

Modellierung und Simulation dynamischer Systeme

(A. Fischlin, W. Schaufelberger)

1 Das Pilotprojekt CELTIA

Dynamische Systeme sind in Technik und Natur überall anzutreffen und deren Untersuchung spielt in den Ingenieurwie in den Naturwissenschaften eine zunehmend wichtige Rolle. Diese Entwicklung ist stark durch die heutige ökonomische Verfügbarkeit moderner Arbeitsplatzrechner, insbesondere der Personal Computer, in Gang gesetzt worden. Mit dem Pilotprojekt CELTIA sollten im Bereich der Modellierung und Simulation dynamischer Systeme an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich [ETHZ] erste Erfahrungen mit den neuen Technologien im Unterricht gesammelt werden.

Modellierung und Simulation können nicht nur theoretisch vermittelt werden, sondern bedürfen der lebendigen Erfahrung. In besonderem Masse gilt dies für die sog. schlecht-definierten Systeme (CELLIER & FISCHLIN, 1980). Ein tieferes Verständnis des dynamischen Verhaltens komplexer Systeme ist nur mittels der Simulation möglich. Durch Simulationen kann dem Studenten das zeitliche Verhalten dynamischer Systeme unmittelbar erlebbar vorgeführt werden, und er kann in die Lage eines Systemmanagers respektive Systembauers versetzt werden. Dadurch erlebt er anschaulich, dass ohne genaue Analyse ein System kaum in einer gewünschten Richtung beeinflusst werden kann. Diese Erfahrungen sollen helfen, die Lernmotivation der Studenten zu steigern, die Fähigkeiten zum Modellieren von Systemen zu schu-

len und ein exaktes Systemdenken zu erlernen.

Entdeckendes oder exploratives Lernen (NEBER 1973) ist bei der Modellierung und Simulation dynamischer Systeme wichtig. Bei dieser Art des Lernens wird der Student in die Rolle eines Forschers, der versucht, etwas über die Gesetzmäßigkeiten des Verhaltens eines Systems zu erfahren, versetzt. Er entwirft Modellexperimente, führt sie auf einem Rechner aus und interpretiert das beobachtete zeitliche Verhalten. Daher die Bezeichnung des Pilotprojektes CELTIA, die ein Akronym folgenden Inhaltes darstellt: Computer-aided Explorative Learning and Teaching with Interactive Animated Simulation oder Deutsch Computerunterstütztes exploratives Lehren und Trainieren mit interaktiver animierter Simulation.

2 Ziele

Die erklärten Ziele des Pilotprojektes CELTIA sind:

- Erarbeitung und Formulierung pädagogischer Konzepte
- Beschaffung und Evaluation von schon existierender Unterrichtssoftware
- Entwicklung von Unterrichtssoftware
- Einsatz der Unterrichtssoftware in regulären Veranstaltungen
- Evaluation des Einsatzes

- Versuch zur Formulierung allgemeingültiger Empfehlungen und Zugänglichmachung derselben in Form eines Erfahrungsberichtes

Die groben pädagogischen Konzepte waren bald klar: Der Computer sollte in erster Linie als Vorführ- und Simulationsmaschine verwendet werden (ANONYMUS 1986). Nicht ein Ersatz des Dozenten, sondern das vermehrte Arbeiten der Studenten in Gruppen während den Übungen, steht im Vordergrund. Die Studenten sollen zu selbständigem Entscheiden (z.B. selbständiges Planen von Modellexperimenten) angeleitet werden und sollen lernen, gezielte Fragen formulieren zu können (z.B. Abändern von Modellparametern und daraus abgeleitete Erwartung über das Systemverhalten). Das dank dialogfähigem Arbeitsplatzrechner unmittelbar folgende Erleben der Resultate mittels interaktiver Simulation stellt eine positiv zu beurteilende, unmittelbare Rückmeldung über Erfolg oder Misserfolg der vorangegangenen Überlegungen dar. Lernpsychologisch wird solches Arbeiten als dem Lernprozess besonders förderlich beurteilt.

Das Pilotprojekt CELTIA sollte sich nicht auf eine einzige Fachrichtung beschränken, sondern es wurde versucht, ETH-weit Erfahrungen zu sammeln. Infolge der Mittelbeschränkungen wurde beschlossen, eine gezielte Auswahl zu treffen, indem sowohl im Ingenieur- wie auch im naturwissenschaftlichen Bereich je mindestens eine exemplarische Untersuchung durchgeführt wurde. In beiden Bereichen sollte die Beschaffung und Evaluation von schon existierender sowie die Entwicklung von spezieller Unterrichtsssoftware untersucht werden.

Der Einsatz der erstellten Unterrichtsssoftware hatte an der ETH in konkreten Unterrichtssituationen zu erfolgen. Es wäre auch denkbar gewesen, Erfahrungen ausserhalb regulärer Veranstaltungen zu suchen. Trotzdem fiel der Entscheid zugunsten schon existierender, in Nor-

malstudienplänen angebotener Veranstaltungen aus, wobei die folgenden Überlegungen ausschlaggebend waren: Die Evaluation in speziell zu diesem Zweck geschaffenen Unterrichtssituationen ist problematisch: Meist werden bewusst oder unbewusst aussergewöhnliche Bedingungen geschaffen: z.B. fällt das Verhältnis zwischen Dozent resp. Assistenten und Studenten ungewöhnlich zugunsten der Betreuer aus, oder das Interesse der Unterrichtenden ist derart gross, dass beim Kontakt mit den Studenten besondere Motivationsstrukturen entstehen, die die Evaluation verfälschen können (BORK, 1980). Der eigentliche Prüfstein jeglicher Unterrichtsform ist deshalb der realistische Grosseinsatz in der regulären Veranstaltung. Zur Durchführung derartiger Versuche fiel die Wahl auf zwei Fächer, je eines aus dem Ingenieur- und dem naturwissenschaftlichen Bereich: Automatisierungstechnik (Abt. IIIB für Elektrotechnik) und Ökologische Systemanalyse (Abt. VII für Landwirtschaft und Abt. X für Naturwissenschaften).

