

Modellbildung und Modellbildungssysteme in den mathematisch- naturwissenschaftlichen Fächern

H.Groenert und J. Leisen

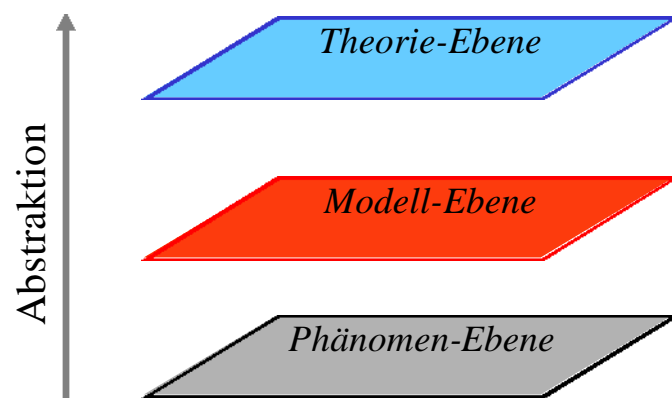
Gliederung

- Überall Modelle - Beispiele aus den Lehrproben (Leisen) (10 Min)
- Dynamische Modelle (Groenert) (20 Min)
- Konkrete Modellierung eines Beispiels mit dem Modellbildungssystem STELLA (Leisen) (15 Min)
- Konkrete Modellierung eines Beispiels mit dem Modellbildungssystem Dynasys (Groenert) (15 Min)
- Zur Didaktik von Modellbildungssystemen (Zielsetzung, lerntheoretische Bedeutung, Arbeitvarianten, ...) (Leisen, Groenert)
- Systemisches Denken und Systemdynamik (optional)

Überall Modelle - Beispiele aus den Lehrproben

- Kaum eine Lehrprobe ohne Modelle
- Beispiele: Frau Diehl, Frau Fallen, Frau Stoffel, Herr Kruck, Herr Rosenbaum,

Verschiedene Ebenen wissenschaftlichen Arbeitens



Was ist eine Theorie ?

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

Was charakterisiert eine Theorie ?

- 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.

Was charakterisiert ein Modell ?

- 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 der Physik gearbeitet wird, reicht vom gegenständlichen bis zum mathematischen Modell.

Dynamische Modelle

in der Biologie

Modelle:



bei denen die Zeit eine Rolle spielt

mit denen wir in die Zukunft
schauen wollen

Dynamische Modelle

werden in drei Phasen erstellt

Systemanalyse
Modellbildung
Simulation

Diese Phasen können sich häufiger zur Überprüfung und Erweiterung wiederholen!

Systemanalyse

- wissenschaftliche Methode zur Untersuchung der Zusammenhänge eines Systems, um ein Modell des Systems zu entwickeln.

Ein System muss bestimmte Merkmale erfüllen:

- 1. Es muss einen Systemzweck erfüllen.**
- 2. Es muss aus Systemelementen bestehen, die durch Wirkungsbeziehungen untereinander verknüpft sind.**
- 3. Das System ist nicht teilbar: bei Entfernung einzelner Elemente geht der Systemzweck verloren.**

Der Baum besitzt die Systemmerkmale:



Sein Systemzweck ist Arterhaltung, Bewirkung von Luftzirkulation, Bildung von Biomasse, Sauerstoffproduktion, etc.

Biologische Systeme

- Lebewesen, Populationen, Ökosysteme, Verhaltensabläufe etc. -

sind komplexe, vernetzte Systeme,
die sich in Abhängigkeit der Zeit verändern
und
deren Komponenten sich gegenseitig
beeinflussen.
also dynamische Systeme.



Der Baum ist ein dynamisches System:

Er wächst und verändert sich im Laufe eines Jahres:

Im **Frühling** treibt der Baum seine Knospen aus und entfaltet Blätter und Blüten.

Im **Sommer** bildet er Früchte.

Im **Herbst** verfärben sich die Blätter und werden schließlich abgeworfen.

Im **Winter** ruht er.

Der Baum ist ein offenes System, das zur Strukturhaltung Energie aufnimmt. (Lichtenergie zur Photosynthese)

Zwischen dem System und seiner Umgebung liegt die Systemgrenze, die für Ein- und Auswirkungen (z.B. Gasaustausch, Wasseraufgabe u. -abgabe, etc.) durchlässig ist.

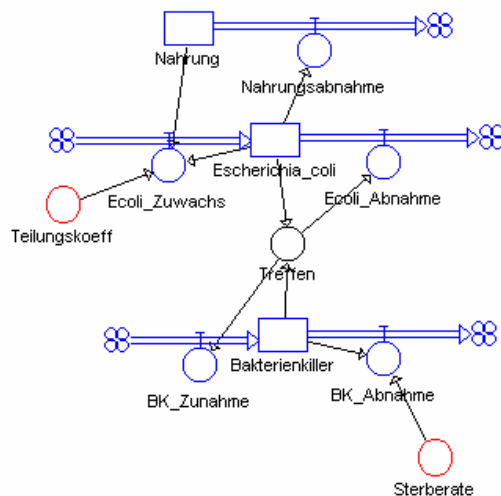
Lebensgemeinschaft (E.coli u. T-Phagen) in der Petrischale - ein System !



1. **Systemzweck:** E.coli-Killer (z.B. T-Phagen) und E. coli wollen ihre Art erhalten
2. **Systemelemente:** Nährboden, E.coli und Killer
3. **Wirkungsbeziehung:** Ernährung: sie fördert bei E.coli und Killern die Vermehrung. Killer müssen dazu auf E. coli treffen; E. coli lebt vom Nährboden in der Petrischale.
4. **Unteilbarkeit:** Diese Lebensgemeinschaft besteht nur, wenn Nährboden, E.coli und Killer vorhanden sind.

Modellbildung:

Populationen in der Petrischale



Vorgehensweise bei der Modellbildung:

1. Beschreibung des Modellzwecks (Problem)
2. Festlegung des Systems und der Systemgrenzen
3. Wortmodell (Beschreibung des Modells)
4. Festlegung der Systemelemente, Zustandsgrößen
5. Festlegung der Wirkungsstruktur
6. Quantifizierung der Wirkungsbeziehungen
7. Festlegung des Art des Ausgabediagramms
8. Darstellung des Simulationsdiagramms
9. Vergleich mit Vermutungen und Messergebnissen
10. Änderungen in der Quantifizierung und der Wirkungsstruktur
11. Neue Simulation
12.



