mL-Objekt zur Pegelstandentwicklung im 20. Jahrhundert.

(mL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Meeresspiegelschwankungen I“,

http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_004;4).

Die Zuordnungsaufgabe ist mit dem Aufgabentyp *drag & drop* realisiert und basiert auf einem analytischen Vergleich. Die Darstellungsform ist ein Diagramm, das jedoch statisch bleibt und nicht vom Nutzer verändert werden kann. Die Interaktivität ist auf die Zuordnung der Begriffe beschränkt. Das Objekt selbst (Diagramm) kann lediglich betrachtet werden (geringste Interaktivitätsstufe [1] bei SCHULMEISTER 2003, 210). Trotz des geringen Interaktionsgrades ermöglicht diese Art der Aufgabenkonstruktion eine aktive Auseinandersetzung mit den Lehr-/Lerninhalten.

Ein Vergleich mit der Aufgabe zur Kontinentalverschiebung (Abb. 5.2) unterstützt die oben aufgestellte These nochmals. In der Aufgabe werden über ein Auswahlmenü Antwortalternativen bereitgestellt. Die Fragestellungen heben wesentliche Aspekte der Animation hervor, wie beispielsweise die Lage einzelner

Kontinente in geologischer Vergangenheit (z.B. als Grundlage der Lagerstättenbildung, Klimaentwicklung, Floren/Faunenentwicklung). Wenngleich der Interaktivitätsgrad in diesem Beispiel nach SCHULMEISTER (2003, 211) eine höhere Stufe erreicht, indem die Möglichkeit besteht, von dem Objekt (Animation) verschiedene Darstellungsformen abzurufen (Geschwindigkeit und Abspielrichtung vorwärts/rückwärts der Animation benutzergesteuert regelbar) und so das Objekt in multiplen Darstellungen betrachtet werden kann, so ist die kognitive Auseinandersetzung mit dem Lehrstoff im Vergleich zur Aufgabe zu den Pegelmessungen der Meeresstände (Abb. 5.4) als geringer einzustufen, da die Aufgabe zur Kontinentaldrift bereits durch aufmerksames Rezipieren gut bewältigt werden kann. Bei der Aufgabe zu den Meeresspiegelschwankungen wird dagegen eine analytische Leistung abverlangt. Der Vergleich der Lernaufgaben verdeutlicht, dass der Interaktivitätsgrad allein kein Maß für die Intensität der kognitiven Auseinandersetzungen darstellt.

Für aufgabenorientierte mmL-Objekte (Lernaufgaben), die eine automatisierte Online-Auswertung und entsprechendes direktes Feedback ermöglichen, soll im Folgenden ein Kategorierahmen entwickelt werden, der anhand von Beispielen einen Überblick über verschiedene Konstruktionsmöglichkeiten als Hilfestellung für Entwickler und Autoren darstellt. Ein Bezug zu bestimmten Lehrzielniveaus und entsprechenden Wissenstypen, aus denen Empfehlungen zur Konzeption und Entwicklung von mmL-Objekten abgeleitet werden können, folgt in Kapitel 6.

5.1.2 Komponenten aufgabenorientierter mmL-Objekte (Lernaufgaben)

Zur Gestaltung webbasierter aufgabenorientierter mmL-Objekte mit automatisierter Auswertung wird eine Aufteilung der verschiedenen Komponenten in vier Kategorien vorgenommen:

- Aufgabentypen
- Darstellungsformen
- Interaktionsmöglichkeiten
- Rückmeldungen

5.1.2.1 Aufgabentypen

Die Aufgabentypen bilden den technischen Rahmen zur Entwicklung von webbasierten Lernaufgaben, die eine automatisierte Online-Auswertung mit entsprechend individuell einsetzbaren Rückmeldungen ermöglichen²⁵.

Multiple-Choice

Multiple-Choice-Aufgaben können unterschiedlich gestaltet sein. Einfachauswahl-Fragen erlauben nur Ja/Nein- beziehungsweise Richtig/Falsch-Antworten. Bei Mehrfachauswahl-Fragen können durch Ankreuzen mehrere Antwortalternativen ausgewählt werden. Bei Ja/Nein-Aufgaben, die sehr leicht programmiert und ausgewertet werden können, kann die Lösung mit fünfzigprozentiger Wahrscheinlichkeit erraten werden. Der Schwierigkeitsgrad kann durch Mehrfachauswahl-Fragen erhöht werden. Dabei kann die Frage so konstruiert werden, dass aus einer Menge von Antwortalternativen (n -Alternativen) nur die eine richtige Antwort gefunden werden muss (*single choice*). Deutlich schwieriger und weniger leicht zu erraten sind Aufgabenstellungen, bei denen aus mehreren Antwortalternativen nicht nur eine richtige Antwort zu identifizieren ist (1 aus n -Format), sondern wenn mehrere Antworten richtig sein können und die richtige Kombination exakt bestimmt werden muss (m aus n -Format; *multiple choice*).

4. In welcher Größenordnung könnte nach Stand der heutigen Kenntnis der Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 ansteigen?

30-50 Meter

3-5 Meter

30-50 Zentimeter korrekt

3-5 Zentimeter

Abb. 5.5: *Single-Choice*-Aufgabe mit einer Ankreuzmöglichkeit (mmL-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Meeresspiegelschwankungen II“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_005;5).

²⁵ Die software-technischen Vorlagen sowie die Datenbankbindung zur Auswertung der Lernerdaten wurden in Kooperation mit den Teilprojekten WEBGEO|didakt Frankfurt und Freiburg und WEBGEO|kamo Freiburg (vgl. Kapitel 7.2) entwickelt.

4. Zu Ingressionsküsten, die heute an vielen Küstenabschnitten der Erde anzutreffen sind, kommt es bei Szenarien,

- bei denen Hebungs- und Senkungsprozesse und Meeresspiegelschwankungen ausgeglichen sind.
- bei denen es durch den postglazialen Meeresspiegelanstieg zu einem Vorrücken der Strandlinie in Richtung Festland kommt. korrekt
- bei denen es durch Auftauchung zu einem zurückweichenden Meeresspiegel kommt.
- bei denen es durch einen steigenden Meeresspiegel zu einer Transgression kommt. korrekt
- bei denen es durch einen sinkenden Meeresspiegel zu einer Regression kommt.

alles richtig beantwortet!

Abb. 5.6: Multiple-Choice-Aufgabe mit mehreren Ankreuzmöglichkeiten

(aus WEBGEO-Lernmodul „Meeresspiegelschwankungen I“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_004;7)

Drag & Drop

Das Drag & Drop-Prinzip ermöglicht die Konstruktion verschiedener Aufgabentypen. Begriffe können zugeordnet werden, gleichermaßen aber auch Bilder, Graphiken, Animationen, etc. . Ein Objekt wird dabei – z.B. mit der Maus – gezogen (engl. *drag*) und an einer anderen Stelle abgesetzt (engl. *drop*).

Ziehen Sie die Namen der Regionen der Erde zu den passenden Beschreibungen !

Gebiete um die Trockengrenze (z.B. Sahelzone)

Gebiete in Mittelamerika und Europa

▶ Antworten überprüfen

Während der Trockenzeit kommt es zu Winderosion. 50 % der Jahresniederschläge fallen innerhalb von 2 Monaten und führen zu starker Erosion durch Wasser. Weite Teile der Region waren ehemals von Wald bedeckt.

Monsunale Gebiete (z.B. chinesisches Lössbergland)

Diese Gebiete, bei denen die kräftigen Niederschläge gleichmäßig über das Jahr verteilt sind, zeigen besonders hohe Bodenerosionsraten nach der Beseitigung der schützenden Vegetation.

Innertropische Bergländer (z.B. Nordost-Brasilien)

Diese seit langem dichtbesiedelten Räume weisen den höchsten Prozentsatz degradierter Böden auf. Der dominierende Schädigungsfaktor ist die Wassererosion.

Diese Räume mit hoher Variabilität der Niederschläge sind ökologisch sehr labil. Unsachgemäßes Eingreifen des Menschen führt rasch zu Wind- und Wassererosion. Häufige Ursache der Bodendegradation ist die Überweidung.

Nur in diesen Gebieten geht die Anbaufläche insgesamt zurück. Die potentielle Nutzfläche ist hier jedoch ohnehin ausgereizt. (Im Gegensatz dazu nehmen weltweit Anbauflächen rasch zu und die letzten Landreserven werden in Nutzung genommen.)

Gebiete in Europa

Abb. .5.7: Drag & Drop-Aufgabe, bei der die Regionen der Erde den entsprechenden Beschreibungen zugeordnet werden sollen. (aus WEBGEO-Lernmodul „Bodenerosion – ein Weltproblem“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030;8)

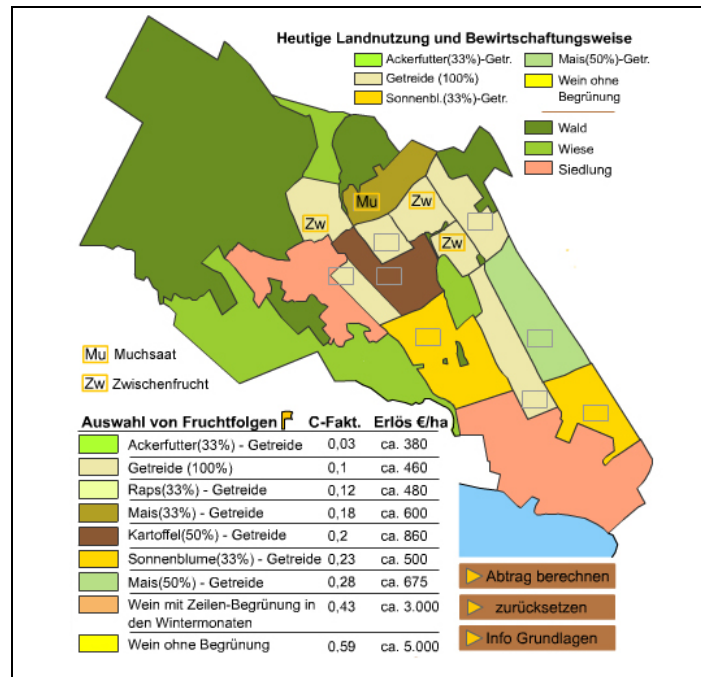


Abb. 5.8: Drag & Drop-Aufgabe, bei der die Symbole **Mu** und **Zw** in der Planungskarte unterschiedlichen landwirtschaftlichen Flächen zugewiesen werden können. Die Symbole stehen für Bewirtschaftungsweisen, die im Modell eine Reduzierung des Bodenabtrags bewirken. (aus WEBGEO-Lernmodul „Landnutzungssimulation auf Grundlage eines Bodenerosionsmodells“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_037;2)

Abbildung 5.8 zeigt, dass das Drag & Drop-Prinzip auch genutzt werden kann, um Veränderungen von Parametern im Rahmen von Modellberechnungen vorzunehmen. Genauso könnten z.B. Teile mathematischer oder chemischer Formeln oder DNA-Sequenzen nach dem Baukastenprinzip zusammengesetzt werden.

Pull-Down-Auswahlmenü

Pull-down-Auswahlmenüs enthalten richtige und falsche Begriffe, Zahlenwerte oder Zeichenfolgen (z.B. chemische Formeln) und können als eine Variation der Texteingabe genutzt werden.

Speicherung und Abflussprozesse im Boden in Abhängigkeit von der Vegetation

viel Vegetation sorgt für bessere Infiltration des Niederschlags als wenig Vegetation

? bewirkt weniger Abfluss als ?

? sorgt für eine höhere Transpiration als ?

▶ Tipps ▶ Antworten überprüfen ▶ Reset

Abb. 5.9: Aufgabe mit Pull-Down-Auswahlmenüs zum Vergleich zweier Sachverhalte, die in zwei Animationen visualisiert sind. (aus Goethe-Geo-Lernmodul „Speichergleichung“²⁶, http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_501;4)

Short-Answer (Texteingabe)


Short-Answer-Aufgaben²⁷ bieten die Möglichkeit einer freien Beantwortung in Form eines Begriffs (auch Begriffspaars), einer Zahl oder Zeichenfolge (z.B. mathematische oder chemische Formel). Ein hinterlegter Thesaurus ermöglicht die Überprüfung der Eingabe von Synonymen, Wertebereichen und verschiedenen Schreibweisen (Groß-Kleinschreibung usw.). Trotz dieser Möglichkeit sollte eine Short-Answer Aufgabe möglichst so konstruiert werden, dass nicht zu viele Synonyme zutreffen können. Wird die Aufgabenstellung in Form einer Frage gestellt, erzielt man häufig eine leichtere Verständlichkeit, als wenn die Aufgabenstellung durch einen unvollständigen Satz eingeleitet wird. Eine Aufgabenform, bei der unvollständige Sätze ergänzt werden sollen, sollte nur dann gewählt werden, wenn

²⁶ Das mmL-Objekt entstand im Rahmen der Lehrveranstaltung „Erstellung von E-Learning Modulen zu hydrologischen Themen“ im Wintersemester 2004/05 durch Studierende.

²⁷ Häufig wird für das Fragenformat Short-Answer auch der Begriff „Lückentext“ verwendet, der aber die Möglichkeiten zum Einsatz auch außerhalb eines Fließtextes nur unzureichend wiedergibt.

damit eine prägnantere Darstellung erreicht wird. In einem Satz sollte möglichst nur eine Lücke eingebunden und am Ende des Satzes platziert werden.

Ein Vorteil gegenüber einer Multiple-Choice-Aufgabe besteht darin, dass eine Antwort wesentlich weniger leicht erraten werden kann.

 In einem Feldversuch wurden Starkniederschläge simuliert. Vervollständigen Sie die Tabelle, indem Sie die Niederschlagsintensität errechnen. Runden Sie dabei auf 2 Stellen hinter dem Komma.

Simulation einzelner Starkniederschläge an einem vegetationsfreien Hang

Niederschlagsdauer: 30 Minuten

Niederschlag		Oberflächenabfluss	Bodenerosion
Gesamtmenge (mm)	Intensität (mm/min)	Gesamtmenge (mm)	Gesamtmenge (t/ha)
50	<input type="text"/>	45	122
100	<input type="text"/>	95	340
200	<input type="text"/>	195	1.428
500	<input type="text"/>	495	10.268
1000	<input type="text"/>	994	45.571

Niederschlagsdauer: 3 Stunden

Niederschlag		Oberflächenabfluss	Bodenerosion
Gesamtmenge (mm)	Intensität (mm/min)	Gesamtmenge (mm)	Gesamtmenge (t/ha)
50	<input type="text"/>	34	17
100	<input type="text"/>	84	84
200	<input type="text"/>	184	324
600	<input type="text"/>	583	2.024
1200	<input type="text"/>	1182	8.727

Abb. 5.10: Aufgabe des Short-Answer-Typs, bei der die Niederschlagsintensität berechnet und in die leeren Textfelder eingetragen werden soll.

Um wie viel Mal ist die **Infiltrationsrate** bei den 3 stündigen Niederschlagsereignissen höher als die bei den 30 minütigen?
 Antwort: ca. mal.

Abb. 5.11: Short-Answer-Aufgabe, bei der die Aufgabenstellung in Form einer Frage gestellt ist.

5.1.2.2 Darstellungsformen

Die beschriebenen Aufgabentypen werden in webbasierten Lernaufgaben mit multimedialen Elementen kombiniert. Digitale Medien zeichnen sich dadurch aus, dass die Gestaltungsmöglichkeiten besonders vielfältig sind und die verschiedenen Präsentationsformen einzeln und im Verbund dargestellt werden können. Fasst man die unterschiedlichen Darstellungsformen als eine Verbindung von Codierungsart und Sinnesmodalität auf, so lassen sich für einen Überblick die

Möglichkeiten der verschiedenen Darstellungsformen in einer Matrix abbilden (Abb. 5.12).

			Modalität		
			visuell		auditiv
			statisch	dynamisch	
Codierung	abbildhaft	realistisch	Bild	Film	aufgezeichnete Originaltöne
		schematisch/ typisierend	Skizze, Graphik, Diagramm	Animation	akustische Nachbildung
	symbolisch	verbal	schrift- licher Text	Laufschrift	aufgezeichneter gesprochener Text
		nicht- verbal	optische Symbole	bewegte optische Symbole	aufgezeichnete nicht sprach- liche akustische Symbole

Abb. 5.12: Mediale Darstellungsformen (nach KAMMERL 2000, 55; stark verändert)

Je nach angesprochenem Sinneskanal unterscheidet man in visuelle und auditive Medien. Digitale Medien sind dadurch gekennzeichnet, dass sie das Ansprechen der verschiedenen Sinne nacheinander oder gleichzeitig ermöglichen.

Die Codierung kann bei Medien abbildhaft oder symbolisch sein. Abbildhafte Codierungen lassen sich wiederum in realistische und schematische bzw. typisierende Repräsentationsformen unterteilen. Im Unterschied zur realistischen Darstellung (z.B. Foto) abstrahieren schematische bzw. typisierende Darstellungen vom realen Gegenstand oder Vorgang durch akzentuierende Darstellung und Heraushebung des Wesentlichen.

Diagramme nehmen eine gewisse Sonderstellung ein, da bei ihnen im Gegensatz zu Skizzen oder Zeichnungen keine Ähnlichkeit zu realen Gegenständen besteht. Diagramme sind graphische Darstellungen abstrakter Sachverhalte, die zum Teil nicht unmittelbar wahrnehmbar sind (z.B. Säulendiagramm mit langjährigen mittleren Bodenabtragsraten). Sie werden als logische Bilder bezeichnet (SCHNOTZ 2002, 65). Symbolische Darstellungsformen unterscheiden sich durch

unterschiedliche Arten von Zeichen. Es lassen sich symbolische Codierungen in verbale und nicht-verbale Symbole unterteilen. Das Wort „Sandkorn“ ist ein verbales Symbol, während ein Pfeil, der eine Bewegungsrichtung anzeigt, ein nicht-verbales Symbol darstellt. Geographische Karten beispielsweise integrieren verschiedene Codierungen wie Text, Symbole, Linien, Flächen etc. .

WEISS *et al.* (2002, 469) differenzieren Abbildungen weiter hinsichtlich ihres Abstraktionsgrades in visuelle (*engl.* physical fidelity) und funktionale (*engl.* functional fidelity) Abstraktion. Der visuelle Abstraktionsgrad beschreibt die Realitätsnähe einer Abbildung. Fotorealistische Abbildungen nehmen das eine Ende der Skala ein; dagegen bilden symbolhafte Darstellungen das entgegengesetzte Ende (Abb. 5. visuelle Abstraktion). Karten nehmen eine Position zwischen realistischen und logischen Präsentationsformen ein, indem sie abstrakte, nicht unmittelbar visuell wahrnehmbare Sachverhalte (z.B. Gemeindegrenzen) mit realitätsnäheren – z.B. schematischen bzw. typisierenden – Darstellungselementen kombinieren.

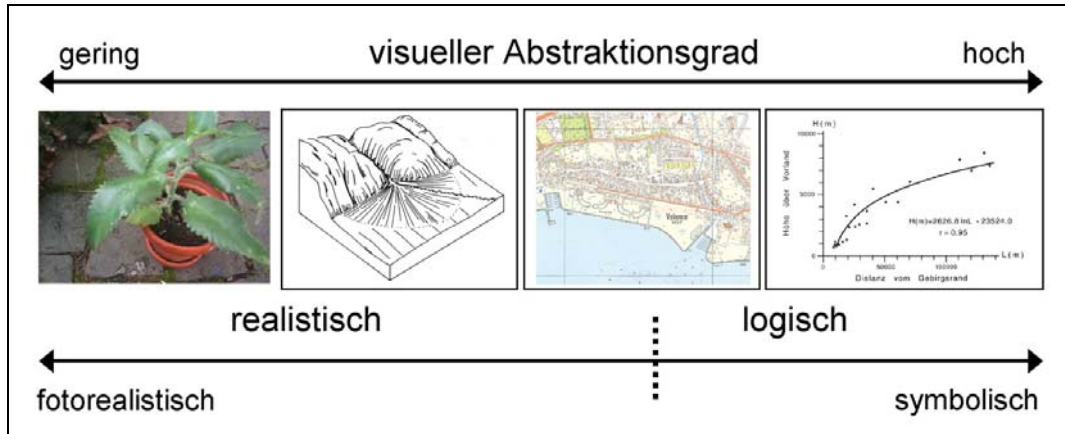


Abb. 5.13: Beispiele unterschiedlicher visueller Abstraktionsniveaus von Abbildungen (exemplarisch). Quellen von links nach rechts: Video zur Interzeption bei einer Pflanze (Modul „Wasserkreislauf“ http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_503;4); Zeichnung eines Schwemmfächers (aus: AHNERT 1996, 242), Karte (Blatt Velence), Diagramm zur Funktionalbeziehung zwischen der relativen Höhe von Gipfeln verschiedener Gebirge und ihrer Distanz vom jeweiligen Gebirgsrand (aus: AHNERT 1996, 44)

Durch den Grad der funktionalen Abstraktion kann beschrieben werden, wie nah ein abgebildetes Objekt das Verhalten eines Objektes in der realen Welt wieder-

gibt. Eine virtuelle Lupe kann z.B. sehr einfach als ein Kreis mit einer Linie dargestellt werden. Für den Nutzer einer computerbasierten Anwendung wird es möglich, darin eine Lupe zu erkennen, sobald das Objekt die Funktion einer Lupe – nämlich die Vergrößerung darunter liegender Objekte – erfüllt. Das Objekt muss also in ähnlicher Weise genutzt werden können, wie es in der Realität der Fall wäre.

Digitale Medien sind in der Lage genannte Abstraktionsgrade und Codierungsarten miteinander zu kombinieren. So kann eine realistische oder schematische Abbildung (Film oder/und Animation) eines springenden Sandkornes mit einer weiteren Darstellung als symbolische Codierung (Text, Liniensymbole) überlagert werden (Abb. 5.14).

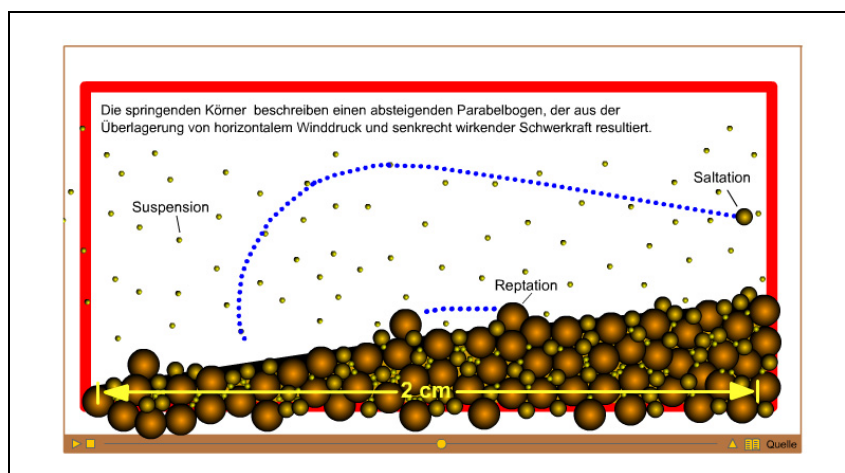


Abb. 5.14: Beispiel einer Animation mit Text und Linien als symbolische Codierungen (aus dem WEBGEO-Lernmodul „Dünenbewegung“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_009).

Abbildung 5.15 zeigt ein Beispiel für die digitale Integration abbildhafter, realistischer dynamischer Codierung (Film), schematischer dynamischer Codierung (Animation der Wassertropfen) und symbolisch verbaler Codierung (Beschriftung), die zum Teil als animierte Laufschrift dynamisch eingebunden ist.



Abb. 5.15: Integration von Film und Animation (mit Text)

(aus dem Goethe-Geo-Lernmodul „Wasserkreislauf“,

http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_503;4;)

Die Abbildungen (5.14 und 5.15) verdeutlichen, dass sich Inhalte in digitalen Darstellungen auf verschiedenen Abstraktionsniveaus präsentieren lassen und dabei auch unterschiedliche Abstraktionsniveaus miteinander kombiniert werden können.

Bei geographischen Fragestellungen ist darüber hinaus die Wahl der Dimension einer Darstellung sowie die Möglichkeit der zeitgleichen Präsentation von Inhalten (eines Landschaftsausschnittes) in verschiedenen Dimensionen (2D, 2,5D und 3D) von besonderem Interesse. Darüber hinaus ermöglicht die Einbindung der zeitlichen Dimension – z.B. im Rahmen einer Animation oder in einem Film – neben der Vermittlung räumlicher Strukturen auch die Darstellung zeitlicher Ablaufstrukturen und kann beim Lernenden die Bildung eines adäquaten mentalen Modells unterstützen (VATH *et al.* 2001, 22). Eine dynamische Verknüpfung verschiedener Darstellungsperspektiven kann so der Entwicklung einer verbesserten

Vorstellung raum-zeitlicher Prozesse dienen und eröffnet in der zeitgleichen Repräsentation verschiedener Ansichten das volle Potential multidimensionaler Visualisierung, Datenanalyse und -exploration. Der Transfer von 2D- zu 3D-Darstellungen kann die Lesefähigkeit und visuelle Interpretationsfähigkeiten von Nutzern bzw. Lernenden schulen und eröffnet Studierenden einen leichteren Zugang zur Analyse geographischer Raumkonzepte (vgl. Kapitel 4.1.1.1).

Angesichts der Vielfalt an unterschiedlichen Darstellungsmöglichkeiten stellt sich die Frage, welche Darstellungsform bzw. welche Kombination von Präsentationsweisen für einen bestimmten Sachverhalt am besten geeignet ist. Die Frage lässt sich jedoch nicht generell beantworten, da die Darstellungsform wesentlich von der jeweiligen Funktion der Visualisierungskomponente bestimmt wird. Gestaltungshinweise können, je nach Funktion der medialen Präsentation, aus Kapitel 2.3.1.4 entnommen werden. Kognitions- und instruktionspsychologische Gestaltungsprinzipien geben allgemeine Hinweise für die Konzeption und Entwicklung von mmL-Objekten. Wesentliche Elemente, die bei der Konstruktion von Lehr-/Lernangeboten als Orientierungshilfe dienen können, sind in Kapitel 2.3.3 zusammengefasst.

Für die erfolgreiche Konzeption von aufgabenorientierten mmL-Objekten reicht die mechanische Anwendung dieser Regeln zur Präsentation von Information jedoch nicht aus. Vielmehr ist die Präsentationskomponente eines mmL-Objektes im Hinblick auf ein angestrebtes Lehrziel beziehungsweise zum Aufbau eines bestimmten Wissenstyps auf die Interaktionskomponente und Aufgaben-(Struktur-)Komponente zu beziehen (Kapitel 6). Welche Präsentationsform in einer bestimmten Lehr-/Lernsituation am geeignetsten erscheint, muss daher im konkreten Fall entschieden werden. Dabei sollten auch Aufwand und Ertrag im Hinblick auf einen Mehrwert gegenüber traditionellen Darstellungsformen berücksichtigt werden. Beispielsweise lassen sich Prozessabläufe wie äolische Transportmechanismen oder der Ausbruch eines Geysirs mit Hilfe von Bewegtbildsequenzen veranschaulichen. Dabei ist es zunächst unerheblich, ob es sich hierbei um digitalisierte Abbildungen bzw. Bewegtbildsequenzen oder computergenerierte Graphiken bzw. Animationen handelt. Beide Prozesse lassen sich als Videofilm des realen Vorgangs oder in einer Simulation des realen Vorgangs in einer Computeranimation präsentieren. In dem Beispiel wird deutlich, dass in einem konkreten Fall die Entscheidung für eine der Varianten beim Einsatz des Mediums stark an den In-

halt und das verfolgte Lehr-/Lernziel gebunden ist. Reale Filmaufnahmen eines Geysirausbruchs können zwar beeindrucken, Aufschluss über die eigentlichen Wirkmechanismen im Untergrund liefern sie jedoch nicht. Wird also eine Unterstützung der Lernenden zum Aufbau eines angemessenen mentalen Modells des Wirkmechanismus eines Geysirs angestrebt, so lassen sich räumliche Strukturen und zeitliche Verlaufsstrukturen in einer schematisierten und typisierten Animation besser veranschaulichen als in einem aufgezeichneten Film des realen Vorgangs. Im Beispiel der äolischen Transportmechanismen, die prinzipiell durch beide Repräsentationsweisen angemessen dargestellt werden könnten (z.B. als Hochgeschwindigkeitsfilm in Makro-Perspektive und Zeitlupe oder als Animation wie in Abb. 5.14), sollte in einem konkreten Projekt für eine Entscheidung der Arbeitsaufwand (bzw. die Kosten) beider Varianten gegenübergestellt werden.

Bei der medialen Aufbereitung von Prozessabläufen, wie der Kontinentalverschiebung oder von relativen und absoluten Meeresspiegelschwankungen, scheiden einige Varianten der medialen Präsentation von vornherein aus, da sie sich einer direkten Aufzeichnung als Film entziehen. Die Verknüpfung von Inhalt und Präsentationsweise wird an diesem Beispiel nochmals deutlich.

Möglichkeiten zur Darstellung von Prozessabläufen bestünden jedoch auch als Folge von Einzelbildern bzw. -graphiken (z.B. begleitet von einem Sprechertext). Wesentliche Schritte oder Einschnitte, man denke hier an das Auseinanderbrechen der kontinentalen Platten von Pangäa oder die Kollision des heutigen indischen Subkontinents mit der eurasischen Platte, könnten als einzelne Graphiken dargestellt werden. Bewegungen werden dabei beispielsweise mit Pfeilen angedeutet. Im Einzelfall muss entschieden werden, ob der zusätzliche Mehraufwand z.B. für eine 2D oder 3D Computeranimation gegenüber einer Sequenz von Einzelgraphiken tatsächlich auch einen Mehrwert darstellt und im Hinblick auf den Lernerfolg lohnend erscheint. Dies ist dann der Fall, wenn zeitliche Verlaufstrukturen in einer Animation bedeutend besser zum Ausdruck kommen und angestrebte Einsichten zum Prozessablauf deutlich besser veranschaulicht werden. Im Beispiel der Animation zur Kontinentalverschiebung ist ein deutlicher Mehrwert durch die Animation zu erkennen (vgl. Animation zur Kontinentalverschiebung Abb. 5.2 http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_007;3). Im Gegensatz zu einer Sequenz von Einzelbildern lassen sich Drehachsen der Verschiebung und die daraus resultierenden sehr unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten

der Kontinentalplatten sowie der zeitliche Verlauf der Drift in der Animation sehr viel besser nachvollziehen.

Implikationen psychologischer Forschungsergebnisse lassen eine Kombination verschiedener Varianten oder einen Wechsel der Art der dargebotenen Information als vorteilhaft erscheinen (vgl. Kapitel 2.3.3). Die Suche nach der einen „richtigen Präsentationsweise“ ist daher (bei Berücksichtigung gewisser Standards wie der Erkennbarkeit, Größe, Farbkombination etc.) von untergeordneter Bedeutung. Gerade verschiedene Darstellungsarten und Kombinationen von Medien können bei den Lernenden eine mentale Multicodierung des Informationsangebotes stimulieren. Multicodierung lässt Kombination und Abwechslung als sinnvoll erscheinen und die Kreativität des didaktischen Designs zeigt sich nicht zuletzt auch im Überschreiten konventioneller Varianten.

In diesem Zusammenhang wird ersichtlich, dass die Methode und implizite didaktische Strategie von mmL-Objekten den Lernprozess (bei der Beschäftigung mit den Lernobjekten) maßgeblich beeinflussen und weniger stark die Präsentationsweise. Diese These möchte ich anhand zweier kurzer Beispiele weiter verdeutlichen:

Das Modell des so genannten „Geankerten Lehrens“ (engl. „anchored instruction“ vgl. BRANSFORD *et al.* 1990), die Einbettung der Lehrinhalte in anregende Episoden, soll den Transfer des Gelernten erleichtern (vgl. Kapitel 2.2.3.3). Das Modell setzt auf die motivierende Wirkung von authentischen Problemsituationen. Durch die Kontextualisierung der Inhalte in realistische, komplexe Situationen erschließt sich für die Lernenden der Bezug zu ihrer Alltagserfahrung (oder zukünftigen Erfahrung) und zur Anwendung. Es gilt, einen „Anker“ zu finden, der die Aufmerksamkeit beim Lernen steuert und die Bedeutung des zu erwerbenden Wissens in der Anwendungssituation herausstellt. Ein Beispiel für eine Anwendungssituation wäre die Darstellung der Lebenssituation eines Landwirtes oder eines Mitarbeiters einer landwirtschaftlichen Beratungsstelle, der unter verschiedenen Aspekten (unterschiedliche Standortbedingungen, ökologische und ökonomische Ansprüche etc.) eine Fruchtfolge für Felder wählt (vgl. Kapitel 8.1.2). Ein derartiges situiertes Lern-Setting ist nicht an bestimmte Präsentationsweisen, Codierungen und Modalitäten gebunden. Es bietet sich jedoch an, durch bildhafte Codierungen eine möglichst realitätsnahe Repräsentation besonders ausgeprägt um-

zusetzen. Dies ermöglicht für den Lernenden eine relativ direkte Konstruktion eines mentalen Modells (SCHNOTZ 1993, 248).

Nach der Cognitive Flexibility Theory (SPIRO & JENGH 1990) kann die Abstraktionsfähigkeit von Lernenden und deren Fähigkeit zur flexiblen Anwendung von Wissens in unterschiedlichen Situationen durch die Gestaltung von Aufgaben unterstützt werden, die Lernende mit verschiedenen Situationen konfrontieren, in denen das Wissen angewendet werden soll (vgl. Kapitel 2.2.3.3). Ein Beispiel ist die Ermittlung von Bodenabtragsraten mit Hilfe verschiedener Bodenerosionsmodelle in unterschiedlichen Maßstabsniveaus und unter verschiedenen standörtlichen Bedingungen (vgl. Kapitel 3.3). Durch diesen Perspektivwechsel wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass das darin erworbene Wissen auch auf andere Kontexte transferiert werden kann und Querverbindungen zu ähnlichen Wissensinhalten erleichtert werden. In einer neuen Anwendungssituation kann ein den Anforderungen angemessenes Erosionsmodell gewählt und angewandt oder die Anwendung eines ähnlichen Modells (z.B. zur Simulation des Bodenwassergehaltes) erleichtert werden. Essentiell für die Entwicklung der kognitiven Flexibilität sind flexible und multiple Wissensrepräsentationen, die verschiedene Perspektiven ermöglichen (MANDL *et al.* 2004, 22). Die Integration verschiedener Ansichten, Abstraktionsgrade und Dimensionen lassen Prozesse des Vergleichens, Überprüfens, Analysierens, Explorierens etc. zu, die für diese Lernstrategie zentral sind.

Die Beispiele zeigen, dass es zwar nicht die eine „richtige“ Darstellungsform für Sachverhalte gibt, jedoch bestimmte Methoden und didaktische Strategien sich erst mit Hilfe bestimmter Codierungen und Modalitäten verwirklichen lassen.

5.1.2.3 Interaktionsmöglichkeiten

Interaktionen bieten vielgestaltige Handlungsformen und ermöglichen Lernenden unterschiedliche Lernstrategien und Lernerfahrungen. Je nach Lehr-/Lernkontext können Interaktionen dabei verschiedene Funktionen übernehmen (vgl. Kapitel und Abb. 5.3). Die nachfolgend angeführte Kategorisierung von Interaktionen dient als Orientierungsrahmen zur Einteilung der unterschiedlichen Aktionsformen. Anders als bei der Skalierung von Interaktionen anderer Autoren (z.B. IEEE 2002, SCHULMEISTER 2003) soll keine Wertung der Kategorien vorgenommen werden. Vielmehr geht es darum, für die Interaktionskomponente von mmL-Ob-

jekten unterschiedliche Möglichkeiten aufzuzeigen, um diese für entsprechende Einsatzzwecke heranziehen zu können. Empfehlungen zur Wahl unterschiedlicher Interaktionsmöglichkeiten werden in Kapitel 6 dargestellt.

Für die Konzeption und Entwicklung der Interaktionskomponente von mmL-Objekten in der Geographie werden auf der Basis der vorgestellten Ansätze zur Kategorisierung von Interaktionsmöglichkeiten der Kapitel 2.4, 4.1.1.1 und 5.1.1 folgende vier Kategorien abgeleitet:

- **Kategorie 1:** Auswahl und Steuerung von Inhalten und Informationen
- **Kategorie 2:** Variieren der Darstellungsform
- **Kategorie 3:** Modifizieren von Objekten bzw. der Datenbasis von Objekten
- **Kategorie 4:** Konstruieren neuer Objekte, Inhalte bzw. Daten

Kategorie 1: Auswahl und Steuerung von Inhalten und Informationen

In diese Kategorie gehören die Navigations- und Systemfunktion wie die Auswahl des eigenen Lernweges, die Auswahl der Inhalte, die Steuerung der Wiedergabe von Animationen (Start, Pause, Stopp, Vor- und Zurückspulen), das Ein- und Ausblenden von Inhaltsebenen, das Hinzuziehen einer weiteren Abbildung im gleichen Rahmen oder das Abrufen mehrerer Bilder durch Hypertext-Links direkt nacheinander. Interaktionen der Kategorie 1 leisten daher einen wichtigen Beitrag zur Individualisierung des Lernprozesses. Lerninhalte, -geschwindigkeit und -intensität können selbstständig bestimmt werden, so dass die Interaktionen in diesem Zusammenhang das Informationsmanagement mit einschließen. Mit Hilfe der Interaktionen dieser Kategorie können Lernangebote so aufbereitet werden, dass die Inhalte nicht auf einmal präsentiert, sondern bei Bedarf selbstgesteuert abgerufen werden (Pull-Funktion). Je nach Anforderung der Lernenden können Glossareinträge, Beschriftungen in Abbildungen und dergleichen sichtbar gemacht werden. Reicht der zur Verfügung stehende Platz auf einer Bildschirmseite zur angemessenen Darstellung eines mmL-Objektes nicht aus, so können durch Navigations-elemente auch Zusatzinformationen wie Texte, Abbildungen, Animationen etc. aufgerufen werden.

Kategorie 2: Variieren der Darstellungsform

Nutzer können durch Manipulation die Darstellungsform multimedialer Objekte variieren. Beispiele sind das Verschieben (engl. *pan*) und die Ausschnittsbildung (engl. *zoom-in* / *zoom-out*) von Kartenansichten und Abbildungen, die Variation der Perspektive und des Maßstabes oder die Möglichkeit zur Veränderung der Beleuchtungsverhältnisse (Position von Lichtquellen, Effekte wie Nebel, Dunst etc.). Hinzu kommen Untersuchungsmöglichkeiten durch Neigen, Drehen und Bewegen von zwei- und dreidimensionalen Objekten.

Ein Vorteil ergibt sich aus der dynamischen Verknüpfung mehrerer Ansichten, die – miteinander verlinkt – die selben Objekte (z.B. Landschaftsausschnitte) gleichzeitig aus unterschiedlichen Perspektiven, zwei- und/oder dreidimensional und/oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten zeigen. Nutzer können dann die Darstellungen unmittelbar miteinander vergleichen. Darüber hinaus umfasst die Kategorie 2 Interaktionen mit der zeitlichen Dimension, wenn u.a. Möglichkeiten zur Steuerung der Ablaufgeschwindigkeit von Filmen oder Animationen (in Zeitraffer oder Zeitlupe) bestehen oder benutzergesteuerte Überflüge, z.B. bei 2,5D-Gelände- bzw. Landschaftsmodellen, vorgesehen sind.

Kategorie 3: Modifizieren von Objekten bzw. der Datenbasis von Objekten

Interaktionen der Kategorie 3 bieten Möglichkeiten zur Modifikation der Eigenschaften beziehungsweise zur Manipulation der Datenbasis von multimedialen Komponenten. Dazu gehören benutzergesteuerte Eingabemöglichkeiten unterschiedlicher Parameter, die auf Grundlage von Modellen andere Darstellungen erzeugen und Relationen visualisieren. Die Eingabe unterschiedlicher Parameter kann dabei durch Zuweisungen (*drag & drop*), numerische Eingaben (Werte- bzw. Textfelder), Dreh- und Schieberegler, Schaltflächen oder Auswahlmenüs mit vorgegebener Parameterauswahl vorgenommen werden. Ebenso kann die Datenbasis von multimedialen Komponenten durch Datenselektion, -filterung und -klassifikation sowie durch die Bildung einer statistischen, räumlichen und/oder zeitlichen Auswahl manipuliert werden. Auf diese Weise kann man Relationen und Zusammenhänge aufzeigen. Interaktionen der Kategorie 3 bieten Lernenden die Möglichkeit Hypothesen zu verifizieren und falsifizieren, kognitive Konzepte zu prüfen, zu variieren oder neu aufzubauen.

Kategorie 4: Konstruieren neuer Objekte, Inhalte und Daten

Um Interaktionen der Kategorie 4 handelt es sich dann, wenn Lernende selbsttätig neue Objekte, Inhalte oder Daten erzeugen können. In der Regel stehen Wissenswerkzeuge (vgl. Kapitel 4.1.1) zur Verfügung, die Lernende bei der Visualisierung von Ideen, dem Zusammensetzen von Modellen oder bei der Entwicklung neuer Datensätze unterstützen. Die Spanne der Möglichkeiten reicht vom Zeichnen einer Linie in einem Diagramm über die Konstruktion geometrischer Objekte bis zur Datenverschneidung und –kombination mit Hilfe Geographischer Informationssysteme (GIS).

In den naturwissenschaftlichen Domänen, in denen Lehrgegenstände häufig gut definierte Objekte darstellen, sind derartige Konstruktionen sehr viel leichter zu realisieren als in den Geisteswissenschaften.

5.1.2.4 Rückmeldung

Bei der Bearbeitung von Aufgaben entwickeln Studierende eine Lösung, auf die eine Rückmeldung erfolgen sollte. Im Rahmen von webbasierten Lernaufgaben sind die Interaktionen in Aufgabenstellungen eingebunden. Damit kommt der Rückmeldung eine wichtige Bedeutung zu. Rückmeldungen informieren Lernende über die Angemessenheit der von ihnen ausgeführten Aktionen und produzierten Lösungen als Ergebnis ihrer Auseinandersetzungen mit den Lehr-/Lerninhalten. Automatisierte Rückmeldungen können prinzipiell für alle Interaktionskategorien entwickelt werden. Bei einer Fragestellung könnte eine Rückmeldung zur Steuerung einer Animation (Kategorie 1) lauten: „Spulen Sie die Animation zur Kontinentaldrift an die Stelle, an der sich das heutige Australien von der Antarktis löste!“. Genauso kann – mit dem Ziel einen bestimmten Modell-Output zu erreichen – eine Rückmeldung zur Eingabe unterschiedlicher Parameter (Kategorie 3) gegeben werden oder eine Antwortanalyse zur Konstruktion einer geometrischen Figur (Kategorie 4) erfolgen.

Auf eine korrekte Antwort von Studierenden erscheint eine Rückmeldung zur Bestätigung, wodurch der zutreffende Lösungsweg gefestigt und stabilisiert werden kann (JACOBS 2002, 6). Der zu erwartende Vorteil eines positiven Feedbacks im Anschluss an eine korrekt beantwortete Aufgabe ist theoretisch nicht zu hoch einzuschätzen (WEBB *et al.* 1994, 262). Lernwirksam ist nach der Studie von

WEBB *et al.* (1994) die Bestätigung einer richtigen Lösung vor allem bei subjektiv unsicheren richtigen Antworten. Die Funktion einer Rückmeldung zur Bestätigung oder Spezifikation einer Lösungsstrategie kommt demnach in einem „Lösungsversuch“ besonders ausgeprägt zum Tragen.

Eine weitere wichtige Funktion des Feedbacks ist das Aufzeigen von Fehlern. Rückmeldungen können Studierende mit ihrer Problemlösestrategie konfrontieren und ihnen durch eine Mitteilung die Chance geben, Fehler durch korrekte Lösungen zu ersetzen. Ein Lernen aus Fehlern kann so zur Reflexion eigener Lernstrategien führen (JACOBS 2002, 6). Mit Hilfe der Rückmeldung wird der Lernende bei der Entwicklung alternativer Lösungswege unterstützt. Tipps in der Rückmeldung können Hinweise auf die richtige Lösung geben und motivieren, bei positiv und ermunternd formulierten Rückmeldungen, sich erneut mit den Lehrinhalten auseinander zu setzen.

Mindestvoraussetzung für ein lernwirksames Feedback ist nach BANGERT-DROWNS *et al.* (1991, 230), dass wenigstens die korrekte Antwort mitgeteilt wird. Ansonsten kann das Feedback schwerlich seine Funktion, die falsche Antwort durch die richtige zu ersetzen, einlösen. Die einfache Rückmeldung „richtig/falsch“ entfaltet nach Vergleichsstudien von BANGERT-DROWNS *et al.* (1991, 228) so gut wie keine lernwirksamen Effekte, da im Falle einer falschen Antwort Lernende ihre Fehler nicht korrigieren können. In dieser Fehlerkorrektur liegt ein entscheidender Vorteil der Rückmeldungen. Besonders leistungsschwächere Lernende profitieren am meisten von den Rückmeldungen, denn sie machen auch zu Beginn die meisten Fehler.

Eine weitere Form des Feedbacks besteht aus detaillierten Beschreibungen des Lösungsweges in Form einer Musterlösung. Dabei vergleichen Studierende ihre Lösung mit der Musterlösung und werten die Aufgaben selbstständig aus. Befunde von NIEGEMANN (2003, 150) sprechen für die Effektivität eines eigenständigen Vergleichens durch die Lernenden. Um die Versuchung für Lernende zu reduzieren, sich die Musterlösung vor der Bearbeitung der Aufgabe anzusehen, sollte die Musterlösung erst nach der Einsendung oder Abgabe der eigenen Lösung abzurufen sein. Nach Vergleichsstudien von BANGERT-DROWNS *et al.* (1991, 232) hat ein Feedback, das vor der Bearbeitung der Aufgaben leicht zugänglich ist, keine oder sogar eine schlechtere Wirkung als kein Feedback, da dies dazu führen kann, dass Lernende sich nicht um eine eigenständige Lösung bemühen.

Die Frage, ob aufwändige Rückmeldungen (elaboriertes Feedback) tatsächlich zu erhöhter Lernleistung führen, kann empirisch nicht eindeutig bestätigt werden. Einige Untersuchungen weisen nach, dass ausführliche Rückmeldungen nicht zu besseren Lernleistungen führen als die Rückmeldung der korrekten Antwort, dafür aber mehr Lernzeit erfordern und somit bei vergleichbarer Lerneffektivität eine geringere Lerneffizienz erbringen (DEMPSEY *et al.* 1993).

