

F. Wilhelm Bruns, Dieter Müller

Hypermedia als Simulationswerkzeug

artec-paper Nr. 17
Dezember 1992

ISSN 1613-4907



artec | Forschungszentrum Nachhaltigkeit
Enrique-Schmidt-Str. 7
Postfach 330 440
28334 Bremen

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	3
1. Angaben zum Forschungsvorhaben	4
1.1 Projektziele und Untersuchungsgegenstand	4
1.2 Arbeitsschwerpunkte	6
2. Forschungsansatz	7
2.1 Forschungsmethoden	7
2.2 Untersuchungshypothesen	7
2.3 Prototypenentwicklung	9
3. Zur Bedeutung der computergestützten Simulation in der beruflichen Bildung	10
3.1 Simulatoren in der rechnergestützten Fertigung	10
3.2 Zum didaktischen Stellenwert von Simulatoren	10
3.3 Gegenwärtige Simulationssysteme und ihre Begrenzungen	12
4. Begriffe und Grundlagen der Simulation	14
4.1 System	14
4.2 Modell	14
4.3 Simulationsbegriff	15
5. Hypermedia	18
5.1 Konzept und Terminologie	18
5.2 Hypermedia und objektorientierte Programmierung	20
6. Konzeptionelle Überlegungen zur Entwicklung eines Simulationsbaukastens	22
6.1 Werkzeug- und Werkstattorientierung	22
6.2 Szenarien	23
Literatur	26

VORWORT

Die vorliegende Dokumentation "Hypermedia als Simulationswerkzeug in der beruflichen Bildung" ist das Ergebnis einer Vorstudie, die 1992 im Rahmen der Schulbegleitenden Forschung des Bremischen Senators für Bildung und Wissenschaft an der Universität Bremen durchgeführt wurde.

Ziel dieser Studie ist es, einen ersten Überblick über neuartige Simulationskonzepte und -möglichkeiten zu gewinnen und in diesem Kontext die Frage nach der didaktischen Reichweite von Modellbildungen und Simulation in der beruflichen Bildung zu erörtern. Dabei soll skizziert werden, welche Qualifizierungs- und Gestaltungsmöglichkeiten darin angelegt sind.

Rechnergestützte Simulationswerkzeuge gewinnen eine zunehmende Bedeutung und Verbreitung in der industriellen Planung, Fertigung und Instandhaltung. Sie tangieren in zunehmenden Maße auch die Facharbeit, insbesondere im Arbeitsumfeld von rechnergestützten Fertigungssystemen. Modellbildung und Simulation ist deshalb von erheblicher Reichweite für die berufliche Bildung, weil sie u. E. den Umgang mit Computern und deren Einsatzspektrum in Technik und Bildung gravierend verändern wird.

Diese Studie ist eine Zusammenfassung verschiedener theoretischer Vorarbeiten zur Entwicklung von Hypermedia - gestützten Simulationswerkzeugen für den Einsatz in der beruflichen Bildung.

Im ersten Teil wird die Problemstellung und die Zielsetzung des Vorhabens erörtert. Darauf folgt eine Darstellung der Forschungsmethoden und zentralen Untersuchungshypothesen sowie eine Erörterung des methodischen Stellenwerts der Prototypenentwicklung von Lern-Software. Anschließend wird die Bedeutung der computergestützten Simulation skizziert sowie zentrale Forschungsfragen bezüglich der didaktischen Reichweite von Modellbildung und Simulation herausgearbeitet. Nach der Erörterung begrifflicher Grundlagen zur Simulationstechnik folgt ein Überblick über Hypermedia als neue Basistechnologie zur Entwicklung von modularen und leicht erweiterbaren Simulationswerkzeugen.

Zum Schluß sollen konzeptionelle Überlegungen zur Entwicklung eines Simulationsbaukastens die zukünftigen Forschungsaktivitäten andeuten.

1. ANGABEN ZUM FORSCHUNGSVORHABEN

1.1 Projektziele und Untersuchungsgegenstand

Computergestützte Simulation gewinnt eine zunehmende Bedeutung und Verbreitung in der industriellen Planung, Fertigung und Instandhaltung. Sie tangiert auch in zunehmenden Maße die Facharbeit, insbesondere im Arbeitsumfeld von rechnergestützten Fertigungssystemen. Simulationen enthalten dabei stets Modellierungen von Aspekten realer oder geplanter Systeme und Prozesse. Komplexe Realität wird vereinfachend und unter bestimmten Perspektiven abgebildet und damit leichter zugänglich für Erkenntnis-, Planungs- und Qualifizierungsprozesse.

Modellbildung und Simulation ist von erheblicher Reichweite für die berufliche Bildung, weil sie den Umgang mit Computern und deren Einsatzspektrum in Technik und Bildung u. E. gravierend verändern wird.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, zu untersuchen, inwieweit und mit welcher Konzeption computergestützte Simulation in der beruflichen Erstausbildung für den gewerblich-technischen Bereich eingesetzt werden sollte. Außerdem soll untersucht werden, in welchen Bereichen Simulatoren partiell kostspielige Realsysteme für Unterrichtszwecke ergänzen bzw. ersetzen könnten. Dieser Aspekt ist insofern von großer Bedeutung, da Realsysteme, wie z.B. CNC-Maschinen, Industrieroboter, Flexible Fertigungssysteme, in bezug auf Beschaffung und Instandhaltung für die Berufsbildung so kostenintensiv geworden sind, daß Schulträger langfristig nicht immer in der Lage sein werden, die erheblichen Mittel für Beschaffung und Ersatzinvestitionen (bei kurzen Investitionszyklen der Systeme/Geräte) bereitzustellen.

Bei den meisten auf dem Markt verfügbaren Simulatoren handelt es sich um Systeme, die einen bestimmten Prozess (beispielsweise Robotik) auf einer bestimmten Abstraktionsebene (z.B. Programmierung und Kinematik) abbilden. Eine Verbindung mit und Durchgängigkeit zu anderen Prozessen (Drehen, Fräsen usw.) oder die Wahl verschiedener Abstraktionsebenen und Perspektiven, wie das experimentelle Umgehen mit Grundgesetzen der Mechanik oder des Zerspanungsprozesses, ist mit ihnen nicht möglich.

Im Rahmen des hier beschriebenen Vorhabens sollen mit Hilfe objektorientierter Softwarekonzepte prototypische Simulationswerkzeuge auf der Basis von Hypermediasystemen entwickelt werden. Ziel soll es sein, existierende Simulatoren für Prozeßabläufe von Robotern, CNC-Drehmaschinen und CNC-Fräsmaschinen zu kombinieren und in einem Mehrebenensimulationssystem zu erweitern.

Für die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens wurden zunächst Schwerpunktsetzungen vorgenommen und folgende Projektziele festgelegt:

- a) Untersuchung der didaktischen Funktion und des Stellenwerts rechnergestützter Simulation im Unterricht,
- b) Entwicklung einer Konzeption zum Einsatz von Hypermediasystemen als universelle Simulationswerkzeuge (Softwaretools) in der beruflichen Bildung,
- c) Entwicklung exemplarisch-didaktischer Einheiten als Bausteine eines offenen Curriculums für die Facharbeit in komplexen Fertigungssystemen auf der Basis von Hypermediasystemen,
- d) Prüfung von Möglichkeiten zur Kostenreduzierung bei der Beschaffung von Lehrmitteln durch den Einsatz hypermediagestützter Simulatoren.

Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ist gleichermaßen durch theoretische und praktische Problemstellungen gekennzeichnet. Theoretisch interessieren besonders sigmatische Fragen zur Abbildung komplexer Systeme in Modellen und zum Beitrag, den Simulation zum besseren Verständnis und zur besseren Beherrschung der realen Systeme leisten kann.

Praktische Bedeutung haben Fragen des experimentellen Umgangs von Benutzern mit hypermediagestützten Modellen. Es soll die Bedeutung des Computers als Werkzeug und als Medium im Schulunterricht, und hier besonders als experimentelles Lernsystem untersucht werden.

Vor dem Hintergrund der genannten Projektziele wollen wir unser weiteres Vorgehen auf folgende Untersuchungsbereiche konzentrieren:

1. Einsatzbereiche von Simulatoren in der rechnergestützten Fertigung, Wartung und Reparatur,
2. Didaktischer Stellenwert von Simulatoren,
3. Lerneffizienz und Ökonomie (Kosten von Realmaschinen/-Anlagen für Unterrichtszwecke im Vergleich zu Simulationssystemen),
4. Hypertext- und Hypermediasysteme,
5. Entwicklung von rechnergestützten Simulationssystemen für den Unterricht.

Wir gehen hierbei nicht von der Fiktion aus, daß Dinge und Vorgänge der Wirklichkeit eindeutig und unproblematisch mit Hilfe der Simulation repräsentiert werden können. Eine zentrale Aufgabe besteht vielmehr auch darin, die mit der Simulation verbundenen Reduktionsprozesse zu reflektieren und deutlich zu machen. Simulation wird von uns in Anlehnung an Winograd / Flores (1989) und Floyd (1989) stark unter dem Aspekt der "Realitätskonstruktion" gesehen.

