

Modellbildung und Simulation in der Lehramtsausbildung

Henry Herper
henry@isg.cs.uni-magdeburg.de
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Pf. 4120, D-39016 Magdeburg

Ingolf Stähl
cis@hhs.se
Handelshochschule Stockholm
P.O. Box 6501, S-11383 Stockholm

1 Einführung

Die Bedeutung von Modellbildung und Simulation in der schulischen Ausbildung hat in den letzten Jahren stetig zugenommen. Neben den klassischen Anwendungen aus dem naturwissenschaftlichen Bereich werden verstärkt computerbasierte Modelle eingesetzt. Dazu gehören auch die Anwendungen aus dem Bereich der virtuellen Realität. Mit den Computerspielen hält eine weitere Klasse von Simulationsmodellen Einzug in die Welt der Schüler. Daher ist es notwendig, den Schülern die Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik zu vermitteln und herauszustellen, dass Modelle ein Abbild der Realität sind und die Ergebnisse nicht kritiklos auf das reale System übertragen werden können. Der Informatikunterricht bietet gute Möglichkeiten, das notwendige Wissen und die Fertigkeiten zu vermitteln.

Modellierung und Simulation werden heute schon im Informatikunterricht einiger Schulen eingesetzt. Es werden vorwiegend kontinuierliche Modelle entwickelt. Eine wesentliche Voraussetzung dafür sind die Erfahrungen der Schüler aus der Mathematik. Die betrachteten Systeme sind in der Regel Prognosesysteme aus den Bereichen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Mit Hilfe der entwickelten Modelle können den Schülern verschiedene Formen des Wachstums vermittelt werden. Die für die Schule anspruchsvollsten Modelle bilden vernetzte Systeme (Räuber-Beute-Systeme) nach, die einen hohen Grad an Komplexität aufweisen. Diese Klasse von Modellen wird auch zur Entscheidungsunterstützung in vielen Bereichen der Gesellschaft eingesetzt. Einfache Modelle können mit Hilfe höherer Programmiersprachen implementiert werden. Für die Erstellung komplexerer Modelle stehen auch für den Schulbereich leistungsfähige und angepasste Werkzeuge zur Verfügung.

Es gibt jedoch noch eine weitere Klasse von Modellen, die ebenso eine große Bedeutung haben, die zeitdiskreten Simulationsmodelle. Sie dienen zur Nachbildung von Bediensystemen. Dies sind z.B. Modelle von Produktions- und Transportsystemen, aber auch von Freizeitparks oder Krankenhäusern. Die Entwicklung solcher komplexen Modelle ist für den Schulunterricht nicht geeignet. Dort sind Modelle von kleinen Bediensystemen, wie z.B. eines kleinen Geschäftes oder eines Servicebetriebes, anwendbar. Bei der Erstellung dieser Modelle können die Schüler ihre Erfahrungen über das entsprechende reale System einbringen.

Für alle Klassen von Modellen ist es notwendig, dem Modellierungsprozess und den durchgeführten Simulationsexperimenten ein oder mehrere Ziele zu geben. Es wird keine „Simulation an sich“ durchgeführt, sondern das Modell soll Antworten geben, die auf das reale System übertragbar sind. Auch ist es notwendig, dass die Schüler das zu modellierende System und seine Funktionalität verstanden haben.

Damit ist es notwendig, im Rahmen der Ausbildung von Informatiklehrern die Methoden und Werkzeuge der Modellbildung und Simulation zu vermitteln.

2 Ziele der Ausbildung

Für die Ausbildung der Lehramtsstudenten ist es erforderlich, die Studenten zu befähigen, die durch die Lehrpläne und Rahmenrichtlinien vorgegeben Inhalte didaktisch aufzubereiten und zu vermitteln. In den Rahmenrichtlinien für den Informatikunterricht einiger Bundesländer, wie z.B. des Saarlandes oder Nordrhein-Westfalens, werden für die Kurse „Modellbildung und Simulation“ die zu vermittelnden Inhalte und Lernziele vorgegeben. Auch im Entwurf des GI-FA 7.3 „Informatische Bildung in Schulen“ wird auf das Modellieren und den Modellbegriff

eingegangen. Dabei wird hervorgehoben, dass jedes Informatiksystem das Ergebnis des informatischen Modellierens eines Weltausschnittes ist, das nach seiner Fertigstellung als Bestandteil der realen Welt mit allen Eigenschaften eines unvollständigen, künstlichen Systems wirkt.