Positive Befunde zu ausführlich erklärenden Rückmeldungen belegen, dass eine Lernerleichterung gegenüber einfachen korrektiven Rückmeldungen (Fehlerrückmeldung und die richtige Lösung wird angezeigt) erzielt werden kann (ANDERSON *et al.* 2002, digitales Dokument ohne Seitenangabe). Vorteile elaborierten Feedbacks kommen nach Untersuchungen von FAQUHAR (1995, digitales Dokument ohne Seitenangabe) vor allem dann zur Geltung, wenn die Rückmeldung unmittelbar gegeben wurde. Hier liegt ein klarer Vorteil von automatisierten Rückmeldungen, die zu jeder Zeit und in direktem Anschluss an die Bearbeitung einer Aufgabe zur Verfügung stehen.

Ausführliches Feedback erscheint darüber hinaus vor allem bei komplexen Aufgaben als angemessen. Beim Erwerb von Faktenwissen kann dagegen eine korrektive Rückmeldung ausreichen.

Lernförderlich erscheint in Ergänzung zu informativer Rückmeldung ein lernstrategisches Feedback, welches eine erneute eigene Lernbemühung in Gang setzen kann (DEMPSEY *et al.* 1993, 49).

Generell ist nach Erkenntnissen der Motivationspsychologie bei Rückmeldungen und Feedback darauf zu achten, dass das Selbstwertgefühl der Lerner in keiner Weise negativ beeinträchtigt wird (NIEGEMANN 2003, 158). Rückmeldungen sollten daher sachlich sein, Fehler erklären, angemessenes Lob für Lernfortschritte geben und eine realistische Erfolgszuversicht vermitteln. Diese Grundsätze gelten gleichermaßen für automatisierte Rückmeldungen sowie für Rückmeldungen von Lehrenden oder Tutoren. Das Wissen um eine Auswertung durch eine andere Person kann sich positiv auf die Motivation von Studierenden auswirken (KERRES 2002, 10). Daher ist es sinnvoll in hybriden Lernarrangements übergreifende Anwendungsaufgaben oder komplexe Projektaufgaben zu integrieren, die durch Lehrende bzw. Tutoren ausgewertet werden. Computerisierte Auswertungsverfahren haben dagegen nicht nur den Vorteil eine sofortige Rückmeldung zu ermöglichen,

sondern bieten durch die Anonymität der Interaktionen mit den multimedialen Komponenten einen lernpsychologischen Vorteil für den hohen Prozentsatz an Studierenden, die persönliche Rückmeldung möglichst ganz vermeiden wollen (SCHULMEISTER 2000, 48). Diese Lerner mit Angst vor Misserfolgen (engl. *fear of failure*) bekommen die Möglichkeit angstfrei Fehler machen zu dürfen, ohne befürchten zu müssen, dass ein einmal auf einen Lehrenden gemachter Eindruck negativ im Gedächtnis des Lehrenden haften bleibt und sie müssen nicht befürchten, dass dies in einer Prüfungssituation fatale Folgen haben könnte. Interaktionen in aufgabenorientierten mmL-Objekten lassen sich dagegen widerrufen, ohne Spuren zu hinterlassen. Diese Voraussetzung spielt eine wesentliche Rolle für die Motivation. Das Arbeiten mit mmL-Angeboten stellt so eines der wenigen Leistungsfelder dar, in dem Lerner mit Angst vor Misserfolg nicht abgeschreckt werden (RHEINBERG 1985, 98).

Die Beschreibung der einzelnen Elemente von aufgabenorientierten mmL-Objekten kann zur Kategorisierung der verschiedenen Komponenten herangezogen werden. Es stellt sich nun die Frage, wie diese Komponenten aufeinander bezogen werden sollten, um angestrebte Lehr-/Lernziele erreichen zu können. Vor dem Entwicklungsprozess muss die Zielsetzung eines Lernangebotes ermittelt werden, da Empfehlungen zur Konstruktion von mmL-Angeboten sich an dem angestrebten Lehrzielniveau beziehungsweise an dem erwünschten mentalen Zielmodell orientieren sollten. Insbesondere die Umsetzung der Interaktivität sowie die Entwicklung von Aufgabenstellungen unterliegt nach meinen Beobachtungen immer noch überwiegend „intuitiven Annahmen“ der Autoren/innen. Im folgenden Kapitel werden daher Empfehlungen zur Strukturierung des Entwicklungsprozesses multimedialer Lehr-/Lernobjekte entwickelt. Zu den verschiedenen Aufgabenformen werden jeweils Beispiele zur Verdeutlichung angeführt.

6 Empfehlungen zur Konzeption und Entwicklung webbasierter multimedialer Lehr-/Lernobjekte in der Geographie/Geomorphologie

Mediengestütztes Lernen erfordert grundsätzlich Lernangebote, durch deren Bearbeitung die angestrebten Lernprozesse möglich werden. Die Potentiale digitaler Medien kommen erst dann zum Tragen, wenn die Lernangebote die Intensität der individuellen Auseinandersetzung sicherstellen und ein rein oberflächliches „browsen“ („durchklicken“) verhindern. Diese Funktion sollen Lernaufgaben übernehmen, die durch gezielte Aufgabenstellungen die Studierenden mit den Anforderungen der Lehr-/Lernziele konfrontieren und die Auseinandersetzungen mit den Lernmaterialien aktivieren und steuern. Damit wird ein grundlegender Unterschied zwischen den Lehrinhalten und den aufbereiteten Lernangeboten, die deren Vermittlung beziehungsweise Aneignung ermöglichen, deutlich. Die Lernangebote sollten solche Lernaktivitäten anregen, die zu bestimmten Lehrzielen und Wissenstypen passen, denn die Kenntnis konkreter Einzelheiten (Fakten) wird man anders unterstützen müssen als die adäquate Anwendung eines Modells.

Um den Entwicklungsprozess multimedialer Lernangebote konzeptionell zu unterstützen, werden Lernaufgaben bestimmten Wissenstypen zugeordnet. Im didaktischen Design kann zur Unterscheidung unterschiedlicher Wissenstypen modellhaft zwischen drei grundlegenden Kategorien unterschieden werden (ANDERSON *et al.* 1995, 170; ANDERSON 1996; FORTMÜLLER 2004, 5; TENNYSON & RASCH 1988, 369):

- Deklaratives Wissen
- Prozedurales Wissen
- Kontextuelles Wissen

Deklaratives Wissen beinhaltet Fakten und Begriffe, die hinsichtlich ihres Abstraktionsgrades geordnet werden können; ebenso die Kenntnis eines Sachverhaltes, eines Zusammenhanges, einer Methode etc. . Dieses „Wissen-Dass“ wird „deklaratives Wissen“ genannt, da der Wissensinhalt bekannt und daher wiedergebbar, also deklarierbar ist.

Weitergehende Handlungen bzw. kognitive Aktivität, die zur Bearbeitung komplexerer Probleme erfolgen, basieren auf prozeduralem Wissen. Prozeduren als Handlungsanweisungen, die durch eine bestimmte Abfolge von Aktionen definiert sind, legen fest, wie deklaratives Wissen über einen bestimmten Gegenstandsbereich zur Problemlösung einzusetzen ist („wissen-wie“ [engl. „know-how“]: Wissen, wie etwas durchzuführen bzw. anzuwenden ist). Es beinhaltet kognitive Fähigkeiten im Sinne von „Wenn-dann-Regeln“ . Dabei kann das Wissen über auszuführende Aktivitäten auch automatisierten kognitiven (und/oder motorischen) Fertigkeiten zu Grunde liegen.

Kontextuelles Wissen umfasst Problemlösestrategien für bestimmte Kontexte, also auch Standards und Einschätzungen der Angemessenheit bestimmter Prozeduren und *wann* und *wo welches* Wissen anzuwenden ist.

Wenn es um den Aufbau kognitiver Fertigkeiten geht, ist eine Ausführung entsprechender Aktivitäten erforderlich, bei denen mit deklarativem Wissen operiert wird. Es wird dann im Lernprozess umgewandelt (prozeduralisiert). Dieser Mechanismus der Wissenskompilierung ist für die Anwendung und den Transfer des Wissens von besonderer Bedeutung. Nach dem wissenspsychologischen Modell

von ANDERSON (1995, 172) können nach Aufbau des grundlegenden deklarativen Wissens domänenspezifische Regeln aufgebaut werden. Als „Wenn-dann-Regeln“ erweitern sie das prozedurale Wissen in diesem Kontext. Kann der „Wenn-Teil“ einer Regel erfüllt werden, wird der „Dann-Teil“ der Regel „automatisch“ aufgerufen und steht zur Ausführung im Arbeitsspeicher bereit. Mit zunehmender Praxis werden Anwendungen bestimmter Regeln so beherrscht, dass sie auch ohne kognitive Kontrolle ausgeführt werden können. Dies entlastet die kognitive Kapazität, so dass sich der Lernende auch komplexeren Anforderungen stellen kann. Es liegt auf der Hand, dass sowohl deklaratives als auch prozedurales Wissen erforderlich sind, um eine bestimmte Expertise zu erreichen (FORTMÜLLER 2004, 6).

Die Ableitung eines Konzeptes, *wie* dieses Wissen in multimedialen Lehr-/Lernkontexten *gelernt* werden kann, ist jedoch keineswegs offensichtlich. Versuche deklaratives und prozedurales Wissen als kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten durch einen möglichen Satz von Regeln zu explizieren, die die zu vermittelnde Fertigkeit beschreiben, sind aufgrund des großen Arbeitsaufwandes (JONASSEN *et al.* 1989) in der Praxis gescheitert.

Didaktische Modelle wie der Ansatz „Events of Instruction“ nach GAGNÉ (in BRIGGS *et al.* 1992) (vgl. Kapitel 2.2.3.2, Tab. 2.1) beschreiben, welche Prozesse erforderlich (oder günstig) sind, um Lernerfolge zu erzielen (z.B. an Vorwissen anzuknüpfen, Gelerntes anzuwenden, Rückmeldung zu geben, die Leistung zu testen etc.). GAGNÉ'S Modell sieht vor, dass die beschriebenen Aktivitäten bei jedem erfolgreichen Lehr-/Lernprozess stattfinden (müssen), seien sie durch eine externe Instanz motiviert (eine Lehrperson oder ein technisches Medium) oder selbstständig seitens des Lernenden ausgeführt. Unabhängig von der Art der Lehrziele und Zielgruppe wird dabei vorgesehen, dass immer die gleiche Reihenfolge eingehalten wird. Es ist jedoch gerade vor dem Hintergrund konstruktivistisch geprägter Lehr-/Lernansätze – wie dem situierten Lernen (MANDL *et al.* 2004, 9) – eher davon auszugehen, dass Lernangebote unterschiedlich aufbereitet sein können und Elemente je nach Lehrziel, Lehrinhalt, Zielgruppe und Lernsituation variieren. Auch die Korrespondenz der Aktivitäten der Lehrenden und der Aktivitäten des Lernenden, wie sie das Modell nach GAGNÉ vorsieht, erscheint mir für erfolgreiches Lernen nicht unbedingt erforderlich. Es ist sicher keineswegs

so, dass alle Lernaktivitäten von Seiten einer Lehrenden Instanz (oder einem Medium) initiiert werden müssen. Sie können allerdings nützlich sein, um Aktivitäten der Lernenden anzuregen und sicherzustellen. Denn unstrittig erscheint, dass – unabhängig vom Wissenstyp – der Lernerfolg unmittelbar in Verbindung mit der aktiven Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand steht und diese Aktivitäten in irgend einer Weise interne Verarbeitungsprozesse beim Lernenden in Gang setzen sollten (ANDERSON *et al.* 2000; FORTMÜLLER 2004, 6; WEIDENMANN 2002a, 62; VATH *et al.* 2001, Anhang 62). Die in dem Modell von GAGNÉ beschriebenen Aktivitäten und Prozesse können sich also dazu eignen, Lernerfolge zu erzielen. Sie sind jedoch weder in der beschriebenen Reihenfolge noch in ihrer Gesamtheit zwingend notwendig. Es sind sicher verschiedene Varianten von mediengestützten Lernangeboten denkbar. In ihnen können Lernaufgaben unterschiedliche Funktionen im Lehr-/Lernprozess übernehmen.

6.1 Erwerb deklarativen, prozeduralen und kontextuellen Wissens

Wie in Kapitel 2.3.1.1 dargelegt erscheint aus lerntheoretischer Sicht eine aktive aber letztlich auf Rezeption beschränkte Wahrnehmung nach dem „Kopiermodell“ als wenig günstig. Auch für den Erwerb deklarativen Wissens ist daher eine aktive Rekonstruktion der bereitgestellten Informationen durch die Lernenden für ein verständnisvolles Lernen erforderlich. Eine Rekonstruktion erfolgt mit Hilfe des vorhandenen Wissens. Das Anknüpfen an Vorwissen stellt somit eine entscheidende Voraussetzung für den Lernerfolg dar (VATH *et al.* 2001, 29). Um an Vorwissen anknüpfen zu können, kommen vor allem Beispiele mit Anwendungsbezug beziehungsweise aus konkreten Kontexten in Frage, da abstrakte Aussagen eher über das Vorwissen hinausgehen. Beispiele stellen jedoch nur Einzelfälle dar, so dass die Schwierigkeit der Übertragbarkeit auf andere Situationen bestehen kann. Dieses Problem zeigt sich auch in der Aneignung prozeduralen Wissens, das nach FORTMÜLLER (2004, 8) problemtypenspezifisch aufgebaut wird. Folglich müssen zu sämtlichen Problemtypen entsprechende Aufgaben bereitgestellt werden. Soll das Wissen nicht auf eine Anwendungssituation beschränkt bleiben, ist, zumindest teilweise, eine Dekontextualisierung des zu erwerbenden prozeduralen Wissens erforderlich. Eine Variation der zu bearbeitenden Problemstellungen er-

möglicht die Abstraktion des Wissens durch den Lernenden von strukturell irrelevanten Kontextmerkmalen.

Beispielsweise können durch eine Datenbankabfrage in einem GIS Informationen zu bestimmten Merkmalen räumlicher Einheiten, z.B. Hangneigung landwirtschaftlicher Flächen, abgefragt und selektiert werden. Sollen in dem Beispiel alle Flächen mit einer Hangneigung größer 5% und kleiner 10% selektiert werden, muss eine Datenbankabfrage mit dem Operator des ausschließenden „UND“ (engl. „AND“) formuliert werden:

[Hangneigung > 5% AND Hangneigung < 10%]

Nur die Flächen, die beide Bedingungen erfüllen, sind zu selektieren. Sollen die Flächen kleiner 5% und die Flächen größer 10% abgefragt werden, muss dagegen mit dem einschließenden „ODER“ (engl. „OR“) gearbeitet werden.

[Hangneigung < 5% OR Hangneigung > 10%]

Alle Flächen, welche die eine oder die andere Bedingung erfüllen, werden selektiert. Es liegen also zwei Problemtypen der Datenselektion vor. Um die richtige Anwendung zu erlernen, müssen beide Typen in Aufgaben behandelt werden. Die gleiche Prozedur kann für beliebige metrische Merkmale geographischer Objekte durchgeführt werden. Die Merkmalsausprägung ist für die Prozedur daher strukturell irrelevant.

Ein weiteres Beispiel: Wird bei Pegelmessungen des Meeresspiegels eine Absenkung des Meeresspiegels festgestellt, kann dies unter anderem an glazial-isostatischen Ausgleichsbewegungen der Erdkruste oder aber – infolge einer Klimaänderung – an glazial-eustatischen Meeresspiegelschwankungen liegen. Ist bei Aufgabenstellungen zu Meeresspiegelschwankungen immer das Prinzip der glazial-isostatischen Ausgleichsbewegung oder der Eustasie anzuwenden, werden andere Möglichkeiten (z.B. Tektonik) nicht mitgelernt.

Durch Beispiele aus unterschiedlichen Regionen der Erde kann eine Abstraktion des Wissens von strukturell irrelevanten Kontextmerkmalen (z.B. Beschaffenheit der Gesteine) stattfinden. Die notwendige Abstraktion kann durch die Studierenden selbst erfolgen.

Die Transferweite deklarativen Wissens ist, trotz der potentiellen Übertragbarkeit auf verschiedene Situationen, für die es sachlich gesehen relevant ist, wesentlich

geringer als die Transferweite fehlerfreien Anwendens prozeduralen Wissens. Bezeichnungen, Prinzipien, Begriffe, die bevorzugt sprachlich enkodiert werden, müssen nach der Gedächtnistheorie von ENGELKAMP (1991, 172; vgl. Kapitel 2.3.1.2) Schritt für Schritt mit der Problemstellung in Beziehung gesetzt werden. In der Zuordnung können dabei leicht Fehler auftreten.

Prozedurales Wissen, als kognitive Fertigkeit, wird unmittelbarer (automatisiert) ausgeführt. In einer konkreten Anwendung können daher, wenn die gelernten Fertigkeiten sachlich gesehen korrekt sind, Aufgaben ohne Schwierigkeiten gelöst werden. Die Transferweite prozeduralen Wissens wird dann beeinträchtigt, wenn Fertigkeiten von Lernenden in Situationen ausgeführt werden, in denen es keinen Sinn macht. In diesem Fall kann aufgrund unzureichenden deklarativen Wissens, beziehungsweise aufgrund unzureichender Kontextualisierung des Wissen, der notwendige Überblick fehlen. Ein Beispiel für diesen Sachverhalt wäre die Übertragung des Prinzips der glazial-isostatischen Ausgleichsbewegung auf Regionen der Erde, die einen Abfall des Meeresspiegels zeigen, jedoch nicht vereist waren.

Man könnte annehmen, dass es für die Transferierbarkeit von Wissen günstiger sei, allgemeine Informationen anzubieten, die von konkreten Zusammenhängen abstrahieren und somit flexibel in verschiedenen Situationen angewandt werden können. Neuere theoretische Ansätze, wie die zum situierten Lernen (Kapitel 2.2.3.3), betonen jedoch, gerade aufgrund des Problems des „trägen Wissens“, die Bedeutung von kontextuellen Bezügen für eine dauerhafte Aneignung und Anwendbarkeit von Wissen, da der Erwerb von Wissen an einen spezifischen Kontext oder an eine Situation gebunden ist (MANDL *et al.* 2004, 10). Es wird davon ausgegangen, dass der Aufbau abstrakten Wissens vom Lernenden im Kontext der Anwendungssituation abgeleitet werden kann. Für die Transferierbarkeit ist die konkrete kontextuelle Erfahrung daher von besonderer Bedeutung. Problemlösestrategien werden für bestimmte Situationen aufgebaut und sie umfassen auch Wissen darüber wann und wo welches Wissen anzuwenden ist. Im Unterschied zu deklarativem und prozeduralem Wissen, die den Umfang der individuellen Wissensbasis bestimmen, sorgt kontextuelles Wissen für die Zugreifbarkeit in bestimmten Anwendungssituationen.

Das kontextuelle Wissen kann sich auf einzelne „isolierte“ Situationen beziehen oder auf prototypische, verdichtete Fälle, die bereits mit deklarativem und prozeduralem Wissen verknüpft sind. Können Wissenskonzepte, Begriffe, Prinzipien

und Fertigkeiten in konkreten Problemlösekontexten angewandt werden, kann man von einer Verankerung des Wissens sprechen; kontextuelles und sprachlich-symbolisches Wissen werden miteinander verknüpft (BRANSFORD *et al.* 1990 in MANDL *et al.* 2004, 18). Im Gegensatz zu deklarativem und prozeduralem Wissen, welches bevorzugt sprachlich-symbolisch enkodiert wird, kann man davon ausgehen, dass bestimmte Situationen (im Sinne von Realitätsausschnitten) in einer Mischform von bildhaften und sprachlich-symbolischen Repräsentationen – in mentalen Modellen – gespeichert werden (WEIDENMANN 2002a, 54).

Ein großer Vorteil eines mentalen Modells liegt in der Möglichkeit, verschiedene Veränderungszustände vor dem „inneren Auge“ simulieren zu können. Für die Aneignung Physisch Geographischen Wissens erscheint mir diese Tatsache von besonderer Bedeutung. Wer zum Beispiel ein adäquates mentales Modell des Bodenerosionsprozesses aufgebaut hat, kann die möglichen Folgen einer Landnutzungsveränderung mental antizipieren. Die dynamischen Zustandsveränderungen und deren Resultate werden dabei überwiegend bildhaft in der Vorstellung „abgelesen“. Für die Aneignung geomorphologischen Wissens, das sich vielfach mit dem Wissen über den Zusammenhang von Prozess und Form befasst, erscheinen mir daher Konzepte zum Aufbau mentaler Modelle als besonders geeignet. Allerdings wird diese Konzeption in der heutigen grundständigen Hochschullehre (Grundausbildung Physische Geographie) meines Erachtens noch zu wenig genutzt.

Gerade bei den überwiegend konkreten Lehr-/Lernzielen in der Physischen Geographie (sowie in anderen naturwissenschaftlichen Fächern) schlage ich daher für die Konzeption von Lehr-/Lernangeboten vor, zuerst das mentale Zielmodell zu bestimmen und dann zu fragen, welche medialen Angebote für den Studierenden bei der Konstruktion des mentalen Modells hilfreich sein können.

Empfehlungen zur Codierung von Informationsangeboten können dann in Bezug auf ein mentales Zielmodell gegeben werden, denn die unterschiedlichen Codierungen Text, Bild, Graphik, Animation etc. unterscheiden sich wesentlich darin, auf welche Weise sie zur Entwicklung eines mentalen Modells beitragen können.

Text

Ein Text führt zur Konstruktion einer sprachlich-symbolischen Repräsentation (so genannte propositionale Repräsentation), die es dann ermöglicht, ein entsprechendes mentales Modell zu konstruieren. Logische und strukturelle Aussagen, wie z.B. die Bezeichnungen (Begriffe) geomorphologischer Formen und Regeln (etwa die Formgrößen-Existenzdauer-Regel (AHNERT 1996, 14)) und Prinzipien, wie etwa das Aktualismusprinzip (AHNERT 1996, 20), lassen sich bevorzugt sprachlich (WEIDENMANN 2002a, 55) sowie in logischen Bildern, also in Form von Diagrammen, als graphische Darstellung von Relationen und abstrakten Sachverhalten, darstellen (SCHNOTZ 2002, 66).

Sprache bietet darüber hinaus die Möglichkeit Aufgaben zu formulieren, die Vieldeutigkeit von bildhaften Darstellungen einzugrenzen, den Blick gezielt zu lenken und die Aufmerksamkeit zu steuern und ist daher in multimedialen und multimodalen Lernangeboten ein notwendiges Mittel.

Abbildungen

Eine Abbildung oder Graphik, als bildhafte Repräsentation eines Realitätsausschnittes, ermöglicht eine relativ direkte Konstruktion eines mentalen Modells. Der Lernende nimmt dabei ein „mapping“ von Einheiten der bildhaften Repräsentation (z.B. der Graphik bzw. der wahrgenommenen Struktur) auf Einheiten des Modells vor; ebenso ein „mapping“ von visuell-räumlichen Beziehungen auf semantische (sprachlich repräsentierte) Beziehungen des Modells (SCHNOTZ 1993, 248). Von einem „mapping“ spricht man in diesem Zusammenhang, wenn bildhafte und verbale Repräsentationen aufeinander bezogen werden und so ein mentales Modell formen. Abbildungen können verschiedene Funktionen haben (vgl. Kapitel 2.3.1.4): Konstruktionsfunktion (Unterstützung der Bildung eines adäquaten mentalen Modells zu einem Sachverhalt oder Gegenstand), Zeigefunktion (Darstellung eines Gegenstandes oder seiner Einzelteile), Situierungsfunktion (Beschreibung eines situativen Kontextes). Topographische Informationen und räumliche Verteilungen bzw. Anordnungen lassen sich am besten durch Karten darstellen. Karten verbinden bildhafte Codierungen, schematisch graphische und symbolische Elemente in einer Darstellung.

Animation

Modelle, Animationen und Video sind Formen einer Folge von Abbildungen bzw. Bildern und haben ähnliche Einsatzgebiete wie diese. Aufgrund der dynamischen Eigenschaften von mentalen Modellen gründen diese jedoch Wissenskonstrukte besonders gut, die durch Wechsel zwischen unterschiedlichen Zuständen und ihren Auswirkungen – wie dies bei physisch-geographischen Prozessen der Fall ist – charakterisiert sind. Mentale Modelle können durch Präsentationsweisen unterstützt werden, die Dynamik vorführen (vgl. Kapitel 2.3.1.4) oder sich auf Wunsch der Lernenden (z.B. in einer interaktiven Modellierung) dynamisieren lassen. Es können komplexe Systeme simuliert, unsichtbare Zusammenhänge repräsentiert (z.B. raum-zeitliche) sowie visuelle Analogien vermittelt werden (vgl. Kapitel 2.3.3)

Die multiple Repräsentationsform eines mentalen Modells legt eine multicodeale (also bildhafte und symbolische) Präsentation von Informationen für die Konstruktion eines mentalen Modells nahe.

6.2 Gestaltung aufgabenorientierter mmL-Objekte (Lernaufgaben)

Eine zentrale Fragestellung erscheint mir für die Konzeption von Lernaufgaben zu sein, wie mmL-Objekte gestaltet werden können, um bestimmte Zielhorizonte zu erreichen. Für den Erwerb von Wissen durch verständnisvolles Lernen ist die aktive Integration bzw. Rekonstruktion der bereitgestellten Informationen durch die Lernenden notwendig. Neues Wissen wird mit bereits vorhandenem Wissen verbunden. Tieferes *Verstehen* des Lerngegenstandes, d.h. Zusammenhänge selbständig zu entdecken, Informationen in eigenen Worten wiederzugeben, Bezüge zu anderen Kontexten herstellen, Sachverhalte oder Daten richtig zuzuordnen zu können, erfordert bereits komplexere intellektuelle Fertigkeiten und lässt sich nur durch eine intensive Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand erreichen. Statt der bloßen Rezeption von Informationen ist der aktive Umgang mit dem Wissen erforderlich. Lernende sollten daher die Gelegenheit dazu bekommen, durch Aktivitäten, die durch Aufgaben angeregt werden können, die für sie einzigartige Bedeutung der Informationen zu erzeugen.

Die Anforderungen zur Unterstützung des *Verstehens* erscheinen auf dieser Stufe bereits anspruchsvoll. Um Kompetenzen zur Anwendung des Wissens zu erreichen, gilt es, Lernmöglichkeiten direkt in der Aktion (engl. „*learning by doing*“) zu schaffen. Wissen kann dann durch die Lernenden kompiliert und in unterschiedlichen Kontexten flexibel angewandt werden.

Die Zielkategorie der Anwendung als zu erwerbende Kompetenz zu erreichen bedeutet zum Beispiel, die Planungsmöglichkeiten mit Hilfe eines Modells zur Bodenerosion in einem konkreten Fall, etwa bei der Reduktion des berechneten Abtrags durch die Wahl einer geeigneten Fruchtfolge, anwenden zu können (vgl. Kapitel 8.1.3).

Als weiteres Beispiel bedeutet die Anwendung des Steigungsmaßes in Verbindung mit dem Phänomen der Mischungskorrosion verstanden zu haben, in einem konkreten Fall, also bei der Mischung zweier kalkgesättigter Wässer, die zusätzlich lösliche Kalkmenge mit Hilfe des Steigungsmaßes bestimmen zu können (vgl. Kapitel 6.2.1.5, Abb. 6.14).

In der Anwendung und Übertragung des Wissens auf neue Situationen und Aufgabenstellungen wird aufgedeckt, ob Sachverhalte genügend durchdrungen und damit verstanden wurden oder ob der nötige „Überblick“ zur korrekten Anwendung des Wissens fehlt. Für höhere Leistungsniveaus, wie Analyse oder Problemlösung, die eine vertiefte Auseinandersetzung erfordern, ist das eigene Kreieren von Informationen, Texten, Abbildungen etc. eine geeignete Form der Lernaufgabe.

Für einen umfangreichen Lerntransfer, d.h. der Übertragung des Gelernten auf neue Situationen, erscheinen hochwertige Leistungsniveaus mit hohen Anforderungen an die Kenntnisse und Fähigkeiten der Lernenden als geeignet.

Zu bedenken gilt, dass bei der Konstruktion von Lernaufgaben zu höheren Leistungsniveaus, die über die Aneignung von Wissen hinausgehen, auch ein erheblicher Mehraufwand entsteht. Daher ist abzuwägen, in welchem Verhältnis zusätzlicher Aufwand und möglicher „Ertrag“, im Sinne erreichbarer Kompetenzen, zueinander stehen. Durch die Entwicklung von Vorlagen für unterschiedliche Aufgabenformate (vgl. Kapitel 5.1.2.1) kann der Entwicklungsaufwand bei der Entwicklung webbasierter Lernaufgaben zum Teil erheblich reduziert werden. Die Qualität einer Lernaufgabe ist in weitem Maße abhängig von einer geschickten Aufgabenstellung. Im Hinblick auf den Mehraufwand sollten in einer Medienpro-

duktion realistische und angemessene Lehrziele²⁸ als zu erwerbende Kompetenzen angestrebt werden und zur Realisierung hoher Leistungsniveaus lernorganisatorische Maßnahmen und Optionen (z.B. durch Diskussionen in Präsenz, Betreuung durch Tutoren) mit einbezogen werden. Aktivierende Elemente müssen also nicht zwangsläufig *im* Medium realisiert sein. Bei der Integration von Lehr-/Lernangeboten in Blended-Learning-Szenarien muss im Planungsprozess abgewogen werden, in welcher Weise und in welchem Umfang interaktive Medien mit anderen Maßnahmen kombiniert werden können, um die angestrebten Ziele zu erreichen.

Bevor anhand von Beispielen mögliche Varianten der Kombination von Aufgabenkomponenten, Interaktions- und Visualisierungskomponenten hinsichtlich der Gestaltung von aufgabenorientierten mmL-Objekten erläutert und Empfehlungen zur Konstruktion gegeben werden, möchte ich vier Hypothesen zur Bedeutung der Bearbeitung von Lernaufgaben durch Studierende im Rahmen von mmL-Angeboten aufstellen (Tab. 6.1). Im Rahmen der praxisnahen Reflexion (Kapitel 10.3) werden die Hypothesen anhand gewonnener Lernerdaten kritisch hinterfragt.

Tab. 6.1: Hypothesen zur Bedeutung von Lernaufgaben im Rahmen von mmL-Angeboten

<p>Hypothese 1:</p> <p>Lernaufgaben können mit größerer Wahrscheinlichkeit, im Gegensatz zu einer reinen Präsentation von Inhalten, die Intensität der individuellen kognitiven Auseinandersetzung mit den Inhalten erhöhen und stellen sicher, dass die für einen Lernerfolg notwendigen kognitiven Handlungen und Aktionen ausgeführt werden.</p>
<p>Hypothese 2:</p> <p>Lernaufgaben ermöglichen die Anwendung von Wissen anhand verschiedener Beispiele und fördern in der Bearbeitung die Transferierbarkeit und Kontextualisierung von Wissen.</p>

²⁸ In Anlehnung an MEDER (2002, 4) wird die Lehr-/Lernzieldimension der Lernangebote als zu erwerbende Kompetenz aufgefasst, die je nach Anforderung durch Autor/innen frei konfiguriert werden, um spezifische (z.B. institutions- oder unternehmensspezifische) Definitionen vornehmen zu können. Dies könnte klassifikatorisch tätigkeits- oder ergebnisorientiert der Fall sein, taxonomisch in beliebigen Rangordnungen der Verrichtungen (Operationen) bzw. deren Ergebnisse. Im Gegensatz dazu stehen Lehrzielkategorien [stellvertretend BLOOM *et al.* (1956), GAGNÉ *et al.* (1988), MERILL (1999)], denen ein bestimmtes „Basismodell“ zugeordnet ist, d.h. eine bestimmte, theoretisch begründete Abfolge von Vorgehensweisen, die hypothetisch das Erreichen des jeweiligen Lehrziels fördern.

Hypothese 3:

Anhand von Lernaufgaben können Studierende durch die Möglichkeiten der (Selbst-)Prüfung ihren Lernfortschritt beobachten und Lerndefizite eigenständig identifizieren.

Hypothese 4:

Lernaufgaben ermöglichen die Förderung der Kommunikation und Kooperation zwischen den Studierenden und zwischen Studierenden und Lehrenden, z.B. durch die Einbettung diskursiver Elemente oder die Bearbeitung von Gruppenaufgaben (z.B. in einem webbasierten Forum).

Im Folgenden werden verschiedene Aufgabenformen erläutert und Empfehlungen zur Kombination der didaktisch-methodischen Elemente gegeben. Das Ziel ist es nicht, alle denkbaren Varianten solcher Elemente wissenschaftlich abzubilden. Dies ist ohnehin sicherlich nicht möglich. Zwischen den verschiedenen Aufgabenformen kommt es darüber hinaus zu Überlappungen, so dass die Beschreibungen als Richtungsweisungen zu verstehen sind und nicht als trennscharfe Kategorisierung. Vielmehr dienen die Empfehlungen als Leitfaden und Anregung zu eigener Kreativität für Autor/innen webbasierter Lehr-/Lernangebote der Physischen Geographie.

6.2.1 Beschreibung unterschiedlicher Aufgabenformen

Die Beschreibung der unterschiedlichen Aufgabenformen findet jeweils in folgender Reihenfolge statt:

1. Beschreibung der Zielsetzung einer Aufgabe im Sinne der bei der Bearbeitung zu erwerbenden Kompetenz beziehungsweise angestrebten kognitiven Zielhorizonte
2. Empfehlungen zu Darstellungsformen des mmL-Objektes
3. Empfehlungen zur Gestaltung von Interaktionsmöglichkeiten
4. Empfehlungen zur Wahl und Gestaltung der Aufgabentypen
5. Beispiele zur Verdeutlichung der Ausführungen

6.2.1.1 Orientierungsaufgaben

Orientierungsaufgaben dienen dazu, sich in der Welt beziehungsweise auf einem Sachgebiet zurechtzufinden. Orientierungswissen gibt einen ersten Überblick über ein Wissensgebiet und seinen Kontext.

Fragestellungen können dabei

- auf die räumliche Position und Verteilung von Phänomenen abzielen,
- eine zeitliche Orientierung von Abläufen durch die Bestimmung bestimmter Positionen verschaffen,
- zur inhaltlichen Orientierung beitragen, indem Ordnungsbeziehungen hergestellt und Informationen kontextualisiert werden.

Darstellungsformen: Räumliche Orientierung kann sehr gut mit Hilfe von Karten erlangt werden. Ist eine dritte räumliche Dimension (z.B. Höhe) für den Sachverhalt (z.B. Stufen der Vegetation oder Höhenlage von Karen) eine relevante Information, so kann eine dreidimensionale räumliche Ansicht die Orientierung erleichtern. Zur Verbesserung des räumlichen Vorstellungsvermögens eignet sich die Kombination von 2D und 3D Darstellungen (vgl. Kapitel 4.1.1.1 u. 5.1.2.2).

Für Fragestellungen zu raum-zeitlichen Entwicklungen eignet sich entweder eine Kartensequenz, die wesentliche Zeitpunkte der Entwicklung abbildet, oder eine Animation, die einen kontinuierlichen Verlauf darstellt. Eine Animation sollte vor dem Hintergrund des höheren Entwicklungsaufwandes nur dann erstellt werden, wenn durch die Darstellung des Verlaufs eine bessere raum-zeitliche Orientierung möglich wird (Abb. 5.2).

Bei Aufgabenstellungen zu inhaltlicher und/oder zeitlicher Orientierung bietet sich darüber hinaus die Verwendung von logischen Bildern an (z.B. Zeitleisten, Flussdiagramme, Mind Maps).

Interaktionsmöglichkeiten: Zur Ausschnittsbildung von Karten und dem Vergleichen von Kartendarstellungen in unterschiedlichen Dimensionen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten (falls dies inhaltlich erforderlich ist) dienen Interaktionen der Kategorie 2. Die Steuerung von Animationen zur zeitlichen Orientierung mit Karten gehört zur Interaktionskategorie 1.

Aufgabentypen: Für die Aufgabenkonstruktion kommen sowohl verschiedene Aufgabentypen mit automatisierter Auswertung (Auswahlmenü, MC, Drag & Drop, Short Answer) als auch Aufgaben mit tutorieller Betreuung in Frage.

Beispiele: Lernaufgaben in Verbindung mit Karten, Geländemodellen, Zeitleisten, Flussdiagrammen, Mind Maps, Concept Maps.

Simulation der Kontinentalverschiebung seit Beginn des Jura
Die Erde vor 64 Millionen Jahren

— Subduktionszone
— Spreading-Achsen
— Transformstörungen

Diese Animation lässt sich mit dem "play"- und "stop"-Button sowie über den Schieberegler steuern. Über das Dreiecks-Symbol rechts, können einzelne Zeiten direkt ausgewählt werden.

Äon	System	Chronometrie in Mio. Jahren
Känozoikum	Quartär	0,01 Holozän
	Tertiär	1,6 Pleistozän
		2,3 Miozän
		37 Oligozän
Mesozoikum	Kreide	53 Eozän
		65 Paläozän
	Jura	135 Ober- (Muller)
		160 Mittler- (Lind)
Trias	180 Untere- (Lind)	
	208 Keuper	

Wählen Sie die richtigen Antworten aus!

Wann trennte sich Südamerika von Afrika?
Oberer Jura

Wann begann die Kollision von Indien und Asien und die damit verbundene Faltung des Himalaya?
Tertiär

Auf welcher geographischen Breite lag Süd-Spanien zu Beginn der Kreidezeit?
20°

In welchem Zeitraum trennte sich Grönland von Nordamerika?
Paläozän

Wann erreichte Madagaskar seine heutige Position? Grenze...
Kreide/Tertiär

Zu welchem Zeitpunkt lag Indien genau über dem Äquator?
Eozän

Als Deutschland am Äquator lag...

Antworten überprüfen

Abb. 6.1: Die Aufgabe dient der Aneignung raum-zeitlicher Orientierung zum Thema „Kontinentaldrift seit Beginn des Jura“ (WEBGEO|geo) und ist durch die Verbindung von animierter Karte und Zeitleiste realisiert. Durch die Animation werden unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten der kontinentalen Platten deutlich und Rotationsachsen werden sichtbar, so dass ein Mehrwert zu Einzelbildsequenzen durch zeitliche Verlaufstrukturen der Animation bedeutend besser zum Ausdruck kommen und angestrebte Einsichten zum Prozessablauf deutlich besser veranschaulicht werden. Um den Mehrwert sicherzustellen, sollten allerdings Fragen ergänzt werden, die auf den Prozessablauf mit unterschiedlichen Plattengeschwindigkeiten und Rotationsachsen abzielen.

Für einen inhaltlichen Überblick können z.B. Aufgaben mit Hilfe von Mind Maps entwickelt werden, die Ordnungsbeziehungen (im Sinne „ist Teil von“, „bedingt“ oder „gehört zu“) zu einem Sachverhalt verdeutlichen.

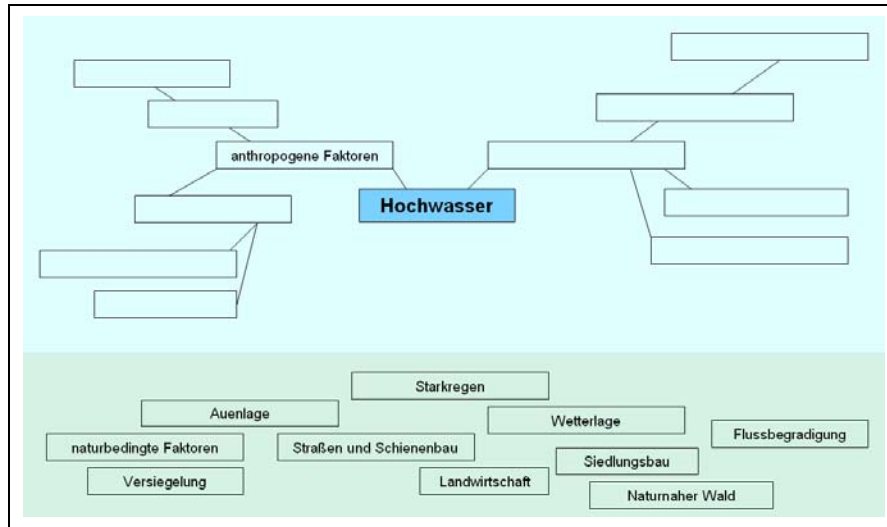


Abb. 6.2: Mind Map zum Thema Hochwasser. In dem Aufgabenentwurf sollen die Begriffe durch Drag & Drop an die entsprechenden Positionen gezogen werden. Mehr Kreativität können Lernende bei der freien Gestaltung einer Mind Map entwickeln, die dann mit einer Musterlösung verglichen oder zur Auswertung an eine/n Tutor/in gesandt wird.

Concept Maps sind zur inhaltlichen Orientierung dann geeigneter, wenn die Beziehungen zwischen den Elementen auch multikausal und Fragen wie: „*Welche Ursache hat auf welches Element welche Auswirkung?*“ relevant sind. Diese Ursache-Wirkungsbeziehungen werden meist durch Verben ausgedrückt, mit denen die Verbindungslinien bezeichnet werden. Der Aufbau von Concept Maps ist eher netzartig und geht nicht zwangsläufig von *einem* Anfangspunkt aus (Abb. 6.3 und 6.4).

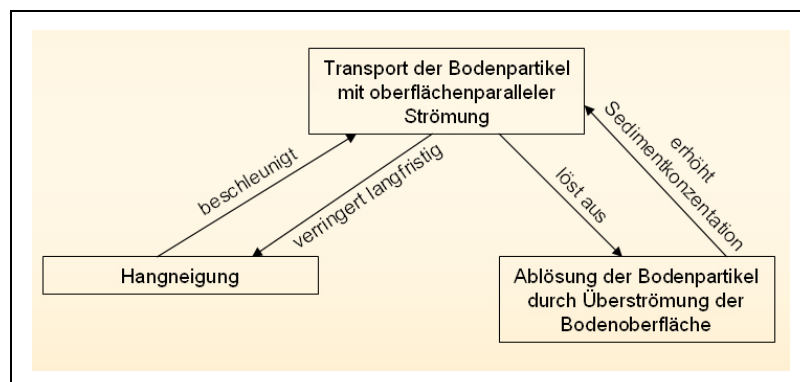


Abb. 6.3: Ausschnitt der Concept Map zum Thema Bodenerosion der Lernaufgabe in Abb. 6.4. Einzelne Elemente stehen über Rückkopplungen miteinander in Beziehung. Es gilt diese Beziehungen zu finden und zu benennen.

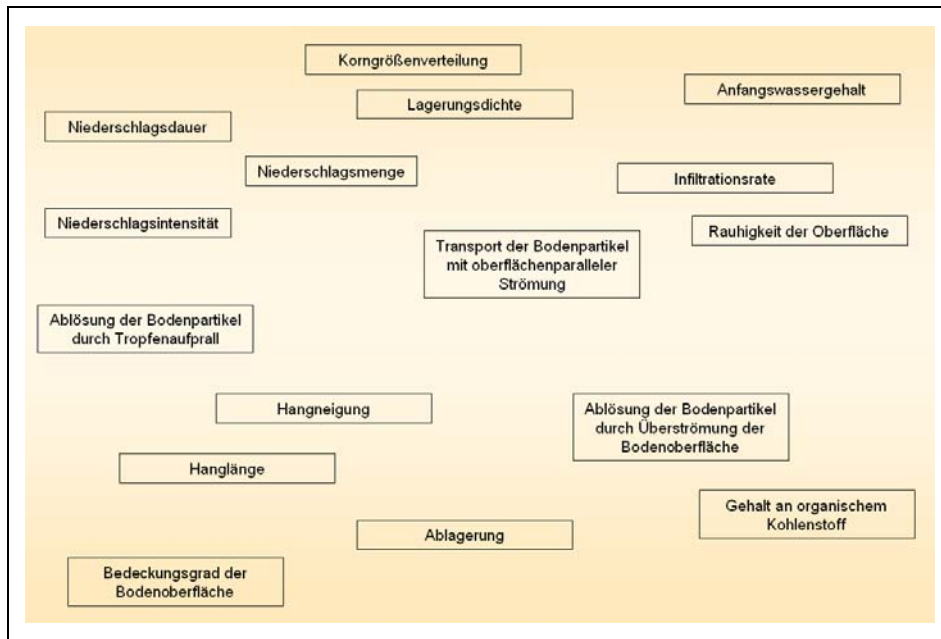


Abb. 6.4: Aufgabenvorlage zum Thema Bodenerosion durch Wasser mit Hilfe einer Concept Map.

Aufgabenstellung (z.B. in einer Flashanwendung) zu Abb. 6.4, die anschließend mit einer Musterlösung eigenständig verglichen oder als Einsendeaufgabe an einen Tutor gesandt werden kann:

Erstellen Sie eine Concept Map zu dem Thema: „Prozesse und Faktoren der Bodenerosion durch Wasser“

1. Welche Verbindungen bestehen zwischen den aufgeführten Begriffen?
2. Zeichnen Sie Linien zwischen den Prozessen und Faktoren der Bodenerosion, die unmittelbar in Beziehung zueinander stehen. Sie können dazu die Begriffe verschieben sowie zusätzliche Begriffe hinzufügen.
3. Schreiben Sie an jede Linie eine kurze Erklärung der Verbindung und markieren Sie durch Pfeilspitzen die Richtung der Verbindung. (Begriffe können eine oder mehrere Verbindungen miteinander haben. Es kann mehr als eine Verbindung in jede Richtung geben.

6.2.1.2 Verständnisaufgaben

Verständnisaufgaben sind für Zuordnungen von Sachverhalten und Daten sinnvoll. Bei der Lösung der Aufgaben wird meistens auf Vorwissen aufgebaut. Das Vorwissen wird beispielsweise genutzt, um Darstellungen richtig zu interpretieren. Verständnisaufgaben können genutzt werden, um eine intensive Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand anzuregen und einem oberflächlichen „browsen“

entgegenzuwirken. Die Form der Lernaufgaben eignet sich gut, um deutlich zu machen, worauf es in dem spezifischen Kontext besonders ankommt.


Darstellungsformen: Zur Darstellung der Sachverhalte kommen unterschiedliche Medien wie Texte, Abbildungen, Diagramme, Animationen, Video etc. in Frage. Diagramme eignen sich besonders gut, um Zusammenhänge und Entwicklungen darzustellen (Abb. 6.6). Mit Hilfe von abbildhaften Darstellungen (vgl. Kapitel 5.1.2.2, Abb. 5.12) wie Graphiken und Animationen sollten die Vorteile zur Unterstützung einer direkten Konstruktion eines adäquaten mentalen Modells genutzt werden (vgl. Kapitel 6.1). Abbildhafte Darstellungen können über wesentliche Elemente und grundlegende Strukturen informieren und erlauben so, auch für Studierende mit geringen Vorkenntnissen, die Bildung einfacher – aber stimmiger mentaler – Modelle, die eine Weiterentwicklung zur wissenschaftlichen Aussage zulassen und durch die Lernenden im Verlauf des Studiums differenzierend erweitert und ergänzt werden können (vgl. Kapitel 3.1). Ein hoher Abstraktionsgrad ist vor allem bei Abbildungen mit Konstruktionsfunktion zu empfehlen (vgl. Kapitel 2.3.1.4), um wesentliche Merkmale klar herauszustellen. Beispielsweise unterstützt die Animation zum Sandtransport (Kapitel 2.4.1, Abb. 2.4) die Bildung eines adäquaten mentalen Modells, indem sie sowohl über die wesentlichen Elemente (Sandkörner verschiedener Korngrößen, Schluff- und Tonpartikel) als auch über das Zusammenspiel dieser Elemente (Suspension, Saltation und Reptation) visuell informiert. Wegen der dynamischen Zustandsänderungen des Prozesses eignet sich eine Visualisierung mit Hilfe einer Animation am besten.