1.2 Arbeitsschwerpunkte

Die zeitliche und arbeitsorganisatorische Planung des Projekts gliedert sich in 3 Phasen:

- Vorbereitende Planungs- und Entwicklungsarbeiten (1.8.91- 31.7.92)
- Realisierungsphase (1.8.92 - 31.7.93)
- Erprobung und Evaluation (1.8.93 - 31.7.94)

Die Forschungsaktivitäten im vorliegenden Berichtszeitraum liegen dementsprechend schwerpunktmäßig in folgenden Bereichen:

- Literaturlauswertung zu den Aspekten Modellbildung, Simulation und Hypermedia,
- Konzeptionelle Arbeiten bezüglich des didaktischen Stellenwertes von Simulatoren,
- Theoretische Überlegungen zum Aspekt der didaktischen Reduktion komplexer Inhalte im Kontext von Modellbildung und Simulation,
- Vorstudien zur Eignung von objektorientierten Programmiersprachen für die Entwicklung von Prototypen (C++, Hypertalk, Openscript, Smalltalk 80),
- Bestandsaufnahme und Sichtung ausgewählter Hypermediasysteme,
- Entwurfsüberlegungen zum Entwurf eines Mehrebenensimulators.

Veränderungen im Untersuchungsplan ergaben sich insofern, als es notwendig wurde, der theoretischen Konzeptbildung einen größeren Raum zu geben. Im Rahmen dieser Arbeiten wird das studentische Projekt "GHOST" (Gestaltung und Herstellung von Simulationstools) im Fachbereich Informatik betreut. Ergebnisse dieser Arbeiten sollen in das Projekt einfließen. Außerdem wird eine Diplomarbeit vergeben, die die Möglichkeiten moderner Softwaretools (Smalltalk 80) zur Entwicklung von interaktiven Simulatoren evaluieren soll.

2. FORSCHUNGSANSATZ

2.1 Forschungsmethoden

Besonderes Merkmal unseres Ansatzes ist zu einem der Versuch, verschiedene Forschungsfelder, die sich mit der Simulationstechnik beschäftigen (Informatik, Ingenieurwissenschaften, Berufspädagogik), einzubeziehen. Zum anderen sollen in einem iterativ durchlaufenen Gestaltungsprozeß, bestehend aus Planungsphase, Konzept-/Umsetzungsphase und Testphase Bausteine für einen prototypischen Simulator entwickelt werden.

Wir orientieren uns dabei an den methodischen Ansätzen des skandinavischen "Collective Resource"- und "Action Research"- Forschung (Lasso 1989, Ehn 1988). Ziel dieser Ansätze ist es, die Menschen und seine Interaktionsmöglichkeiten als Grundlage für die Entwicklung von Hard- und Software zu machen.

Methodischer Grundsatz dieses Vorgehens ist das experimentelle Prototyping im Kontext partizipativer Software-Entwicklung. Dabei gehen wir davon aus, daß relevante Aussagen zur rechnergestützten Simulation im Umfeld von Arbeit, Technik und Bildung nur unter Berücksichtigung und in Kenntnis ihrer technologischen Basis gemacht werden können. In der Bildungsforschung finden sich viele Pädagogen und Wissenschaftler, deren wertvolle Ansätze unter einem praktischen Defizit im Umgang mit den aktuellen Möglichkeiten und Problemen der Rechnertechnik leiden und deshalb häufig nicht auf Schule und Unterricht zu übertragen sind.

2.2 Untersuchungshypothesen

Im Rahmen einer Voranalyse erfolgte eine erste Überprüfung und weitere Spezifizierung der Arbeitshypothesen. Entsprechend der verschiedenen Untersuchungsbereiche werden an dieser Stelle alle Arbeitshypothesen nach Untersuchungsbereichen geordnet dargestellt:

Themenkomplex 1: Einsatzbereiche von Simulatoren

These 1.1: Die Rechnergestützte Simulation gewinnt eine zunehmende Bedeutung im Bereich der Planung, Fertigung und Instandhaltung.

These 1.2: Die Simulationstechnik tangiert in zunehmendem Maße die Facharbeit, insbesondere im Arbeitsumfeld rechnergestützter Fertigungssysteme.

Themenkomplex 2: Didaktischer Stellenwert von Simulatoren

- These 2.1: Die Simulation eröffnet neue Zugänge zur Erschließung komplexer Vorgänge und ist ein Instrument, um Komplexität (wieder) erfahrbar zu machen.*
- These 2.2: Durch Simulation können geplante technische Entwicklungen sichtbar gemacht werden.*
- These 2.3: Durch Simulation können technische Gestaltungsalternativen sichtbar und damit einer diskursiven Auseinandersetzung zugänglich gemacht werden.*
- These 2.4: Der Einsatz von Simulatoren ermöglicht die Individualisierung von Lernprozessen und begünstigt handlungsorientierte Unterrichtsformen.*
- These 2.5: Die Simulation kann nicht den direkten Umgang mit sinnlich-stofflichen Prozessen ersetzen.*

Themenkomplex 3: Lerneffizienz und Ökonomie

- These 3.1: Durch Simulatoren können partiell kostspielige Realmaschinen/-Anlagen für Unterrichtszwecke ersetzt werden.*
- These 3.2: Simulatoren sind besonders wirkungsvoll als Ergänzungen zu Realmaschinen/-Anlagen.*
- These 3.3: Die für die Simulation notwendige Hard- und Software kann mit relativ geringem finanziellem Aufwand verfügbar gemacht werden.*

Themenkomplex 4: Hypertext- und Hypermediasysteme

- These 4.1: Hypertext- und Hypermediasysteme bieten die Möglichkeit zur Veranschaulichung des Vernetzungsaspektes komplexer Systeme.*
- These 4.2: Mit Hypertext- und Hypermediasystemen können Informationen in den verschiedensten Formen (Multimedia) gespeichert, verarbeitet und dargestellt werden.*
- These 4.3: Hypertext- und Hypermedia eignen sich als Basiskonzept für die Implementierung von didaktischen Simulationssystemen.*

Themenkomplex 5: Entwicklung rechnergestützter Simulationssysteme

- These 5.1: Lernsoftware zu gestalten, verlangt nach Kooperation mit den Benutzern.*

These 5.2: Die Entwicklungswerkzeuge bestimmen die Handhabbarkeit der mit ihnen produzierten Software.

These 5.3: Hypertext- und Hypermediasysteme stellen, wie kaum andere Systeme, leistungsfähige Tools zur objektorientierten Entwicklung von Lernsoftware zur Verfügung.

2.3 Prototypenentwicklung

Ein zentrales Anliegen des Projektes ist die prototypische Entwicklung eines *Simulationsbaukastens*. Ein solcher Ansatz erscheint im ersten Moment ungewöhnlich, läßt sich aber als Forschungsmethode begründen. In der Informatik wird die Prototypenentwicklung im Kontext partizipativer Software - Entwicklung zunehmend als alternativer Ansatz im Vergleich zu traditionellen Konzepten des Software-Engineering diskutiert (Floyd 1989).

Da mit Hypertextsystemen inzwischen eine Reihe von leistungsfähigen Entwicklungs-Tools¹ zur Verfügung gestellt werden, wird in diesem Projekt die Prototypenentwicklung als neue Möglichkeit betrachtet, innovative Ansätze zur Entwicklung und Erprobung einer Konzeption zum Einsatz von Unterrichtsoftware zu entfalten.

Da die für die Simulation notwendige Hard- und Software mit relativ geringem finanziellen Aufwand verfügbar gemacht werden kann, weitgehend auf Industriestandards basiert, d. h. vielerorts ähnliche Rechnerausstattungen² in Schulen und Bildungseinrichtungen anzutreffen sind, bietet sich hier die Chance, durch Eigenentwicklung, methodisch kontrollierte Eigenerfahrung und Experimente Hypothesen und Erkenntnisse zu gewinnen.

Je weniger etabliert die zu untersuchenden Techniken in der Praxis sind und je weniger sie auch phänomenal begriffen sind, um so hilfreicher können Eigenerfahrungen und Experimente sein, um den Veränderungen, die diese Techniken bewirken, auf die Spur zu kommen. Zu der noch weitgehend in den Anfängen stehenden Nutzung des Computers als Werkzeug kommt hinzu, daß Feldforschung praktisch unmöglich ist.

Mit Hilfe prototypischer Entwicklung didaktischer Software kann nicht nur eine empirische Basis geschaffen, sondern auch Möglichkeiten kooperativer Software-Entwicklung mit Betroffenen (Lehrkräften und Schülern) ausgelotet werden.

¹Inzwischen sind sehr leistungsfähige Hypermedia-Werkzeuge für Personal Computer verfügbar. Hierzu zählen beispielsweise TOOLBOOK für IBM - kompatible PC's und HYPERCARD für Apple Macintosh Computer. Diese Systeme sind sowohl für die Prototypen-Entwicklung wie auch für die Erstellung von fertigen Applikationen geeignet (vgl. hierzu Aders/Ansel 1990; Meyer/Rautenberg/Strässler 1991; Streitz 1991;).

²Als Basissystem sind hier beispielsweise folgendende Konfigurationen denkbar: (a) IBM-kompatibler Rechner mit 80386-Prozessor, Windows, Toolbook oder (b) Apple Macintosh LC, Hypercard.

3. ZUR BEDEUTUNG DER COMPUTERGESTÜTZTEN SIMULATION IN DER BERUFLICHEN BILDUNG

3.1 Simulatoren in der rechnergestützten Fertigung

Mit der zunehmenden Anwendung rechnergesteuerter Maschinen und Anlagen hat das Planungshilfsmittel *rechnergestützte Simulation* an Bedeutung gewonnen. Zahlreiche Veröffentlichungen zeigen, daß sich dieses Instrument planerischer Aufgaben etabliert hat (Becker 1987, Scharf/Spieß 1990). Als schlagwortartige Bezeichnungen werden "Fabriksimulation" und "Computersimulation in der Produktion" verwendet.

