
Didaktische und methodische Aspekte beim Einsatz von Modellbildungssystemen

J. Leisen

1 Einleitung

Bei Modellbildungswerkzeugen wie STELLA handelt es sich um Software-Werkzeuge, die als Denkwerkzeuge und als Ausdrucksmittel fungieren, um komplexe Zusammenhänge zwischen abstrakten Objekten und Begriffen handhabbar zu gestalten. Konkret handelt es sich um Modellbildungsprogramme, mit denen man auf dem Computer Modelle (z.B. physikalische, biologische, chemische, systemdynamische, ...) entwerfen, numerisch durchrechnen und die Ergebnisse darstellen kann (z.B. als Tabelle, Graf, Flussanimation). Grundsätzliches und Profundes zur Modellbildung kann man in der sehr empfehlenswerten Literatur [1] finden. Viele konkrete Unterrichtsbeispiele findet man in [2], [3] [4]. In [5] wird an einem Modellierungspraktikum die unterrichtliche Einführung und Verzahnung mit einem herkömmlichen Mechanikkurs gezeigt.

2 Die lerntheoretische Bedeutung von Modellbildungssystemen

Im Gegensatz zu Simulationssystemen verlangen Modellbildungswerkzeuge vom Benutzer, dass er sich erst im Kopf ein Modell eines Wirklichkeitsausschnittes schafft, formalisiert, symbolisch mit der Software beschreibt und anschließend testet. Das Modell wird anhand von Symbolen grafisch auf dem Bildschirm direkt handhabbar und automatisch in Programmgleichungen übersetzt. Der Schüler verbleibt somit auf der anschaulichen Symbolebene, die eine mentale Repräsentation des Sachverhaltes im Kopf des Lerners erleichtert und fördert. Die repräsentierte Welt im Kopf kann zu einer repräsentierten Welt auf dem Bildschirm werden, die aber vom Schüler selbst gestaltet und verändert werden kann. Geistige Handlungen entstehen durch äußere Handlungen (hier Modellierung am Rechner) und führen wieder zu ihnen zurück. In Anlehnung an BRUNER kann unter lernpsychologischen Gesichtspunkten mit den Objekten einer Mikrowelt auf ikonischer und symbolischer Ebene ein handelnder Umgang erfolgen. Diese konstruktive Tätigkeit ermöglicht dem Schüler durch eigene Aktivität Strukturen, Relationen und Wirkungen selbständig zu entdecken und zu erfassen. Der interaktive Charakter fördert das Lernen und kommt in folgenden Punkten zum Ausdruck:

- Grafische Repräsentation: symbolisch-bildhafte Darstellung des Sachverhaltes.
- Direkte Manipulation: Objekte und Zusammenhänge auf dem Bildschirm können direkt verändert und umgestaltet

werden.

- Quasi-analoge Dateneingabe: Rollbalken und Schieber ermöglichen den direkten anschaulichen Eingriff.
- Animation: Füllstände und Zeiger animieren anschaulich das Zusammenspiel der Größen.
- Intervention: Die direkte Intervention in den simulierten Prozeß erlaubt die Beobachtung der Auswirkung auf das System.
- Wählbare Darstellungsformen: Für die Ein- und Ausgabeformen stehen Tabellen, Grafen, Flüsse zur Verfügung.

Interaktive Simulationssysteme haben häufig auch diese Vorteile, sind aber in der Regel nicht von den Lernenden selbst erstellt, sondern als Fertigprodukt vorgegeben.

3 Das didaktische Potential von Modellbildungssystemen im Unterricht

Mit einem Modellbildungssystem als Denkwerkzeug, als Ausdrucksmittel und als professionelles Werkzeug in der wissenschaftlichen Arbeit können im Unterricht mehrere Ziele verfolgt werden. Der Einsatz von Modellbildungssystemen

- fördert die fachliche Kompetenz,
- fördert das systemdynamische Denken,
- fördert die Möglichkeiten der Schüler, eigene theoretische Ideen zu formulieren und zu erproben,
- verstärkt die qualitativen Unterrichtsanteile und stellt begriffliche Grundstrukturen in den Vordergrund,
- unterstützt die Behandlung lebensweltlicher Phänomene im Unterricht,
- fördert die Verzahnung von Theorie und Empirie,
- unterstützt das Experimentieren mit Ideen,
- ermöglicht und begünstigt fächerübergreifendes Lernen,
- bietet sich als Rechenknecht und Differentialgleichungslöser an.

