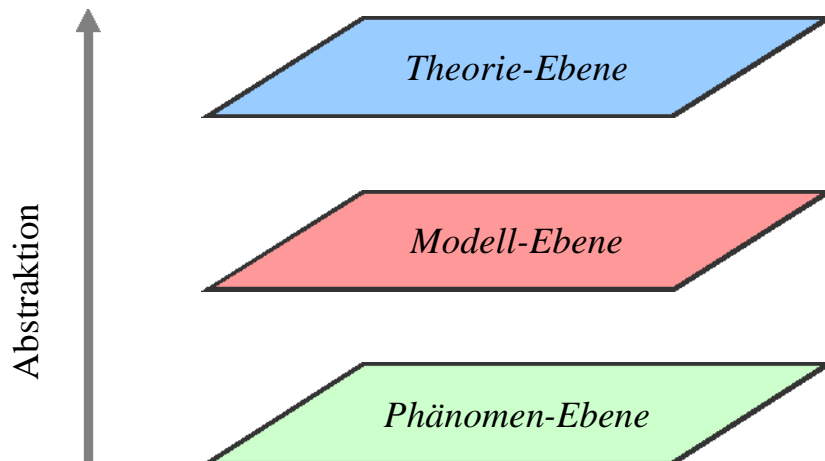


# Modellbildungssysteme zur Simulation dynamischer Vorgänge

## 1. Modellbildung und Modellbildungssysteme

Modellbildung ist eine originäre Tätigkeit des naturwissenschaftlichen Arbeitens. Phänomene auf der gegenständlich-phänomenologischen Ebene sind oft Ausgangs- und Endpunkt beim Prozess wissenschaftlicher Theorienbildung. Phänomene werden in einem ersten Abstraktionsschritt in ein Modell gebunden. Ein solches Modell beschreibt und erklärt das Phänomen auf der bildhaften, symbolischen oder mathematischen Ebene. Das Modell ist oft Bestandteil einer übergeordneten und umfassenderen Theorie. Eine Theorie ist die systematische Fassung des Wissensbestandes eines umfangreicheren Gebietes. Der Prozess der Theorienbildung ist in der Regel ein weiterer Abstraktionsschritt.



### Was ist eine Theorie?

Eine Theorie ist kein ikonisches Abbild der Wirklichkeit, sondern gibt dem Fach eine logische Struktur und ist Ausdruck ihres Systemcharakters.

- Grundüberzeugungen (Einfachheit der Natur, Symmetrie, Beschreibbarkeit, Erklärbarkeit, Existenz von Prinzipien, ...) sind Motiv und Voraussetzung der Theorienbildung.
- Das Streben nach systematischer Vereinfachung und nach erklärender Kohärenz sind der Motor der Theoriendynamik.
- Die Bildung einer Theorie gilt als vorläufig abgeschlossen, wenn alles stimmig passt.
- Die Leistungsfähigkeit einer Theorie erweist sich in ihrer Vorhersagekraft und geht oft über den ursprünglichen Bereich hinaus.
- Es gibt keinen direkten induktiven Weg von den Sinneswahrnehmungen zur Theorie; vielmehr ist die Theorienbildung ein kreativer Prozess, der sowohl der Intuition als auch des soliden Methodenhandwerks bedarf.

### Was ist ein Modell?

Ein Modell ist eine objekthafte, bildhafte, symbolische oder begriffliche Darstellung eines realen Objektes oder Vorgangs. Wegen seines Abbildcharakters ist es weder wahr noch falsch, sondern zweckmäßig oder unzweckmäßig. Modelle sind Hilfsmittel bei der Aufstellung, Anwendung und Weiterentwicklung von Theorien.

- Modelle dienen der Veranschaulichung und Beschreibung. Sie fördern das Verständnis, indem sie einerseits die Wirklichkeit reduzieren und andererseits bestimmte Aspekte hervorheben.

- Das Spektrum der Modelle, mit denen in den Naturwissenschaften gearbeitet wird, reicht vom gegenständlichen bis zum mathematischen Modell.