Ausschlaggebend für den zunehmenden Einsatz der Computersimulation in der Fertigung sind zwei Entwicklungstrends. Einerseits nehmen die Komplexität von Planungsaufgaben in der Produktion und das Risiko von folgenschweren Fehlentscheidungen zu. Andererseits wird durch die stürmische Entwicklung der Mikrocomputertechnik die Möglichkeit geschaffen, Simulationssysteme kostengünstig als Planungswerkzeuge einzusetzen.

Die Simulationsanwendungen im Produktionsprozeß lassen sich zwei Bereichen zuordnen. Das sind zum einen Simulationen, die sich auf Vorgänge innerhalb einer Arbeitsstation (z. B. Werkzeugmaschine, Roboter) beziehen, zum anderen Simulationen, die Abläufe zwischen Arbeitsstationen einschließlich der Transport- und Lagervorgänge abbilden. Zur ersten Kategorie gehören beispielsweise die Simulation umformtechnischer oder spanender Prozesse, aber auch NC-Programmsimulation und Roboterbewegungsanalysen bzw. Kollisionsbetrachtungen. Zur zweiten Kategorie gehört die Simulation von kompletten Fertigungsabläufen zur Optimierung von Durchlaufzeiten und der Ermittlung von Auslastungen der Arbeitsstationen sowie der Beurteilung von Lager- und Pufferbelegungen.

Was zunächst als Planungsinstrument für Planer und Konstrukteure gedacht war, gewinnt zunehmend Bedeutung für die Facharbeit im Kontext mit rechnergestützten Fertigungssystemen. Dies gilt insbesondere für die Nutzung von Simulatoren bei der NC-Fertigung, Roboter- und SPS-Programmierung. Hier dienen Simulatoren in erster Linie dazu, Hilfestellungen bei der Fehlerdiagnose und Parameteroptimierung zu geben und Lösungsvarianten auszuprobieren.

3.2 Zum didaktischen Stellenwert von Simulatoren

Das qualifikatorische Potential von Simulatoren, zumindest für den Bereich der CNC-Technik und der Robotik ist kaum noch umstritten (Laur-Ernst 1986). Zwar gibt es erklärte Gegner der Simulation, nach dem Motto "wenn kein Span fließt, ist das Lernsystem nicht für die Facharbeiterausbildung geeignet". Allerdings setzt sich auch zunehmend die Ansicht durch, daß die Simulation eine neue Methode des experimentellen Umgehens mit komplexer Technik darstellt, die bislang im Unterricht nicht möglich war (vgl. Erbe 1992).

Bei der Analyse des üblichen Lehrens und Lernens wird einem nur noch selten bewußt, wie weit lediglich eine verbale Auseinandersetzung mit meist abstrakten Inhalten dominiert. Dies gilt insbesondere für diejenigen Lerninhalte, die nur unter einem großen personellen, materiellen bzw. zeitlichen Aufwand angemessen gelehrt und gelernt werden können. Hierunter fallen praktisch alle Programmierübungen sowie Experimente zur Fehlersuche und -diagnose und Optimierungsaufgaben sowie Übungen zur Bewertung von unterschiedlichen technischen Lösungsansätzen und Entwurfsaufgaben. Es sind also Inhalte, die einerseits nur effektiv in einem handlungsorientierten Aneignungsprozeß sowie andererseits nur im Verlaufe eines stark individualisierten Lernprozesses vermittelt werden können. Was Simulation hier leisten kann, ist die Ermöglichung konkreter Erfahrung, zwar nicht mit dem Objekt selbst, sondern die Erfahrung mit einem modellhaften Ersatz, da die direkte Konfrontation mit dem Realsystem aus vielerlei Gründen (Unfallgefahr, individuelle Verfügbarkeit, Bereitstellungsaufwand, Kosten) oft nicht stattfinden kann.

Der experimentelle Charakter der Simulation hat den besonderen Vorteil, daß der Modellbildungsvorgang ähnlich konstruktive Elemente der Erkenntnisgewinnung enthalten kann, wie der Bau eines Realsystems auch. Das Realsystem wird im Allgemeinen aber nur einmal aufgebaut und soll dann funktionieren. Das Modell kann beliebig oft rekonstruiert werden. Hervorstechendes Merkmal der Simulation ist hier ihre ausgeprägte virtuelle und experimentelle Qualität sowie die vergleichsweise elegante Verfügbarkeit der Technologie für den Anwender³.

Der spezifische didaktische Wert von Simulation liegt weiterhin darin, daß sie neue Zugänge zur Erschließung von komplexen Vorgängen ermöglicht bzw. überhaupt erst wieder *komplexe Realität* erfahrbar machen kann. Die Komplexitätsreduktion mit Hilfe der Simulation ist ein Vorteil, den sie per se aufweist, da sie ein Subsystem des jeweiligen Realobjektes bildet und dementsprechend einen geringeren Komplexitätsgrad besitzt. Die Komplexitätsreduktion ist in vielen Fällen lernförderlich, da sie dazu beiträgt, einerseits Informationsvielfalt zu vermindern und andererseits elementare Komponenten des Systems stärker zu akzentuieren.

In neueren Ansätzen der Berufspädagogik wird versucht, die Technikgestaltung als Leitidee beruflicher Bildung zu konstituieren. Ein wesentlicher Aspekt dieses Konzeptes ist es, im Rahmen beruflicher Lernprozesse, technische Entwicklungen und die daraus resultierenden Konsequenzen sowie technische Gestaltungsalternativen deutlich zu machen (Rauner 1986, Heidegger u.a. 1988). Die Simulation bietet hier vielfältige Ansatzpunkte zur unterrichtlichen Umsetzung des Konzeptes Technikgestaltung, weil z. B. die Gegenüberstellung technischer Lösungsansätze, sowie die Umsetzung von Anwendungsszenarien durch Simulatoren relativ schnell und kostengünstig möglich ist.

Außerdem sprechen ökonomische Argumente für den Einsatz von Simulatoren: relativ niedriger Anschaffungspreis, transportabel, weil auf Mikrocomputern verfügbar, wenig Energieverbrauch, kaum Folgekosten, gute Auslastung.

³Diese Gesichtspunkte deuten auch darauf hin, warum im Rahmen von CIM-Qualifizierungen, Modellmaschinen in Verbindung mit Simulatoren favorisiert werden (vgl. hierzu CIM Qualifizierung in Europa 1991).

Aufgrund der kurzen Innovationszyklen und der damit notwendigen Ersatzinvestitionen ist die bedarfsdeckende Beschaffung von Realmaschinen und -Anlagen angesichts knapper finanzieller Ressourcen vieler Bildungsstätten nicht zu finanzieren.

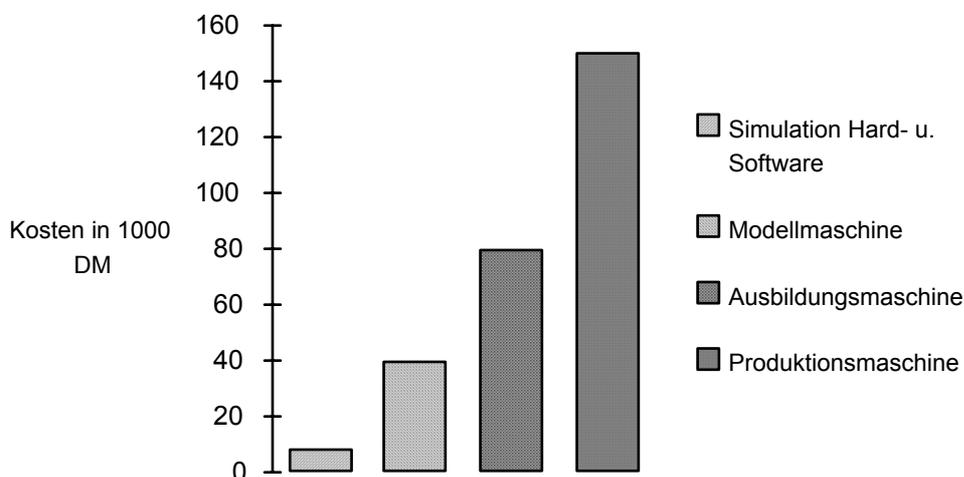


Abb.: Kosten von CNC-Ausbildungssystemen

Durch Simulatoren könnten partiell kostspielige Realsystemen für Unterrichtszwecke ersetzt bzw. ergänzt werden. Hierfür ist es erforderlich, sich im Einzelfall ein möglichst klares Bild von dem didaktischen Potential des jeweiligen Realsystems bzw. Simulators zu machen und sich dann zu entscheiden. Dabei muß auch, sofern es um das duale System der Berufsbildung geht, der didaktische Standort von Berufsschule und Ausbildungsbetrieb berücksichtigt werden - nicht im Sinne einer problematischen Trennung von "Kopf- und Handarbeit", sondern z. B. im Sinne einer mehr geräteunabhängigen im Vergleich zu einer mehr gerätespezifischen Orientierung.

3.3 Gegenwärtige Simulationssysteme und ihre Begrenzungen

Existierende Simulatoren, speziell für den Bereich CNC- und Robotik sind dadurch gekennzeichnet, daß sie überwiegend mit der Zielsetzung der Programmierung und grafischen Sichtbarmachung der geometrisch-kinetischen Abläufe entwickelt wurden und sich im wesentlichen auf diese Aspekte beschränken.

