

Modellierung von Systemen

- ein Applikationsgebiet im Informatikunterricht

Henry Herper

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

Abstract: Die Modellbildung und Simulation ist ein Applikationsgebiet, an dem viele allgemeingültige Verfahren und Methoden der Informatik vermittelt werden können. Damit ist sie ein Teilgebiet der Informatik, das in den Informatikunterricht der allgemeinbildenden Schulen integriert werden sollte. Für die Implementierung von Simulationsmodellen auf Computern werden geeignete Softwarewerkzeuge benötigt. Der Schwerpunkt dieses Beitrages ist die Vorstellung von Schritten zur Entwicklung einer Simulationsstudie im Informatikunterricht am Beispiel der diskreten Simulation.

Einführung

In der Leitlinie „Informatische Modellierung“ werden für das Modellieren im Informatikunterricht folgende Anforderungen gestellt: „Im Informatikunterricht bedeutet „Modellierung“ im wesentlichen die Abgrenzung eines für den jeweiligen Zweck relevanten Ausschnittes der Erfahrungswelt, die Herausarbeitung seiner wichtigen Merkmale unter Vernachlässigung der unwichtigen sowie seiner Beschreibung und Strukturierung mithilfe spezieller Techniken aus der Informatik.“[GI00]

Die Bedeutung des Begriffs der Modellierung hat sich in den letzten Jahren stark erweitert. Wurde traditionell der Modellbegriff in der Informatik im Zusammenhang mit Simulationsmodellen oder graphischen Modellen verwendet, so wird er heute zusätzlich für viele Aspekte der Softwareentwicklung genutzt. In der Schulinformatik wird der Begriff „informatisches Modell“ eingeführt, der die Struktur und Funktion von Informatiksystemen beschreibt. Im Rahmen dieses Beitrages werden die Begriffe Modellbildung und Simulation entsprechend der in der Industrie üblichen Terminologie verwendet, die in der Richtlinie VDI 3633 „Simulation von Logistik, Materialfluss- und Produktionssystemen“ festgelegt ist.

Modellbildung und Simulation sind Bestandteil des Informatikunterrichts einiger Schulen. Es werden verschiedene Modellierungsansätze verwendet. Ein Schwerpunkt ist die Entwicklung kontinuierlicher Modelle. 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. Für die Erstellung komplexerer Modelle stehen auch für den Schulbereich leistungsfähige und angepasste Werkzeuge zur Verfügung.

Eine weitere Klasse von Modellen, die sich ebenso zur Vermittlung von Informatikinhalt eignen, sind 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.

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 bzw. Prozesse und Strukturen des realen Systems für den Anwender transparent machen.

In den folgenden Abschnitten werden am Beispiel der diskreten Simulation Methoden und Möglichkeiten zur Analyse von Systemen vorgestellt. Schwerpunkte sind Methoden zur Datengewinnung und Präsentation der Ergebnisse unter Einsatz neuer Medien.

Entwicklung des abstrakten Modells

Für die Erstellung von Modellen und dem anschließenden Experimentieren mit diesen Modellen ist es notwendig, dass die Schüler das zu modellierende reale System kennen und die darin ablaufenden Prozesse verstehen. Weiterhin ist es zweckmäßig, wenn das reale System zur Analyse zur Verfügung steht. Daher sind für die Modellierung von diskreten Systemen die genannten kleinen Bediensysteme geeignet.

Zu Beginn der Simulationsstudie müssen die Ziele der Studie festgelegt werden. Diese Ziele bestimmen die Struktur und Funktion des Modells und den notwendigen Abstraktionsprozess. Die Ziele sollten realistisch sein. Werden keine quantitativen Ziele gestellt, so ist auch die Modellerstellung zum Systemverständnis möglich.

Sind die Ziele der Simulationsstudie definiert, so wird eine Abgrenzung des zu modellierenden Systems vorgenommen. Mit der Abgrenzung wird das zu modellierende System als Ausschnitt der realen Welt definiert. Die Dimensionierung der Systemgrenzen ist vom Ziel der Simulationsstudie abhängig. Bei kleinen Bediensystemen lassen sich die Systemgrenzen klar definieren. Da das zu modellierende System in eine Umwelt eingebunden ist, müssen die Verbindungen zur Außenwelt über Umweltschnittstellen festgelegt werden. Sollen für das im Bild 1 dargestellte Restaurant die Umweltschnittstellen definiert werden, so ist es für eine Be-



Bild 1: Umweltschnittstellen

trachtung des Restaurantbetriebes ausreichend die Tür als Schnittstelle zu definieren. Soll der Parkplatz oder der „Drive Through“ mit abgebildet werden, so ist als Umweltschnittstelle die Parkplatzeinfahrt festzulegen.