Man kann zwischen interner und externer Evaluation unterscheiden. Die interne Evaluation wird durch die beteiligten Dozenten und Assistenten selbst, die externe durch aussenstehende, in den Unterricht nicht miteinbezogene Fachleute durchgeführt. Prof. Dr. H. Fischer vom Institut für Verhaltenswissenschaften der ETHZ stellte sich zur Verfügung, bei der Evaluation zu beraten und mitzuhelfen.

3 Ablauf

Das Projekt wurde in mehrere Phasen aufgeteilt. In der ersten Hälfte, über die nun berichtet wird, wurde der Computer hauptsächlich als Vorführgerät während der Frontalvorlesung und als Simulationsmaschine im Übungsbetrieb für den Grund- und Fachunterricht der unteren Stufe verwendet (s. Fig. 1a und 1b).

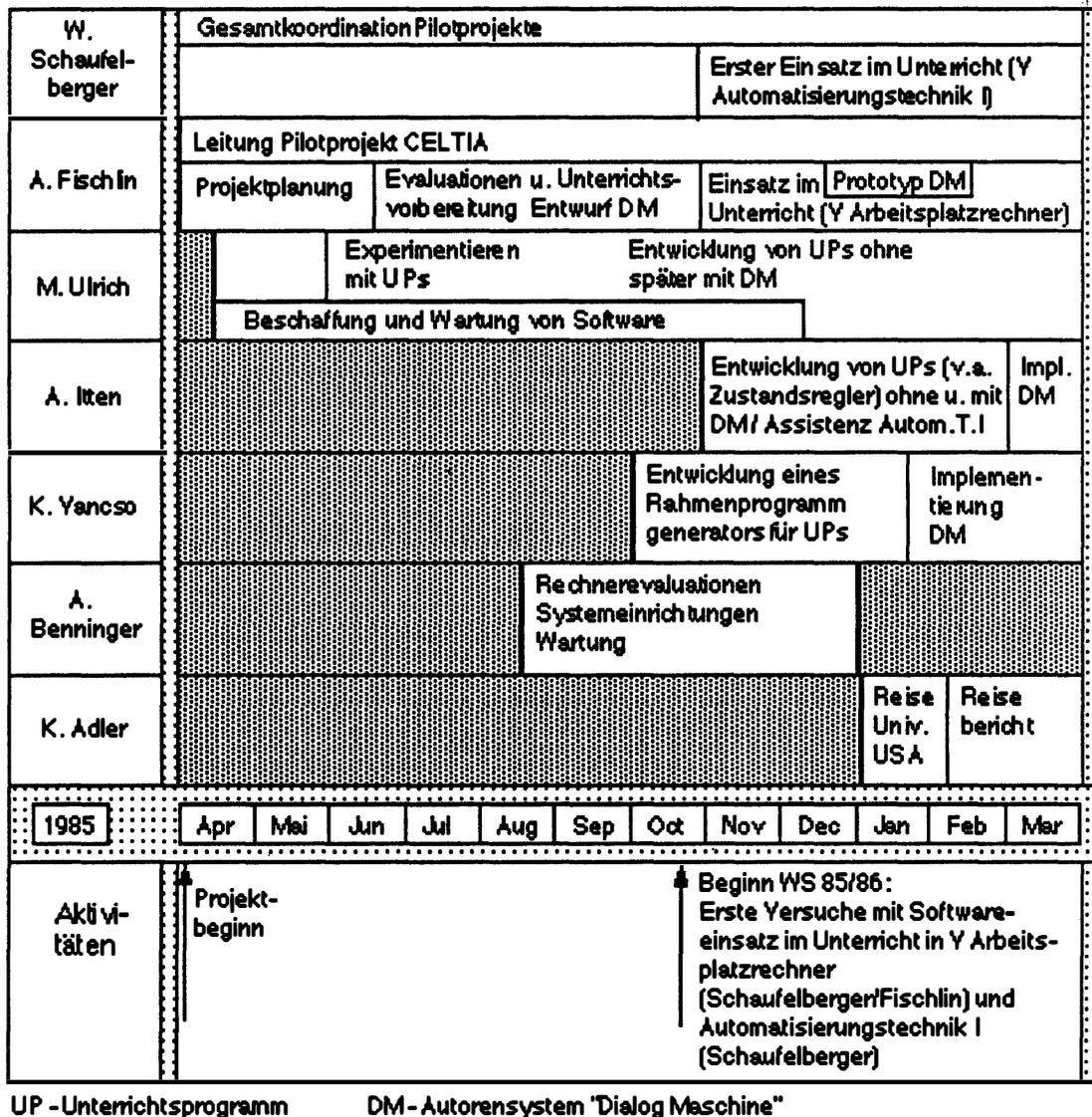


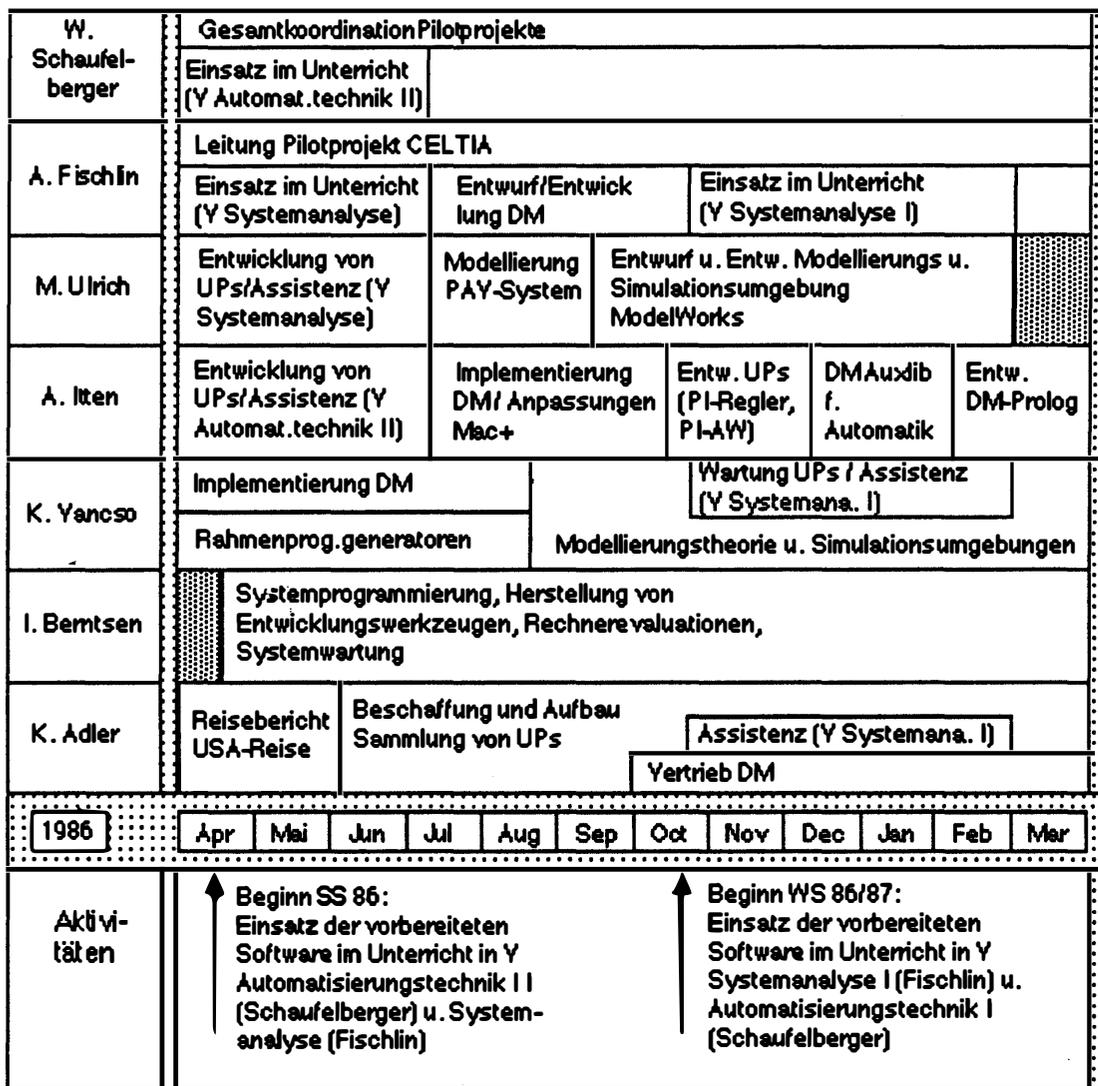
Fig. 1a: Projektübersicht erste Hälfte der ersten Phase des Pilotprojektes CELTIA (1985/86). Alle Mitarbeiter haben nur teilweise am Projekt mitgearbeitet (Teilzeitanstellung oder teilzeitige Projektmitarbeit).

In der zweiten, zurzeit noch bevorstehenden Hälfte, sollen Erfahrungen beim Einsatz des Computers als Werkzeug zur Modellierung und Simulation für Studenten der höheren Semester im Vertiefungsstudium oder für Diplomanden und Doktoranden gesammelt werden.

Zu Beginn des Pilotprojektes wurden die Projektplanung und Vorbereitungsarbeiten durchgeführt. Es wurde davon abgesehen, eigene Computereinrichtungen

vorzunehmen. Stattdessen wurde vorgezogen, gerade stattfindende Einrichtungen, die im Sommer 1985 durch das Institut für Informatik der ETH vorgenommen wurden, mitzuverwenden. Hierunter fielen die ETH-weit vorhandenen Übungsräume für Apple[®] Macintosh[™] Computer.

