

Objektorientierte Modellbildung in der naturwissenschaftlichen und technischen Bildung

Entwurf und Erprobung eines Modellbildungskonzeptes für den Physik- und Technikunterricht und für die Produktion von Lern- und Informationsmedien

Von der Fakultät für Naturwissenschaften
der
Gerhard-Mercator-Universität Duisburg

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Pädagogik
genehmigte Dissertation

von

André Bresges

aus

Wesel am Niederrhein

Referent:	Professor Dr. rer. nat Horst Harreis†
Korreferent:	Professor Dr. rer. nat. Wolfgang Haupt
Tag der mündlichen Prüfung:	Dienstag, 22. Oktober 2002

Danksagung

Eine wichtige Säule protestantischer Arbeits-Ethik ist die Aussage Christus', man könne Menschen an den Früchten ihrer Arbeit erkennen. Wie vereinbart sich dieses mit der Theorie, jeder Mensch sei ein Produkt seiner Umwelt?

Nun, sollte dieser Baum faule Früchte tragen, so liegt dies ganz sicher nicht an meiner Umwelt - denn:

Zu wertvoll war die Betreuung durch meinen geschätzten Doktorvater, Herrn Prof. Dr. rer. nat Horst Harreis. Seine persönliche Integrität, zusammen mit seiner Fähigkeit und Bereitschaft, sich auch in verquere Gedanken hineinzudenken und Konsequenzen und Inkonsequenzen dann aus der Logik seines Gegenüber heraus zu begründen, ist bewundernswert und wird für mich immer vorbildhaft bleiben.

Zu liebepoll ist die Treue meiner lieben Eltern, Marianne und Helmut Bresges, die mich nun schon lange Zeit und mit unerschütterlichem Vertrauen durch eine Zeit des Lernens begleiten, die lange vor der Grundschule anfang und kein absehbares Ende hat.

Zu geduldig haben Astrid Lordick, Denise Hinzke, Natascha Müller, Manfred Hein, Markus Pötters, Oliver Krieger, Cassandra Schwarz, Tobias Rohn, Bianca van Holt und Vera Wellmer meine seelischen Schwankungen abgefangen. Nichts ist für die Korrektur sozialer Fehlentwicklung während der Promotionszeit gesünder als Sandsäcke, die zurückschlagen.

Zu inspirierend war die Arbeit mit meinen studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften Stefan Hoffmann, Marc-André Wolf, Ferry Dave Jäckel, Tobias Bauer, Markus Pötter, Christian van gen Hassend, Dietger Bovenschen, Yvonne Nagat, Stefan Fletcher, Miriam Primbs und Martin Lentz - und zu häufig sind wir spät in der Nacht alle gemeinsam vom Wach- und Schließdienst aus dem Rechnerraum gescheucht worden. Wahrscheinlich bedingte das Eine das Andere.

Zu hilfreich war die Unterstützung durch meine Kollegen in den Fächern Didaktik der Physik und Technologie und Didaktik der Technik. Wenn eine Universität der Nährboden für neue Gedanken sein soll, so ist das nur möglich wenn auch in Zukunft Menschen wie Egbert Kluitmann, Norbert Renner, Anja Dams, Bernd Pötters, Reinhard Michalski, Frank Schwarz, Stefan Werner, Sabina Grubba, Uwe Brockmann, Stefan Fletcher, Harald Sieger, Udo Bretschneider, Uwe Hingmann, Herbert Litschke, Michael Neunzig, Herbert Loos, Armin Kleist, Ute Bachor, Klaus Kolpatzek, Alexander Busse und Konrad Mingels in ihr miteinander leben, arbeiten und diskutieren können.

Zu kooperativ war die Zusammenarbeit mit den Kollegen der Willy-Brandt-Schule Mülheim. Die Schule hat als leistungsfähiger Projektpartner der Universität Duisburg ein optimales Praxisfeld für die Erprobung der in diesen und anderen Projekten entwickelten Methoden geboten.