Im Rahmen der „Königsteiner Gespräche 1997“ wurden folgende Schwerpunkte der Simulation im Informatikunterricht herausgearbeitet:

- Entwicklung des System- und Modellbegriffs
- Abstraktion und Reduktion
- Erfassung und Aufbereitung empirischer Daten
- die Simulation als Prozess begreifen
- Vermitteln einer Modellimplementierungssprache
- Verifikation und Validation
- Ableitung von Experimentierstrategien
- Wirkungsweise und Implementierung von Pseudozufallszahlengeneratoren
- Visualisierung- und Präsentationstechniken
- Dokumentation von Phasen und Ergebnissen

Diese Schwerpunkte ermöglichen den Lehrern, die Unterrichtseinheit „Modellbildung und Simulation“ so zu gestalten, dass auf die bisher vermittelten Inhalte aufgebaut werden kann.

Die Lehrerausbildung muss so gestaltet sein, dass der Informatiklehrer über die notwendigen Kenntnisse und Fertigkeiten verfügt, die geforderten Inhalte in didaktisch geeigneter Form zu vermitteln. Weiterhin ist es notwendig, dass der Informatiklehrer die für die Unterrichtsziele geeigneten Werkzeuge auswählt. Eine weitere, sehr anspruchsvolle Aufgabe ist die Auswahl der zu modellierenden Systeme und der Ziele der Modellierung. Beispiel- und Aufgabensammlungen können hier nur eine Anregung sein. Die geforderten Schwerpunkte der Modellbildung sind nur vermittelbar, wenn die Lernenden das reale System und die darin ablaufenden Prozesse verstehen.

Es hat sich gezeigt, dass verbale Beschreibungen des zu modellierenden Systems nicht geeignet sind die notwendigen Fähigkeiten bezüglich Abstraktion und Reduktion herauszubilden. Wie auch in anderen naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern, verlassen sich die Lernenden darauf, dass alle notwendigen Größen zur Modellbeschreibung gegeben sind und alle gegebenen Größen in das Modell integriert werden müssen. Bei der Analyse realer Systeme muss für jeden Parameter festgelegt werden, ob er für die Beantwortung der Fragestellung notwendig ist, mit welcher Genauigkeit er integriert werden muss und welcher Wertebereich für Simulationsexperimente zur Verfügung steht. Die Lernenden sollen erkennen, dass das Modell nicht an sich existiert, sondern mit der Umwelt interagiert und die Beschreibung von Umweltschnittstellen erforderlich ist. Dies erfordert vom Informatiklehrer viel Erfahrung im Umgang mit Modellen, da die Komplexität der Modelle schnell die Modellierungsmöglichkeiten im Unterricht übersteigt.

Bei der Informatiklehrausbildung sollten unterschiedliche Modellierungsmethoden und der Umgang mit verschiedenen Klassen von Modellierungswerkzeugen vermittelt werden.

3 Informatiklehrausbildung an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Der Kurs „Einführung in die Simulationstechnik“ umfasst für die Gymnasiallehrer 3 SWS und für die Sekundarschullehrer 2 SWS. Die Kurse liegen im 5. bzw. 4. Semester des berufsbegleitenden Studiums. Zu diesem Zeitpunkt verfügen die Lehrerstudenten über Kenntnisse in der Softwareentwicklung. Wobei sich die eigenen Erfahrungen auf die Implementierung kleiner Systeme beschränken. Im Rahmen der Entwicklung von Informatiksystemen haben sie die Grundlagen der Modellbildung erlernt. Die Funktionsweise von Zufallszahlengeneratoren, deren Implementierung und Anwendung wird im Kurs „Einführung in die Informatik, Algorithmen und Datenstrukturen“ ausführlich behandelt.