Die Mitarbeiter des Pilotprojektes wurden im Verlaufe des ersten Jahres angestellt (Fig. 1a) Es entstand eine interdis-



UP - Unterrichtsprogramm DM - Autorensystem "Dialog Maschine"

Fig. 1b: Projektübersicht zweite Hälfte der ersten Phase des Pilotprojektes CELTIA (1986/87). Alle Mitarbeiter haben nur teilweise am Projekt mitgearbeitet (Teilzeitanstellung oder teilzeitige Projektmitarbeit).

ziplinär zusammengesetzte Gruppe bestehend aus drei Elektroingenieuren (W. Schaufelberger, A. Itten, I. Berntsen), einer Wirtschaftswissenschaftlerin (K. Adler), einem Wirtschaftsinformatiker aus der Industrie (A. Benninger, nur kurze Anstellung), einer Informatikerin/Mathematikerin (K. Vancso) und zwei Naturwissenschaftlern aus dem biologischen Bereich (M. Ulrich, A. Fischlin). Erste Abklärungen ergaben, dass befriedigende und brauchbare Unterrichtssoftware im Bereich der Modellierung und Simu-

lation auf Macintosh Personal Computern praktisch kaum existiert. Mit einigen wenigen Ausnahmen konnten weder kommerzielle noch Public Domain Programme beschafft werden. Es ergab sich deshalb die Notwendigkeit, die Entwicklung von eigener Unterrichtssoftware ins Auge zu fassen. (Eine die Regel bestätigende Ausnahme stellte einzig das kommerzielle Produkt STELLA dar, ein Modellierungs- und Simulationswerkzeug, aufbauend auf den sog. Techniken der Systems Dynamics Schule, die am Ende der 60er-Jahre am MIT (FORRESTER 1970; ROBINSON 1986) entwickelt worden sind.)