### Was ist ein Modellbildungssystem?

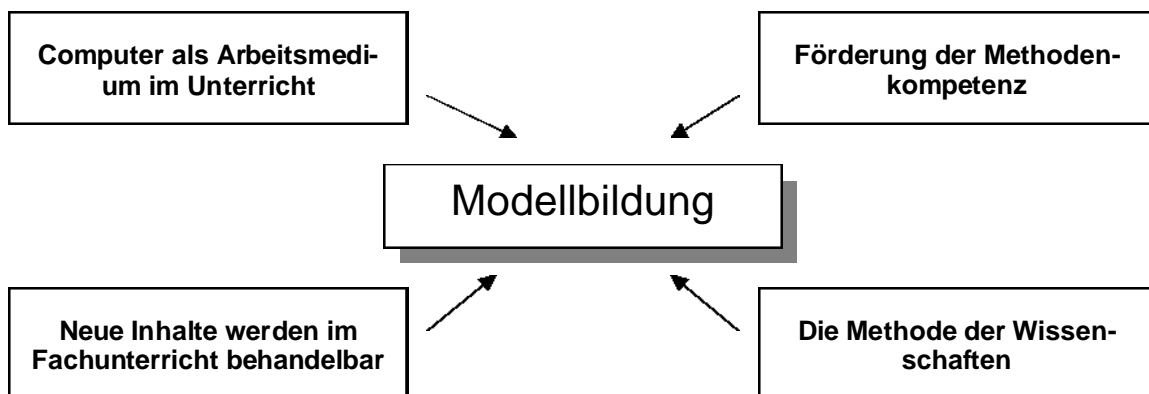
Bei Modellbildungswerkzeugen wie DYNASYS handelt es sich um Software-Werkzeuge, die als Denkwerkzeuge fungieren, als Ausdrucksmittel, um komplexe Zusammenhänge zwischen abstrakten Objekten und Begriffen handhabbar zu gestalten. Es handelt sich also um ein Hilfsmittel zur Modellierung von Phänomenen und darüber hinaus ermöglicht es die Simulation dynamischer Vorgänge. Die zeitliche Dynamik ist die besondere Zugabe dieser elektronischen Werkzeuge und macht es zu einem Werkzeug der Systemdynamik.

### Der Zweck von Modellen in der Systemdynamik

Die Systemdynamik unterscheidet zweckgerichtet zwischen verschiedenen Modellarten:

- *Beschreibungs- und Erklärungsmodelle* dienen dem besseren Verständnis der Verhaltensweise eines Systems. (Das Räuber-Beute-Modell erklärt das systemische Verhalten der Populationen, weil man daran durch Parametervariation verschiedenste Verhaltensweisen des Systems studieren und verstehen kann.)
- *Prognosemodelle* dienen der Abschätzung von Entwicklungen eines realen Systems. (Das Modell der CO<sub>2</sub>-Dynamik der Erdatmosphäre kann eine Klimakatastrophe prognostizieren.)
- *Entscheidungsmodelle* dienen dem Auffinden optimaler Verhaltensweisen und der Feststellung von Parametergrößen. (Mit dem Modell des Falls von Kugeln mit Luftreibung kann der  $c_w$ -Wert bestimmt werden.)

### Fachdidaktische Bezüge der Modellbildung im Fachunterricht



### 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.

### **Zielsetzungen beim Einsatz von Modellbildungssystemen im Unterricht**

Der Einsatz von Modellbildungssystemen im Unterricht hat folgende Ziele im Blick. 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, Empirie und dem Experimentieren mit Ideen.,
- ermöglicht und begünstigt fächerübergreifendes Lernen,
- bietet sich als Rechenknecht und Differenzialgleichungslöser an.

### **Arbeitsvarianten beim Einsatz von Modellbildungssystemen im Unterricht**

- 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.

### **Anforderungen und Entscheidungen beim Einsatz von Modellbildungssystemen**

Der Einsatz von Modellbildungssystemen im Unterricht erfordert vom Lehrer eine systematische Auseinandersetzung mit dem didaktischen Potential von Rechnern, Modellbildungsumgebungen und eröffnen neue Gestaltungsmöglichkeiten für den Unterricht. Der Rechner ist in mehrfacher Hinsicht ein gestaltendes fachliches und didaktisches Werkzeug, was den Lehrer vor eine Reihe von Fragen stellt:

- Bei welchen Themen ist eine Nutzung von DYNASYS sinnvoll?
- Gibt es ein besonders geeignetes Einstiegsthema für DYNASYS?
- Wie oft soll DYNASYS eingesetzt werden?
- Wie soll DYNASYS methodisch im Unterricht eingesetzt werden?
- Wie soll der Einsatz von DYNASYS organisatorisch ablaufen?
- Schafft DYNASYS nicht mehr Probleme als es löst?
- Gibt es Alternativen zu DYNASYS?
- Was kosten Modellbildungssysteme und wo sind sie zu beziehen?