Lebensgemeinschaft in der Petrischale

Systemanalyse



1. **Beschreibung des Modellzwecks (Problem):** Entwicklung der Populationen von E.coli und den Killern
2. **Festlegung des Systems und der Systemgrenzen:** Lebensgemeinschaft in der Petrischale besteht aus E. coli, die vom Nährboden leben und sich durch Teilung vermehren. Die Killer bewegen sich frei und vernichten Bakterien. Die Petrischale ist Systemgrenze – sie ist offen (Wärme, Licht etc) !
3. **Wortmodell (Beschreibung des Modells):** Ernährung fördert bei E.coli und Killern die Vermehrung. Killer müssen dazu auf E. coli treffen; E. coli lebt vom Nährboden in der Petrischale.

Lebensgemeinschaft in der Petrischale

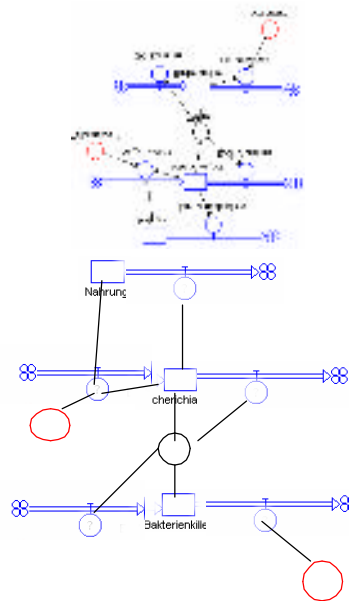
Systemanalyse

5. Festlegung der Wirkungsstruktur
6. Festlegung der Systemelemente:

Diese Schritte werden mit einem
Modellbildungssystem am Computer
durchgeführt: hier mit **DYNASYS**

Werkzeuge des Modellbildungssystems Dynasys

Der Zustand des Systems wird durch seine **Zustandsgrößen** beschrieben, die durch **Abfluss** und **Zufluss** verändert werden (**Änderungsrate**). Die Werte der Zustandsgrößen werden durch **äußere Einflüsse** (**Zwischengrößen, exogene Größen, Parameter**) und durch das **Wirkungsgefüge** (**Pfeile**) verändert.



Strukturen in kybernetischen Modellen

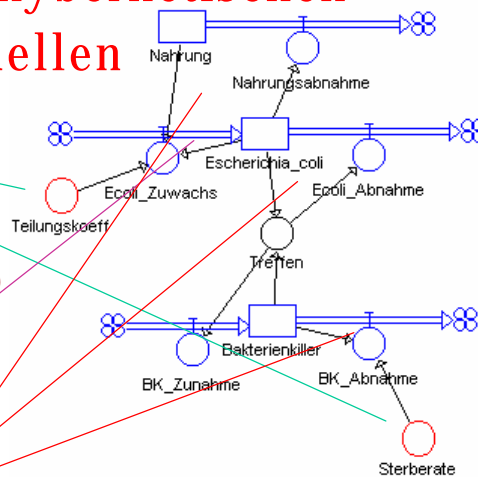
- Lineare Strukturen (Steuerungen)

- Kreisstrukturen (Rückkopplungen)

- positive Rückkopplungen:
 - Aufschaukelung

- negative Rückkopplungen

- bei ungerader Anzahl:
 - Regelkreis



Abflüsse sind negativ vorgegeben!

Rückkopplungen in Kreisstrukturen

- positive Rückkopplungen:

gleiche Beziehungen:

je mehr, desto mehr

je weniger, desto weniger

- nur positive Beziehungen: **Aufschaukelung**

- negative Rückkopplungen:

ungleiche Beziehungen:

je mehr, desto weniger

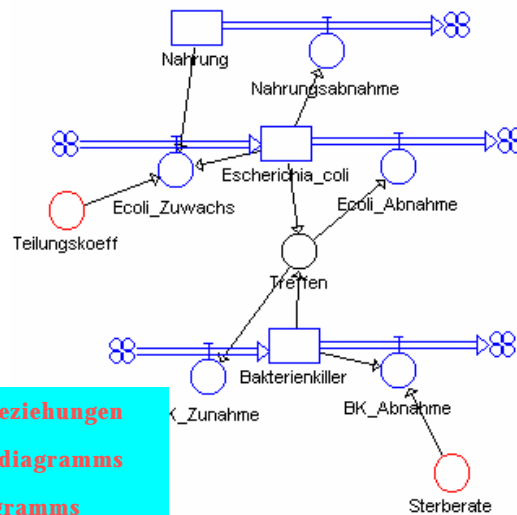
je weniger, desto mehr

- ungerade Zahl von negativen Rückkopplungen: **Regelkreis**

Populationen in der Petrischale



kybernetisches Modell mit Dynasyswerkzeugen

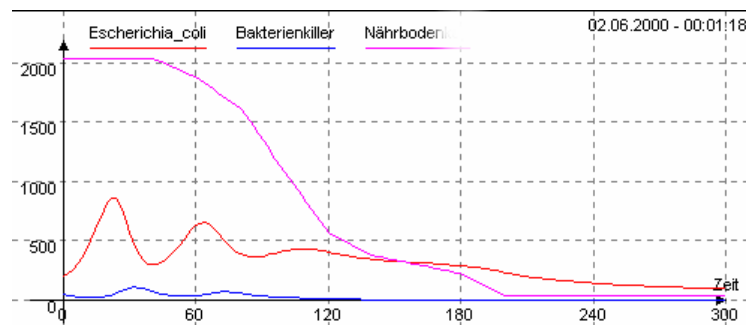


6. Quantifizierung der Wirkungsbeziehungen
7. Festlegung des Art des Ausgabediagramms
8. Darstellung des Simulationsdiagramms

Simulation

- Dynamische Vorgänge lassen sich mit Computern simulieren.
- Die Simulation übernimmt die Rolle des Zeitraffers.
- Durch die Simulation versuchen wir in die Zukunft zu blicken.