W. Schaufelberger	Koordination		Gesamtkoordination Pilotprojekte									
	Einsatz im Unterricht (Y Automat.technik II)							Einsatz im Unterricht (Y Automat.technik I)				
A. Fischlin	Leitung Pilotprojekt		Leitung Pilotprojekt CELTIA									
	Einsatz im Unterricht (Y Systemanalyse)		DM0.4/5 Modellwerke		Einsatz im Unterricht (Y Systemanalyse I)							
A. Iten	DMP log UPs	Implemen tierung DM 0.4	DM 0.4 0.5		Integration UPs Automatik DM0.6 und 1.0 (Mac II)							
	Modellierungs theorie u. SAM		SAM		SAM DM0.6/1.0 (Anpass. Mac II u. MultiFinder)							
I. Berntsen	Dokumentation u. Test DM, Entw.werkzeuge, Systemwartung											
K. Adler	Wartung Sammlung UPs											
	Assist. Betriebswirtsch.											
	Vertrieb DM											
1987	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
Aktivitäten	↑ Beginn SS 87: Einsatz der vorbereiteten Software im Unterricht in Y Automatisierungstechnik II (Schaufelberger) u. System- analyse (Fischlin)						↑ Beginn WS 87/88: Einsatz der vorbereiteten Software im Unterricht in Y Systemanalyse I (Fischlin) u. Automatisierungstechnik I (Schaufelberger)					

UP - Unterrichtsprogramm DM - Autorensystem "Dialog Maschine"

Fig. 1c: Projektübersicht Abschluss der ersten Phase des Pilotprojektes CELTIA (1987/88). Alle Mitarbeiter haben nur teilweise am Projekt mitgearbeitet (Teilzeitanstellung oder teilszeitige Projektmitarbeit).

Die Mitarbeiter wurden alle mit Geräten, wie sie auch den Studenten in den Übungsräumen im nächsten Wintersemester zur Verfügung stehen würden, ausgerüstet: Pro Mitarbeiter je einen Macintosh (6 Geräte je mit 512KB RAM, 2 400KB Laufwerken) und einen Matrixdrucker (ImageWriter I) und ein Terminal für den Zugriff auf grössere Rechner einzelner Abteilungen (VAX) oder das RZ via KOMETH. Später wurden die Rechner gegen die leistungsfähigeren MacPlus (1 MB RAM, 2 800KB Diskettenlaufwerke) ausgetauscht, Festplatten angeschafft (4 HD à 20MB) und die

Rechner mit dem lokalen Netzwerk AppleTalk verbunden, um einen gemeinsamen Laserdrucker (LaserWriter Plus) zu betreiben. Schliesslich wurden zwei leistungsstärkere Arbeitsplatzrechner mit einem Fileserver beschafft (Sun 3/50 mit Sun 3/160 Fileserver, UNIX BSD 4.1, ETHERNET).

Als erstes wurden erste Versuche für das Wintersemester 85/86 vorbereitet. Es wurden ebenfalls Kontakte mit weiteren interessierten Dozenten gesucht. Es wurde entschieden, die folgenden Veranstaltungen aus dem Ingenieur- resp. natur-

wissenschaftlichen Bereich zu unterstützen:

Automatisierungstechnik I, Abt. IIIB, 7. Sem. (W. Schaufelberger, WS 85/86 u. 86/87) und

Automatisierungstechnik II, Abt. IIIB, 8. Sem. (W. Schaufelberger, SS 86 u. SS 87)

Systemanalyse, Abt. VII AW, 6. Sem., TP, PP, 8. Sem.; Abt. X Aa, 6. Sem. (A. Fischlin, SS 86)

Systemanalyse I (Allg. Systemtheorie), Abt. VII AW, 5. Sem., TP, PP, 7. Sem., Abt. X Aa, 5. Sem. (A. Fischlin, WS 86/87 u. 87/88)

Systemanalyse II (Landwirtschaftliche Anwendungen), Abt. VII AW, 6. Sem., TP, PP, 8. Sem. (Roth, Fischlin, Onigkeit, SS 87 u. 88)

Systemanalyse II (Naturwissenschaftliche Anwendungen) Abt. X Aa, 5. Sem. (Fischlin, Imboden, Roth, SS 87 u. 88)

Diese Vorlesungen wurden von 30 bis 50 Studenten besucht. Für die Übungen standen 30 Geräte zur Verfügung.

Der allgemeinen Informationsbeschaffung zum Thema Computer im Unterricht diente eine Reise der neuen Mitarbeiterin K. Adler, die im Januar und Februar 1986 eine grosse Zahl von amerikanischen Universitäten besuchte. Die Ergebnisse dieser Reise sind im Bericht ADLER (1986) dargestellt. Sie bestätigten die Einschätzungen der ersten Abklärungen: An den amerikanischen Universitäten wurden in den entsprechenden Projekten hauptsächlich Forschungsarbeiten ausgeführt. Aus diesem Grunde gibt es nur vereinzelt brauchbare Unterrichts-Software und den meisten Anstrengungen zur Eigenentwicklung schien es an Professionalität zu mangeln, was die Aussicht, derartige Produkte je weiterverwenden zu können, als dürftig erscheinen liess.