Interaktionsmöglichkeiten: Die Wahl einer geeigneten, erklärenden Darstellung ist für die Bewältigung einer Verständnisaufgabe von zentraler Bedeutung. Interaktionsmöglichkeiten spielen in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Rolle. Je nach Gestaltung der medialen Objekte werden für den Verständnisprozess unterschiedliche Interaktion relevant. Die Auswahl und Steuerung von Inhalten und Informationen (Kategorie 1) sowie die Steuerung der Ablaufgeschwindigkeit von Animationen (Kategorie 2) sind in der Regel ausreichend. Werden Einflussmöglichkeiten auf Prozessabläufe integriert, z.B. durch das Variieren von Parametern (Kategorie 3), so ist die Grenze zur Modellanwendung fließend.

Aufgabentypen: Alle vorgestellten Aufgabentypen mit automatisierter Auswertung (Drag & Drop, Auswahlmü, Short Answer, Multiple Choice) kommen in Betracht. Eine ansprechende Gestaltung lässt sich in vielen Fällen durch Drag & Drop und Auswahlmü realisieren. Short Answer Aufgaben verringern die Möglichkeit Antworten zu erraten. Die automatisierte Auswertung der Formeln, Werte oder Begriffe sollte mit Hilfe eines hinterlegten Thesaurus erfolgen, um Fehlermeldungen durch Synonyme, verschiedene Schreibweisen etc. zu vermeiden. Als Einsendeaufgaben können Verständnisaufgaben gestellt werden, die in Textform abgegeben und anschließend (natürlich sehr viel aufwendiger) durch einen Tutor oder Dozenten ausgewertet und mit einer Rückmeldung versehen werden (siehe unten: Alternative Aufgabe zu Abb. 6.6).

Beispiele:


Die glazial-isostatische Hebung Skandinaviens
 Durch eine globale Erwärmung können im Gegensatz zu den Beispielen der vorangegangenen Seiten auch einzelne Teile der Erdkruste auftauchen. Dann nämlich, wenn sie durch eine mächtige Eisauflage in den Erdmantel hineingedrückt wurden.

 Erleben Sie die glazial-isostatische Hebung Skandinaviens im Postglazial.

Blendet man die **alte Strandlinie** ein, so lassen sich Gebiete, die ehemals vom Meer bedeckt waren, gut lokalisieren.
 Die **Isobasen** zeigen die Hebungsbeträge des Kontinentteils mit den größten Heraushebungen im zentralen Bereich des skandinavischen Schildes.
 Die Geschwindigkeit der Hebung lässt sich durch die Datierung ehemaliger Strandlinien ermitteln, die heute bereits hoch über dem Meeresspiegel liegen. Aufsteigende Küsten geben so Auskunft darüber, wann ein bestimmter Abschnitt des Festlandes auf dem Niveau des Meeresspiegels lag.

Wählen Sie aus den Menüs bitte die richtigen Antworten aus !
 Im Vergleich zu heute lag die Region um Stockholm während der letzten Vereisung . Die Isobasen zeigen die absoluten Hebungsbeträge. In der Region um Stockholm sind es ca. und bei Kopenhagen ca. . Strandwälle, die heute hoch über dem aktuellen Meeresspiegel liegen, zeigen, dass die isostatische Ausgleichsbewegung des Festlandes der postglaziale Meeresspiegelanstieg war. Liegt z.B. ein ca. 10.000 Jahre alter Strandwall heute 40 m über dem Meeresspiegel und lag der Weltmeeresspiegel damals ca. 60 m unter seinem heutigen Niveau, errechnet sich daraus eine absolute Hebung von ca. .

Glazial-isostatische Hebung Skandinaviens



Skandinavien heute

- Lage von Stockholm und Kopenhagen
- Isobasen
- alte Strandlinie (vor ca. 10.000 Jahren)

Abb. 6.5: Lernaufgabe zur glazial-isostatischen Hebung Skandinaviens. Durch die Aufgabenstellung kann sichergestellt werden, dass die wesentlichen Elemente und Sachverhalte der Animation beachtet werden. (aus dem Modul Meeresspiegelschwankungen II, http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/web/beispiele/rahmen.php?string=1;g_005;4)

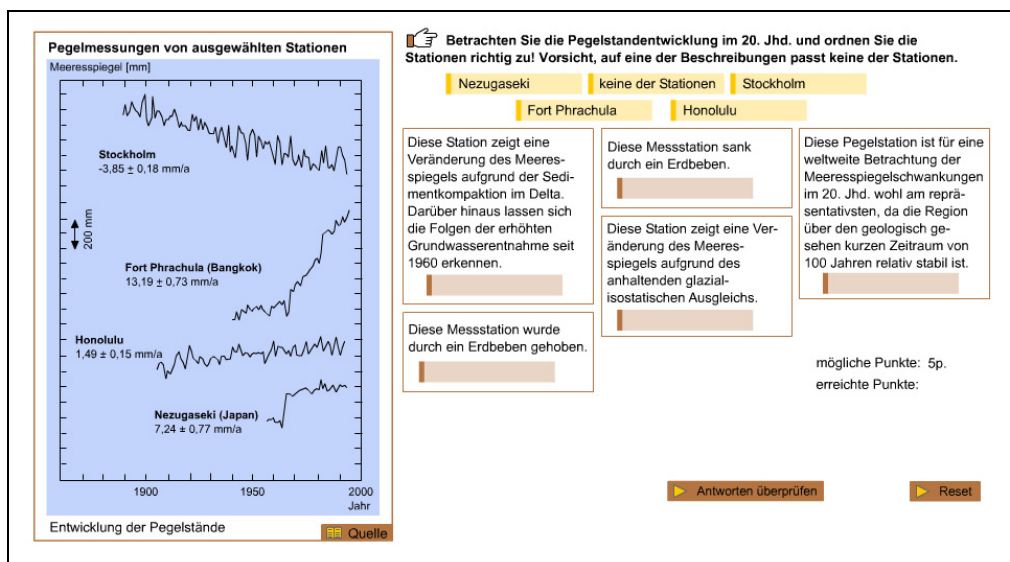


Abb. 6.6: Aufgabe zur Interpretation der Entwicklung der Pegelstände im 20. Jahrhundert. Durch den analytischen Vergleich der Stationsbeschreibungen mit dem Diagramm erfolgt eine intensive kognitive Auseinandersetzung mit dem Sachverhalt. Bei der Bearbeitung wird deutlich, dass sich in Meeresspiegelschwankungen immer globale und lokale Effekte summieren sowie Ursachen für Niveauveränderungen durch eustatische und isostatische Ausgleichsbewegungen sowie Kompaktion oder Lokaltektone zustande kommen (mM-Objekt aus WEBGEO-Lernmodul „Meeresspiegelschwankungen I“, http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_004;4).

Alternative Aufgabe zu Abb. 6.6 (Material wäre nur das Diagramm):

In den Medien wird über den globalen Meeresspiegelanstieg berichtet. Warum messen die Pegel an unterschiedlichen Stellen der Erde dann unterschiedliche Niveauveränderungen? Erklären Sie das Phänomen unterschiedlicher Pegelstandsentwicklungen an den Küsten der Erde. Skizzieren Sie dazu in Stichpunkten unterschiedliche Prozesse, die zu den Differenzen der Niveauveränderungen des Meeresspiegels führen!

6.2.1.3 Aufgaben zum Verständnis von Beziehungen und Relationen

Ziel der Aufgaben ist es, Ursache / Wirkungsbeziehungen, beziehungsweise Relationen zwischen verschiedenen Einflussgrößen, Faktoren und Ereignissen, deutlich zu machen. Dabei gilt es die Stärke (Quantität) und/oder Natur (Qualität) der Beziehungen untereinander aufzuzeigen. Die Aufgabenkategorie bildet eine Untergruppe der Verständnisaufgaben.

Darstellungsformen: Am besten lassen sich Relationen und Beziehungen durch Symbole (Pfeile, Linien etc.) und logische Bilder (Diagramme) ausdrücken. Einzelne Elemente, die z.B. durch Pfeile miteinander in Beziehung gesetzt werden, können dabei auch abbildhaft dargestellt werden (Abb. 6.7).

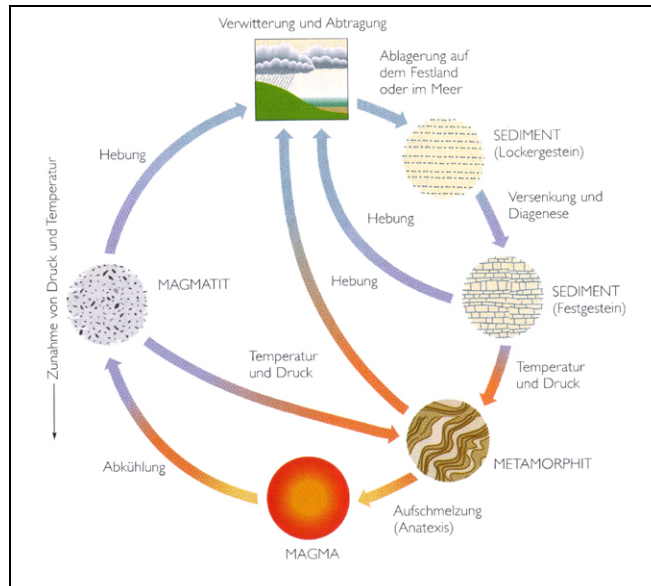


Abb. 6.7: Der Kreislauf der Gesteine als logisches Bild (Press & Siever 1995, 56), bei dem einzelne Elemente (Landschaft mit Bewölkung und Niederschlag, Textur der Gesteine) abbildhaft dargestellt sind.

Interaktionsmöglichkeiten: Bei weniger komplexen Zusammenhängen (z.B. zwei variablen Größen) kann zur Interpretation von Beziehungen und Relationen die Darstellung eines statischen Diagramms ausreichen – zum Beispiel in Verbindung mit dem Aufgabentyp Multiple Choice – jedoch ohne weitere Interaktionsfunktionen (Abb. 6.8). Dynamisieren lassen sich Diagramme z.B. über Regler, die in qualitativer Form Modellzusammenhänge visualisieren (Abb. 6.9) oder die die Datengrundlage quantitativ manipulieren und so – dynamisch zur Laufzeit – Beziehungen zwischen Einflussgrößen, Parametern und Modellergebnissen veranschaulichen können (Abb. 6.10) (Interaktionskategorie 3). Interaktionen, die das Einzeichnen selbst entdeckter Relationen in ein Diagramm ermöglichen (Kategorie 4), unterstützen kreative Lernprozesse der Studierenden, die tiefgreifende Auseinandersetzungen mit dem Sachverhalt erfordern (Abb. 6.11).

Aufgabentypen: Das Zusammensetzen von Modellen kann gut mit Drag & Drop realisiert, Auswahlantworten können mit Multiple Choice oder Auswahlmenüs

gestaltet werden. Alle ermöglichen eine automatisierte Auswertung. Frei gezeichnete Kurven oder Linien können von Studierenden mit Musterlösungen verglichen oder als Einsendeaufgabe abgegeben werden. Manipulationen der Datengrundlage können – eingebettet in eine Simulationsumgebung – auch indirekt überprüft werden, indem in einer Aufgaben ein bestimmter Output zu erreichen ist.

Beispiele:

Erforschung des Phänomens Bodenerosion
 Welches sind die Haupteinflussfaktoren des Abtragsgeschehens und lassen sich Bodenverluste weltweit abschätzen?

Diesen Fragen gingen in den 50er Jahren zwei Amerikaner nach, die Einflüsse des Niederschlags auf Veränderungen von Bodenverlusten untersuchten und eine erstaunliche Entdeckung machten ...
 Je **mehr** Niederschlag fällt, um so **geringer** sind die Erosionsraten?

Beziehung zwischen Bodenverlust und Niederschlag

Die Beziehung zwischen Bodenverlust und Niederschlag zeigt im weltweiten Vergleich, dass in Gebieten mit **wirksamen mittleren Jahresniederschlag** um 300 mm besonders hohe Abtragswerte erreicht werden. Bei weiter zunehmenden Niederschlagsgesamtmengen sinken jedoch die Abtragswerte wieder (siehe Diagramm).

Was ist die entscheidende Ursache für diesen scheinbaren Widerspruch?

- Bei mehr Niederschlagsmengen versickert im Boden auch mehr und es kommt zu geringerem Oberflächenabfluss.
- Die Bodenteilchen verkleben bei mehr Niederschlagsmengen und sind so weniger erosionsempfindlich.
- Die Vegetationsdecke wird mit zunehmendem Niederschlag dichter. Dies führt zu einem besseren Schutz der Bodenoberfläche. ✓ korrekt
- In Gebieten mit mehr als 300mm Niederschlag verwittert das Gestein zu widerstandsfähigeren Böden.

alles richtig beantwortet!
 Wenn starke Niederschläge jedoch auf ungeschützten Böden fallen, steigt der Bodenverlust stark an. Dass die Entfernung der Vegetationsbedeckung verheerende Auswirkungen haben kann, zeigt die Graphik anhand eines Beispiels aus der Sahelzone links unter 'nächstes Bild'.

Antworten überprüfen

Abb. 6.8: Das Diagramm zeigt die Beziehung zwischen Bodenverlust und Niederschlag. Die Aufgabe besteht darin, die Ursache für die Niederschlagswirkung zu finden.

(http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030;4)

Degradations-Modell der traditionellen Landwirtschaft in Entwicklungsländern
 Bodendegradation steht im Kräftespiel zwischen Natur und Mensch. Durch die Nutzung des Landes verursacht der Mensch großräumig eine von ihm nicht gewollte Verbreitung des Degradationsprozesses. Andererseits verfügt jeder Naturraum über ein gewisses Maß an Belastbarkeit, das sich aus der Beschaffenheit von Relief, Klima und Boden sowie aus der Regenerationsfähigkeit von Böden, Vegetation und Wasserhaushalt ergibt. Dem Menschen fällt dabei – gewollt oder ungewollt – die Steuerfunktion zu.
Steuern Sie die Bevölkerungsdichte durch Ziehen an dem Schieberegler und setzen Sie anschließend das Modell zusammen.

Antworten überprüfen

Sie konnten das Modell noch nicht richtig zusammensetzen. Setzen Sie die Kategorien 'gering' und 'hoch', 'gut' und 'schlecht' immer gegenüber. Versuchen Sie es noch einmal.

Abb. 6.9: Das Degradationsmodell der traditionellen Landwirtschaft in Entwicklungsländern soll durch Drag & Drop richtig zusammengesetzt werden. Über den Regler werden die Pfeile gesteuert,

die das Beziehungsgeflecht symbolisch verdeutlichen

(http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_031;4).

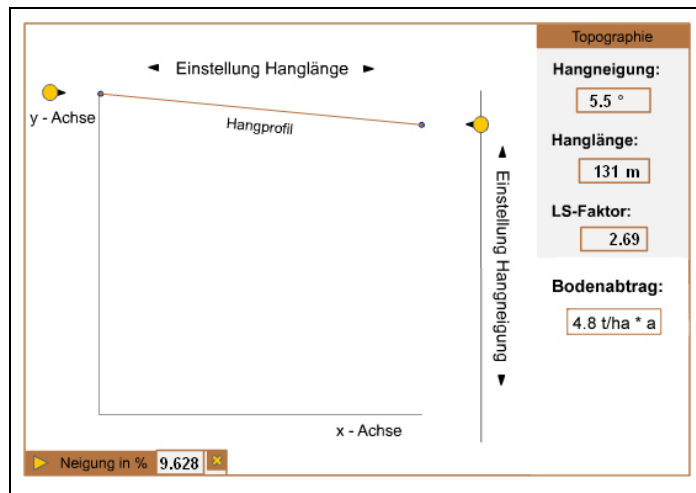


Abb. 6.10: Das interaktive Diagramm ist in eine Modellanwendung zur Bodenerosionsprognose auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung integriert. Mit Hilfe der Regler können die Einflussgrößen Hangneigung und Hanglänge dynamisch verändert werden. Zur Laufzeit wird der Einfluss dieser Variablen auf den LS-Faktor berechnet und die quantitative Abhängigkeit des Bodenabtrags (bei sonst gleichen Bedingungen) von den unterschiedlichen Parametern im Modell verdeutlicht.

(http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/web/beispiele/rahmen.php?string=1;g_038;4)

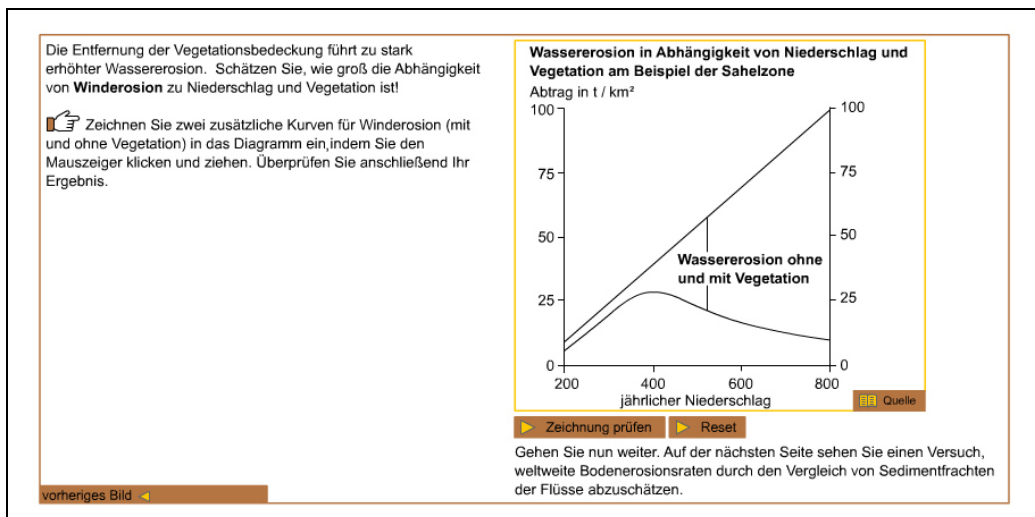


Abb. 6.11: Aufgabe der Studierenden ist es, den Einfluss des Niederschlages in der Sahelzone in Beziehung zur Winderosion für Bereiche mit und ohne Vegetation zu setzen. Die Graphen sollen dazu in das Diagramm eingezeichnet werden.

(http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_030;4)

6.2.1.4 Aufgaben zur Strukturierung von Abläufen und Prozessen

Sachverhalte, Prozeduren oder Prozesse sollen mit Hilfe der Aufgaben strukturiert werden können. Dazu werden die Inhalte in Einzelelemente oder kleinere Sequenzen unterteilt, die dann in einer Aufgabe in eine bestimmte Reihenfolge (logische Sequenz) gebracht werden sollen oder Lernende zu einer strukturierten Vorgehensweise anleiten. Die Aufgabenform eignet sich daher dazu ein mentales Modell eines Prozessverlaufes beziehungsweise einer Ablaufstruktur aufzubauen oder sich die Bedienung technischer Geräte anzueignen. Strukturierungsaufgaben bilden eine Untergruppe der Verständnisaufgaben.

Darstellungsformen: Aufgaben zur Bildung einer logischen Reihenfolge (z.B. Kausalkette) können mit Hilfe von logischen Bildern (Ablaufschema, Flussdiagramm) konstruiert werden (Abb. 6.12). Einzelschritte einer Sequenz zur Veranschaulichung von Prozessabläufen werden am besten durch abbildhafte Darstellungen in schematischer Form verdeutlicht (Abb. 6.13).

Interaktionsmöglichkeiten: Weitreichende Interaktionen sind in der Regel nicht notwendig. Animationen in einzelnen Schritten werden durch Interaktionen der Kategorie 1 abgerufen. Das schrittweise Abrufen der Informationen verringert die Informationsfülle und erleichtert den Studierenden die mentale Verarbeitung. Die Navigation sollte dabei ein mehrfaches Betrachten der Einzelschritte durch Abruf der nächsten und vorherigen Schritte unterstützen.

Aufgabentypen: Das Zusammensetzen von Einzelelementen – z.B. einer logischen Struktur – kann bei vorgesehener automatisierter Auswertung am besten per Drag & Drop erfolgen (Abb. 6.12). Derartige Aufgaben können natürlich auch in Form von Freitexten bearbeitet und als Einsendeaufgabe an einen/eine Tutor/in bzw. Dozent/in gerichtet werden. Anleitungen zur Bearbeitung von Modellen, die einen bestimmten Modell-Output produzieren, können gut mit dem Short Answer Aufgabentyp kombiniert werden (Abb. 6.13). Aufgaben zu strukturierenden Abbildungen, die auf den Aufbau eines mentalen Modells – z.B. eines Prozessablaufes – abzielen, sind an keinen spezifischen Aufgabentyp gebunden.

Beispiele:

Haben Sie schon einmal auf einem Acker im Regen gestanden?
 Was passiert?
 Je nach Art des Niederschlages verläuft die Erosion durch Wasser unterschiedlich. Fertigen Sie per "drag & drop" ein Beobachtungs-Protokoll für Strakregen (Intensität z.B. 2 mm/min) und für Landregen (z.B. 0.01mm/min) an.

Protokoll 1:
 Ort: Vegetationsloser Acker am Hang
 Zeit: 16:05 Uhr: Starkregen setzt ein.

Protokoll 2:
 Ort: Vegetationsloser Acker am Hang
 Zeit: 16:05 Uhr: Landregen setzt ein.

Es bildet sich ein Wasserfilm und kleine Fließbahnen

Rinnen durchziehen den Hang

Der Hang scheint so gut wie unverändert

Das Wasser versickert größtenteils im schwach verschlammten Boden

Wasser kann nur schwer in den verschlammten Boden eindringen

An der Oberfläche fließt nur wenig Wasser in einem dünnen Film ab

Große Wassertropfen zerschlagen die trockene Ackerkrume

Abgelöste Bodenpartikel verschlammten den Oberboden

Aufprallkräfte der Regentropfen zeigen nur geringe Wirkung

Antwort prüfen
Reset

zurück
weiter

Abb. 6.12: Aufgabe zur Zusammenstellung zweier Ablaufschemata von Niederschlagsereignissen in Bezug auf Bodenerosionsprozesse. Die Einzelprozesse sollen dabei von den Studierenden in eine dem Prozessablauf entsprechend logische Reihenfolge gebracht werden.

Morphologie eines Trogtales

Tragen Sie in die Lücken die wichtigsten Begriffe der Trogtal-Morphologie ein! Sie können 10 Punkte erreichen.

Das Trogtal, wegen seiner charakteristischen Form auch genannt, entsteht durch glaziale Erosion in fluvial angelegten Tälern. Es zeichnet sich durch steile, mitunter senkrechte und einen flachen Talboden aus. Die Trogwände gehen an der in die flache über, die mit dem , oft als ausgebildet, die zum oberhalb liegenden, nicht glazial überformten Teil des Talhanges bildet. Seitentäler münden als weit über dem Trogtalboden des Haupttales, da ihre glaziale Übertiefung nicht Schritt halten konnte. In Wasserfällen stürzt der Zufluss über die steile Trogtalwand hinab. Rückschreitend schneidet er eine ein. Das obere Ende des Trogtales ist als häufig halbrunder ausgebildet, über dem ein oder mehrere Kare oder eine Kartreppie liegen.

erreichte Punkte:

Abb. 6.13: Lernaufgabe zum morphologischen Formenschatz eines Trogtales (WEBGEO|geo²⁹). Der Prozess ist in einzelne Schritte gegliedert (erste Abbildung oben links; die weiteren Abbildungen [untere Reihe] erscheinen nach und nach im selben Rahmen durch „klick“ auf die Schaltfläche „nächstes Bild“). Studierende können den Prozessablauf schrittweise nachvollziehen (http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_042;3).

6.2.1.5 Anwendungs- und Gestaltungsaufgaben

In Anwendungs- und Gestaltungsaufgaben kann das Gelernte auf neue Situationen übertragen werden. Das anzuwendende Wissen („gewusst wie“) bezieht sich auf Praktiken, Techniken, Methoden und Strategien. Als Zielkategorie der zu erwerbenden Kompetenz lassen sich Begriffe wie „können“ oder „Fertigkeiten“ (im englischen „skills“) verwenden. Es handelt sich z.B. um Wissen über Bedingungen, unter denen menschliches Handeln sinnvoll ist, Wissen über Verfahrensweisen und Wissen über Hilfsmittel (z.B. Diagramme).

Der Anwendung von Modellen zur Beschreibung raum-zeitlicher Prozesse kommt in der Physischen Geographie/Geomorphologie eine große Bedeutung zu. Modellanwendungen, als komplexe Aufgabentypen webbasierter Lehr-

²⁹ Das Lernmodul „Trogtal“ wurde im Rahmen des Projektes WEBGEO|geo von Projektmitarbeiterin Dr. Anja Fengler entwickelt. (http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=1;g_042;1)

/Lernangebote, können eine indirekte Antwortanalyse durch die Darstellung der Konsequenzen der Modellanwendungen bieten. Durch Variation der Eingabeparameter oder des verwendeten Modells können verschiedene Modellergebnisse simuliert werden. Die Modelle verknüpfen unterschiedliche Einflussgrößen auf zu untersuchende Phänomene und geben in der Anwendung Aufschluss über Verfahrensweisen und Bedingungen menschlichen Handelns (z.B. landwirtschaftliche Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsweisen).

Darstellungsformen: Als Hilfsmittel werden in der Physischen Geographie häufig logische Bilder (Diagramme) eingesetzt. Mit ihnen arbeiten zu können ist eine wichtige Fertigkeit zur Interpretation geographischer Daten (z. B. die Anwendung eines Streckendiagramms zur Bestimmung der Bodenart, Abb. 6.15).

Modelle können, je nach Modellcharakter und Modellergebnis (engl. *output*), in unterschiedlicher Weise dargestellt werden. Quantitative Modelle geben als Ausgabegrößen numerische Werte aus. Diese können bei Anwendung der Modelle in einem bestimmten Landschaftsausschnitt dargestellt werden. Output-Größen von Profil-Modellen, bei denen ein Hang zur differenzierten Beschreibung von Prozessen in Teilsegmente unterteilt ist, lassen sich in Diagrammform einfacher als in numerischen Wertetabellen interpretieren.

Modellergebnisse, die eine räumliche Verteilung aufweisen, können klassifiziert und als thematische Karten oder (zusätzlich) in unterschiedlichen Perspektiven (z.B. 2,5D-Vogelperspektive, 3D-Blockbild) dargestellt werden. In einer Simulationsumgebung (z.B. eine Beispiellandschaft) eignet sich die Kombination unterschiedlicher Darstellungsperspektiven, um die Interpretation der Modellergebnisse zu erleichtern. Die zeitgleiche Repräsentation eines Objektes in einer 2D Ansicht (z.B. Karte) und/oder 2,5D-/3D-Ansicht kann darüber hinaus das räumliche Vorstellungsvermögen verbessern (vgl. Kapitel 4.1.1.1 u. 5.1.2.2). Für eine kartographische Darstellung GIS-basierter Modelle bietet sich bei webbasierten Anwendungen der Einsatz eines Internet-Mapping-Systems (IMS) an.

Interaktionsmöglichkeiten: Für die Nutzung interaktiver Diagramme sind Interaktionen der Kategorie 2 (Verschieben von Objekten) ausreichend.

Welche Interaktionsmöglichkeiten bei der Anwendung von Modellen zu raumzeitlichen Prozessen bestehen, hängt von der Implementation der Modelle in die webbasierte Lernumgebung ab. Modelle können direkt als internetfähige Anwendungen programmiert (z.B. in Macromedia Flash) oder – sofern bereits ein Computermodell existiert – als Software auf einem Web-Server installiert und über eine Schnittstelle als Internet-Anwendung zur Verfügung gestellt werden. In beiden Fällen können Modellparameter – z.B. über numerische Werteeingaben – freige wählt werden (Kategorie 3) und die Integration eigener Daten und die Berechnung eigener Szenarien wird möglich (Kategorie 4). Die technische Realisierung einer vollständigen Modell-Implementation kann allerdings sehr aufwendig sein und ist für bereits vorhandene Computermodelle nur dann möglich, wenn der entsprechende Programmcode offen gelegt ist, so dass eine Benutzerschnittstelle programmiert werden kann.

Bei der Anwendung von Prozessmodellen im Rahmen von Lehr-/Lernszenarien kann die Darstellung quasidynamischer Modelle ausreichen, um Prozesse und Phänomene adäquat darzustellen. Die Vorauswahl geeigneter Eingangsgrößen und Parametersätze ermöglicht die schnelle Anwendbarkeit und zielgerichtete Exploration vorgegebener Datensätze; eine zeitintensive Einarbeitung in Modellhandbücher entfällt. Vorbereitete Parametersätze werden über Schieberegler, Schaltflächen oder Auswahlmenüs gesteuert (Interaktionskategorie 3).

GIS-basierte Modelle können in einer Beispiellandschaft durch vordefinierte Parametersätze gesteuert (z.B. durch ein „Umfärben“ von Flächen, vgl. Kapitel 8.1.2) oder durch Selektion und Klassifikation räumlicher Einheiten in einem IMS (vgl. Kapitel 8.1.1) angewandt werden (Interaktionskategorie 3).

Aufgabentypen: Anwendungsaufgaben, bei denen Werte ermittelt werden (z.B. Berechnung der Niederschlagsintensität oder der Infiltrationsrate, siehe oben Abb. 5.10 und 5.11), sollten durch Short Answer umgesetzt werden. Antwortalternativen erleichtern die Bearbeitung einer Aufgabe und können z.B. über Drag & Drop angeboten werden. Ein Vorteil des Aufgabentyps Short-Answer liegt darin, dass eine Antwort nicht nach dem Rate-Prinzip erfolgen kann und auch anspruchsvolle Aufgaben konstruiert werden können. Es bietet sich z.B. an, bei einer Aufgabe zur

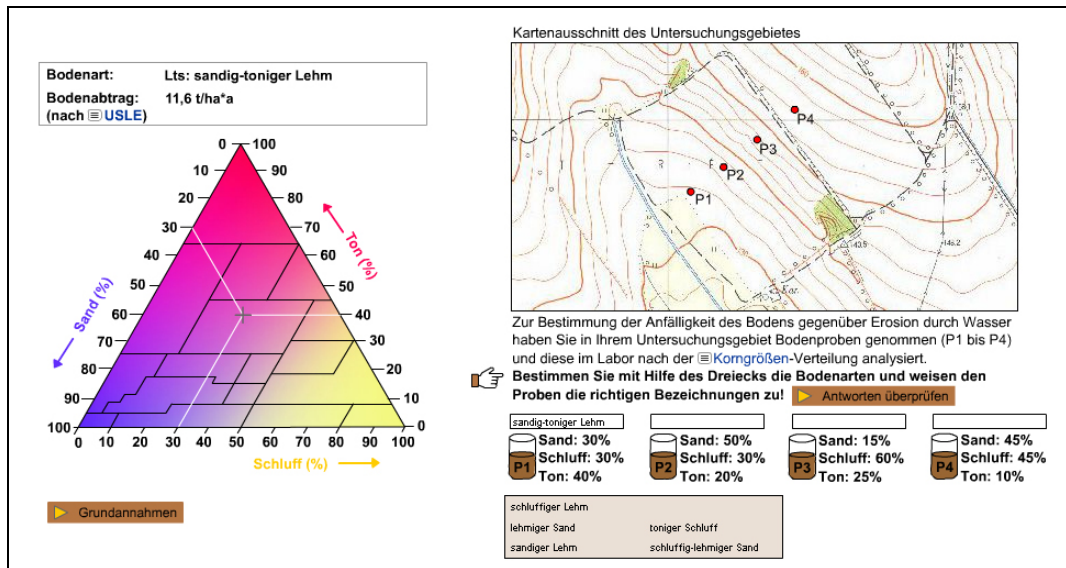


Abb. 6.15: Aufgabe zur Ermittlung der Bodenarten unterschiedlicher Korngrößengemische mit Hilfe eines interaktiven Streckeisendiagramms.

Ein **weiteres Beispiel** einer Modellanwendung und Gestaltungsaufgabe:

Führen Sie für den Standort X eine Erosionsprognose durch und entwerfen Sie Landnutzungsszenarien, die einen Bodenabtrag von einer Tonne pro Hektar und Jahr nicht überschreiten (vgl. Kapitel 8.1.3).

Die Grenze zur Analyseaufgabe ist fließend, da die Durchführung einer Erosionsprognose sicherlich analytisches Vorgehen erfordert.

6.2.1.6 Analyseaufgaben

Zur Lösung einer Analyseaufgabe wird eine übergeordnete Frage- oder Problemstellung in kleinere Inhaltbereiche zerlegt bzw. ein Inhalt übergeordneter Kategorie in Einzelelemente unterteilt.

Im Folgenden werden Möglichkeiten zur Konstruktion von Analyseaufgaben im Rahmen von webbasierter Modellierung und Datenexploration erläutert:

Bei Analyseaufgaben in Verbindung mit Modellen wird die Aufgabenstellung in der Modellanwendung bearbeitet. Die Komplexität der Modellierung und die Transparenz des Modells sollten sich an dem angestrebten mentalen Zielmodell (Welche Zusammenhänge und Sachverhalte sollen verstanden werden?) und den zur Verfügung stehenden Mitteln der Studierenden orientieren (vgl. Kapitel 3.3.3). Möglichkeiten webbasierter Modellierung durch Variation von Eingangsgrößen und Anzeige von Modellergebnissen erlauben einen explorativen Umgang mit den Materialien. Interaktionen sind, je nach Implementation des Modells, in

unterschiedlichem Umfang möglich (vgl. Kapitel 3.3.3). In der Modellanwendung können einerseits Prozesse und Phänomene (z.B. Zusammenspiel von Niederschlagsintensität, Oberflächenabfluss und Erosionsrate; vgl. Kapitel 8.1.4) analysiert und andererseits die Modellkonstrukte selbst, z.B. im Rahmen von Sensitivitätsanalysen (vgl. Kapitel 8.1.3), untersucht werden.

Die Analyse großer Datensätze mit Raumbezug findet in der Geographie durch Geographische Informationssysteme (GIS) und Bildverarbeitungsprogramme der Fernerkundung statt. Die analytische Anwendung dieser Wissenswerkzeuge (vgl. Kapitel 4.1.1) erfordert häufig umfangreiches Wissen von Prozeduren und Programmabläufen, um Datenanalysen zielgerichtet durchführen zu können. Aufgabenstellungen im Rahmen von webbasierten Systemen mit weniger komplexen Analysemöglichkeiten bieten einen guten Einstieg in die explorative Geodatenverarbeitung.

Darstellungsformen: Für die Bearbeitung von Analyseaufgaben mit Hilfe von Modellanwendungen eignen sich die bereits oben beschriebenen Darstellungsformen webbasierter Modellierungen (vgl. Kapitel 6.2.1.5).

Geodaten können mit Hilfe von Kartendarstellungen visualisiert werden. Die Verwendung einer dreidimensionalen räumlichen Darstellung ist gegenüber einer zweidimensionalen nur dann zu empfehlen, wenn der Abbildungsgegenstand in seiner räumlichen Ausdehnung und Lage gezeigt werden soll.

Interaktionsmöglichkeiten: Analysen mit Hilfe von Modellanwendungen erfordern Interaktionen zur Auswahl unterschiedlicher Einflussgrößen und Parameter (Kategorie 3) oder Interaktionen zur Eingabe eigener Daten und Konstruktion eigener Szenarien (Kategorie 4). Erleichtert werden kann die Interpretation von Modellergebnissen, indem Möglichkeiten zur inhaltlichen Selektion und Navigation (Auswahl unterschiedlicher Output-Größen) integriert werden (Interaktionskategorie 1).

Die analytische Exploration von Geodaten im Rahmen von Internet-Mapping-Systemen (IMS) kann durch Interaktionen mit der Datengrundlage durch Daten-selektion (z.B. SQL-Abfragen) oder Klassifikation ermöglicht werden (Kategorie 3). Noch umfangreichere Analysemöglichkeiten stehen in IMS-Anwendungen

dann zur Verfügung, wenn Interaktionen das Prozessieren eigener Datensätze (z.B. durch Verschneidungen, Pufferbildung, etc.) erlauben (Kategorie 4).

Aufgabentypen: Analysen einzelner Faktorenausprägungen, Modellergebnisse und Zusammenhänge können durch Aufgaben mit automatisierter Antwortanalyse konstruiert werden. Umfangreiche Interpretationen sollten (zumindest teilweise) als Freitext-Aufgabe gestellt werden. In einem Textbaustein können Hinweise zur Bearbeitung von Modellanwendungen und Simulationen gegeben werden. Ergebnisse können durch eigenständiges Vergleichen der Studierenden mit einer Musterlösung abgeglichen oder durch eine lehrende Person korrigiert werden. Die Motivation der Studierenden ist in vielen Fällen höher, wenn die Aufgaben durch eine andere (Lehr-)Person ausgewertet wird (KERRES 2002, 10). Diese Variante ist vorzuziehen, sofern entsprechende Ressourcen zur Verfügung stehen. Werden bei der Exploration von Geodaten (z.B. mit Hilfe von GIS) eigene Datensätze entwickelt, können diese als Ergebniskarten visualisiert und als Datei an einen Tutor oder einen Dozenten gesendet werden, um anschließend eine individuelle Rückmeldung zur eingereichten Lösung zu erhalten (Beispiel b, siehe unten). Alternativ könnte die Rückmeldung zu einer Einsendeaufgabe als Beitrag in einem Plenum (z.B. in einer Newsgroup oder in einem Forum) allen Veranstaltungsteilnehmenden zugänglich gemacht werden.

Beispiele:

- a) Beschreiben Sie den Effekt hoher Niederschlagsintensität auf den Oberflächenabfluss und Bodenabtrag (vgl. Kapitel 8.1.4.3).
- b) Klassifizieren Sie mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems ackerbaulich genutzte Flächen nach der potentiellen Erosionsgefährdung in Abhängigkeit von Bodenart und Hangneigung auf Grundlage des Verfahrens von CAPELLE & LÜDERS (1985). Nutzen Sie dazu die Beispieldatensätze und erstellen Sie als Ergebnis eine Karte!

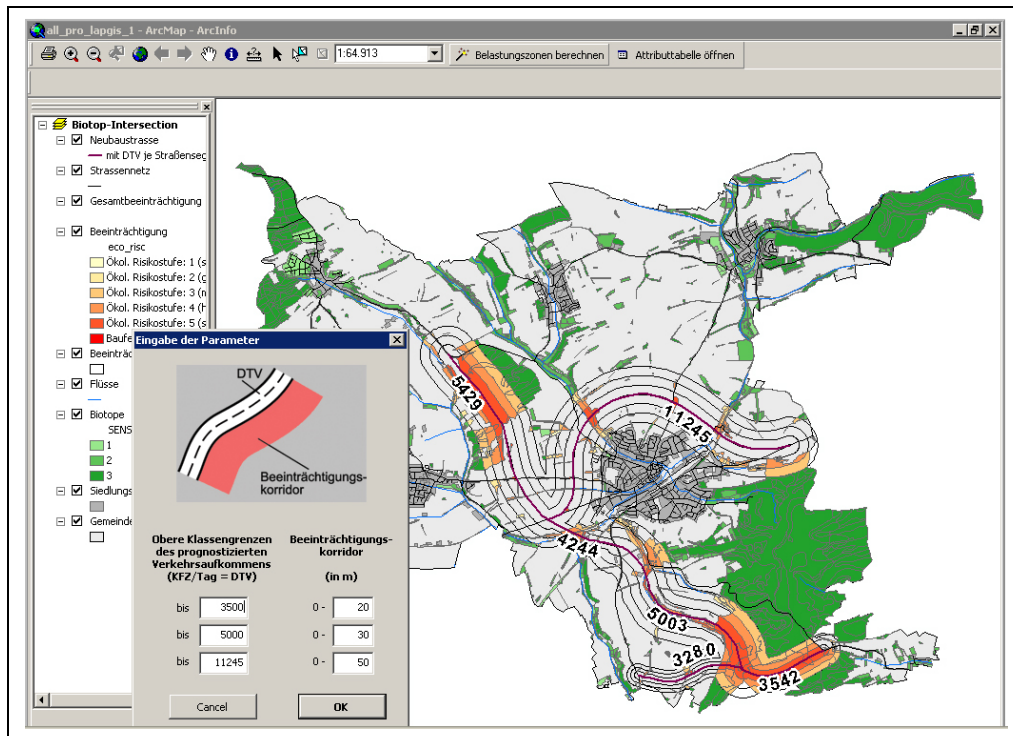


Abb. 6.16: Beispiel c) Analyseaufgabe zur Prognose von Umweltwirkungen durch Verkehrserschließung im Rahmen eines Internet-Mapping-Systems. Durch Pufferbildung sollen in der Aufgabe raumanalytische Informationen generiert werden, die in einem weiteren Schritt zur Entscheidungsfindung bei der Planung einer Umgehungsstraße herangezogen werden können (SCHWARZ V. RAUMER & SCHILL 2003, 297).

6.2.1.7 Problemlöseaufgaben

Bei der Bearbeitung von Problemlöseaufgaben müssen verschiedene Sachverhalte aufeinander bezogen bzw. miteinander verknüpft werden, um Lösungswege aufzuzeigen, die eine Vielzahl von Perspektiven und eine klare Zielformulierung berücksichtigen. Problemlöseaufgaben können verschiedene Aufgabenformen, z.B. Anwendungs- und Gestaltungsaufgaben sowie Analyseaufgaben, integrieren. Bei der Bearbeitung der Aufgabe wird in einem kreativen Lernprozess etwas Neues konstruiert bzw. Lösungsvorschläge zur Problemstellung entwickelt (WERNING & KRIWET 1999, 7).

Beispielhafter Ablauf:

Konfrontation mit einer Problemstellung

In einem ersten Schritt sollten die Studierenden mit einer konkreten Situation bzw. Problemstellung konfrontiert werden, die zu einer aktiven Auseinanderset-

zung herausfordert. Problemlöseaufgaben können dabei nicht nur kognitive Strukturen aktivieren; sie schließen immer auch affektive Dimensionen wie Neugier, Interesse, Erfolgs- und Misserfolgs erleben mit ein.

Hypothesenbildung

Die Lösung einer Problemstellung geht dann in der Regel von Hypothesen aus. Dies sind Vermutungen von Studierenden, die aus ihrer Sicht eine Lösung der Problemstellung darstellen können.

Entwicklung von Lösungsstrategien

Im Anschluss können Lösungsstrategien entwickelt werden. Dazu wird in einem Entscheidungsprozess ein Lösungsplan entworfen, dem ein Durchspielen verschiedener Lösungsmöglichkeiten vorausgeht. Schließlich erfolgt eine Entscheidung für einen ersten Lösungsweg.

Problemlösungsprozess

Zur Überprüfung der Hypothesen (z.B. in arbeitsteiliger Auseinandersetzung mit dem Problemfeld) werden relevante Informationen eingeholt. Dieser Arbeitsschritt kann z.B. auch Modellanwendungen und Simulationen beinhalten. Diese werden zur Überprüfung der Hypothesen herangezogen. Belege zur Bestätigung von Hypothesen werden gesammelt.

Verifikation, Falsifikation und Modifikation der Hypothesen

Hypothesen werden in Bezug auf gefundene Ergebnisse bewertet.

Reflexion

Überprüft werden Gültigkeit, Brauchbarkeit und Anwendbarkeit

- gefundener Problemlösungen,
- der Lösungsstrategie,
- der Prozess der Entwicklung von Problemlösung und Lösungsstrategie (in Sinne einer metakognitiven Reflexion).

Da Problemlöseaufgaben häufig mehrere Teilaufgaben integrieren, können keine spezifischen **Darstellungsformen** empfohlen werden. Es gelten die oben beschriebenen Hinweise.

Zum Aufzeigen einer Problemlösung können sich **Interaktionsmöglichkeiten** anbieten, die – z.B. im Rahmen von Modellanwendungen – die Entwicklung bestimmter Modellszenarien (z. B. Landnutzungsszenarien) oder neuer Daten (z.B. durch GIS-basierte Verschneidungen) erlauben (Kategorie 4) und die Auswahl unterschiedlicher Einflussgrößen und Parameter erfordern (Kategorie 3).

Selbstverständlich können auch Lösungswege für eine Problemstellung auf Grundlage verschiedener Informationen, die z.B. als Text zur Verfügung stehen, entwickelt werden. In diesem Fall sind Interaktionen der Kategorie 1 zur Auswahl und Navigation der Arbeitsmaterialien erforderlich.

Aufgabentypen: Bei komplexen Problemlöseaufgaben sollte eine Unterstützung durch tutorielle Betreuung erfolgen und/oder eine intensive Diskussion über entwickelte Hypothesen und Lösungsstrategien der Studierenden in der Präsenzphase angeregt werden. Die Lernaufgaben können in Form einer Textaufgabe gestellt oder in Verbindung mit Modellanwendungen und Simulationen in Form eines Textbausteins mit Anweisungen und Fragestellungen dargestellt werden.

Beispiel:

„Sie arbeiten für eine landwirtschaftliche Beratungsstelle. Im Rahmen Ihrer Tätigkeit unterstützen Sie landwirtschaftliche Betriebe beim Flächenmanagement. Vor dem Hintergrund eines Förderprogramms „zur ökologisch standortgerechten Landnutzung und Schaffung natürlicher Retentionsräume zum Hochwasserschutz (Rückhaltung auf der Fläche) im Einzugsgebiet des Flusses XY“ ist es nun Ihre Aufgabe, Landwirte hinsichtlich einer Umnutzung von Flächen zu beraten. Welche Maßnahmen und Konzepte schlagen Sie vor und welche konkreten Methoden kommen bei der Planung zum Einsatz? Machen Sie Vorschläge zum Flächenmanagement der einzelnen landwirtschaftlichen Nutzflächen und beachten Sie Richtlinien und Maßnahmen des Förderprogramms. Bedenken Sie dabei auch ökonomische Faktoren der landwirtschaftlichen Betriebe (Verwenden Sie die angegebenen Modellanwendungen und Materialien).“ (vgl. Kapitel 8.1.3.3.)