Das Ziel der Ausbildung der Direktstudenten und der Studenten der berufsbegleitenden Studiengänge ist, diese zu befähigen, selbst Modelle mit unterschiedlichen Werkzeugen zu

erstellen, damit Experimente durchzuführen und die gewonnenen Resultate kritisch zu bewerten. Es werden weiterhin die fachdidaktischen Fähigkeiten vermittelt, die Modellbildung und Simulation im Informatikunterricht einzusetzen. Einige Schwerpunkte werden in den nächsten Abschnitten etwas ausführlicher betrachtet.

Grundbegriffe der Modellbildung und Simulation

In diesem Abschnitt werden verschiedene Klassifikationsmöglichkeiten für Modelle vorgenommen. Der Begriff Simulation wird im Kontext der zeitdynamischen Simulation eingeführt. Anwendungsgebiete der Simulation in Verbindung mit den Zielen der Simulationsstudien werden vorgestellt. Es wird die Methodik des Erkenntnisgewinns durch Simulationsexperimente und die kritische Betrachtung von Simulationsergebnissen vermittelt.

Grundlagen der Entwicklung von Simulationsmodellen

Aufbauend auf die bereits erworbenen Kenntnisse über die Entwicklung von Informatiksystemen werden in diesem Abschnitt die Besonderheiten von Simulationsmodellen herausgearbeitet. Die bekannten Abstraktions- und Reduktionstechniken am Beispiel der Entwicklung von Simulationsmodellen vertieft. Besonders wird bei der Systemanalyse auf die Gewinnung der Daten für die Prozessbeschreibung eingegangen. Die empirisch gewonnenen Daten werden aufbereitet und statistisch erfasst. Es werden Methoden zur Entwicklung von abstrakten Modellen eingeführt.

Einführung in die Simulationssprache Win-GPSS

Das Ziel dieses Abschnittes ist die Implementierung von zeitdiskreten Simulationsmodellen für einfache Bedienungssysteme. Für die Entwicklung von Simulationsmodellen stehen verschiedene Werkzeugklassen zur Verfügung, die in diesem Abschnitt vorgestellt werden. Für einfache Systeme werden Modelle mit höheren Programmiersprachen erstellt. Die Studenten erkennen die Arbeitsweise eines Simulators unter besonderer Berücksichtigung der Zeitverwaltung. Mit der Simulationssprache Win-GPSS wird ein Werkzeug zur effektiven Implementierung von zeitdiskreten Simulationsmodellen eingeführt. Am Beispiel von mehrstufigen, mehrkanaligen Bediensystemen wird die zeitparallele Verarbeitung von Ereignissen vermittelt. Gleichzeitig wird erreicht, dass die Studenten ein Simulationssystem (GPSS) kennen lernen, das seit Jahrzehnten weltweite Bedeutung besitzt und vielen anderen Systemen als Vorbild gedient hat.

Planung, Durchführung und Bewertung von Simulationsexperimenten

Nachdem das Simulationsmodell implementiert ist, werden Experimentierstrategien festgelegt. Simulationsexperimente werden durchgeführt und bewertet. Damit wird die Simulation als iterativer Prozess deutlich. Im Rahmen der Simulationsexperimente werden Veränderungen und Erweiterungen am Simulationsmodell vorgenommen. Zur Abschätzung der Qualität der gewonnenen Resultate werden Verifikations- und Validationstechniken eingesetzt. Die gewonnenen Simulationsergebnisse werden aufbereitet und bezüglich der Zielstellung der Simulationsstudie präsentiert.

Prozessanimation

In diesem Abschnitt wird die Animation als Werkzeug zur Darstellung der Dynamik des Simulationsmodells verwendet. Mit dem System PROOF™ werden zu den Simulationsmodellen die entsprechenden Animationsmodelle entwickelt und die Kopplung realisiert.

Bausteinorientierte Simulatoren

Mit den bausteinorientierten Simulatoren wird eine Werkzeugklasse vorgestellt, die heute in der Industrie hauptsächlich zur Durchführung von Simulationsstudien eingesetzt wird. Die notwendigen Demo- bzw. Schulversionen werden von vielen Herstellern kostenlos angeboten.