Die traditionelle Entwicklung von Software ist aufwendig. Die Entwicklung

von speziellen Unterrichtsprogrammen muss aber besonders effizient erfolgen können, da sie sich sonst kaum rechtfertigen lässt. Autorensysteme bezwecken, den Programmieraufwand zur Herstellung von Unterrichtsprogrammen wesentlich zu erniedrigen. Allerdings existierten derartige Autorensysteme hauptsächlich im Bereich der Drill- und Trainingsprogramme, nicht aber im Bereich der Simulation. Es wurde deshalb entschieden, im Rahmen des Pilotprojektes CELTIA ein eigenes, neues Autorensystem zu entwickeln, das den folgenden Anforderungen genügen könnte:

- Rasche Entwicklung von Unterrichtsprogrammen
- Grosse Mächtigkeit, ähnlich derjenigen einer modernen Programmiersprache, wie z.B. Modula-2 (WIRTH, 1985)
- Erleichterungen durch Zuschnitt von speziellen Softwarekomponenten im Bereich Modellierung und Simulation auf den Hochschulunterricht (z.B. Module für numerisches Integrieren, Graphik, usw.).

Erste Experimente in dieser Richtung wurden mit Rahmenprogrammgeneratoren (VENTURA 1985; VANCISO 1986) vorgenommen. Doch führten Überlegungen über das bei Rahmenprogrammen verwendete Benutzermodell (VANCISO & FISCHLIN, 1987) bald zum Entschluss, die Entwicklung eines neuen Ansatzes, dem Autorensystem "Dialog Maschine" (FISCHLIN 1986), in Angriff zu nehmen.

Die Grundideen der "Dialog Maschine" sind die folgenden: Das Benutzermodell (Modell des Benutzers, das einheitliches und logisches Arbeiten mit einem Programm ermöglicht) wird durch die Trennung des Dialogs von der eigentlichen Anwendungsprogrammierung verwirklicht. Die "Dialog Maschine" stellt eine allen Programmen gemeinsame, vorprogrammierte Zwischenschicht zwischen dem Benutzer und der Anwendungssoftware dar. Aller Dialog zwischen Benut-

zer und Anwendungsprogramm erfolgt ausschliesslich durch und unter Kontrolle der "Dialog Maschine". Hat ein Student einmal den Gebrauch der "Dialog Maschine" erlernt, so entfällt die Einarbeitungszeit in die Bedienungstechnik bei einem anderen Unterrichtsprogramm, das ebenfalls mit Hilfe der "Dialog Maschine" hergestellt worden ist. Durch die Vorprogrammierung des Dialogs kann gleichzeitig der Programmieraufwand massiv verkürzt werden. Der Aufwand für die Dialogprogrammierung bei benutzerfreundlichen und erst noch studententauglichen Programmen ist sehr gross (ca. das zehn- bis hundertfache der Kernalgorithmen). Die "Dialog Maschine" stellt zudem eine konsequente Weiterentwicklung auch schon anderweitig formulierter Ideen, die im Zusammenhang mit der Dialoggestaltung bei interaktiven Programmen angestellt worden sind, dar (NIEVERGELT & WEYDERT 1980; NIEVERGELT & VENTURA 1984; NIEVERGELT et al. 1986).

Mit Hilfe der "Dialog Maschine" war es möglich, eine stattliche Reihe von spezifischen Unterrichtsprogrammen (Courseware) für Studentenübungen zu entwickeln:

Ingenieurwissenschaften:

- Zustandsregler (A. Itten & W. Schaufelberger)
- Adaptive Regelung ADAPT (A. Itten & M. Dordjevic)
- Einstellung eines PI-Reglers (A. Itten & W. Schaufelberger)
- Antiwindup bei PI-Reglern (A. Itten & W. Schaufelberger)
- PI-Regler mit kleinem Expertensystem (A. Itten & W. Schaufelberger)

Naturwissenschaften:

- Das Wetter (M. Ulrich & A. Fischlin)
- Stabilität (A. Fischlin & M. Ulrich)
- Drosophila (A. Fischlin & M. Ulrich)
- Euler Animation (M. Ulrich)
- Identifikation (K. Vancso & A. Fischlin)

Ebenfalls konnten mit Hilfe der "Dialog Maschine" die folgenden Vorführprogramme, die während Vorlesungen eingesetzt worden sind, entwickelt werden:

- Regelkreis (A. Fischlin)
- Drosophila Demo (A. Fischlin & M. Ulrich)
- Euler Animation (M. Ulrich)
- Zufall (A. Fischlin)
- Stabilität (A. Fischlin & M. Ulrich)
- Populationsdynamik LBMMod (A. Fischlin)

Aufbauend auf der "Dialog Maschine" wurden zum Teil in Zusammenarbeit mit anderen Gruppen ebenfalls eine Reihe von Werkzeugen und Arbeitsumgebungen entwickelt:

- DM-Prolog ("Dialog Maschine" Version des Modula-Prologs von C. Muller, ETHZ und BBC, und einer kleinen dazugehörigen Expertenschale) (A. Itten & W. Schaufelberger)
- ModelWorks (An interactive Modula-2 simulation environment) (M. Ulrich & A. Fischlin)
- Surface (3D-Surfaces plotting tool) (O. Roth)
- DMResMover (Bildverwaltungsprogramm zur Entwicklung von Unterrichtsprogrammen) (I. Berntsen)
- Rahmenprogrammgenerator für allg. "Dialog Maschine"-Programme (Graphenmodell) GAG (X. Öztürk & R. Kronenbourg)

Die allgemeine Modellierungs- und Simulationssoftware ModelWorks erwies sich insbesondere auch auf höherer Ausbildungsstufe (5.-8. Sem.) als brauchbar, ermöglichte sie doch selbst die direkte Auseinandersetzung der Studenten mit laufenden Forschungsarbeiten (FISCHLIN 1982; BALTENSWEILER & FISCHLIN 1987).