Zeitdiagramm:

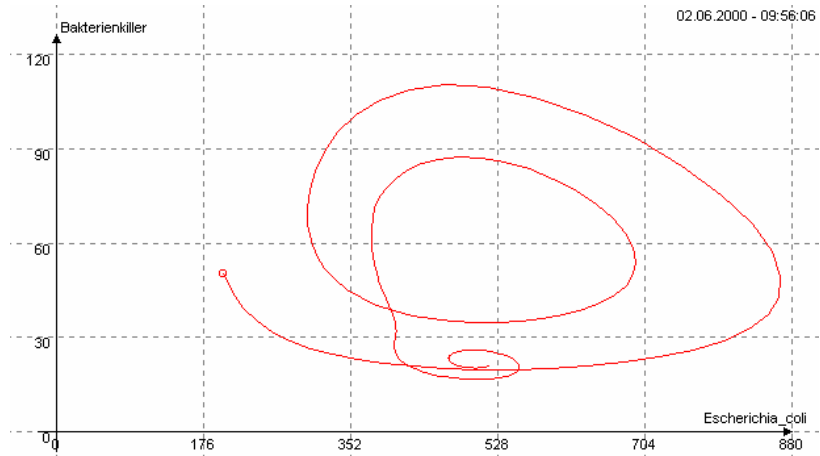


So können die Zustandsgrößen im Laufe der Zeit die Geschichte des Systems darstellen!

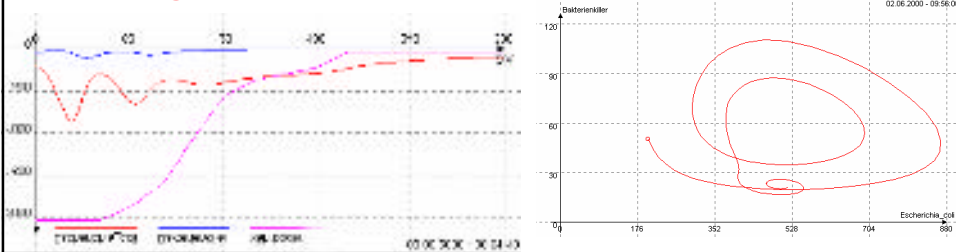
Simulation als Phasendiagramm:

Die sich schließenden Spiralen zeigen, dass es sich um ein geregeltes System handelt.

+



... wie geht es weiter ?



9. Vergleich mit Vermutungen und Messergebnissen

10. Änderungen in der Quantifizierung und der Wirkungsstruktur

11. Neue Simulation

12.

...oder sind wir zufrieden mit der Aussage unserer Simulation ?

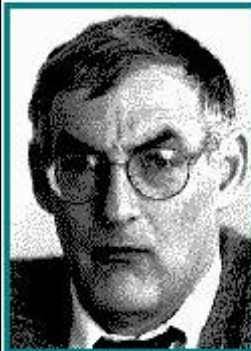
**1972: Ein Buch
veränderte die Welt**

30. Aufl. Auflage

Auslösefaktor für die
Erdölkrise 1972/73



Medows ein Schüler von Jay Forrester



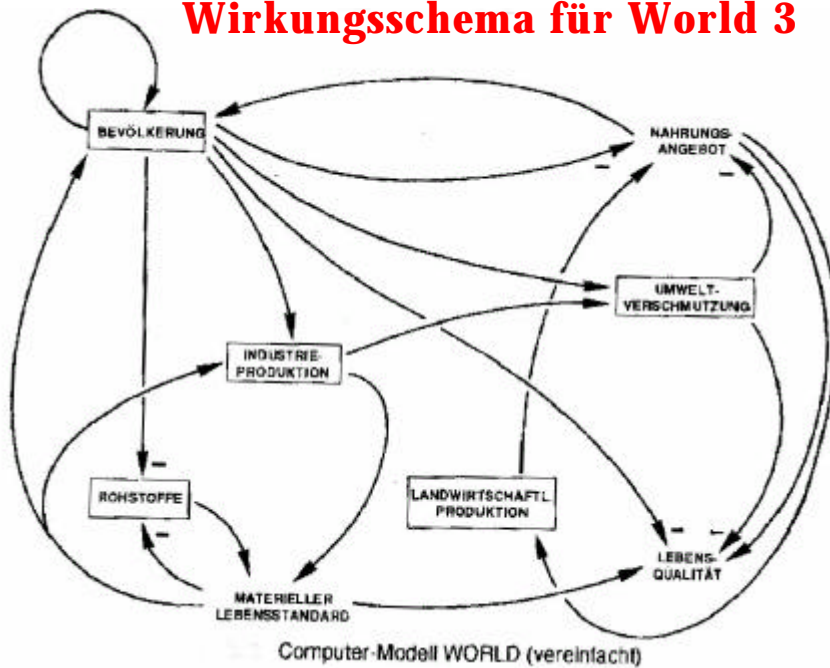
Dennis Meadows hat mit einer internationalen Gruppe von Wissenschaftern am MIT (Massachusetts Institute of Technology) die Grundlagen für den 'Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit' erarbeitet. Die Resultate dieser Arbeit waren alarmierend.

Das Buch "Limits to Growth" oder "Grenzen des Wachstums" war ab 1972 der Ausgangspunkt für die Entstehung eines weitverbreiteten Umweltbewußtseins. Die Tatsache, daß unsere Welt begrenzt ist und daß der Mensch an seine Grenzen stößt, war für viele eine neue Erkenntnis.

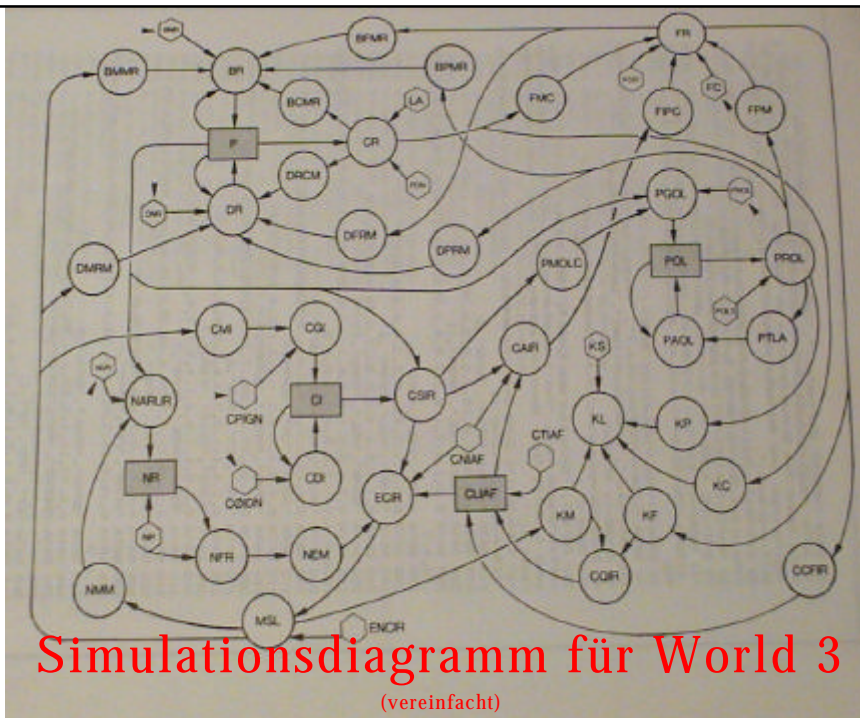
Forrester entwickelte die ersten kybernetischen Weltmodelle; World 2 (1970) mit der Computersprache DYNAMO und berechnete es auf Großrechnern.