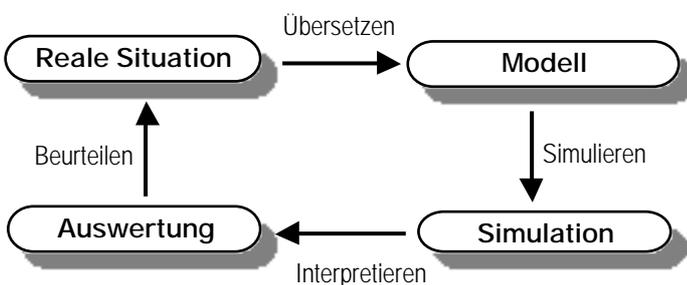
Die lange Liste des didaktischen Potentials mag euphorisch klingen und Zweifel nähren. Mit ein paar Schülerexperimenten wird man auch nicht alle Zielsetzungen, die mit dem selbstständigen Experimentieren angestrebt werden erreichen. Genausowenig kann der gelegentliche Einsatz eines Modellbildungssystems die ganze Breite des didaktischen Potentials voll ausschöpfen. Es ist demnach weniger das Instrument an sich, das die Ziele zur Entfaltung bringt, als vielmehr die passende Einbindung in den sonstigen Unterricht:

- Ein Physikunterricht, in dem die qualitativen Unterrichtsanteile gegenüber den mathematisch-formalen Anteilen im ausgewogenen Verhältnis stehen, wird durch den Einsatz eines Modellbildungssystems komplettiert.
- Ein Physikunterricht, in dem mit Ideen gleichermaßen wie mit Geräten experimentiert wird und in dem das Experimentieren Ideen fördert und Theorien vorantreibt, wird durch ein Modellbildungssystem ergänzt und bereichert.
- Ein Physikunterricht, der für systemdynamisches Denken sensibel ist, wartet geradezu auf Modellbildungssysteme. Das systemische Denken betont das vernetzte Denken in Rückkopplungsschleifen gegenüber dem linearen Ursache-Wirkungs-Denken. Modellbildungssysteme bieten sich als ideales Instrument an, um systemisches Denken in Modelle zu gießen. Die in der Schulphysik betrachteten Systeme sind traditionell solche, die sich fast ausschließlich mit Hilfe einer einzigen Differentialgleichung fassen lassen. Die Beispiele wirklich vernetzter dynamischer Systeme liegen in den Anwendungsgebieten der Physik, beispielsweise in den Modellen zur Strömungs- oder Atmosphärenphysik.

Ein Modellbildungssystem ist konzeptionell mehr als ein Differentialgleichungslöser und ein Rechenknecht. Es ist in erster Linie ein Denkwerkzeug und Ausdrucksmittel, dass seine Mächtigkeit entfaltet, wenn es unterrichtlich passt. (Zur Zielsetzung und zum didaktischen Potential: [2], S. 48 ff.)

4 Fachdidaktische Bezüge der Modellbildung im Fachunterricht

Der fachdidaktische Reiz von Modellbildungssystemen liegt in der Möglichkeit, auf Schulniveau originäre Physik so zu betreiben, wie sie in weiten Teilen der wissenschaftlichen Forschung betrieben wird. Eine reale Situation oder ein realer Vorgang (z.B. ein Fallschirmsprung) wird modelliert (z.B. in ein Wortmodell, ein Wirkungsdiagramm, ein Flussdiagramm, ein mathematisches Modell in Form einer Differentialgleichung). Durch Simulation wird das Modell auf den realen Vorgang angewandt. Die Ergebnisse werden interpretiert, ausgewertet und durch Vergleich mit der Realität beurteilt. In einem weiteren Schritt werden Parameter angepasst, gefittet oder das Modell wird verändert und angepasst.



Der Einbettung von Prozessen der Modellbildung hat in mehrfacher Hinsicht gravierende Auswirkungen auf das Erscheinungsbild von Physik und auf den Umgang mit Physik im Physikunterricht:

- Der Computer ist nicht nur Lernmedium, sondern unverzichtbares Arbeitsmedium im Unterricht. Modellbildung ohne Rechner ist nicht möglich.
- Es können neue Themen und Inhalte behandelt werden, die sich bislang gegenüber einer Behandlung im Unterricht verschlossen haben, etwa chaotische Bewegungen oder rei-

bungsbehaftete Bewegungen von Körpern in der Strömungsphysik.