In diskreten Bedienmodellen werden die Umweltschnittstellen der Forderungenströme durch Quellen und Senken abstrahiert. Forderungen sind im Beispielsystem die abstrakte Beschreibung für Autos oder Kunden.

Herkömmliche Aufgabenstellungen für Simulationsmodelle im Informatikunterricht enthalten die Abgrenzung des Systems bereits. Die Systembeschreibung liegt abstrahiert in verbaler Form vor. Die für die Erstellung des Modells notwendigen Parameter werden im geeigneten Abstraktionsgrad durch die Aufgabenstellung vorgegeben. Die Bearbeitung solcher Aufgaben fördert nur unzureichend die Fähigkeiten zur Systemanalyse und zur Abstraktion. Für das Verständnis und die Entwicklung von Informatiksystemen sind die Analyse und Strukturierung grundlegende Fähigkeiten, die sich jeder Schüler aneignen sollte. Zur Analyse des realen Systems stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Eine Methode besteht in der Besichtigung des realen Systems. Diese sollte erfolgen, nachdem die Ziele der Modellbildung festgelegt wurden. Es werden Daten über das System zusammengetragen. In dieser Phase muss entschieden werden, welche Daten für das Modell relevant sind. Es wird eine erste Abstraktion vorgenommen. Weiterhin wird festgelegt, mit welcher Genauigkeit die Daten erfasst werden. Multimediale Techniken sind in dieser Phase sinnvoll einsetzbar. Vom System und den ablaufenden Prozessen können Fotos und Videoaufzeichnungen angefertigt werden. Fotos sind besonders zur Dokumentation des Systems geeignet, Videoaufnahmen zur Dokumentation der Prozesse in dem System.

In diesem Zusammenhang werden die Schüler mit den rechtlichen Aspekten der Datenerfassung durch Video vertraut gemacht. Der Persönlichkeits- und Datenschutz muss gewährleistet bleiben. Die Videoaufnahmen sind ein Ergebnis eines Abstraktionsprozesses, da die Auswahl der aufgezeichneten Objekte und die Dauer der Aufzeichnung entscheidend für die gewinnbaren Daten sind. Im Ergebnis dieser Datengewinnung stehen Informationen in unterschiedlicher Form auf verschiedenen Medien in unterschiedlichen Genauigkeiten zur Verfügung.

Die nächste Phase hat die Entwicklung eines abstrakten Modells zum Ziel. Das abstrakte Modell umfasst eine formale System- und Ablaufbeschreibung.

In der formalen Systembeschreibung erfolgt eine Zuordnung der abstrahierten Komponenten des realen Systems zu den Modellelementen des abstrakten Modells. Die formale Systembeschreibung erfolgt in der Regel schon unter Einfluss der Werkzeugeigenschaften, die für die Implementierung des Computermodells ausgewählt wurden. Für Bedienungsmodelle stehen z.B. die Elemente Quelle, Bedieneinrichtung, Speicher, Verzweigung und Senke zur Verfügung. Für die dynamischen Systemkomponenten werden Forderungen verwendet. Die Zuordnung der Systemkomponenten zu den Modellelementen erfordert Erfahrung und sollte daher unter Anleitung des Lehrenden erfolgen. Anschließend werden für die Modellelemente die Parameter festgelegt.

Ist das abstrakte Modell vollständig erstellt, so muss auch nach Abschluss dieser Phase wieder eine Validierung erfolgen. Wird eine Übereinstimmung entsprechend der Zielstellung der Studie festgestellt, so kann die Implementierung mit einem geeigneten Werkzeug erfolgen.

Implementierung des Computermodells

Für die Übertragung des abstrakten Modells stehen verschiedene Werkzeugklassen zur Verfügung. Die einfachste Form ist, die Anwendung einer höheren Programmiersprache. Geeigneter zur Implementierung ist eine Simulationssprache oder ein entsprechender bausteinorientierter Simulator. Bei der Erprobung dieses Ansatzes wurde die Simulationssprache WinGPSS mit einem graphischen Nutzerinterface eingesetzt. Die Simulationssprache WinGPSS basiert auf dem GPSS-Sprachkonzept und ist besonders für die Modellierung von Bediensystemen geeignet. Das WinGPSS wurde für die Ausbildung entwickelt.

