

Dieter Müller

Entwicklung rechnergestützter Simulatoren aus der Perspektive eines erfahrungsbezogenen Lernkonzepts

In: Petersen, W./ Rauner, F. (Hrsg.): IT-gestützte Facharbeit - Gestaltungsorientierte Berufsbildung. Baden-Baden 2000

1 Einführung

In dem vorliegenden Beitrag werden Modellbildungs- und Simulationsansätze diskutiert, die lernförderliche Brücken zwischen gegenständlichen Modellwelten und hoch formalisierten, abstrakten ‚Welten‘ der Rechner schaffen. Dabei spielt die Orientierung an den Vorerfahrungen der Nutzer und die Möglichkeit, durch experimentelles Vorgehen neue Erfahrungen zu machen, eine zentrale Rolle. Der Beitrag beruht auf einer Untersuchung in der didaktische, lernpsychologische und technische Aspekte des Verhältnisses von Simulation und Erfahrung beleuchtet und ein neuer Gestaltungsansatz für rechnergestützte Simulatoren entwickelt wurde, der auf ein neuartiges Konzept der mehrdimensionalen Simulation aufbaut (Müller 1998).

2 Lernen mit Simulatoren

2.1 Grundlagen der Simulation

Die Simulation ist eine experimentelle Methode. Sie umfasst die Abbildung eines real existierenden oder ideellen Systems (Originals) in einem Modell und das Experimentieren mit diesem Modell zum Zwecke der Erfahrungs- oder Erkenntnisgewinnung. Eine rechnergestützte Simulation beinhaltet entsprechend das Experimentieren mit einem rechnerbasierten Modell oder, wie Fishwick es definiert, die Ausführung eines Modells auf einem Digitalrechner:

„Computer simulation is the discipline of designing a model of an actual or theoretical physical system, executing the model on a digital computer, and analyzing the execution output“ (Fishwick 1995, S. 1).

Ein wesentliches Potential der Simulation ist der risikolose Umgang mit Modellen existierender oder gedachter ‚Wirklichkeiten‘. Modelle stellen in diesem Sinne die Basis dar, um diese ‚Wirklichkeiten‘ in der Simulation antizipieren und erfahren zu können. Vorteilhaft ist bei der Simulation die prinzipielle Möglichkeit, ein Modell auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen zu betrachten und zu steuern, es aus einer selbstgewählten Perspektive zu analysieren sowie in alternative Systemzusammen-

hänge zu stellen und in der Zeitdimension variieren zu können. Beim Einsatz von Simulationsmodellen ist zu differenzieren, mit welcher Fragestellung und Zielsetzung dies geschieht. Dabei lassen sich die unterschiedlichen Einsatzbereiche und Ziele von Simulationen in zwei Kategorien zusammenfassen:

- Simulationen zum Zwecke der Theoriebildung, Konstruktion, Planung oder Prognose und
- Simulationen zum Zwecke der Ausbildung bzw. Qualifizierung.

Beim Einsatz der Simulation zum Zweck der Theoriebildung, Konstruktion, Planung oder Prognose dienen Simulationen in erster Linie als Optimierungsinstrument, Entscheidungs- oder Prognosehilfe. Dabei wird vor allem die objektivierende Seite der Simulationsmethode hervorgehoben. Die obigen Ausführungen aus dem Umfeld der Simulationstechnik und der Technikwissenschaften (VDI 3633) gehen in diese Richtung. Im Gegensatz dazu steht bei der Simulationen zum Zwecke der Ausbildung bzw. Qualifizierung der Lernfortschritt, der sich aus dem Umgang mit der Simulation selbst ergibt, im Vordergrund. Der Vorteil der Simulation ist hier vor allem darin zu sehen, dass durch Modellbildung und Simulationsexperiment ein besonders tiefes Problemverständnis über das zu modellierende Original entwickelt wird und hierdurch neue Einsichten über die Wirklichkeit entstehen können. Darüber hinaus unterstützen Simulationen den Erfahrungsprozess („Machen von Erfahrungen“) und das Lernen aus Erfahrungen im Umgang mit Möglichkeiten und Perspektiven vorhandener oder ideeller Systeme. Hierbei werden immer auch die Unschärfen und Unsicherheiten, die mit der Simulation verbunden sind, erfahren. Aus einer solchen Perspektive betrachtet, haben Simulationen also nicht nur eine wichtige Funktion im Forschungs-, Planungs- oder Konstruktionsprozess, sondern auch eine didaktische.