Meist handelt es sich um Systeme, die einen bestimmten Prozess (beispielsweise Robotik) auf einer bestimmten Abstraktionsebene (z.B. Programmierung und Kinematik) abbilden. Eine Verbindung mit und Durchgängigkeit zu anderen Prozessen (Drehen, Fräsen usw.) oder die Wahl verschiedener Abstraktionsebenen und Perspektiven, wie das experimentelle Umgehen mit Grundgesetzen der Mechanik oder des Zerspanungsprozesses, ist mit ihnen nicht möglich.

"Ideal wäre ein Simulator, der eine abstufbare Informationsmenge mit wechselnden Akzentuierungen jeweils lernwichtiger Inhalte für unterschiedliche Lernstadien anbieten könnte" (Laur-Ernst 1986, S.116).

Ein entsprechend konzipiertes Simulationssystem auf der Basis moderner Softwarekonzepte könnte aber die meisten dieser genannten Aspekte wirkungsvoll vermitteln. "Zum Beispiel ließen sich Transparenz der Maschine, Funktionsweise von Bauteilen, Demonstrationen und Experimente mit Bauteilen selbstbestimmter, leichter und vielseitiger durch Simulation und Animation zeigen und durchführen, als dies durch Demontage/Montage einer Modellmaschine praktisch möglich ist. Auch der komplexe Zerspanungsvorgang mit seinen Zusammenhängen zwischen Materialeigenschaft des Werkstückes, Werkzeugbeschaffenheit, Spantiefe, Schnittgeschwindigkeit und Kühlmiteleinsetz, ließe sich besser in einer grafisch-akustischen Simulation darstellen als verdeckt durch Schutzscheibe und Kühlmittel" (Bruns 1990, S. 162).

4. BEGRIFFE UND GRUNDLAGEN DER SIMULATION

4.1 System

Der Begriff *System* wird in vielen Wissenschaftsbereichen verwendet. In der rechnergestützten Fertigung sind Ausdrücke wie Steuerungssystem, Informationssystem, Fertigungssystem und Transportsystem häufig anzutreffen. Eine Reihe von Konzepten, die den Begriff *System* beinhalten, weisen darauf hin, daß in Bezug auf das zugrundeliegende Objekt eine bestimmte Betrachtungsweise angewandt wird.

Die Basis für das begriffliche Instrumentarium wird von der allgemeinen Systemtheorie bereitgestellt. Der Begriff *System* dient der Erfassung mathematischer sowie natur- und ingenieurwissenschaftlicher Sachverhalte. Innerhalb der einzelnen Wissenschaftsbereiche werden verschiedene Ausprägungen des Systembegriffes verwendet. Auch in den Sozialwissenschaften wird *System* als Grundkategorie zur Analyse der Wechselwirkungen aufeinander bezogenen Handelns mehrerer Individuen, Gruppen oder Organisationen benutzt (Parsons 1968, Luhmann 1971). Für unsere Problemstellung wollen wir uns auf die folgende Definition beziehen:

Ein System besteht aus einer Gesamtheit von Elementen, zwischen denen Beziehungen bestehen. Elemente sind Bausteine eines Systems, die bei der gewählten Perspektive nicht weiter zerlegt werden. Zur Beschreibung der wechselseitigen Beziehung der Elemente zueinander wird häufig der Begriff *Relation* gebraucht. Ein System besitzt ein gewisses Maß von Integration und Geschlossenheit im Verhältnis seiner Elemente zueinander (Struktur), eine es von anderen Systemen, d. h. von der Umwelt, abhebende Grenze.

Jedes System kann Element eines anderen Systems sein und als Subsystem betrachtet werden - ein Fertigungssystem kann so beispielsweise durch zwei Elementmengen beschrieben werden: Bearbeitungsstation und Werkstücke.

4.2 Modell

Modelle, begriffen als Abbildung von Wirklichkeitsausschnitten, können zum einen gegenständliche oder abstrakte Abbildungen sein. Ein Beschreibungsmodell (analytisch- deskriptives Modell) dient dem Zweck, lediglich ein besseres Verständnis für einen Realitätsausschnitt zu gewinnen (Keller 1977). Ein Erklärungsmodell (prädikatives Modell) dient der Vorhersage von Ereignissen (z. B. in der Meteorologie). Ein Entscheidungsmodell (normatives Modell) dient der Gewinnung optimaler Entscheidungen aus vorgegebenen Alternativen.

Nach Stachowiak sind für den Modellbegriff folgende Merkmale konstitutiv:

- a) Abbildungsmerkmal: Modelle sind nicht die Realität selbst, sondern Abbildung derselben (Signifikanter Aspekt),
- b) Verkürzungsmerkmal: Modelle beschreiben nicht die Realität in vollem Umfang, sondern nur Aspekte von ihr (Reduktion von Komplexität),
- c) Pragmatisches Merkmal: Modelle haben den Zweck, leichter Aussagen über die Realität gewinnen zu können, ohne daß der Betrachter über sie selbst in vollem Umfang verfügt (Stachowiak 1973).

Auch der Umgang mit Computersystemen im Unterricht ist im wesentlichen Umgang mit Modellen, da die auf diesen Systemen ablaufenden Programme Modelle der Wirklichkeit darstellen: Jedem Rechnersystem liegen Vorstellungen seiner Entwickler zugrunde, mit denen das zu lösende Problem durch die von ihnen entworfenen Algorithmen am effektivsten bearbeitet werden kann. Interessant ist, daß in den neuesten Konzepten der Softwareentwicklung sogar bewußt von Modellen bzw. sogar von Simulation der Wirklichkeit mit Hilfe von Modellen gesprochen wird (Lalonde, Pugh 1990, S. 1; Kay 1985).

Weitergehenden Arbeiten zu dem Themenkomplex Wirklichkeit - Modell - Software, die für unseren Ansatz wichtig sind, stammen von Winograd/Flores (1989) und Floyd (1989).

4.3 Simulationsbegriff

Seit der explosionsartigen Verbreitung der Mikrocomputertechnik hat auch die Simulationstechnik einen schwunghaften Auftrieb erfahren. Bis in die 70er Jahre war diese Technik eine Domäne der Systemtechnik (Systems Dynamics), der Numerischen Mathematik und der Spieltheorie und diente der Analyse und Optimierung komplexer Zusammenhänge dynamischer Systeme an einem abstrahierenden Modell. Typische Beispiele hierfür waren die Integration großer Differentialgleichungssysteme mit zeitvariierenden Parametern zur Beschreibung eines Weltmodells (Meadows 1972), die Monte-Carlo-Technik zur Simulation stochastischer Prozesse (Hammersley 1964) und Planspiele zur Erprobung von Kriegs- (Young 1959) und Geschäftsstrategien (Rohn 1964). Nur auf vereinzelt Gebieten wurde die Simulation als Qualifizierungsmittel eingesetzt, z.B. bei der Ausbildung von Piloten und Flugtechnikern an Flugzeugsimulatoren (TUB 66). Dementsprechend findet man in Definitionen für Simulation häufig nur den Aspekt der Erkenntnisgewinnung, nicht aber den der Qualifizierung.

Nach Shannon (1975) ist Simulation der Prozeß der Modellbeschreibung eines realen Systems und das anschließende Experimentieren mit diesem Modell mit der Absicht, entweder das Systemverhalten zu verstehen oder verschiedene Strategien für die Systemoptimierung zu entwickeln.

Die VDI-Richtlinie 3633 definiert Simulation als die Nachbildung eines dynamischen Prozesses in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

Eine sehr allgemeine Definition der Simulation liefert Niemeyer : "Systemsimulation ist die Nachahmung von Abläufen wirklicher oder gedachter Systeme mit Hilfe von physikalischen oder formalen Modellen" (Niemeyer 1972).

Eine weitere Definition findet sich bei Gordon: "Systemsimulation ist eine Methode zur Lösung von Problemen, bei der man die Änderung eines dynamischen Systemmodelles über die Zeit verfolgt" (Gordon 1972).

Im Gegensatz zu mathematisch-analytischen Methoden liefert die Simulation selbst nur häufig suboptimale Lösungen. Dabei hängt das Simulationsergebnis von der Qualität des Simulators, der Modellbildung sowie von der Art und der Anzahl der Simulationsexperimente ab. Lösungen aus Simulationen müssen entsprechend über einen vom Benutzer zu steuernden Suchprozeß gefunden werden (Komarnicki, 1980).

Diese ausschnittshafte Aufzählung mag andeuten, daß es unterschiedliche Akzentuierungen des Simulationsbegriffes gibt. Vielen gemein ist die *systemische* Sichtweise des Anwendungsbereiches. Dies ist für die Analyse rein technischer Systeme sinnvoll, aber es besteht auch die Gefahr, daß die Rolle des Menschen bei der Modellbildung und Simulation vernachlässigt wird. Ein besonderes Anliegen muß es deshalb sein, die Simulation als ein Werkzeug für Betroffene zu sehen und nicht als Werkzeug gegen sie.