Reales System	Abstraktes Modell	Computermodell
Eingang (Tür)	Quelle	generate
Servicebereich	Bedienernrichtung	seize release
Zeit für Bestellung	Bedienzeit	advance
Essenbereich	Speicher	enter leave
Zeit zum Essen	Prozesszeit	advance
Ausgang (Tür)	Senke	terminate

Bild 2: Abstraktionsstufen des Modells

Die Implementierungsstufe erfordert die Zuordnung von Sprachelementen zu Elementen des abstrakten Modells und die Verwaltung der Systemdaten in den Datenstrukturen der Implementationsprache. Im Bild 2 wird Zuordnung der Modellelemente zu den Sprachelementen der Simulationssprache GPSS demonstriert.

Wird diese Simulationssprache im Unterricht eingesetzt, so ist es für die Schüler erforderlich etwa 10 Anweisungen zu erlernen. Mit dieser Simulationssprache kann ein neues Sprachkonzept vermittelt werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, einen eigenen Simulator für kleine Bediensysteme zu entwickeln. Dieser kann z.B. eine komplexe Applikation zur Vertiefung der objektorientierten Softwareentwicklung sein. Der Vorteil der Verwendung von Simulationssoftware besteht aber auch in den integrierten Funktionen zur Resultatdatenerfassung und -aufbereitung. Wesentlich ist, dass das Softwaresystem mit einer integrierten Online-Hilfe ausgestattet ist. Die Arbeit mit derartigen Hilfesystemen zählt zu den Grundfertigkeiten, die im Informatikunterricht vermittelt werden sollten.

Nach der Überprüfung der korrekten Umsetzung des abstrakten in das Computermodell erfolgt auch in dieser Phase eine Validierung.

Der Schwerpunkt der nächsten Phase ist das gezielte Experimentieren mit dem Modell. Dabei werden zwei Ansätze unterschieden. Eine Möglichkeit besteht im Experimentieren durch Variation der Parameter der Modellelemente, eine zweite Möglichkeit besteht in der Modellerweiterung oder Modellumgestaltung. Enthalten Simulationsmodelle stochastische Komponenten, so sind mit jedem Parametersatz ausreichend viele Simulationsläufe durchzuführen.

Schwerpunkt des gezielten Experimentierens mit dem Simulationsmodell ist die Auswertung der Resultate eines Simulationslaufes und die Ableitung der möglichen Parameterveränderungen für den nächsten Simulationslauf. Dieses Experimentieren erfordert ein umfassendes Verständnis des Systems und Erfahrungen, welche Modellveränderungen welche Resultate erwarten lassen.

Präsentation der Ergebnisse

Den Abschluss einer Simulationsstudie bildet die Präsentation der erzielten Ergebnisse. Dabei ist zu klären, ob die im Rahmen der Zielstellung der Studie gestellten Probleme gelöst werden konnten. Gemeinsam mit den Schülern sind geeignete Präsentationstechniken zu erarbeiten.

Mit den Simulationsexperimenten werden große Mengen von Resultatdaten erzeugt. Diese müssen entsprechend der Aufgabenstellung für eine Präsentation der Ergebnisse aufbereitet werden. Die Beziehung zwischen Parameteränderungen und den zugehörigen Resultatdaten sind zu dokumentieren. Für das Beispielsystem kann z.B. die Abhängigkeit der Wartezeiten vor der Servicestation von den Zwischenankunftszeiten der Kunden dargestellt werden. In dieser Phase wird hauptsächlich die statistische Aufbereitung und die Erzeugung von graphischen Darstellungen durchgeführt. Die Projektgruppe muss entscheiden, welche Daten in welcher Form für die Beantwortung der am Beginn der Studie aufgestellten Ziele ausgewählt werden müssen. Bietet das verwendete Simulationswerkzeug nicht die benötigten Komponenten zur Aufbereitung der Resultatdaten an, so ist Auswertung mit Standardsoftware, wie z.B. einem Tabellenkalkulationssystem möglich. Häufig ist dies erforderlich, um die Daten mehrerer Simulationsexperimente zusammenzufassen.