6.2.1.8 Bewertungsaufgaben

In Rahmen von Bewertungsaufgaben bewerten Studierende Fragestellungen anhand von Kriterien. Aus verschiedenen Perspektiven werden Sachverhalte beurteilt und unterschiedliche Meinungsbilder ergänzen einen Standpunkt.

So beinhalten Bewertungen immer eine subjektive Komponente. Damit sind Bewertungen abhängig von dem einzelnen, bzw. von der gesellschaftlichen Gruppe, die eine Bewertung vornimmt. Alleine aus Sachaussagen können keine Bewertungsmaßstäbe abgeleitet werden. Beispielsweise leitet sich aus dem Kriterium „Seltenheit“, als naturschutzfachliche Bewertungskategorie für Pflanzenarten, nicht per se ein schützenswerter Status ab. In einer Pflanzengesellschaft können z.B. vereinzelt Neophyten (eingeschleppte Pflanzenarten) auftreten. Da sie als Zeiger von Störungen jedoch nicht zu den "gewünschten Arten" gehören, sind sie trotz ihrer Seltenheit eher Indikatoren für eine Abwertung einer Fläche.

Wichtige Instrumentarien zur Kalibrierung von Bewertungsverfahren stellen im Rahmen von Landschaftsbewertungen quantitative Analyseverfahren dar. Repräsentative Beispiele solcher Verfahren sind die in Kapitel 3 vorgestellten Modelle zur Bodenerosion durch Wasser. Diese werden z.B. zur Bewertung von Landschaftsfunktionen und Naturraumpotentialen herangezogen (BASTIAN & SCHREIBER 1999, 206).

Empfehlungen zu Darstellungs- und Interaktionsformen sowie Aufgabentypen entsprechen denen von Kapitel 6.2.1.7.

Beispiel (vgl. Kapitel 8.1.3):

„Bewerten Sie das Konzept der Ausrichtung von Flächennutzungen nach dem bodenspezifisch tolerierbaren Bodenabtrag. Welche Folgen hätte die Umsetzung dieses Konzeptes (als gesetzlich festgeschriebene Grenzwerte) nach Ihrer Meinung für die zukünftige Entwicklung der Landwirtschaft und wie beurteilen Sie entsprechende Maßnahmen zur Reduzierung der aktuellen Bodenerosion im Hinblick auf ökologische Risiken (on-site und off-site)?“

6.2.2 Sozialformen der Aufgabenbearbeitung

Lernaufgaben können in Einzel-, Partner- oder Gruppenaufgaben unterschieden werden.

Einzelaufgaben werden selbst gesteuert sowie zeit- und ortsunabhängig bearbeitet. Bei der individuellen Bearbeitung einer Lernaufgabe fehlt jedoch häufig der unmittelbare Austausch zwischen den Studierenden und dadurch die Auseinandersetzung mit anderen Meinungen und Perspektiven.

Einzelaufgaben eignen sich daher vor allem zur Aktivierung von Lernprozessen durch intensive Auseinandersetzungen mit Lerninhalten, die nicht zwingend einen direkten Austausch mit anderen Lernenden erfordern sowie zur individuellen Lernkontrolle.

Die kooperative Bearbeitung einer Lernaufgabe kann z.B. als Kleingruppe oder im Rahmen eines Lern-Tandems in Partnerarbeit erfolgen. Eine Herausforderung bei der Gestaltung einer Gruppen- bzw. Partneraufgabe besteht darin, sie so zu konzipieren, dass durch die Sozialform der Bearbeitung ein Mehrwert gegenüber einer individuellen Bearbeitung entsteht. Ein wesentliches Ziel der Gruppen- und Partnerarbeit besteht in der kommunikativen Auseinandersetzung, so dass ein bloßes Aufteilen von Teilaufgaben auf verschiedene Lernende vermieden werden sollte. Die Aufgabenstellung sollte vielmehr den intensiven Austausch zwischen den Lernenden erfordern. In der Kommunikation können Positionen anderer wahrgenommen und auf diese eingegangen werden, um alternative Positionen zu vertreten, Meinungen anderer aufzugreifen und zu einem Ganzen zusammenzuführen.

Bei der Bearbeitung von Lernaufgaben in Partnerarbeit kann zunächst die Vorgehensweise zur Lösung der Aufgaben abgesprochen werden und im Anschluss an die Beschäftigung mit den Lerninhalten eine Reflexion der Inhalte, Lösungsstrategien und Aneignungsprozesse mit dem Lernpartner stattfinden.

Komplexe Aufgaben eignen sich zur Bearbeitung in Kleingruppen. Die Kommunikation sollte sich durch einen gleichberechtigten und intensiven Meinungsaustausch auszeichnen. Eine Kleingruppe bietet, im Gegensatz zur Partnerarbeit, aufgrund der größeren Personenzahl eine größerer Vielfalt an Perspektiven und Meinungen. Die Möglichkeit eines stärker arbeitsteiligen Vorgehens erfordert jedoch einen höheren Koordinierungsaufwand innerhalb einer Gruppe, soll die Gruppen-

arbeit nicht auf eine bloße Bearbeitung unzusammenhängender Teilaufgaben reduziert werden.

Auswahlkriterien der Sozialform zur Bearbeitung einer Lernaufgabe werden im Folgenden anhand positiver und negativer Beispiele verdeutlicht:

Einzelaufgabe: Reflektieren Sie die Problematik der Umwelt- und Ressourcengefährdung. Nennen Sie typische Leitbilder und Voraussetzungen des Naturschutzes.

Erläuterung: Studierende sollen eine Auflistung der Leitbilder von ihrem subjektiven Standpunkt aus vornehmen. Die Frage impliziert eigentlich ein höheres Lernzielniveau als durch die Aufgabenstellung erreicht werden kann. Die Bearbeitung der Aufgabe sollte daher in Gruppen- oder Partnerarbeit erfolgen, um einen diskursiven Austausch und die Integration verschiedener Perspektiven und Standpunkte zu ermöglichen.

Gruppenaufgabe: Prüfen Sie im gegebenen Untersuchungsgebiet Erosionsschutzmaßnahmen auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung, um die Bodenerosion durch Wasser zu reduzieren. Welche verschiedenen Maßnahmen kommen auf welchen Flächen in Betracht?

Erläuterung: Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung erfordert keine Gruppenarbeit, da aus der Bearbeitung in einer Gruppe kein entscheidender Mehrwert gegenüber einer Einzelaufgabe resultiert. Lediglich der Umfang der Aufgabe kann durch eine Gruppenarbeit bei arbeitsteiligem Vorgehen für die einzelnen Gruppenmitglieder reduziert werden. Die Aufgabe könnte wie folgt umformuliert werden, um eine Gruppenarbeit zu begründen:

Gruppenaufgabe: Prüfen Sie in ihrem Untersuchungsgebiet geeignete Erosionsschutzmaßnahmen auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung, um die Bodenerosion durch Wasser dem Standort entsprechend zu reduzieren. Vergleichen und diskutieren Sie ihre Ergebnisse und Gründe für die unterschiedlichen Lösungswege.

Erläuterung: Die Lernaufgabe wird in zwei Schritten bearbeitet. Zunächst prognostizieren Studierende die Wirksamkeit unterschiedlicher Erosionsschutzmaß-

nahmen in „ihrem“ Untersuchungsgebiet in Einzelarbeit. Die unterschiedlichen Ergebnisse werden in der Gruppe zusammengetragen und diskutiert.

Teil B

Praxisbezogener Teil

Entwicklung multimedialer Lehr-/Lernmaterialien und praxisnahe Reflexion

Teil B befasst sich mit der praktischen Entwicklung multimedialer Lehr-/Lernangebote auf der Grundlage der in Teil A erarbeiteten theoretischen Konzepte und Empfehlungen. Der Darstellung der im Rahmen des Verbundprojektes WEBEGO gesammelten Erfahrungen schließt sich die Beschreibung und Diskussion entwickelter aufgabenorientierter mmL-Objekte an. Konzepte und Empfehlungen wurden im Rahmen einer Lehrveranstaltung auf Anwendbarkeit und Übertragbarkeit überprüft und werden auf der Basis gewonnener Lernerdaten und Lehrerfahrungen praxisnah reflektiert.

7 Verbundprojekt WEBGEO

WEBGEO ist ein Verbundvorhaben zur Entwicklung und Bereitstellung multimedialer, webbasierter Lehr-/Lernmodule für die Grundausbildung in der Allgemeinen Physischen Geographie sowie in allen ökologisch ausgerichteten Studiengängen. Das Projekt erhielt eine Anschubfinanzierung durch das Programm „Neue Medien in der Bildung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogramms (ZIP) der Bundesregierung der BRD. Innerhalb des Förderzeitraumes von Juli 2001 bis März 2004 konnte ein E-Learning Angebot von über 80 Lehr-/Lernmodulen³⁰ entwickelt werden, das in der Präsenzlehre und im Selbststudium genutzt wird.

Die in WEBGEO erarbeiteten Vorlagen, Standards und Verfahren für die Entwicklung, das Design, die Navigation und Evaluation interaktiver webbasierter Lehr-/Lernmodule bieten mehrere Möglichkeiten zur Weiterentwicklung in Anschlussprojekten. Beispielsweise kann im Innovationsprojekt³¹ des Fachbereiches Geowissenschaften/Geographie der Universität Frankfurt in Kooperation mit interessierten Hochschullehrenden das Angebot an eLearning Modulen auf der in WEBGEO geschaffenen Basis erweitert (vgl. Kapitel 9).

³⁰ Zugang zu den Lehr-/Lernmodulen über die URL: <http://www.webgeo.de>

³¹ URL zum eLearning Portal: <http://www.goethe-geo.de>

7.1 Zielsetzung des Verbundvorhabens WEBGEO

Die Entwicklung webbasierter multimedialer Lehr-/Lernmodule zielt auf eine Vermittlung geowissenschaftlichen Prozessverständnisses für die verschiedenen Kompartimente der Geo- und Biosphäre. Mit dem Aufbau einer soliden Wissensbasis zu den verschiedenen Teilbereichen des Geosystems Erde sollen die Module zu einem Ausgleich der zum Teil erheblichen Unterschiede der natur- und geowissenschaftlichen Vorkenntnisse der Studierenden beitragen. Mit der Modellierung und Visualisierung von Kausalitäten und Prozessen im Geosystem Erde wird eine Verbesserung des Verständnisses geowissenschaftlicher Konzepte und komplexer Zusammenhänge innerhalb unserer Umwelt angestrebt. Die kritische Reflexion des Prozesses der Wissensaneignung, des Gültigkeitsbereiches von Prozesssimulationen und des Realitätsanspruches von virtuellen Welten stellt darüber hinaus eine wichtige Zielsetzung des Verbundvorhabens dar.

Das Lernangebot von WEBGEO ist in erster Linie für Studienanfänger der Studiengänge mit geo- und umweltwissenschaftlicher Ausrichtung –eingeschlossen der Lehramtsstudiengänge und Nebenfachstudenten – angelegt. Da die Lernmodule überwiegend keine geographischen Vorkenntnisse voraussetzen, sie sind in sich aufbauend konzipiert, ist der Einsatz einiger Module bereits in der Schule möglich. Hier bietet sich schwerpunktmäßig der Einsatz in der gymnasialen Oberstufe an. Aufgrund der freien Zugänglichkeit über das Internet können darüber hinaus alle, die Interesse an geographischen Fragestellungen haben, von dem Lehr-/Lernangebot profitieren.

7.2 Organisationsstruktur

An dem Projekt WEBGEO sind acht deutsche Hochschulen aus Frankfurt, Trier, Freiburg, Halle-Wittenberg, Heidelberg, Würzburg und Berlin beteiligt. Aus ihnen hat sich ein Verbund aus acht Teilprojekten gebildet. Das interuniversitäre Projekt umfasst fünf Teilgebiete der Allgemeinen Physischen Geographie: Geomorphologie (WEBGEO|geo; Universität Frankfurt), Klimatologie (WEBGEO|klima; Universität Freiburg), Bodengeographie/Pedologie (WEBGEO|pedo; Universitäten Heidelberg, Trier, Würzburg und Berlin), Hydrologie (WEBGEO|hydro; Pädagogische Hochschule Freiburg) und Vegetationsgeographie (WEBGEO|vegetation;

Universität Freiburg). Die Didaktik (WEBGEO|didakt; Universität Frankfurt und Pädagogische Hochschule Freiburg) nimmt im Projekt eine verbindende Funktion ein. Ergänzt wird der Verbund durch zwei zentrale Einrichtungen (vgl. Abb. 7.1): „Kompetenzzentrum graphische Animation und Modellierung“ (WEBGEO|kamo; Universität Freiburg) und Teilprojekt „Fernerkundung und Virtuelle Landschaften“ (WEBGEO|fevil; Universität Halle-Wittenberg).

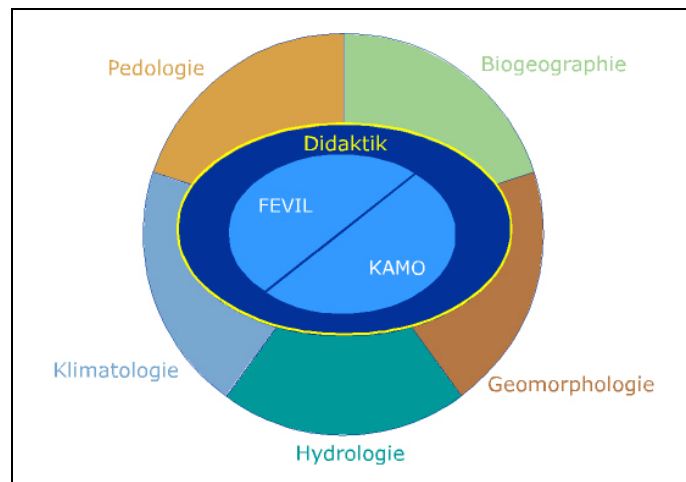


Abb. 7.1: Organisationsstruktur des Verbundprojektes WEBGEO. Die Teilgebiete der Physischen Geographie werden durch die Didaktik verbunden und gruppieren sich um die zentralen Einrichtungen WEBGEO | fevil und WEBGEO | kamo.

7.3 Das Teilprojekt Geomorphologie (WEBGEO|geo)

Die Unterstützung der Wissensaneignung zu fossilen, subrezentem und rezenten Prozessen, die das heutige Erscheinungsbild der Erdoberfläche und das damit verbundene Geopotential verursacht haben, bildet den Schwerpunkt des Teilprojektes Geomorphologie. Ziel ist es dabei, das Wissen über einzelne Formen und Prozesse zu einem sinnvollen Ganzen zu verbinden sowie das aus den Prozessen resultierende räumliche Verbreitungsmuster dem Zusammenspiel unterschiedlicher Umweltfaktoren zuordnen zu können. Die Überprüfung modellhafter Vorstellungen über Prozesskomplexe, anhand von Untersuchungen vor Ort, stellt einen wichtigen Aspekt im Lernprozess dar.

Das Teilprojekt WEBGEO|geo war am Institut für Physische Geographie der Universität Frankfurt angesiedelt. Die Leitung des Teilprojektes lag bei Herrn Prof. Dr. Johannes B. Ries. Im Teilprojekt waren zwei wissenschaftliche Mitarbeiter/-innen mit jeweils einer halben Stelle angestellt. Hinzu kamen eine studen-

tische wissenschaftliche Hilfskraft und zwei Diplomanden/-innen, deren Diplomarbeit in WEBGEO angesiedelt waren. So konnten in der Projektlaufzeit 18 geomorphologische Lehr-/Lernmodule entwickelt werden.

Durch die enge Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt WEBGEO|Didakt der Universität Frankfurt unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Volker Albrecht wurde über die Konzeption und Entwicklung der Lehr-/Lernmodule hinaus grundlegende Arbeit bei der Entwicklung teilprojektübergreifender Konzepte und Vorlagen sowie dem prototypischen Einsatz der Module geleistet.

7.4 Modularisierung des Lehr-/Lernangebotes bei WEBGEO

Das Lehr-/Lernangebot des Projektes WEBGEO ist modular aufgebaut. Die Modularisierung erfolgt in zwei Komplexitätsniveaus (vgl. TILLMANN *et al.* 2005, 103). In so genannten *Basislernmodulen*, in denen einzelne Wissensbausteine erarbeitet werden und die in sich eine abgeschlossene Lernsequenz darstellen, werden Hinweise auf inhaltliche Verbindungen und Anknüpfungspunkte gegeben. Mehrere Basislernmodule bilden *Strukturlernmodule*, in denen Verflechtungen der Wissensbausteine in Strukturdiagrammen und Blockbildern (die dann zur Auswahl und Navigation dienen) sichtbar werden, damit der Blick für übergeordnete Strukturen und Zusammenhänge nicht verloren geht. Die Segmentierung des Lehrstoffes in unterschiedliche Komplexitätsniveaus folgt damit didaktischen Ansätzen von SALZMANN (1970), der in seinem Modell in einen Innen- und einen Außenhorizont differenziert und von REIGELUTH (1999), der im Rahmen der Elaborationstheorie ein Vorgehen von einer Gesamtübersicht aus vorschlägt (vgl. Kapitel 3.1), von der aus einzelne Ausschnitte des Stoffgebietes zunehmend detaillierter behandelt werden. Größere Zusammenhänge werden dargestellt, indem von Zeit zu Zeit zu einer Übersicht zurückgekehrt wird, die Hauptkomponenten des Lehrstoffs und deren Beziehung zueinander aufzeigt. Segmentierung und Sequenzierung im Projekt WEBGEO sehen im Sinne der Elaborationstheorie REIGELUTHS Übersichten zur inhaltlichen Orientierung in den Strukturlernmodulen und die Behandlung einzelner Ausschnitte des Stoffgebietes in den Basislernmodulen vor.

In Anlehnung an das Modell von SALZMANN spiegeln Übersichten und Lernzüge der Strukturlernmodule den Außenhorizont wider, der die inhaltlichen Verbindungen mit benachbarten oder umfassenden Zusammenhängen bestimmt, Basislernmodule den Innenhorizont.

7.4.1 Der Aufbau von Basis- und Strukturlernmodulen

7.4.1.1 Basislernmodule

Ein WEBGEO-Lernmodul (BLOW als Akronym für Basis-Lernobjekt WEBGEO) dient der Bearbeitung einer in sich möglichst geschlossenen, kompakten thematischen Einheit, die flexibel in verschiedenen Kontexten einsetzbar ist und als Wissensbaustein zur intensiven Auseinandersetzung mit einem Thema führt. Auf Grundlage der mediendidaktischen Konzeption und fortlaufenden Evaluation und Anpassung der Module gelten folgende Gestaltungsprinzipien als Rahmenvorgaben:

- **Bearbeitungszeit**
Die Bearbeitungszeit eines Lernmoduls sollte eine Idealdauer von ca. 10 – 30 min umfassen und maximal eine Stunde betragen.
- **Interaktionsmöglichkeiten**
Durch möglichst zahlreiche und vielfältige interaktive Komponenten sollen Möglichkeiten geschaffen werden, mit Modellen, Animationen, Diagrammen usw. aktiv zu arbeiten. Inhalte sollen selbst gesteuert genutzt werden. Die Materialien sollen zum Experimentieren, Explorieren, Analysieren und Entscheiden anregen.
- **Anwendungsorientierung**
Es ist möglichst eine Einbindung der Aufgaben und Übungen in eine geeignete Fragestellung/Problemstellung vorzunehmen, wenn möglich, in einen Kontext, der an Vorwissen und Alltagserfahrungen anknüpft. Weiterhin ist ein Transfer der Fragestellung in die Praxis zu beachten, um Anknüpfungspunkte zur praktischen Verwendung zu bieten.
- **Hinweise zur Bearbeitung**
Anleitende Hinweise zur Bearbeitung der Lernaufgaben und zum Umgang mit Modellen und Übungen müssen ausreichend zur Verfügung stehen, um ein produktives Arbeiten in der Selbstlernphase zu gewährleisten.

Unterstützt wird die Bearbeitung der Lernmodule durch ein Glossar, welches direkt mit den Inhaltsseiten verlinkt ist. Fachbegriffe können so während der Bearbeitung der Modulinhalte abgerufen werden.

Die Grundstruktur eines WEBGEO-Basislernmoduls wurde im Projekt einheitlich festgelegt. Jedes Modul beginnt mit einer Startseite zur Einführung und Orientierung. Neben dem Modultitel, Kurz- und Kontextinformationen (Optional kann das Lernziel genannt werden), Informationen zu erforderlichen Vorkenntnissen, Autoreninformationen und der voraussichtlichen Bearbeitungszeit beinhaltet die Startseite einen „Aufmacher“ z.B. ein leicht verständliches, anschauliches und eingängiges Anwendungsbeispiel, einen Vergleich mit Alltagsbezug, eine interessante Frage- bzw. Problemstellung, eine historische Entwicklung usw., so dass die Relevanz bzw. die Bedeutung des Themas klar zum Ausdruck kommt. Inhaltsseiten sind gekennzeichnet durch ein interaktiv nutzbares Lernangebot, das aus Texten, Graphiken, Animationen, Modellierungen, Simulationen, Lernaufgaben und Übungen besteht. Die Verknüpfung des in „Seiten“ organisierten Lehr-/Lernangebotes wird über eine Datenbank gesteuert, so dass neben einer linearen Seitenabfolge auch verzweigte oder netzwerkartige Abfolgen innerhalb eines Moduls realisierbar sind. Optional bieten integrierte Tests den Lernenden am Ende einer Lernsequenz eine zusätzliche Möglichkeit, ihren Lernfortschritt selbständig zu überprüfen.

Die Schlussseite eines Moduls enthält eine Zusammenfassung, die die wichtigsten inhaltlichen Aussagen hervorhebt. Darüber hinaus sind die Quellen der Materialien und Literatur angegeben. Weiterführende Literatur, weiterführende und thematisch verwandte WEBGEO-Module und Links im Internet werden aufgeführt.

7.4.1.2 Strukturlernmodule

Um die Lernmodule im Selbststudium auch in thematisch größeren Zusammenhängen anwenden zu können, werden die Basislernmodule zu übergeordneten Strukturlernmodulen (so genannten SLOW als Akronym für Struktur-Lernobjekt WEBGEO) zusammengestellt und in unterschiedlicher Weise zu komplexen Lernstrukturen vernetzt. Mehrere thematisch aufeinander bezogene Basislernmodule können so z.B. Kontextbezüge oder Studienkurse abbilden, die in Guided

Tours oder in freier Vernetzung vom Lernenden bearbeitet werden können. Durch die Möglichkeit der flexiblen Kombination von Lehr-/Lerninhalten können sowohl fachsystematische als auch problem- und themenorientierte Zugänge angeboten werden. Je nach individuellem Wissensstand und Interesse bieten sie dem Lernenden die Möglichkeit verschiedenen Lernwegen zu folgen, so dass unterschiedliche Lernstrategien zur Anwendung kommen können: Themenbereiche können über vorgegebene Lernwege (*Guided Tours*) erschlossen werden. Die Lernwege können z.B. einer fachsystematischen Struktur folgen oder anhand einer Problemstellung ein Thema erschließen. Guided Tours bieten unter anderem für Studierende, die ein für sie bisher unbekanntes Stoffgebiet bearbeiten wollen, einen sinnvollen Einstieg.

Eine selbstgesteuerte Auswahl von Inhalten, die z.B. über ein Blockbild angeboten wird (Abb. 7.2), ermöglicht es Nutzern eigenen bzw. selbst erkannten Frage- und Problemstellungen nachzugehen und die Inhalte je nach Interesse über freies Navigieren zu erschließen.

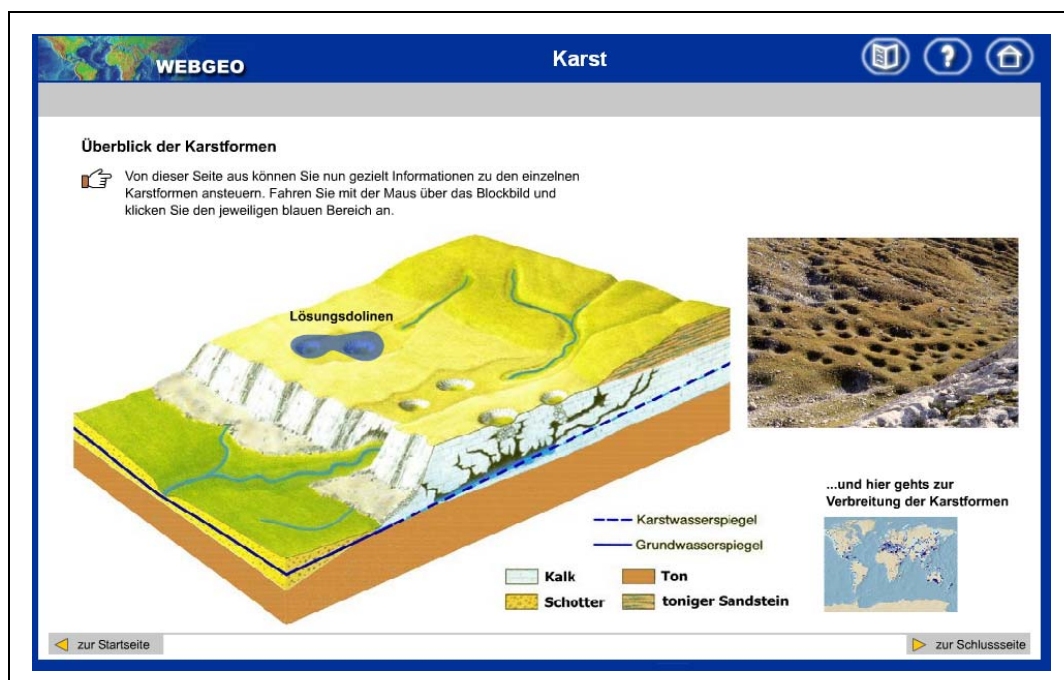


Abb. 7.2: Ein Lernzugang im Strukturlernmodul Karst, der die selbstgesteuerte Auswahl von Inhalten über sensitive Schaltflächen in einem Blockbild ermöglicht.
(http://www.webgeo.de/module/rahmen.php?string=24;f_024;3.1;)

Ein weiterer Lernzugang im Rahmen der WEBGEO-Strukturlernmodule bieten themenbezogene Fragestellungen (Abb. 7.3). Eine zur Verfügung stehende Aus-

wahl an Fragen und Themen soll vor allem das Interesse der Studierenden wecken und dazu motivieren, sich mit dem Thema zu beschäftigen. Die Fragen und Themen führen als Hyper-Links zu entsprechenden Basislernmodulen oder einzelnen Web-Seiten der Basislernmodule.

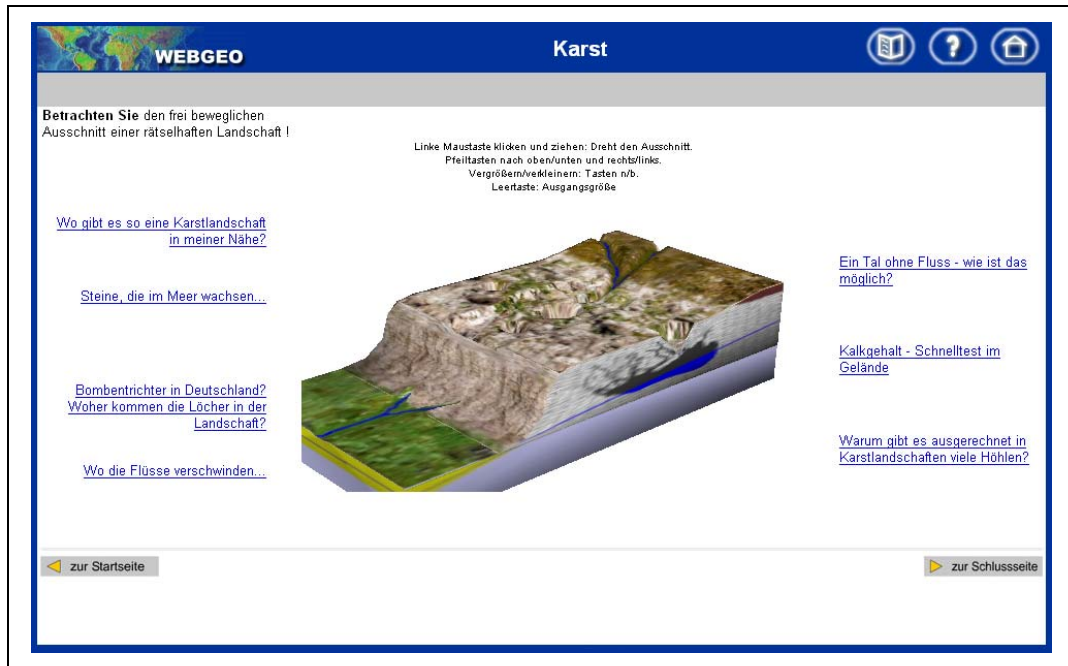


Abb. 7.3: Fragen- und problemorientierter Zugang im WEBGEO-Strukturlernmodul Karst. Neben den Fragestellungen und Themen soll das 3D-Blockbild einer Karstlandschaft, welches interaktiv gedreht und geneigt werden kann, Zusammenhänge von ober- und unterirdischen Prozessabläufen verdeutlichen und zur Motivation der Studierenden, sich mit dem Thema zu beschäftigen, beitragen (http://www.webgeo.de/module/rahmen.php?string=24;f_024;4.1).

Durch die zeitgleiche mediale Repräsentation des Wissens, welches über unterschiedliche Zugänge angeboten wird, bieten sich - anders als bei vorstrukturiertem Unterricht – mehr individuelle, lernerorientierte Wahlmöglichkeiten der Wissensaneignung. Unterschiedliche Vernetzungsmöglichkeiten des Lernangebotes können einem „Schubladen lernen“ entgegenwirken und zu vernetzendem Denken führen, indem Inhalte in verschiedenen Kontexten angeboten werden.

7.5 Technische Grundlagen von WEBGEO

Die in den vergangenen Jahren rasant zunehmende Leistungsfähigkeit der Informations- und Kommunikationstechnologie bietet weitreichende Möglichkeiten für die Konzeption und Entwicklung webbasierter mmL-Angebote (vgl. Kapitel 4).

Der Stand der technologischen Entwicklung beeinflusst Interaktions- und Visualisierungsmöglichkeiten in großem Maße. Um die Rahmenbedingungen der Entwicklungen im Projekt WEBGEO einschätzen zu können, sollen die technischen Grundlagen im folgenden kurz dargestellt werden.

7.5.1 Standards und Web-Technologien von WEBGEO

Für die Entwicklung webbasierter Lehr-/Lernmaterialien wurde im Projekt WEBGEO eine Lösung mit etablierten und weit verbreiteten Standards gesucht, die einerseits die Umsetzung interaktiver Anwendungen, Animationen, Abfragen usw. ermöglichen und andererseits Inhalte plattformübergreifend verfügbar machen können. Für die Umsetzung von zweidimensionalen Inhalten, Interaktionsmöglichkeiten über Schieberegler, Schaltflächen, Drag & Drop etc. und verschiedenen Aufgabentypen (vgl. Kapitel 5) wurde daher die von der Firma Macromedia entwickelte „Shockwave-Flash“-Technologie favorisiert und der Shockwave-Flash Standard (Dateinamen-Erweiterung „SWF“) festgelegt. Eingesetzte WebGIS-Anwendungen basieren auf der ArcIMS-Technologie der Firma ESRI. Interaktive Karten werden vom Server als Pixelgraphiken übertragen und in HTML- bzw. PHP-Seiten integriert, so dass auf der Anwenderseite zum Abrufen der Inhalte keine weiteren Plug-ins notwendig sind. Zur Entwicklung dreidimensionaler Inhalte dient das Shockwave3D-Format (Dateinamen-Erweiterung „DCR“), welches im Vergleich zu anderen Standards, wie der Virtual Modelling Language (VRML), vergleichsweise weit verbreitet ist und hohe Kompatibilität mit unterschiedlichen Browser-Plug-ins zeigt. Die Plug-ins von Macromedia³² sind kostenfrei verfügbar (bei neueren Browsern ist der Flash-Plug-in bereits häufig integriert), so dass potentielle Nutzer weltweit auf das Lehr-/Lernangebot zugreifen können.

Serverseitig läuft ein UNIX-Betriebssystem auf einem Sun Blade Rechner als zentraler WEBGEO-Server in einer so genannten UAMP-Konfiguration (die Abkürzung UAMP steht für UNIX, Apache, MySQL und PHP). Der Apache 2.1 arbeitet als http-Serveranwendung. Für die Navigation des mML-Angebotes sind PHP-Skripte in Kombination mit einer MySQL-Datenbank die technische Grundlage. Die Navigationsstruktur ist in der MySQL-Datenbank eingetragen und

³² Kostenloser Download des Flash- und Shockwave3D-Plug-ins unter:
<http://www.macromedia.com/downloads/>

wird vom Server über die PHP-Skripte abgerufen. Inhalte können auf diese Weise flexibel in unterschiedlichen Kontexten und Zusammenstellungen abgerufen werden. Auf Anfrage eines Nutzers (*engl.* client) werden vom Server Dateien im HTML 4.0-Format generiert, die über Verweise Flash- und Shockwave3D-Objekte sowie Graphiken aufrufen. Nutzerdaten, die beim Aufrufen des Online-Angebotes und bei der Bearbeitung von Aufgaben, Übungen und Tests anfallen, werden über PHP-Skripte an die MySQL-Datenbank weitergegeben und nutzerspezifisch gespeichert. Die Auswertung der Daten liefert Hinweise über die individuelle Bearbeitung des Lernangebotes durch die Studierenden (vgl. Kapitel 10.3).

7.5.2 Technische Anforderungen auf Anwenderseite

Der Zugriff auf das Lehr-/Lernangebot von WEBGEO erfordert folgende soft- und hardwaretechnischen Voraussetzungen:

- Softwaretechnisch ist ein Internet-Browser mit JavaScript Unterstützung, Flash-Plug-in ab Version 6.0 und – zum Aufruf von 3D-Objekten – ein Shockwave-Plug-in ab Version 8.5.1 erforderlich.
- Hardwareseitig sollten die Anwender-Rechner mindestens über einen Pentium III (oder vergleichbar leistungsstarken) Prozessor mit 600 MHz und 128 MB Arbeitsspeicher verfügen, um einen raschen Bildschirmaufbau und eine ruckelfreie Wiedergabe von Animationen und Videos zu gewährleisten. Die Seitengestaltung ist für eine Bildschirmauflösung von 1024 x 768 Pixel optimiert. Bei geringerer Auflösung wird eine Inhaltsseite nicht mehr vollständig auf dem Bildschirm dargestellt. Für eine flüssige Darstellung von 3D-Objekten sollte eine Graphikkarte mit hardwareseitiger OpenGL- oder DirectX-Unterstützung genutzt werden. Die Nutzung der webbasierten Lehr-/Lernmodule findet über eine Internetverbindung statt. Um lange Ladezeiten zu vermeiden, sind Dateigrößen möglichst klein gehalten (überwiegend kleiner als 100 KB), so dass sich bei der Nutzung eines Analogmodems in der Regel Ladezeiten von unter einer Minute pro Seite ergeben. Der aktuelle Ladefortschritt wird Nutzern beim Aufruf angezeigt.

7.5.3 Technische Anforderungen für die Entwicklung

Bei der Entwicklung des mmL-Angebotes kamen sehr unterschiedliche Software-Produkte zum Einsatz. Die Hardwareausstattung orientiert sich dabei an den Anforderungen der jeweiligen Programmversionen.

Der Großteil der Online-Materialien wurde mit dem Autorensystem Flash MX von Macromedia entwickelt. Zur Programmierung der Interaktionsmöglichkeiten von 3D-Objekten und Bereitstellung der Objekte in einem Web-Browser kam das Programm Director (Version 8.5) von Macromedia zum Einsatz. Entwickelt wurden die 3D-Objekte mit Hilfe der Software Cinema 4D Release 7.2 von Maxon, die auch für dynamische Landschaftsvisualisierungen genutzt werden konnte. Die Web-GIS-Anwendungen wurden mit ArcGIS 9 im ArcIMS-Modul von ESRI umgesetzt. Die Geodatenverarbeitung im Rahmen von Modellierungen und Landschaftsvisualisierung wurde mit ArcView 3.2 von ESRI durchgeführt. Im GIS erzeugte digitale Karten können durch die Freehand-Erweiterung MAPublisher 4.0 von Avenza graphisch überarbeitet und anschließend in Flash importiert werden. Zur Bearbeitung von Vektorgraphiken wurde Freehand 10 von Macromedia genutzt. Digitale Bildbearbeitung erfolgte mit Adobe Photoshop 6.0.

8 Beschreibung exemplarisch entwickelter, aufgabenorientierter mmL-Objekte zum Prozesskomplex Bodenerosion

In diesem Kapitel werden die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Lehr-/Lernmaterialien zum Thema Bodenerosion beschrieben. Die Beispiele zeigen Möglichkeiten zur Umsetzung der vorangegangenen Empfehlungen zur Konzeption und Entwicklung sowie Kategorisierung aufgabenorientierter mmL-Objekte (Kapitel 5 und 6). Die vorgestellten Umsetzungsbeispiele können in unterschiedlichen Kontexten, z.B. zum Selbststudium als Teile von Basis- und Strukturmodulen im Rahmen des Lehr-/Lernangebotes von WEBGEO oder als Teilelemente in hybriden Lernarrangements eingesetzt werden.

Allgemeine Angaben zur Beschreibung der mmL-Objekte

Die im folgenden beschriebenen mmL-Objekte sind auf der beigelegten CD-ROM enthalten. Sie verdeutlichen und ergänzen die schriftlichen Ausführungen. Nur in Verbindung mit den interaktiven Anwendungen ergibt sich ein vollständiges Bild der Möglichkeiten webbasierter Aufgabenkonstruktion und Modellierung. Es empfiehlt sich daher, die mmL-Objekte auf der CD parallel zur Lektüre bzw. vor der Lektüre der folgenden Kapitel zu studieren. Ausführliche Erläuterungen der fachdidaktischen und fachwissenschaftlichen Grundlagen finden sich in Kapitel 3. Im folgenden wird auf die Charakteristika der aufgabenorientierten mmL-Objekte zum Thema Bodenerosion in Bezug auf die in Kapitel 6 eingeführten Aufgabenformen und den mit den Aufgaben verbundenen kognitiven Zielhorizonte (zu erwerbende Kompetenzen) eingegangen. Dabei findet eine Zuordnung der Teilkomponenten des Lehr-/Lernangebotes entsprechend der in Kapitel 5 entwickelten Kategorisierung statt. Darüber hinaus wird aufgezeigt, auf welche Weise die in Kapitel 3 identifizierten Potentiale webbasierter digitaler Medien bei der Konzeption und Entwicklung aufgabenorientierter mmL-Objekte nutzbar gemacht werden können.

Die Beschreibung der einzelnen mmL-Objekte ist dazu in folgende Punkte gegliedert:

1. Erläuterungen der Charakteristika der aufgabenorientierten mmL-Objekte
2. Beschreibung der integrierten Lernaufgaben
3. Beispiele für zusätzliche Lernaufgaben zu den mmL-Objekten
4. Beschreibung der zu erwerbenden Kompetenzen bzw. der mit den mmL-Objekten verbundenen kognitiven Zielhorizonte
5. Kategorisierung der Aufgabenformen, Darstellungsformen, Aufgabentypen mit direkter Rückmeldung und Interaktionsmöglichkeiten
6. Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung in Präsenzphasen

8.1 Bodenerosionsmodellierung

Die beschriebenen aufgabenorientierten mmL-Objekte sind konzeptionell in einem dimensionsübergreifenden Downscaling-Ansatz verankert (vgl. Kapitel 3.3.2). Durch die Bearbeitung der Aufgaben kann Studierenden der Einfluss unterschiedlicher Faktoren und Prozesse in ihrer raum-zeitlichen Variabilität in unterschiedlichen Maßstabs- und Komplexitätsniveaus verdeutlicht sowie Folgen und mögliche Gegenmaßnahmen der Bodenerosion im Rahmen unterschiedlicher Modellierungen aufgezeigt werden. Praxisorientierte Aufgabenstellungen zu Standardverfahren landschaftsökologischer Planungs- und Bewertungsmethoden bieten einen Zugang zu geographischen Arbeitsmethoden und können die Grundlage für Diskussionen über Bewertungsverfahren geökologischer Risiken und landwirtschaftlicher Nutzungspotentiale bilden. Die aufgabenorientierten mmL-Objekte sind als ein Teil eines Lehr-/Lernarrangements konzipiert, welches aus Präsenz- und Online-Phasen aufgebaut sein sollte (vgl. Kapitel 10). Eine Hinführung zu Lernaufgaben zu unterschiedlichen Modellierungen sowie die Nutzung von Modellanwendungen kann einerseits in Präsenzphasen stattfinden und/oder – sofern es sich um Lernmaterialien handelt, die im Selbststudium bearbeitet werden sollen – mit Hilfe von webbasierten Materialien (z.B. WEBGEO-Lernmodule).

8.1.1 Aufgabenorientiertes mML-Objekt zum Einsatz eines Screening Modells in Verbindung mit einem GIS-basierten Internet Mapping System

8.1.1.1 Beschreibung des mML-Objektes

Anwendung des Verfahrens zur Ermittlung der potentiellen Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser

Beurteilungsschema zur Ermittlung der potentiellen Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser in Abhängigkeit von Bodenart und Hangneigung
(Stufen der Erosionsgefährdung: 1 = sehr gering bis 5 = sehr hoch)

Neigungsstufe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Neigung %	<1	1-<2	2-<3,5	3,5-<5	5-<9	9-<12	12-<18	18-<27	27-<36	>=36	
Erodierbarkeits-Stufen	1	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5
	2	0	0	0	0	1	2	2	3	4	5
	3	0	0	1	1	2	3	3	4	5	5
	4	0	1	1	2	3	4	4	5	5	5
	5	1	2	2	3	4	5	5	5	5	5

Welche Nutzflächen sind im folgenden Beispiel potentiell besonders erosionsgefährdet?

Nutzen Sie das Internet Mapping System (IMS), um in einer Region die potentiell sehr hoch erosionsgefährdeten Flächen (Stufe 5) zu identifizieren. Führen Sie dazu verschiedene Datenbankabfragen durch!

[Über diesen Link öffnen Sie das IMS.](#)

Wie viele Flächen sind potentiell sehr hoch erosionsgefährdet (Stufe 5) ? ▶ Tipps

Antwort: Flächen.

▶ Antworten überprüfen ▶ Reset

Kurzzeichen der Bodenarten	Erodierbarkeit durch Wasser
gS, Ts2, T1, Tu2, Tt	1 sehr gering
mS, mSfs, St2, St3, St2, St3, St4, Slu, Lt3, Lts, Ls3, Tu3	2 gering
fSms, fS, fSi, Tu4, Lt2, Su, Ls2, Uf4, Ut4	3 mittel
fSu3, fSu2, Uf3, Ut3	4 hoch
fSu4, Ufs, Us, Uu, Uf2, Ut2	5 sehr hoch

Abb. 8.1b: MmL-Objekt zur Ermittlung der potentiellen Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe eines GIS-basierten Internet Mapping Systems (IMS).

Die Bearbeitung der Lernaufgabe ermöglicht es Studierenden, ein Verfahren zur Ermittlung der potentiellen Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser in Abhängigkeit von der Bodenart und Hangneigung als ein Screening Modell in Verbindung mit einem GIS-basierten Internet Mapping System (IMS) kennen zu lernen. Der Ansatz des Screening Modells veranschaulicht das Konzept, ein Bewertungsverfahren durch den Einsatz eines Geographischen Informationssystems flächenhaft anwenden zu können.

Das mML-Objekt besteht aus drei Teilen. Im ersten Teil wird in die Modellgrundlagen eingeführt (Abb. 8.1a; siehe CD). Im zweiten Teil wird das Klassifikationsschema zur Bewertung potentiell gefährdeter Flächen vorgestellt und die Aufgabenstellung erläutert (Abb. 8.1b). Durch Klick auf die Schaltfläche „Tipps“ kann eine Anleitung zur Durchführung der Klassifikation im Internet Mapping System (IMS) aufgerufen werden, die Schritt für Schritt die Nutzung des IMS erläutert (Abb. 8.2).

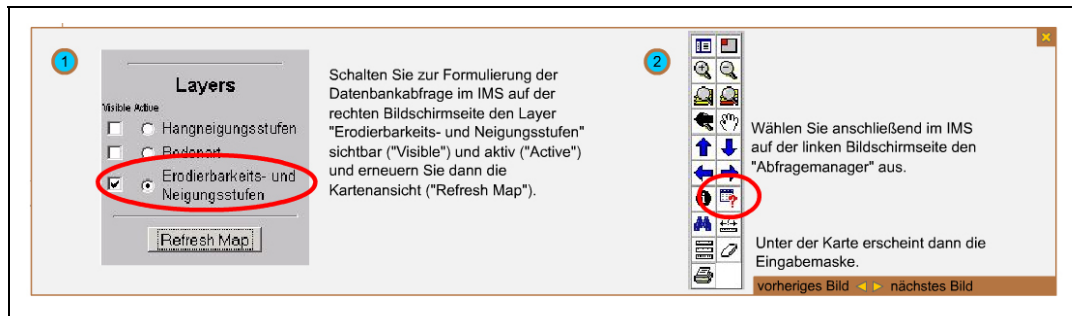


Abb. 8.2: Anleitung zur Anwendung des Screening Modells im Rahmen eines Internet Mapping Systems (IMS). Die Anleitung wird über die „Tipps“ Schaltfläche aufgerufen.

Der dritte Teil des mML-Objektes besteht aus dem Internet Mapping System, welches über einen Hyperlink in einem zusätzlichen Fenster aufgerufen wird (Abb. 8.3).