2.2 Anwendungsformen der rechnergestützten Simulation aus didaktischer Sicht

Bodendorf unterscheidet drei Simulationstypen, nämlich Experimentiersysteme, Mikrowelten und Trainingssysteme (Bodendorf 1993, S. 73ff).

„*Experimentiersysteme* erlauben ein aktives Verwenden, Manipulieren und Testen einer modellhaften Abbildung von realen Objekten oder Prozessen“ (Bodendorf 1993, S. 73, Hervorh. D.M.). Im Zentrum steht hierbei das Experimentieren mit einem Modell, welches vereinfacht und auf das Wesentliche reduziert einen bestimmten ‘Wirklichkeitsausschnitt’ abbildet. Als Modellbasis dienen u.a. technische und physikalische Objekte. Durch die Möglichkeit, entdeckend zu lernen und erworbenes Wissen im Experiment auszuprobieren, können kognitive Fähigkeiten, wie Systemdenken, Problemlösen oder Entscheidungshandeln gefördert werden.

Mit *Mikrowelten* wird eine weitere Kategorie simulationsbasierter Systeme bezeichnet, die „... dem freien, entdeckenden Lernen in einem künstlichen Abbild der Wirklichkeit noch einen Schritt näher kommen“ als Experimentiersysteme (Bodendorf 1993, S. 75). Hier wird nicht nur eine vorgegebene, aus einer bestimmten inhalt-

lichen Domäne entnommene Situation abgebildet, sondern die Lernenden haben selbst die Möglichkeit, eine solche Situation in Form einer 'Mikrowelt' zu schaffen. Die besondere Qualität von Mikrowelten ist darin zu sehen, dass sie relativ 'offene' Systeme darstellen und deshalb exploratives Lernen fördern können.

Trainingssysteme dienen dazu, den Umgang mit Geräten, Maschinen, technischen Anlagen oder sonstigen Apparaten einzuüben. Meist geht es dabei um das Erlernen der Systembedienung unter unterschiedlichen Bedingungen und das Trainieren von Verhaltensweisen bei Fehlfunktionen oder Notfällen. Beispiele hierfür sind Fahr- und Flugsimulatoren, Simulatoren für Kraftwerke sowie CNC- und Roboter-Simulatoren. Die didaktische Bedeutung derartiger Anwendungen liegt insbesondere in der Reduzierung von Risiken bei Fehlbedienungen durch die Möglichkeit gefahrlosen Probehandelns und Übens.

2.3 Gegenwärtige Simulationssysteme und ihre Begrenzungen

Hauptsächlich lassen sich zwei Ursachen identifizieren, die einen lernförderlichen Umgang mit vielen Simulatoren erschweren (Müller 1998, S. 28ff):

Erstens können Lernende ihre Vor-Erfahrungen beim Umgang mit Lern-Simulatoren häufig nicht hinreichend nutzen und einbringen. Dabei lässt sich feststellen, dass rechnergestützte Simulationen in der Regel spezifische Kenntnisse und einschlägige Erfahrungen mit meist formalen Modellierungsmethoden und komplexen Software-Tools voraussetzen. Häufig sind dies relativ spezialisierte Kenntnisse und Erfahrungen, die im hohen Maße von der jeweiligen Simulationsanwendung abhängen und nur zu einem gewissen Teil auf andere Anwendungen übertragbar sind. Das bedeutet, dass diese Kenntnisse und Erfahrungen immer zunächst erworben werden müssen, um einen Simulator adäquat nutzen zu können. Auf diese Weise erzwingen Simulationssysteme - wie rechnerbasierte Techniken generell - häufig einen Bruch in den Nutzungsgewohnheiten, Vorerfahrungen und Qualifikationen der Lernenden. Dementsprechend werden vorhandene Erfahrungen wertlos, weil viele der vorfindlichen Systeme keine Übergänge zwischen erworbenen Erfahrungen und neuen Anforderungen zulassen.

Zweitens können im Zusammenhang mit der Simulation gewonnene Erkenntnisse nur selten in (Arbeits-) Handeln umgesetzt und deren Konsequenzen sinnlich 'erfahren' werden. Angesprochen wird hiermit das Problem, dass existierende Simulatoren selten darauf ausgelegt sind, in Kombination mit Realsystemen im Arbeitsprozess eingesetzt zu werden. Noch weniger ermöglichen sie eine Prozesskopplung zwischen Simulationsmodellen und Realsystemen. Hierdurch werden notwendige Rückbindungen an praktische Erfahrungen im Arbeitsprozess behindert.