Bossel schrieb mit DYSYS 1985 World2 in Basic (für C64, AppleII, PC). Meadows Weltmodell World 3 wurde 1991 auf die Modellbildungssysteme Stella II (MAC) und SimPas (PC) umgestellt.

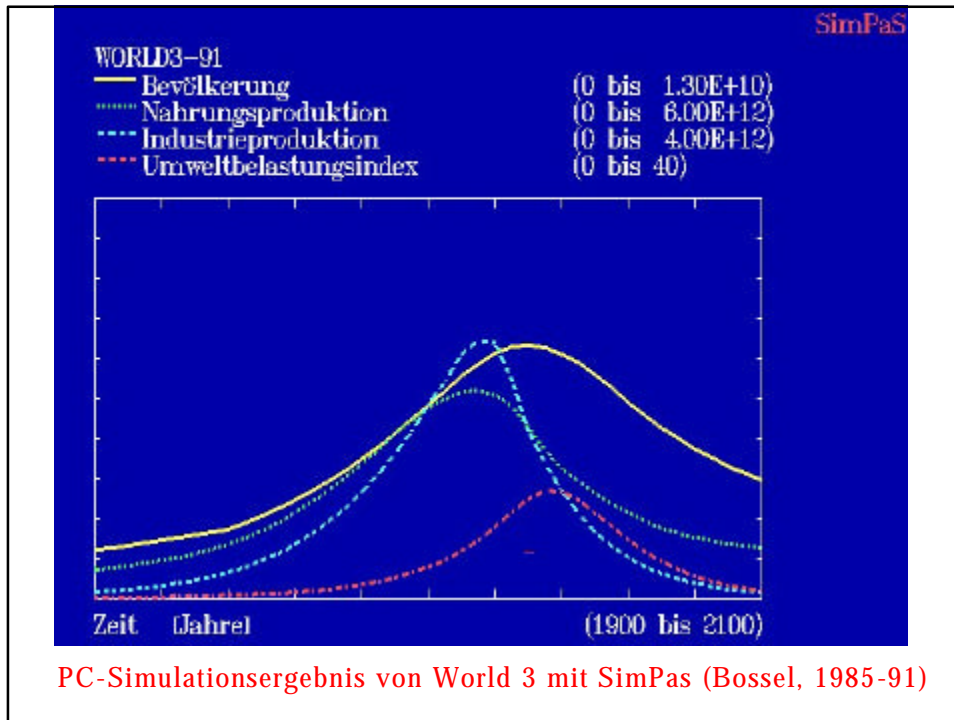
Wirkungsschema für World 3



Computer-Modell WORLD (vereinfacht)



Simulationsdiagramm für World 3
(vereinfacht)



Folgewerk 1992

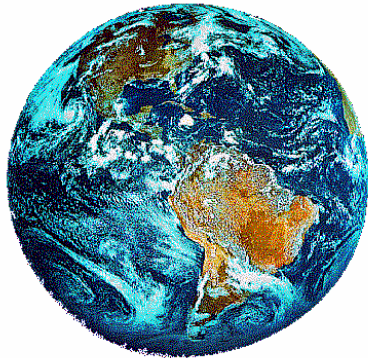
Das ursprüngliches Weltmodell World 3 wurde mit 7 kleinen Korrekturen und aktuellen Daten neu berechnet!

Die Menschheit ist fähig Weiterentwicklung nachhaltig zu gestalten!



Weltraumfahrt - ohne Simulation nicht denkbar

Am 12. April 1961 sah der erste Mensch unsere Erde von der Erdumlaufbahn seiner seiner Raumkapsel.

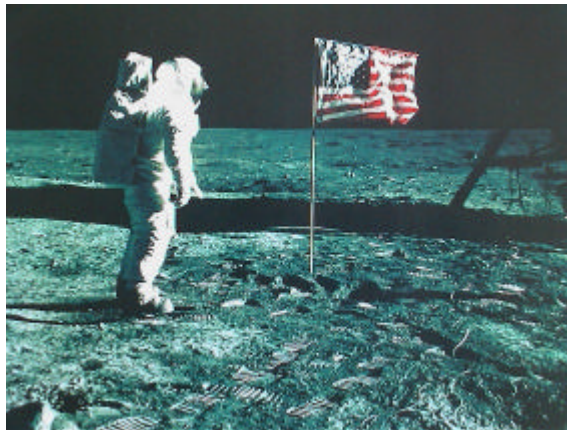


Seine Worte:
**Die Erde ist
so
himmelblau!**



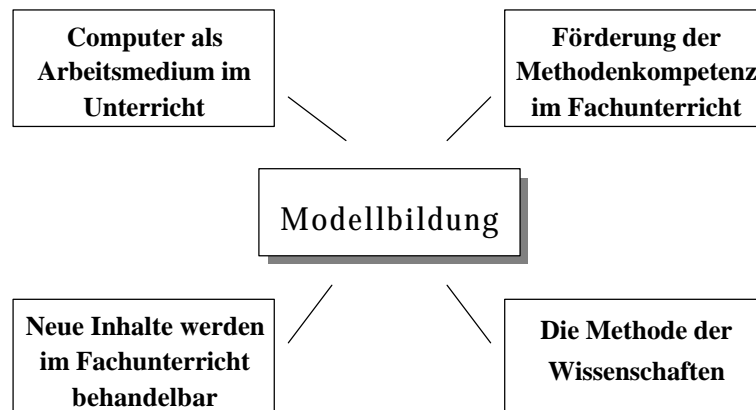
Juri
Alexejewitsch
Gagarin

... ein riesiger Sprung für die Menschheit



Am 20.7. 1969 Landung der Mondfähre „Eagle“ mit Armstrong: "That's one small step for a man, one giant leap for mankind." (Es ist ein kleiner Schritt für einen Menschen, aber ein Sprung für die Menschheit.) und Aldrin als ersten Menschen auf dem Mond; Collins blieb in der Kommandoeinheit „Columbia“ auf der Mondumlaufbahn; Aufstellung von Messgeräten, Einsammeln von Gesteinsproben; Start vom Mond am 21.)7., Landung am 24.7. im Pazifik.

