

Sander, Florian; Schecker, Horst; Niedderer, Hans

Wirkungen des Einsatzes grafikorientierter Modellbildung im physikalischen Praktikum

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 7 (2001), S. 147-165



Quellenangabe/ Reference:

Sander, Florian; Schecker, Horst; Niedderer, Hans: Wirkungen des Einsatzes grafikorientierter Modellbildung im physikalischen Praktikum - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 7 (2001), S. 147-165 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315448 - DOI: 10.25656/01:31544

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315448>

<https://doi.org/10.25656/01:31544>

in Kooperation mit / in cooperation with:



IPN

Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

<https://www.leibniz-ipn.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS

DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung

E-Mail: pedocs@dipf.de

Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

FLORIAN SANDER, HORST SCHECKER UND HANS NIEDDERER

Wirkungen des Einsatzes grafikorientierter Modellbildung im physikalischen Praktikum

Zusammenfassung:

In traditionellen Laborübungen wird die theoretische Modellierung zugunsten von Mess-Handlungen vernachlässigt. In der vorliegenden Studie wird ein didaktischer Ansatz evaluiert, der die theoretische Beschreibung der untersuchten Vorgänge zum integralen Teil des Praktikums macht. Durch einen Verbund von Software-Werkzeugen zur Modellbildung (STELLA) und zur Messdatenverarbeitung sollen die Bezüge zwischen der theoretischen und der experimentellen Perspektive gefördert werden. Die Erprobung erfolgte im Rahmen des Grundstudiums der Experimentalphysik im Themenbereich Mechanik. Die Handlungen von Studierenden im Praktikum wurden auf Video aufgezeichnet. Als weitere Datenquelle für die Überprüfung der Wirksamkeit der Vorgehensweise dienen die Versuchsprotokolle der Studierenden. Die Auswertung der Daten zeigt, dass der Ansatz eine Auseinandersetzung mit den begrifflichen Grundlagen der Versuche im Praktikum fördert. Wechselwirkungen zwischen einer experimentellen und einer theorie- bzw. modellbezogenen Perspektive werden jedoch ebenso wie das Entwickeln eigenständiger theoretischer Beschreibungsansätze nur eingeschränkt angeregt. Um das Potenzial des Ansatzes auszuschöpfen, muss ein Vergleich zwischen Theorie und Experiment in der Versuchsanleitung und durch die Tutoren explizit gefordert werden.

Abstract:

This study investigates the effectiveness of labwork with the integrated use of computer tools for data collection and for model building (system dynamics approach; software STELLA). The approach was trialed in a first year university physics course in Newtonian mechanics. The main goal was to strengthen the links between theorizing and experimenting. The data basis consists of videographs of students' actions in the lab and copies of their lab protocols. The video-analysis shows that during model building phases the students talked a lot more about lab-related physics than in their other lab activities. This supports the assumption that the use of model building software (STELLA) in the lab contributes to the objective „to link theory to practice“. Direct interplay between model construction and experimenting, however, was not as intense as intended. In order to fully exploit this learning potential, labguides and tutors have to support the comparison between experimental data and model predictions explicitly.

1. Einleitung

Experimentieren und Entwickeln begrifflicher und mathematischer Modelle zur Beschreibung physikalischer Sachverhalte gehören zu den wichtigsten Aktivitäten in der Physikausbildung. In traditionellen Laborübungen wird jedoch häufig die theoretische Modellierungsebene zugunsten von Messhandlungen vernachlässigt (Lunetta, 1999; Kyle et al. 1979). Dieser Befund wurde im europäischen Verbundprojekt „Labwork in Science Education“ (Séré et al., 1998) bestätigt. Gegenstand dieses Forschungs- und Entwicklungsvorhabens waren die Effektivität des Praktikums in der naturwissenschaftlichen Ausbildung und Ansätze zur Verbesserung seiner Wirksam-

keit. Die hier vorgestellte Studie entstand im Rahmen dieses Projektes (Sander, 2000). In ihr wird ein Ansatz evaluiert, der durch einen Verbund von Software-Werkzeugen zur Modellbildung (STELLA) und zur Messdatenverarbeitung im Praktikum die Bezüge zwischen der theoretischen und der experimentellen Perspektive im Praktikum fördern soll.

2. Grafikorientierte Modellbildung

In der Studie wurde mit dem Modellbildungssystem STELLA (ursprünglich Richmond, 1985; verwendete Version von 1997) gearbeitet. Das Programm folgt dem *System Dynamics* Ansatz (Forrester, 1968). Auf einer grafischen Ebene (*Simulationsdiagramm*) formu-

liert der Anwender (Student, Dozent) seine Annahmen über die Größen, die das System beschreiben, und deren Zusammenhänge. Im zweiten Schritt werden die Beziehungen dann auf einer formalen (Gleichungs-) Ebene quantifiziert. Dabei sind drei Typen von Größen und zwei Typen von Zusammenhängen zu unterscheiden:

- Zustandsgrößen, die die zeitliche Entwicklung des Systems kennzeichnen (im Beispiel von Abb. 1: ‚Geschw v‘ und ‚Ort s‘)
- Änderungsraten (‚Beschleunigung a‘ und ‚v‘), für die zeitliche Veränderung der Zustandsgrößen
- Einflussgrößen (im Beispiel: Gewichtskraft ‚Fg‘ und die Masse ‚M‘)
- funktionale Zusammenhänge (‚ $a = F/m$ ‘)
- iterative Zusammenhänge (‚ $\Delta v = a \cdot \Delta t$ ‘)

Das so in der Symbolsprache des Simulationsdiagramms formulierte Modell wird vom

Modellbildungsprogramm in Differenzgleichungen mit Zustandsgrößen und Änderungsraten übersetzt. Diese werden numerisch integriert und die Ergebnisse als Diagramm oder Tabelle ausgegeben.

Systemdynamische Modellbildung unterscheidet sich wesentlich von Simulationsprogrammen wie „Interactive Physics“ (Baszucki, 1992). Das lässt sich an der Unterscheidung von Bliss und Ogborn (1989) zwischen „exploratory tools“ und „expressive tools“ verdeutlichen. Mit einem explorativen Werkzeug wie „Interactive Physics“ kann der Lernende die Eigenschaften einer vorgegebenen Modellstruktur erkunden. Der Lernende verändert Simulationsparameter und beobachtet Konsequenzen im vorhergesagten Systemverhalten. Die physikalischen Gesetzmäßigkeiten sind jedoch vom Programmentwickler vorgegeben. Mit „expressive tools“ wie Modellbildungssystemen können -

und müssen - Lernende ihre eigenen Ideen explizieren. Der Lernende legt alle Größen selbständig fest und definiert ihre Beziehungen. Erst anschließend kann das Programm zur Simulation genutzt werden. Während beispielsweise das zweite Newton'sche Gesetz $F=ma$ bei einem „exploratory tool“ bereits festgelegt wäre, können mit einem „expressive tool“ auch Varianten dieser Beziehung ausgetestet werden. Die Güte eines Modells ist an seinen Vorhersagen zu testen, die mit Messergebnissen oder Daten aus der Literatur verglichen werden. Bei der integrierten Nutzung von Modellbildung und Realexperiment im Praktikum sollen die experimentelle Ebene und

symbolische Eingaben auf der Ebene des Simulationsdiagramms	Eingaben auf der Gleichungsebene
	<p>Geschw $v = v$</p> <p>Beschleunigung $a = F/m$</p> <p>Gewichtskraft $F = - 10 \text{ N}$</p> <p>Masse $M = 1 \text{ kg}$</p> <p>Startwerte:</p> <p>Ort $s = 10 \text{ m}$</p> <p>Geschw $v = 0$</p>

Abb. 1: STELLA-Modell zur gleichmäßig beschleunigten Fallbewegung. Gezeigt werden die Eingaben des Anwenders auf der Ebene des Simulationsdiagramms und der Gleichungen. Die Iterationsgleichungen ($\Delta \text{Geschw}_v = \text{Beschleunigung}_a \cdot \Delta t$ und $\Delta \text{Ort}_s = v \cdot \Delta t$) werden vom Programm automatisch erzeugt. Grundlage dafür sind die breiten Pfeile zwischen den entsprechenden Größen im Simulationsdiagramm. Da nur mit linearen Differenzgleichungen erster Ordnung gearbeitet wird, tritt die Geschwindigkeit doppelt auf: als Zustandsgröße ‚v‘ und Änderungsrate ‚Geschw v‘. Das Simulationsdiagramm ist folgendermaßen zu lesen: die Beschleunigung a hängt funktional ab von der Gewichtskraft F und der Masse m. Die Beschleunigung a ändert in einem Zeitintervall Δt die Geschwindigkeit v. Die jeweils herrschende Geschwindigkeit wiederum ändert pro Zeitintervall den Ort s des Körpers.

Verzahnung von Theorie und Experiment

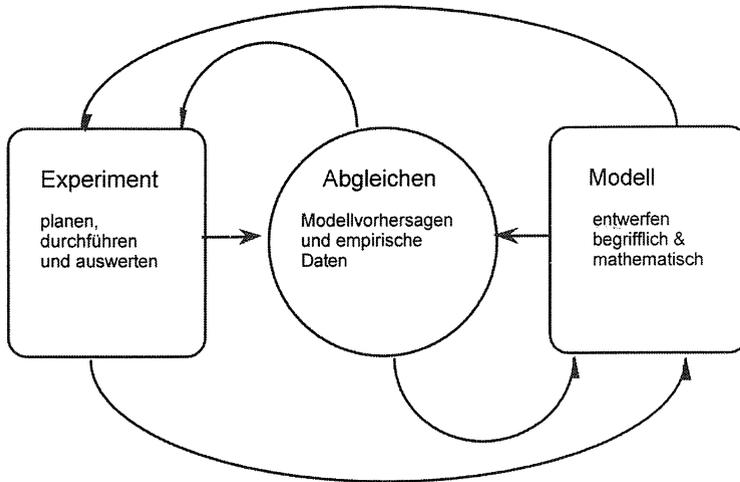


Abb. 2: Wechselspiel von Modellieren und Experimentieren.

die theoretische Modellebene aufeinander bezogen werden und sich wechselseitig ergänzen (vgl. Abb. 2).