Da Modelle durch Vereinfachung und Abstraktion aus einem bestimmten Ausschnitt der Wirklichkeit hervorgehen, können sie niemals alle Erscheinungen der Wirklichkeit widerspiegeln. Bei jeder Modellbildung erfolgt eine Komplexitätsreduzierung. Diese hat eine Entlastungsfunktion für den Lernenden: er muß sich nicht mit allen und z. T. unwesentlichen Aspekten der Wirklichkeit befassen. Aber innerhalb von Lernprozessen, die im wesentlichen auf Modellen und Modellbildung basieren, können vermehrt Anwendungs- und Transferprobleme auftreten, nämlich immer dann, wenn es dem Lernenden nicht gelingt, bei der Rückübertragung in komplexe Arbeits- und Lebenssituationen die fehlenden Aspekte vollständig zu ergänzen. Simulationsmodelle haben nicht nur wirklichkeitsaufschließenden Charakter. Wie alle Symbolsysteme schieben sie sich auch "... zwischen den Lernenden und die Wirklichkeit. Sie sind nicht nur Brücken, sondern auch trennende Gräben" (Sacher 1989, S. 35).

Der experimentelle Charakter der Simulation eröffnet, wie wir versucht haben anzureißen, neue Möglichkeiten, komplexe Systeme zu handhaben und sie erfahrbar zu machen.

Aus pädagogischer Sicht kann die Simulation eine hervorragende Rolle als Hilfsmittel zur Veranschaulichung und Erkenntnisgewinnung, zum entdeckenden Lernen und handlungsorientierten Unterricht sowie zur Darbietung und Speicherung von Wissen und Information einnehmen.

Die Simulation ist besonders dann sinnvoll einsetzbar, wenn die realen Prozesse

- sehr komplex zusammenwirken und dieser Zusammenhang nicht explizit analytisch darstellbar ist,
- nicht verfügbar sind,
- für Experimente zu gefährlich sind,
- ein sehr zeitkritisches dynamisches Verhalten haben.

Die Simulation bietet hier viele Möglichkeiten. Vorüberlegungen zur Modellierung der Realität können zu wichtigen Einsichten führen. Systeme mit einer hohen gegenseitigen Beeinflussung paralleler Prozesse sind durch eine Simulation

mit geeigneten Auswertungshilfsmitteln zu erhellen, so daß Planungsentscheidungen unterstützt werden.

Ein wesentlicher Aspekt der Simulation ist der folgenlose Umgang mit Möglichkeiten und Perspektiven von Wirklichkeit. Hier liegen ihre Stärken und auch Schwächen. Vorteilhaft ist bei der Simulation die prinzipielle Möglichkeit, einen Prozeß in unterschiedlichen Abstraktionsebenen zu betrachten und zu steuern, ihn aus einer selbstgewählten Perspektive zu analysieren, ihn in alternative Systemzusammenhänge zu stellen und die Zeitdimension zu variieren.

5. HYPERMEDIA

5.1 Konzept und Terminologie

Der Begriff *Hypermedia* beinhaltet sowohl ein neues Konzept als auch eine neue Technik. Ähnlich, wie bei anderen Entwicklungen im Bereich der Informationstechnik, erlaubt die Verwendung von Hypermedia-Techniken den Gebrauch des Computer für völlig neue Einsatzbereiche. In verschiedenen Anwendungsbereichen, v. a. auch in den Geisteswissenschaften, im künstlerischen Bereich, in der Pädagogik, aber auch im technischen Bereich finden diese Konzepte zunehmendes Interesse.

Das Hypermedia-Konzept ist nicht in den letzten Jahren entstanden. Schon 1945 wurde von Vannevar Bush in einem Artikel unter dem Titel *As We May Think* vorhergesagt, daß zukünftige Techniken es ermöglichen würden, eine Bücherei von einer Millionen Bänden in einem *desk* zu komprimieren. Er stellte sich ein System vor, in das der Benutzer Informationen assoziativ eingeben und herausholen könne (Bush 1945). In den Sechziger-Jahren realisierten Hypertext-Pioniere wie Engelbart (1963) und Nelson (1965) ihre Hypertext-Ideen auf den damaligen Computern. Den wirklichen Durchbruch schaffte das Hypertext-Konzept allerdings erst, als in den letzten Jahren kostengünstige Systeme, wie z. B. *Hypertext, Guide, Toolbook* für Personal Computern verfügbar wurden.

Oft wird der Begriff Hypertext im gleichen Kontext wie Hypermedia gebraucht. Beide beinhalten das gleiche Konzept, wobei bei Hypertext die strukturellen Aspekte und bei Hypermedia die medialen Aspekte im Vordergrund stehen.

Im Prinzip kennzeichnet Hypertext die elektronische Speicherung, Verarbeitung und Darstellung von Textdokumenten. Im Gegensatz zu konventionellem Text, der nur linear durchlaufen werden kann, erlaubt das Hypertext-Konzept eine komplexere nichtsequentielle Organisation des darzustellenden Inhalts.

Hypertext-Dokumente bestehen in der Regel aus einer Menge von elementaren Informationseinheiten (Knoten, engl. nodes) sowie einer Menge von gerichteten Verweisen (engl. links), die die Knoten in vielfältiger Weise in Beziehung setzen. Diese Verweise können unterschiedlicher Natur sein, d.h. unterschiedliche Bedeutungen haben (etwa *siehe im einzelnen*, *siehe auch*, *ist Teil von*, *läßt sich untergliedern in*, *folgt auf* u.ä.). Damit wird die Fähigkeit des menschlichen Gehirns, Informationen nicht rein sequentiell, sondern selektiv und assoziativ zu verarbeiten, nachgeahmt.

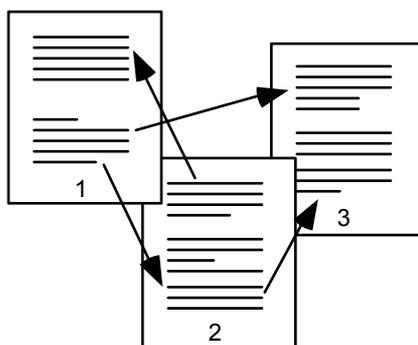


Abb: Verknüpfungen von Hypertext

Das assoziative Durchwandern des aus Knoten und Verweisen bestehenden Hypertext-Dokumentes wird häufig als Browsing (Durchstöbern) bezeichnet. Demgegenüber wird ein zielgerichtetes, systematischeres Suchen i. allg. mit Navigation bezeichnet und häufig mit speziellen Mechanismen unterstützt.

Wie erwähnt, bedeutet der Übergang von Hypertext zu Hypermedia, daß Dokumente außer Text noch andere unterschiedliche Medien beinhalten können, wie z. B. Grafik, Ton und Film. Auch in *traditionellen* relationalen Datenbanken ist es möglich, solche unterschiedlichen Datenstrukturen zu speichern und zu verwalten. Die Art der Verknüpfungen muß jedoch prädefiniert bzw. über spezielle Datenbankabfragesprachen hergestellt werden, während man bei Hypermedia-Systemen die Information assoziativ, entsprechend des eigenen Interesses über einfache Zeige- und Gehe-zu-Operationen abrufen bzw. die Verbindung festlegen kann.

Es ist festzustellen, daß die multimedialen Aspekte das Hypertext-Konzept mit zusätzlicher Attraktivität versehen und zu seiner Verbreitung entscheidend beitragen werden. Aber hier gilt: nicht alles, was unterschiedliche Medien verwendet und damit multimedial ist, ist auch gleich hypermedial.⁴

Obwohl Hypertext-Systeme ursprünglich als isolierte Systeme verwendet wurden, ist es heute vielfach möglich, zuvor mit anderen Programmen erstellte Text- und Grafikdaten zu importieren. Eine weitere Perspektive betrifft die Integration von vollwertigen Spezialapplikationen unter einer einheitlichen Oberfläche bzw. Vernetzung (von Dokumenten) beliebiger Applikationen mit einem einheitlichen, allumfassenden Hypertext-Mechanismus und einer einheitlichen Benutzungsoberfläche (Meyrowitz, 1989).

Durch die Möglichkeit, über die gleichen Daten auf einfache Weise ganz unterschiedliche *Sichten* zu definieren, d.h. bestimmte Ausschnitte und Arten von Verknüpfungen herzustellen, ermöglicht Hypertext, den Bedürfnissen unterschiedlicher Benutzerinteressen und unterschiedlicher Kontexte mit dem gleichen Programm und Datenmaterial leichter entsprechen zu können als herkömmliche Systeme.

Hypermedia-Systeme repräsentieren den Beginn der Entwicklung einer neuen Generation von Software und dies sowohl in Bezug auf die Möglichkeiten für eine benutzerorientierte Gestaltung der Mensch-Computer-Schnittstelle als auch für die aufgabenzentrierte Bereitstellung von Funktionalität zur Unterstützung von Lehren und Lernen. Hierzu ist es nötig, einerseits die Möglichkeiten, die dieses Konzept bietet, kreativ zu entfalten und andererseits neue Erfahrungen mit entsprechenden Realisierungen zu sammeln.

⁴Multimedia sind z. Zt. strategisches Element vieler Hard- und Softwarehersteller zur Vermarktung ihrer PC-Produkte in Verbindung mit Multimediakomponenten. Die Computerindustrie versucht hier in die umsatzstarken Konsumermärkte der Video, HiFi- und Unterhaltungselektronik einzubrechen. Dies führt zwangsläufig oft zu einem nicht angemessenen Gebrauch des Multimedia-Begriffs. Zur kritischen Bewertung vgl. Bartuch (1991).

5.2 Hypermedia und objektorientierte Programmierung

Ein wichtiger Aspekt innerhalb dieser Untersuchung wird es sein, neue Ansätze der Softwareentwicklung zu untersuchen und zu erproben, um Perspektiven zu eröffnen, durch die die Qualität von *didaktisch-orientierter* Simulationssoftware verbessert und ihre Entwicklung effektiviert werden kann.