Fachdidaktische Bezüge der Modellbildung im Fachunterricht



Das klassische Räuber-Beute-System

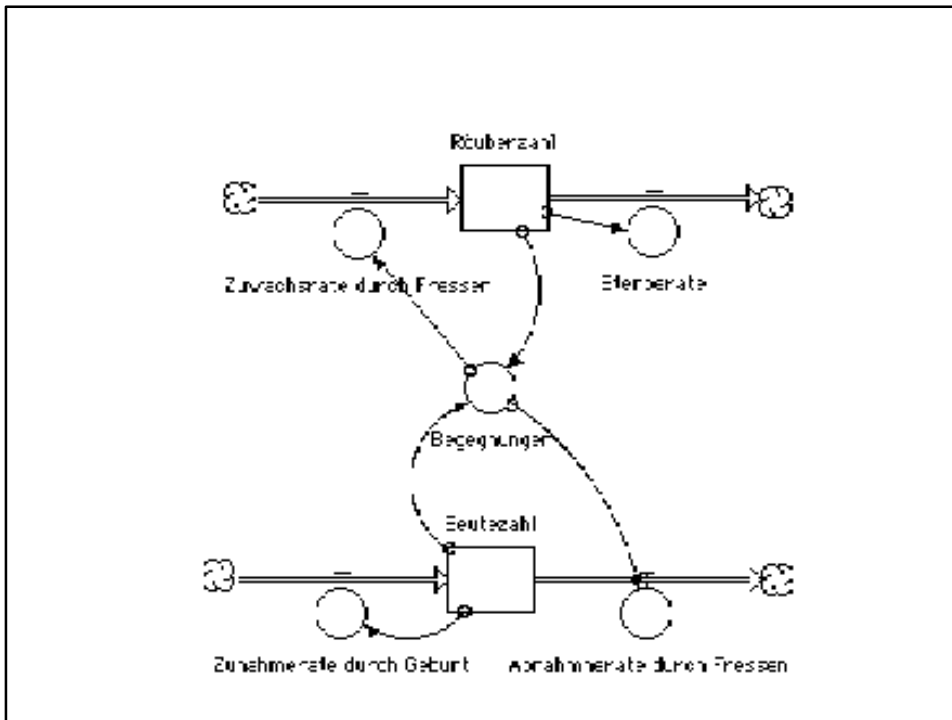
- Das klassische Räuber-Beute-System beschreibt die Wechselwirkung einer Räuberpopulation und einer Beutepopulation. Begegnungen zwischen Räubern und Beute führen zu einer Zunahme der Räuber und einer Annahme der Beute. Dem klassischen Räuber-Beute-System liegen folgende Annahmen zugrunde:
 - Zwei Populationen besiedeln gemeinsam ein Gebiet.
 - Die Beute hat unbegrenzte Nahrungsquellen und vermehrt sich bei Abwesenheit von Räubern exponentiell.

Das Standardbeispiel

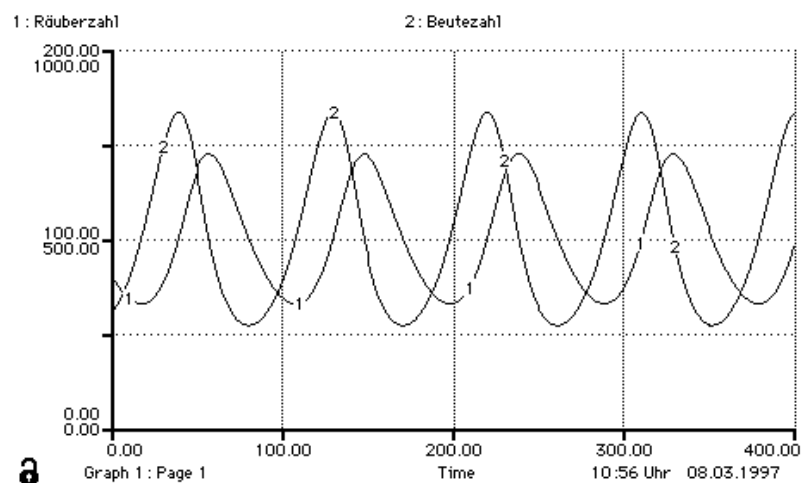
- Das Standardbeispiel als Anwendung des LOTKA-VOLTERRA-Systems sind die Populationszyklen der Luchse und Schneehasen, die auf den Daten der Hudson Bay Company der Jahre 1845 bis 1935 beruhen.

Aufgabe der Modellbildung

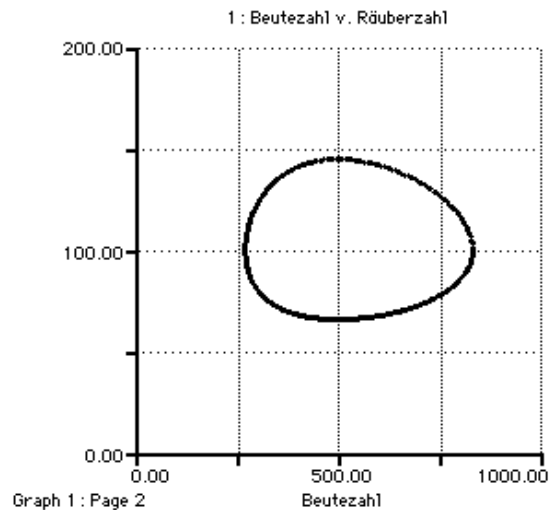
- Ein Räuber-Beute-System in ein formales (mathematisches) Modell zu fassen und dieses mit einem geeigneten Instrument (Modellbildungssystem) zu untersuchen, zu erforschen.
- Ein Modellbildungssystem ist ein Werkzeug (Software), mit dem Modelle erstellen und behandeln kann.