Auf der experimentellen Seite werden Objekte und Phänomene beobachtet und Messwerte aufgenommen. Abhängig vom experimentellen Phänomen werden diese mit dem Computer aufgezeichnet oder konventionell erfasst. Auf der theoretischen Seite wird auf der Basis der Theorie ein Modell konstruiert, mit dem in Simulationen experimentelle Ereignisse vorhergesagt werden können. Experimentelle Beobachtungen und Messwerte werden anschließend mit Simulationsergebnissen verglichen. Aufgrund von Abweichungen soll es zur Überarbeitung der Modelle oder zu weiteren experimentellen Untersuchungen kommen.

3. Erwartungen an grafikorientierte Modellbildung

Mit dem Einsatz systemdynamischer Modellbildungssoftware mit grafischer Oberfläche werden folgende Zielsetzungen verbunden (Schecker, 1998a und Tinker, 1993):

1) Betonung grundlegender Strukturen physikalischer Begriffsgebäude (qualitatives Verständnis)

Bei der Erstellung eines Modells soll durch die grafische Repräsentation der Größen und ihrer Zusammenhänge ein qualitativer Zugang zu physikalischen Fragestellungen gefördert werden. Im Unterschied zu formalen, gleichungsorientierten Aufgabenstellungen, bei denen es häufig nur darum geht die richtige Gleichung zu finden, unterstützen grafikorientierte Modellbildungssysteme einen Zugang über grundlegende physikalische Beziehungen.

2) Einbeziehung komplexer Phänomene
Viele Vorgänge, die sich nicht geschlossen mathematisch vorhersagen lassen, können mit einem Modellbildungssystem mit geringem formalem Aufwand beschrieben und berechnet werden (beispielsweise Bewegungen mit Reibung). Damit soll eine unterrichtliche Einschränkung auf einfache, stark idealisierte Fälle abgebaut werden (Schecker, 1998b).

3) Förderung einer wissenschaftlichen Vorgehensweise

Durch Einbeziehung von Modellbildungssystemen in das experimentelle Praktikum sollen Lernende zwischen der theoretischen Perspektive und der experimentellen Perspektive hin und her wechseln (Tinker, 1986; Schecker, 1998). Hypothesen können entwickelt und getestet werden.

4) Schaffung von Möglichkeiten zur Entfaltung eigener Ideen

Das Erstellen eigener Modelle soll es den Lernenden ermöglichen, eigene Vorstellungen zu explizieren und sich ihrer bewusst zu werden (vgl. Steed, 1992). Ferner sollen sie durch den verringerten mathematischen Aufwand in die Lage versetzt werden, eine größere Anzahl von Vorgängen eigenständig zu beschreiben.

4. Empirische Befunde zum Einsatz von Modellbildungssystemen

4.1 Zugang zur Modellbildung

Der Zugang zur Modellbildung kann in die Fähigkeit zur Handhabung der Software und das Verständnis der Grundidee der systemdynamischen Modellbildung unterschieden werden. Bezüglich der Handhabung berichtet Schecker (1998a) von guten Ergebnissen. In einer Erprobung mit 5 Schülerpaaren, die ein Modell zur Fahrbahnbewegung konstruieren sollten, zeigte sich, dass nach einer einstündigen Einweisung zur Bedienung der Software, einschließlich der Festlegung der Diagrammausgaben und der Achsenskalierung, keine Probleme mehr auftraten. Hucke (1999) konnte diese Beobachtungen in einer Studie mit Physikstudenten aus dem dritten Semester bestätigen.

Bezüglich des Verständnisses der Grundidee systemdynamischer Modellbildung, d.h. der Größentypen in Simulationsdiagrammen und des iterativen Lösungsansatzes, gibt es unterschiedliche Befunde. Studien von Webb (1988) und Cox und Webb (1994) mit jüngeren Schülern (Sekundarstufe I) berichten von positiven Effekten bei der Identifizierung relevanter Größen zur Beschreibung von Epidemien aber von Schwierigkeiten in der korrekten Kategorisierung physikalischer Größen als Zustandsgröße, Änderungsrate etc. sowie bei der Quantifizierung der Beziehungen. Tinker (1990) setzte die Modellbildung bei Lernenden ab etwa 14 Jahren in der Mathematik ein, um grundlegende Konzepte der Differential- und Integralrechnung einzuführen. Er berichtet von Schwierigkeiten im Umgang mit den Begriffen Zustand und Rate und der Deutung der Simulationsdiagramme. Er kommt zu dem Schluss, dass STELLA nicht zum Erlernen dieser Konzepte geeignet sei, sondern vielmehr deren Kenntnis voraussetze. Tinker befürchtet ferner Probleme mit der Metapher von Zu- und Abflüssen, die über Ventile reguliert werden, da sie im Bereich der Physik keine konkrete Bedeutung hätten.

In den Untersuchungen von Schecker (1993) mit Schülern der Sekundarstufe II im Physikunterricht traten die von Tinker befürchteten Probleme nicht auf. Die Schüler arbeiteten mit der Symbolik auf einer abstrakten Ebene, ohne an materielle Flüsse zu denken. Aber auch hier ließen sich Anfangsschwierigkeiten beobachten. Einige Schüler versuchten direkt Lösungsfunktionen einzugeben, die den Verlauf einer Messkurve angemessen wiedergeben sollten. So entstandene Modelle kamen häufig ohne Zustandsgrößen aus. Unterrichtlich angelegt war eine Herangehensweise, bei der von den physikalischen Begriffen ausgehend, Zusammenhänge zunächst verbal beschrieben, anschließend in ein Simulationsdiagramm umgesetzt und erst dann quantifiziert werden. Mit zunehmenden Modellierungserfahrungen wählte die Mehrzahl der Schüler diesen Weg. Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Handhabung der Software schnell erlernt wird, während die Umsetzung eines physikalischen Zusammenhangs in die systemdynamische Notation durchaus Probleme bereiten kann. Hier scheint der Einsatz von grafikorientierter Modellbildung vor allem für Lernende höherer Altersstufen geeignet zu sein. Im Vergleich etwa zwischen Mathematik (Tinker, 1990) und Physik (Schecker, 1998a) zeigt sich, dass der Einsatz auch abhängig vom Fach beurteilt werden muss.

4.2 Auswirkungen des Modellbildungssystems auf Physiklernen

Insgesamt sind die berichteten Auswirkungen für das Verständnis fachlicher und systemdynamischer Zusammenhänge zurückhaltend positiv. Wir gehen hier nur auf Ergebnisse aus dem Bereich der Physik ein.

Förderung der Auseinandersetzung mit physikalischen Inhalten

Hucke und Fischer (1998, 1999) führten eine Vergleichsstudie zum Einsatz computerunterstützter Messwerterfassung und Modellbildung im physikalischen Anfängerpraktikum durch. Dabei wurden zwei Praktikumsversuche im Themenbereich „Schwingungen“ mit

und ohne den Einsatz eines Modellbildungssystems gestaltet. Zur Datenerhebung wurden vor und nach jedem Versuch Begriffsnetze und halboffene Interviews eingesetzt. Die Handlungen von Paaren von Studierenden wurden per Video aufgezeichnet und mit einem kategoriengeleiteten Verfahren ausgewertet. Als Kategorien für die Sprechhandlungen dienten „deskriptiv“, „Messebene“ und „physikalisch-theoretische Ebene“. In Modellbildungsphasen wurde physikalisch-theoretisches Wissen deutlich stärker verbalisiert als bei Handlungen am Realexperiment.

Lerneffekte

Hinsichtlich der Förderung des physikalischen Verständnisses zeigen die Ergebnisse von Hucke und Fischer keinen signifikanten Wissenszuwachs in den Begriffsnetzen der Gruppen mit Modellbildungssystem - und das obwohl die Auseinandersetzung mit physikalischen Inhalten intensiver war als in der Vergleichsgruppe. Hucke vermutet, dass bereits wesentliches theoretisches Lernen in der Vorbereitung des Versuchs anhand der ausführlichen Versuchsanleitung stattgefunden hatte.

Im Schulkontext konnten Schecker et al. (1999) positivere Effekte nachweisen. In der Längsschnittstudie „Physiklernen mit Modellbildungssystemen“ wurden Mechanikkurse im 11. Jahrgang, in denen STELLA eingesetzt wurde, mit solchen Kursen verglichen, die den gleichen Themenbereich ohne Rechneinsatz bearbeiteten. Als Erhebungsinstrumente kamen das Force Concept Inventory (Hestenes et al., 1992, Schecker & Gerdes, 1999) und Interviews über Demonstrationsexperimente (Schecker & Gerdes, 1998) zum Einsatz. Während sich anhand des Force Concept Inventory keine Vorteile ergaben, bestätigte die Analyse von Experimentalinterviews die Hypothese, dass die Fähigkeit zur halbquantitativen Beschreibung von Bewegungen unter dem Einfluss von Kräften durch den Unterricht mit Modellbildungssystemen stärker gefördert wird.