Insgesamt ergibt sich also die pädagogische Notwendigkeit einer stärker an den Erfahrungen ihrer Benutzer orientierten Konzeption und Gestaltung rechnergestützter Simulationssysteme und deren Integration in *erfahrungsförderliche* Lernkontexte. Gelingt es, stärker als bisher durch entsprechende Lernsysteme *erfahrungsbezogenes*

Lernen zu unterstützen, dann können die kreativen, schöpferischen Stärken der Benutzer (Lernende und Lehrende) im Umgang mit Simulatoren produktiver genutzt werden. Damit wird die Erfahrung – im spezifisch pädagogischen Sinne – zu einer zentralen Gestaltungskategorie für rechnergestützte Simulationen.

3 Erfahrung als Gestaltungskategorie

Wenn in diesem Zusammenhang die mangelnde Möglichkeit eines auf Erfahrung bezogenen Lernens mit Simulatoren konstatiert und als zentrales Defizit aktueller Simulationsansätze problematisiert wird, so liegt dem die Überzeugung zugrunde, dass für didaktische Zwecke nur solche Simulationssysteme ihren Zweck erfüllen können, die *erfahrungsbezogene Zu- und Übergänge* zwischen konkreten und abstrakten, zwischen einfachen und komplexen Simulationsmodellen in allen Simulationsphasen ermöglichen und unterstützen. Dabei wird von der Tatsache ausgegangen, dass ein enger Zusammenhang von Erfahrung und Lernen existiert. Erfahrung ist – im spezifisch pädagogischen Sinne – die Voraussetzung und Folge aller erfolgreichen Lernprozesse, „... gleichgültig, ob das Gelernte selbst eine Erfahrung im strengen Sinn, ob es ein begrifflicher Sachverhalt, ob es nur ein Gegenstand möglicher oder künftiger Erfahrung ist, der uns durch ‘Unterricht’ vorgreifend vermittelt wird“ (Buck 1967, S. 14).

3.1 Erfahrungsorientierung und Erfahrungsförderlichkeit

Lernen ist ein zirkulärer Prozess, der sich durch die Nutzung vorhandener und die Integration neuer Erfahrungen auszeichnet. Erfahrung hat in diesem Verständnis eine doppelte Funktion: Zum einen bildet sie den Ausgangspunkt neuer Lernprozesse und zum anderen führen Lernergebnisse wieder zu neuen Erfahrungen (Fischer 1996). Im Hinblick auf eine erfahrungsbezogene Systemgestaltung ergeben sich daraus zwei zentrale Prinzipien:

- Vor-Erfahrungsorientierung und
- Neu-Erfahrungsförderlichkeit.

Das Kriterium der *Vor-Erfahrungsorientierung* beinhaltet im wesentlichen die Forderung nach Simulationssystemen, die an den vorhandenen Erfahrungen der Benutzer orientiert sind. Das bedeutet, Simulatoren sollten so ausgelegt sein, dass Lernende ausgehend von ihren (Vor-)Erfahrungen ein entsprechendes System ohne großen Einarbeitungsaufwand bedienen und damit eine Simulationsaufgabe bearbeiten und lösen können sollten. Aus lernpsychologischer Sicht geht es hierbei im Kern um das Anknüpfen an und Integrieren von (Vor-)Erfahrungen, Kenntnissen und Fähigkeiten.

Das Kriterium der *Neu-Erfahrungsförderlichkeit* beinhaltet im wesentlichen die Forderung nach Simulationssystemen, die die Erfahrungsbildung, das heißt das Machen neuer Erfahrungen im besonderen Maße fördern. Das bedeutet, Simulatoren

sollten qualitativ neue Erfahrungen ermöglichen, die mit anderen Lehr- und Lernmedien nicht gegeben sind. Gewonnene Erfahrungen im Umgang mit Simulatoren sollten darüber hinaus auch für die Benutzung realer Systeme relevant und hilfreich sein. Aus lernpsychologischer Sicht geht es hierbei vor allem um lernförderliche Übergänge zwischen vorhandenen und neu zu erwerbenden Erfahrungen.