Das Ergebnis



... oder anders dargestellt



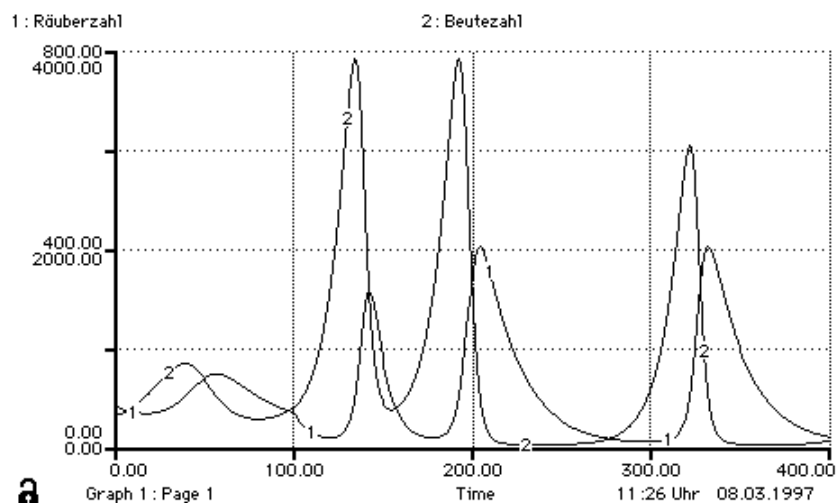
... Und was man sonst noch alles machen kann

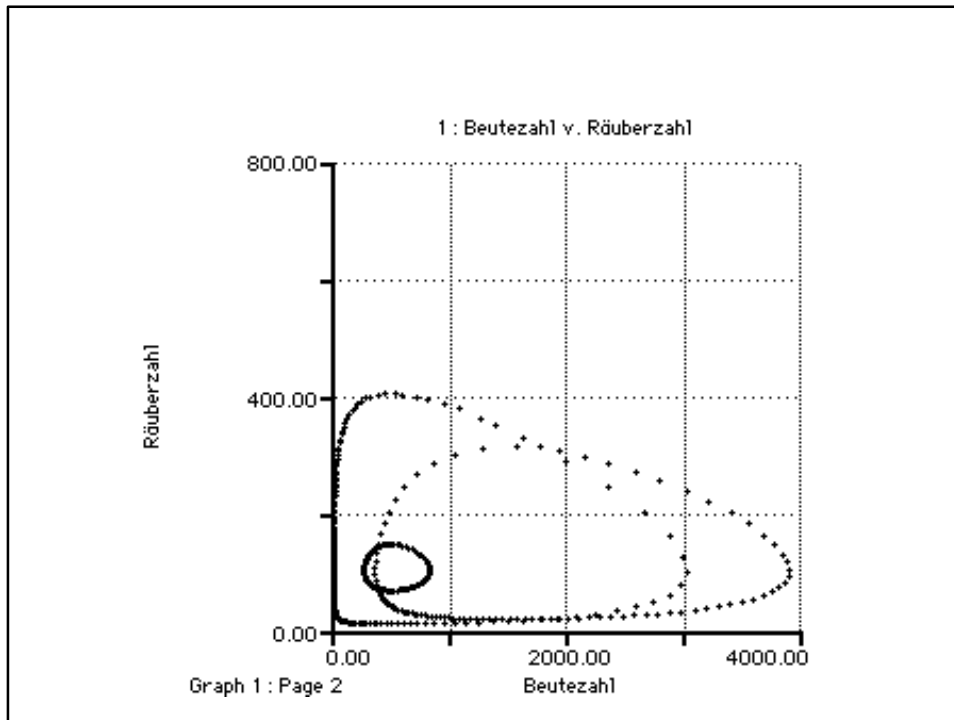
- Werden beide Populationen über längere Zeit z.B. durch wahlloses Jagen oder die Verwendung von Pestiziden in etwa gleichem Maße reduziert, so wird die Beutepopulation anschließend stärker wachsen, während die Räuberpopulation entsprechend abnimmt.

... Und was man sonst noch alles machen kann

- Eine eindrucksvolles Beispiel liefert das Baumwollschuppen-Insekt (*Icerya Purchasi*). 1868 aus Australien zufällig nach Amerika importiert, drohte es die Zitrusfrüchte-Industrie zu ruinieren. Man holte ein Marienkäferchen (*Novius Cardinalis*), seinen natürlichen Jäger aus Australien nach Amerika, das die Schuppeninsekten bald auf ein erträgliches Maß reduzierte.

... Und so sieht das Modell aus





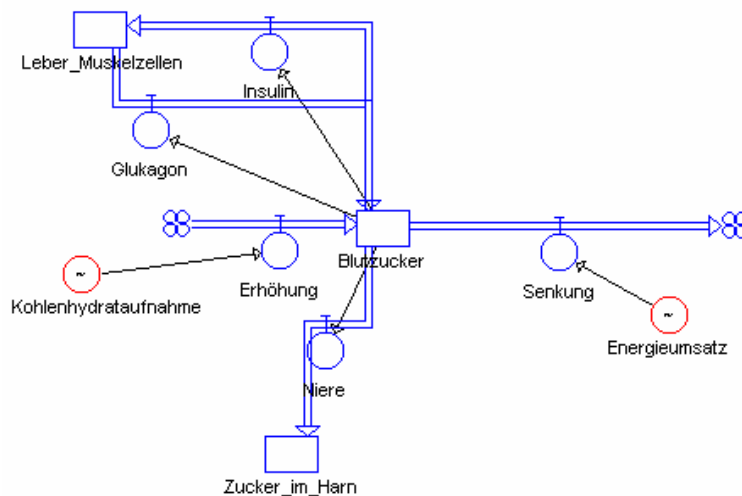
Konkrete Modellierung eines Beispiels mit dem Modellbildungssystem STELLA

Hier würde ich ein STELLA Beispiel, Wärmeflüsse, demonstrierend modellieren.