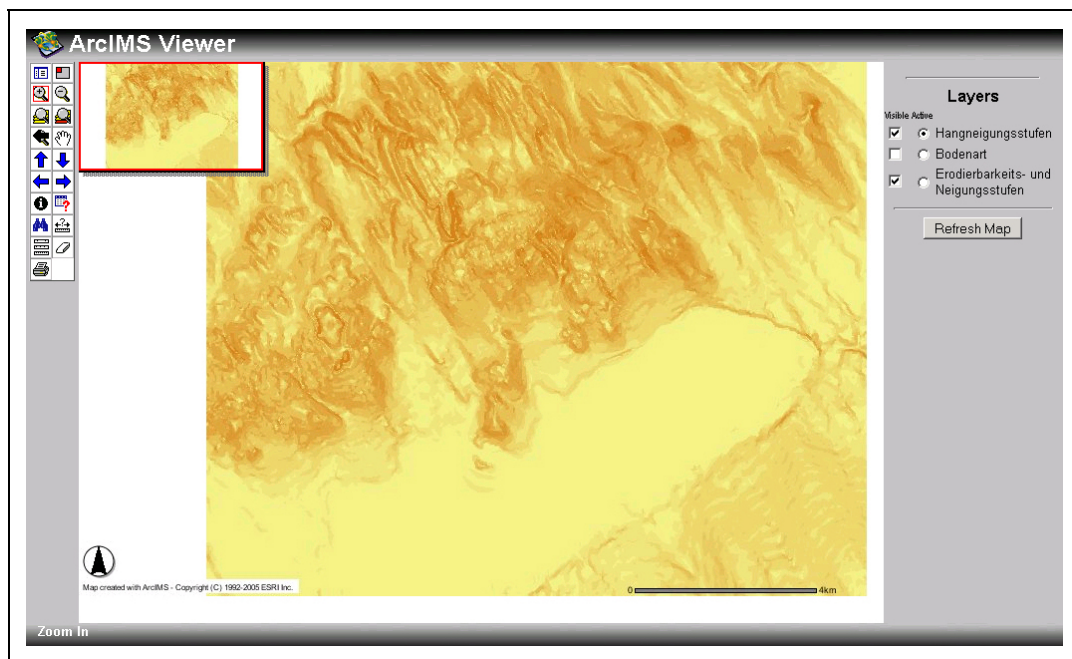


Abb. 8.3: Internet Mapping System (IMS) zur Ermittlung potentiell erosionsgefährdeter Flächen in Abhängigkeit von Bodenart und Hangneigungsstufe. Die Ansicht zeigt die Klassifikation der Hangneigungsstufen nördlich des Velenceer Sees in Ungarn. Der See wird als große homogene Fläche im unteren Teil der Kartenansicht dargestellt (<http://webgis.geographie.uni-frankfurt.de/Website/poterosion/>).

Zur Abfrage der Flächenausprägungen, Erodierbarkeitsstufe der Bodenart und Hangneigungsstufe, wird der aus der Verschneidung hervorgegangene Daten-Layer „Erodierbarkeits- und Neigungsstufen“ aktiviert; im Abfragemanager werden entsprechende Datenbank-Abfragen formuliert. Der Datensatz wurde zuvor

durch räumliche Verschneidung der Bodenarten und Hangneigungsklassen erzeugt.

Zur Vertiefung des Modellverständnisses stehen zwei weitere aufgabenorientierte mmL-Objekte zur Verfügung, die den Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf Erosionsprozesse beschreiben (mmL-Objekt zur Anfälligkeit des Bodens gegenüber Erosion, Abb. 8.4 und mmL-Objekt zur Bestimmung der Bodenart, Abb. 6.15, S. 213).

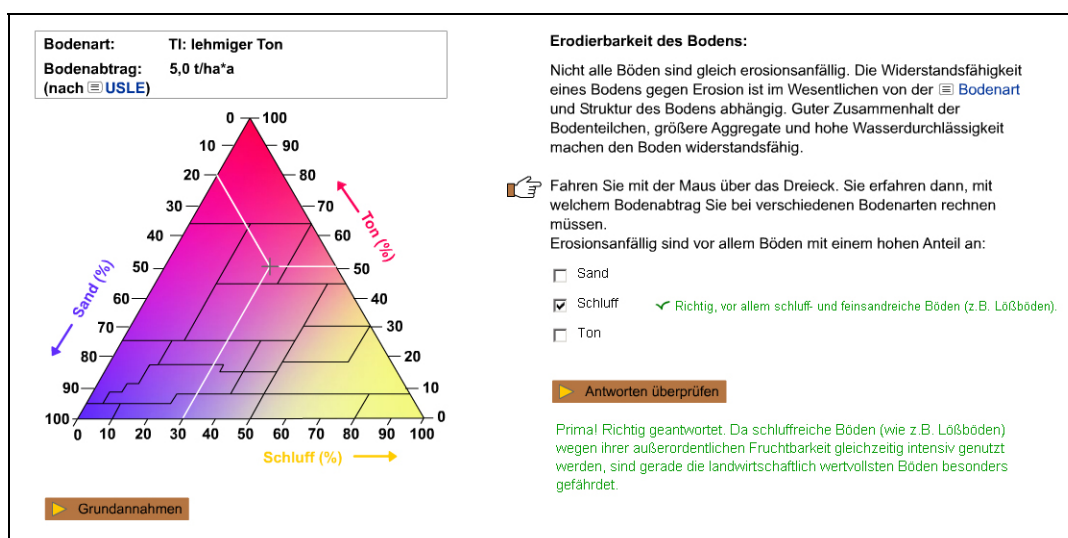


Abb. 8.4: mmL-Objekt zur Anfälligkeit des Bodens gegenüber Wassererosion

8.1.1.2 Integrierte Lernaufgabe

Die integrierte Aufgabenstellung des mmL-Objektes (Abb. 8.1) zielt auf die aktive Auseinandersetzung von Studierenden mit dem Beurteilungsschema zur Ermittlung der potentiellen Erosionsgefährdung von ackerbaulich genutzten Flächen anhand eines Beispieldatensatzes. Zur Lösung der Aufgabe ist die Nutzung des GIS-basierten Internet Mapping Systems (IMS) erforderlich. Mit Hilfe des „Abfragemanager“ können Flächen nach Merkmalsausprägungen (Erodierbarkeits- und Neigungsstufe) selektiert werden. Die Bearbeitung gewährt einen Einblick in ein Konzept geökologischer Modellierung in Verbindung mit aktuellen geographischen Arbeitsmethoden. Als Hilfestellung dient eine Anleitung zur Nutzung des IMS und Formulierung der Datenbankabfragen.

8.1.1.3 Zu erwerbende Kompetenzen

Die Bearbeitung des mmL-Objektes zielt auf eine Aneignung von Kenntnissen über geoökologische Modellierungstechniken in Verbindung mit Geographischen Informationssystemen auf Grundlage raumbezogener Geodaten. Durch die aktive Anwendung des Klassifikationsschemas zur Ermittlung potentiell sehr hoch gefährdeter ackerbaulich genutzter Flächen im Internet Mapping System kann das Wissen über die angewandte Verfahrensweise auf eine konkrete Situation übertragen werden. Die Zielkategorie der zu erwerbenden Kompetenz beinhaltet das in der Anwendungsaufgabe genutzte Bewertungsverfahren auf neue Situationen übertragen zu können sowie Fertigkeiten zur Formulierung von Datenbankabfragen in einem IMS (bzw. GIS) zu erwerben.

8.1.1.4 Kategorisierung

Tab. 8.1: Kategorisierung des mmL-Objektes zum Einsatz eines Screening Modells in Verbindung mit einem GIS-basierten Internet Mapping System

Kategorie	Beschreibung
Aufgabenform	Bei der integrierten Aufgabenstellung des mmL-Objektes handelt es sich um eine Anwendungsaufgabe.
Darstellungsformen	Darstellung der raumbezogenen Geodaten in einem Internet Mapping System. Die Parameterdatensätze des GIS-basierten Modellverfahrens, Hangneigung und Bodenart, sind in zwei zusätzlichen Layern visualisiert.
Aufgabentypen mit direkter Rückmeldung	Short-Answer
Interaktionsmöglichkeiten	Kategorie 1, 2 und 3

8.1.1.5 Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung in Präsenzphasen

Das mmL-Objekt bietet Anknüpfungspunkte für Diskussionen über Möglichkeiten der Analyse und (geo-)ökologischen Bewertung von Natur und Landschaft auf Grundlage von Modellverfahren im Hinblick auf ökologische Risiken und landwirtschaftliche Nutzungseignung. Gültigkeitsbereich und Grenzen der Modellanwendung können in Bezug auf Planungs- und Bewertungsverfahren in Verbindung mit der Erfassung und Bewertung von Landschaftsfunktionen in verschiedenen geographischen Dimensionen besprochen werden. Der Einsatz des Screening-Modells im Rahmen eines GIS-basierten Downscaling-Verfahrens zur Vorauswahl von potentiell erosionsgefährdeten Flächen, die anschließend in einem größeren Maßstab mit Hilfe verfeinerter Modellanwendungen analysiert und bewertet werden, sollte in einer Präsenzphase hinsichtlich der Vorteile des Verfahrens und möglicher Fehlerquellen diskutiert werden.

8.1.2 Aufgabenorientiertes mM-L-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung im Rahmen einer Beispiellandschaft

8.1.2.1 Beschreibung des mM-L-Objektes

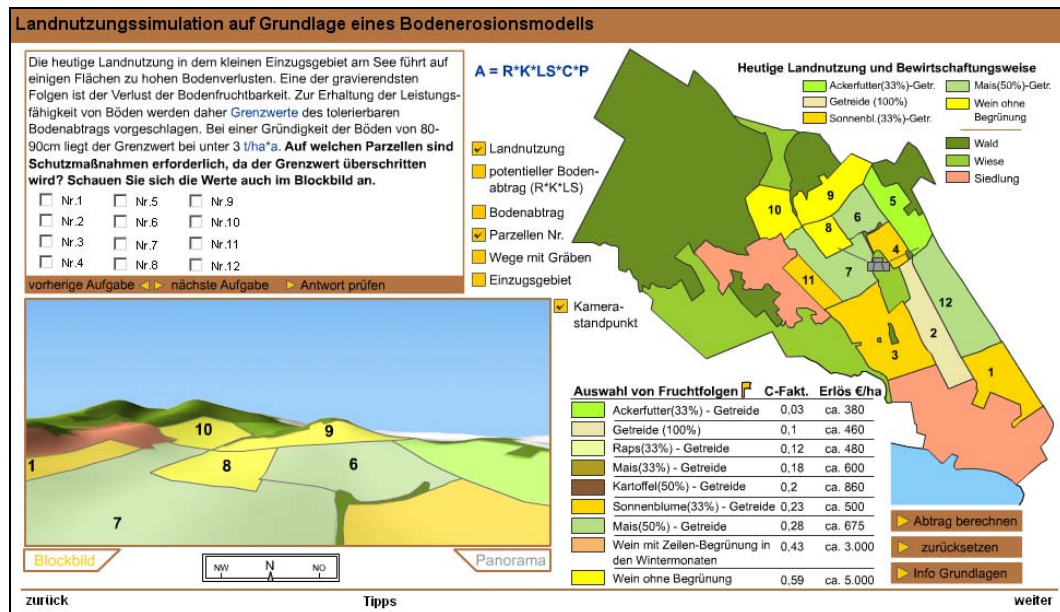


Abb. 8.5: MmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung in einem Teileinzugsgebiet des Velencer Sees in Ungarn

Das mM-L-Objekt stellt eine Simulationsumgebung dar, in der Bodenabtragsprozesse auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG; durch Integration in ein GIS) für unterschiedliche Fruchtfolgen sowie verschiedene Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsweisen in einem Teileinzugsgebiet des Velencer Sees in Ungarn (als Beispiellandschaft) berechnet werden können. Zur Entwicklung der Simulationsumgebung wurden die einzelnen Faktoren der ABAG in einem GIS rasterzellenbezogen (5x5m Raster) berechnet und auf unterschiedlichen Ebenen (Layern) abgelegt. Die LS-Faktoren (zur Beschreibung des Einflusses von Hanglänge und Hangneigung im Erosionsmodell) wurden differenziert auf Grundlage eines digitalen Geländemodells abgeleitet (vgl. Kapitel 3). Prozessrelevante Strukturelemente (Wege, Gräben etc.) wurden dabei mit berücksichtigt. Nach der Verschneidung auf Basis der Rasterzellen (5 * 5 Meter Auflösung) wurden parzellenbezogene Mittelwerte der potentiellen Bodenabtragswerte im GIS

gebildet. Die Werte der einzelnen Flächen werden Nutzern parzellenbezogen angezeigt, so bald sich der Mauszeiger über der zweidimensionalen Planungskarte (rechte Seite) oder über dem Blockbild (linke Seite) befindet und die Werte für den „potentiellen Bodenabtrag“ in der Legende aktiviert sind. Modellierungsgrundlagen sind für Studierende über die Schaltfläche „Info Grundlagen“ abrufbar.

Zur Simulation unterschiedlicher Landnutzungsszenarien können Studierende Fruchtfolgen für die verschiedenen Parzellen auswählen. Über den C-Faktor (Beschreibung des Einflusses der Fruchtfolgen bzw. der Bewirtschaftungs- und Bearbeitungsweise auf das Modellergebnis) werden die Abtragswerte zur Laufzeit berechnet. Klassifizierte Abtragsraten werden in der Planungskarte, im Blockbild und in der Panoramaansicht angezeigt. Diese drei Ansichten sind unmittelbar durch übergreifende Interaktionsmöglichkeiten miteinander verknüpft. Änderungen an einem Visualisierungselement werden direkt in den anderen angezeigt. Werden beispielsweise auf der Planungskarte unterschiedliche Fruchtfolgen gewählt, so spiegeln sich die Änderungen in Echtzeit im Blockbild und in der Panoramaansicht wider. Genauso wird die Änderung des Bildausschnittes im 360° Panorama durch die Ausrichtung der Kamera auf der Planungskarte angezeigt. Durch das Experimentieren mit den unterschiedlichen Perspektiven (2D, 2,5D-Vogelperspektive, Panoramaansicht) wird eine verbesserte Raumvorstellung und ein Einblick in Modellzusammenhänge möglich. Der Einfluss des Reliefs auf Modellierungsergebnisse lässt sich gut durch die 2,5D- und Panoramaansichten der Geländeoberfläche nachvollziehen. Darüber hinaus wird durch die aufwändige Darstellungsform der Beispiellandschaft als 360° Panorama oder Blockbild und die damit verbundenen Interaktionsmöglichkeiten eine positive Wirkung auf die Motivation der Studierenden erwartet (vgl. Kapitel 2.4).

Hilfe zur Nutzung der Simulationsumgebung wird über die Schaltfläche „Tipp“ angeboten. In kurzen Filmsequenzen wird die Auswahl der Fruchtfolgen, die Berechnung des Bodenabtrages, die Bearbeitung der Lernaufgaben und der Wechsel der Ansichtsfenster aufgezeigt.

8.1.2.2 Integrierte Lernaufgaben

Insgesamt sind vier Aufgaben (linke obere Hälfte im mmL-Objekt) mit Anweisungen und Fragestellungen zur Anwendung der Simulation im mmL-Objekt in-

tegiert. Die Aufgaben binden die Landnutzungssimulation in einem situativen Setting ein. Aufgabe 1 führt in dieses Setting ein. In den folgenden Aufgaben findet in fallbasierten Anwendungssituationen eine Fruchtfolgenplanung aus einer Perspektive statt, die hinsichtlich landwirtschaftlicher Nutzungspotentiale auf nachhaltige Bewirtschaftungsweisen ausgerichtet ist (Aufgabe 2). Dabei wird das Konzept der Ausrichtung von Flächennutzungen nach Toleranzgrenzen des Bodenabtrags aufgegriffen. Es wird verdeutlicht, dass Toleranzgrenzen – je nach Zielsetzung – variabel sind und Maßnahmen zur Verringerung des Bodenabtrags einen Lösungsweg zur Reduzierung ökologischer Risiken darstellen können (Aufgabe 4). An weitere Möglichkeiten zur Nutzung des Modells der ABAG als Planungsinstrument zur Gestaltung des Fruchtfolgenmanagements werden Studierende in Aufgabe 3 herangeführt.

8.1.2.3 Beispiel für eine zusätzliche Lernaufgabe zum mML-Objekt

„Experimentieren Sie in dem kleinen Teileinzugsgebiet des Velencer Sees mit unterschiedlichen Fruchtfolgen und simulieren Sie für die unterschiedlichen Landnutzungsszenarien den mittleren langjährigen Bodenabtrag. Bearbeiten Sie dazu die beiden folgenden Aufgaben und senden Sie Ihre Ausführungen anschließend an die Seminarleitung.

- 1) Beschreiben Sie die Wirkung unterschiedlicher Fruchtfolgen auf den Bodenabtrag und erklären Sie die Zusammenhänge!
- 2) Welcher Faktor übt darüber hinaus besonders großen Einfluss auf die Modellierungsergebnisse aus und auf welche Weise beeinflusst dieser Faktor das Abtragsgeschehen?“

Erläuterung:

Das zusätzliche Beispiel einer Lernaufgabe zielt auf die Entwicklung eines Prozessverständnis von Studierenden (wieso bewirken unterschiedliche Fruchtfolgen unterschiedliche Abtragsraten) und auf Einsichten zum Zusammenspiel und zur Wirkung unterschiedlicher Geofaktoren, die sich im Modellergebnis summieren. Beim Simulieren wird der erhebliche Einfluss des Menschen sowie der Einfluss des Reliefs auf Erosionsprozesse veranschaulicht. Es wird ersichtlich, dass die Voraussetzungen für den Bodenabtrag nicht überall gleich stark vorhanden sind.

8.1.2.4 Zu erwerbende Kompetenzen

Durch Experimentieren, Analysieren und Vergleichen sollen die Lernenden den Zusammenhang zwischen der Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsweise, dem Geofaktor Relief und der Bodenerosion erkennen und den erheblichen menschlichen Einfluss auf Erosionsprozesse erklären können. Möglichkeiten der Reduktion des Bodenabtrags auf landwirtschaftlichen Nutzflächen sollen bekannt sein und deren Wirkmechanismen verstanden werden. Die Anwendungsbeispiele zielen auf eine Sensibilisierung zur Beurteilung landwirtschaftlicher Nutzungspotentiale und standortgerechter Landbewirtschaftung sowie die Fähigkeit zur Beurteilung der Wirksamkeit unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen und Schutzmaßnahmen gegenüber der Bodenerosion. Darüber hinaus wird die Fähigkeit zur Anwendung des Modells der ABAG zur Fruchtfolgenplanung durch Ermittlung des maximal zulässigen C-Faktors (Aufgabe 3) angestrebt.

8.1.2.5 Kategorisierung

Tab. 8.2: Kategorisierung des mmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung im Rahmen einer Beispiellandschaft

Kategorie	Beschreibung
Aufgabenformen	Bei den in der Simulationsumgebung integrierten Lernaufgaben handelt es sich um eine Verständnisaufgabe (Aufgabe 1) und drei Anwendungsaufgaben (Aufgaben 2-4). Zusatzaufgabe: Analyseaufgabe
Darstellungsformen	Repräsentation der Modelleingangsgrößen und Modellergebnisse der Beispiellandschaft in miteinander verknüpften Ansichten als thematische Karten, in 2,5D-Panoramaansicht und im Blockbild.
Aufgabentypen mit direkter Rückmeldung	Aufgabe 1: Multiple Choice Aufgabe 2 und 4: Indirekte Antwortanalyse, indem Eingabeparameter überprüft werden. Aufgabe 3: Short-Answer
Interaktionsmöglichkeiten	Aufgabe 1 und 3 – Kategorie 1 und 2 Aufgabe 2, 4 und zusätzliche Aufgabe – Kategorie 1, 2 und 3

8.1.2.6 Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung in Präsenzphasen

Das mmL-Objekt bietet vielfältige Anknüpfungspunkte für Diskussionen, wie beispielsweise über Toleranzgrenzen des Bodenabtrags, der Bewertung landwirtschaftlicher Nutzungspotentiale und standortgerechter Landnutzung, Möglichkeiten des Boden- und Gewässerschutzes, bodenschonende – auf Nachhaltigkeit ausgerichtete – Bewirtschaftungsweisen versus ökonomische und politische Rahmenbedingungen der Landwirtschaft, den Gültigkeitsbereich der Modellierung und Grenzen der Aussagekraft.

8.1.3 Aufgabenorientiertes mM-L-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung von Standorten in Mitteleuropa

8.1.3.1 Beschreibung des mM-L-Objektes

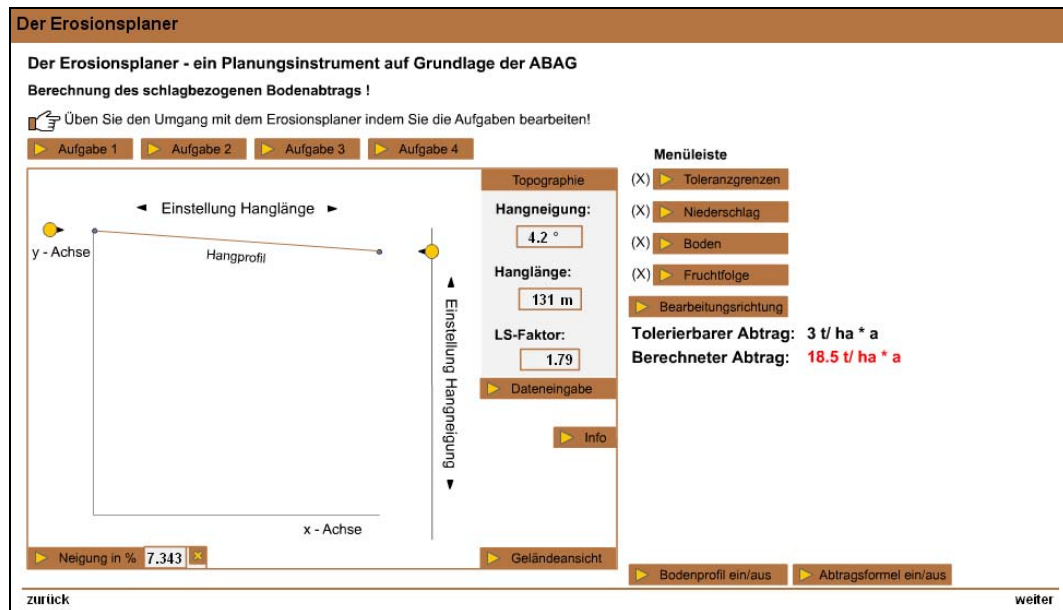


Abb. 8.6: MmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung einzelner Standorte in Mitteleuropa

Das mM-L-Objekt stellt ein umfangreiches Computerprogramm zur Ermittlung des Bodenabtrages auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) dar, welches Online über einen Internet-Browser, als auch Offline als Softwareanwendung, z.B. im Gelände von Studierenden als auch von Planern, Beratern etc. als praktikables Planungsinstrument genutzt werden kann. Mit Hilfe des entwickelten Programms kann auf Grundlage des gesamten Parameterumfangs der ABAG eine fundierte Erosionsprognose für nahezu jeden Standort in Mitteleuropa durchgeführt werden. Benutzeroberfläche und Abbildungsstrukturen der Modell-anwendung sind so gewählt, dass über Schaltflächen die einzelnen Menüpunkte aufgerufen werden, um die Faktoren des Modells zu ermitteln. Die einzelnen Eingabegrößen können so sehr schnell variiert und der Effekt auf das Modell-Ergebnis gut nachvollzogen werden.

Nutzung der Modellanwendung

Sind zur Durchführung einer Modellberechnung die notwendigen Informationen im jeweiligen Menüpunkt eingetragen, wird dies mit einem Kreuzchen (X) im Hauptmenü vermerkt. Liegen zum Beispiel alle Informationen zur Berechnung des Tolerierbaren Abtrags vor, erscheint das Kreuzchen vor der Schaltfläche „Toleranzgrenzen“ (Abb. 8.7).

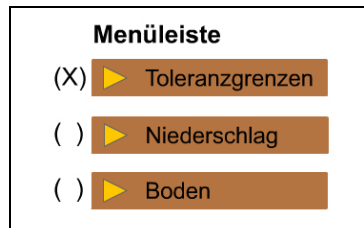


Abb. 8.7: Schaltflächen der Menüleiste zur Berechnung der ABAG mit Markierung

Die Hangneigung und Hanglänge kann für gestreckte Hänge direkt über das Diagramm auf der linken Seite des mmL-Objektes gewählt oder über die Schaltfläche „Dateneingabe“ eingetragen werden. Sind alle Informationen in den entsprechenden Menüpunkten eingetragen, wird der berechnete Abtrag unter dem Tolerierbaren Abtrag angezeigt. Der berechnete Bodenabtrag wird grün dargestellt, wenn er unter dem Tolerierbaren Abtrag liegt. Liegt er darüber, erscheint das Berechnungsergebnis in roter Farbe. Da der Tolerierbare Abtrag lediglich einen Richtwert zur Erhaltung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit des Standortes darstellt, sollte z.B. beim Arbeiten mit dem Modell im Rahmen eines Geländepraktikums darauf hingewiesen werden, dass geprüft werden sollte, ob alle zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, den Bodenabtrag zu reduzieren, ausgeschöpft sind. Es sollte deutlich werden, dass auch unterhalb des Tolerierbaren Abtrags Bodenerosion schädigt (z.B. benachbarte Flächen, Gewässer etc.) und der Abtrag so weit wie möglich verringert werden sollte.

Liegt der berechnete Abtrag über dem Tolerierbaren Abtrag, können Nutzer der Modellanwendung durch Berechnung verschiedener Szenarien planerisch tätig werden. Beispielsweise können unter dem Menüpunkt „Fruchtfolge“ erosionsmindernde Anbauverfahren gewählt werden. Bei der Bearbeitung wird deutlich, ob praktikable Erosionsschutzmaßnahmen eine wesentliche Abtragsminderung an dem Standort erwarten lassen und diese möglicherweise auch dann empfehlens-

wert sind, wenn das Berechnungsergebnis ohnehin schon unter der Toleranzgrenze liegt.

Die Standardeinstellung für das Menü der Bearbeitungsrichtung ist „in Gefälle-
richtung“. Informationen zur Bearbeitungsrichtung müssen nur dann eingegeben
werden, wenn der Hang quer zum Gefälle bearbeitet wird. Daher erscheint vor der
Schaltfläche „Bearbeitungsrichtung“ kein Kreuzchen „(X)“.

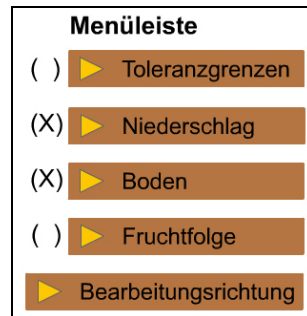


Abb. 8.8: Schaltflächen der Menüleiste mit und ohne Markierung des Eingabezustandes

Für die Ableitung der Faktorenwerte werden unterschiedliche Eingaben benötigt. Dementsprechend sind die Menüs zur Ermittlung der einzelnen Faktoren unterschiedlich gestaltet. Alle weisen sie jedoch die folgenden wiederkehrenden Elemente auf:

- Über die Schaltflächen „Info“ erhalten Nutzer zusätzliche Informationen zur Ableitung der jeweiligen Faktoren.
- Mit der Schaltfläche „reset“ können Eingaben zurückgesetzt werden.

Bis auf das Menü zur Eingabe der Hangneigung und Hanglänge sind die Menüs der übrigen Einflussgrößen ähnlich gestaltet. Beispielhaft ist das Menü zur Niederschlagserosivität abgebildet, welches ein Auswahlmenü und verschiedene Eingabefelder beinhaltet (Abb. 8.9).

Abb. 8.9: Menü zur Niederschlagserosivität

Es stehen jeweils unterschiedliche Verfahren zur Ableitung bzw. zur Eingabe der Faktorenwerte bereit. Im Beispiel zur Niederschlagserosivität kann entweder der Sommerniederschlag, der Jahresniederschlag oder direkt der R-Faktor eingegeben werden. Im Programm wird darauf hingewiesen, welches Verfahren die jeweils besten Schätzwerte liefert. Alle Faktoren können auch direkt eingetragen werden, sofern sie bereits bekannt sind.

Die einzelnen Menüs sind folgendermaßen aufgebaut:

Das Menü **Toleranzgrenzen** bietet die Möglichkeit den Tolerierbaren Abtrag aus der Acker- bzw. Grünlandzahl der Bodenschätzung zu berechnen oder aus der Gründigkeit abzuleiten, wenn durch Bohrungen oder aus Bodenkarten bekannt ist, wie tiefgründig ein Boden ist (Berechnungsgrundlage nach SCHWERTMANN *et al.* 1990).

Der Einfluss des **Niederschlags** kann im Menü differenziert nach Bundesländern (in Lagen bis 1000m über NN) aus den Sommerniederschlägen oder Jahresniederschlägen ermittelt werden. Dabei müssen langjährige Mittelwerte verwendet werden (Berechnungsgrundlage nach SAUERBORN 1994).

Die Erodierbarkeit des **Bodens** einer landwirtschaftlichen Nutzfläche kann am einfachsten und auch relativ genau aus dem Klassenbeschrieb der Bodenschätzung (auch Reichsbodenschätzung genannt) bestimmt werden (Berechnungsgrundlage nach SCHWERTMANN *et al.* 1990). Bodenart, Zustandstufe und Entstehung können über Auswahlmenüs angegeben werden. Aus den Angaben wird der

K-Faktor abgeleitet. Werden K-Faktoren durch Laboranalysen oder standortkundliche Bodenkarten ermittelt, so werden diese direkt eingetragen.

Das Menü **Fruchtfolge** ist besonders umfangreich und beinhaltet sehr viele verschiedene Fruchtfolgen und Anbauvarianten mit mehreren Untermenüs, da bei bestehender Flureinteilung vor allem durch die Wahl der Fruchtfolge und fruchtfolgespezifischen Schutzmaßnahmen Möglichkeiten zur Reduktion des Bodenabtrages bestehen (Berechnungsgrundlage nach AUERSWALD & KAINZ 1998 und SCHWERTMANN *et al.* 1990).

Im Menü **Bearbeitungsrichtung** kann die Wirkung der Bewirtschaftung quer zum Hang auf den Erosionsprozess berücksichtigt werden (Berechnungsgrundlage nach AUERSWALD 1992). Der P-Faktor wird im Mittel des Feldes angegeben. Bei langen Hängen mit geringer Wirksamkeit der Querbearbeitung, d.h. bei einem P-Faktor nahe „1“, ist eine höhenlinienparallele Bearbeitungsrichtung im oberen Teil des Feldes, wo geringerer Abfluss auftritt, wesentlich wirksamer als im Felddurchschnitt. Im unteren Feldabschnitt ist hingegen so gut wie keine Wirksamkeit der Querbewirtschaftung mehr zu erwarten. Es hängt von der Hangneigung ab, bis zu welcher Stelle am Hang eine Querbewirtschaftung die erosive Wirkung des Oberflächenabflusses reduzieren kann. Diese Hanglänge wird als kritische Hanglänge angegeben. Wird die kritische Hanglänge überschritten, so kann unterhalb dieser kritischen Hanglänge keine erosionsmindernde Wirkung der Querbearbeitung mehr erwartet werden. Oberhalb der kritischen Hanglänge sammelt sich so viel Oberflächenabfluss, dass die Oberflächenrauigkeit durch Querbearbeitung einen zusätzlichen Abfluss nicht mehr wirkungsvoll dämpfen kann. Diese kritische Hanglänge wird bei zunehmender Hangneigung rascher erreicht, da die Wasserrückhaltung der Oberflächenrauigkeit mit zunehmender Hangneigung abnimmt (AUERSWALD 1992, 140). Die Modellierung berücksichtigt diesen Zusammenhang, indem oberhalb der kritischen Hanglänge eine Wirkung der Querbearbeitung angenommen wird, während dies unterhalb der kritischen Hanglänge nicht mehr der Fall ist und die Effektivität der Quernutzung für den Gesamthang nach dem Verfahren von MCCOOL *et al.* (1989) (in AUERSWALD 1992, 141) berechnet wird. Im webbasierten Modell sind darüber hinaus Planungshinweise integriert, die auf die Möglichkeit einer Teilung des betreffenden Feldes als Flurgestaltungsmaßnahme zur Reduktion des Bodenabtrages verweisen und die er-

hebliche abtragsmindernde Wirkung einer solchen Maßnahme quantitativ vorausschätzen (siehe Beispiel in Abb. 8.10).

Bearbeitungsrichtung

in Gefällerrichtung

quer zum Hang

Oberflächenrauigkeit der Fruchtfolge (ohne Kartoffelanteil)

2.5 -< 7.5

Kartoffelanteil: 0 %

reset P-Faktor: 0.93

Die Hanglänge in Gefällerrichtung ist wesentlich größer als die kritische Hanglänge von: 40 m

Nur bis dahin ist eine Querbearbeitung voll wirksam. Wenn das Feld durch einen abflussableitenden Rain in der Mitte geteilt wird, lässt sich dadurch der Bodenabtrag senken auf: 61 %

Berechnungsgrundlage

durchschnittl. Hangneigung: 6.4 °

erosive Hanglänge: 131 m

kritische Hanglänge: 40 m

Abb. 8.10: Menü zur Bearbeitungsrichtung. Ist die erosive Hanglänge mehr als doppelt so lang wie die kritische Hanglänge, wird (dynamisch generiert) auf eine Möglichkeit zur Reduktion des Bodenabtrags hingewiesen.

Der Zusammenhang von Hanglänge, Schutzwirkung durch Querbearbeitung und Bodenabtrag kann mit Hilfe der Modellanwendung gut nachvollzogen werden. Wird die Hanglänge reduziert, verkleinert sich auch der LS-Faktor, da die Wirkung der Hanglänge auf den Bodenabtrag geringer wird. Gleichzeitig steigt die Schutzwirkung der Querbearbeitung an und der P-Faktor verringert sich. Der berechnete Bodenabtrag nimmt stark ab.

Im Menü **Topographie** wird der Einfluss der erosionswirksamen Hanglänge und Hangneigung auf den Bodenabtrag ermittelt (Berechnungsgrundlage nach SCHWERTMANN *et al.* 1990). Das Hangprofil kann über interaktive Schieberegler direkt beeinflusst werden. Dadurch können Werte sehr schnell variiert und der Einfluss der Topographie auf den Bodenabtrag zeitgleich abgelesen werden. Bei steigender Hangneigung steigen die Bodenabtragswerte der Modellanwendung exponentiell an. Dieser Zusammenhang zwischen Neigung und Abtrag lässt sich durch die benutzerfreundliche Anwendbarkeit des Modells unmittelbar erschlie-

ßen. Darüber hinaus sind die unterschiedlichen Neigungsgrade mit einer 2,5D-Geländeansicht gekoppelt, die einen Eindruck der gewählten Neigung in gewohnter Blickperspektive vermittelt (Abb. 8.11). Zur Entwicklung einer visuellen Vorstellung unterschiedlicher Neigungsgrade kann die Geländeansicht vom Nutzer unterstützend aufgerufen werden.

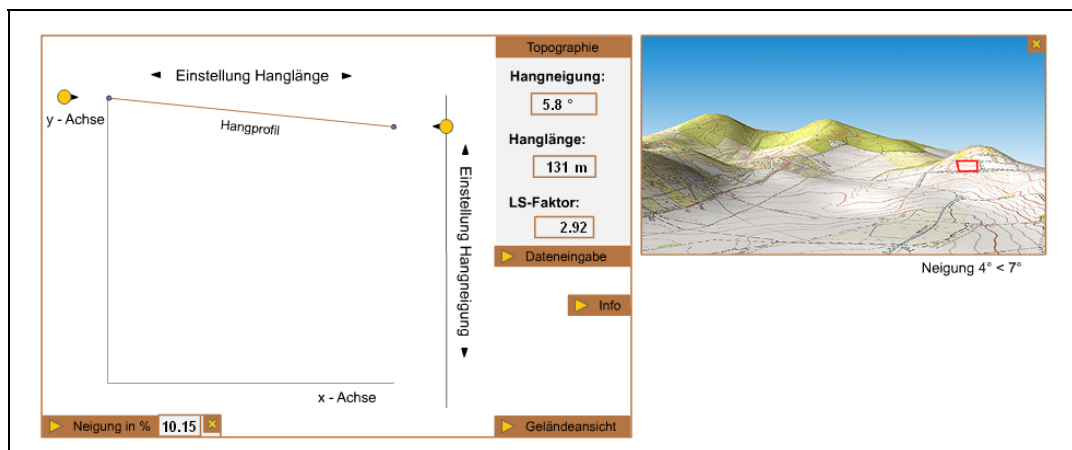


Abb. 8.11: Menü „Topographie“ zur Einstellung des Hangprofils (Hangneigung und –länge) über Schieberegler (links), die mit einer 2,5D-Geländeansicht gekoppelt sind.

Die Hangneigung bestimmt, von allen Faktoren im Modell, die Berechnung des Bodenabtrages am stärksten. Bei Einsatz des Erosionsplaners zu Planungszwecken sollte sie daher möglichst genau – am besten mit einem guten Hangneigungsmesser und Meßlatten – ermittelt werden.

Häufig weisen Hänge in Mitteleuropa unterschiedliche Neigungsgrade auf. Sie sind konvex oder konkav gewölbt oder komplex geformt. Um den LS-Faktor auch für gewölbte und komplex geformte Hänge angemessen aufnehmen zu können, besteht in dem Menü „Dateneingabe“ die Möglichkeit einen Hang in drei Teilstücke zu unterteilen oder eine pauschale Hangform anzugeben (Abb. 8.12).

Geben Sie hier Werte für die detaillierte oder pauschalisierte Hangform ein (Dezimalstellen durch Punkt trennen)!

Detaillierte Hangform ▶ Info

	Neigung:	Länge:
Teilstück 1:	<input type="text"/> °	<input type="text"/> m
Teilstück 2:	<input type="text"/> °	<input type="text"/> m
Teilstück 3:	<input type="text"/> °	<input type="text"/> m

Pauschalisierte Hangform

durchschnittl. Hangneigung : °

erosive Hanglänge: m

Hangform:

Konvex

Gestreckt

Konkav

▶ reset Eingabe

Abb. 8.12: Menü „Topographie“ zur Einstellung des Hangprofils (Hangneigung und –länge) über die Untermenüs „Detaillierte Hangform“ oder „Pauschalisierte Hangform“

Soll die Hangform in der Modellanwendung pauschal berücksichtigt werden, so müssen die durchschnittliche Hangneigung, erosive Hanglänge und Hangform angegeben werden. Wählt man die unterschiedlichen Hangformen nacheinander an, so erkennt man, dass der berechnete LS-Faktor und Bodenabtrag von der konvexen über die gestreckte zur konkaven Hangform deutlich abnimmt. Aufgrund des starken Einflusses der Hangneigung auf den modellierten Abtrag ist die pauschale Berücksichtigung der Hangform jedoch relativ ungenau.

Um verschiedene Modellvariationen vergleichen und das Berechnungsergebnis gleichzeitig verbessern zu können, besteht die Möglichkeit, den Menüpunkt „Detaillierte Hangform“ zu nutzen. Dazu wird der Hang in drei beliebig große, annähernd einheitlich geneigte Teilstücke eingeteilt. Selbst komplex geformte Hänge mit flachem Oberhang, steilem Mittelhang und flachem Unterhang können durch die Dreiteilung recht gut aufgenommen werden. Für die Berechnung müssen immer alle drei Teilstücke angegeben werden. Weist ein Hang nur zwei unterschied-

lich geneigte Teilstücke auf, so muss eines der beiden Teilstücke in zwei Teile aufgeteilt werden, um insgesamt drei Teilstücke in die Eingabemaske eintragen zu können.

Die verschiedenen Varianten, die Hangneigung und Hanglänge im Modell berücksichtigen zu können, ermöglichen einen reflexiven Umgang mit dem Modell. Es wird ersichtlich, dass scheinbar qualitativ exakte Berechnungsergebnisse stark von der Wahl des Modellansatzes abhängen. Durch den Vergleich unterschiedlicher Modellgrundlagen mit Berechnungsergebnissen wird eine Reflexion über den Realitätsbereich der gewählten Modellierung möglich.

Eine Einschätzung der Größenordnungen von Modellergebnissen fällt jedoch häufig schwer. Zur Interpretation der Modellergebnisse wird im Programm daher eine visuelle Verständnishilfe angeboten. Zusätzlich zu den Ausgabewerten des Bodenabtrags in Tonnen pro Hektar und Jahr wird der Bodenverlust (dynamisch zur Laufzeit mit den Bodenabtragswerten gekoppelt) als Verkürzung der Bodensäule in Zentimetern und in einem Blockbild graphisch veranschaulicht (Abb. 8.13). Um eine Vorstellung des quantitativen Ausmaßes der Bodenerosion bei bestehenden Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsverhältnissen entwickeln zu können, wird die Profilverkürzung für einen Zeitraum von 100 Jahren angegeben.

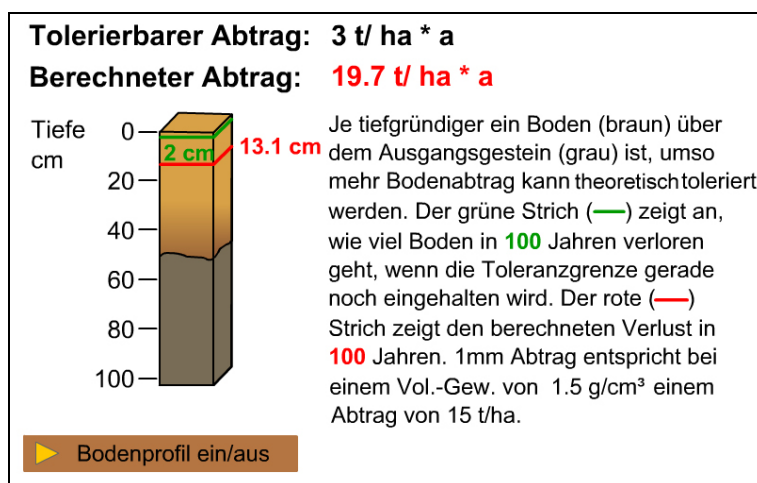


Abb. 8.13: Blockbild mit Angabe des Bodenverlustes in Zentimetern bei gleich bleibender Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsweise (rot) des Standortes und bei Einhaltung des Tolerierbaren Bodenabtrags (grün) in 100 Jahren

Durch die Möglichkeit der Integration eigener Eingangsdaten durch empirische Arbeiten (Kartierungen, Messungen) vor Ort kann mit dem Programm auf wissen-

schaftlicher Basis angewandten praxisnahen Fragestellungen individuell nachgegangen werden.

8.1.3.2 Integrierte Lernaufgaben

Vier Lernaufgaben und ein Test – jeweils mit automatisierter Antwort-Auswertung – stehen in Verbindung mit dem Programm „Der Erosionsplaner“ zur Verfügung. Die Aufgaben sind zu verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten des Modells entwickelt und ermöglichen ein Kennenlernen und Einüben der Modellanwendung, um eine Erosionsprognose für nahezu jeden landwirtschaftlichen Standort in Mitteleuropa durchführen, das Modell als Planungshilfe zur Gestaltung eines standortgerechten Flächenmanagements (Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsweisen sowie Struktur- und Wegenetzplanung) nutzen und Maßnahmen zur Reduktion des Bodenabtrags qualitativ und quantitativ beurteilen zu können. Die Aufgaben und der Test sind in situative Aufgabensettings mit Beispielstandorten in authentische Problemsituationen eingebettet. In Aufgabe 1 werden die Nutzer schrittweise an die Durchführung einer Prognose des mittleren, langjährig zu erwartenden Bodenabtrags herangeführt. Inwieweit der Bodenabtrag durch die Änderung der Bearbeitungsrichtung reduziert werden kann, ist Gegenstand der zweiten Aufgabe. Die dritte Aufgabe zielt auf die Nutzung der Modellanwendung als Planungsinstrument zur Wahl einer standortgerechten Landnutzung. Die Möglichkeit zur detaillierten Eingabe der Hangneigung bei komplex geformten Hängen kann in der vierten Aufgabe kennen gelernt werden. Der Test dient zur weiteren Einübung und Überprüfung des Transfers erworbener Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit dem Modell.

8.1.3.3 Beispiele für zusätzliche Lernaufgaben zum mML-Objekt

Aufgabe 1: „Fertigen Sie ein Diagramm an, welches den Zusammenhang von Hangneigung und Bodenabtrag verdeutlicht. Simulieren Sie dazu Erosionsraten für verschiedene Hangneigungen bei sonst gleichen Standortbedingungen. Beschreiben Sie das Ergebnis!“

Erläuterung:

Die Aufgabe zur Verdeutlichung der Beziehung zwischen Bodenabtrag und Hangneigung zeigt auf, dass mit einer Zunahme der Hangneigung die berechneten Bodenabtragswerte überproportional zunehmen. Es wird deutlich, dass die Vor-

aussetzungen für den Bodenabtrag standortbedingt sehr unterschiedlich sein können.

Fähigkeiten zur Konstruktion eines Diagrammes, bei dem Abtragswerte in Beziehung zur Hangneigung stehen, werden eingeübt.

Aufgabe 2: Im Rahmen eines Geländepraktikums wird Studierenden (z.B. in Kleingruppen) ein Untersuchungsgebiet mit zwei bis drei landwirtschaftlichen Nutzflächen mit folgender Aufgabenstellung zugeteilt:

„Führen Sie in Ihrem Untersuchungsgebiet eine Erosionsprognose mit Hilfe der Modellanwendung „Der Erosionsplaner“ durch (aktuelle Standortbedingungen) und entwerfen Sie zu jeder Fläche zwei Landnutzungsszenarien, bei dem der bodenspezifisch tolerierbare Bodenabtrag nicht überschritten wird!“

Erläuterung:

Die einzelnen Schritte zur Durchführung einer Erosionsprognose und Planung unterschiedlicher Landnutzungsszenarien werden von den Studierenden eigenständig durchgeführt. Die Parameter Hangneigung, Hanglänge, aktuelle Nutzung, Toleranzgrenze (nach Gründigkeit des Bodens) und Bearbeitungsrichtung werden im Gelände erhoben und in die Modellanwendung eingegeben. Die Parameter zum Niederschlag, Boden und Fruchtfolge management werden aus Unterlagen zum Standort abgeleitet und ebenfalls zur Berechnung eingetragen. Der derzeit zu erwartende langjährig mittlere Bodenabtrag wird berechnet. Aufgrund der standortbedingten Toleranzgrenze des Bodenabtrages ermitteln die Studierenden den maximal zulässigen C-Faktor und entwickeln zwei Landnutzungsszenarien, bei denen Abtragswerte im langjährigen Mittel unterhalb der Toleranzgrenze liegen.

Als Erweiterung der Lernaufgabe bietet es sich an, das Fruchtfolge management im zugehörigen landwirtschaftlichen Betrieb zu erfragen und auf Grundlage der Modellierungsergebnisse die von den Studierenden vorgeschlagenen Landnutzungsszenarien mit dem verantwortlichen Landwirt zu diskutieren.

Aufgabe 3: Sensitivitätsanalysen zeigen, ob sich ein Modell bei Veränderung der Parameter logisch verhält und welche Eingangsgrößen den größten Einfluss auf das Modellergebnis ausüben. Diese Parameter sind demzufolge am sensitivsten und sollten für ein gutes Modellergebnis möglichst genau gemessen bzw. bestimmt werden. Ermitteln Sie die Sensitivität des Bodenerosionsmodells der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) für die Parameter Niederschlag, Hangneigung, Hanglänge und dem Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge. Nutzen Sie dazu einen Sensitivitätsparameter (S), der nach folgender Gleichung abgeleitet wird (nach MCCUEN 1973):

$$S = \frac{O_2 - O_1}{O_{12}} \bigg/ \frac{I_2 - I_1}{I_{12}}$$

- S = dimensionsloses Maß der Sensitivität
- I₁ = kleinster Eingangswert
- I₂ = größter Eingangswert
- I₁₂ = Mittelwert von I₁ und I₂
- O₁ = Abtragswert von I₁
- O₂ = Abtragswert von I₂
- O₁₂ = Mittelwert von O₁ und O₂

S ist ein relatives Maß für die normalisierte Änderung der Abtragswerte im Verhältnis zur normalisierten Änderung der jeweiligen Eingangswerte. Je stärker der S-Wert (positiv oder negativ) von null abweicht, desto größer ist der Einfluss der Eingangsgröße auf die Berechnungsergebnisse des Modells. Ist der ermittelte Sensitivitätsparameter kleiner als null, dann korrespondiert eine Vergrößerung des Eingangswertes mit einer Verkleinerung des Abtragswertes. Ist der Parameter positiv, so nimmt bei einer Vergrößerung des Eingangswertes auch der Abtragswert zu.