Schliesslich sei noch erwähnt, dass immer wieder der Einsatz von Standardsoftware, sog. Endbenutzerprogrammwerkzeugen und kommerziellen Entwicklungsumgebungen (Tabellenkalkula-

tion, Datenverwaltungsprogrammen, Compiler etc.) erprobt und häufig im Unterricht angewandt wurde. Folgende Software gelangte hierbei zum Einsatz: MacWrite, MacPaint, FileVision, Excel, STELLA, Dysis, Matlab, MockWrite, Modula-2/86 (Logitech), Turbo Pascal, MacPascal, Lisp, c-Forth, MS Fortran und Modula-2 (MacMETH).

Für die zukünftigen Arbeiten ist geplant, die höhere Leistungsstufe der 32-Bit Rechner, z.B. Sun und Macintosh II, vermehrt zu untersuchen. Hierzu soll die "Dialog Maschine" auf dem Macintosh II und der Sun implementiert werden. Es werden ebenfalls allgemein verwendbare Modellierungs- und Simulationswerkzeuge SAM auf der Modellierungstheorie (WYMORE 1984; ZEIGLER 1976, 1984; VANCSO et al. 1987) basierend entworfen und entwickelt (Fig. 1c).

4 Ergebnisse

Die Erfahrungen, die im Verlaufe des Pilotprojektes CELTIA gewonnen wurden, können folgendermassen zusammengefasst werden: Arbeitsplatzrechner lassen sich im Unterricht bei der Modellierung und Simulation dynamischer Systeme sehr erfolgreich als Vorführ- und als Simulationsmaschine einsetzen. Das Verständnis der Studenten für dynamische Systeme und Prozesse kann dadurch wesentlich verbessert werden.

Als Vorführmaschine kann der Computer sehr schön den Studenten dynamische Geschehen veranschaulichen, z.B. die Entstehung eines Phasenporträts, die ansonsten bloss in statischer Form, und deshalb oft für die Studenten in vielen Belangen unverständlich, vermittelt werden können. Viele Informationen, z.B. über den zeitlichen Ablauf eines Prozesses, können auf diese Weise implizite beim Betrachten z.B. des Aufbaus

einer Graphik weitergegeben werden, ohne dass der Student in seinem Aufnahmevermögen zusätzlich belastet würde.

Die Rolle des Dozenten verändert sich im Ausmass wie der Computer als Simulationsmaschine zu studentischen Übungszwecken eingesetzt wird. Hier kann der Dozent eine Entlastung vom Frontalunterricht weg zugunsten einer intensiveren Zweiwegkommunikation zwischen Studenten und Betreuern erwirken. Zudem erhält der Student eine aktivere Rolle, was ihn zu selbständigerem Arbeiten und besserem Problemlösungsverhalten bringt. Allerdings bedarf ein derartiges Lernen einer zwar andersartigen, dennoch intensiven Betreuung durch den Dozenten und die Assistenten.

Auf was stützen sich diese Schlussfolgerungen?

Aus einer Reihe von Gründen sind Evaluationen von Unterrichtsveranstaltungen äusserst schwierig vorzunehmen. Einmal wechseln sowohl Inhalt, Studenten wie auch Dozenten in einem Masse, dass es schwierig ist, statistisch gesicherte Ergebnisse zu erhalten. Die Studentenzahlen je Semester und Veranstaltung sind ja meist eher klein und an einer Hochschule weist fast jede Veranstaltung von Semester zu Semester gewisse inhaltliche Unterschiede auf. Ein zweiter Grund ist der sogenannte "Keep smiling effect", der immer dann auftritt, wenn versucht wird, eine Studentengruppe in zwei Teile aufzutrennen. Studenten als intelligente Wesen wissen um diese Tatsache. Die Erfahrung zeigt, dass dieser "Keep smiling effect" die Ergebnisse schwerwiegend verfälschen kann (FISCHER, pers. Mittlg.; BORK, 1980). Schliesslich gibt es grundlegende, qualitative Unterschiede beim Unterricht mit und ohne Computer. Sinnvoller Einsatz des Computers im Hochschulunterricht bedeutet nicht, dass der gleiche Stoff einmal mit und einmal ohne Computer gelernt wird. Nein, vielmehr muss sich auch der Inhalt ändern, was einen direkten Vergleich praktisch verunmöglicht. Trotzdem wur-

de versucht, mit Hilfe von Fragebögen und der Auswertung periodischer Erfahrungen durch die Dozenten, zumindest eine *Interne Evaluation* durchzuführen: Es wurden die Befragungsbögen der HRK der UNIZ benutzt. Zudem wurde ein eigener Fragebogen zwecks Erhebung der Akzeptanz und des Lernerfolges entworfen und durch die Studenten im WS 86/ 87 ausgefüllt. Nach ihren eigenen Angaben sind die Studierenden sehr zufrieden mit der neuen Unterrichtsform.

Die persönliche Bewertung aus der Sicht der Dozenten ergab z.B., dass der Aufwand zur Vorbereitung bei starkem Einsatz von Computern im Unterricht grösser wird. Insbesondere ist die Herstellung von Courseware aufwendig. Bei der Benutzung eines Autorensystems wie z.B. der Dialog Maschine fällt die eigentliche Programmierung jedoch weit weniger ins Gewicht, als gemeinhin angenommen wird. Vielmehr ist der Aufwand zum Entwurf und der Herstellung der Begleitdokumentation für eine Courseware beträchtlich, denn er ist mindestens ebenso gross, wenn nicht gar grösser, als derjenige für die Programmierung selbst. Die Erfahrungen zeigten ebenfalls, dass Vorführungen während dem Frontalunterricht den Studenten Wesentliches über das Verhalten und den Umgang mit dynamischen Systemen, das mit keinem anderen Medium erreicht werden könnte, vermitteln. Im grossen und ganzen konnte der Unterricht verwesentlich und die Studenten zu selbständigerem Arbeiten veranlasst werden. Dadurch ergibt sich eine Erhöhung des Unterrichtsniveaus, das jedoch durch die Studenten infolge der Möglichkeiten zu aktiverem Mitarbeiten durchaus als positiv beurteilt wird.