Modellbildung mit DYNASYS

Blutzuckerregulation

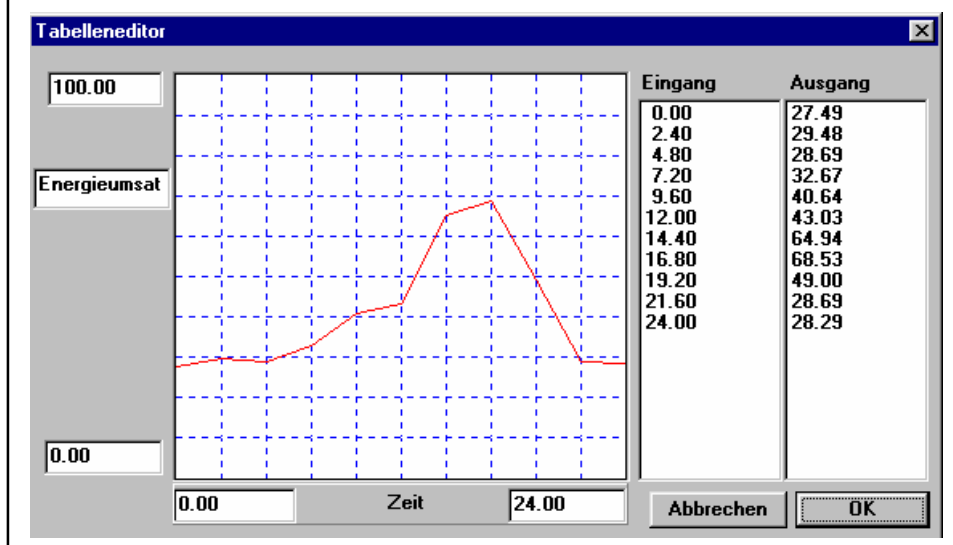
Blutzuckerregulation Wirkungsmodell



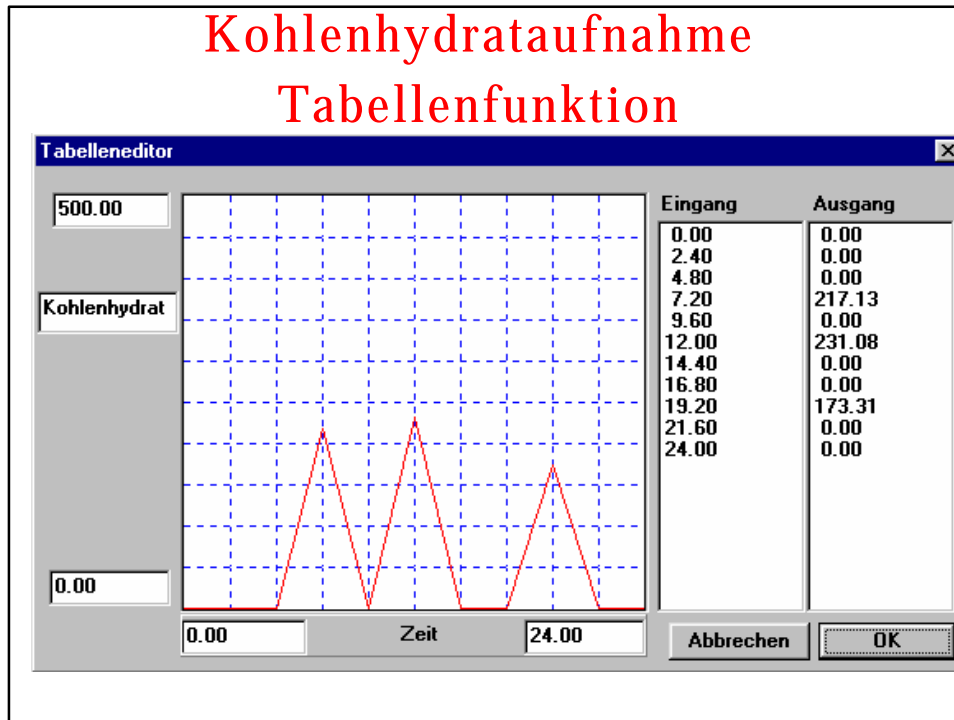
Mittlere Zahlenwerte

- Energieumsatz (leichte Arbeit): 11150 kJ/Tag :
- entspricht 655g Zucker/Tag = 27 g/h =0,45g/min
- Schwere Arbeit: 18000kJ/Tag
- KH-Aufnahme: 395g/Tag
- Fett-Aufnahme: 80g/Tag
- Eiweißaufnahme: 77g/Tag
- Blutmenge: 1/13 des Körpergewichtes (kg)in Liter
- Glucosespiegel: 1g/l: 100ml in 100ccm=0,1 %
- Brennwert Kohlenhydrate 17kJ/g