Insgesamt deuten die vorliegenden Befunde darauf hin, dass grafikorientierte Modellbil-

dung eine Auseinandersetzung mit der Physik fördert, ein spezifischer Wissenszuwachs aber begrenzt bleibt.

5. Rahmenbedingungen der Studie

Das hier untersuchte Konzept eines Praktikums unter Einbeziehung von Modellbildungssystemen wurde im Rahmen eines Experimentalphysik-Grundkurses für Lehramtsstudenten im ersten Semester umgesetzt (Themenbereich Mechanik, Oktober 1996 bis Februar 1997). An dem Kurs nahmen zehn Studenten und drei Studentinnen teil. In enger thematischer Verbindung mit der vierstündigen Vorlesung fand einmal wöchentlich ein zweistündiges Praktikum statt, in dem die Studierenden in Paaren arbeiteten. In der Mehrzahl der Praktikumstermine kam das Modellbildungssystem zum Einsatz, meist in Verbindung mit einem Realexperiment.

5.1 Ziele des Einsatzes grafikorientierter Modellbildung

Das Modellbildungssystem wurde mit folgenden Zielen im Praktikum eingesetzt:

- Förderung der begrifflichen Auseinandersetzung mit der Physik des im Praktikum behandelten Phänomens (vgl. Abschnitt 3, Punkt 1),
- Förderung einer intensiven Wechselwirkung zwischen Experiment und Modellbildung: Modelle sollen sich auf konkrete Experimente beziehen und aus dem Modellierungsprozess sollen sich Anregungen zu experimentellen Varianten ergeben (vgl. Abschnitt 3, Punkt 3),
- Anregung zur Entwicklung eigener theoretischer Beschreibungsansätze und experimenteller Ideen (vgl. Abschnitt 3, Punkte 2 und 4).

Der Schwerpunkt lag somit nicht auf Messmethodik oder der mathematischen Analyse von Messdaten. Die Studierenden sollten vor allem angeregt werden, über die physikalisch-begrifflichen Grundlagen der Praktikumsversuche nachzudenken und daraus abgeleitete Modellvorhersagen mit den gemessenen Versuchsverläufen abzugleichen.

5.2 Gestaltungsmerkmale des Praktikums

Computereinsatz

Der Computer wurde außer zur Modellbildung auch zur Messwerterfassung eingesetzt (Micro-Based Lab, MBL). Es kamen das Universal Lab Interface (s. Thornton & Sokoloff, 1990) zur Aufzeichnung von Bewegungsvorgängen mittels Ultraschallsensoren, das von der Firma Leybold entwickelte System CASSY (1994) und das in Bremen entwickelte System Brem-Lab (Schecker, 1996) zum Einsatz. Mit diesen Werkzeugen können Messdaten (z.B. $s(t)$ -, $v(t)$ - und $a(t)$ -Graphen) online im Versuch erfasst und dargestellt werden.

Offenheit

Die Versuchsanleitungen wurden mit dem Ziel konzipiert, die Studierenden zu eigenständiger Arbeit im Praktikum anzuregen. Die Offenheit zeigte sich darin, dass die Studierenden über die vorgegebenen Aufgaben hinaus aufgefordert wurden eigenen Ideen nachzugehen und eigene Fragestellungen zu

bearbeiten. Die Anleitungen gaben im Gegensatz zu sogenannten „kochbuchartigen“ Anleitungen (Claugh & Clark, 1994) die einzelnen Schritte nicht detailliert vor. Die Handlungsschritte bei der Bearbeitung einer Aufgabenstellung sollten weitgehend selbstständig entwickelt werden.

5.3 Übersicht über die Versuche

Es wurden an 14 Praktikumsterminen 11 thematisch unterschiedliche Praktikumsversuche durchgeführt (vgl. Tab. 1).

6. Fragestellungen

Die Evaluationsfragen leiten sich aus den Zielen ab, die in Punkt 5.1 dargelegt wurden. Der übergeordneten Frage, inwieweit die Integration grafikorientierter Modellbildung in das Praktikum die Verbindung von Theorie und Experiment fördert, wird in vier spezielleren Fragenkomplexen nachgegangen, die in der Diskussion noch weiter differenziert werden.

- 1) Welchen Zugang finden die Studierenden zur systemdynamischen Modellbildung? Haben die Studierenden die Grundidee der systemdynamischen Modellierung mit grafischer Oberfläche nach der Erstellung von zwei bis drei Modellen verstanden? Liegt der Schwerpunkt der Sprechhandlungen beim Modellieren auf physikalisch-inhaltlichen Fragen, oder bestehen Probleme mit dem grundlegenden Ansatz von Zustandsgröße-Änderungsrate-Paaren sowie softwaretechnische Bedienungsschwierigkeiten längerfristig? Sind die

Termin	Thema	Computerwerkzeuge	
		MBL	MBS
1	Messung von v und a bei verschiedenen Bewegungen (Fahrbahnversuche).	MBL	
2	Das zweite Newton'sche Gesetz (Fahrbahnversuche). Messungen von $s(t)$, $v(t)$ und $a(t)$	MBL	
3	Das zweite Newton'sche Gesetz; Modellierung von $s(t)$, $v(t)$ und $a(t)$ Einführung in das Programm STELLA		MBS
4	Bewegung mit nicht konstanter Beschleunigung (Federschwingung)	MBL	MBS
5	Erzwungene Federschwingung	MBL	MBS
6	Bewegung in der Ebene		MBS
7	Trägheitsmomente und Drehbewegungen	keine	
8&9	Das Pohlsche Rad (Resonanz)	MBL	MBS
10	Fahrbahnbewegung mit Gliederkette (als Interviews über das Experiment)	MBL	MBS
11	Impulssatz in einer Dimension		MBS
12	Impulssatz in zwei Dimensionen		MBS
13&14	Projekte	freie Auswahl	

Tab. 1: Themen der Praktikumsversuche (MBS: Modellbildungssystem; MBL: Micro-Based Lab).

- Modelle syntaktisch (systemdynamisch formal) korrekt?
- 2) Wird der Theoriebezug im Praktikum gefördert?
Ergibt sich im Vergleich zu experimentellen Phasen bei der Modellierung eine höhere Verbalisierungsdichte physikalischen Wissens in den Sprechhandlungen der Studierenden? Sind die von Studierenden entwickelten Modelle semantisch (physikalisch inhaltlich) korrekt?
- 3) Werden Wechselwirkungen von Experimentieren und Modellieren gefördert?
Zeigen sich Bezüge zwischen Theorie und Experiment in einem Wechselspiel zwischen experimentellen und Modellierungshandlungen, die inhaltlich aufeinander bezogen sind? Werden in Versuchsproto-

- kollen solche Perspektivenwechsel von den Studierenden diskutiert?
- 4) Werden die Studierenden angeregt, mit Ideen zu experimentieren?
Formulieren die Studierenden in ihren Modellen eigene theoretische Beschreibungsansätze? Schlagen sich solche Ideen in Variationen der experimentellen Grundkonfiguration nieder?

7. Datenaufnahme und Analyse

Daten standen aus den Praktikumsprotokollen aller Kursteilnehmer und aus Videoaufzeichnungen der (Sprech-) Handlungen eines Studentenpaars aus sechs Praktikumssterminen zur Verfügung (insgesamt etwa 16 Stunden Video). Die Videodaten wurden sowohl quantitativ als auch qualitativ ausgewertet.

K	Güte der Modelle: Beschreibung der Kategorien
0	Modell mit offenkundigen physikalischen oder mathematischen Fehlern.
I	Modell, dem entgegen der systemdynamischen Grundidee ein gleichungsorientierter Zugang zugrunde liegt.
II	Das Modell bildet den Vorgang in den wesentlichen Punkten systemdynamisch korrekt ab; jedoch fehlen wichtige physikalische Einflussgrößen.
III	Das Modell bildet den Vorgang physikalisch und systemdynamisch im Wesentlichen korrekt ab.
IV	Das Modell ist mit sinnvollen, zusätzlichen physikalischen Einflussfaktoren ausgebaut.

Tab. 2: Kategorisierung der Modellgüte.

K	Qualität der Bezüge: Beschreibung der Kategorien
X	Fehlender Vergleich wegen fehlerhaften Modells
A	Messgraphen und Simulationsgraphen werden entweder nicht oder ohne physikalische Termini ihrer äußeren Form nach verglichen.
B	Simulationsgraphen werden mit Messgraphen verglichen. Daraus werden jedoch keine Folgerungen für die physikalische Modellierung abgeleitet.
C	Der Vergleich führt zu mindestens einem dieser Aspekte: <ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung physikalischer Modellannahmen • Beschreibung des Systemverhaltens unter verschiedenen Bedingungen • Erweiterung der theoretischen Beschreibung des Phänomens (z.B. durch Einfügen und Diskussion zusätzlicher physikalischer Einflussfaktoren)

Tab. 3: Kategorisierung der Qualität der Bezüge zwischen Modell und Experiment.

7.1 Auswertung von Protokollen

Die Protokolle der Versuche 2 und 3 zum zweiten Newton'schen Gesetz, Versuch 4 zu Feder-schwingungen, Versuch 5 zu erzwungenen Feder-schwingungen und Versuche 8 und 9 zum Pohl-schen Rad (Resonanz) wurden sowohl nach der Güte der Modelle als auch nach der Qualität, mit der Messung und Simulation aufeinander bezogen wurden, eingeordnet. In den Tabellen 2 und 3 werden die verwendeten Kategorien erläutert.