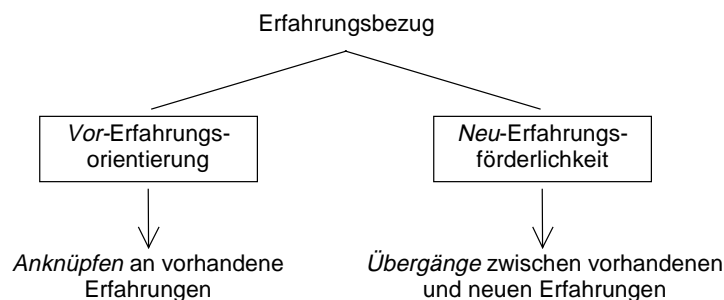


Abb. 1: *Erfahrung als zentrale Gestaltungskategorie*

Für das Design von Simulatoren lässt sich aus den beiden genannten Gestaltungsprinzipien Vor-Erfahrungsorientierung und Neu-Erfahrungsförderlichkeit grundsätzlich ableiten, dass Simulationsumgebungen eine möglichst große Vielfalt an (vor-) erfahrungsorientierten Zugängen und (neu-) erfahrungsförderlichen Übergängen eröffnen sollten, damit Lernende entsprechend ihrer unterschiedlichen subjektiven Voraussetzungen vielfältige Lernmöglichkeiten haben (vgl. Abb.1).

Die Konzeption und Gestaltung von Simulationsumgebungen hat sich an diesen didaktischen Leitlinien zu orientieren, um dann daraus Empfehlungen für geeignete Modelle, Methoden des Experimentierens und Umgangsformen mit dem Medium selbst abzuleiten. Wesentliche Dimensionen der Modellgestaltung sind die Abstraktheit und die Kompliziertheit bzw. Komplexität von Modellen.

3.2 Abstraktheit von Simulationsmodellen

Die Abstraktheit von Modellen drückt sich unmittelbar in der Art ihrer Stofflichkeit, ihrer Repräsentation aus. Zu unterscheiden sind hier gegenständliche, grafische und textuelle Modelle¹. Abstrakte Modellrepräsentationen sind dadurch charakterisiert,

¹ Diese Differenzierung basiert in leicht modifizierter Form auf der *Allgemeinen Modelltheorie* und der dort vorgeschlagenen Systematik unterschiedlicher Modellarten (Stachowiak 1973, S.159ff; 1983, S.121ff).

dass sie individuelle Merkmale eines Systems vernachlässigen und eher gemeinsame Eigenschaften von Systemklassen hervorheben.

Ein grundlegendes Prinzip der Abstraktion ist die *Generalisierung*, ihre Umkehrung die *Spezialisierung*. Abstraktion durch Generalisierung beinhaltet immer einen Prozess der Verallgemeinerung und der Loslösung vom konkreten Gegenstand. Durch Spezialisierung hingegen wird der *intensionale* Gehalt einer Modellbeschreibung größer, während ihre *Extension* im Gegensatz zur Generalisierung abnimmt².

Generalisierung beinhaltet immer eine Induktion, das heißt eine Schlussfolgerung vom besonderen konkreten Einzelfall (Teilklass) auf den allgemeinen Fall (Gesamtklasse). Ein induktives Vorgehen erfordert dementsprechend das aktive Suchen von Gemeinsamkeiten eines Gegenstandsbereiches, weshalb die Induktion immer einen Erfahrungsprozess voraussetzt, der wesentlich aus konkreten Handlungen mit verschiedenen *Beispielfällen* einer Klasse besteht (Mandl/Friedrich/Hron 1993, S.157). Die Abstraktion durch Generalisierung baut auf Schritte des Tuns, Verstehens und der Verinnerlichung auf und kennzeichnet im Prinzip nichts anderes als den „Übergang vom Handeln zum Denken“ (Aebli 1995, S. 127) – einer Vorgehensweise also, die wesentlich als eine erfahrungsbezogene charakterisiert werden kann.

Der umgekehrte Weg, die Konkretion mit Hilfe der Spezialisierung, beinhaltet eine deduktive Vorgehensweise. Die Schwierigkeiten bei der Deduktion liegen dabei in der logischen Schlussfolgerung vom allgemeinen auf den besonderen einzelnen Fall. Dieses Vorgehen setzt Vorerfahrungen in dem jeweiligen Gegenstandsbereich voraus.