Zu aufopfernd war die Korrekturarbeit von Frau Yvonne Nagat, die meine stille Hoffnung wiederlegte, dass die menschliche Aufmerksamkeit für Tippfehler nach mehreren hundert gelesenen Seiten gnädig erlahmen würde.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG – ZIEL UND AUFBAU DER ARBEIT	8
2	WISSENSCHAFTSTHEORETISCHE BEDEUTUNG DER MODELLBILDUNG.....	12
2.1	ABBILDUNGSMERKMAL	12
2.2	VERKÜRZUNGSMERKMAL	13
2.3	ANWENDUNGSMERKMAL	15
2.4	SIMULATIONSMODELLE	16
2.5	SEMANTISCHE STUFEN DER MODELLBILDUNG	17
2.6	DEFINITION VON MODELLGRÖßEN	18
2.7	KLASSENBUILDUNG VON MODELLEN.....	18
2.8	SPRACHE ALS SYMBOLSYSTEM	20
2.9	METHODIK DES ARBEITENS MIT MODELLEN.....	21
2.10	ABGRENZUNG ZU ANDEREN WISSENSCHAFTSTHEORETISCHEN BEGRIFFEN	23
3	MODELLBILDUNGSKONZEPTE VERSCHIEDENER BEZUGSWISSENSCHAFTEN.....	25
3.1	VORGEHENSWEISEN ZUR MODELLBILDUNG UND MODELLERSTELLUNG IN DER PHYSIK.....	25
3.1.1	<i>Das Forrester-Schema der System Dynamics.....</i>	27
3.1.2	<i>Weitere grafische Modellierungswerkzeuge.....</i>	33
3.1.3	<i>Numerische Probleme bei der Realisierung von Modellen und Simulationen in der Physik.....</i>	35
3.1.3.1	Euler-Verfahren	36
3.1.3.2	Improved Euler/Euler-Cauchy/Heun's Method/Halbschrittverfahren.....	37
3.1.3.3	Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung.....	39
3.1.3.4	Symplektische Algorithmen: das Leapfrog-Verfahren.....	40
3.1.3.5	Zur Optimierung der Schrittweite bei numerischen Verfahren	41
3.2	VORGEHENSWEISEN ZUR MODELLBILDUNG UND MODELLERSTELLUNG IN DER TECHNOLOGIE.....	43
3.2.1	<i>Definition des Begriffes „Technik“</i>	43
3.2.2	<i>Die „Allgemeine Technologie“</i>	43
3.2.3	<i>Das Konzept der „vollständigen Handlung“.....</i>	45
3.2.4	<i>Systematische Strukturierung von Wissen: Mind-mapping, Petri-Netze, System der Allgemeinen Technologie.....</i>	52
3.3	VORGEHENSWEISEN ZUR MODELLBILDUNG UND MODELLERSTELLUNG IN DER INFORMATIK	55
3.3.1	<i>Textuelle Analyse und Strukturierte Programmierung (60er und 70er Jahre).....</i>	58
3.3.2	<i>Strukturierte Analyse und modulare Programmierung (80er Jahre).....</i>	61
3.3.3	<i>Objektorientierte Analyse, Objektorientierte Modellbildung und Objektorientierte Programmierung (seit 1990)</i>	66
3.3.3.1	Entwicklungsgeschichte.....	66
3.3.3.2	Die Unified Modeling Language UML.....	67
3.3.3.3	Grundlagen der Objektorientierung	68
3.3.3.4	Beispiel zur Vorgehensweise	70
3.3.4	<i>Zusammenfassung.....</i>	74

4 ENTWURF EINES KONZEPTEES ZUR OBJEKTORIENTIERTEN ANALYSE UND MODELLBILDUNG.....	77
4.1 VISUALISIERUNG DES OBJEKTMODELLS MIT DUML	77
4.2 OBJEKTORIENTIERTE SYSTEMANALYSE	95
5 EINSATZ, PRAKTISCHE ERPROBUNG UND EMPIRISCHE EVALUATION.....	125
5.1 ZUR PRAKTISCHEN ERPROBUNG DES KONZEPTEES	125
5.2 ERSTER TEIL: PRAKTISCHE ERPROBUNG DER OBJEKTORIENTIERTEN MODELLBILDUNG IM PROJEKT COLEEN: „KOMponentENBASIERTE LERNSoftware FÜR DIE LEHRERAUStBILDUNG (PHYSIK UND TECHNIK IN DEN SEKUNdARStUFEN I UND II SOWIE LERNBEREICH SACHUNTERRICHT (NATURWISSENSCHAFTEN-TECHNIK) UND FÜR DIE INTEGRIERTEN STUDIENGÄNGE PHYSIK - DIPLOM I UND II“.....	127
5.2.1 <i>Problemhintergrund und Aufgabenstellung des Projektes</i>	127
5.2.1.1 Mehrfache Nutzung des fachlichen Grundlagenwissens	127
5.2.1.2 Verbesserte Präsentation des ausgewählten Lehrstoffes im Vergleich zu konventionellen Medien	128
5.2.1.3 Probleme beim Einsatz kommerzieller Lernsoftware in fachdidaktischen Lehrveranstaltungen	129
5.2.1.4 Einsatz in den Lehrveranstaltungen	129
5.2.2 <i>Inhalt und Umfang der Komponentensammlungen</i>	130
5.2.3 <i>Beschreibung der Projektergebnisse: Erstellte Software</i>	131
5.2.3.1 Gesamtdarstellung.....	131
5.2.3.2 Der Themenbereich Messtechnik.....	132
5.2.4 <i>Themenbereich Thermodynamik</i>	138
5.2.5 <i>Besonderheiten beim Management der Softwareentwicklung</i>	142
5.2.6 <i>Ziele beim Einsatz komponentenorientierter Lernsoftware</i>	142
5.2.7 <i>Jahr 2000: Erprobung im Seminar "Neue Medien im naturwissenschaftlichen und technischen Unterricht"</i>	144
5.2.7.1 Seit 2001: geregelter Einsatz in den Lehrveranstaltungen.....	146
5.2.7.2 Erste Phase: Sachanalyse	147
5.2.7.3 Zweite Phase: Versuchsdurchführung.....	148
5.2.7.4 Dritte Phase: Auswertung	148
5.2.7.5 Vierte Phase: Nachbereitung.....	149
5.3 ZWEITER TEIL: SCHULVERSUCH „OBJEKTORIENTIERTER MODELLBILDUNG IM PHYSIKUNTERRICHT“ ...	150
5.3.1 <i>Planung des Schulversuches</i>	150
5.3.1.1 Theoretische Grundlagen / Untersuchungsmodell.....	150
5.3.1.2 Geplante Versuchsdurchführung.....	153
5.3.1.3 Bedingungsanalyse: Labor-Lerngruppe	154
5.3.1.4 Bedingungsanalyse: Vergleichsgruppe	155
5.3.1.5 Bedingungsanalyse: Feldversuchsgruppen.....	155
5.3.1.6 Einordnung in den Rahmenlehrplan der Laborversuchsschule	156
5.3.1.7 Sachanalyse.....	157