7.2 Kategoriengeleitete Analyse von Videomitschnitten

Bei insgesamt fünf Praktikumsversuchen wurden

die mit Video aufgezeichneten Handlungen einer Gruppe von Studierenden einer kategoriengeleiteten Analyse unterzogen (Versuch 1, 4, 5, 6, 7).

Das Verfahren basiert auf zwei Kategoriensystemen, nach denen die Handlungen und Wissensäußerungen jeweils in Zeittakten von 30 Sekunden eingeordnet werden. Das erste System dient der Kategorisierung von Handlungen mit Objekten und Informationsquellen im Praktikum (s. Tab. 4). Das zweite dient zur Einordnung von Wissensäußerungen (s. Tab. 5). Eine detaillierte Darstellung der Methodik findet sich in Haller (1999), Niederderer et al. (1999) und Sander (2000).

Die beiden Kategoriensysteme erlauben es, Zusammenhänge zwischen bestimmten Handlungen und Wissensäußerungen herzustellen. Hierzu dient die „Dichte“ der Wissensäußerungen in einer Handlungskategorie. Dieses Maß entspricht dem Verhältnis der Anzahl von Zeiteinheiten, in denen eine bestimmte Wissenskategorie zusammen mit einer bestimmten Handlungskategorie auftritt, bezogen auf die Zeiteinheiten, in denen diese Handlungskategorie insgesamt beobachtet wurde.

Abkürzung	Handlungskategorien (Auszug)
3.P	Interaktionen mit einer außenstehenden Person (meistens Tutor)
SMB bzw. SMU	Konstruktion bzw. Anpassung eines STELLA-Modells (model building oder model use)
ME bzw. CME	Messungen ohne bzw. mit Computer
MA bzw. CMA	Aufbau und Einstellung des Versuchsaufbaus bzw. des Messinterfaces

Tab. 4: Handlungskategorien für die Videoanalyse.

Abkürzung	Wissenskategorien
WT	Technisches bzw. programmtechnisches Wissen
WP	Physikalisches Wissen
WPT	Verbindung von technischem und physikalischem Wissen
WM	Mathematisches Wissen

Tab. 5: Wissenskategorien für die Videoanalyse.

7.3 Qualitativ-interpretative Analyse von Transkripten

Hierbei handelt es sich um eine rekursive, qualitative Interpretation von Textmaterial auf Grundlage eines Satzes von Hypothesen, der durch die Analyseschritte weiterentwickelt wird (hermeneutische Spirale). Das Verfahren wurde ebenfalls auf die vorliegenden Videoaufzeichnungen des obengenannten Studentenpaares bei fünf Versuchen angewendet. Zunächst werden die Videomitschnitte transkribiert, d.h. Sprechhandlungen und objektbezogene Handlungen (Veränderungen am Versuchsaufbau bzw. am Modell) werden verschriftlicht. Das Verfahren geht von ersten Hypothesen zur Wirkung des Computereinsatzes aus, die aus den intendierten Wirkungen oder der Literatur abgeleitet sind. Die Hypothesen werden anhand von Belegen und Gegenbelegen aus den Daten diskutiert. Dadurch ergeben sich bei den Hypothesen Änderungen und Weiterentwicklungen. Entsprechend werden neue Belege und Gegenbelege in den Transkripten gesucht bzw. alte Belege neu bewertet. Insgesamt ergibt sich ein iterativer Prozess, in dem sich Hypothesen anhand der Daten ausschärfen. Bei der Bildung der Hypothesen spielen Diskussionsprozesse, Ergebnisse aus der Literatur und die Sichtweise des Forschenden eine Rolle. Eine detailliertere Schilderung des Verfahrens findet sich bei Niederderer (1989) und Petri (1996).

Bei der Bildung der Hypothesen spielen Diskussionsprozesse, Ergebnisse aus der Literatur und die Sichtweise des Forschenden eine Rolle. Eine detailliertere Schilderung des Verfahrens findet sich bei Niederderer (1989) und Petri (1996).

8. Ergebnisse zum Zugang zur Modellbildung

Der Zugang zur Modellbildung wird unter den Aspekten der Handhabung der Modellbildungssoftware und des Verständnisses der Grun-

die Idee systemdynamischer Modellbildung untersucht.

8.1 Zugang zur Handhabung der Software

Die Analyse der Videoaufzeichnungen sowie der erstellten Modelle in Protokollen und der halboffenen Experimentalinterviews zeigt, dass die Studierenden einen schnellen Zugang zur Bedienung des Modellbildungsprogramms (STELLA) finden. Jedoch erfordert die Handhabung der Software auch in späteren Phasen Aufmerksamkeit und bereitet in Einzelfällen Probleme.

In einem Abschlusstest nach insgesamt fünf Modellierungssitzungen findet sich nur in einem von zwölf Studierenden ein fehlerhaftes Modell aufgrund von Fehlern im Umgang mit der Software. Probleme mit der Handhabung des Programms, die ohne die Hilfe des Betreuers nicht zu beseitigen waren, lassen sich bei der mit Video aufgezeichneten Gruppe nur in der Einführungssitzung und der darauffolgenden Sitzung beobachten. In den folgenden zwei Modellierungssitzungen treten sie nicht mehr auf. Die kategoriengeleitete Analyse aufeinander folgender Modellie-

rungsphasen (Versuche 3, 4, 5 und 6) zeigt, dass die Studierenden zunehmend weniger über die Bedienung der Software reden (Wissenskategorie WT), sich aber auch in späteren Praktika noch damit auseinandersetzen (siehe Abb. 3). Dies war aufgrund höherer Ansprüche an die Modelle auch zu erwarten.

Bei der Erstellung der beiden ersten Modelle (V.3 I und V.3 II) setzen die Studierenden theoriebezogenes Wissen zum Aufspüren technischer Fehler im STELLA-Modell ein. Hier erlernen sie beispielsweise, dass eine Verkleinerung der Zeitschrittweite zu einer Verbesserung der Simulationsergebnisse führen kann. Jedoch lässt sich nicht beobachten, dass sie in folgenden Modellierungssitzungen systematisch die Größe sinnvoller Zeitschrittweiten abschätzen und ihre Modelle auf Stabilität gegen Änderungen der Zeitschrittweite überprüfen. Eine solche stärker theoriebezogene Strategie hätte vermutlich vom Betreuer vermittelt werden müssen.

8.2 Zugang zur Grundidee systemdynamischer Modellbildung

Wie bereits in Schecker (1993) berichtet, entwickeln die Studierenden ein abstraktes Verständnis von Zustandsgrößen und Änderungsraten, ohne dabei an materielle Flüsse zu denken. Probleme mit einer vermeintlichen „Klempner-Metaphorik“, wie sie von Tinker (1993) berichtet werden, treten nicht auf. Bei anspruchsvollen Problemen lässt sich jedoch beobachten, dass STELLA wiederholt eher als Rechenhilfe gesehen wird denn als Programm zum Entwerfen eines *begrifflichen* Modells zu einem Phänomen. Hier fehlt es an einem ausgereiften „metakognitiven Verständnis“ der Modellbildung.

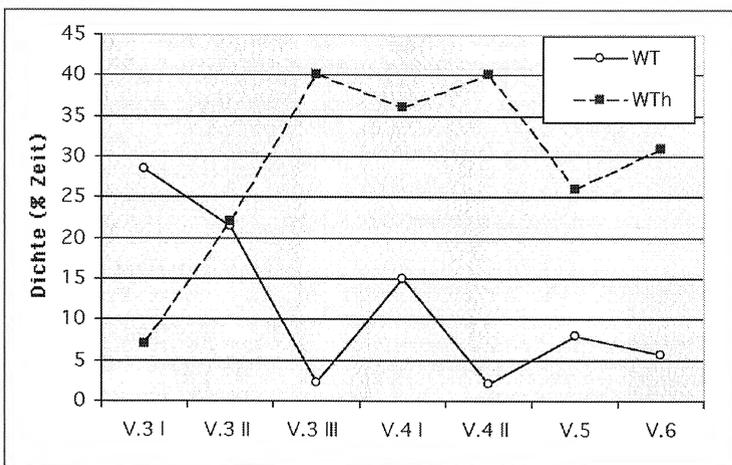


Abb. 3: Anteil softwarebezogener Verbalisierungen (WT) und theoriebezogener Verbalisierungen (WTh=WP+WPT+WM) in den Modellierungsphasen der ersten vier Praktika mit STELLA. In den Versuchen 3 und 4 wurde die Modellierungsphase zusätzlich noch in drei bzw. zwei Teilphasen untergliedert.

Zum Verständnis der Grundidee der systemdynamischen Modellbildung gehört es, dass die Symbolik des Simulationsdiagramms im Zusammenhang mit der iterativen Berechnungsvorschrift in den Grundzügen nachvollzogen werden kann. Die Studierenden knüpfen hier an die Einführung in der Vorlesung über den Differenzenquotienten $f(t+h)=f(t)+f'(t)\cdot h$ an und beziehen in diesem Sinne Zustandsgröße und Änderungsrate auf einander. Dies zeigt sich sowohl in den sprachlichen Äußerungen einzelner Studierender als auch in den Protokollen. Beispielsweise beschreibt ein Student die Bedeutung des Pfeils (s. Abb. 4) mit den Worten:

Dirk: „[Der Pfeil bedeutet] dass sich die Veränderungsrate auf die Zustandsgröße bezieht. Dass also im Endeffekt das genommen wird, was in der Zustandsgröße drin ist, er das mit der Rechenvorschrift (bezieht sich auf $v(t)=v(t-dt)+a\cdot dt$) berechnet und wieder neu reinpackt.“

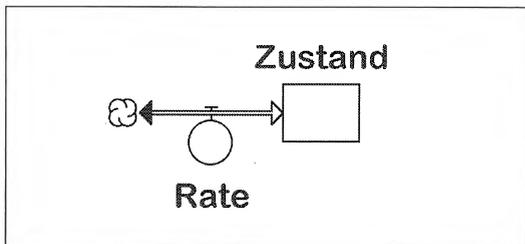


Abb. 4: Rate-Zustand-Paar.