Eine Möglichkeit, abstrakte Systeme (Originale) für den Modellierenden leichter zugänglich zu machen, besteht darin, *multimodale Modelle* (Müller 1998, S. 208ff) einzusetzen. Multimodale Modelle ermöglichen die Simulation auf unterschiedlichen Ebenen der Modellrepräsentation bzw. –vergegenständlichung im Sinne der Generalisierung bzw. Konkretion. Aus der Perspektive eines erfahrungsbezogenen Gestaltungsansatzes ist ein integratives Konzept sinnvoll, bei dem eine Kombination unterschiedlich konkreter bzw. abstrakter Modelle sowie eine Verbindung rechnerbasierter Modelle – seien sie grafischer oder textueller Natur – mit nicht-rechnerbasierten Modellen (oder Realsystemen) angestrebt wird. Auf diese Weise kann direktes und indirektes (mediatisiertes) Lernen mit konkret-stofflichen und rechnerbasierten, virtuellen Modellmedien kombiniert werden.

² Die *Intension* einer Modellbeschreibung beinhaltet den Sinnzusammenhang des modellierten Originals. Sinn ist dabei wesentlich kontextgebunden und beobachterabhängig, wohingegen die *Extension* einer Beschreibung die Bedeutung des entsprechenden Objektes beinhaltet (Stachowiak 1973, S. 147ff; vgl. auch Mayer 1996, S. 102ff).

3.3 Komplizierte und komplexe Simulationsmodelle

In Anlehnung an die gängige modelltheoretische Terminologie spricht man von komplizierten Systemen, „... wenn sie eine größere Anzahl verschiedenartiger Subsysteme enthalten; das Maß der Kompliziertheit, die *Varietät*, wird durch die absolute Zahl unterscheidbarer Subsysteme ... angegeben“ (Ropohl 1979, S. 71). Komplexe Systeme hingegen zeichnen sich „... durch eine Vielzahl unterschiedlicher Relationen aus; analog zur Varietät gibt man die Komplexität durch die Zahl unterscheidbarer Relationen ... an“ (ebd.). Kompliziertheit ist stets mit Komplexität behaftet, aber Komplexität nicht notwendigerweise mit Kompliziertheit, nämlich dann nicht, wenn ein System aus universellen Elementen besteht. Daraus folgt, dass zunehmende Kompliziertheit im Sinne wachsender Varietät immer eine höhere Komplexität mit sich bringt, aber nicht umgekehrt. Vereinfacht kann man zwischen einfachen, komplexen und sehr komplexen Systemen unterscheiden.

Je komplizierter bzw. komplexer ein zu modellierendes System aufgebaut ist, desto schwieriger ist es, den inneren Aufbau oder die Funktion eines solchen Systems zu erfassen und in ein Simulationsmodell abzubilden. Dabei werden von Anfängern Sachverhalte als äußerst kompliziert bzw. komplex wahrgenommen, die hingegen für einen Erfahrenen einfach erscheinen.

Aus der Theorie komplexer Systeme (Simon 1982) lässt sich folgern, dass es bei der Simulation solcher Systeme hilfreich ist, diese in ihre Subsysteme hierarchisch zu zerlegen. Einzelne Subsysteme können dann relativ einfach aufgebaut werden und häufig auch einander ähnlich sein. Dadurch vereinfacht sich der Modellierprozess. Zusätzlich wird die gleichzeitig zu erfassende Informationsmenge wesentlich vermindert, da immer nur einzelne Subsysteme für sich betrachtet werden müssen. Hieraus ergeben sich, insbesondere was die kognitive Verarbeitungs- und Gedächtniskapazität des Modellierenden angeht, *komplexitätsreduzierende Effekte* – obwohl die Komplexität des zu simulierenden Systems im eigentlichen Sinne nicht reduziert, sondern lediglich *selektiv* erfasst und *stückweise* verarbeitet wird.

Eine Möglichkeit, komplexe Systeme leichter modellieren und simulieren zu können, besteht dementsprechend darin, Modellkonfigurationen zu verwenden, die eine schrittweise und iterative Vorgehensweise auf verschiedenen Ebenen der Systemkomplexität mit Hilfe unterschiedlicher (Teil-)Modelle unterstützen. Für derartige *Mehrebenenmodelle* lassen sich unterschiedliche Konzepte zur Ebenenbildung bezüglich Aggregation und Präterition (Auslassung) unterscheiden und in Lernumgebungen realisieren (Müller 1998, S. 193ff).