5.3.2	<i>Durchführung der Pilot-Unterrichtsreihe in der Laborgruppe</i>	158
5.3.2.1	Analyse eines existierenden Modells	158
5.3.2.2	Einführung in die Objektorientierte Programmierung	161
5.3.2.3	Geradlinig gleichförmige Bewegung: Parametervariation mit dem Software-Modell	162
5.3.2.4	Abgleich des Software-Modells zur gleichförmig geradlinigen Bewegung mit der Realität durch physikalische Experimente	163
5.3.2.5	Formulierung der Klassendiagramme	168
5.3.2.6	Die beschleunigte Bewegung / der waagerechte Wurf	169
5.3.2.7	Parametervariation mit dem Software-Modell	170
5.3.2.8	Abgleich des Software-Modells mit der Realität durch physikalische Experimente	174
5.3.2.9	Durchführung des Versuches	178
5.3.2.10	Auswertung des Versuches	179
5.3.3	<i>Planung der begleitenden Untersuchung</i>	186
5.3.3.1	Statistische Maße	187
5.3.3.2	Planung des Vorgehens	188
5.3.4	<i>Durchführung der begleitenden Untersuchung</i>	189
5.3.4.1	Frage 1: Akzeptanz (kurzfristig) des erlebten Unterrichtes und seiner Inhalte	190
5.3.4.1.1	Ergebnisse	191
5.3.4.1.2	Ergebnisse: nur Laborgruppe	192
5.3.4.1.3	Hypothesenformulierung	193
5.3.4.1.4	Gruppengespräch	193
5.3.4.1.5	Interpretation	194
5.3.4.1.6	Feldversuch	195
5.3.4.2	Frage 6: Akzeptanz der verwendeten Medien	196
5.3.4.2.1	Ergebnisse Frage 6a	197
5.3.4.2.2	Hypothesenformulierung	199
5.3.4.2.3	Gruppengespräch	199
5.3.4.2.4	Interpretation	200
5.3.4.2.5	Ergebnisse Frage 6b	201
5.3.4.2.6	Hypothesenbildung	203
5.3.4.2.7	Gruppengespräch	203
5.3.4.2.8	Interpretation	204
5.3.4.2.9	Ergebnisse Frage 6c:	205
5.3.4.3	Frage 2: Begriffsassoziation und Problemhandeln	206
5.3.4.3.1	Auswertung Frage 2a: Assoziationen mit dem Begriff „Geschwindigkeit“	207
5.3.4.3.2	Auswertung Frage 2b: Assoziation mit dem Begriff „Beschleunigung“	211
5.3.4.3.3	Auswertung Frage 2c: Vergleich der Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung	214
5.3.4.3.4	Zusammenfassung des Fragenteils 2	216
5.3.4.3.5	Gruppengespräch	217
5.3.4.3.6	Interpretation	217
5.3.4.4	Frage 3: Problemlösungsdenken in Zusammenhang mit dem Geschwindigkeitsbegriff	218
5.3.4.4.1	Ergebnisse	219
5.3.4.4.2	Auswertung Frage 3a: Bestimmung der Geschwindigkeit eines Radfahrers (Lösungsansätze)	219
5.3.4.4.3	Auswertung Frage 3b: Tatsächlich gewählte Lösung zur Messung einer Geschwindigkeit	220
5.3.4.4.4	Auswertung Frage 3c: Vorhersage der gefahrenen Strecke (Lösungsansätze)	223
5.3.4.5	Frage 4: Bisher stattgefundenene Übertragungen des Unterrichtswissens in die Lebenswelt	225
5.3.4.5.1	Ergebnisse	226