Insgesamt ergeben sich die folgenden Auswirkungen auf den Unterrichtsstil: Vermehrtes selbständiges Arbeiten durch die Studenten, angeregte Gruppenarbeit und häufigere Gespräche zwischen Dozent, Assistenten und Studenten.

Beim Übungsbetrieb fällt auf, dass er einer intensiveren Betreuung bedarf, als oft angenommen wird. Allerdings können geeignete Vorführungen zu Beginn der Übungsstunden durch den Dozenten den Bedarf an Betreuung durch Assistenten wesentlich reduzieren helfen. Insgesamt scheint sich der andersartige, v.a. auf die Vorbereitung verlagerte Aufwand jedoch zu lohnen, da die Studenten eindeutig ein vertieftes Verständnis dynamischer Systeme gewinnen. Das ist hauptsächlich auf ihre aktivere Rolle beim selbständigen Arbeiten mittels der Courseware während den Übungen zurückzuführen. Zudem bietet ein derartiger Übungsbetrieb einmalige Gelegenheiten, um Fachgespräche beim Kontakt zwischen Betreuern (Dozent, Assistenten) und Studenten zu entfachen. Die anhand einzelner Courseware gewonnenen Erkenntnisse sind nicht nur von unmittelbarer praktischer Bedeutung, sondern helfen auch mit, den Studenten auf eine intensivere Auseinandersetzung mit der Theorie vorzubereiten. Der Student wird gezwungen, sich eine Strategie des systematischen Experimentierens anzueignen, da er sonst keine Lösungen der gestellten Übungsaufgaben finden kann. Dadurch wird generell das Problemlösungsverhalten der Studenten verbessert.

Autorensysteme spielen beim Unterrichtseinsatz eine entscheidende Rolle. Das Autorensystem "Dialog Maschine" ist nicht nur innerhalb des Pilotprojektes, sondern auch Interessierten innerhalb und ausserhalb der Hochschule zur Verfügung gestellt worden. Es ist bis heute von mehr als 50 Gruppen und Einzelpersonen aus der Industrie, Schulen, Universitäten im In- wie im Ausland verwendet worden. Neben den eigenen Erfahrungen sind auch alle erhaltenen Rückmeldungen durchwegs positiv ausgefallen. Einige Beispiele sind Programme, die mit der "Dialog Maschine" für den Informatikunterricht an der ETHZ entwickelt worden sind (VENTURA & GOORHUIS 1987; NÜNLIST 1987), PharmaTutor (KELLER 1987) oder das Projekt Kranzug

der Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich (WETTSTEIN & GERING 1987). Diese Erfahrungen zeigen, dass die Dialog Maschine den Einsatz von Vorführ- und Simulationsprogrammen wesentlich erleichtert und unterstützt.

Die neuen Technologien haben im Großen und Ganzen gehalten, was man sich eingangs von ihnen versprochen hatte. Ein sinnvoller Einsatz von Computern verlangt jedoch eine nicht zu unterschätzende Umstellung des Unterrichts, was eine Verwesentlichung des Stoffes, eine Verlagerung des Arbeitsaufwandes auf die Vorbereitung bedingt und den Unterrichtsstil dahingehend ändert, dass die Studenten vermehrt zu selbständigem Arbeiten und zu Diskussionen mit den Betreuern angehalten werden. Dadurch kann der Unterricht für alle Beteiligten interessanter und erfolgreicher gestaltet werden. Der Einsatz im Bereich der Modellierung und Simulation dynamischer Systeme ist insgesamt als sehr positiv zu beurteilen. Dank der verwendeten Informatikmittel, haben sich die angestrebten Unterrichtsziele wirkungsvoll realisieren lassen.

5 Verzeichnis der verfassten Publikationen und Berichte

- ADLER, K.J., 1986. *The Computerization of Higher Education: The Experience of Pioneers in the Field*. Interner Bericht No. 86-07, Institut für Automatik und Industrielle Elektronik, ETH, Zürich.
- BERNTSEN, I.J., 1987. *DMResMover. A Dialog Machine Tool for Retrieving, Copying and Deleting Resources*. Int. Bericht, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich.
- FISCHLIN, A. & ULRICH M., 1986. *Unterrichtsprogramm "Drosophila"*. Int. Bericht, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich.
- FISCHLIN, A. & ULRICH, M., 1986. *Unterrichtsprogramm "Stabilität"*. Int. Bericht, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich.
- FISCHLIN, A. & ULRICH, M., 1987. *Interaktive Simulation schlecht-definierter Systeme auf modernen Arbeitsplatzrechnern: die Modula-2 Simulationssoftware ModelWorks*. GI/ASIM-Mitteilungen aus den Arbeitskreisen, AK "Simulation in Biologie und Medizin", Heft Nr. 3, February, 27-28, 1987, Vieweg, Braunschweig, 1-8.
- FISCHLIN, A. & SCHAUFELBERGER, W., 1987. *Arbeitsplatzrechner im Technisch-naturwissenschaftlichen Hochschulunterricht*. Bulletin SEV/VSE, 78 (Januar): 15-21.
- FISCHLIN, A., 1986. *The "Dialog Machine" for the Macintosh*. Int. Bericht, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich.
- FISCHLIN, A., MANSOUR, M., RIMVALL, M. & SCHAUFELBERGER, W., 1986. *Simulation and Computer Aided Control System Design*. In: Troch, I. (ed.), *Engineering Education*. IFAC/IMACS Symp. on Simulation of Control Systems. Vienna, Austria, Sep. 22.-26, 1986, im Druck.
- ITTEN, A., 1986. *Unterrichtsprogramm "Diskreter Zustandsregler mit Beobachter"*. Int. Bericht, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich.
- ITTEN, A., 1986. *Unterrichtsprogramm "Einstellung eines PI-Reglers"*. Int. Bericht, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich.
- ITTEN, A., 1987. *Unterrichtsprogramm "Antiwindup bei PI-Regler"*. Int. Bericht, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich.
- SCHAUFELBERGER, W., 1987. *Teachware for Control*. 10th IFAC World Congress, München, Juli 1987.
- SCHAUFELBERGER, W., GOOD, H. & ITTEN, A., 1986. *Einsatz von Personalcomputern in der Aus- und Weiterbildung von Automatisierungsingenieuren*.