Kontinuierliche Simulation

Es werden die grundlegenden Schritte zur Entwicklung von kontinuierlichen Simulationsmodellen vorgestellt. Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu den zeitdiskreten

Simulationsmodellen werden herausgearbeitet. Die Implementierung der Modelle wird mit STELLA™ durchgeführt.

Entwicklung funktionaler Modelle

Die Entwicklung funktionaler Modelle wird im Rahmen der Lehrveranstaltung „Dekonstruktion von Anwendungssystemen“ durchgeführt.

Simulation in der schulischen Ausbildung

In diesem Schwerpunkt werden didaktische Ansätze zur Integration der Modellbildung und Simulation im Informatikunterricht vermittelt. Es werden u.a. Methoden zur Auswahl geeigneter Systeme und Zielstellungen für den Unterrichtseinsatz erarbeitet.

4 Simulationswerkzeuge für die Schulausbildung

Für die schulische Ausbildung im Kurs „Modellbildung und Simulation“ stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung. Wurde im Rahmen des Informatikunterrichts eine Programmiersprache entwickelt, so kann diese auch als Implementierungssprache für einfache Modelle eingesetzt werden. Häufig werden Problemstellungen aus der Simulation schon als Beispiele bei der Vermittlung der Programmiersprache eingesetzt.

In Tabelle 1 werden Simulationswerkzeuge nach ihrem Einsatzgebiet klassifiziert und es werden einige Beispiele für derzeit verfügbare Simulationswerkzeuge aufgeführt. In diese Tabelle wurden auch die Computerspiele aufgenommen. Diese sind Simulationsmodelle aus der Erfahrungswelt der Schüler, die im Rahmen des Informatikunterrichts diskutiert werden sollten.

Tabelle 1: Beispiele für Simulationswerkzeuge

Computerspiele	kontinuierliche Simulatoren	funktionale Simulatoren	diskrete Simulatoren
<ul style="list-style-type: none"> • SIMCITY • ANNO 1602 • CATAN • Creatures • Holiday Island 	<ul style="list-style-type: none"> • DYNASIS • STELLA • MODUS • Vensim 	<ul style="list-style-type: none"> • TRYSIM (SPS-Modelle) • LEGO-Dacta 	<ul style="list-style-type: none"> • WIN-GPSS • GPSS/H • GPSS/world

Die kontinuierliche Simulation ist derzeit in der Schulausbildung dominierend. Es werden z.B. Systeme aus den Bereichen Biologie, Chemie, Geographie und Physik beschrieben. Für komplexere Systeme ist es für die Schüler häufig schwierig, die funktionalen Zusammenhänge und die notwendigen Abstraktionsschritte zu erkennen.

The screenshot displays the Win-GPSS development environment. On the left, a simulation model is shown with nodes: Generate (5,4,0), Seize (q_servic), Advance (5,5), Release (servic), Enter (q_essen), Advance (20,5), Leave (essen), and Terminate (1). A second model fragment shows Generate (22,60) and Terminate (1). In the center, a text editor window contains the following code:

```
simulate
qtable servic,0,2,20,g      ! Wartezeit
essen capacity 50
generate 5,4,0
seize servic,q
advance 5.5
```

At the bottom, the 'Auswertung' (Evaluation) window shows a table with the following data:

Range	Observed frequency	Per cent of total	Cumulative percentage	Cumulative remainder
- 0	13	4.76	4.76	95.24
.01 - 2	9	3.30	8.06	91.94
2.01 - 4	7	2.56	10.62	89.38
4.01 - 6	10	3.66	14.29	85.71
6.01 - 8	11	4.03	18.32	81.68
8.01 - 10	11	4.03	22.34	77.66
10.01 - 12	9	3.30	25.64	74.36
12.01 - 14	19	6.96	32.60	67.40
14.01 - 16	17	6.23	38.83	61.17
16.01 - 18	13	4.76	43.59	56.41
18.01 - 20	18	6.59	50.18	49.82
20.01 - 22	19	6.96	57.14	42.86
22.01 - 24	25	9.16	66.30	33.70
24.01 - 26	10	3.66	69.96	30.04
26.01 - 28	12	4.40	74.36	25.64
28.01 - 30	11	4.03	78.39	21.61
30.01 - 32	10	3.66	82.05	17.95
32.01 - 34	13	4.76	86.81	13.19
34.01 - 36	7	2.56	89.38	10.62
36.01 - 38	6	2.20	91.58	8.42
Overflow	23	8.42	100.00	.00
(5) Average value of overflow		43.60		