### **Beim Einsatz werden vom Lehrer in mehrfacher Hinsicht neue Anforderungen gestellt:**

- 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 traditionellen Unterricht rasch erkennt, ob eine eingeschlagene Schülerlösung richtig ist, so ist dies bei Modellierungen und bei den Programmen nicht so schnell möglich. Die Lauffähigkeit und der Erfolg der Modellierung entscheiden oftmals über Richtigkeit. Häufig ist ein intensives Eindringen in die Schülermodellierung notwendig, um Fehler und Lücken zu finden. Diese Erfahrung machen jedoch auch alle Informatiklehrer.

- Der Lehrer muss sich mit allen organisatorischen Problemen (Hardware-Ausrüstung, Raumfrage, Zeitfrage, Software-Beschaffung, extreme Divergenz in Computereffahrungen, ...) im Umfeld des Computereinsatzes herumschlagen. Er muss für Modellierungsprojekte zusammenhängende Zeiträume freischaufeln und den Einsatz frühzeitig planen und vorbereiten.

## 2. Systemisches Denken als Leitlinie des naturwissenschaftlichen Unterrichts

Dass die Welt als Ganzes, die Natur, jedes Lebewesen und jedes Teilsystem der Umwelt vernetzte dynamische Systeme darstellen ist zwar heute allseits bekannt, aber diese Erkenntnis hat bislang kaum Auswirkungen auf Bildung und Ausbildung genommen.

*"Unser Denkapparat ist prinzipiell der Verarbeitung dieses (linearen) Wissens angepasst, dadurch haben wir Menschen kaum die Fähigkeit entwickelt, auf rasche dynamische Veränderungen vernünftig zu reagieren, obwohl wir doch in einer Welt von dynamischen Systemen (Sozialsysteme, Ökosysteme, technische Systeme) leben." [BOSSSEL]*

- Wenn wir uns von Natur aus mit dem systemdynamischen Denken und dem Denken in komplexen Situationen so schwer tun, diese aber zukunftsorientiert und überlebensnotwendig sind, dann wird dies zu einer Bildungs- und Ausbildungsaufgabe allererster Güte.

Es stellt sich die Frage: Frage "Was ist systemisches Denken?" OSSIMITZ nennt in [3] vier Dimensionen, die für "systemisches Denken" von wesentlicher Bedeutung sind.

„Systemisches Denken umfasst

- ein Denken in vernetzten Strukturen (*vernetztes Denken*)
- ein Denken in systemischen Zeitgestalten (*dynamisches Denken*)
- ein Denken in bewusst wahrgenommenen Modellen (*modellorientiertes Denken*)
- die Fähigkeit zur praktischen Steuerung von Systemen (*systemorientiertes Handeln*)
- Vernetztes Denken

Damit meine ich in erster Linie die Fähigkeit, weiter als nur in einfachen Ursache-Wirkungsbeziehungen zu denken und auch indirekte Wirkungen und insbesondere Rückwirkungen von den Wirkungen auf die "Ursachen" (d.h. Rückkoppelungskreise) zu erkennen. ...

- **Dynamisches Denken**

Der Zeitablauf spielt in Systemen eine entscheidende Rolle. Rückkoppelungen können eskalierend oder stabilisierend wirken, sie können (insbesondere in Zusammenhang mit Zeitverzögerungen) zu Schwingungsprozessen führen uvm. ... Eine dynamische, den Zeitablauf berücksichtigende Sichtweise ist i.a. auch notwendig, um Rückkoppelungen überhaupt erkennen zu können. Bei einer statischen Momentaufnahme werden meist nur einfache Ursache-Wirkungsbeziehungen wahrgenommen.

- **Modellorientiertes Denken**

Man sollte sich dessen bewusst sein, dass auch und gerade systemische Ansätze stets nur Modelle, vereinfachte Abbilder einer viel komplexeren Realität sind. ... Modelle haben stets etwas Vorläufiges an sich und es ist ein guter Usus, Systemmodelle stets als etwas Vorläufiges zu sehen, das erweitert, verbessert, abgewandelt werden kann. ... Modelle brauchen auch stets entsprechende Darstellungsformen und so ist ein modellorientiertes Denken auch stets ein Denken, dass sich um adäquate Darstellungsformen (z.B. Wirkungsdiagramme) bemüht. Dahinter steht die These, dass unsere menschlichen Denk- und Handlungsmöglichkeiten entscheidend von den verfügbaren Darstellungsmöglichkeiten geprägt und beeinflusst sind.