5.3.4.6	Frage 5: Analyse eines Bewegungsprofils	229
5.3.4.6.1	Auswertung	231
5.3.4.6.2	Hypothesenformulierung	234
5.3.4.6.3	Gruppengespräch	235
5.3.5	Zusammenfassung	236
5.4	DRITTER TEIL: EINSATZ, ERPROBUNG UND EVALUATION VON KOMPONENTENORIENTIERTER	
	LERNSOFTWARE IM TECHNIKUNTERRICHT DER GYMNASIALEN OBERSTUFE	237
5.4.1	Über das Unterrichtsthema	237
5.4.2	Evaluation zur Verbesserung des Lernverhaltens	238
5.4.3	Multimedia und Projektmethode	240
5.4.4	Planung der Unterrichtsreihe	242
5.4.4.1	Der Kontext der Unterrichtsreihe	242
5.4.4.2	Die Lerngruppe	243
5.4.4.3	Der Schwerpunkt der Arbeit unter fachlichen Aspekten	244
5.4.4.4	Systemanalyse	244
5.4.4.5	Begriffsbestimmungen	245
5.4.4.6	Das Verhalten von Gliedern eines Regelkreises (open-loop-Betrachtung)	246
5.4.4.7	Effekte, die im geschlossenen Regelkreis auftreten können (closed-loop-Betrachtung)	249
5.4.4.8	Strukturierung der Unterrichtsreihe und des Lernmoduls	250
5.4.4.8.1	Strukturprinzip	250
5.4.4.8.2	Klärung der Aufgabenstellung	252
5.4.4.8.3	Vermittlung notwendiger Grundlagen der Elektrotechnik	252
5.4.4.8.4	Vermittlung notwendiger Grundlagen der Regelungstechnik	253
5.4.4.8.5	Realisierung der hardwareseitigen Voraussetzungen	254
5.4.4.8.6	Realisierung der softwareseitigen Voraussetzungen	255
5.4.4.8.7	Einsatz, Erprobung und Optimierung verschiedener Reglertypen	256
5.4.4.8.8	Gemeinsame Erstellung der Projektdokumentation	256
5.4.4.8.9	Die Rolle der Gesprächsrunden am Ende von Gruppenarbeitsphasen	256
5.4.5	Durchführung der Unterrichtsreihe	257
5.4.5.1	Einstieg und Klärung der Aufgabenstellung	257
5.4.5.2	Vermittlung notwendiger Grundlagen der Elektrotechnik	259
5.4.5.3	Vermittlung notwendiger Grundlagen der Regelungstechnik	261
5.4.5.4	Realisierung der hardwareseitigen Voraussetzungen	262
5.4.5.5	Realisierung der softwareseitigen Voraussetzungen	265
5.4.5.6	Einsatz, Erprobung und Optimierung verschiedener Reglertypen	267
5.4.5.7	Gemeinsame Erstellung der Projektdokumentation	269
5.4.6	Analyse der Zugriffs-Statistiken	270
5.4.6.1	Gruppe „Platoon“	270
5.4.6.2	Gruppe „Elite“	276
5.4.6.3	Gruppe „Schlecht“	279
5.4.7	Die Klausur vom 9.6.1998	281
5.4.8	Reflexion des Einsatzes der Komponentenorientierten Lernsoftware im Technikunterricht	283

5.5	Vierter Teil: Einsatz objektorientierter Modellbildung bei der Analyse technischer Systeme im Technikunterricht der Jahrgangsstufe 10	285
5.5.1	<i>Die Problemstellung:</i>	285
5.6	Fünfter Teil: Vorschlag zum Einsatz objektorientierter Modellierung für eine Unterrichtsreihe zur „Systemanalyse menschlichen Handelns“ in der Sozialwissenschaft oder zur „Operations Research“ in der Wirtschaftswissenschaft	289
5.6.1	<i>Operations Research: Begriff und Herkunft</i>	289
5.6.2	<i>Nichtlineare Optimierung in der Operations Research</i>	289
5.6.3	<i>Skizze einer möglichen Unterrichtsreihe</i>	290
5.6.3.1	Analyse	290
5.6.3.2	Konzeption des Objektmodells	291
5.6.3.3	Der Aufbau der Software-Simulation	291
5.6.3.4	Erprobung und Abgleich mit der Realität	296
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	298
7	QUELLENVERZEICHNIS	304
7.1	LITERATUR	304
7.2	HYPERLINKS	310
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	311