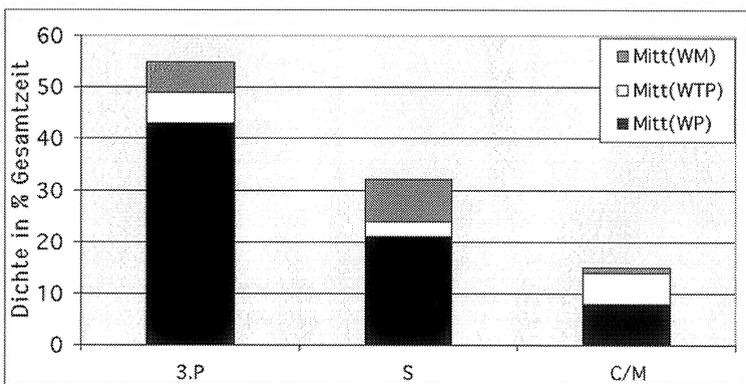


Abb. 5: Dichte theoretischer Verbalisierungen während des Kontakts mit dem Tutor (3.P), der Arbeit mit dem Modellbildungssystem (S) und in experimentellen Kontexten (C/M) (WM: mathematisches Wissen, WP: physikalisches Wissen, WTP technisch-physikalisches Wissen).

In den Protokollen (s. Tabelle 2) und im Abschlussstest zeigt sich, dass nahezu alle Studierenden Modelle konstruieren können, die im Themenbereich Bewegungen und Kräfte die systemdynamische Herangehensweise nutzen. Bei komplexen Aufgaben und in neuen Situationen versuchen Studierende allerdings auch Lösungsansätze, die nicht im Sinne der Modellbildung sind. Ein Beispiel sind Modelle zur Bewegung in der Ebene (Versuch 6). Vier von fünf abgegebenen Modellen folgen nicht dem systemdynamischen Ansatz. Stattdessen werden gleichungsorientierte Modellansätze entwickelt, bei denen beispielsweise versucht wird, über Variation von funktionalen Zusammenhängen das erwünschte Ergebnis zu erreichen.

9. Ergebnisse zum Theoriebezug

Der Frage, ob der für diese Studie gewählte didaktische Ansatz den Theoriebezug im Praktikum fördert, gehen wir in vier Teilaspekten nach. Mit der kategoriengeleiteten Analyse von Praktikumsvideos in Abschnitt 9.1 wird untersucht, ob die Modellbildung die Studierenden in höherem Maße als in Experimentierphasen anregt, über den theoretischen Hintergrund des jeweiligen Experimentes zu sprechen. Die inhaltliche Dimension der Auseinandersetzung erschließt sich aus einer globalen Einordnung aller Modelle der Studierenden (Abschnitt 9.2) und weitergehenden Analysen zur Vorgehensweise bei der Modellierung und zum unmittelbaren Bezug zum Vorgang (Abschnitten 9.3 und 9.4).

weitergehenden Analysen zur Vorgehensweise bei der Modellierung und zum unmittelbaren Bezug zum Vorgang (Abschnitten 9.3 und 9.4).

9.1 Kategoriengeleitete Analyse der Handlungen

In den Praktika mit Computereinsatz gehört die Modellbildung (Kategorien: SMB und SMU, s. Tab. 4) neben der unmittelbaren Ar-

beit am Versuchsaufbau (Kategorien: MA, CMA, ME, CME) und Kontakten mit dem Tutor zu den zeitlich am häufigsten auftretenden Handlungen. In Phasen, in denen die Studenten mit dem Modellbildungssystem arbeiten, wird in ca. 32% der Zeitintervalle theoriebezogenes Wissen geäußert (s. Abb. 5). Dem großen zeitlichen Anteil, den experimentelle Handlungen im Praktikum beanspruchen, steht eine vergleichsweise niedrigere Verbalisierungsdichte theoriebezogenen Wissens gegenüber (ca. 15%).

Die Ergebnisse der kategoriengeleiteten Analyse zeigen, dass die Modellbildung deutlich stärker zur Auseinandersetzung mit einer physikalischen Beschreibung des Phänomens anregt als unmittelbare Arbeitsphasen am experimentellen Aufbau. Nur das direkte Gespräch mit dem Tutor regt in noch höherem Maße zum Sprechen über die Theorie des Versuches an. Dies entspricht den Ergebnissen der Untersuchung von Hucke (1999). Im Mittel der Praktikumstermine nehmen Arbeiten am Experiment (Auf-/Umbauen, Messen) etwa die Hälfte der Versuchszeit in Anspruch. Gespräche mit dem Tutor und Modellbildung liegen jeweils bei etwa einem Viertel der Gesamtzeit. Der Anteil der Interaktion zwischen Tutor und Studierenden ist in der vorliegenden Studie deutlich höher als in anderen Laborpraktika.

9.2 Güte der Modelle

Auch wenn die Studierenden sich während der Modellbildung intensiv mit der Theorie auseinandersetzen, kann diese Auseinandersetzung inadäquat sein. Aus den erstellten Modellen (Datenbasis Protokolle) folgt jedoch, dass es den Studierenden - mit Ausnahme eines Versuches - zumeist gelingt, ein physikalisch angemessenes Modell zu erstellen.

Eine Einordnung der in den Protokollen dokumentierten Modelle nach ihrer Güte (Kriterien s. Tab. 2, Ergebnisse s. Tab. 6) zeigt, dass sich 70 % der Modelle in den Kategorien III und IV befinden. Auch die in den Praktika 4 und 5 in die Kategorie II eingeordneten Modelle beschreiben - abgesehen von fehlenden Reibungseinflüssen - das Phänomen adäquat. Einzige Ausnahme ist Praktikum 6.

Wir werten die Güte des Modells als Maß für die im Prozess der Auseinandersetzung mit dem Phänomen maximal erreichte physikalische Durchdringung, denn die Studierenden können den Hintergrund ihrer Modelle zum Teil nur unvollständig erläutern und es vermögen nicht immer alle Mitglieder einer Arbeitsgruppe, das Modell hinreichend zu beschreiben. Ein Vergleich der in der Vorlesung behandelten Themen und der Güte der Modelle deutet darauf hin, dass Mängel in den Modellen u.a. damit zusammenhängen,

das bestimmte Wissens-elemente noch nicht in der Vorlesung angeboten wurden. Modellbildung eignet sich demnach eher für die Festigung und Ausdifferenzierung von Wissen (intelligentes Üben). Die Entwicklung neuen begrifflichen Wissens konnte während der Modellbildung nicht beobachtet werden.

Praktikum		Kategorie					Σ
Nr.	Thema	0	I	II	III	IV	
2&3	Newton 2:				5	1	6
4	Federschwingung			1	4	1	6
5	Erzwungene Federschwingung -Resonanz-			2	2	2	6
6	Bewegung in der Ebene	1	3		1		5
8&9	Pohlsches Rad -Resonanz-	1			1	2	4
Anteil		7%	11%	11%	48%	22%	100%

Tab. 6: Güte der erstellten Modelle auf Basis der Analyse von Praktikumsprotokollen (zu den Kategorien s. Tab. 2).

9.3 Förderung begrifflich-qualitativer Zugänge

Die oben vorgestellten Ergebnisse aus der kategoriengeleiteten Analyse in Abbildung 5 zeigen, dass in Modellbildungsphasen überwiegend physikalisches Wissen und wenig mathematisches Wissen verbalisiert wird. Die Detailanalysen der Videomitschnitte bestätigen, dass die Studierenden während der Modellierung angeregt werden, Elemente newtonscher Überlegungsketten zu entwickeln (Kräfte identifizieren; über die Beschleunigung Geschwindigkeitsänderungen berechnen bzw. aus der Geschwindigkeit Ortsveränderungen, ermitteln; Rückkopplungen im System berücksichtigen, etwa Geschwindigkeit auf Reibungskraft).

Im folgenden Beispiel verfolgen zwei Studierende bei der Konstruktion eines Modells zur vertikalen Federschwingung unterschiedliche Ansätze. Die grafische Repräsentation im Simulationsdiagramm zwingt die Studierenden dazu über die Größen nachzudenken, die im Modell berücksichtigt werden müssen. Ein Student tendiert zu der Annahme, dass die Zugkraft die Auslenkung der Feder eindeutig bestimmt. René: „Je mehr wir ziehen, desto mehr Auslenkung“.