Abbildung 1: Win-GPSS Entwicklungsumgebung

Die zeitdiskrete Simulation ist heute in der schulischen Ausbildung noch nicht so verbreitet. Häufig wird als Grund angeführt, dass keine geeigneten Werkzeuge zur Verfügung stehen. Daher wird an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg gemeinsam mit der Handelshochschule Stockholm der Simulator Win-GPSS entwickelt. Dieser Simulator wird als Ausbildungssimulator speziell auf den schulischen Einsatz und den Einsatz in der studentischen Grundausbildung entwickelt. Er verfügt über eine graphische Modellentwicklungsumgebung auf einem hohen Abstraktionsgrad, einem parallel arbeitenden Texteditor und Komponenten zur Resultatdatenerfassung und -aufbereitung. In der Abbildung 1 ist ein Beispiel der Entwicklungsumgebung dargestellt. Schnittstellen für das Animationssystem PROOF™ sind integriert. Ein umfangreiches Hilfe- und Unterstützungssystem wird derzeit implementiert.

Das Win-GPSS wird zur Zeit in mehreren Schulen erprobt. Erste Ergebnisse zeigen, dass es geeignet ist, den Schülern die Grundlagen der Simulationstechnik zu vermitteln. Nach Abschluss der Entwicklung wird das System für die schulische Nutzung kostenlos zur Verfügung gestellt. Parallel zum Win-GPSS wird eine Web-Version gemeinsam von der Handelshochschule Stockholm und der FLUX Software Engineering AB in Ronneby entwickelt. Diese steht in englischer und schwedischer Sprache im Internet unter der Adresse : <http://webgpss.hk-r.se/ENG/> zur Verfügung. Der verwendete Simulatorekern, das Micro-GPSS, ist für beide Simulatoren gleich.

5 Zusammenfassung

Die Einbeziehung des Kurses „Einführung in die Simulationstechnik“ in die Ausbildung der Lehrerstudierenden erschließt ein Applikationsgebiet in dem die Studenten die im Rahmen der vorangegangenen Lehrveranstaltungen gewonnenen Erfahrungen und Fertigkeiten anwenden können. Die Nachbildung bekannter Systeme unterstützt den Prozess der Modellbildung und die kritische Bewertung der Resultate. Mit der Simulationssprache wird ein neuer Programmieransatz vermittelt, in dem die Verwaltung der Zeit und die Verarbeitung paralleler Vorgänge zusätzlich zu berücksichtigen sind.

Mit der Methodik der Simulation wird ein Einblick in die Arbeitsweise von Programmen gegeben, die immer mehr Lebensbereiche durchdringen und häufig als Grundlage bzw. Begründung für Entscheidungen dienen.

Literatur

- Herper, H. and I. Ståhl. 1997. Diskrete Modellierung und Simulation - Methoden und Werkzeuge für den Informatikunterricht. In *Tagungsband: 7. GI-Fachtagung Informatik und Schule - INFOS'97*, 139 -51. Berlin, Heidelberg, NY: Springer Verlag.
- D. Koller (Hrsg.). Simulation dynamischer Vorgänge. Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart, 1995
- Königstein 1997. Fachdidaktische Gespräche zur Informatik an der TU Dresden
Arbeitsgruppe Simulationstechnik . Königstein, 26.-28.02.1997
- Lorenz, P. and T. Schriber. 1996. Teaching Introductory Simulation. In *Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference*, ed. J. Charnes, D. Morrice, D. Brunner & J. Swain. Coronado: SCS.
- Ståhl, I. 1990. *Introduction to Simulation with GPSS: On the PC, Macintosh and VAX*. Hemel Hempstead, U.K.: Prentice Hall International.
- Ståhl, I. and H. Herper. 1999. *Einführung in die Simulation mit Micro-GPSS - Ein Grundkurs in acht Lektionen, Vorlesungsskript*. Handelshochschule Stockholm/ Universität Magdeburg.