Eine zentrale Rolle spielt in diesem Zusammenhang der objektorientierte Entwurf. Mit diesem Ansatz wurde ein fundamentaler Perspektivenwechsel in der Softwaretechnik eingeleitet, dessen Tragweite für die Entwicklung von Lernsoftware⁵ noch weithin unerkannt blieb.

Die Möglichkeiten, die das objektorientierte Programmieren bietet, gehen weit über das hinaus, was mit traditionellen Verfahren erreichbar ist: die heute verfügbaren Hypertext bzw. Hypermedia-Systeme wurden durch das objektorientierte Konzept erst realisierbar. Neuere Hypermedia-Systeme bauen deshalb auch unmittelbar auf objektorientierten Konzepten auf und bieten für die Entwicklung von Applikationen dementsprechende integrative Programmierertools (vgl. Gloor 1990; Streit 1991).

Grundgedanke des objektorientierten Designs ist die Entwicklung leicht erweiterbarer und modifizierbarer Software, sowie der zentrale Wunsch nach Wiederverwendbarkeit (*reusability*). Um dieses Ziel zu erreichen, werden objektorientierte Programme nach neuen Grundsätzen entworfen und entwickelt (Goldberg/Robson 1989, Meyer 1990, Booch 1991).

Traditionelle (prozedurorientierte) Programmiersprachen dienen lediglich der Codierung von Abläufen, daher sind auch die damit realisierten Systeme ausgeprägt verrichtungsorientiert. Objektorientierte Methoden sind hingegen ergebnis- bzw. produktorientiert. Ihre zentralen Prinzipien sind die des Meldungstransports und der Dienstleistung. Sie erweisen sich in der Praxis als ungleich geeigneter für eine übersichtliche und wirklichkeitsnahe Abbildung komplexer Sachverhalte.

Charakteristisch für den objektorientierten Entwurf ist der Versuch, die *Welt* des jeweiligen Anwendungsfeldes im Computer in Form dezentraler Objekte zu rekonstruieren. Dabei geht man davon aus, daß ein solches Anwendungsfeld als Gesamtheit von Objekten (Dinge, Orte, Ereignisse usw.) aufgefaßt werden kann, in denen die unterschiedlichen Objekte in einer gewissen Beziehungen zueinander stehen und sich im Zeitablauf ändern sowie wechselseitig beeinflussen können.

Will man einen Weltausschnitt auf dem Computer nachbilden, muß man die realen Objekte dementsprechend durch Software-Objekte in einer ähnlich strukturierten "Welt" repräsentieren. A. Kay (1984), ein Begründer des objektorientierten Softwaresystems SMALLTALK, faßte dies unter "computing is simulation" zusammen. In diesem Sinne ist Simulation ein zentraler Bestandteil der objektorientierten Softwareentwicklung. Andererseits ist die Objekt-

⁵In der Softwaretechnik beginnen sich objektorientierte Prinzipien für die Programmkonstruktion durchzusetzen. Dies gilt nach unseren Erfahrungen allerdings nicht für den Bereich der Entwicklung von Unterrichtssoftware, wo eher traditionelle Methoden eingesetzt werden. Die Gründe hierfür sind vielfältiger Natur und bedürfen einer weitergehenden Analyse, die hier nicht geleistet werden kann. Zur Kritik gegenwärtiger Entwicklung von Unterrichtssoftware vgl. Daldrup/Donker/Büsing 1991, S. 29ff.

orientierung ein wichtiger Aspekt bei der Modellierung und Simulation. Nicht umsonst ist SIMULA - die erste objektorientierte Programmiersprache - für die Simulation realer Systeme entwickelt worden (Nygaard/Dahl 1981).

Die Realisierung des objektorientierten Konzeptes erfolgt mit Objekten und Botschaften. Ein Objekt setzt sich aus zwei Teilen zusammen:

- aus lokalen Daten, die seinen inneren Zustand beschreiben und
- aus einer Menge von Operationen (Methoden), mit denen sich die lokalen Daten manipulieren lassen und Dienste für externe Objekte realisiert werden.

Die Programmierung in objektorientierten Sprachen erfolgt durch Senden von Nachrichten an Objekte. Durch den Empfang von Nachrichten können Objekte ihren Zustand verändern oder Informationen über ihren Zustand an den Sender zurückgeben.

Wir gehen davon aus, daß die objektorientierte Programmierung für proto-typische Entwicklung anderen Konzepten überlegen ist, weil sie die unmittelbare Kooperation von Entwickler/-innen und Benutzer/-innen vereinfacht. Vor allen Dingen deshalb, weil hier die Möglichkeit gegeben ist, die unterschiedlichen Aspekte eines Anwendungsbereiches unabhängig von programmiertechnischen Details beschreiben zu können. Außerdem ist von Vorteil, daß sich ansprechende Benutzungsoberflächen bei der objektorientierten Programmierung leichter gestalten und verändern lassen.

6. KONZEPTIONELLE ÜBERLEGUNGEN ZUR ENTWICKLUNG EINES SIMULATIONSBAUKASTENS

6.1 Werkzeug- und Werkstattorientierung

Das Anliegen dieses Projektes liegt auch darin, den Computer nicht als *einfaches* Werkzeug für den Einsatz in Bildungsprozessen anzusehen, sondern zu einem schülergerechten Werkzeug im Sinne von Illichs Forderung nach Konvivialität (Illich 1980) zu machen. Dabei muß es darum gehen, die rationalistischen Orientierungen traditioneller Konzepte zu überwinden (Winograd, Flores 1989).

Diese Forderung beinhaltet, den Lernenden eine andere Perspektive der Computernutzung zu ermöglichen, in der neue Qualitäten der Computertechnologie zum Tragen kommen und entfaltet werden können. Im weitesten Sinne geht es um die Gestaltung von Hard- und Software aus der Sicht einer *Werkzeugperspektive*, die es gilt, der *Systemperspektive* entgegen zu setzen (Ehn 1988).

Versucht man, Arbeits- aber auch Lernprozesse aus der Werkzeugperspektive zu betrachten, um Möglichkeiten eines sinnvollen Einsatzes von Rechnersystemen als Hilfsmittel zur Arbeitserleichterung aufzuspüren, so bedeutet das nicht gleichzeitig, den Computer oder das Programm einfach als Werkzeug zu bezeichnen. Vielmehr müssen Perspektiven entwickelt werden, die dem Computer bzw. der Software *Werkzeugcharakter* verleihen können (Nake 1986, S. 44). Dazu ist es notwendig, wesentliche Merkmale der Handhabung klassischer Werkzeuge bei der Konstruktion neuer Hard- und Software zu erhalten.

Ausgangspunkt dieser Überlegungen ist die Feststellung, daß die verfügbaren Lehr- und Lernprogramme⁶ größtenteils von unannehmbar schlechter Qualität sind (Rozak 1986, S. 81; Schulte 1986).

Ursache dieser Defizite sind u. E. neben Wirtschaftlichkeitsargumenten reduktionistische Informatikkonzepte, die die technischen und sozialen Kontextbedingungen für die Realisierung fortschrittlicher Softwaregestaltung noch nicht reflektiert haben.

Bezogen auf unsere Fragestellungen bedeutet das, gründlich darüber nachzudenken, welche Orientierungen, Metaphern usw. für die Gestaltung von hypermedia-basierter Simulationssoftware geeignet sind, um Software zum Lehren und Lernen im Sinne der oben skizzierten Eigenschaften zu gestalten und weiter zu entwickeln.

6.2 Szenarien

Der Idee, Simulatoren baukastenartig auf der Basis von Hypermediasystemen zu implementieren, liegt die Tatsache zugrunde, daß durch Hypermedia erstmals

⁶Dies gilt nach natürlich gleichermaßen für die Software insgesamt, sei es im Bürobereich (z.B. Textverarbeitung) oder in der Werkstatt (CAD/CAM-Software).

Möglichkeiten geschaffen wurden, die mit traditionellen Softwaretools⁷ nur eingeschränkt möglich sind. Hierzu zählen insbesondere

- weiterreichende Möglichkeiten der Datenverknüpfung,
- ganzheitliche Sicht auf den Anwendungsbereich,
- Unterstützung verschiedener Sichten,
- Unterstützung einer individuellen Vorgehensweise,
- Einbindung verschiedener Medien,
- Animation dynamischer Abläufe,
- leichte Anpassbarkeit der Software an neue Anforderungen,
- Integration von einzelnen Spezialapplikationen unter einer einheitlichen Oberfläche,
- Tendenzielle Aufhebung der Trennung zwischen Anwender und Entwickler (Programmierer).

Wie könnte nun ein Simulationsbaukasten auf der Basis von Hypermedia aussehen ?

Ein solches System müßte als Experimentierbaukasten, als multimediale interaktive Lernumgebung konzipiert werden. Dazu sollte es mit einer einheitlichen auditiven, visuellen und haptischen Benutzungsschnittstelle versehen sein. Alle Bedienfunktionen müßten auf der Basis werkstatt- und erfahrungsorientierter Metaphern konzipiert und gestaltet sein. Informationssysteme (Daten, Fakten), Animationen physikalischer⁸ und mathematischer Grundlagen (Prinzipien) sowie anwendungsbezogene Prozeßsimulationen müßten integriert sein (vgl. Bruns 1990). Neben der Berücksichtigung einzelner technischer Systeme würde auch die Modellierung und Simulation kompletter Produktionsprozesse auf unterschiedlichen Ebenen möglich sein.