Entsprechend führt er die Auslenkung als Zustandsgröße ein und die Zugkraft als Änderungsrate (s. Abb. 6). Der andere Student erkennt, dass die Feder im Modell

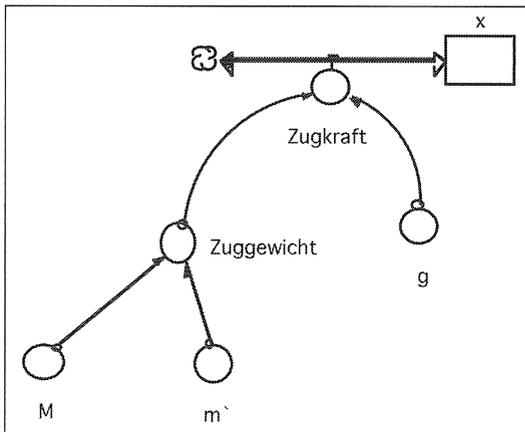


Abb. 6: Zwischenzustand des Modells der Studierenden.

berücksichtigt werden muss, um die Dynamik des Vorgangs zu erfassen. Er kann die Ansätze seines Partners zum Widerspruch führen. Dirk: „So wie du das momentan stehen hast, ändert sich die Kraft kein Stück, die ist die ganze Zeit konstant (...) entsprechend kommt [für x] was lineares [eine Gerade] raus.“

Damit kann er begründen, dass die Federkraft im Modell in Form einer Rückkopplung berücksichtigt werden muss. Daraus entwickelt sich ein Gespräch über die Dynamik des Vorgangs, das zu einer im Wesentlichen korrekten Beschreibung führt: Dirk: „Nein, pass auf, das Ding fällt ja. [Es] hat 'ne Geschwindigkeit, die Geschwindigkeit nimmt immer zu, irgendwann wird sie weniger. Warum wird die Geschwindigkeit weniger? (...) [Weil] die Kraft, die nach oben wirkt, ist in dem Falle größer und zwar sobald die Geschwindigkeit weniger wird, ist die Kraft größer. (...) D.h. also wenn die Geschwindigkeit Null ist, ist die Kraft schon wesentlich größer, die nach oben wirkt, als nach unten.“ Nach der korrekten verbalen Beschreibung gelingt die Konstruktion eines sinnvollen Modells.

9.4 Bezug der Modellkonstruktion zum modellierten Vorgang

Im Folgenden wird die Frage diskutiert, ob die Studierenden während der Modellkonstruktion Bezüge zum tatsächlichen Vorgang im Experiment herstellen (bzw. zu einer schriftlichen oder zeichnerischen Darstellung des Vorgangs/Experiments), oder überwiegend inhärent modellbezogen vorgehen. Die Analyse der Modelle aus den Versuchsprotokollen ergibt diesbezüglich ein uneinheitliches Bild. Einerseits ist der jeweilige Vorgang zumeist in seinen wesentlichen Bestimmungsstücken bei der Modellierung abgebildet, andererseits beschränken sich Erweiterungen am Modell auf wenige Variationen. Kategoriengeleitete Analysen und Detailanalysen von Videos zeigen, dass einerseits in jeder Modellbildungsphase Bezüge zum Vorgang hergestellt werden aber andererseits zeitlich die computergemäße Umsetzung des Modells im Vordergrund steht. Die Modellbildung bewirkt

relativ selten, dass sich die Studierenden dafür an der Tafel, anhand ihrer Aufzeichnungen oder am Versuchsaufbau noch einmal den Vorgang vor Augen führen. Nur selten gehen die Studierenden während Modellbildungsphasen zum Versuchsaufbau, um ergänzende Messungen durchzuführen. In entscheidenden Phasen der Modellkonstruktion, etwa bei der Festlegung der wirkenden Kräfte, werden jedoch oft Beziehungen zum Vorgang hergestellt. Wenn solche Bezüge ausbleiben, werden Chancen verpasst, die zu einer deutlichen Verbesserung der Modelle hätten führen können.

In etwa 20% der Protokolle finden sich Modelle, die um zusätzliche Einflussfaktoren erweitert (s. Tab. 6) sind. Dabei gibt es inhaltlich nur zwei Varianten: Berücksichtigung unterschiedlicher Reibungseinflüsse und Berücksichtigung der Tatsache, dass bei Schwingungen die maximal erreichbare Amplitude durch den Versuchsaufbau begrenzt ist. Ferner wird die Berücksichtigung von Reibungseinflüssen nur selten physikalisch begründet (s. Abschnitt 11). Die kategoriengeleitete Analyse zeigt, dass während der Arbeit mit dem Modellbildungsprogramm (Kategorie S) die Nutzung anderer Handlungskontexte eher gering ist. Die Praktikumsanleitung, schriftliche Aufzeichnungen oder der Einsatz des Taschenrechners spielen zeitlich praktisch keine Rolle. In Modellbildungsphasen, in denen parallele Messungen oder Überlegungen am experimentellen Aufbau weiterhelfen könnten, werden diese Möglichkeiten nur in 1% bzw. 3% der Fälle tatsächlich genutzt. Wenn die Modellbildungsphasen danach untersucht werden, wo entscheidende Schritte zur Konstruktion eines Modells entwickelt werden oder wo wichtige Chancen verpasst werden, dann zeigt sich, dass diese genutzten oder verpassten Chancen mit hergestellten oder mangelnden Bezügen zum Vorgang einhergehen. Als beispielsweise im Modell zur Federschwingung Reibungseinflüsse im Modell eingeführt werden sollen, wird der entscheidende Lösungszugang, nach dem die Geschwindigkeit Einfluss auf die wirkenden Kräfte hat, mit direktem Bezug auf den Vorgang entwickelt:

René: „Weißt du, was unser Fehler ist? Wir setzen immer an der falschen Stelle an. Guck

mal, die Kraft, die das Ding herunterzieht ist immer die gleiche: $m \cdot a$. Da haben wir ja keine Änderung durch die Luftreibung, richtig? (René deutet auf den Aufbau). (...) Der einzige Parameter, der von der Luftreibung abhängig ist, ist die Geschwindigkeit; d.h. wir müssen irgendwo die Geschwindigkeit herein bringen.“

Hingegen fehlen in vorhergehenden Lösungsansätzen die Bezüge zum Vorgang. Hier fügen die Studierenden lediglich willkürliche Parameter in die Berechnung der Geschwindigkeit ein, um den gewünschten Kurvenverlauf zu erreichen:

René: „Diese Beschleunigung [bezieht sich auf die Änderungsrate a] ist ja im Prinzip maßgeblich dafür [für die Bewegung], und die Luftreibung bedeutet ja eine negative Beschleunigung, richtig? Also, setzen wir einfach irgendeinen Faktor ein. Diese Beschleunigung geht einfach in die Geschwindigkeit mit rein, ähm, mit einem Faktor, ähm, was weiß ich, mal minus ein achtel, oder so.“

Dirk: „Ja, gut, dann probieren wir das mal aus.“ (...Kürzung...) (Dirk gibt ein $\text{Beschl} = F_{\text{ges}}/m \cdot 1/8$)

10. Wechselwirkungen zwischen Modellbildung und Experiment

Über einen verstärkten Theoriebezug hinaus sollte durch die Konzeption des Praktikums eine intensive Wechselwirkung zwischen Modellbildung und Experiment angeregt werden. In Abschnitt 9.4 haben wir gezeigt, dass die kategoriengeleitete Analyse dies jedoch nicht im erhofften Maße belegt. Im vorliegenden Abschnitt wird zunächst inhaltlich nach den beobachteten Typen von Wechselwirkungen zwischen Modellbildung und Experiment gefragt (10.1). Anhand der Analyse von Versuchsprotokollen wird untersucht, in welchem Umfang die Gruppen Messung und Simulation miteinander im Sinne des Unterrichtskonzepts verbinden (10.2). Ferner stellt sich die Frage nach den Bedingungen für das Auftreten von Wechselwirkungen zwischen experimentellem und modellbezogenem Bereich.

10.1 Typen von Wechselwirkungen

Entsprechend der Konzeption sollen möglichst viele Wechselwirkungen zwischen Experiment und Modellbildung angeregt werden. Folgende Typen von Wechselwirkungen ergeben sich aus einer Analyse der Videodaten und Protokolle:

1) Messgrößen identifizieren

Während der Modellkonstruktion vor oder während des Praktikums machen sich die Studierenden Gedanken über experimentelle Größen, die nach ihrer Auffassung zur Beschreibung des Vorgangs im Modell notwendig sind und gemessen werden müssen.

2) Korrektur von Modellparametern

Parameter werden im Modell korrigiert und dazu eventuell erneut gemessen.

3) Exploration des Systemverhaltens

In Simulationsläufen oder in den experimentellen Messungen wird das Verhalten des Modells bzw. Experiments unter verschiedenen Randbedingungen beobachtet. Dies wird im jeweils anderen Bereich (Experiment oder Modell) nachvollzogen.

4) Bewertung der Modellstruktur

Aus einem Vergleich des Modells mit dem Experiment werden Schlussfolgerungen gezogen, welche physikalischen Faktoren zusätzlich im Modell berücksichtigt werden müssten.

5) Überarbeitung der Modellstruktur

Die Modellstruktur (Gleichungsebene und Simulationsdiagramm) wird aufgrund experimenteller Befunde überarbeitet, z.B. um neue Einflüsse zu berücksichtigen.

6) Entwicklung neuer Messideen

Um Experiment und Modell aneinander anzupassen, werden experimentelle Variationen oder Messungen durchgeführt, die nicht in der Praktikumsanleitung beschrieben sind oder gefordert werden. Dies schließt die Überarbeitung der Modellstruktur mit ein.

Die Häufigkeit, mit der diese Wechselwirkungen beobachtet wurden, ist unbefriedigend. Beispielsweise konnten lediglich in Einzelfällen in den Protokollen Beispiele zur Exploration des Systemverhaltens gefunden

werden - in den Videodaten finden sich hierfür gar keine Beispiele.