Energieumsatz - Tabellenfunktion



Kohlenhydrataufnahme Tabellenfunktion



Modellgleichungen

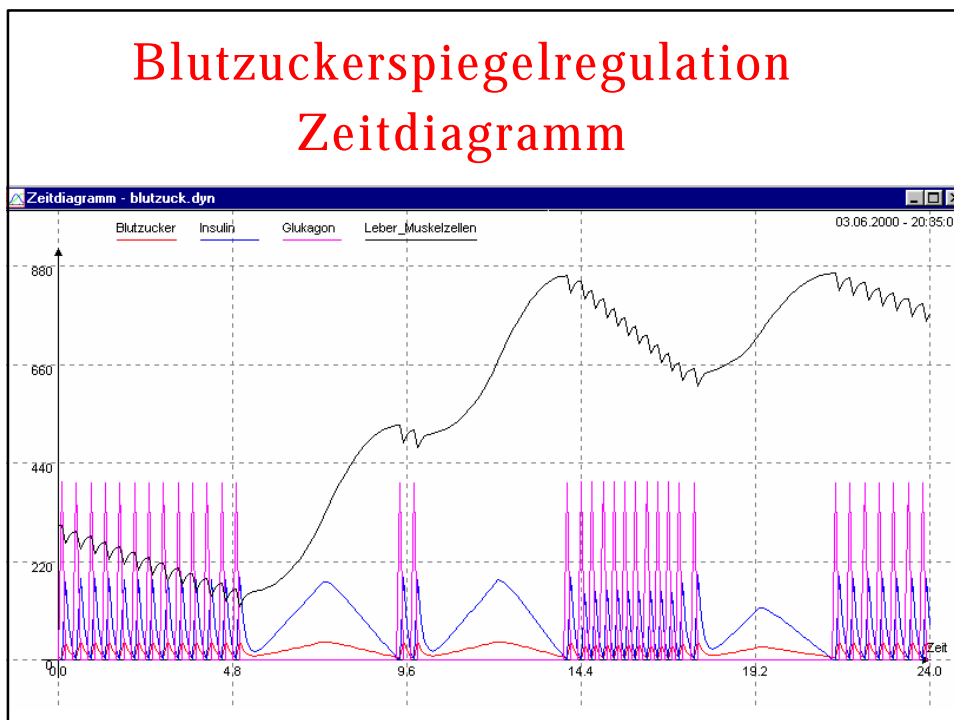
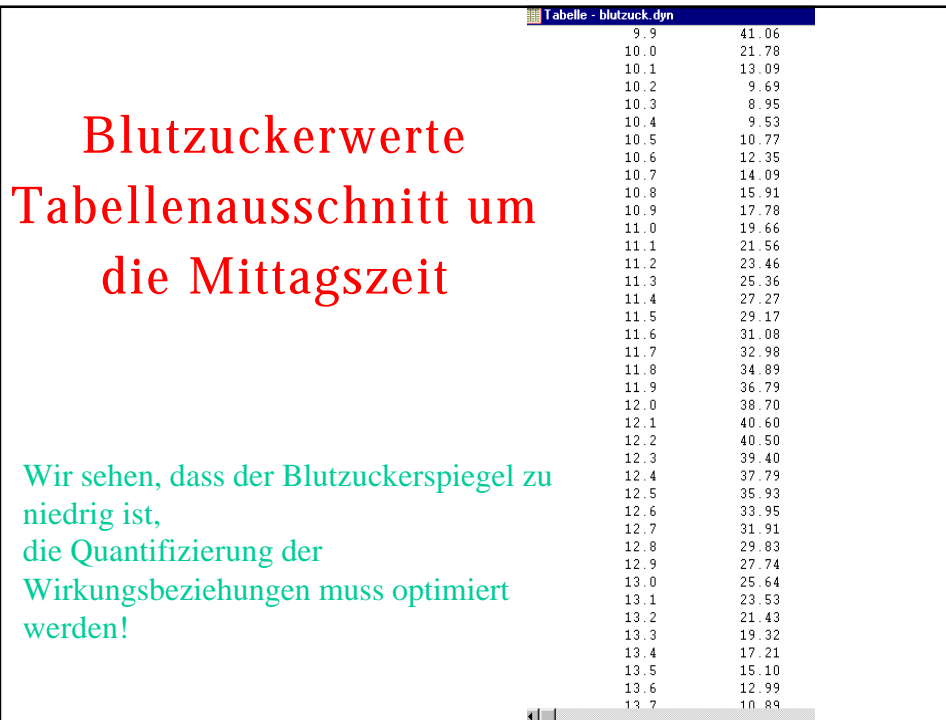
```

Zustandsgleichungen
Blutzucker.neu <-- Blutzucker.alt + dt*(Erhöhung+Glukagon-Senkung-Insulin-Niere)
Startwert Blutzucker = 5.5
Leber_Muskelzellen.neu <-- Leber_Muskelzellen.alt + dt*(Insulin-Glukagon)
Startwert Leber_Muskelzellen = 300
Zucker_in_Harn.neu <-- Zucker_in_Harn.alt + dt*(Niere)
Startwert Zucker_in_Harn = 0

Zustandsänderungen
Erhöhung = Kohlenhydrataufnahme
Senkung = Energieumsatz
Insulin = wenn (Blutzucker >= 6; 5*(Blutzucker-5); 0)
Glukagon = wenn (Blutzucker < 5.80*5-Blutzucker; 0)
Niere = wenn (Blutzucker > 7; 0.5; 0)

Konstanten

Zwischenwerte
Kohlenhydrataufnahme = Tabelle(Zeit)
((0.00;0.00)(2.40;0.00)(4.80;0.00)(7.20;217.13)(9.60;0.00)
(12.00;231.08)(14.40;0.00)(16.80;0.00)(19.20;173.31)(21.60;0.00)
(24.00;0.00))
Energieumsatz = Tabelle(Zeit)
((0.00;27.49)(2.40;29.48)(4.80;28.69)(7.20;32.67)(9.60;40.64)
(12.00;43.03)(14.40;64.94)(16.80;68.53)(19.20;49.00)(21.60;28.69)
(24.00;28.29))
    
```



Zielsetzungen beim Einsatz von Modellbildungssystemen

- 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,

Zielsetzungen beim Einsatz von Modellbildungssystemen

- 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 Differentialgleichungslöser an.

Die lerntheoretische Bedeutung von Modellbildungssystemen

- 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.

Die lerntheoretische Bedeutung von Modellbildungssystemen

- 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.

Arbeitsvarianten beim Einsatz von Modellbildungssystemen

- 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 vorhandender Modelle
- Übertragung vorhandener Modelle auf andere Systeme gleicher Struktur
- Erstellung von Modellen, Simulation und Arbeit mit Modellen in Schülergruppen

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.

Fragen des Lehrers beim Einsatz von Modellbildungssystemen

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

Anforderungen an den Lehrer

- 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.

Anforderungen an den Lehrer

- 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. Häufig ist ein intensives Eindringen in die Schülermodellierung notwendig, um Fehler und Lücken zu finden. Diese Erfahrung machen jedoch auch alle Informatiklehrer .

Anforderungen an den Lehrer

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

Die Sprache und Symbolik der Systemdynamik

- Zustandsgrößen (Bestandsgrößen): Sie erhöhen oder vermindern Ihren Wert im Laufe der Zeit durch Zufluss oder Abfluss der Größe.
- Änderungsraten: Sie geben an wieviel der Bestandsgröße pro Zeiteinheit zu- oder abfließt, d.h. die Änderungsrate ist die Stromstärke der Bestandsgröße, d.h. die Änderungsrate ist die Ableitung nach der Zeit, d.h. die Änderungsrate ist die Ventileinstellung.
- Einflussgrößen: Es handelt sich um Konstanten, Werte, Parameter, Funktionen, etc.

Einflussgrößen sind das, was die Zustandsgrößen beeinflussen.

Systemisches Denken

- "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 ihrer Stelle tritt ein Denken in Rückkopplungsschleifen bzw. vernetzten Strukturen, bei denen sich der Gegensatz zwischen Ursache und Wirkung in einem dynamischen Prozeß auflöst."

Systemisches Denken

- "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, wohldinierten Bausteinen durchzuführen." [OSSIMITZ,1990]

Systemisches Denken

- "Unser Denkkapazität 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." [BOSEL]

Systemisches Denken und Systemdynamik

Systemisches Denken

- "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, wohldinierten Bausteinen durchzuführen." [OSSIMITZ,1990]

Systemisches Denken

- "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]

Der Zweck von Modellen in der Systemdynamik

- **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 CO₂-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 Cw-Wert bestimmt werden.)