Auf diese Weise wären sehr unterschiedliche Werkzeuge und Hilfsmittel für organisatorische, planende, koordinierende, steuernde, überwachende, wartende, instandhaltende und informierende Tätigkeiten verfügbar. Eine solche Lernumgebung wäre geeignet für die Vermittlung von Fertigungswissen und Planungsfähigkeit im weiteren Sinne (Materialeigenschaften, Zerspanungsprozeß, Werkzeuge, Werkzeugorganisation, Materialplanung etc). Offenheit des Simulators im Sinne freier Konfigurierbarkeit und Erweiterbarkeit sowie kooperationsfördernde Kommunikationsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Arbeitsplätzen sind Forderungen, die technisch möglich sind.

Einzelkomponenten eines derartigen Systems existieren bereits, wie z.B. das Lernprojekt "Mechanical Universe" (Blinn 1987), frei konfigurierbare Mehrachsensysteme (Tauber 1988), Animationsgeneratoren und Multimedienstationen (Dittes 1989). Auch vorhandene Simulatoren (CNC, Robotik, SPS) könnten in ein interaktives Hypermediakonzept mit einbezogen werden (Müller 1987, 1990).

⁷Hierzu zählen wir neben prozeduralen Programmiersprachen (C, Pascal usw..) auch die sog. Autorensysteme, die spez. für die Entwicklung von Lernprogrammen entwickelt worden sind.

⁸Zum Einsatz von Software-Werkzeugen zur Modellbildung im Physikunterricht vgl. die aufschlußreiche Studie von Niedderer/Bethge/Schecker (1990).

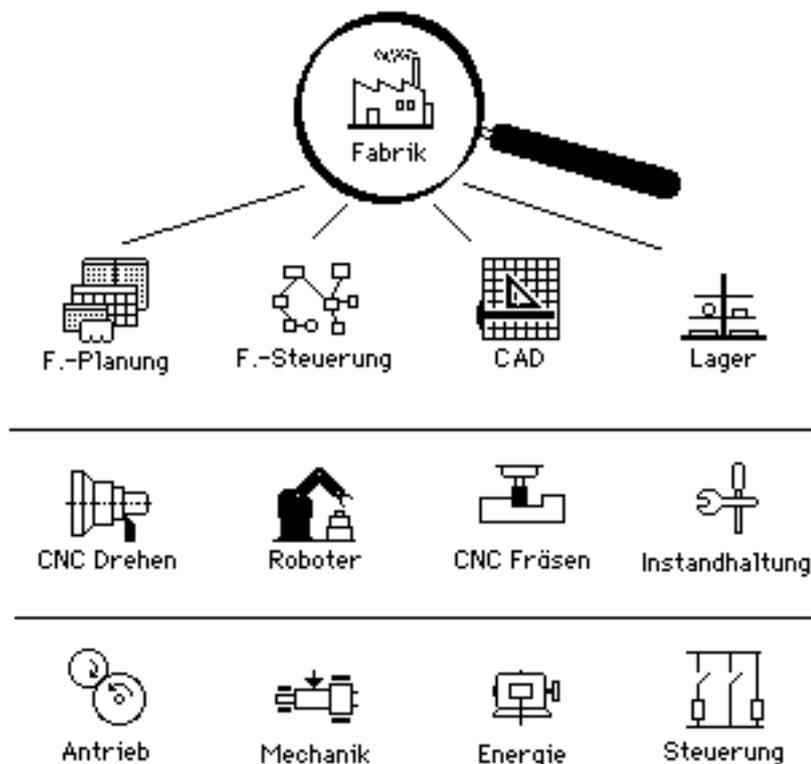


Abb.: Komponenten eines hypermediagestützten Simulationsbaukastens

Lernenden wird mit Hilfe eines solchen Simulationsbaukastens die Möglichkeit gegeben, das Wirkungsgefüge moderner Fertigungs- und Steuerungstechnik mit all seinen komplexen Wechselwirkungen spielerisch zu erforschen und zu verstehen. Es wäre eine Lernumgebung vorhanden, die es gestattet, verschiedene Szenarien zu simulieren und eine Thematik aus verschiedenen Blickperspektiven (*Views*) zu betrachten: Benutzer und Benutzerinnen könnten sich frei in einer *Fabrik* bewegen, und Hilfsmittel benutzen, die die Orientierung erleichtern.

An verschiedenen Stellen (z. B. Arbeitsvorbereitung, Konstruktion, Fertigung) kann der Benutzer stehenbleiben, um eine Thematik tiefer zu erforschen: Arbeitspläne können entwickelt, CNC-Programme getestet und ausprobiert werden. Störungen können simuliert und mögliche Konsequenzen erforscht werden. Es ist möglich, fehlende Informationen aus einer Datenbank abzurufen oder in die Rolle eines Interviewers zu schlüpfen, der Fachleute zu bestimmten Problemstellungen befragt.

Folgende Stichpunkte mögen abschließend die unterschiedlichen Aspekte, die im Rahmen eines "hypermediagestützten, modularen Simulationsbaukastens" integriert werden könnten, zeigen:

- Produktionsplanung
 - Planung, Modellierung und Simulation von Produktionsabläufen
 - Simulation von Fehlerzuständen (z.B. techn. Störungen)
 - Gestaltungsalternativen
- Fertigungstechnik
 - Planen, Erstellen und Testen von CNC - Programmen

- Kollisionsbetrachtungen
- Visualisierung von Zerspanungsprozessen
- Robotik
 - Planen, Erstellen und Testen von Steuerungsprogrammen
 - Veranschaulichung komplexer Kinematiken
 - Kollisionsbetrachtungen, Optimierung
- Steuerungstechnik
 - Planen, Erstellen und Testen von SPS - Programmen
 - Prozeßsimulation
- Informations- und Kommunikationstechnik
 - Algorithmen - Animation
 - Visualisierung von Datenübertragungsverfahren in lokalen Netzwerken,
 - Simulation von versch. Zugriffsverfahren
 - Simulation von versch. Rechner-Architekturen (CPU - Simulation)
- Elektrotechnik
 - Entwicklung von Schaltplänen
 - Simulation von Störungen.

LITERATUR

- Aders, A. /Ansel , B.: Hypertext für den Unterricht - eine kritische Standortbestimmung. In: Gloor/Streitz 1990.
- Becker, B.-D.: Die Fabrik im Simulator. In: CIM-Praxis, Sept. 1987, MI-Verlag.
- Bertuch, M.: Des PC neue Wirklichkeiten. Multimedia zwischen Anspruch und Kommerz. In: c't 1991, Heft 10, S. 40 ff.
- Bieler-Baudisch, H. / Buchholz, Ch.: CNC-Simulation. Stellungnahme zu dem Artikel von W. Kunkel: Der Stellenwert der Simulation in der CNC-Aus- und Weiterbildung. In: TIBB 2/89.
- Blinn, J.: The Mechanical Universe. Jet Propulsion Laboratory. SIGGRAPH Video Review Issue 25. ACM SIGGRAPH Publication "Computer Graphics", 1987.
- Booch, G.: Object oriented design with applications. Redwood, Cal. 1991.
- Bruns, F. W.: Die Simulation als Qualifikationsmittel; In: 3. Sachbericht - Modellversuch "Roboter als CIM-Komponenten in der beruflichen Bildung", Bremen 1990, S.157 ff.
- Bruns, F. W.: Konzeption für ein "Labor für Simulation- und Animationsstudien im Institut Technik und Bildung der Universität Bremen", Bremen 1990.
- Budde, R. / Züllighofen, H.: Software-Werkzeuge in einer Programmierwerkstatt. Ansätze eines hermeneutisch fundierten Werkzeug- und Maschinenbegriffs. München, Wien 1990.
- Bush, Vannevar : As we may think. In: Atlantic Monthly 176, July 1945, S. 101-108.
- Capurro, R.: Informationstechnik in der Lebenswelt. In: Gorny, P. (Hrsg).1991 S. 16ff.
- CIM Qualifizierung in Europa - Tagungsband (Hrsg. Institut Technik u. Bildung), Universität Bremen. 1991.
- Daldrup, U./ Gorny, P.: Modellbildungssysteme im Unterricht. In: Log in (1989) Heft 4, S. 7ff.
- Diehl, R.: Der sanfte Crash. Kollisionsprüfung in einem Volumenmodellierer. In: CAE-Journal 4/88.
- Dittes, A.: DemNeXt wird alles anders. Steve Jobs' Würfel in der Praxis. In: c't 9/89.
- Encarnacao, J. (Hrsg.): Telekommunikation und multimediale Anwendungen der Informatik. Informatik-Fachberichte 293. GI-21. Jahrestagung 1991 Proceedings. Berlin, Heidelberg 1991.
- Ehn, Pelle : Work-Oriented Design of Computer Artifacts. Arbeitslivscentrum, Stockholm 1988.
- Engelbart, D.: A conceptual framework for the augmentation of man's intellect. In P. Howerton (Ed.): Vistas in information handling, pp. 1-29. Spartan Books, 1963.
- Erbe, H.: Simulation versus Lernen im Arbeitsprozeß im gewerblich-technischen Bereich. Referat am 13. DGfE-Kongr. III. Symposium Berufs- und Wirtschaftspädagogik 17.3.1992, FU Berlin.
- Eversheim, W. / Thome, H.G.: GISA (Graphisch Interaktive Simulation und Animation) Simulation in der Werkstatt. In: CIM-Management 2/88.
- Faber, G.: Simulation. NC/CNC - Technik als Unterrichtsgegenstand der Berufsschule. In: 2. Sachbericht des Modellversuchs "NC/CNC-Technik" in Hessen. TH Darmstadt, 1985.
- Floyd, Christiane: Softwareentwicklung als Realitätskonstruktion. In: W.-M. Lippe (Hrsg.): Software-Entwicklung. Konzepte, Erfahrungen, Perspektiven. Berlin, Heidelberg, New York 1989, S. 1-20.
- Friedrich, J. / Lange, H./ Nake, F. / Schellhowe, H.: Kooperative Gestaltung Informationstechnischer Arbeitsmittel für kooperatives Arbeiten: Neuartige Zugänge zu Literaturbeständen. Artec - Arbeitspapier, Uni Bremen 1990.