10.2 Zur Qualität der Vergleiche

Die kategoriengeleitete Analyse ergibt nur geringe Wechselwirkungen zwischen dem experimentellen und dem modellbezogenen Bereich während der Versuchsdurchführung. Es stellt sich die Frage, welche Qualität die Wechselwirkungen haben. Zur Analyse dieser Frage werden die Protokolle analysiert (N=30). In 77% der Fälle werden in den Protokollen überhaupt Bezüge zwischen dem Experiment und der Modellbildung hergestellt (Kategorien B und C). In 36% der Protokolle beschränken sich diese darauf, dass Mess- und Simulationsgraphen nebeneinander gestellt und anhand von mindestens einem Vergleichsparameter aufeinander bezogen werden (Kategorie B). In 41% der Protokolle werden Mess- und Simulationsgraphen dergestalt aufeinander bezogen, dass von Bezügen im Sinne der oben genannten Punkte 1 bis 6 gesprochen werden kann (Kategorie C). Hier kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund von Bezügen zwischen Modell und Experiment eine verbesserte theoretische Durchdringung des Vorgangs stattgefunden hat.

Bedingungen für Wechselwirkungen

Es gibt zwei mögliche Gründe dafür, dass Wechselwirkungen zwischen Modellieren und Experimentieren nicht in dem erwarteten Umfang beobachtet werden konnten:

1) Die Studierenden verfügen nicht über Strategien zum Testen der Modelle (wie z.B. Anwendung des Modells in Simulationsläufen mit variierenden Randbedingungen).

2) Dadurch, dass Messwerte und Simulationsergebnisse nicht unmittelbar in einer gemeinsamen Programmumgebung aufeinander bezogen werden konnten (d.h. nicht „übereinander gelegt“ werden konnten), wurden oberflächliche Bezüge zwischen Experiment und Modell begünstigt.

Zu Punkt 1: In den Videodaten finden sich Beispiele dafür, dass die Studierenden keine

systematische Überprüfung der Modelle durchführen. So schreibt einer der Studierenden zu Beginn der Versuchsdurchführung von Praktikum 5 „Erzwungene Federschwingungen“ korrekt, dass bei der erzwungenen Schwingung maximale Amplituden beim Erregen mit der Eigenfrequenz auftreten und bei sehr hohen Erregerfrequenzen die Amplitude der erregten Schwingung klein wird. Nach Fertigstellung des Modells werden jedoch statt dieser besonderen Werte lediglich beliebige Werte für die Erregerfrequenz eingegeben.

Zu Punkt 2: Aufgrund softwaretechnischer Beschränkungen war es in dieser Studie nicht möglich, Mess- und Simulationsgraph in einer gemeinsamen Programmebene, beispielsweise einem Tabellenkalkulationswerkzeug, aufeinander zu beziehen. Vergleiche wurden am Bildschirm und/oder anhand von Ausdrucken durchgeführt. Dies begünstigte oberflächliche Vergleiche zwischen Modellbildung und Experiment. Beispielsweise erklärt ein Student ein physikalisch völlig unzureichendes Modell zu erzwungenen Federschwingungen (in dem Modell findet sich keine Reibungskraft) mit der Begründung für beendet, dass die gemessenen Werte „etwa“ so aussehen würden. Die Modellparameter wurden so lange angepasst, bis eine ungefähre Ähnlichkeit in der Kurvenform erreicht wurde. Im Unterschied hierzu zeigt sich in anderen Beispielen, dass wenn Studierende Abweichungen von Modell und Experiment deutlich wahrnehmen, diese Ausgangspunkt für fruchtbare physikalische Überlegungen bilden können.

11. Experimentieren mit Ideen

In den aus der Gesamtgruppe der Studierenden vorliegenden Protokollen sind individuel-

Praktikum		Kategorie				
Nr.	Thema	X	A	B	C	Σ
2&3	Newton 2	0	1	3	2	6
4	Federschwingung	0	1	2	3	6
5	Erzwungene Federschwingung - Resonanz -	1	1	2	2	6
6	Bewegung in der Ebene		4	1		5
8&9	Pohlsches Rad -Resonanz-	1	0	1	2	4
	Anteil	9%	14%	36%	41%	100%

Tab. 7: Qualität der Vergleiche von Modell und Experiment (N=30 Protokolle, zu den Kategorien siehe Tab. 3).

le physikalische und modelltechnische Wege bei der Erstellung von Modellen zum gleichen Thema erkennbar. Die Offenheit der Lernumgebung wird durchaus genutzt. Nur in Einzelfällen jedoch finden sich in den Protokollen Hinweise darauf, dass eine einzelne Praktikumsgruppe unterschiedliche theoretische Beschreibungen ausprobiert und kritisch bewertet hat. Solche Hinweise wären etwa Vergleiche unterschiedlicher Modellansätze mit Schlussfolgerungen für Verbesserungen. Beispielsweise könnte physikalisch begründet werden, warum eine bestimmte Reibungsform in das Modell aufgenommen wird. Dies wird nur in drei Fällen gemacht. Im Prozess der Modellierung waren jedoch in den Videomitschnitten durchaus unterschiedliche Ansätze beobachtbar. Diese sind in den schriftlichen Protokollen nicht mehr nachvollziehbar. Hier konzentrieren sich die Studierenden auf das „richtige“ Ergebnis und dokumentieren nicht die Ansätze, die sie auf dem Weg zum Ziel verfolgt haben.

12. Zusammenfassung und Diskussion

Der Einsatz computergestützter Modellbildung im Praktikum hat das Ziel, die Verbindung zwischen Theorie und Experiment zu stärken. Die Studierenden sollen angeregt werden, sich mit den begrifflichen Grundla-

gen der Phänomene im Praktikum auseinanderzusetzen, intensiv Bezüge zwischen Messung und Modellbildung herzustellen und theoretische Beschreibungsansätze und experimentelle Ideen zu entwickeln. Dass dieses Ziel im traditionellen Praktikum nur ungenügend erreicht wird, ist inzwischen vielfach belegt (Lunetta, 1999; Kyle et al., 1979).

In der vorliegenden Studie wurde der Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Rahmen des Praktikums eines Experimentalphysik-Grundkurses für Lehramtsstudenten im ersten Semester evaluiert (Themenbereich Mechanik). An dem Kurs nahmen zehn Studenten und drei Studentinnen teil, die acht Praktikumstermine mit integrierter Modellbildung absolvierten (Modellbildungssystem STELLA). Zur Datenerhebung wurde eine Gruppe von zwei Studenten bei der Durchführung von sechs Praktikumsversuchen mit Video aufgezeichnet. Die Protokolle aller Kursteilnehmer (sechs Gruppen) von fünf Versuchen wurden dokumentiert. Die Videoaufzeichnungen wurden sowohl qualitativ-interpretativ als auch mit einem kategoriengeleiteten Verfahren ausgewertet. Die Praktikumsprotokolle wurden nach der Güte der Modelle und der Qualität der Bezüge zwischen Modell und Experiment eingeordnet.

Ihrem Charakter nach handelt es sich um eine explorative Studie mit einem Querschnittsanteil (Protokoll-Analysen) und einer längsschnittlichen Fallstudie an einem Studentenpaar über ein Semester Laborpraktikum. In der Fallstudie kommen qualitative Methoden (Interpretation von Handlungs-Protokollen und Transkripten) und quantitative Methoden (kategoriengeleitete Analyse der Handlungen) zum Einsatz. Die quantitativen Indizes (z.B. Verbalisierungsdichten von Indizes) beziehen sich auf ein bestimmtes Paar von Studierenden. Sie sind nicht repräsentativ. Ebenso ist die Probandengruppe der querschnittlichen Anteile zu klein, um aus den Ergebnissen weitgehende Folgerungen zu ziehen. Dies war auch nicht Ziel der Untersuchung. Es ging uns vielmehr darum, das Potenzial des Einsatzes von Modellbildungssystemen im Labor-

praktikum empirisch zu erkunden und Hinweise für die Weiterentwicklung des didaktischen Ansatzes zu gewinnen.

Grundvoraussetzung für das Erreichen der didaktischen Ziele ist ein schneller und problemloser Zugang zur Handhabung der Software und der Grundidee grafikorientierter Modellbildung. In der vorliegenden Studie war diese Voraussetzung erfüllt. Die Studierenden fanden einen „abstrakten“ Zugang zur grafischen Repräsentation von Zustandsgrößen und Änderungsraten, d.h. sie verstrickten sich nicht in anschaulichen Interpretationen der Symbolik (etwa als Behälter und Ventil) sondern interpretierten diese mathematisch als Differenzgleichungen. Gleichfalls zeigte sich jedoch, dass den Studierenden bestimmte sinnvolle Strategien bei der Modellerstellung und Überprüfung fehlten. Beispielsweise stellten die Studierenden keine physikalischen Überlegungen zur Ermittlung angepasster Zeitschrittweiten an, sondern fanden diese durch Ausprobieren. Bei anspruchsvollen Problemen griffen sie auf Modellierungsansätze zurück, die der Grundidee der Modellbildung widersprachen, z.B. indem Kurvenverläufe durch willkürliche funktionale Beziehungen zwischen Modellgrößen ohne physikalischen Gehalt erzwungen wurden. Wir schließen daraus dass im Unterricht, bzw. in der Vorlesung die Grundgedanken der systemdynamischen Modellierung stärker thematisiert werden sollten. Bei der Einarbeitung in das Modellbildungsprogramm durch „learning by doing“ kam das in dieser Studie zu kurz.