- **Systemorientiertes Handeln**

"Systemisches Denken" ist stets in Gefahr, entweder zu einer philosophisch-esoterischen Kunst oder zu einer rein handwerklichen Modellier- und Simulationstechnik, abzugleiten. In beiden Fällen geht die pragmatische Handlungsfähigkeit verloren."

Für die Schule stellen sich nun zwei entscheidende Fragen:

- Wie lernt man systemisches Denken?
- Wie wird systemisches Denken und das Lernen von systemischem Denken an die Inhalte und an den Unterricht im weitesten Sinne „angekoppelt“?

Systemisches Denken umfasst vernetztes Denken, dynamisches Denken, modellorientiertes Denken und systemorientiertes Handeln. Die Schule kann dazu Beiträge liefern, sollte sich aber in der Zielformulierung nicht zuviel vornehmen. Dörner [4] mahnt zu Bescheidenheit: „Man kann strategisches Denken lernen. Aber: ganz einfach ist das nicht.“ Das liegt daran, dass dynamische Systeme in sehr unterschiedlichen Reaktionszeiten agieren und reagieren, die dem menschlichen Gehirn aus evolutionären Gründen ungewohnt sind. Wir Menschen haben aufgrund unserer eigenen Lebenszeit keinen Erfahrungshintergrund in den Zeitskalen mancher dynamischer Systeme.

Unsere Erwartungen an die Ausbildung in den Dimensionen „Vernetztes Denken“ und „Systemorientiertes Handeln“ sollten wir bescheiden halten und vorsichtig formulieren. In den Dimensionen „Dynamisches Denken“ und „Modellorientiertes Denken“ haben wir im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht gute Chancen, viele bildungswirksame Beiträge zu liefern. Modellbildungssysteme sind ein wichtiges Hilfsmittel dazu.

*"Systemisches Denken bedeutet auch, dass wir uns eher als Konstrukteure von Modellen der Welt verstehen und weniger als Beobachter einer objektiven Realität ... Es ist Ziel und Inhalt der Systemdynamik, solche Konstruktionen explizit und mit einfachen, wohldefinierten Bausteinen durchzuführen."* [OSSIMITZ, 1990]

Die Inhalte und Lehr- und Lernstrukturen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht bieten viele Anknüpfungspunkte zu diesem Denken. Hier gibt es viele Anschlussmöglichkeiten, da die Naturwissenschaften reichlich einfache und wohldefinierte Weltausschnitte modellieren.

Die Frage, wie man systemisches Denken lernt, kann lapidar einfach beantwortet werden: Indem man immer wieder an überzeugenden Beispielen systemisch denkt. Systemisches Denken lernt man beim systemischen Denken. Durch den Einsatz elektronischer Medien und von Computern gibt es inzwischen reichhaltige Möglichkeiten. Hier sind vor allem Modellbildungssysteme hervorzuheben. *"Das 'systemische Denken' wird im Umgang mit Modellbildungssystemen besonders ausgebildet. 'Systemisches Denken' bedeutet in seinem Kern, dass die klassische Trennung von Ursache und Wirkung als globales Ordnungsprinzip aufgegeben wird. An ihre Stelle tritt ein Denken in Rückkopplungsschleifen bzw. vernetzten Strukturen, bei denen sich der Gegensatz zwischen Ursache und Wirkung in einem dynamischen Prozeß auflöst."*

#### **Literatur:**

BOSSSEL, H.: Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Braunschweig: Vieweg 1994.

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

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

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

LEISEN, J. und M. NEFFGEN: Modellierungspraktikum: Fall von Körpern in Luft. Praxis der Naturwissenschaften-Physik 3(1999), 7-14.

LORENZ, G.: Der Fallschirmsprung. Ein Unterrichtsansatz im Fächerdreieck Mathematik-Physik-Informatik. Praxis der Naturwissenschaften-Physik 3(1999), 15-20.

LEISEN, J.: Didaktische und methodische Aspekte beim Einsatz von Modellbildungssystemen. Praxis der Naturwissenschaften-Physik 3(1999), 1-3