- Giloi, W.: Simulation und Analyse stochastischer Vorgänge. München 1967.
- Gloor, P. A.: Hypermedia - Anwendungsentwicklung. Stuttgart 1990
- Gloor, P. A./ Streitz, N. A. (Hrsg): Hypertext und Hypermedia. Informatik-Fachberichte 249. Heidelberg 1990.
- Goldberg, A. / Robson, D.: Smalltalk-80: The Language. Reading, MA. 1989
- Goldberg, A.: Smalltalk-80: The Interactive Programming Environment. Reading, MA. 1984
- Gordon, G.: Systemsimulation. München 1972.
- Gorny, P. (Hrsg): Informatik und Schule 1991. Informatik: Wege zur Vielfalt beim Lehren und Lernen. Informatik-Fachberichte 292, Heidelberg 1990.
- Hammersley, J.M. / Handscomb, D.C.: Monte Carlo Methods. London 1964.
- Hoppe, M. / Pahl, J.-P.: Simulator, Ausbildungs- und Produktionsmaschine als Medien beruflichen Lernens für rechnergestützte Facharbeit. In: Facharbeit und CNC-Technik. Werner-von-Siemens-Schule, Wetzlar 1987.
- Heidegger, G. / Gerds, P. / Weisenbach, K. (Hrsg): Gestaltung von Arbeit und Technik - ein Ziel beruflicher Bildung, Frankfurt 1988.
- Illich, Ivan: Selbstbegrenzung. Reinbeck 1980.
- Kay, Alan : Software. In: Spektrum der Wissenschaft. Themen-Schwerpunkt Computer-Software, 1985, S. 6-15.
- Keller, R.: Grafische Konturerstellung. CNC-Drehen und CNC-Fräsen. Firmenbroschüre. R&S Keller GmbH, Wuppertal, 1988.
- Kirchhof, R.: Die CNC-Werkzeugmaschine in ihrer Funktion als Ausbildungsmittel. In: Hoppe, Manfred/ Erbe Heinz-H. (Hrsg.): Rechnergestützte Facharbeit. Reihe Berufliche Bildung Band 7, Wetzlar: Jungarbeiterinitiative an d. Werner-von-Siemens-Schule, 1986.
- Kirsch, W.: Entscheidungsverhalten und Handhabung von Problemen. Frankfurt/M 1976.
- Komarnicki, J.: Simulationstechnik. Düsseldorf 1980.
- Kunkel, W.: Der Stellenwert der Simulation in der CNC-Aus- und Weiterbildung. In: TIBB 1/89.
- Laessoe, J. / Rasmussen, L.B.: Human-Centered Methods - Development of Computer-Aided work processes. Esprit-Projekt 1217 (1199). Human-Centered CIM-Systems, Deliverable R18. Institut for Samfundsfag, Danmarks Tekniske Hojskole, 1989.
- Laur-Ernst, U. / Buchholz, Ch.: CNC-Ausbildung an der Produktionsmaschine oder am Simulator? Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis, 4/84.
- Laur-Ernst, U.: Mit CNC-Simulatoren lernen - Möglichkeiten und Grenzen. In: Hoppe, Manfred/ Erbe Heinz-H. (Hrsg.): Rechnergestützte Facharbeit. Reihe Berufliche Bildung Band 7, Wetzlar: Jungarbeiterinitiative an d. Werner-von-Siemens-Schule, 1986.
- Lay, Günther / Boffo Monika: Qualifikation von CNC-Facharbeitern als Ergebnis von Tätigkeitsanalysen. In: Hoppe, Manfred/ Erbe, Heinz-H. (Hrsg.) Neue Qualifikationen - alte Berufe? Rechnergestütztes Arbeiten und Konsequenzen für die Berufsausbildung. Wetzlar: Jungarbeiterinitiative e.V. an der Werner-von-Siemens-Schule, 1984.
- Luhmann, N.: Gesellschaften als Systeme der Komplexitätsreduktion. In: Tjaden, K.H. (Hrsg): Soziale Systeme. Materialien zur Dokumentation und Kritik soziologischer Ideologie. Neuwied 1971.
- Meadows, D.H. et al: The Limits to Growth. A Report for THE CLUB OF ROME'S Projekt on the Predicament of Mankind. Universe Books, NY 1972.

- Meyer, Ch. / Rautenberg, M. / Strässler, M.: Ein Bewertungsschema für Hypertextsysteme und ein vergleichender Überblick über HyperTies, Hyperpad, Hypercard und Guide. In: Encarnacao, J. (Hrsg.) 1991. S.554 ff.
- Meyer, B.: Objektorientierte Softwareentwicklung, München 1990.
- Meyrowitz, N.: The Missing Link: Why We're All Doing Hypertext Wrong. In: Barrett, Edward (Ed.): The Society of Text. Hypertext, Hypermedia, and the Social Construction of Information. Cambridge. Mass. , MIT, 1989.
- MMS-RS511: MAP 3.0 Implementation Release. M.M.S. Service Spezifikation. European M.A.P. Users Group, 1988.
- Mühlhäuser, M.: Hypermedia-Konzepte zur Verarbeitung multimedia Informationen. In: Informatik-Spektrum (1991) 14,; S. 281-290.
- Müller, D.: "CNCSim" - Grafisch - interaktiver CNC - Simulator. Bremen 1987.
- Müller, D.: "Karel der Roboter" - Eine interaktive Programmier- und Simulationsumgebung. Bremen 1990.
- Nake, F.: Die Verdopplung des Werkzeugs. In: Rolf, A. (Hrsg.): Neue Techniken alternativ. Hamburg 1986. S. 43-52.
- Nelson, T.: A file structure of the complex, the changing, and the indeterminate. In: Proceedings of the 20-th Nation ACM-Conference, pp. 84 - 100. Cleveland, OH, 1965.
- Niedderer, H. / Bethge, T. / Schecker, H.: Computereinsatz im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. Modellversuch im Bildungswesen. 2. Zwischenbericht. Bremen 1990.
- Niemeyer, G: Die Simulation von Systemabläufen mit Fortran IV. Berlin 1972.
- Nygaard, K./Dahl, O-J : The Development of the Simula Languages. In: Wexelbat, R. (Ed.): History of Programming Languages. New York Academic Press 1981.
- Parsons, T.: The Social System, New York 1968.
- Rauner, F: Elektrotechnik Grundbildung. Überlegungen zur Techniklehre im Schwerpunkt Elektrotechnik der Kollegschule. Soest 1986.
- Robinson, P.: The Four Multimedia Gospels; In: Byte Vol. 15, Nr. 2, 1990, S.203ff.
- Rodzak, T.: Der Verlust des Denkens. Über die Mythen des Computer-Zeitalters. München 1986.
- Schulte, H.: Computer und Schulsoftware. Alte Probleme mit einem neuen Medium. In: Zentrale Beratungsstelle für Neue Technologien (Hrsg.): Schule und Software. Soest 1986. S. 10-23.
- Simon, H.: Simulation und Modellbildung mit dem Computer im Unterricht. Grafenau 1978.
- Sacher, W.: Computer und die Krise des Lernens. Eine pädagogisch-antropologische Untersuchung zur Zukunft des Lernens in der Informationsgesellschaft. Bad Heilbrunn/Obb.1989.
- Shannon, R .E.: Systems Simulation: the Art and the Science. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1975
- Stachowiak, H. : Allgemeine Modelltheorie Wien / New York 1973.
- Stachowiak, H. (Hrsg): Modelle - Konstruktion der Wirklichkeit, München 1983.
- Streitz, N. A.: Hypertext: Bestandsaufnahme, Trends, Perspektiven. In: Encarnacao, J. (Hrsg.) 1991, S.543ff.
- Tauber, A., Schuster G.: Robotersimulation - eine CIM-Komponente. Bindeglied zwischen Gestern und Morgen. In: CAE-Journal 4/88

- TUB-Studienerfahrungen: Übungen am Flugsimulator. Institut für Luft- und Raumfahrttechnik. Technische Universität Berlin, 1966
- VDI: VDI-Richtlinie 3633. Anwendung der Simulationstechnik zur Materialflußplanung. Beuth Verlag, Berlin 3.1983
- Virilio, P.: Krieg und Kino. Logistik der Wahrnehmung. Carl Hanser Verlag, 1984
- Virilio, P.: Videoproduktion des RTF. Mensch-Maschine und Simulation. Neue Gesellschaft für Bildende Kunst, Berlin 1989.
- Winograd, T. / Flores, F.: Erkenntnis Maschinen Verstehen. Berlin 1989.
- Witte, H.: CNC-Simulation. Stellungnahme zu dem Artikel von W. Kunkel: Der Stellenwert der Simulation in der CNC-Aus- und Weiterbildung. In: TIBB 2/89
- Young, J.P.: A Survey of Historical Development in War Games. Operations Research Office. The John Hopkins Univ., Bethesda, Md., 1959