Hinsichtlich stärkerer Bezüge zu den begrifflichen Grundlagen des Versuches zeigten sich positive Effekte - insbesondere wenn Sprechhandlungen während der Modellbildung mit solchen während experimenteller Handlungen im Praktikum verglichen werden. Die Modellbildung regte - abgesehen vom Betreuer, der direkte Fragen stellen konnte - am stärksten zum Sprechen über die Theorie des Versuches an. Diese Ergebnisse bestätigen ähnliche Befunde von Hucke (2000, S. 149). Die Modellbildung förderte dabei eine begrifflich-qualitative Auseinandersetzung mit der

Physik des Phänomens, bei der Elemente newtonscher Überlegungsketten gefestigt wurden. Es ist jedoch sinnvoll, Modelle nachträglich noch zur Diskussion zu stellen, denn obwohl es der Mehrzahl der Studierenden gelang, adäquate Modelle zu konstruieren, kann im Einzelfall nachgewiesen werden, dass deren theoretische Durchdringung noch lückenhaft war. Computergestützte Modellbildung eignet sich in der eingesetzten Weise überwiegend für die Festigung und Ausdifferenzierung von Wissen (intelligentes Üben) und weniger zur Generierung vollständig neuen Wissens.

Die Modellbildung sollte die Studierenden zu Wechseln zwischen der experimentellen und der theoretischen (Modell-bezogenen) Perspektive anstoßen. Hier sind die Befunde eher unbefriedigend. Zwar zeigt sich, dass die Studierenden während der Modellbildung den Vorgang im Bewusstsein behielten. Andererseits arbeiteten die Studierenden während der Modellbildung überwiegend an der Software-gemäßen Umsetzung und bezogen selten den experimentellen Kontext des Praktikums mit ein. Quantitativ wurden in etwa der Hälfte der Protokolle Bezüge zwischen Messgraphen und Simulationsgraphen hergestellt, die deutlich auf eine theoretische Reflexion hinweisen. Mangelnde Bezüge dieser Art hingen vermutlich damit zusammen, dass die Studierenden nicht über angepasste Strategien zur Überprüfung ihrer Modelle verfügten und in dieser Studie das Konzept nur mit Einschränkungen umgesetzt wurde: Es fehlte eine Softwareebene zum direkten Vergleich von Mess- und Simulationsgraphen.

Insbesondere sollten die Studierenden dazu angeregt werden, mit Ideen zu experimentieren, d.h. Hypothesen zu formulieren, alternative Modellansätze zu testen und am Experiment zu überprüfen. Dieses Ziel wurde nur eingeschränkt erreicht. Während im Vergleich der Protokolle unterschiedlicher Gruppen recht individuelle Bearbeitungswege eingeschlagen wurden, fanden sich in den Protokollen einzelner Gruppen nur in drei Fällen deutliche Hinweise auf das Austesten unterschiedlicher Ideen. Hier wären anschließende

Diskussionen über die verschiedenen Bearbeitungswege sowohl einzelner Gruppen als auch verschiedener Arbeitsgruppen sinnvoll gewesen.

Insgesamt belegen die Ergebnisse das Potenzial des Einsatzes computergestützter Modellbildung zur Förderung einer Verbindung von Theorie und Experiment im Praktikum. Sie zeigen auch, wo Schwächen bei der Umsetzung des Konzepts zur Modellbildung lagen und dass die Erwartungen an die Modellbildung nicht zu hoch sein dürfen. Die für die Verbalisierung physikalischen Wissens intensivsten Impulse ergaben sich aus Interaktionen mit dem Tutor. Bei Vorliegen einer hohen Betreuungsdichte und einer didaktisch-methodischen Schulung der Tutoren - beides ist in dieser Studie gegeben; aber durchaus nicht selbstverständlich - kann man aus ihrer Verbindung mit grafikorientierter Modellbildung im Laborpraktikum Synergieeffekte erwarten.

Literatur

- Baszucki, D. (1992). *Interactive Physics II* (Software). San Francisco: Knowledge Revolution.
- CASSY, Version 2.13, Universelle Messwerterfassung (1994). Hürth: Leybold Didactic GmbH.
- Clough, M. P. & Clark, R. (1994). Cookbooks and constructivism - A better approach to laboratory activities. *The Science Teacher* 61 (2), 34-37.
- Cox, M. & Webb, M. (1994). *Developing Software and Curriculum Materials: The Modus Project*. In: H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn & C. Tompsett (Eds.). *Learning with Artificial Worlds: Computer-based Modelling in the Curriculum*. London: The Falmer Press, 188-198.
- Forrester, J.W. (1968). *Principles of Systems*. Cambridge, MA: MIT, System Dynamics Group.
- Gerdes, J. & Schecker, H. (1998). Physiklernen mit Modellbildungssystemen - Erste Ergebnisse. In Brechel, R. (Hrsg.). *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach: Leuchtturm, 227-229.
- Hassel, D.J. (1987). *The Role of Modelling Activities in the Humanities Curriculum, with Special Reference to Geography*. Dissertation for Associateship for Education. London: King's College.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. In: *The Physics Teacher* 30, 141ff.
- Hucke, L. & Fischer, H. E. (1998). Lernen im Praktikum traditionell und computergestützt. In: Brechel, R. (Hrsg.). *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach: Leuchtturm, 250-252.
- Hucke, L. & Fischer, H. E. (1999). Die Verbindung von Theorie und Praxis in traditionellen und in computergestützten Praktikumsexperimenten. Fallstudien zur Effektivität des physikalischen Anfängerpraktikums. In: Brechel, R. (Hrsg.). *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach: Leuchtturm, 250-252.
- Hucke, L. (1999). Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums. Berlin: Logos.
- Kyle, W.C., Penick, J. E. & Shymansky, J. A. (1979). Assessing and Analyzing the Performance of Students in College Science Laboratories. *Journal of Research in Science Teaching* 16(6), 545-551.
- Lunetta, V. N. (1998). *The School Science Laboratory. Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching*. In: Tobin, K. & Fraser, B. (Eds.). *International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer, 249-262.
- MacDonald, W.M., Redish, E.F. & Wilson J.M. (1988). *The M.U.P.P.E.T. Manifesto. Computers in Physics Education*, 23-30.
- Niedderer, H. (1989). *Qualitative und Quantitative Methoden of Investigating Alternative Frameworks of Students - With Results from Atomic Physics and Other Subject Areas*. Papier zur jährlichen Tagung von AAPT und AAAS in San Francisco, Januar 1989.
- Niedderer, H., Buty, C., Haller, K., Hucke, L. & Sander, F. (1999). Eine Methode zur Analyse von Videobändern - Der Zusammenhang von Handeln und Wissen im physikalischen Praktikum. In: Brechel, R. (Hrsg.). *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach: Leuchtturm, 271-273.
- Petri, J. (1996). *Der Lernpfad eines Schülers in der Atomphysik*. Aachen: Mainz.
- Richmond, B. (1985). *STELLA* (Software). Lyme, NH: High Performance Systems; verwendete Version: *STELLA 4* (1996).
- Sander, F. (2000). *Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum*. Berlin: Logos.
- Schecker, H., Bethge, Th. & Niedderer, H. (1992). Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs „Computereinsatz im Physikunterricht“. Abschlussbericht Band IV. Universität Bremen, Institut für Didaktik der Physik.
- Schecker, H. (1996). *Bremer Interface-System. Didactic guidelines for a universal, open, and user-friendly MBL-system*. In: Tinker, R. (Hrsg.). *Microcomputer Based Labs. Educational Research and Standards*. Berlin: Springer, 351-367.
- Schecker, H. & Gerdes, J. (1998). Interviews über Experimente zu Bewegungsvorgängen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 4 (3), 61-74
- Schecker, H. (1998a). *Physik-Modellieren, Grafikorientierte Modellbildungssysteme im Physikunterricht*. Stuttgart: Klett.

- Schecker, H. (1998b). Integration of Experimenting and Modelling by Educational Technology. Examples from Nuclear Physics. In: Tobin, K. & Fraser, B.J. (Eds.). The International Handbook of Science Education. Dordrecht: Kluwer, Part I, 383-398.
- Schecker, H., Klieme, E., Niedderer, H., Ebach, J. & Gerdes, J. (1999). Physiklernen mit Modellbildungssystemen. Abschlussbericht zum DFG-Projekt. Universität Bremen; Institut für Didaktik der Physik; Berlin, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Séré, M.G., Tiberghien, A., Paulsen, A. C., Leach, J., Niedderer, H., Psillos, D. & Vicentini, M. (1998). Labwork in Science Education - Executive Summary. Working paper from the European project Labwork in Science Education (Targeted Socio-Economic Research Programme, Project PL 95-2005). <http://edu.leeds.ac.uk/projects/lis/wp14.pdf>.
- Steed, M. (1992). STELLA, A Simulation Construction Kit. Cognitive Process and Educational Implications. Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching, 11, 39-52.
- Thornton, R. K. & Sokoloff, D. R. (1990). Learning Motion Concepts Using Real-time Microcomputer-Based Laboratory Tools. American Journal of Physics, 58(9).
- Tinker, R. F. (1986). Modeling and MBL: Software Tools for Science. Paper presented at the National Educational Computer Conference 1986, San Diego, CA.

Dr. Florian Sander ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWF Wissen und Medien GmbH (ehem. Institut für den Wissenschaftlichen Film) in Göttingen

Dr. Horst Schecker ist Privatdozent im Institut für Didaktik der Physik der Universität Bremen.

Dr. Hans Niedderer ist Professor für Didaktik der Physik im Institut für Didaktik der Physik der Universität Bremen.

Dr. Horst Schecker
Universität Bremen
Institut für Didaktik der Physik
Postfach 330440
28334 Bremen
E-Mail: schecker@physik.uni-bremen.de