- Die originäre Methode der Wissenschaften drängt sich von selbst auf, indem Parameter bis zur zufriedenstellenden Übereinstimmung von Modell und Realität gefittet werden. Die naturwissenschaftliche Arbeitsweise kann hier zum Ziel und zum Organisationsprinzip des Unterrichts werden.
- Es werden ohne Zwang vielfältigste Methoden angewendet, sodass die Methodenkompetenz der Lernenden auf breiter Basis entwickelt werden kann. Es handelt sich hierbei um physikspezifische Methoden, wie Mathematisierung physikalischer Vorgänge, Methode der Näherungsberechnungen, Parameterfitting, Dateninterpretation, aber auch um allgemeine Methoden wie Umgang mit dem Rechner, Dateneingabe, Datendarstellung und -interpretation, Dokumentation und Präsentation von Ergebnissen.

Durch die Produktorientierung, durch den Praktikumscharakter und durch die Projektorientierung bieten sich im Sinne des Methodenlernens viele Möglichkeiten und nicht zuletzt ist die Kooperation mit anderen ein unverzichtbares Element bei der Arbeit mit Modellbildungssystemen.

5 Arbeitsvarianten beim Einsatz von Modellbildungssystemen im Unterricht

Beim Einsatz von Modellbildungssystemen im Unterricht gibt es die folgende abgestuften Arbeitsvarianten:

- Arbeit mit fertigen Modellen,
- Übernahme und Anpassung eines Modellbeispiels,
- Eingabe einer vorhandenen Modellstruktur und Arbeit mit dem Modell,
- Erarbeitung des Modells, Erstellung und Simulation im Unterricht,
- Ausbau und Weiterentwicklung vorhandener Modelle,
- Übertragung vorhandener Modelle auf andere Systeme gleicher Struktur,
- Erstellung von Modellen, Simulation und Arbeit mit Modellen in Schülergruppen.

Aufwand, Anspruch und Zeitanfang nehmen in der Reihenfolge der aufgezählten Arbeitsvarianten zu. Der Werkzeugcharakter der Programmumgebung lässt problemlos einen thematisch abgestimmten und der Lerngruppe angepassten Einsatz zu.

6 Anforderungen und Entscheidungen beim Einsatz von Modellbildungssystemen

Der Einsatz von Modellbildungssystemen im Unterricht erfordert von der Lehrkraft eine systematische Auseinandersetzung mit dem didaktischen Potential von Rechnern und von Modellbildungsumgebungen. Der Lehrkraft eröffnen sich neue Gestaltungsmöglichkeiten für den Unterricht. Der Rechner ist in fachlicher und didaktischer Hinsicht ein gestalterisches Werkzeug, das den Lehrer aber vor eine Reihe von Fragen stellt:

- Bei welchen Themen ist die Nutzung eines Modellbildungssystems sinnvoll?
- Gibt es ein besonders geeignetes Einstiegsthema für die

Arbeit mit einem Modellbildungssystem ?

- Wie oft soll ein Modellbildungssystem eingesetzt werden ?
- Wie ist methodisch beim Einsatz eines Modellbildungssystems im Unterricht zu beachten ?
- Wie soll der Einsatz eines Modellbildungssystems organisatorisch ablaufen?
- Schafft der Einsatz eines Modellbildungssystems nicht mehr Probleme als er löst ?
- Was kosten Modellbildungssysteme und wo kann man sie beziehen ?
- Gibt es Alternativen zu einem Modellbildungssystem im allgemeinen und zu STELLA im speziellen ?

Auf einige der Fragen wird ausführlich in [2] eingegangen. Viele konkrete Unterrichtsbeispiele findet man in [3] und [4]. In [5] wird an einem Modellierungspraktikum ausführlich die unterrichtliche Einführung in die Modellbildung und die Verzahnung mit einem herkömmlichen Mechanikkurs gezeigt. In [6] werden synoptisch Alternativen verglichen.

Beim Einsatz werden an den Lehrer in mehrfacher Hinsicht neue Anforderungen gestellt:

- Der Lehrer muß sich in die Sprache der Modellbildungsprogramme einarbeiten. Das fällt erfahrungsgemäß den Lernenden oft leichter als den Physiklehren, denn die Sprache der Systemdynamik wurde nicht speziell für die Physik entwickelt. Die zentralen Begriffe Zustandsgröße, Änderungsrate und Einflußgröße sind lediglich in der Sprache der Physik als veränderliche Größe, als erste Ableitung und als Parameter (bzw. Konstante) zu lesen. Der Zusammenhang wird mathematisch in einer Differentialgleichung ausgedrückt, die mit einer wählbaren Numerik gelöst wird.
- Der Lehrer muss sich in die Denkweise der Systemdynamik einarbeiten. Traditionelle Ausbildungsgänge betonen "den Weg der geschlossenen Lösungen". Demgegenüber fordert der Einsatz von Modellbildungssystemen ein flexibles Denken in mehreren Lösungen.
- Der Lehrer muss sich mit den Schülervorschlägen intensiver auseinandersetzen als im traditionellen Unterricht. Während der Lehrer im herkömmlichen Unterricht rasch erkennt, ob eine eingeschlagene Schülerlösung richtig ist, so ist dies bei Modellierungen und bei den Programmwürfen nicht so schnell möglich. Die Lauffähigkeit und der Erfolg der Modellierung entscheiden oftmals. Häufig ist ein intensives Eindenken in die Schülermodellierung notwendig, um Fehler und Lücken zu finden. Diese Erfahrung ist jedoch allen Informatiklehrer hinreichend bekannt.
- Der Lehrer muss sich mit vielen organisatorischen Problemen im Umfeld des Computereinsatzes herumschlagen: Hardwareausrüstung, Raumfrage, Zeitfrage, Softwarebeschaffung, extreme Divergenz in Computererfahrungen,... Er muss für Modellierungsprojekte zusammenhängende Zeiträume freischaufeln und den Einsatz frühzeitig planen und vorbereiten.

7 Auswahl von Modellbildungssystemen

In allen Modellbildungsprogrammen können Modelle entworfen und durchgerechnet werden und die Ergebnisse

können ausgegeben werden. Alle Modellbildungsprogramme bedienen sich der Sprache der Systemdynamik. Sie unterscheiden sich in der Symbolik und in der Darstellung. Grafikorientierte Modellbildungsprogramme nutzen Symbole, um das Begriffs- und Wirkungsnetz auf dem Bildschirm darzustellen und zu manipulieren. Automatisch wird auf einer darunterliegenden Ebene programmiersprachenähnliche Textzeilen generiert. Gleichungsorientierte Modellbildungsprogramme verzichten auf die grafische Darstellung und arbeiten ausschließlich im Gleichungseditor. Grafikorientierung ist für die Systemdynamik zwar nicht notwendig, aber didaktisch und lernpsychologisch vorteilhaft.

STELLA II: High Performance Systems Inc. Hanover NH USA,

<http://www.hps-inc.com>

(grafische Modellieroberfläche für Macintosh und Windows)

DYNASYS: W. Hupfeld, Bankerheide 2, 59065 Hamm

<http://kunden.sw Hamm.de/whupfeld/>

(grafische Modellieroberfläche nur für Windows)

VENSIM: Simcon, Schwetzingen (Freeware)

<http://www.std.com/vensim/schmailing.html>

(grafische Modellieroberfläche für Macintosh und Windows)

MODUS: Cornelsen Software Berlin oder CoMet Duisburg

<http://www.cornelsen.de>

(grafische Modellieroberfläche DOS 3.2)

MOEBIUS: Ernst Klett Verlag Stuttgart

<http://www.klett.de>

(gleichungsorientiert mit grafischer und sprachlicher Ebene)

POWERSIM: Powersim AS, Nygaten 3, P.O. Box 642, N-

5001 Bergen, Norwegen, <http://www.powersim.no>

(grafische Modellieroberfläche)

DYNAMOS II D: DIFF, Postfach 1569, 72005 Tübingen,

<http://www.diff.de>

(gleichungsorientiert)

VUDYNAMO: VU-Soft Amsterdam, (gleichungsorientiert)

Literatur:

[1] BOSSEL, H.: Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Braunschweig: Vieweg 1994.

[2] SCHECKER, H.: Physik - Modellieren. Grafikorientierte Modellbildungssysteme im Physikunterricht. Stuttgart: Ernst Klett 1998.

[3] KOLLER, Dieter (Hrsg.): Simulation dynamischer Vorgänge. Ein Arbeitsbuch. Stuttgart: Ernst Klett 1995.

[4] GOLDKUHLE, P.: Modellbildung und Simulation mit dem Computer im Physikunterricht. Köln: Aulis 1997.

[5] LEISEN, J. und M. NEFFGEN: Modellierungspraktikum: Fall von Körpern in Luft. Praxis der Naturwissenschaften-Physik 3(1999),

[6] LORENZ, G.: Der Fallschirmsprung. Ein Unterrichtsansatz im Fächerdreieck Mathematik-Physik-Informatik. Praxis der Naturwissenschaften-Physik 3(1999),

Anschrift des Verfassers:

StD Josef Leisen

Staatliches Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien

Zwickauer Str. 22

56075 Koblenz