Welches ist der Parameter, der am sensitivsten auf eine Veränderung der Eingangswerte reagiert? Variieren Sie die genannten Eingangsparameter, bestimmen Sie den S-Wert und beschreiben Sie die Ergebnisse!

Erläuterung:

Für jeden der Parameter Niederschlag, Hangneigung, Hanglänge und Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge werden verschiedene Eingangsgrößen gewählt, die den Bereich kleiner bis großer Eingangswerte abdecken.

Die Berechnung des Sensitivitätsparameters (S) könnte folgendermaßen stattfinden:

- Sensitivität (S) des Niederschlags
(400 – 1000 mm Jahresniederschlag) = 0,68
- Sensitivität (S) der Hangneigung (1 – 15° Neigung) = 1,1
- Sensitivität (S) der Hanglänge (10 – 300 m) = 0,64
- Sensitivität (S) des Hackfruchtanteils der Fruchtfolge (0 – 50 %) = 0,46

Der Sensitivitätsparameter (S) zeigt deutlich an, dass die Hangneigung den empfindlichsten Parameter des Modells darstellt. Änderungen der Neigung haben folglich den größten Einfluss auf das Modellergebnis. Die Hangneigung sollte daher möglichst genau ermittelt werden. Insgesamt lässt sich feststellen, dass eine Vergrößerung der Eingangswerte mit einer Zunahme der Abtragswerte korrespondiert. Das Modell verhält sich also bei der Veränderung der Parameterwerte logisch.

4) Beispiel einer Problemlöseaufgabe in Verbindung mit der Modellanwendung (Aufgabentext siehe Kapitel 6.2.1.7).

Erläuterung:

In einer konkreten Problemstellung (landwirtschaftliche Beratung) ist es die Aufgabe der Studierenden, verschiedene Sachverhalte (Richtlinien eines Förderprogramms, Informationen zur standortgerechten Landnutzung und zu Möglichkeiten der Rückhaltung des Oberflächenabflusses auf den Flächen, Erosionsprognose, ökonomische Faktoren) aufeinander zu beziehen und einen Lösungsweg aufzuzeigen (Vorschläge zum Flächenmanagement). Tutoriell begleitet kann der Ablauf zur Lösung der Aufgabe mit Hypothesenbildung, Entwicklung von Lösungsstrategien, Problemlöseprozess mit Simulation unterschiedlicher Landnutzungsszenarien auf Grundlage der Modellanwendung, Bewertung der Ergebnisse und Reflexion (der gewählten Lösungsstrategie, Eignung und Gültigkeitsbereich der eingesetzten Modellanwendung im Sinne einer Reflexion der eingesetzten Methoden

und Reflexion der eigenen Vorgehensweise im Problemlöseprozess) durchlaufen werden.

8.1.3.4 Zu erwerbende Kompetenzen

Die Lernaufgaben zielen in Verbindung mit der Modellanwendung auf den Erwerb von Fähigkeiten und Fertigkeiten

- zur eigenständigen Durchführung einer Erosionsprognose, die Auswirkungen landwirtschaftlicher Bodennutzung auf den Bodenabtrag in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Kulturart abzuschätzen vermag.
- zum Vergleich und zur Optimierung von Planungsvarianten durch Prognosen der Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen und zur Beurteilung der Auswirkungen von Maßnahmen der Flurneuordnung (Flurbereinigungsmaßnahmen).

Zu erwerbende Kompetenzen beinhalten damit Wissen (Handlungswissen), welches zur Beurteilung von landwirtschaftlichen Nutzungspotentialen und der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen befähigt. Empfehlungen zu Anbauverfahren und Schutzmaßnahmen können durch Argumente auf Grundlage der Modellanwendung belegt werden (Erklärungswissen).

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse kann die Fähigkeit zur Analyse des Einflusses einzelner Parameter eines Modells in Verbindung mit der Fähigkeit zur Beurteilung der Güte von Datengrundlagen (Eingangsdatensätzen) erworben werden. Sensitivitätsanalysen bieten darüber hinaus einen vertieften Einblick in die Funktionsweise (bzw. das Verhalten) eines Modells und erlauben es daher, den Gültigkeitsbereich der Modellergebnisse kritisch einzuschätzen.

Möglichkeiten zur Verarbeitung und zum Vergleich der im Gelände durch Studierende gewonnenen Daten, Modell- und Kartierergebnisse sowie Möglichkeiten zur Wahl unterschiedlicher Modellansätze (z.B. Wahl zwischen pauschaler Berücksichtigung der Hangform oder detaillierter Eingabe der Hangform) sollen zu einer kritischen Reflexion der Konstruktion von geomorphologischen Prozessen und deren Abbildung in Modellen führen.

Durch den vergleichenden Ansatz können wissenschaftliche Erklärungsansätze, bei denen Modelle angegeben werden, welche Ursachen mit Wirkungen und Zwecke mit Mitteln verbinden, differenzierter betrachtet und beurteilt werden.

8.1.3.5 Kategorisierung

Tab. 8.3: Kategorisierung des mmL-Objektes zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung von Standorten in Mitteleuropa

Kategorie	Beschreibung
Aufgabenformen	Bei den in der Modellanwendung integrierten Lernaufgaben und dem Test handelt es sich um Anwendungsaufgaben. Zusatzaufgaben: 1) Aufgabe zum Verständnis von Beziehungen und Relationen 2) Anwendungs- und Gestaltungsaufgabe 3) Analyseaufgabe 4) Problemlöseaufgabe
Darstellungsformen	Variationsmöglichkeiten des Hangprofils in einem interaktiven Diagramm zum Verständnis der Beziehung von Hangneigung, LS-Faktor und Bodenabtrag. Interaktive Menüs zur Eingabe der Modellparameter. 2,5D Geländeansicht zur Einschätzung verschiedener Neigungsgrade. Bodenprofil zur Veranschaulichung der Abtragsdimension. Darstellung und Berechnung des maximal zulässigen C-Faktors (C_{max}) zur Laufzeit.
Aufgabentypen mit direkter Rückmeldung	Aufgaben 1 - 4: Short-Answer Test: Short-Answer und Multiple Choice
Interaktionsmöglichkeiten	Aufgaben 1 bis 4 und Test – Kategorie 1 und 3 Zusatzaufgaben: Aufgabe 1 – Kategorien 3 und 4 Aufgabe 2 – Kategorien 3 und 4 Aufgabe 3 – Kategorie 3 Aufgabe 4 – Kategorien 1, 3 und 4

8.1.3.6 Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung in Präsenzphasen

Die Stärken der Modellanwendung: Möglichkeit zur Eingabe eigener Daten, die individuelle Prognose von Bodenabtragsraten an nahezu jedem landwirtschaftlich genutzten Standort in Mitteleuropa und die Abschätzung der Auswirkungen verschiedener Planungsvarianten (Bewirtschaftungs- und Bearbeitungsweisen, Wegenetzplanung) können vor allem in Verbindung mit Geländearbeit genutzt werden. Die mehrperspektivische Herangehensweise bietet vielfältige Anknüpfungspunkte für Diskussionen wie z.B. über Stärken und Schwächen der Modellkonstruktion, Grenzen der Aussagekraft von Modellanwendungen und damit im weiteren Sinne zur Konstruktion von Realität. Praxisorientierte Aufgabenstellungen zu landschaftsökologischen Planungs- und Bewertungsmethoden bieten einen Zugang zu geographischen Arbeitsmethoden und können die Grundlage für Diskussionen über Bewertungsverfahren ökologischer Risiken und landwirtschaftlicher Nutzungspotentiale bilden.

8.1.4 Aufgabenorientiertes mM-L-Objekt zur prozessorientierten Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten

8.1.4.1 Beschreibung des mM-L-Objektes

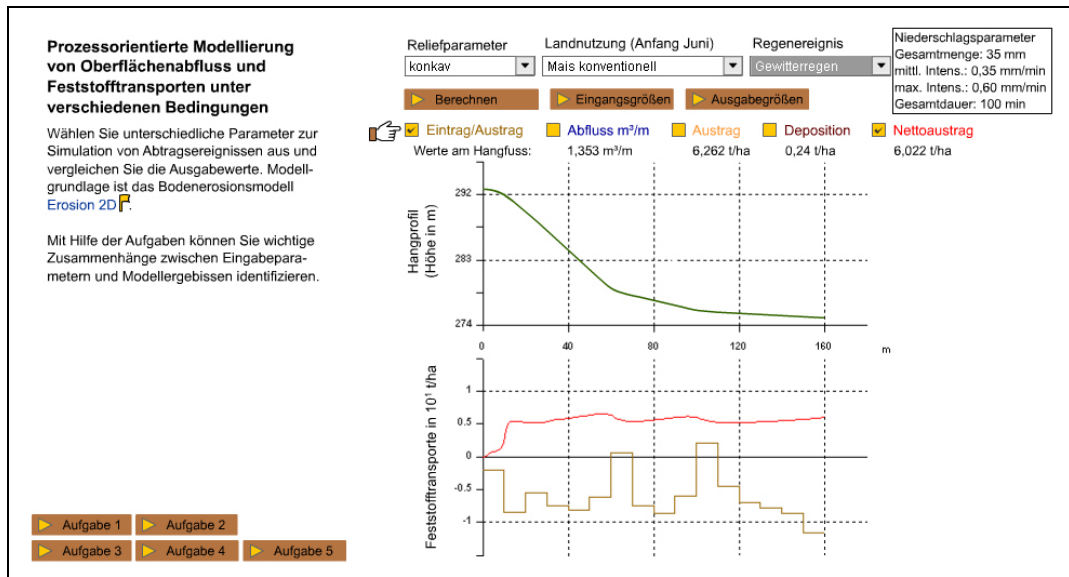


Abb. 8.14: MmL-Objekt zur prozessorientierten Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten

Mit Hilfe des mM-L-Objektes kann das Lernen mit einer prozessorientierten Modellierung bereits im Grundstudium realisiert werden. Die Anwendung basiert auf dem physikalisch begründeten Bodenerosionsmodell Erosion-2D (SCHMIDT *et al.* 1997). Studierende wählen über eine leicht zugängliche Benutzeroberfläche Relief-, Nutzungs- und Niederschlagsparameter als Modell-Eingangsdaten aus und können anschließend berechnete Modellergebnisse interpretierend vergleichen. Zur Analyse der unterschiedlichen Standortbedingungen stehen fünf Ausgabegrößen, die je nach Benutzerwahl angezeigt werden können, zur Verfügung. Der Ausgabeparameter „Eintrag/Austrag“ gibt den Sedimenteintrag bzw. Sedimentaustrag je Hangsegment an und ermöglicht so die Quantifizierung des Feststoffaustrages, des Transportes auf der Bodenoberfläche und der Ablagerung von Bodenmaterial für einzelne Hangsegmente. Damit wird eine differenzierte Vorhersage von erosionsbedingten Schäden auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen (so genannte „on-site“-Schäden) realisierbar. Der Abfluss wird als kumulativer Oberflächenabfluss während des gesamten Niederschlagsereignisses angege-

ben. Bei sonst gleichen Parametern lässt sich über den Abfluss die Infiltrationskapazität des Standortes bei unterschiedlichen Lagerungsdichten des Bodens vergleichen. Austrag und Deposition werden als Sedimentaus- bzw. Sedimenteintrag an jeder Stelle des Hanges im zugehörigen Einzugsgebiet angegeben. Der Nettoaustrag gibt die Differenz zwischen Sedimentaustrag und Sedimenteintrag im zugehörigen Einzugsgebiet an. Die Ausgabewerte dienen der quantitativen Abschätzung des Netto-Bodenverlustes der betroffenen Flächen und der Stoffeinträge in angrenzende Flächen oder Gewässer (so genannte „off-site“-Schäden). Die Modellanwendung bietet Studierenden so die Möglichkeit zur Simulation des Bodenerosionsprozesses unter verschiedenen Bedingungen. Die Parametersätze stellen Fallbeispiele dar, anhand derer Denkprozesse über Zusammenhänge im Prozessgefüge Bodenerosion angestoßen und Ursache-Wirkungszusammenhänge gut nachvollzogen werden können. Im explorativen Umgang mit der Modellanwendung können die Studierenden durch das Experimentieren mit verschiedenen Parameterkombinationen ihre eigenen Hypothesen überprüfen, verifizieren oder falsifizieren.

8.1.4.2 Integrierte Lernaufgaben

Die fünf integrierten Lernaufgaben – jeweils mit automatisierter Antwort-Auswertung – weisen auf wesentliche Komponenten und Zusammenhänge im Prozesskomplex Bodenerosion hin. Die Aufgaben eins bis vier verdeutlichen Wirkungszusammenhänge von Modelleingangsparametern (Niederschlag, Relief und Landnutzung bzw. durch die Landnutzung bedingte Bodeneigenschaften), modellierten Oberflächenabflüssen und Feststofftransporten. Bei der explorativen Bearbeitung der Aufgaben können die Zusammenhänge durch die Simulation unterschiedlicher Parameterkombinationen erschlossen werden.

Aufgabe fünf zielt auf die Übertragung der in den Aufgaben eins bis vier gewonnenen Erkenntnisse. Auf Grundlage der Nutzungsparameter und des Hangprofils sollen Modellausgaben (Eintrags-/Austragskurven) interpretiert und anschließend richtig zugeordnet werden (Abb. 8.15).

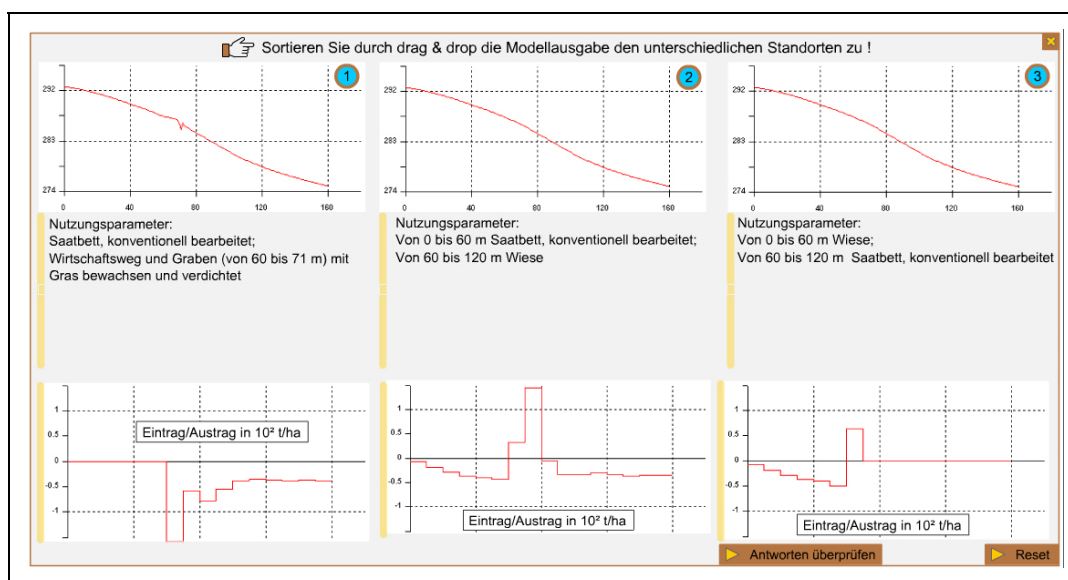


Abb. 8.15: Aufgabe 5 zum mmL-Objekt „Prozessorientierte Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten“

8.1.4.3 Beispiele für zusätzliche Lernaufgaben zum mmL-Objekt

Aufgabe 1: „Welcher Zusammenhang zwischen Niederschlagsintensität, Oberflächenabfluss und Bodenabtrag lässt sich anhand der Modellergebnisse erkennen? Vergleichen Sie die Auswirkungen unterschiedlicher Regenereignisse an einem Hang und interpretieren Sie die Modellergebnisse!“

Erläuterung:

Entscheidenden Einfluss auf das Erosionsereignisse hat weniger der Gesamtniederschlag als die Niederschlagsintensität. Eine Zunahme der Intensität bedingt eine größere Zunahme des Oberflächenabflusses und eine noch größere Zunahme des Abtrages. Im Vergleich des Starkniederschlages mit dem Gewitterregen auf konvex-konkavem Hang mit konventionellem Maisanbau wird dies deutlich. Fallen 35 mm Niederschlag innerhalb von 150 Minuten, beträgt der Netto-Austrag ca. 1 t/ha. Fällt die gleiche Niederschlagsmenge innerhalb von 100 Minuten, beträgt der Netto-Austrag bereits über 8 t/ha, also über das 8-fache. Der Abfluss steigert sich von ca. 0,4 m³/m beim Starkregen auf 1,35 m³/m beim Gewitterregen. Aufgrund der längeren Zeit kann beim 150 Minuten andauernden Starkregener-

eignis, bei gleicher Gesamtmenge, mehr Wasser in den Boden infiltrieren, so dass der kumulierte Abfluss am Hangfuß weniger als ein Drittel des Abflusses eines Gewitterregens ausmacht.

Aufgabe 2: „Beschreiben Sie die Auswirkung einer konvex-konkaven Hangform und einer konkaven Hangform auf den Bodenerosionsprozess und interpretieren Sie vergleichend die Ergebnisse. Gehen Sie dabei auch auf mögliche Schäden durch Bodenverlagerungen ein!“

Erläuterung:

Die Abtragskurven (Eintrag/Austrag) spiegeln die Profilstruktur der Hänge wider. Bei einem konvex-konkaven Hang steigt der Abtrag mit der Hanglänge und der Hangneigung. Geht der Hang in den flacheren konkaven Teil über, so nimmt der Feststoffaustrag etwas ab.

Beim konkaven Hang steigt am steilen Oberhang mit viel Reliefenergie der Abtrag mit der Hangneigung und Hanglänge. Beim ersten Hangknick (bei ca. 60 m) nimmt der Feststoffaustrag aufgrund des Verlustes an Reliefenergie ab. Es kann durch die hohe Sedimentzufuhr vom Oberhang zur Deposition in diesem Hangabschnitt kommen (z.B. bei der Kombination Mais konventionell - Gewitterregen). Am zweiten Hangknick (ca. 100 m) kommt es erneut zur Ablagerung, da der Hang hier nochmals an Reliefenergie verliert. Am flacheren Unterhang nimmt mit steigender Hanglänge der Austrag – auf geringerem Niveau – wieder zu. Im Vergleich zum konvex-konkaven Hang weisen konkav geformte Hänge ein geringeres Netto-Erosionsrisiko auf. Bei konkav geformten Hängen können jedoch auch einzelne Hangpartien ein höheres Erosionsrisiko aufweisen (Hangabschnitt 10 – 60 m).

Auch wenn der Nettoaustrag in angrenzende Flächen oder Gewässer (off-site Schäden: Eintrag von Sediment, Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln) bei dem konvex-konkav geformten Hang höher ausfällt, so ist die schädigende Wirkung einer Bodenmaterialverlagerung auch innerhalb eines Hanges (bei konkavem hang) nicht zu unterschätzen (on-site Schäden: Profilverkürzung mit Nährstoffverlust in manchen Hangsegmenten, Überlagerung von Pflanzen durch Akkumulation, Anreicherung von Sediment, Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln an Hangverflachungen).

8.1.4.4 Zu erwerbende Kompetenzen

Auf Grundlage des prozessorientierten Modells Erosion-2D zur Berechnung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten sollen durch die Simulation unterschiedlicher Parameterkombinationen Wirkungszusammenhänge im Prozesskomplex Bodenerosion von Studierenden eigenständig erschlossen werden. Im Rahmen der explorativen Herangehensweise werden Kompetenzen zur Erklärung der Ursachen-Wirkungsbeziehung zwischen den Faktoren Relief, Landnutzung (bzw. sich daraus ergebende Bodenparameter), Niederschlag und dem Bodenerosionsprozess erworben (Erklärungswissen). Modellergebnisse können interpretiert und Rückschlüsse auf einzelne Komponenten und Faktoren im Prozesskomplex gezogen werden. Hypothesen über Auswirkungen der Hangform, veränderter Nutzungsbedingungen oder Niederschlagsverhältnisse können – argumentativ begründet – aufgestellt und qualitative Vorhersagen zum Erosionsprozess getroffen werden.

8.1.4.5 Kategorisierung

Tab. 8.4: Kategorisierung des mmL-Objektes zur prozessorientierten Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten

Kategorie	Beschreibung
Aufgabenformen	Bei den einzelnen in der Modellanwendung integrierten Lernaufgaben handelt es sich um Aufgaben zum Verständnis von Beziehungen und Relationen. Zusatzaufgaben: Analyseaufgaben
Darstellungsformen	Modellanwendung mit interaktiven Menüs zur Eingabe der Modellparameter und Wahlmöglichkeiten zur Anzeige der verschiedenen Modell-Ausgabegrößen, die in Diagrammform parallel zum Hangprofil dargestellt und als Zahlenwerte für den Hangfuß angegeben werden.
Aufgabentypen mit direkter Rückmeldung	Aufgaben 1 - 4: Multiple Choice und Short-Answer (Aufg. 4) Aufgabe 5: Drag & Drop
Interaktionsmöglichkeiten	Aufgaben 1 bis 5 und Zusatzaufgaben – Kategorien 1 und 3

8.1.4.6 Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung in Präsenzphasen

Kenntnisse über wesentliche Einflussfaktoren und Zusammenhänge im Prozesskomplex Bodenerosion ermöglichen eine differenziertere Analyse des Prozessgeschehens in Präsenz, die durch eine Erweiterung der Modellanwendung mit zusätzlichen Parametern oder in der Auseinandersetzung mit der Modellkonstruktion realisiert werden kann. Vertiefende Erklärungsansätze können auf Grundlage der in der Modellanwendung gewonnenen Erkenntnisse diskutiert und von Studierenden leichter in bestehende Wissensstrukturen integriert werden.

Die Anwendung des Wissens kann in Diskussionen über Planungsmöglichkeiten auf Grundlage eines prozessorientierten Modells weitere Anknüpfungspunkte bieten: z.B. zur Optimierung des Wegenetzes, zur Anlage von Ackerrandstreifen oder zur Abschätzung des Eintrags von erodiertem Bodenmaterial und partikelgebundenen Schadstoffen in Oberflächengewässer.

Wurden zur Vorbereitung einer Präsenzphase Lernaufgaben zu empirisch abgeleiteten Bodenerosionsmodellen (z.B. zum Erosionsplaner) und physikalisch begründeten Modellen (mmL-Objekt zur prozessorientierten Modellierung) bearbeitet, so bietet sich in Präsenz ein Vergleich der Modellansätze (Zielsetzungen, Vor- und Nachteile, unterschiedliche Planungsmöglichkeiten, räumliche Übertragbarkeit) und Bewertungsverfahren auf Grundlage der verschiedenen Modelle an.

9 Hochschuldidaktisches Konzept zur Erstellung von multimedialen Lehr-/Lernangeboten im Rahmen von Lehrveranstaltungen durch Studierende

Die Entwicklung von hochwertigen multimedialen Lehr-/Lernangeboten (mmL-Angeboten), die mit interaktiven Anwendungen und Visualisierungen als verständnis- und anwendungsorientierte Wissensbausteine Studierenden zum Selbststudium zur Verfügung gestellt werden können, ist mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden. In einer Lehrveranstaltung wurde die in den Kapiteln 5 und 6 entwickelte mediendidaktische Konzeption mit ihren didaktisch-methodischen und technischen Elementen zur Unterstützung der Erstellung von aufgabenorientierten mmL-Objekten herangezogen und auf Anwendbarkeit und Übertragbarkeit überprüft. Das hochschuldidaktische Konzept zur Entwicklung von mmL-Angeboten im Rahmen von Lehrveranstaltungen durch Studierende wird im Folgenden aufgezeigt.

9.1 Erstellung von mmL-Angeboten in Lehrveranstaltungen

Zur Erprobung des hochschuldidaktischen Konzeptes konnte im Winter-Semester 2004/05 die Lehrveranstaltung „Erstellung von E-Learning-Modulen zu hydrologischen Themen“ mit 2 Semesterwochenstunden im Hauptstudium Geographie unter der Leitung von Frau Prof. Dr. Petra Döll und mir durchgeführt werden. Ziel war die Entwicklung von E-Learning-Modulen, die die Aneignung hydrologischen Wissens durch multimediale und interaktive Lehr-/Lernobjekte unterstützen und von den Studierenden im Rahmen der Lehrveranstaltung erstellt werden. Insgesamt haben 13 Studierende (Diplomstudiengang) an der Lehrveranstaltung teil-

genommen. Es wurden drei Lernmodule in Dreiergruppen und eins in einer Vierergruppe erstellt.

9.1.1 Zu erwerbende Kompetenzen

Mit dem Lehrveranstaltungs-Konzept wird ein Kompetenzaufbau in drei Bereichen angestrebt:

- Erfahrung, wie ein komplexer (hydrologischer) Sachverhalt vertieft erarbeitet und intensiv durchdacht werden kann.
- Aneignung didaktischer und methodischer Fähigkeiten zur (Re-) Organisation und Reduktion eines Stoffgebietes und mediendidaktischer Kenntnisse zur Entwicklung von Lehr-/Lernmaterialien.
- Fähigkeit zur Verwendung von Software-Werkzeugen zur Erstellung von multimedialen, webbasierten Selbstlernangeboten.

Die Entwicklung der Lernmodule in Kleingruppen ermöglicht zudem die Aneignung von Kommunikations-, Kooperations-, Selbststeuerungs- und Medienkompetenzen. Diese Kompetenzen werden auch Schlüsselqualifikationen genannt, da sie in Situationen im Berufsleben eine wichtige Funktion zur erfolgreichen Bewältigung der Aufgaben einnehmen. Die selbstgesteuerte Konzeption und Entwicklung von Lernmodulen erfordert ein hohes Maß an Motivation und die Fähigkeit, selbst Inhalte zu strukturieren und sich anzueignen.

9.2 Anleitung und Vorgaben

Die folgenden Rahmenvorgaben zur didaktischen und inhaltlichen Konzeption wurden vor der Entwicklungsphase als Hilfestellung erläutert und sollten bei der Modulentwicklung beachtet werden.

9.2.1 Grundlegende Anforderungen an ein Lernmodul

Modularität

Ein Modul dient der Bearbeitung einer in sich möglichst geschlossenen, kompakten thematischen Einheit, die als Wissensbaustein zur intensiven Auseinandersetzung mit einem Thema führt. Module werden zu Lerneinheiten zusammengestellt

und in unterschiedlicher Weise zu komplexen Lernstrukturen vernetzt. Mehrere thematisch aufeinander bezogene Module können dann Kontextbezüge oder Studien-Kurse abbilden.

Bearbeitungszeit

Die Bearbeitungszeit sollte eine Idealdauer von ca. 10 – 30 Minuten umfassen und maximal eine Stunde betragen.

Interaktivität

Es sind möglichst zahlreiche und vielfältige interaktive Komponenten einzubinden und Möglichkeiten zu schaffen, mit Modellen, Algorithmen, Gleichungen aktiv zu arbeiten. Inhalte sollen selbst gesteuert genutzt werden. Die Materialien regen zum Experimentieren, Explorieren, Analysieren und Entscheiden an.

Anwendungsorientierung

Es ist unbedingt eine Einbindung der Aufgaben und Übungen in eine geeignete Fragestellung/Problemstellung, wenn möglich einen Kontext, der an Vorwissen und Alltagserfahrungen anknüpft, vorzunehmen und ein Transfer der Fragestellung in die Praxis zu beachten, um Anknüpfungspunkte zur praktischen Verwendung zu bieten.

Hinweise zur Bearbeitung

Anleitende Hinweise zur Bearbeitung der Lernaufgaben, zum Umgang mit Modellen und Übungen müssen ausreichend zur Verfügung stehen, um die Bearbeitung in der Selbstlernphase zu unterstützen.

9.2.2 Inhaltliche Vorgaben

Vier Modulthemen wurden zur Bearbeitung ausgewählt:

1. Wasserkreislauf
2. Evapotranspiration
3. Hydrologische Speichergleichung
4. Stofftransportprozesse

Zu den Modulthemen wurde jeweils ein kurzer Text als inhaltliche Themensetzung vorgegeben. Das Beispiel zeigt den Umfang dieser inhaltlichen Rahmenvorgabe an:

„Hydrologische Speichergleichung“

Hier soll die Dynamik der hydrologischen Prozesse Niederschlag, ET, Abfluss und Wasserspeicherung, insbesondere die jahreszeitliche Dynamik, sowie die geographischen / räumlichen Unterschiede gezeigt werden. Für ausgewählte Standorte in allen Kontinenten der Erde (mit verschiedenen typischen Eigenschaften) sollen Zeitreihen der Prozesse gezeigt und analysiert werden. Dazu können (synthetische oder echte) ortsspezifische Klimareihen (mit Tageswerten) in ein einfaches Speichermodell des Bodens (z.B. SIMPEL 1 oder WaterGAP-Boden-Algorithmus) eingelesen werden, das dann in Abhängigkeit von Boden und Landbedeckung die potentielle Evapotranspiration, die aktuelle Evapotranspiration, den Abfluss und die Speicheränderungen berechnet. Sensitivitätsanalysen – z.B. zum Einfluss der Bodentextur oder der Landbedeckung – zeigen die Bedeutung dieser Charakteristika. Ein Vergleich mit gemessenen Abflüssen könnte die Genauigkeit solcher einfacher Modellrechnungen zeigen.

9.3 Verlauf der Lehrveranstaltung

Der zeitliche Ablauf der Lehrveranstaltung wurde folgendermaßen gestaltet:

Beginn: 20. Oktober 2004

- 6 Termine zur inhaltlichen und methodisch-didaktischen Einführung
- 3 Nachmittage zur Schulung von „Macromedia Flash“ (durch Tutor)
- 9 Termine zur Entwicklung der 4 Module in Gruppen, mit Coaching durch die Dozentin, den Dozenten und den Tutor
- 1 Termin zur Modulvorstellung

----- Ende des Wintersemesters am 9. Februar 2005

- Individuelle Gruppenbetreuung in den Semesterferien
- 2. Mai 2005: abschließende Modulpräsentation und Evaluation der Lehrveranstaltung

9.4 Evaluation der Lehrveranstaltung

Zur Evaluation der Lehrveranstaltung wurde nach der 9. Lehrveranstaltung und nach Abgabe der Lernmodule ein Fragebogen an die Studierenden ausgeteilt.

Bei der Zwischenevaluation ergab die Frage zur Motivation der Studierenden, an der Lehrveranstaltung teilzunehmen, folgendes Ergebnis:

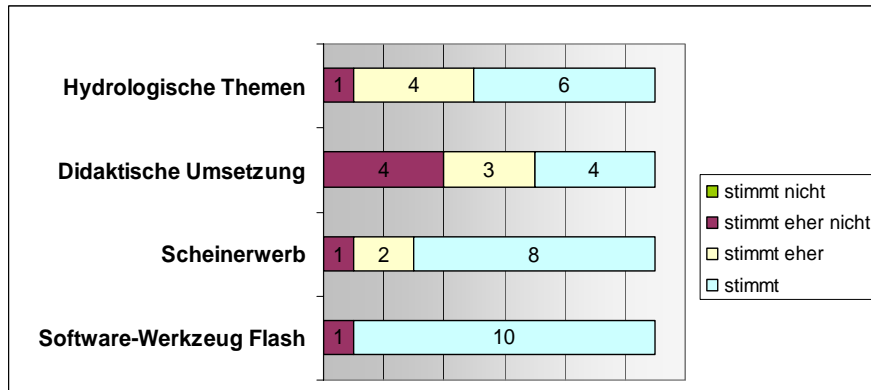


Abb. 9.1: Frage zur Motivation der Studierenden, an der Lehrveranstaltung teilzunehmen (n = 11).

Die Frage „Glauben Sie, in der Lehrveranstaltung ein gutes E-Learning-Modul erstellen zu können?“ wurde von den Studierenden überwiegend positiv beantwortet.

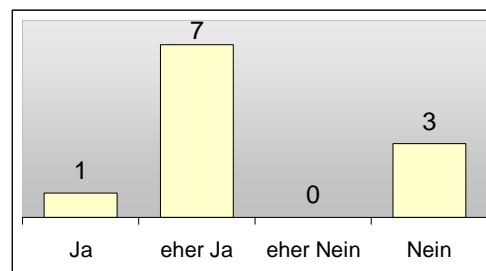


Abb. 9.2: Frage der Zwischenevaluation, ob die Studierenden glauben, ein gutes E-Learning-Modul erstellen zu können (n = 11).

Die Abschlussevaluation bestätigt die Erwartungshaltung der Studierenden. Die Frage „Welche Schulnote würden Sie dem in Ihrer Gruppe entwickelten Modul geben?“ erbrachte die folgenden Ergebnisse.

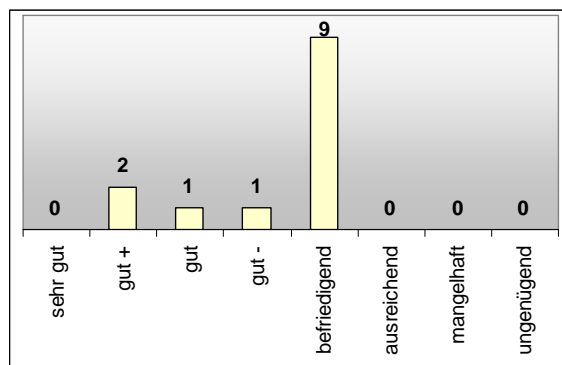


Abb. 9.3: Frage der Abschlussevaluation, welche Schulnote die Studierenden dem in ihrer Gruppe entwickelten Modul geben würden (n = 14).

Die Studierenden bewerteten darüber hinaus den Arbeitsaufwand für eine Übung mit zwei SWS für überdurchschnittlich hoch, die Nützlichkeit des erworbenen Wissens jedoch eher positiv. Trotz des hohen Arbeitsaufwandes halten immerhin noch 62 % der Studierenden das durchgeführte Modell der Entwicklung von E-Learning-Modulen durch Studierende für gut (Abb. 9.4).

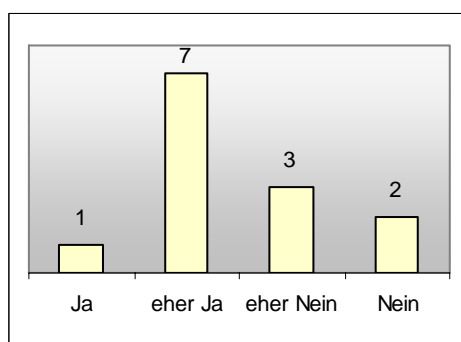


Abb. 9.4: Frage der Abschlussevaluation, ob die Studierenden das Modell der Entwicklung von E-Learning Modulen durch Studierende für ein gutes Konzept halten (n = 13).

Jedoch halten es die Studierenden für besser, nur kleinere Bestandteile eines Lernmodules (Animationen, Lernaufgaben, etc.) zu entwickeln und den Modulzusammenhang durch den Dozenten erstellen zu lassen. Darüber hinaus bejahen die Studierenden mehrheitlich, lediglich Inhalte und Struktur eines Moduls zu erarbeiten und die technische Umsetzung einer studentischen Hilfskraft zu

überlassen. Dies begründet sich aus dem Wunsch mit technisch einfacher handhabbaren Vorlagen zu arbeiten, auch wenn diese weniger Einblick in die Programmierung gewähren.

77 % der Studierenden empfinden die Bereicherung des Grundstudiums durch die Nutzung fertiger Module nach dem in der Lehrveranstaltung vorgestellten mediendidaktischen Konzept als sehr positiv (Abb. 9.5).

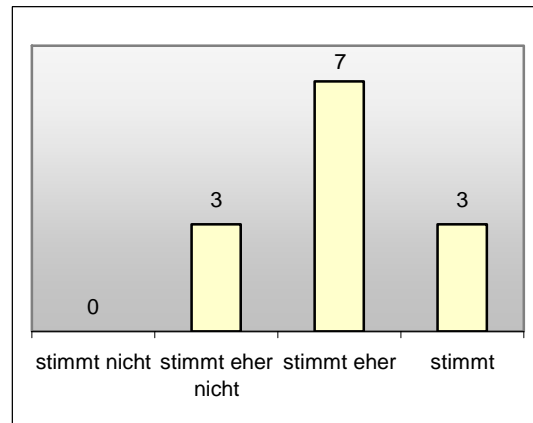


Abb. 9.5: Frage der Abschlussevaluation, ob fertige E-Learning-Module nach dem vorgestellten mediendidaktischen Konzept für das Grundstudium eine große Bereicherung darstellen (n=13).

Als frei zu formulierende Antworten konnte von Studierenden positives und kritisches Feedback gegeben werden. In der folgenden Zusammenfassung zeigt sich das Ergebnis der frei formulierten Antworten.

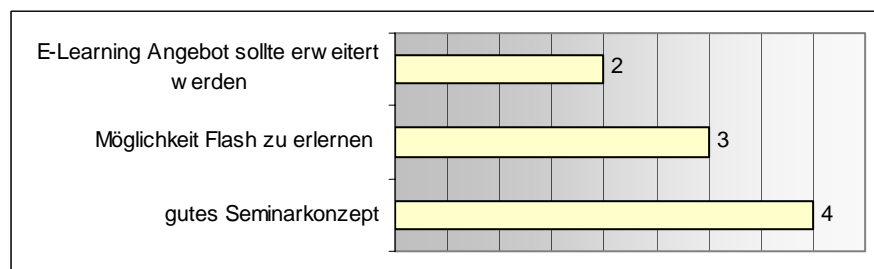


Abb. 9.6: Positives Feedback am Ende der Lehrveranstaltung (n = 9).

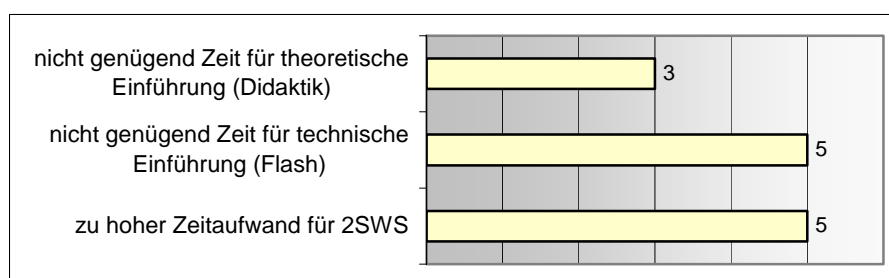


Abb. 9.7: Kritisches Feedback am Ende der Lehrveranstaltung (n = 13).

Fazit zur Veranstaltung „Erstellung von E-Learning-Modulen zu hydrologischen Themen“:

- Hohe zeitliche und inhaltliche Anforderungen an Studierende, aber auch hoher Lernerfolg. Um Lernmaterialien erstellen zu können, mussten sich die Studierenden intensiv mit den Inhalten, den Möglichkeiten zur Strukturierung, didaktischen Reduktion, Konstruktion von Aufgaben, Visualisierung und technischer Umsetzung auseinander setzen.
- Die Entwicklung eines von anderen Studierenden nutzbaren Wissensbausteins motiviert die Studierenden stark.
- Aufgrund der hohen Anforderungen ist eine erfolgreiche Durchführung des hochschuldidaktischen Konzeptes nur durch die technisch-mediendidaktische Mitarbeit wissenschaftlicher Mitarbeiter und Tutoren möglich.
- Die notwendige hohe wissenschaftliche Qualität der Module ist nur durch intensive Begleitung und Nachbereitung durch einen Dozenten erreichbar.

Zur Planung zukünftiger Vorhaben sollte darüber hinaus berücksichtigt werden, dass die vorgestellte Lernerorientierung des Ansatzes durch die Einbeziehung der Zielgruppenpräferenzen in die Herstellungsprozesse die Akzeptanz von Lehr-/Lernmaterialien erheblich steigern kann (EHLERS 2004). Die Akzeptanz eines Lernangebotes stellt einen wichtigen Schlüssel zur Steigerung des Lernerfolges dar (KERRES 2004, 9).

Die entstandenen Lernmodule sind unter der Web-Adresse:

http://www.geo.uni-frankfurt.de/E-Learning/Goethe-GEO_Online-Lernen/OL-Geomorphologie/index.html abrufbar.

9.5 Ausblick auf Weiterentwicklungen und Veränderungen des hochschuldidaktischen Konzeptes

Durchführung und Evaluation der Lehrveranstaltung zur Entwicklung von E-Learning-Modulen durch Studierende haben gezeigt, dass der Zeitaufwand für eine Veranstaltung mit zwei Semesterwochenstunden vergleichsweise hoch ausfällt. Um dem Problem entgegenzuwirken, können an verschiedenen Punkten des Lehrveranstaltungskonzeptes Veränderungen zur zeitlichen Entlastung beitragen.

Die hohen technischen Anforderungen zur Umsetzung von aufgabenorientierten mmL-Objekten mit Lernaufgaben, Übungen und Tests führten, vor allem bei Studierenden mit geringen Vorkenntnissen in der Anwendung der Software Flash zur Umsetzung der Web-Seiten, zu hohen zeitlichen Belastungen. Eine Vereinfachung der Entwicklungsarbeit kann durch verbesserte Flash-Vorlagen herbeigeführt werden. Eine umfangreiche Überarbeitung, die zu einer wesentlich leichteren Nutzung der Vorlagen führt, ist bereits umgesetzt. Die Produktion von Animationen wird durch eine Vorlagensammlung von graphischen Elementen unterstützt, bleibt jedoch aufwendig.

Eine zeitliche Entlastung kann auch durch die Ausdehnung der Veranstaltung auf zwei Semester (4 SWS) oder durch die Realisierung als Projekt (Bachelor / Master) erreicht werden. Die Konzeption sollte dann vorsehen, dass ein Prototyp des Moduls von den Studierenden zur Hälfte der Veranstaltung vorgelegt wird, die Module durch die übrigen Seminarteilnehmer evaluiert werden und im Anschluss noch genügend Zeit zur Überarbeitung der Materialien zur Verfügung steht. Auf diese Weise findet auch eine wünschenswerte inhaltliche Beschäftigung mit allen Themen der Veranstaltung statt.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Entwicklung nur einzelner Teilelemente eines Moduls (Animation, Modellanwendung usw.) pro Gruppe. Der Arbeitsaufwand wäre zwar geringer, allerdings würde bei diesem Konzept der Organisation, Strukturierung und didaktischen Reduktion des neuen Wissens ein geringerer Stellenwert zukommen. Gerade diese Prozesse sind jedoch mit tiefen mentalen Verarbeitungsprozessen verbunden und fördern die intensive kognitive Auseinandersetzung mit dem Lehr-/Lernstoff.

Alternativ könnte die Konzeption und Ausarbeitung eines Lernmoduls von den Studierenden durchgeführt werden und die technische Umsetzung durch einen Hilfswissenschaftler. Die Bearbeitung der Inhalte bleibt bei derartigen Modellkonzepten erfahrungsgemäß weniger intensiv, da sich häufig erst in der medialen Umsetzung zeigt, in wie weit eigene Elaborationsprozesse vorangeschritten sind und eine ausreichende Durchdringung des Lehr-/Lernstoffes bzw. der Lehr-/Lerninhalte stattgefunden hat.

10 Diskussion

Im Folgenden werden mmL-Objekte, die im Rahmen der Lehrveranstaltung von Studierenden zu hydrologischen Themen entwickelt wurden, vor dem Hintergrund der in Teil A der Dissertation ausgearbeiteten Konzepte (Kapitel 5 und 6) diskutiert. Exemplarisch wird die Anwendung der theoretischen Konzeption zur Optimierung von mmL-Objekten aufgezeigt und auf Grundlage von Lehr- und Beratungstätigkeiten bewertet. Schließlich werden die in Kapitel 6 formulierten Hypothesen zur Funktion von aufgabenorientierten mmL-Objekten (Lernaufgaben) im Rahmen von multimedialen Lehr-/Lernangeboten aufgegriffen und auf Basis der in der Praxis gesammelten Lernerdaten und Erfahrungen im Einsatz aufgabenorientierter mmL-Objekte praxisnah reflektiert.

10.1 Anwendbarkeit der theoretischen Konzeption zur Entwicklung aufgabenorientierter mmL-Objekte

Mit Hilfe der Empfehlungen zur Kombination der didaktisch-methodischen Elemente eines aufgabenorientierten mmL-Objektes kann im Entwicklungsprozess überprüft werden, ob die Komponenten eines mmL-Objektes den erarbeiteten Vorgaben der Kapitel 5 und 6 entsprechen. Bezüglich der Zielsetzung einer Aufgabe im Sinne des angestrebten kognitiven Zielhorizontes, der Darstellungsform, der Interaktionsmöglichkeiten und des Aufgabentypes können Abweichungen von den Empfehlungen schnell aufgedeckt und Gründe dafür untersucht werden. Sprechen nach einer Überprüfung keine besonderen didaktisch-methodischen Gründe oder technischen Einschränkungen dagegen, so sollte das mmL-Objekt entsprechend angepasst werden. Durch diese Angleichung einzelner Komponenten an die Empfehlungen können mmL-Objekte schrittweise optimiert und für bestimmte Funktionen im Lehr-/Lernprozess ausgerichtet werden. Die konkreten Hinweise auf die zu verändernden Eigenschaften der mmL-Objekt-Komponenten – sowie die in Kapitel 6 angeführten Beispiele – unterstützen Entwickler bei diesem Anpassungs- und Optimierungsprozess.

Anhand von zwei, im Rahmen der Lehrveranstaltung zur Erstellung von E-Learning-Modulen zu hydrologischen Themen, von Studierenden entwickelten mmL-Objekten werden im Folgenden Möglichkeiten zur Nutzung der Empfehlungen exemplarisch aufgezeigt.