Eine besondere Form der Präsentation ist die Animation der Simulationsergebnisse. Dazu ist die Erstellung eines weiteren Modells, des Animationsmodells, erforderlich. Für das Animationsmodell sind zusätzliche Daten zu erfassen und aufzubereiten. Dies sind vor allem Daten über die Systemgeometrie und exakte Zuordnungen von Bewegungen zu Bewegungsbahnen. Für das Animationsmodell müssen einige Prozesse mit einem höheren Detaillierungsgrad abgebildet werden, als für das Simulationsmodell erforderlich. Beispielsweise wird der Weg vom Eingang zur Servicestation abstrahiert oder ggf. durch einen einfachen Zeitverbrauch nachgebildet. Im Animationsmodell muss jedoch zusätzlich festgelegt werden, auf welcher Bahn sich der Kunde bewegt.

Bei der Erstellung des Animationsmodells können die Schüler Techniken und Fertigkeiten, die sie sich im Kurs „Moderne Medienwelten“ angeeignet haben, vertiefen. Es werden Bezüge zwischen Aufnahme eines realen Systems und Gestaltung einer Computeranimation hergestellt. Die im Rahmen der Datenerfassung aufgenommenen Videosequenzen können mit den Animationsdarstellungen verglichen werden.

In die Präsentation der Ergebnisse sollte immer auch eine kritische Betrachtung der Berechnungen einfließen. Die gemachten Fehler und damit die Grenzen der Übertragbarkeit der Simulationsergebnisse auf das reale System sind zu analysieren. Dabei kann die Methode des Erkenntnisgewinns durch Modellierung und Simulation, das Analogieschlussverfahren, den Schülern vermittelt werden.

Zusammenfassung

Modellbildung und Simulation sind ein geeignetes Anwendungsgebiet für die Informatikausbildung. Die verschiedenen Stufen des Modellbildungsprozesses eignen sich, um grundlegende Kenntnisse und Fähigkeiten der Informatik zu vermitteln.

Phase	ausgewählte Informatikinhalte
Auswahl und Beschreibung des Bediensystems	<ul style="list-style-type: none"> • Erarbeitung des System- und Modellbegriffs • Erfassung und Aufbereitung empirischer Daten
Entwicklung des abstrakten Modells	<ul style="list-style-type: none"> • Erlernen der Methoden von Abstraktion und Reduktion • Arbeit mit formalen Beschreibungsmöglichkeiten von Systemen
Implementierung des Computermodells	<ul style="list-style-type: none"> • Erlernen einer Simulationssprache bzw. Anwendung einer bekannten Programmiersprache auf ein komplexes System • Erlernen grundlegender Validierungstechniken
Aufbereitung und Präsentation der Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Erlernen von Visualisierungs- und Präsentationstechniken • kritische Betrachtung der Ergebnisse von Berechnungen • Erkenntnisgewinn durch Simulationsstudien

Bild 3 : Phasen der Simulationsstudie und zugeordnete Informatikinhalte

Im Bild 3 sind ausgewählte Informatikinhalte zusammengefasst und den einzelnen Phasen der Simulationsstudie zugeordnet. Die hier dargestellten Inhalte sind für die Entwicklung von vielen Informatiksystemen allgemeingültig.

Die Methodik der Simulation gibt einen Einblick in die Arbeitsweise von Programmen, die immer mehr Lebensbereiche durchdringen und häufig als Grundlage bzw. Begründung für Entscheidungen dienen. Mit der Modellierung von Systemen aus der realen Umwelt wird ein Beitrag dazu geleistet, das informatische Modellieren an für die Schüler verständlichen Systemen zu erproben.

Literatur

- [GI00] Gesellschaft für Informatik (GI) e.V., Empfehlungen für ein Gesamtkonzept zur Informatischen Bildung an allgemein bildenden Schulen, Bonn, 2000
- [He99] Henry Herper, Ingolf Ståhl, Micro-GPSS on the Web and for Windows - A Tool for Introduction to Simulation in High Schools, in : 1999 Winter Simulation Conference Proceedings, Page 298-306
- [Kö01] Königstein 2001. Fachdidaktische Gespräche zur Informatik an der TU Dresden, Arbeitsgruppe: Modellbildung im Informatikunterricht. Königstein, 14.-16.03.2001
- [Lo96] Peter Lorenz, Thomas J. Schriber, Teaching Introductory Simulation in 1996: From the First Assignment to the Final Presentation, 1996 Winter Simulation Conference Proceedings, Seite 1379-1387
- [Ra93] Lennart Råde, Simulationen, Ferd. Dümmler Verlag, Bonn, 1993
- [SH00] Ingolf Ståhl, Henry Herper, Einführung in die Simulation mit Micro-GPSS, Vorlesungsskript 2000, Handelshochschule Stockholm/Universität Magdeburg.