- ren. In: *Neue Automatisierungstechniken, Chancen für Klein- und Mittelbetriebe*. ATÖ-Informationstagung 1986. Springer-Verlag, pp. 310-315.
- SCHAUFELBERGER, W., GOOD, H. & ITTEN, A., 1986. *Education for Micro-processor Application in Control*. IFAC Symp. on Microcomputer Application in Process Control. Istanbul, Turkey, 1986.
- ULRICH, M. 1987. *ModelWorks. An interactive Modula-2 simulation environment*. Nachdiplomarbeit, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich, 53 pp.
- VANCSO, K. & FISCHLIN, A., 1987. *User Models of Interactive Learning Programs*. Int. Bericht, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich.
- VANCSO, K., 1986. *A portable frame program generator in Modula-2 for automatic construction of interactive learning programs based on the 'series-parallel-repetition' user model - User's Guide*. Int. Bericht, Projekt-Zentrum IDA, ETH-Zürich.
- VANCSO, K., FISCHLIN, A. & SCHAUFELBERGER, W. 1987. *Die Entwicklung interaktiver Modellierungs- und Simulationssoftware mit Modula-2*. In: Halin, J. (ed.), *Simulationstechnik, Informatik-Fachberichte 150*, Springer, Berlin: 239-249
- BORK, A. 1980. *Educational technology center at the University of California*. In: Lewis & Tagg (eds.), *Computer assisted learning*. North-Holland Publishing Comp.: 37-53
- CELLIER, F.E. & FISCHLIN, A. 1980. *Computer-assisted modelling of ill-defined systems*. In: Trappl, R., Klir, G.J. & Pichler, F.R. (eds.), *General Systems Methodology, Mathematical Systems Theory, Fuzzy Sets, Proc. of the Fifth European Meeting on Cybernetics and Systems Research, Vol. VIII*, 417-429, McGraw-Hill Intern. Book Comp., Washington, New York, 1982, 544pp.
- FISCHLIN, A., 1982. *Analyse eines Wald-Insekten-Systems: Der subalpine Lärchen-Arvenwald und der graue Lärchenwickler *Zeiraphera diniana* Gn. (Lep., Tortricidae)*. Diss. ETH Nr. 6977, Zürich. 294 pp.
- FORRESTER, J.R. 1970. *Principles of systems*. Addison Wesley, N.Y.
- GUGGENBUHL, R. 1985. *Informatikwerkzeuge für alle im Unterricht der ETHZ*, Bulletin der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Nr. 193 (Mai/Juni), 1985: 18.
- KAUFMANN, S., 1986. *Mechanics Exercises with Computer Assistance*, Int. Bericht, Institut für Mechanik, ETH Zürich.
- NEBER, H. (ed.) 1973. *Entdeckendes Lernen*. Beltz, Weinheim und Basel, 300pp.
- NIEVERGELT, J. & VENTURA, A., 1984. *Die Gestaltung interaktiver Programme*, B. G. Teubner Stuttgart
- NIEVERGELT, J. & WEYDERT, J., 1980. *Sites, modes and trails: Telling the user of an interactive system where he is, what he can do, and how to get to places*, In: R. A. GUEDJ et al. (eds.), *Methodology of Interaction*, pp. 327-338, North-Holland, Amsterdam
- NIEVERGELT, J., VENTURA, A. & HINTERBERGER, H., 1986. *Interactive Computer Programs for Education*, Addison-Wesley Publishing Company, 190pp.

6 Zitierte Literatur

Einige der eigenen Arbeiten sind bereits unter Punkt 5 aufgeführt.

- ANONYMUS 1986. Nomenklatur - Bericht der Arbeitsgruppe der Schweizerischen Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren EDK (CDIP) "Informatikmittel im Unterricht", 11pp.
- BALTENSWEILER, W. & FISCHLIN, A., 1987. *The larch bud moth in the European Alps*. In: Berryman, A.A. (ed.), *Population Dynamics of Forest Insects: Patterns, Causes, and Management Strategies*, in print.

- NÜNLIST 1987. *ISD - Interactive Screen Design*. Diplomarbeit, Institut für Informatik, ETH Zürich.
- ROBINSON, S.B., 1986. *STELLA - Modeling and simulation software for use with the Macintosh*, Byte: 277-278
- VENTURA, A., 1985. *Einsatz und Programmierung des Computers als Werkzeug für den Unterricht*. Diss. ETH Nr. 7752, Zürich.
- VENTURA, A., GOORHUIS, H., 1987. *Unterrichtsprogramme für die Informatik-Ausbildung*, Int. Bericht, Institut für Informatik, ETH Zürich.
- WIRTH, N. 1985: *Programming in Modula-2, Third*, Corrected Edition, Springer-Verlag, 1985
- WYMORE, A.W. 1984: *Theory of Systems*, in: Vick, C. R., Ramamoorthy, C.V. (eds.): *Handbook of Software Engineering*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1984
- ZEIGLER, B.P. 1984: *System Theoretic Foundations of Modelling and Simulation*, in: Ören, T.I., Zeigler, B.P., Elzas, M.S. (eds): *Simulation and Model-Based Methodologies: An Integrative View*, Springer-Verlag.
- ZEIGLER, B.P. 1976: *Theory of Modeling and Simulation*, John Wiley & Sons