10.1.1 Umsetzung der Empfehlungen anhand des mmL-Objektes „Globaler Wasserkreislauf“

Das mmL-Objekt zum globalen Wasserkreislauf bestand in einer ersten Version aus einem Text und einer Animation, die mit der Einblendung des globalen Wasserkreislaufs durch Blockpfeile (siehe Abb. 10.1) endete. Alle langjährigen mittleren Wasserflüsse wurden quantitativ in $1000 \text{ km}^3/\text{a}$ angegeben. Ziel des Lernobjektes sollte sein, die Wassertransporte auf der Erde als Kreislauf zu verstehen und im Rahmen des Lernmoduls „Wasserkreislauf“³³ zu verdeutlichen, dass sich der Abfluss aus der Differenz der Niederschläge und Verdunstung der Landoberfläche zusammensetzt und dem Abfluss eine besondere Bedeutung zukommt, da

³³ http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_503;1

nur dieser Teil des Wasserkreislaufes für den Menschen nachhaltig zur Wassernutzung zur Verfügung steht. Der Vergleich mit den Empfehlungen zur Konstruktion einer Verständnisaufgabe aus Kapitel 6 zeigt, dass zur Entwicklung einer Lernaufgabe die Aufgabenkomponente fehlt. Durch diese kann jedoch erst sichergestellt werden, dass die wesentlichen Elemente und Sachverhalte der Animation mit hoher Wahrscheinlichkeit beachtet werden. Um die Aufmerksamkeit der Studierenden auf den Abfluss zu richten und eine intensivere Auseinandersetzung mit dem mmL-Objekt anzuregen, wurde die Mengenangabe des Abflusses aus der Abbildung herausgenommen und die Aufgabe zur Berechnung des langjährig mittleren Abflusses konstruiert (Abb. 10.1).

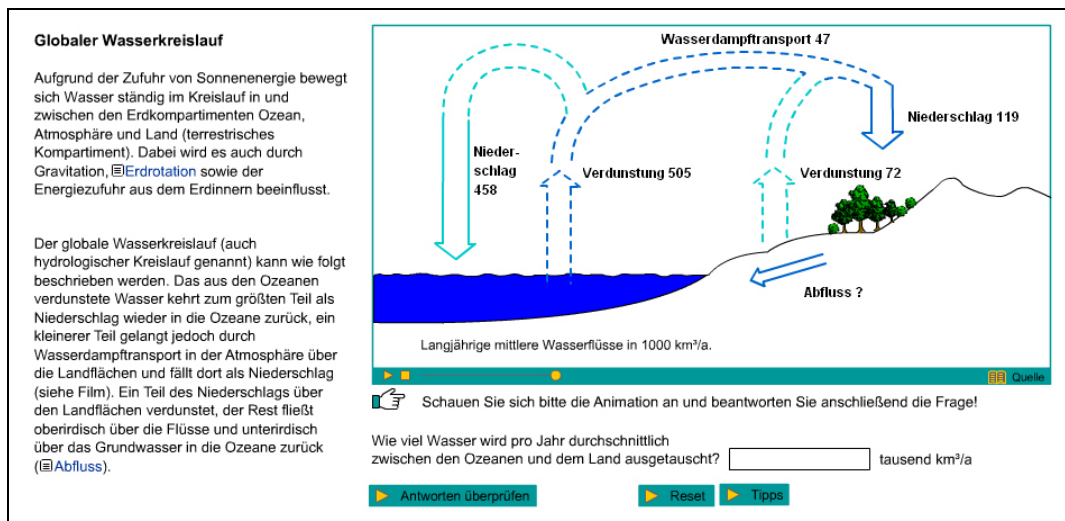


Abb. 10.1: Aufgabe zur Animation des globalen Wasserkreislaufs. Dem Abfluss als einzige regenerative Süßwasser-Ressource kommt besondere Bedeutung zu (aus dem Goethe-Geo Modul „Speichergleichung“, http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_503;1)³⁴.

Darstellungsform, Interaktionsmöglichkeiten und Aufgabentyp decken sich mit den Empfehlungen. Die bildhafte Animation (Verdunstung, Wolken, Regen, Bäume usw.) zur Unterstützung einer direkten Konstruktion eines mentalen Modells wird nach den Empfehlungen in eine Abbildung mit höherem Abstraktionsniveau überführt (vgl. 6.2.1.2), um wesentliche Merkmale der Zirkulation des Wassers auf der Erde herauszustellen. Am Ende der Animation könnte der Kreislauf mit Verdunstung, Transport (in Form von Wolken), Niederschlag und Ab-

³⁴ Das Lehr-/Lernmodul wurde in Kooperation mit Studierenden und Prof. P. Döll im Rahmen der Lehrveranstaltung „Erstellung von E-Learning Modulen zu hydrologischen Themen“ (Kapitel 9) entwickelt.

fluss nochmals dynamisch und bildhaft dargestellt werden. Im konkreten Fall erscheint der technische Aufwand im Vergleich zum „Nutzen“ einer solchen Dynamisierung als zu hoch, so dass im Beispiel die Pfeile den Betrachter dazu anregen sollen, das Abbild entsprechend der vorangegangenen Bewegtbildsequenz zu „verflüssigen“, also die Elemente des mentalen Modells „in Bewegung zu setzen“. Der hohe visuelle Abstraktionsgrad (Pfeile und Text anstatt bildhafte Darstellungen von Wolken, Niederschlag usw.) erscheint am Ende der Animation – aufgrund der von der Konstruktionsfunktion der Abbildung geforderten Übersichtlichkeit – am geeignetsten.

Das Beispiel zur (Um-)Gestaltung des mmL-Objektes zeigt, wie ein Vergleich mit den Empfehlungen eine schrittweise Unterstützung bei der Erstellung und Optimierung aufgabenorientierter mmL-Objekte bietet.

10.1.2 Umsetzung der Empfehlungen anhand des mmL-Objektes „Wasserspeichermodell des Bodens“

Bei der Entwicklung des mmL-Objektes zur Hydrologischen Speichergleichung auf Grundlage eines physikalisch basierten Wasserspeichermodells des Bodens konnte der Ansatz des „Lernens mit Modellen“ (vgl. Kapitel 3.3.3.3) übertragen werden (Abb. 10.2).

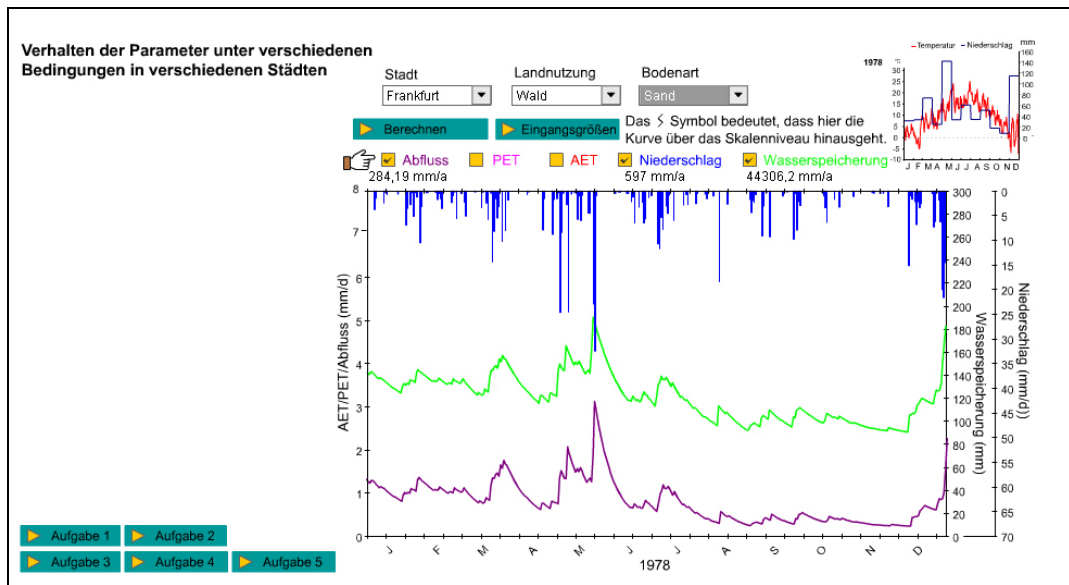


Abb. 10.2: MmL-Objekt auf Grundlage eines Wasserspeichermodells des Bodens im Rahmen des Goethe-Geo Moduls „Hydrologische Speichergleichung“, http://idg.geographie.uni-frankfurt.de/goethe-geo/webtest/web/rahmen.php?string=1;h_501;1)³⁵.

Der Aufbau des mmL-Objektes auf Grundlage des prozessorientierten Speichermodells, bei dem für ausgewählte Standorte die jahreszeitliche Dynamik der hydrologischen Prozesse Niederschlag, Evapotranspiration, Abfluss und Wasserspeicherung sowie die geographischen/räumlichen Unterschiede angezeigt und analysiert werden können, konnte nach der Vorlage des mmL-Objektes zur prozessorientierten Modellierung von Oberflächenabfluss und Feststofftransporten (Abb. 8.14) konstruiert werden. Im explorativen Umgang kann das Verhalten der unterschiedlichen hydrologischen Parameter in Abhängigkeit von Bodenart und Landbedeckung für Standorte mit unterschiedlichen Klimabedingungen untersucht werden. Ursache-Wirkungsbeziehungen des hydrologischen Prozesskom-

³⁵ Das Lehr-/Lernmodul wurde in Kooperation mit Studierenden und Prof. P. Döll im Rahmen der Lehrveranstaltung „Erstellung von E-Learning Modulen zu hydrologischen Themen“ (Kapitel 9) entwickelt.

plexes können mit Hilfe der Modellanwendung erschlossen werden. Integrierte Aufgabenstellungen weisen auf wesentliche Zusammenhänge und Beziehungen von Einflussgrößen und Prozessabläufen hin, die in der Bearbeitung der Aufgaben eigenständig entdeckt werden können.

Der Vergleich mit den Empfehlungen zur Konstruktion von Aufgaben zum Verständnis von Beziehungen und Relationen (Kapitel 6.2.1.3) zeigt, dass gewählte Darstellungsformen, Interaktionsmöglichkeiten und Aufgabentypen des mmL-Objektes den Empfehlungen entsprechen. Dadurch, dass die theoretische Konzeption parallel zur Entwicklung der mmL-Objekte der vorliegenden Arbeit immer weiter ausgearbeitet wurde und der Aufbau des mmL-Objektes zum Speichermodell des Bodens nach der Vorlage des mmL-Objektes zur prozessorientierten Modellierung der Bodenerosion (Kapitel 8.1.4) erfolgte, sind in dem mmL-Objekt zum Speichermodell die postulierten Anforderungen der Empfehlungen aus Kapitel 6 bereits umgesetzt.

Beziehungen zwischen den Niederschlagsdaten und den Modellausgaben werden in geeigneter Form mit Hilfe des Diagramms deutlich. Mit den Möglichkeiten zur Veränderung einzelner Eingabeparameter des Speichermodells (Interaktionskategorie 3) lässt sich das Diagramm dynamisieren. Wirkungszusammenhänge im Prozesskomplex lassen sich auf diese Weise dynamisch zur Laufzeit veranschaulichen. Die integrierten Aufgaben zielen auf ein Verständnis der wesentlichen Zusammenhänge des Wirkungsgefüges. Mit Hilfe des Modells werden – als wissenschaftliche Erklärung – Ursachen mit Wirkungen verbunden (Erklärungswissen). Aufgaben zum Verständnis von Beziehungen und Relationen bilden eine Untergruppe der Verständnisaufgaben. Empfehlungen zur Konstruktion aufgabenorientierter mmL-Objekte dieser Kategorie sind, im Vergleich zu den Empfehlungen zur Konstruktion von Verständnisaufgaben, enger gefasst und auf spezifische Problemsituationen der Kategorie ausgerichtet.

Die Variation der Modelleingangsparameter ist in der vorliegenden Version des mmL-Objektes auf die vorgegebenen Wahlmöglichkeiten des vorbereiteten Parametersatzes beschränkt. Programmanwendungen, die in die Web-Umgebung direkt integriert sind³⁶ oder auf einem Server laufen und durch eine Server-Client-Verbindung über das Internet nutzbar sind, können aus technischer Sicht in ähnlicher Weise wie das oben beschriebene mmL-Objekt gestaltet werden. Über Ein-

³⁶ Dies ist der Fall bei dem mmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung von Standorten in Mitteleuropa (Kapitel 8.1.3)

gabemasken ist so die Eingabe eigener Daten und Messreihen möglich. Entsprechend den Empfehlungen aus Kapitel 6 wäre dann auch die Konstruktion von Lernaufgaben mit kognitiven Zielhorizonten von Anwendungs- und Gestaltungsaufgaben, Analyseaufgaben oder Problemlöseaufgaben entsprechend der in Kapitel 8 beschriebenen Zielsetzungen der Aufgaben zum mmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung von Standorten in Mitteleuropa (Kapitel 8.1.3) umsetzbar. Die eigenständige Anwendung und Parametrisierung eines physikalisch basierten Wasserspeichermodells des Bodens setzt jedoch bereits weitreichende Kenntnisse und Fähigkeiten voraus, deren Erwerb über das Lehr-/Lernziel im Rahmen des Lernmoduls „Hydrologische Speichergleichung“ und der geplanten Lehr-/Lernsituation, in der das mmL-Objekt eingesetzt werden soll (Einführung in die Hydrogeographie), hinausreicht. Der Ansatz des mmL-Objektes ist jedoch so gewählt, dass nach der Erarbeitung entsprechender Kenntnisse gut an erworbenes Wissen über grundlegende Zusammenhänge angeknüpft und durch eine Bearbeitung anwendungsorientierter Fragestellungen mit Hilfe komplexer Modellanwendungen bestehendes Wissen vertieft werden kann. So können sich dann weiterreichende Fähigkeiten und Kenntnisse angeeignet werden, ohne das Verständnis für Zusammenhänge im Wirkungsgefüge hydrologischer Prozesse grundlegend neu aufbauen zu müssen.

10.2 Kritische Reflexion der theoretischen Konzeption zur Entwicklung aufgabenorientierter mmL-Objekte

Bei der Anwendung der theoretischen Konzeption zur Entwicklung aufgabenorientierter mmL-Objekte kann insbesondere die Abgrenzung der verschiedenen Aufgabenformen eine Schwierigkeit bei der Entwicklungsarbeit darstellen. Von der Zuordnung hängt hinsichtlich der Empfehlungen zur Gestaltung und Kombination der Komponenten eines mmL-Objektes sowie der Zielsetzung der Aufgabenkomponente, im Sinne der bei der Bearbeitung zu erwerbenden Kompetenz, viel in Bezug auf Ausrichtung und Ausgestaltung eines mmL-Objektes ab. Die Zuordnung gestaltet sich aus meiner Erfahrung, die ich durch meine Mitarbeit und Beratungstätigkeit in verschiedenen auf „Content-Produktion“ ausgerichteten Projekten³⁷ und im Rahmen der Lehrveranstaltung zur „Entwicklung von E-Learning-Modulen zu hydrologischen Themen durch Studierende“ gewinnen konnte, besonders für weniger erfahrene Entwickler als schwierig, da es zwischen den verschiedenen Aufgabenformen zu Überlappungen kommt, die eine einfache Zuordnung erschweren. Probleme bereitet die Tatsache, dass die Beschreibungen der Funktion der mmL-Objekte im Lernprozess und der Zielsetzungen der Aufgaben auf einer recht allgemeinen Ebene stattfinden und keine trennscharfen Angaben zur Abgrenzung gegenüber anderen Aufgabenformen erfolgen. Dies wurde allerdings bewusst so gewählt, da jede Entwicklungs- und Lehr-/Lernsituation unterschiedliche Bedingungen mit sich bringt und durch Überschneidungsbereiche eine trennscharfe Kategorisierung der Aufgabenformen nicht möglich ist. Vielmehr sind Grenzen beschriebener Aufgabenformen fließend und Aufgabenformen höheren Leistungsniveaus können andere Aufgabenformen mit einschließen. So bilden Aufgaben zum Verständnis von Beziehungen und Relationen und Aufgaben zur Strukturierung von Abläufen und Prozessen Untergruppen der Verständnisaufgaben mit jeweils spezifischen Empfehlungen. Analyseaufgaben in Verbindung mit webbasierter Modellierung können z.B. Aufgaben zum Verständnis von Beziehungen und Relationen mit einschließen (Beispiel a, S. 198). Problemlöseaufgaben können, wie in einem weiteren Beispiel aus Kapitel 6 (Kap. 6.2.1.7) beschrie-

³⁷ Entwicklung von E-Learning-Modulen in Kooperation mit der Facheinheit Geophysik und Beratung verschiedener Projekte als Referent und Coach der E-Learning Workshopreihe mit Zertifikat der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt.

ben, die Bearbeitung von Anwendungsaufgaben zur Bewältigung einzelner Teilschritte beinhalten (im Rahmen des Problemlöseprozesses erfordert die Entwicklung von Vorschlägen zum Flächenmanagement die Anwendung eines Bodenerosionsmodells). Die Beispiele aus Kapitel 8 zeigen, dass Aufgabenformen unterschiedlicher Leistungsanforderungen in Verbindung mit einem mmL-Objekt konstruiert werden können. Überlappungsbereiche der verschiedenen Aufgabenformen werden in diesem Zusammenhang nochmals deutlich.

Eine wesentliche Schwierigkeit für wenig erfahrene Entwickler besteht jedoch zuvor erst einmal darin, Aufgaben zu konstruieren, die über die Reproduktion von Faktenwissen hinausgehen und deren Lösung die Anwendung prozeduralen Wissens verlangt. Zum einen fällt es schwer, komplexere Aufgabenstellungen zu entwickeln, wenn die Lehrinhalte von den Autoren selbst noch nicht intensiv genug durchdrungen sind und zum anderen wenig Wissen und Erfahrung in der Konstruktion von anspruchsvolleren Aufgabenformen, wie Verständnisaufgaben, Anwendungs- und Gestaltungsaufgaben, Analyse- und Bewertungsaufgaben, besteht. In diesem Zusammenhang haben sich die Kategorisierungen, Empfehlungen als richtungsweisender Leitfaden und die Beispiele als theoretisch begründete Vorlagen bewährt.

Die Konstruktion von Lernaufgaben zu Leistungsanforderungen, die zum Beispiel in Verbindung mit Modellanwendungen realisiert werden können (wie z.B. beim aufgabenorientierten mmL-Objekt zur quantitativen Bodenerosionsmodellierung beliebiger Standorte in Mitteleuropa, Kapitel 8.1.3), erfordern jedoch häufig einen relativ hohen Entwicklungsaufwand, der auch in der technischen Umsetzung sehr anspruchsvoll sein kann.

Ein zusätzliches Problem stellt die lediglich bedingte Übertragbarkeit der Kategorisierungen und Empfehlungen auf andere Kontexte als die Grundausbildung in Physischer Geographie dar. Um die Übertragbarkeit zu gewährleisten und spezifische Empfehlungen für unterschiedliche Kontexte ausweisen zu können, ist weitere Forschungsarbeit notwendig.

Für die Konzeption von aufgabenorientierten mmL-Objekten in der Physischen Geographie können angeführte Beispiele als Ideengeber und zur Anregung eigener Kreativität dienen. Die theoretische Konzeption stellt dabei einen Orientierungsrahmen bereit, in dem in einem iterativen Prozess Konzepte für mmL-Objekte und bereits erstellte Komponenten systematisch reflektiert und Alternativen

zur Veränderung der Konzeption und einzelner Elemente gezielter durchdacht werden können.

10.3 Praxisnahe Reflexion des Stellenwertes von Lernaufgaben im Rahmen von multimedialen Lehr-/Lernangeboten

Im Folgenden werden die in Kapitel 6 (Kap. 6.2, Tab. 6.1) aufgestellten Hypothesen zur Funktion und Bedeutung von Lernaufgaben in multimedialen Lehr-/Lernangeboten auf Grundlage von automatisiert erhobenen Lernerdaten, Studierenden-Befragungen und Erfahrungen, die beim Einsatz von aufgabenorientierten mmL-Objekten in Lehrveranstaltungen gewonnen wurden, reflektiert.

Die Lernerdaten können bei der Bearbeitung von Lernobjekten durch eine Schnittstelle zu einer Datenbank aufgezeichnet werden (so genanntes „user tracking“). Dabei werden Bearbeitungszeit (Aufruf der Seite) und Ergebnisse der Aufgabenbearbeitung gespeichert. Zusätzlich besteht mit Hilfe der WEBGEO-Technologie die Möglichkeit Fragebögen vor und nach der Bearbeitung der webbasierten mmL-Angebote zur Befragung der Lernenden einzusetzen³⁸.

Hypothese 1

Lernaufgaben können mit größerer Wahrscheinlichkeit, im Gegensatz zu einer reinen Präsentation von Inhalten, die Intensität der individuellen kognitiven Auseinandersetzung mit den Inhalten erhöhen und stellen sicher, dass die für einen Lernerfolg notwendigen kognitiven Handlungen und Aktionen ausgeführt werden.

Die Intensität der kognitiven Auseinandersetzungen mit den Lehr-/Lerninhalten stellt einen wesentlichen Faktor im Lernprozess dar. Vor dem Hintergrund empirischer Untersuchungen (JONASSEN 1996, KERRES 2003, VATH *et al.* 2001), ist unumstritten, dass eine Intensivierung des Lernverhaltens erforderlich ist, um eine Steigerung des Lernerfolges zu erzielen. Die Auswertung des „user tracking“ hat gezeigt, dass Web-Seiten, die aufgabenorientierte mmL-Objekte beinhalten, höchst wahrscheinlich intensiver genutzt werden als Lernmodul-Seiten mit reinem

³⁸ Entwickelte Lehr-/Lernmaterialien werden seit November 2001 in zahlreichen Lehrveranstaltungen (mindestens 25 Lehrveranstaltungen mit substanziellem Einsatz von webbasierten mmL-Elementen) eingesetzt und Lernerdaten durch das „user tracking“ und den Einsatz von Fragebögen aufgezeichnet.

Informationsangebot (Text mit Bild bzw. graphischem Element). Die Bearbeitungszeiten liegen bei Seiten, in denen aufgabenorientierte mmL-Objekte integriert sind, deutlich über denen mit reinen Informationsangeboten. Reine Textseiten und Web-Seiten, die ausschließlich Text und Bild ohne Aufgabenkomponente enthalten, werden zum Teil nur wenige Sekunden aufgerufen – sofern der Inhalt nicht direkt Prüfungsrelevanz besitzt und unmittelbar zur Prüfungsvorbereitung genutzt wird. Auch Lernmodul-Seiten mit interaktiven Elementen (z.B. eine interaktive Visualisierung) werden, nach der Integration einer Aufgabenstellung, deutlich länger abgerufen. Eine Gegenüberstellung der Lernerdaten, die vor und nach der Integration der Aufgabenkomponente aufgezeichnet wurden, zeigt, dass ein Großteil der Lernenden sich erst nach der Integration der Aufgabe in adäquater Weise mit dem Lerngegenstand auseinandergesetzt hat. Zuvor war der Aufruf der Seiten so kurz, dass man davon ausgehen muss, dass die Auseinandersetzung mit den Inhalten bei vielen Lernenden nur oberflächlich erfolgte.

An dieser Stelle der Dissertation sei noch einmal herausgestellt: Mit Hilfe der Aufgabenkomponente kann sichergestellt werden, dass im Falle einer korrekten Bearbeitung der Aufgabe die Intensität bzw. Qualität der kognitiven Verarbeitung mit hoher Wahrscheinlichkeit dem angestrebten Leistungsniveau entspricht. Die interaktive Komponente eines mmL-Objektes kann – ebenso wie eine andere Formen der Präsentation – andere Einblicke und Einsichten in den Lerngegenstand bieten und sich auf diese Weise positiv auf das Interesse am Lerninhalt auswirken. Varianten der Visualisierung, der Simulation, Modellierung und Interaktion, die den Lernenden andere Zugänge zu einer Thematik eröffnen als beispielsweise eine rein verbale Darstellungsform, wie etwa im Rahmen eines Vortrags, können die Lernmotivation steigern. Die Qualität der kognitiven Verarbeitung lässt sich jedoch nur in Verbindung mit einer Aufgabenkomponente sicherstellen.

Zahlreiche Äußerungen der Studierenden wie: *„Wir konnten uns den komplexen Prozess der Bodenerosion viel besser vorstellen“* oder *„Mit Hilfe der Modellanwendung konnten wir das Phänomen Bodenerosion selbst erforschen“* (Kommentare von Studierenden nach der Bearbeitung von Lernaufgaben in Verbindung mit dem Erosionsplaner (Kapitel 8.1.3) im Rahmen eines Geländepraktikums im Sommersemester 2004) sowie der Vorschlag einiger Studierender, Ergebnisse der Aufgabenbearbeitung (z.B. Planung eines standortgerechten Fruchtfolge-Management-

ments) mit den zuständigen Landwirten zu diskutieren, geben Hinweise auf die hohe Intensität der inhaltlichen Auseinandersetzung mit den Lerngegenständen und dem motivationalen Involviertsein der Studierenden.

Hypothese 2

Lernaufgaben ermöglichen die Anwendung von Wissen anhand verschiedener Beispiele und fördern in der Bearbeitung die Transferierbarkeit und Kontextualisierung von Wissen.

Die in Kapitel 8 beschriebenen aufgabenorientierten mmL-Objekte zu modellbasierten mmL-Objekten zeigen, dass die Kombination von Aufgaben-, Interaktivitäts-, und Präsentationskomponenten unterschiedliche Perspektiven auf den Lerngegenstand ermöglichen, unterschiedliche Kontexte zu einem mmL-Objekt hergestellt werden können und die Anwendung des Wissens eingeübt werden kann. Es hat sich gezeigt, dass Aufgabenformen höherer Leistungsniveaus – Anwendungs- und Gestaltungsaufgaben-, Analyse-, Problemlöse- und Bewertungsaufgaben – in Verbindung mit den beschriebenen Modellanwendungen sich besonders dazu eignen Kontexte herzustellen und die Modellanwendung in ein situatives Setting einzubinden (vgl. Kapitel 8.1.2. u. 8.1.3). In verschiedenen Aufgaben kann zu einem mmL-Objekt sowohl in mehreren (Fall-)Beispielen aufgezeigt werden, in welchen Kontexten das zu erwerbende Wissen bzw. die zu erwerbenden kognitiven Fertigkeiten anzuwenden sind als auch in der Bearbeitung die Anwendung des Wissens zum Aufbau von kognitiven Fertigkeiten einübt werden. Beispiele stellen jedoch immer nur Einzelfälle dar. So besteht die Gefahr, dass den Lernenden keine angemessene Generalisierung bzw. Abstraktion des Wissens gelingt. Es ist daher angebracht, das allgemeine Grundprinzip (Regel, Zusammenhänge usw.) – z.B. im Rahmen einer Verständnisaufgabe – explizit darzulegen und dieses auch in Form von Beispielen – z.B. im Rahmen von Anwendungs-, Analyse- oder Problemlöseaufgaben – zu illustrieren. Es wird deutlich, dass gerade in der Konstruktion unterschiedlicher Aufgabenformen ein Wechsel von Grundprinzip und Einzelfall erreicht und damit die Transferierbarkeit des Wissens erleichtert werden kann, indem abstraktes Wissen (Grundprinzipien), welches prinzipiell auf verschiedene Problemsituationen übertragbar ist, aufgebaut werden kann und gleichzeitig die Aneignung von kontextuellem Wissen (wann und wo ist welches Wissen anzuwenden) möglich wird.

Hypothese 3

Anhand von Lernaufgaben können Studierende durch die Möglichkeiten der Selbstprüfung ihren Lernfortschritt beobachten und Lerndefizite eigenständig identifizieren.

Für Lernende ist es vor allem beim selbstgesteuerten Lernen, bei dem über einen längeren Zeitraum allein und eigenständig mit den Lernmaterialien gearbeitet wird, von Bedeutung, Hinweise über die Angemessenheit der investierten Zeit bzw. mentalen Anstrengung und zum relativen Lernfortschritt zu bekommen. Nach den Rückmeldungen der Studierenden im Freitext-Teil der Online-Fragebögen, die in den Evaluationsphasen den WEBGEO-Lehr-/Lernmodulen nachgeschaltet waren, scheint für Studierende das Gefühl, ein definiertes Pensum bewältigt zu haben, von besonderer Bedeutung. Die zahlreichen Hinweise auf die Nützlichkeit von Lernaufgaben, „mit deren Hilfe man beim Lernen merkt, ob man den Stoff verstanden hat“ und „ob man die wesentlichen Inhalte mitbekommen hat“ (Zitate von Aussagen der Studierenden aus den Online-Fragebögen) lassen auf die zentrale Rolle schließen, die Lernaufgaben in selbstgesteuerten Lernsituationen spielen.

Anders als die Funktion von Tests der „Programmierten Unterweisung“ zur Lernerfolgskontrolle und Prüfung können Lernaufgaben im Rahmen von selbstgesteuerten Lernkontexten Funktionen der Motivation und Orientierung im Lernprozess übernehmen. Die Rückmeldung zu einer Lernaufgabe dient in diesem Zusammenhang der Selbsteinschätzung und Bestätigung sowie der Möglichkeit der Selbstprüfung als Orientierungshilfe zu weiteren möglichen/notwendigen Lernschritten.

Hypothese 4

Lernaufgaben ermöglichen die Förderung der Kommunikation und Kooperation zwischen den Studierenden und zwischen Studierenden und Lehrenden, z.B. durch die Einbettung diskursiver Elemente oder die Bearbeitung von Gruppenaufgaben (z.B. in einem webbasierten Forum).

Kommunikations- und Kooperationsprozesse, die durch aufgabenorientierte mL-Objekte angeregt werden, beziehen sich vorrangig auf Lernaktivitäten, die in direktem inhaltlichen Bezug zum Lerngegenstand stehen. Der Übergang zwischen kommunikativen und kooperativen Lernaktivitäten ist dabei fließend. Ko-

operatives Arbeiten zielt vorrangig auf die gemeinsame Erstellung und Bearbeitung eines Produktes (z.B. eines Berichtes, Referates oder Lernmoduls), während bei der Kommunikation der persönliche Dialog ohne direkt greifbares „produktives“ Ergebnis im Vordergrund steht. Kommunikation und Kooperation dienen letztlich dazu, bestimmte Lehr- und Lernziele zu erreichen. Angestrebte Zielkategorien können bei Methoden- und Sozialkompetenzen die Kommunikation und Kooperation selbst betreffen. Dies ist der Fall, wenn beispielsweise gelernt werden soll, in einer Gruppe zu arbeiten, sich auszudrücken oder auf Andere einzugehen. Ebenso können durch Kooperation und Kommunikation auf den Inhalt bezogene Lernprozesse unterstützt werden, wenn z.B. das Verständnis kontroverser wissenschaftlicher Positionen und komplexer Zusammenhänge es erfordert, diese im Diskurs nachvollziehen zu können. Die in Kapitel 8 vorgestellten Anknüpfungsmöglichkeiten zur Einbindung der aufgabenorientierten mmL-Objekte in Präsenzphasen (Kapitel 8.8.1.1.5, 8.8.1.2.6, 8.1.3.6 und 8.1.4.6) zeigen auf, wie diskursive Elemente zur Förderung der Kommunikation durch die Konstruktion geeigneter Lernaufgaben eingebettet werden können. Sie ermöglichen eine direkte Bezugnahme zwischen den Inhalten des mmL-Angebotes und den Inhalten der Präsenzlehre, um einen Synergieeffekt im Sinne einer Ergänzung bzw. Verzahnung von Wissen und methodischer Anwendung des Wissens zu entfalten. Die Lernaufgaben-Beispiele in Kapitel 8.1.3.3 (Aufgabe 2 und 4) bestätigen die Eignung der Aufgabenkomponente eines mmL-Objektes zur Förderung eines intensiven Austausches zwischen den Studierenden bei der Bearbeitung in Partner- und Gruppenarbeit. Damit die Partner- oder Gruppenarbeit nicht auf die Bearbeitung unzusammenhängender Teilaufgaben reduziert wird, sollte die Aufgabe eine angemessene Komplexität aufweisen und einen Mehrwert gegenüber einer individuellen Bearbeitung erkennbar werden lassen, so dass das Ziel der kommunikativen Auseinandersetzung auch tatsächlich erreicht werden kann.

11 Schlussbetrachtung und Ausblick

Erfolgreiches Lernen setzt voraus, sich aktiv mit den Lehr-/Lerninhalten auseinander zu setzen. Computergestützte Lernumgebungen beschränken sich gegenwärtig häufig darauf, Informationen und Medien unterschiedlicher Art multimedial zu präsentieren. Um sicherzustellen, dass sich Lernende aktiv und nicht nur rezeptiv mit Inhalten und Medien auseinander setzen, können interaktive Lernaufgaben in Verbindung mit aufgabenorientierten multimedialen Lehr-/Lernobjekten (aufgabenorientierte mmL-Objekte) konstruiert werden. Vor allem in computerunterstützten Lehr-/Lernprozessen, die selbständiges Lernen erfordern, erweisen sie sich als wesentliches didaktisches Element. Die vorliegende Arbeit stellt einen Ansatz zur Systematisierung und Professionalisierung der Konzeption und Entwicklung derartiger webbasierter Lehr-/Lernangebote in der Geographie vor. Die Konstruktion und der Einsatz aufgabenorientierter mmL-Objekte, die je nach Bedarf mit anderen mmL-Objekten kombiniert und in verschiedenen Lehr-/Lernkontexten mehrfach verwendet werden können, bilden den Schwerpunkt der Untersuchungen.

Literatur zum graphischen Design multimedialer Lehr-/Lernelemente sowie Forschungsarbeiten zur Wirksamkeit multimedialer Komponenten in Lehr-/Lernkontexten stehen bereits recht umfangreich zur Verfügung. Die graphische Qualität von Multimedia-Materialien ist bei entsprechenden Kenntnissen der Entwickler auch vergleichbar hoch. Es fehlt jedoch weitgehend an Literatur, die Autoren und Entwickler bei der systematischen Konstruktion von Aufgabenstellungen zu multimedialen Lehr-/Lernobjekten anleitet und unterstützt. Dies gilt besonders für mmL-Objekte, die zusätzlich noch mit Interaktionsmöglichkeiten ausgestattet werden sollen. Die Empfehlungen der vorliegenden Arbeit leisten in diesem Zusammenhang einen substanziellen Beitrag für zukünftige Autoren und Entwickler, Visualisierungs-, Interaktivitäts- und Aufgaben-(Struktur-)Komponenten von mmL-Objekten systematisch aufeinander beziehen zu können.

Vor dem Hintergrund didaktischer und methodischer Aspekte sowie der Ermittlung technischer Potentiale mediengestützten Lernens konnte eine Kategorisierung der Visualisierungs-, Interaktivitäts- und Aufgabenkomponenten von mmL-Objekten aufgestellt werden. Materialien, die diese Komponenten je nach Funktion und Anforderung des jeweiligen Lehr-/Lernprozesses miteinander kombinieren, spielen in computerunterstützten Lehr-/Lernprozessen, die selbständiges Lernen erfordern, eine zentrale Rolle. Ausgehend von der Funktion des zu entwickelnden Lehr-/Lernangebotes und dem jeweiligen angestrebten Zielhorizont eines Lehr-/Lernelementes wurden Empfehlungen zur Konstruktion aufgabenorientierter mmL-Objekte entwickelt. Die Empfehlungen geben darüber hinaus einen Orientierungsrahmen für mögliche Modifikationen der Komponenten eines mmL-Objektes und unterstützen die schrittweise Anpassung bereits konstruierter multimedialer Lehr-/Lernangebote. Die Beschreibungen der verschiedenen Aufgabenformen für unterschiedliche Zielsetzungen – im Sinne der bei der Bearbeitung zu erwerbenden Kompetenzen – geben dabei ein Optimierungsziel für Konstruktions- und Anpassungsprozesse vor. In Verbindung mit den angeführten Beispielen fördert der vorgestellte Optimierungsansatz die aktive Auseinandersetzung von Autoren und Entwicklern mit den einzelnen Komponenten und Charakteristika eines aufgabenorientierten mmL-Objektes und ermöglicht eine Reflexion der intendierten Funktion sowie der angestrebten Zielsetzung entwickelter und eingesetzter mmL-Objekte. Die Notwendigkeit einer intensiven und theoriegeleiteten Beschäftigung mit dieser Thematik macht das Fehlen einer einheitlichen Bezeichnung für multimediale Lehr-/Lernobjekte deutlich, die Aufgaben-, Interaktivitäts- und Visualisierungskomponente integrieren. Die in dieser Arbeit geprägte Bezeichnung „aufgabenorientiertes mmL-Objekt“ schließt diese Lücke und stellt mit der Möglichkeit der Zuordnung der Objekte zu unterschiedlichen Wissenstypen und Zielsetzungen einen wesentlichen Schritt auf dem Weg zur Erweiterung von Empfehlungen für Autoren und Entwickler von multimedialen Lehr-/Lernangeboten dar.

Im Hinblick auf die Ausgestaltung von zu implementierenden Interaktionsmöglichkeiten hat sich auf Grundlage von Erfahrungen im Einsatz aufgabenorientierter mmL-Objekte und der Auswertungen von Lernerdaten gezeigt, dass Interaktionsmöglichkeiten häufig nur dann in intendierter Weise genutzt werden, wenn Aufgabenstellungen Interaktionen erfordern bzw. einfordern. Die bereits beste-

hende Unterscheidung in Steuerungsinteraktionen und so genannte didaktische Interaktionen wurde im Rahmen der Arbeit erweitert, so dass die Beziehung zwischen Aufgabenstellung, Steuerungsinteraktion und didaktischer Interaktion bei der Implementierung von Interaktionsmöglichkeiten in mmL-Objekte angemessen berücksichtigt werden kann. Das Konzept erleichtert die Entscheidungsfindung bei der Planung der Interaktionsmöglichkeiten eines mmL-Objektes erheblich.

Eine Systematisierung der Konzeption, der Entwicklung und des Einsatzes aufgabenorientierter mmL-Objekte ist für einen effizienten und nachvollziehbaren Produktionsprozess von großer Bedeutung. Dies hat sich vor allem bei der praktischen Umsetzung eigener Ideen und Konzeptionen gezeigt. Die von mir gestalteten mmL-Objekte bilden einen wesentlichen Bestandteil der vorliegenden Arbeit. Wie groß der Arbeitsaufwand zur Entwicklung webbasierter multimedialer Lehr-/Lernangebote tatsächlich ausfällt, wurde erst während der Projektlaufzeit deutlich. Die Herausforderung für Entwickler, didaktische und methodische Aspekte, technische Möglichkeiten und fachinhaltliche Anforderungen bestmöglich zu vereinbaren, beansprucht eine entsprechende Expertise in jedem der genannten Bereiche. Dazu ist es erforderlich, eine größere Anzahl an unterschiedlichen Softwareprogrammen zu beherrschen, die jeweiligen Grundlagen der Programmiersprachen zu erlernen, fachliche Sachverhalte und Umsetzungsmöglichkeiten zu reflektieren, gegebenenfalls Unstimmigkeiten bereits vorhandener Erklärungsansätze aufzudecken und neue Möglichkeiten des Lernens z.B. durch Modellierungen und interaktive Visualisierungen zu schaffen. Darüber hinaus sind didaktisch-methodische Überlegungen anzustellen, z.B. zur Verzahnung von Wissensvermittlung, Anwendung, Übung und Reflexion. Vor allem in der Anfangsphase eines Projektes kostet es sehr viel Zeit, erste wiederverwertbare Codezeilen, Interaktionselemente und graphische Objekte anzulegen, mit deren Hilfe eine effiziente Entwicklung möglich wird. Der Zeitaufwand für die technische Realisierung, auch vermeintlich einfach zu entwickelnder mmL-Objekte, kann sehr schnell die Arbeitskapazität von Autoren derart binden, dass der konzeptionellen inhaltlichen und didaktisch-methodischen Arbeit vergleichsweise zu geringe Aufmerksamkeit gewidmet wird. Die Gefahr besteht vor allem dann, wenn Autoren – wie beschrieben – gleichzeitig die Aufgaben eines Programmierers, Fachredakteurs und mediendidaktischen Beraters übernehmen. Die im Projekt WEBGEO gemeinsam entwickelten technischen Vorlagen zur Umsetzung von

mmL-Objekten reduzieren den Aufwand der technischen Umsetzung wesentlich, so dass in Verbindung mit den vorgestellten mediendidaktischen Empfehlungen auch in sehr viel kleineren Folgeprojekten vergleichsweise rasch hochwertige webbasierte Lehr-/Lernmaterialien erstellt werden können. Da aus meiner Erfahrung regelmäßig technisch sehr anspruchsvolle Probleme auftreten, ist es von Vorteil, Spezialisten, vor allem anwendungsorientierter Programmierung, hinzuzuziehen. Den technisch ausgerichteten Spezialisten jedoch die gesamte Entwicklungsarbeit zu übertragen, erscheint mir – zumindest im universitären Umfeld mit gering budgetierten Projekten – als wenig praktikabel, da notwendige fachliche Erläuterungen sehr viel Zeit in Anspruch nehmen und häufig erst in der Umsetzung Unstimmigkeiten der Konzeption bzw. vorhandener Erklärungsansätze aufgedeckt werden. Vor allem bei einem Ansatz des „Lernens mit Modellen“ ist es erforderlich, fachspezifische Modellanwendungen und Arbeitstechniken – wie z.B. den Umgang mit Geographischen Informationssystemen – zu beherrschen, so dass wesentliche Bestandteile eines mmL-Objektes nur durch einen Fachwissenschaftler in sinnvoller Art und Weise umgesetzt werden können. Besonders komplexe räumliche Zusammenhänge, wie sie beispielsweise in Verbindung mit dem Phänomen Bodenerosion auftreten, können mit Hilfe von computergestützten Modellanwendungen und Geographischen Informationssystemen erfasst, analysiert und simuliert werden. Seit langem werden diese Technologien und Methoden von Geographen und Umweltwissenschaftlern vor allem bei Forschungsarbeiten und im Berufsleben genutzt. Nun gilt es, diese auch im Rahmen von Lehr-/Lernprozessen verstärkt nutzbar zu machen.

Der gemeinsame fachwissenschaftliche Hintergrund der Projektmitarbeiter in WEBGEO hat sich als ein entscheidender Faktor einer erfolgreichen Konzeptions- und Entwicklungsarbeit herausgestellt. Eine stärkere Spezialisierung, je nach Stärken der einzelnen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, hätte höchstwahrscheinlich zu einer gesteigerten Produktivität geführt, da Kommunikationsprozesse unter Fachkollegen sehr effektiv ablaufen können. Die persönliche Qualifikation der einzelnen Mitarbeiter hat sich jedoch vor allem auch durch die unterschiedlichen Anforderungen erheblich erhöht.

Für Folgeprojekte hat sich im universitären Rahmen aus meiner Erfahrung eine Projektkonzeption bewährt, bei der die Aufgabenverteilung – ähnlich wie bei

WEBGEO – nach inhaltlichen Gesichtspunkten vorgenommen wird und die Konzeption und technische Umsetzung im Wesentlichen von den Autoren selbst durchgeführt wird. Im Rahmen von Gemeinschaftsprojekten werden die Autoren auf Grundlage der Erfahrungen mediendidaktisch beraten und technisch unterstützt. Es hat sich gezeigt, dass die Erarbeitung von Flash-Vorlagen und –Objekten sowie die Empfehlungen zur Konzeption und Entwicklung von aufgabenorientierten mmL-Objekten für zukünftige Autoren und Entwickler eine enorme Erleichterung darstellen. Dies zeigen die gemeinsamen Projekte in der Hydrogeographie zur „Erstellung von E-Learning-Modulen durch Studierende“ (Kapitel 9) und der Geophysik des Fachbereiches Geowissenschaften/Geographie der Universität Frankfurt. In beiden Projekten konnte bereits nach vergleichsweise kurzer Einarbeitungszeit produktiv gearbeitet werden. Trotz angespannter Haushaltslage sollten derartige Gemeinschaftsprojekte zur Entwicklung hochwertiger E-Learning-Materialien verstärkt gefördert werden, da mit vergleichsweise geringen finanziellen Mitteln erhebliche Mehrwerte zur Optimierung, Erweiterung und Entlastung der Lehre umgesetzt werden können.

Im Rahmen der Umsetzung des Projektes **megadigitale**³⁹ zur Organisationsentwicklung im Bereich mediengestützten Arbeitens zum Lernen und Lehren an der Universität Frankfurt werden im ständigen Austausch zwischen fachbereichsspezifischen Aktivitäten und zentral eingerichteten Serviceleistungen die Voraussetzungen geschaffen, einen auf Nachhaltigkeit angelegten Einsatz Neuer Medien in der Lehre hochschulweit zu implementieren. Innerhalb des Projektes, das für drei Jahre aus dem Programm „Neue Medien in der Bildung“ durch das BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) (2004) gefördert wird, stellt der Fachbereich Geowissenschaften/Geographie aufgrund der Erfahrungen und Aktivitäten einen so genannten „Lotsen“ für andere Fachbereiche und Universitäten dar. Auf diese Weise kann zukünftig eine noch größere Zahl von Studierenden und Lehrenden von der Entwicklungsarbeit profitieren. Einerseits wird durch die (medien-)didaktische und technische Unterstützung im Fach Geographie das Angebot an Lehr-/Lernmaterialien erweitert; neben vier Lernmodulen der Hydrogeographie⁴⁰, die zur Zeit in einer Lehrveranstaltung –

³⁹ <http://www.megadigitale.de>

⁴⁰ Die Module sind ein Ergebnis der Kooperation mit Frau Prof. Dr. Petra Döll, mit der ich im Wintersemester 2004/05 eine Lehrveranstaltung zur „Erstellung von E-Learning-Modulen zu

zunächst universitätsintern – evaluiert werden und dann im gesamten deutschsprachigen Raum zur Verfügung stehen sollen, entsteht zur Zeit ein Lehr-/Lernangebot zur Statistik im Rahmen der Methodenausbildung des neuen Bachelor -Studienganges des Institutes für Humangeographie⁴¹. Andererseits kann, unter anderem im Zusammenhang mit der Durchführung einiger Veranstaltungen⁴² der Workshopreihe mit Zertifikat der Universität Frankfurt, Wissen und technische Unterstützung an weitere Institute und Fachbereiche weitergegeben werden⁴³.

hydrologischen Themen“ durchgeführt habe. Das Projekt wurde im Rahmen des Förderprogramms der Hessischen Landesregierung zur Förderung des E-Learning finanziell unterstützt, so dass ausreichende Mittel zur Unterstützung der Lehrveranstaltung durch einen Tutor und zur technischen Unterstützung der Evaluation ein wissenschaftlicher Mitarbeiter zur Verfügung standen.

⁴¹ In Kooperation mit Herrn Prof. Dr. Robert Pütz und Frau Prof. Dr. Irmgard Schickhoff wird das Projekt von mir mediendidaktisch beraten und technisch unterstützt und durch den E-Learning-Fond der Universität Frankfurt im Rahmen des Projektes **megadigitale** gefördert.

⁴² Folgende Veranstaltungen wurden von mir im Zusammenhang mit der Workshopreihe der Universität Frankfurt konzipiert und überwiegend gemeinsam mit Herrn Lars Kandsperger – wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt **megadigitale** – durchgeführt (zur Zeit im dritten Durchgang): Modul 3 „Gestaltung einer Lernumgebung, Organisation von E-Learning Content“; Modul 4 „Didaktische Aspekte bei der Gestaltung von E-Learning Content“; Modul 6 „Erstellung von E-Learning Content unter Verwendung von Templates – die Anwendungs- und Umsetzungsphase“; Modul 8 „Erstellung eines E-Learning Moduls (Coaching)“; Modul 16: „Flash Fortgeschrittenen Workshop“

⁴³ Zur Zeit entstehen Lehr-/Lernmaterialien, deren Konzeption und Entwicklung auf den in der Dissertation vorgestellten Strukturen und Empfehlungen aufbauen, in den Bereichen Medizin, Zahnmedizin, Judaistik, Evangelische Theologie und Geophysik.

12 Literaturverzeichnis

- ACHTENHAGEN, F. (2003): Lerntheorien und Medieneinsatz: Bedingungen und Möglichkeiten einer Steigerung des Lernerfolgs. In: KEIL-SLAWIK, R. & KERRES, M. (Hrsg.): Education Quality Forum. Wirkung und Wirksamkeit neuer Medien. Münster.
- AG BODEN, BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, GEOLOGISCHE LANDESÄMTER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (Hrsg.) (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart.
- AHNERT, F. (1996): Einführung in die Geomorphologie. Stuttgart.
- ALBRECHT, V. (1996): Computersimulation and environmental learning: an approach to GEOLAB. In: SCHEE, J. VAN DER, SCHOENMAKER, G., TRIMP, H., WESTRHENEN, H. VAN (Hrsg.): Innovation in Geographical Education. Utrecht. 145-154.
- ALBRECHT, V. & SIEGLER, S. (1994): MOBIT - ein Simulationsprogramm zum Stadtverkehr. Handbuch. FWU Institut für Film und Bild. München.
- ALBRECHT, V. (Hrsg.) (1992): Bausteine und Materialien zur Umwelterziehung und Fachdidaktik. Band I, Mobit, Ein Simulationsprogramm zum Stadtverkehr. Handbuch. Frankfurt a.M.
- ANDERSON, J.R., CORBETT, A.T., KOEDINGER, K.R., PELLETIER, G. (2002): Cognitive Tutors: Lessons learned. Journal of learning sciences. 4 (2). 167 – 207.
- ANDERSON, J. R. (1996): Kognitive Psychologie. Heidelberg.
- ANDERSON, J.R., CORBETT, A.T., KOEDINGER, K.R., PELLETIER, G. (1995): Cognitive Tutors: Lessons learned. http://act.psy.cmu.edu/ACT/papers/Lessons_Learned.html (Zugriffsdatum: 07.07.2005).
- ANDERSON, J. R. (1988): Cognitive Psychology. Heidelberg.
- ARNOLD, P. (2001): Didaktik und Methodik telematischen Lehrens und Lernens: Lernräume, Lernszenarien, Lernmedien; State-of-the-art und Handreichung. Münster, New York, München, Berlin.
- AUERSWALD, K. (1998): Bodenerosion durch Wasser. In: RICHTER, G. (Hrsg.): Bodenerosion, Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt. 33-42.
- AUERSWALD, K. & KAINZ, M. (1998): Erosionsgefährdung durch Sonderkulturen (C-Faktor). Bodenschutz 3 (1).
- AUERSWALD, K. (1993): Bodeneigenschaften und Bodenerosion - Wirkungswege bei unterschiedlichen Betrachtungsmaßstäben. Relief, Boden, Paläoklima. 8. Berlin.
- AUERSWALD, K. (1992): Verfeinerte Bewertung von Erosionsschutzmaßnahmen unter deutschen Anbaubedingungen mit dem P- Faktor der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG). In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung. 33. 137-144.
- BALLSTAEDT, S.-P. (1993): Richtlinien zur Gestaltung von Lehrtexten. Werkstattbericht Nr. 2. Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen.
- BALLSTAEDT, S.-P. (1997): Wissensvermittlung. Weinheim.
- BANGERT-DROWNS, R.L., KULIK, C., KULIK, J.A., MORGAN, M.T. (1991): The instructional effect of feedback in test-like events. Review of Educational Research, 61. 213-238.

- BASTIAN, O. & SCHREIBER, K.-F. (1999): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Heidelberg.
- BEDNORZ, P. & M. SCHUSTER (2002): Einführung in die Lernpsychologie. München.
- BENTLAGE, U. (2000): Studium online: Hochschulentwicklung durch neue Medien. Bielefeld.
- BISHOP, M.P., HUBBARD, R.M., WARD, J.L., BINKLEY, M.S., MOORE, T.K., (1993): Computer network resources for physical geography instruction. In: Journal of Geography 92: 102-109.
- BISHOP, M.P., SHRODER JR., J.F., MOORE, T.K. (1995): Integration of computer technology and interactive learning in geographic education. In: Journal of Geography in Higher Education 19: 97-110.
- BLUME, H.-P. & FREDE, G.-H., FISCHER, W., FELIX-HENNINGSSEN, P., HORN, R. & STAHR, K. (Hrsg.) (2000): Handbuch der Bodenkunde; Landsberg/Lech, lose Blattsammlung.
- BLOOM, B. S., ENGLHART, M. D., FURST, E. J., HILL, W. H., KRATHWOHL, D. R. (1956): Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals: Handbook I. The cognitive domain. New York.
- BREMER, C. (2004): E-Learning-Strategien im Spannungsfeld von Hochschulentwicklung, Kompetenzansätzen und Anreizsystemen. In: BREMER, C. & KOHL, K.E. (Hrsg.): E-Learning-Strategien und E-Learning-Kompetenzen an Hochschulen. Düsseldorf.
- BRIGGS, L.J., GAGNÉ, R., WAGER, W.W. (1992): Principles of instructional design. Orlando.
- BONFADELLI, H. (2000): Medienwirkungsforschung Bd. 1+2. Köln.
- BOARDMAN, J. & FAVIS-MORTLOCK, D. (eds.) (1998): Modelling Soil Erosion by Water. – Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop "Global Change: Modelling Soil Erosion by Water", held at the University of Oxford, September 11-14, 1995; Berlin, Heidelberg.
- BODOMO, A., LUKE, K. K. & ANTILLA, A. (2001): Evaluating interactivity in web-based learning. Hong Kong.
- BORK, H.-R. (1988): Bodenerosion und Umwelt. Verlauf, Ursachen und Folgen der mittelalterlichen und neuzeitlichen Bodenerosion. Bodenerosionsprozesse, Modelle und Simulationen. – Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, 13; Braunschweig, 249 S.
- BRANSFORD, J.D., SHERWOOD, R.D., HASSELBRING, T.S., KINZER, C.K., WILLIAMS, S.M. (1990): Anchored Instruction: Why We Need It and How Technology Can Help. In: Nix, D., Spiro, R. (Hrsg.): Cognition, Education and Multimedia: Exploring Ideas in High Technology. S. 115-142.
- BREMER, C. & KOHL, K. E. (Hrsg.) (2004): E-Learning-Strategien und E-Learning-Kompetenzen an Hochschulen. Bielefeld.
- BRIGGS, L. J., GAGNÉ, R., WAGER, W. W. (1992): Principles of instructional design. Orlando.
- BROSIUS, H.-B., FAHR, A., BÜHL, M.E., HABERMEIER & SPANIER, J. (2002): Werbewirkung im Fernsehen. Aktuelle Befunde der Medienforschung. München.
- BUJA, A., COOK, D., SWAYNE, D.F. (1996): Interactive high-dimensional data visualization. In: Journal of Computational and Graphical Statistics. 5 (1). 78-99.
- BÜHL, W. (1995): Wissenschaft und Technologie. An der Schwelle zur Informationsgesellschaft. Göttingen.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2004): eLearning-Dienste für die Wissenschaft" Richtlinien über die Förderung der Entwicklung und Erprobung von Maßnahmen der Strukturentwicklung zur Etablierung von eLearning in der Hochschullehre im Rahmen des Förderschwerpunkts "Neue Medien in der Bildung". <http://www.bmbf.de/foerderungen/2576.php> (Zugriffdatum: 20.07.2005)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (bmb+f) (2000): Förderprogramm Neue Medien in der Bildung.
- BUZIEK, G., DRANSCH, D., RASE, W.D. (2000): Dynamische Visualisierung – Grundlagen und Anwendungsbeispiele für kartographische Animationen. Berlin.

- CAPELLE, A. & LÜDERS, R. (1985): Die potentielle Erosionsgefährdung der Böden in Niedersachsen. In: Göttinger Bodenkundliche Berichte. Bd. 83.
- CARLTON, M. & NEUMANN-BRAUN, K. (1992): Medienkindheit, Medienjugend. Weinheim.
- CARTWRIGHT, W., Peterson, M.P., Gartner, G. (Hrsg.) (1999): Multimedia Cartography. Berlin.
- CLARK, R. & MAYER, R.E. (2003): e-Learning and the Science of Instruction. San Francisco
- COLLINS A., BROWN, J.S., NEWMANN, S.E. (1989): Cognitive Apprenticeship: Teaching the Crafts of Reading, Writing and Mathematics. In: RESNICK, L.B. (Hrsg.): Knowing, Learning and Instruction. 453-494.
- COUNCIL ON ENVIRONMENTAL QUALITY (2000): Council on Environmental Quality. Annual FOIA 2000 Report.
- CRAMPTON, J. W. (2002): Interactivity types in geographic visualization. In: Cartography and Geographic Information Science. 29. 85 - 98.
- CROWDER, N.A. & MARTIN, G.C. (1961): Trigonometry: a practical course. New York
- CUNNINGHAM D.J., DUFFY, T.M., KNUTH, R.A. (1993): The Textbook of the Future. In: MCKNIGHT, C., DILLON, A. RICHARDSON, J. (Hrsg.): Hypertext - A Psychological Perspective. 19-50.
- DEMPSEY, J., DRISCOLL, M.P., SWINDELL, L.K. (1993): Text-based feedback. In: DEMPSEY, J. & SALES, G. (Hrsg.): Interactive instruction and feedback. Englewood. 21-54.
- DER SPIEGEL (1994): Multimedia: Schwimmen im Aquarium. Heft 40. <http://service.spiegel.de/digas/servlet/find> (Zugriffsdatum: 19.04.2005)
- DICK, E. (2000): Multimediale Lernprogramme und telematische Lernarrangements: Einführung in die didaktische Gestaltung. Nürnberg.
- DICHANZ, H.; ERNST, A. (2001): Begriffliche, psychologische und didaktische Überlegungen zum «electronic learning». In: MedienPädagogik. http://www.medienpaed.com/00-2/dichanz_ernst1.pdf (Zugriffsdatum: 20.2.2006). 1-30.
- DIFF (2000): Planung, Entwicklung, Durchführung von Fernstudienangeboten. Eine Handreichung / Deutsches Institut für Fernstudienforschung an der Universität Tübingen (Diff).
- DOELKER, C. (1998): Medienpädagogik in ihrer systematischen Implementierung. In: HAASE, F. & DOELKER, C. (Hrsg.): Texte über Medien – Medien über Medien. Baden-Baden. Bd. 4. 17 – 42.
- DÖRING, K.W. (1991): Praxis der Weiterbildung, Analysen – Reflexionen – Konzepte. Weinheim.
- DRAPER, S.W. (2005): Feedback. <http://www.psy.gla.ac.uk/~steve/feedback.html> (Zugriffsdatum: 20.06.2005)
- DUFFY, T.M., JONASSEN, D.H. (1992): Constructivism: New Implications for Instructional Technology. In: DUFFY, T.M., JONASSEN, D.H. (Hrsg.): Constructivism and the Technology of Instruction: A Conversation. 1-16.
- DUTKE, S. (1994): Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Göttingen.
- DYKES, J. (2002): Creating information-rich virtual environments with geo-referenced digital panoramic imagery. In: FISCHER, P. & UNWIN, D. (Hrsg.): Virtual reality in geography. London. 68-92.
- EHLERS, U.-D. (2004): Qualität im E-Learning aus Lernalternativen. Grundlagen, Empirie und Modellkonzeption subjektiver Qualität.
- EL SADDIK, A. (2001): Interaktive Multimedia Learning. Berlin.
- EL SWAIFY, S.A. (1994): State-of-the-art for assessing soil and water conservation needs and technologies. A global perspective. In: NAPIER, T.L., CAMBONI, S.M., EL SWAIFY, S.A. (Hrsg.): Adopting conservation on the farm. Ankeny.
- ENGELKAMP, J. (1991): Das menschliche Gedächtnis. Göttingen.
- EXON, J.B. (1999): Exploring geology on the World-Wide Web – Geomorphology. Journal of Geoscience Education. 47. 246 - 251.

- FALK, G.C. & HOPPE, W. (2004): GIS – Ein Gewinn für den Geographieunterricht? Überlegungen zum Einsatz moderner Geoinformationssysteme im Unterricht. In: Praxis Geographie. H. 2. 10-12.
- FARQUHAR, J. D.(1995): A Summary Of Research With The Console-Operations Tutor: LOADER. <http://www2.gsu.edu/~wwwitr/docs/loader/> (Zugriffsdatum: 08.07.2005)
- FLECHSIG, K.-H. (1987): Didaktisches Design: Neue Mode oder neues Entwicklungsstadium der Didaktik? Göttingen.
- FLECHSIG, K.-H. & HALLER, H.-D. (1975): Einführung in didaktisches Handeln. Stuttgart.
- FORTMÜLLER, R. (2004): Lerntransfer mit E-Learning sichern. Hohenstein, A. & Wilbers, K. (Hrsg.): Handbuch E-Learning. Köln
- FRANCIS, C. F. & THORNES, J. B. (1990): Runoff hydrographs from three Mediterranean vegetation cover types. – In: THORNES, J. B. (Hrsg.): Vegetation and Erosion, Processes and Environments; Chichester, p. 363-384.
- FRANK, H. (Hrsg.) (1966): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht. Bd. 4. Stuttgart.
- FRASER, A. B. (2000): Web visualization for teachers. <http://fraser.cc/WebVis/> (Zugriffsdatum: 23.06.2006).
- FREIBICHLER, H. (2002): Werkzeuge zur Entwicklung von Multimedia. Teil 1: Autorenwerkzeuge für Offline-Lernangebote. In: ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim.
- FRIEDRICH, H. F. (2000): Selbstgesteuertes Lernen - sechs Fragen, sechs Antworten. : <http://www.learn-line.nrw.de/angebote/selma/medio/vortraege/friedrich/friedrich.pdf>.
- FRITZ, K., STING, S., VOLLBRECHT, R. (2003): Mediensozialisation. Pädagogische Perspektiven des Aufwachsens in Medienwelten. Opladen.
- FROMME, J., KOMMER, S., MANSEL, J. (Hrsg.) (1999): Selbstsozialisation, Kinderkultur und Mediennutzung. Opladen.
- GAGNÉ, R.M., BRIGGS, L.J., WAGNER, W.W. (1988): Principles of instructional design. New York.
- GENTNER, D. & STEVENS, A.L. (1983): Mental models.
- GERLINGER, K. (2000): Simulating hydrological and erosional processes using the PEPP-Hillflow Model – Parameter Determination and Model Application. In: SCHMIDT, J. (Hrsg.): Soil Erosion. Application of physically based models. Berlin.
- GEOGNOSTICS (2003): <http://www.erosion-3d.de/referenzen.htm>.
- GORE, P.J.W. (1997): Using the Wold-Wide Web in the geology classroom. In: Journal of Geoscience Education. 47: 246-251.
- GOUDIE, A. (1995): The Changing Earth, Rates of Geomorphological Processes. Padstow UK.
- GROEBEL, J. & SCHULZ, W. (Hrsg.) (1987): Medienwirkungsforschung in der Bundesrepublik Deutschland (2.Hrsg.). Weinheim.
- GROTEN, H. (2003): Eröffnung des ersten education quality forums. In: KEIL-SLAWIK, R. & KERRES, M. (Hrsg.): Education Quality Forum. Wirkung und Wirksamkeit neuer Medien. Münster
- HAACK, J. (2002): Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia. In: ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Weinheim. 127-136.
- HILGARD, E.R. (1964): Theories of Learning and Instruction. The Sixty-third Yearbook of the National Society for the Study of Education. Part I. Chicago.
- HILLE, R., HOLTSMANN, W., SIMON, H., WEDEKIND, J. (1978): Modellversuch „Computerunterstützte Simulation im naturwissenschaftlichen Hochschulunterricht“. In: Simon, H. (Hrsg.): Simulation und Modellbildung mit dem Computer im Unterricht. Grafenau.

- HOLZINGER, A. (2000): Basiswissen Multimedia. Bd. 2. Lernen: kognitive Grundlagen multimedialer Informationssysteme. Würzburg.
- HUMPHREYS, G.W. & BRUCE, V. (1989): Visual Cognition. London.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (2002): Draft standard for learning object metadata. New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.) (2002): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim.
- ISSING, L. J. (2002): Instruktionen-Design für Multimedia. In: ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim.
- ISSING, L. J. (1987): Medienpädagogik im Informationszeitalter. Weinheim.
- JÄCKEL, M. (2002): Medienwirkungen. Ein Studienbuch zur Einführung.
- JACOBS, B. (2002): Aufgaben stellen und Feedback geben. <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/feedback/index.htm> (Zugriffsdatum: 04.07.2005)
- JETTEN, V., GOVERS, G., HESSEL, R. (2003): Erosion models: quality of spatial predictions. Hydrological Processes 17. 887-900.
- JONASSEN, D. H. (Hrsg.) (1996): Handbook of research for educational communications and technology. New York.
- JONASSEN, D. H. (1991): Objectivism versus Constructivism: Do we need a new philosophical paradigm? In: Educational Technology: Research & Development, 39 (3), 5-14.
- JONASSEN, D. H., HANNUM, W. H., TESSMER, M. (1989): Handbook of task analysis procedures. New York.
- KAGERER, J. & AUERSWALD, K. (1997): Erosionsprognose-Karten im Maßstab 1:5.000 für Flurbereinigungsverfahren und Landwirtschaftsberatung. – Bodenkultur und Pflanzenbau 2/97, Bayer. Landesanstalt f. Bodenkultur und Pflanzenbau. München.
- KAMINSKE, V. (2001): Strategien des Zugriffs auf vernetzte Raumsachverhalte. In: Geographie und Schule. 23. Jg.. H. 132.
- KAMMERL, R. (Hrsg.) (2000): Computerunterstütztes Lernen. München.
- KAHLKE, J., KATH, F.M. (1984): Didaktische Reduktion und methodische Transformation. Quellenband. Darmstadt.
- KATH, F. M., KAHLKE, J. (1985): Das Umsetzen von Aussagen und Inhalten: didaktische Reduktion und methodische Transformation ; eine Bestandsaufnahme. Schriftenreihe Erziehen - Beruf - Wissenschaft; 6.
- KEIL-SLAWIK, R. & KERRES, M. (Hrsg.) (2003): Education Quality Forum. Wirkung und Wirksamkeit neuer Medien. Münster.
- KERKAU, F. (2002): Autorenwerkzeuge für Online-Lernangebote. In: ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim.
- KERRES, M. (2004): Gestaltungsorientierte Mediendidaktik und ihr Verhältnis zur Allgemeinen Didaktik. In: Dieckmann, B. & Stadtfeld, P. (Hrsg.): Allgemeine Didaktik im Wandel. Bad Heilbrunn.
- KERRES, M. (2003): Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In: KEIL-SLAWIK, R. & KERRES, M. (Hrsg.): Education Quality Forum. Wirkung und Wirksamkeit neuer Medien. Münster.
- KERRES, M. (2002): Online- und Präsenzelemente in hybriden Lernarrangements kombinieren. In: HOHENSTEIN, A. & WILBERS, K. (Hrsg.): Handbuch E-Learning. Köln.
- KERRES, M. (2000a): Information und Kommunikation bei mediengestütztem Lernen. Entwicklungslinien und Perspektiven mediendidaktischer Forschung. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 3(1), 111-130.

- KERRES, M. (2000b): Computerunterstütztes Lernen als Element hybrider Lernarrangements. In: Kammerl, R. (Hrsg.), Computerunterstütztes Lernen. München.
- KERRES, M. (2001): Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung. (2. Aufl.). München.
- KERRES, M. (1999): Didaktische Konzeption multimedialer und telemedialer Lernumgebungen. In: HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik. Heft 1.
- KLAUER, K.J. (1985): Framework for a theory of teaching. In: Teaching and teacher education. 1. 5-17.
- KLIMSA, P. (1993): Neue Medien und Weiterbildung: Anwendung und Nutzung in Lernprozessen der Weiterbildung.
- KNOLL, H. & HÜTHER, J. (Hrsg.) (1976): Medienpädagogik. München.
- KNUTH, R.A., CUNNINGHAM, D.J.(1991): Tools for Constructivism. In: DUFFY, T.M., LOWYK, J., JONASSEN, D.H.: Designing Environments for Constructive Learning. 163-188.
- KOMMERS, P.A.M., GRABINGER, S., DUNLAP, J.C. (1996): Hypermedia Learning Environments; Instructional Design and Integration.
- KOPP, H. & MICHL, M. (Hrsg.) (1999): Neue Medien in der Lehre. Lernsystementwicklung an Fachhochschulen – Erfahrungen und Ergebnisse. Darmstadt.
- KRAAK, M.-J. (2001): 3-D-mapping on the World Wide Web. In: Buzin, R., Wintges, T. (Hrsg.): Kartographie 2001 – multidisziplinär und multimedial: Beiträge zum 50. Deutschen Kartographentag. Heidelberg.
- KRAFT, H. (2003): Vorwort. In: KEIL-SLAWIK, R. & KERRES, M. (Hrsg.): Education Quality Forum. Wirkung und Wirksamkeit neuer Medien. Münster.
- KRAPP, A. & WEIDENMANN, B. (2001): Pädagogische Psychologie. Weinheim.
- KROEBER-RIEHL, W. & ESCH, F.-R. (2000): Strategie und Technik der Werbung. Verhaltenswissenschaftliche Ansätze. Stuttgart.
- KRYGIER, J. B., REEVES, C., DIBIASE, D. & CUPP, J. (1997): Design, implementation and evaluation of multimedia resources for geography and earth science education. Journal of Geography in Higher Education. 21. 53-71.
- KULIK, C.-L. & KULIK, J. (1991): Effectiveness of computer-based instruction: An update analysis. In: Computer in Human Behavior. 7. 75-94.
- LAL, R. (Hrsg.) (1999): Soil Quality and Soil Erosion. – Soil and Water Conservation Society, Ankeny/IO; Boca Raton, London, New York, 329 pp.
- LAL, R. (1990): Soil Erosion in the Tropics. New York.
- LAL, R. (Hrsg.) (1988): Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society; Ankeny, IO, U.S.A..
- LESER, H. (1997): Landschaftsökologie. Stuttgart.
- LESER, H. (1991): Probleme und Tendenzen der Bodenerosionsforschung (2). Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 16; Basel.
- LESER, H. (Hrsg.) (1983): Veröffentlichungen des 8. Basler Geomethodischen Colloquiums. Bodenerosion als methodisch-geoökologisches Problem. Geomethodica. 8. Basel.
- LEUTNER, D. (2001): Programmierter und Computerunterstützter Unterricht. In: Rost, D. H. (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim.
- LEVIN, J.R., ANGLIN, G.J., CARNEY, R.N. (1987): On empirically validating functions of pictures in prose. In: WILLOWS, D.M., & HOUGHTON, H.A. (Hrsg.): The psychology of illustration. Vol. 1: Basic research. 51 – 85. New York.
- LOUIS, H. & FISCHER, K. (1979): Allgemeine Geomorphologie. – Berlin, 815 S.
- LURJA, A.R. (1992): Das Gehirn in Aktion. Einführung in die Neuropsychologie. Reinbek/Hamburg.
- LYNCH, P.J. & HORTON, S. (1999): Web Style Guide. Yale Univ. Press, New Haven, CT.

- MAC EACHREN, A.M., KRAAK, M. J., (2001): Research challenges in geovisualisation. In: Cartography and Geographic Information Systems. 28(1).
- MAC EACHREN, A.M., EDSALL, R., HAUG, D., BAXTER, R., OTTO, G., Masters, R., FUHRMANN, S., QIAN, L. (1999): Exploring the potential of virtual environments for geographic visualization, presented at Annual Meeting of the Association of American Geographers. Honolulu.
- MAC EACHREN, A.M., BOSCOE, F.P., HAUG, D., PICKLE, L.W. (1998): Geographic visualisation: Designing manipulable maps for exploring temporally varying georeferenced statistics. In: WILLS, G. & DILL, J. (Hrsg.): Proceedings IEEE symposium on information visualization. IEEE Computer Society. Los Alamitos, California. 87-94.
- MANDL, H., KOPP, B. & DVORAK, S. (2004): Aktuelle theoretische Ansätze und empirische Befunde im Bereich der Lehr-Lern-Forschung – Schwerpunkt Erwachsenenbildung -. Bonn.
- MANDL, H., GRUBER, H. & A. RENKL (2002): Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim.
- MANDL, H., HRON, A. & S.O. TERGAN (1990): Computer-Based Systems for Open Learning. State of the Art. Tübingen.
- MARKWOOD, R. & JOHNSTONE, S. (1994): New pathways to a degree: technology opens the college. Boulder, Western Cooperative for Educational Telecommunications, Western Interstate Commission for Higher Education.
- MATURANA, H. & Varala, F. (1987): Der Baum der Erkenntnis. München.
- MAYER, R.E. (2001): Multimedia Learning. Cambridge.
- MCCOOL, D.K., FOSTER, G.R., MUTCHLER, C.K., MEYER, L.D. (1989): Revised slope length factor for the universal soil loss equation. In: Trans-American Society of Agriculture Engineering. 32. 1571-1576.
- MCCUEN, R.H. (1973): The role of sensitivity analysis in hydraulic modelling. Journal of Hydrology. 18. 37-53.
- MEDER, N. (2002): Didaktische Ontologien. http://cweb.uni-bielefeld.de/agbi/cgi-bin-noauth/cache/VAL_BLOB /167/167/63/did.pdf (Zugriffdatum: 24.07.2005)
- MEIER-ZIELINSKI, S. (1999): Bodenerosions- und Stoffhaushaltsmodellierung in der Nordwestschweiz in verschiedenen Dimensionen. In: Regio Basiliensis. 40/3.
- MENSCHING, H. G. (1990): Desertifikation. Ein weltweites Problem der ökologischen Verwüstung in den Trockengebieten der Erde. – Darmstadt, 170 S.
- MENZ, M. (1999): Digitale Geoökologische Risikokarten. In: Regio Basiliensis. 40/3.
- MERRILL, M.D. (1999): Instructional transaction theory (ITT): Instructional design based on knowledge objects. In: Reigeluth, C.M. (Hrsg.): Instructional-design-theories and models. A new paradigm of instructional theory. 397-424.
- MERRILL, M.D. (1991): Constructivism and instructional design. In: Educational Technology. 31.
- MIDDENDORFF, E. (2002): Computernutzung und Neue Medien im Studium. Ergebnisse der 16. Sozialerhebung des Deutschen Studentenwerkes (DSW) durchgeführt vom HIS Hochschul-Informatoins-System. Bonn.
- MICHAEL, A. (2001): Anwendung des physikalisch begründeten Erosionsprognosemodells EROSION 2D/3D – Empirische Ansätze zur Ableitung der Modellparameter.
- MONTADA, L.(1970): Lernpsychologie Jean Piagets. Stuttgart.
- MOORE, I.D. AND WILSON, J.P. (1992) Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. In: Journal of Soil and Water Conservation, 47(5), 423-428.
- MOORE, M. (1992): Three types of interaction. In: The American Journal of Distance Education. 3. 1-6.

- MOORE, M. & DWYER, F.M. (1994): Visual literacy. A spectrum of visual learning.
- MORGAN, R. P. C. (1999): Bodenerosion und Bodenerhaltung (Deutsche Übersetzung). Stuttgart.
- MORGAN, R.P.C. (1990): Soil Erosion and Conservation. New York.
- MOSER, H. (2000): Einführung in die Medienpädagogik. Aufwachsen im Medienzeitalter. Opladen.
- MOSIMANN, Th & RÜTTIMANN, M. (1996): Abschätzung der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch Bodenerosion im Landwirtschaftsbetrieb. Grundlagen zum Schlüssel für Betriebsleiter und Berater mit den Schätztabellen für Niedersachsen. Geosynthesis. H. 9. Hannover.
- MOSIMANN, Th. (1991): Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten, Prozesse und Ursachen der Bodenerosion, Bodenerhaltungsziel, Gefährdungsschätzung, Schutzmaßnahmen im Landwirtschaftsbetrieb und im Einzugsgebiet, ein Leitfaden für die Bodenerhaltung. Liebefeld-Bern.
- NEARING, M.A., DEER-ASCOUGH, L., LAFLEN, J.M. (1990): Sensitivity of the WEPP hillslope version soil erosion model. Transactions of the American Association of Agricultural Engineers. 33. 839-849.
- NEEF, E., (1963): Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung. Petermanns Geographische Mitteilungen 107, 4. 249-259.
- NEUFANG, L., AUERSWALD, K., FLACKE, W. (1989): Räumlich differenzierte Berechnung großmaßstäblicher Erosionsprognosekarten – Anwendung der dABAG in der Flurbereinigung und Landwirtschaftsberatung. In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung. 30. 233-241.
- NIEGEMANN, H.M. (2003): Schlau durch Mausclicks? Bedingungen für ein effizientes Lernen mit neuen Bildungsmedien. In: KEIL-SLAWIK, R. & KERRES, M. (Hrsg.): Education Quality Forum. Wirkung und Wirksamkeit neuer Medien. Münster.
- NIEGEMANN, H.M. (2001): Neue Lernmedien: konzipieren, entwickeln, einsetzen. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle.
- NIEGEMANN, H.M. & WEDEKIND, J. (1999): Referenzmodelle für die Entwicklung von interaktiven Lernsystemen. In: Praxis der Wirtschaftsinformatik. 36 (205). 54-64.
- OLDEMAN, L.R., HAKKELING, R.T.A., SOMBROEK, W.G. (1991): World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation. An Explanatory Note. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), October 1991 - Second Revised Edition. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) und United Nations Environment Programme (UNEP).
- ORLAND, B., BUDTHIMEDHEE, K. & UUSITALO, J. (2001): Considering virtual worlds as representations of landscape realities and as tools for landscape planning. Landscape and urban planning. 54. 139-148.
- PAIVIO, A. (1986): Mental representations. A dual coding approach. New York.
- PARK, I. & HANNAFIN, M.J. (1994): Empirically-based guidelines for the design of interactive multimedia. Educational Technology Research and Development. 41, 63-85.
- PETSCHENKA, A., KERRES, M. (2004): Mediendidaktische Konzeption und Implementierung von Lernmodulen in die Hochschullehre. In: GISELHER K. & MÜLLER, M. (Hrsg.): GIS-Anwendungen und e-Learning. Erfahrungsbericht des BMBF Projektes gimolus (GIS- und Modellgestützte Lernmodule für umweltorientierte Studiengänge). Heidelberg. 53-66.
- PAUS-HAASE, I., LAMBERT, C., SÜSS, D. (Hrsg.) (2002): Medienpädagogik in der Kommunikationswissenschaft. Positionen, Perspektiven, Potentiale. Wiesbaden.
- PEECK, J. (1994): Wissenserwerb mit darstellenden Bildern. In: WEIDENMANN, B. (Hrsg.): Wissenserwerb mit Bildern: instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. 59 – 94. Bern.
- PETTERSON, R. (1994): Visual literacy und Infologie. In: WEIDENMANN, B. (Hrsg.): Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. Bern.

- PEUKERT, H. (2000): Reflexionen über die Zukunft von Bildung. In: Zeitschrift für Pädagogik. 46. 4.
- PIMENTEL, D., HARVEY, C. RESOSUDARMO, P., SINCLAIR, K., KURSZ, D., MCNAIR, M., CRIST, S., SHPRITZ, L., FITTON, R., SAFFOURI, R., BLAIR, R. (1995): Environmental and economic cost of soil erosion an conservation benefits. In: Science. Vol. 267. S.117-1123.
- PLATE, E. J. (1992): Skalen in der Hydrologie: Zur Definition von Begriffen. In: KLEEGERG, H.-B. (Hrsg.): Regionalisierung in der Hydrologie. Ergebnisse von Rundgesprächen der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Mittelungen XI des Senatskommission für Wasserforschung. Weinheim.
- POLLAK, G. & KAMMERL, R. (2000): „To know or not to know“ –erziehungswissenschaftliche Bemerkungen zur Wissensgesellschaft. In: KAMMERL, R. (Hrsg.): Computerunterstütztes Lernen. München
- PRASUHN, V. (1991): Bodenerosionsformen und -prozesse auf tonreichen Böden des Basler Tafeljura (Raum Anwil, BL) und ihre Auswirkungen auf den Landschaftshaushalt. - Physiogeographica, 16, Basel, 372 S.
- PRESS, F. & SIEVER, R. (1995): Allgemeine Geologie. Heidelberg.
- REGLIN, T. & HÖLBING, G. (2004): Computerlernen und Kompetenz. Bielefeld
- REICH, K. (2002): Konstruktivistische Didaktik. Lehren und Lernen aus interaktionistischer Sicht. Neuwied.
- REICH, K. (1996): Systematisch-konstruktivistische Didaktik. In: Voß, R. (Hrsg.): Die Schule neu erfinden. Neuwied.
- REIGELUTH, C.M. (Hrsg.) (1999): Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory.
- REINMANN-ROTHMEIER, G. & MANDL, H. (2001): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: KRAPP, A. & WEIDENMANN, B. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. Weinheim.
- RHEINBERG, F. (1985): Motivationsanalysen zur Interaktion mit Computern. In: Mandl, H. & Fischer, P.M. (Hrsg.): Lernen im Dialog mit dem Computer. München.
- RICHTER, G. (Hrsg.) (1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt.
- RICHTER, G. (1998): Bodenerosion als Weltproblem. In: RICHTER, G. (Hrsg.): Bodenerosion, Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt. 231-242.
- RICHTER, G. (1965): Bodenerosion. Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungen zur Deutschen Landeskunde. 152. Bad Godesberg.
- RICHTER-GEBERT, J. & KORTENKAMP, U. (2002): Cinderella die interaktive Geometrie-Software. (<http://antique.cinderella.de/de/index.html>) (Zugriffsdatum 21.07.2005)
- RIES, J.B. (2003): Landnutzungswandel und Landdegradation in Spanien - eine Einführung. Cambios de uso del suelo y degradación de territorio en España - una breve introducción. - In: MARZOLFF, I., RIES, J. B., DE LA RIVA, J., SEEGER, M. (Hrsg.): Landnutzungswandel und Landdegradation in Spanien, Sonderband Frankfurter Geowissenschaftlichen Arbeiten, Serie D, Physische Geographie. Frankfurt a. M., Zaragoza. 11-29.
- RIES, J.B. & MARZOLFF, I. (2003): Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp. In: Catena 50. 309-328.
- RIES, J.B., MARZOLFF, I. & SEEGER, M. (2003): Der Einfluss der Beweidung auf die Vegetationsbedeckung und die Geomorphodynamik zwischen Ebrobecken und Pyrenäen. In: Geographische Rundschau, 5/2003. 52-59.
- RIES, J.B. (2000): Geomorphodynamik und Landdegradation auf Brachflächen zwischen Ebrobecken und Pyrenäen - Großmaßstäbiges Monitoring zur Erfassung und Prognose des Prozessgeschehens im Landnutzungswandel als Beitrag zur Methodenentwicklung. – Habilitationsschrift, Universität Frankfurt, Fachbereich Geowissenschaften/Geographie. Frankfurt am Main.

- RIES, J. B. (1994): Bodenerosion in der Hochgebirgsregion des östlichen Zentral-Himalaya untersucht am Beispiel Bamti/Bhandar/Surma, Nepal. – Dissertation, Universität Freiburg, Institut für Physische Geographie, Freiburger Geographische Hefte, 42; Freiburg i. Br. .
- RITTER, M.E. (1997): Earth Online: An Internet Guide for Earth Science. Wadsworth, Belmont, CA: 264 pp.
- ROST, D. H. (Hrsg.) (2001): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim.
- ROTH, C. (1997): Physikalische Ursachen der Wassererosion - IN: BLUME, H.P., FREDE, H.-G., FISCHER, W., FELIX-HENNINGSEN, P., HORN, R. STAHR, K. (HRSG.): HANDBUCH DER BODENKUNDE; LANDSBERG/LECH, Loseblattausgabe.
- SALOMON, G. & Perkins, D.N. (1998): Individual and social aspects of learning. In: Review of research in education, 23, 1-24.
- SALOMON, G. (Hrsg.) (1993): Distributed cognitions. Cambridge.
- SAUERBORN, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland: ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. Bonner bodenkundliche Abhandlungen Bd.13.
- SCHENK, M. (2002): Medienwirkungsforschung. Tübingen.
- SCHANK, R. C. (1999): <http://www.designshare.com/research/schank/schank1.html>
- SCHANK, R. C. (1994): Active Learning through Multimedia. IEEE Multimedia. 1, 1. 69-78.
- SCHIMMIRICH, S.H. (1997): Exploring geology on the World Wide Web – Remote Sensing and geographic information systems. In: Journal of Geoscience Education. 45. 448-451.
- SCHMEIL, O. (1993): Die Flora von Deutschland und angrenzender Länder.
- SCHMIDT, J. (Hrsg.) (2000): Soil Erosion – Application of physically based soil erosion models. Berlin.
- SCHMIDT, J. (1998): Modellbildung und Prognose zur Wassererosion. In: Richter, G. (Hrsg.): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt. 137 – 151.
- SCHMIDT, J., MICHAEL, A., SCHMIDT, W., v.WERNER, M. (1997): EROSION 2D/3D - Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- SCHMIDT, J. (1996): Entwicklung und Anwendung eines physikalisch begründeten Simulationsmodells für die Erosion geeigneter landwirtschaftlicher Nutzflächen. Berliner Geographische Abhandlungen. H. 61.
- SCHMIDT, R.-G. (1998): Beobachtung, Messung und Kartierung der Wassererosion. In: RICHTER, G. (Hrsg.): Bodenerosion, Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt. 110-121.
- SCHMIDT, R.-G. (1989): Bewertung der landschaftshaushaltlichen Funktionen – Erosionswiderstandsfunktion. In: MARKS, R., MÜLLER, R. M., LESER, H., KLINK, H.-J. (Hrsg.): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). Forschung zur deutschen Landeskunde. Bd. 229. Trier.
- SCHMIDT, R.-G. (1983): Technische und methodische Probleme von Feldmethoden der Bodenerosionsforschung. In: LESER, H. (Hrsg.): Veröffentlichungen des 8. Basler Geomethodischen Colloquiums. Bodenerosion als methodisch-geoökologisches Problem. Geomethodica. 8. Basel.
- SCHMIDT, R.-G. (1979): Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmaß und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülung) auf Ackerflächen. Methoden und ihre Anwendung in der Rheinschlinge zwischen Rheinfeldern und Wallbach. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 1. Basel.
- SCHMIDT, S. (1998): Die Zählung des Blicks. Frankfurt am Main.
- SCHNOTZ, W. (2002): Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In: ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim.

- SCHNOTZ, W. (1994): Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung bei Wissenserwerb mit Texten. Weinheim.
- SCHNOTZ, W. (1993): On the relation of dual coding and mental models in graphics comprehension. In: *Learning and Instruction*. 20 (3). 247 – 249.
- SCHRETTENBRUNNER, H. & SCHLEICHER, Y. (2002): Räumliche Prozesse im Unterricht – Die Simulation als Arbeitsmethode. In: *Geographie und Schule*. 140.
- SCHULMEISTER, R. (2003): Lernplattformen für das virtuelle Lernen: Evaluation und Didaktik. München.
- SCHULMEISTER, R. (2002a): Taxonomie der Interaktivität von Multimedia. In: *it + ti – Informationstechnik und Technische Informatik*. H. 4/2002. München.
- SCHULMEISTER, R. (2002b): Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie – Didaktik – Design. München, Wien.
- SCHULMEISTER, R. (2000): Didaktische Aspekte hypermedialer Lernsysteme. In: Kammerl, R. (Hrsg.), *Computerunterstütztes Lernen*. München.
- SCHULZ, W.K. (1999) (Hrsg.): Aspekte und Probleme der didaktischen Wissensstrukturierung. Frankfurt/M.
- SCHWARZ v. RAUMER, H.-G. & SCHILL, D. (2003): GIS-Anwendungen in der Landschaftsplanung 1: Puffergenerierung, Flächenverschneidung und Gebietsbilanzierung. In: MÜLLER, M. & KAULE, G. (Hrsg.): *E-Learning mit GIS- und Modellanwendungen*. Heidelberg.
- SCHWERTMANN, U., VOGL, L., KAINZ, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl.. Stuttgart.
- SEEL, N.M. (1999): Instruktionsdesign: Modelle und Anwendungsgebiete. *Unterrichtswissenschaft*. 27. 2-11.
- SEEL, N.M. (1991): *Weltwissen und mentale Modelle*. Göttingen.
- SEEL, N.M. (1981): *Lernaufgaben und Lernprozesse*. Stuttgart.
- SHRODER JR., J.F., BISHOP, M.P., OLSENHOLLER, J., CRAIGER, J.P. (2002): Geomorphology and the World Wide Web. In: *Geomorphology*. 47: 343-363.
- SIEBERT, E. (2001): Erwachsene – lernfähig, aber unbelehrbar? In: *Arbeitsgemeinschaft Qualifikations- Entwicklungs-Management* (Hrsg.). *Kompetenzentwicklung. Tätigsein – Lernen – Innovation*. S. 281 – 333. Münster.
- SIEBERT, H. (2003): Lehren und Lernen konstruktivistisch. In: KEIL-SLAWIK, R. & KERRES, M. (Hrsg.): *Education Quality Forum. Wirkung und Wirksamkeit neuer Medien*. Münster.
- SIEBER, R. (2001): Interdisziplinarität und Multidimensionalität in thematischen Atlanten. In: Buzin, R., Wintges, T. (Hrsg.): *Kartographie 2001 – multidisziplinär und multimedial: Beiträge zum 50. Deutschen Kartographentag*. Heidelberg.
- SKINNER, B.F. (1968): *The technology of teaching*. New York.
- SPANHEL, D. (2002): Bedeutung der Medienpädagogik aus Sicht der Erziehungswissenschaft. In: PAUS-HAASE, I., LAMBERT, C., SÜSS, D. (Hrsg.): *Medienpädagogik in der Kommunikationswissenschaft. Positionen, Perspektiven, Potentiale*. Wiesbaden.
- SPIRO, R.J., JEHNG, J.C. (1990): Cognitive flexibility and hypertext. Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. In: NIX, D., SPIRO, R.J. (Hrsg.): *Cognition, education and multimedia. Exploring ideas in high technology*. 163 – 205.
- STRZEBKOWSKI, R. & KLEEBOG, N. (2002): Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen. In: ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis*. Weinheim
- SULLIVAN, M.A. & DILEK, Y. (1997): Enhancing scientific literacy through the use of information technology in geoscience classes. In: *Journal of Geoscience Education*. 45: 308-313.
- TENNYSON, R.D. & RASCH, M. (1988): Linking cognitive learning theory to instructional prescriptions. In: *Instructional Science*. 17. 369-385.

- TERGAN, S.-O. (1999): Förderung der Wissensstrukturbildung durch Hypermedien? In: SCHULZ, W.K. (Hrsg.): Aspekte und Probleme der didaktischen Wissensstrukturierung. Frankfurt/M.
- THORNES, J. B. (Hrsg.) (1990a): Vegetation and Erosion. Processes and Environments. – British Geomorphological Research, Group Symposia Series; Chichester, New York, Brisbane, 518 pp.
- TILLMANN, A., RIES, J. B., ALBRECHT, V. (2005): Geomorphological processes in mountainous regions and their modeling in web-based education. In: SCHMIDT, K.-H., BECHT, M., BRUNOTTE, E., EITEL, B., SCHROTT, L. (Hrsg.): Geomorphology in Environmental Application. Zeitschrift für Geomorphologie. Supplement Band 138. Berlin.
- TILLMANN, A., ALBRECHT, V., LUMBECK, M. (2004): Webbasierte Lehr- / Lernmodule und ihre Bedeutung bei der Aneignung physisch-geographischen Basiswissens. In: Geographie und Schule. 26. 147.
- TILLMANN, A. (1999): GIS-basierte Bodenerosionssimulation auf landwirtschaftlichen Flächen am Beispiel von Weiler / Nahe. (unveröffentlichte Diplomarbeit)
- TULODZIECKI, G. & HERZIG, B. (2004): Mediendidaktik. Medien in Lehr- und Lernprozessen. Stuttgart.
- VATH, N., HASSELHORN, M., LÜER, G. (2001): Multimedia-Produkte für das Internet: psychologische Gestaltungsgrundlagen. München.
- VOGES, J. (1999): Empirisches Modell für die mittlere Maßstabebene zur GIS-gestützten Bestimmung der Anbindung erosionsgefährdeter Ackerflächen an Fließgewässer.
- WALTHER, P. (2001): Werkzeuge für WBT & Co. e-learning. H. 2.
- WEBB, J., STOCK, W., MCCARTHY, M. (1994): The effects of feedback timing on learning facts: The role of response confidence. Contemporary Educational Psychology. 19, 251-265.
- WEIDENMANN, B. (2002a): Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim.
- WEIDENMANN, B. (2002b): Abbilder in Multimediaanwendungen. In: ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Weinheim.
- WEIDENMANN, B. (2001): Simulationen. In: Krapp A., Weidenmann, B.: Pädagogische Psychologie. Weinheim.
- WEINERT, F.E., HELMKE, A. (1995): Learning from wise mother nature or big brother instructor: The wrong choice as seen from an educational perspective. Educational Psychologist. 30.
- WEISS, R. E., KNOWLTON, D. S., MORRISON, G. R. (2002): Principles for using animation in computer-based instruction: theoretical heuristics for effective design. In: Computers in Human Behaviour. 18, 465-477.
- WERNING, R., KRIWET, J. (1999): Problemlösendes Lernen. In: Pädagogik. 51. Jg. H.10, 7-11.
- WICKENKAMP, V., DUTTMANN, R., MOSIMANN, T. (2000): A multiscale approach to predict soil erosion on cropland using empirical and physically based soil erosion models in a geographic information system. In: SCHMIDT, J. (Hrsg.): Soil Erosion. Application of physically based models. Berlin.
- WILSON, J.P. & GALLANT, J.C. (Hrsg.) (2000): Terrain analysis. New York.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses. – U.S. Department of Agriculture, Washington Agriculture Handbook, 537; Washington.
- ZIMMER, G. (1998): Aufgabenorientierte Didaktik – Entwurf einer Didaktik für die Entwicklung vollständiger Handlungskompetenzen in der Berufsbildung. In: MARKERT, W. (Hrsg.): Berufs- und Erwachsenenbildung zwischen Markt und Subjektbildung.