4 Prototypische Realisierungen

Ein Simulationskonzept, das sowohl eine Vielfalt von Modellarten als auch eine möglichst freie Wahl von Übergängen zwischen diesen Modellarten während des Simulationsprozesses unterstützt, wurde in Müller (1998) als *Mehrdimensionale Si-*

mulation vorgestellt. Das Konzept der Mehrdimensionalen Simulation lässt sich als ein mehrdimensionaler Zustandsraum mit den Dimensionen: Modellkomplexität (Detaillierung), Modellabstraktheit (gegenständlich, anschaulich, symbolisch), Originalähnlichkeit (formal, inhaltlich) usw. darstellen. Beim Lernen kann dieser ‚Erfahrungsraum‘ intuitiv sprunghaft oder auf systematischen Pfaden durchschritten werden.

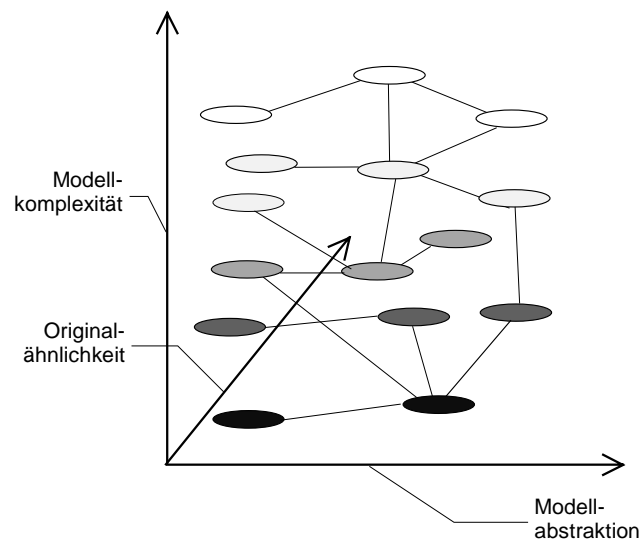


Abb. 2: Mehrdimensionale Modellkonfiguration

Für die Realisierung eines solchen Konzeptes ist es erforderlich, Simulationsumgebungen zu entwickeln, in der eine enge Integration und Kopplung zwischen verschiedenen Simulationsmodellen unterschiedlicher Abstraktion und Komplexität realisiert ist. Die Integration und Kopplung softwarebasierter Simulationsmodelle kann zweckmäßig auf der Basis von Hypermedia realisiert werden. Mit Hilfe eines hypermediabasierten Navigationsrahmens besteht die Möglichkeit, (Teil-)Modelle in Hyperknoten zu integrieren und diese dann untereinander durch Hyperlinks zu verknüpfen. Die Struktur einer solchen Simulationsumgebung kann leicht unterschiedlichen Anforderung angepasst werden, indem Modellkomponenten anders verknüpft oder neue Modelle eingebunden werden, dabei können einzelne Knoten auch mit gegenständlichen Modellelementen gekoppelt werden.

Mehrere Realisierungen oben genannter Gestaltungsempfehlungen in Lernumgebungen liegen inzwischen vor (vgl. Bruns 1999; Brauer 1999; Bruns 2000). So wurde eine Simulationsumgebung für Pneumatik entwickelt, die im Sinne der mehrdimensionalen Simulation die Kombination und Kopplung unterschiedlicher Modell-

abstraktionen und Komplexitätsstufen ermöglicht. Ausgangspunkt von Modellierprozessen sind dabei sogenannte *komplexe Modellobjekte* (Bruns 1999). Komplexe Modellobjekte haben – in Anlehnung an die komplexe Zahl – eine gegenständlich-stoffliche Komponente und verschiedene rechnerinterne Repräsentationen (abstrakt-symbolisch, anschaulich-ikonisch usw.) (vgl. Abb. 3).

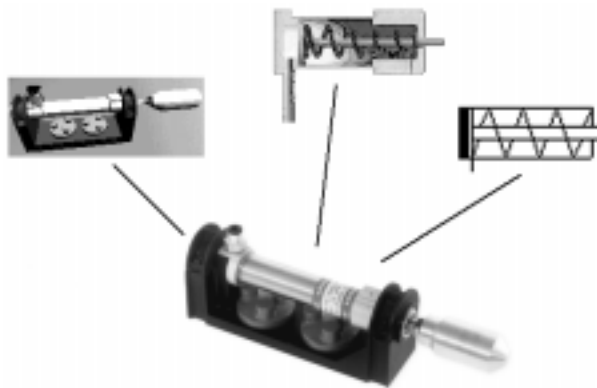


Abb. 3: *Komplexes Pneumatik-Objekt mit Real- und Imaginärteil*



Abb. 4: *Modellier- und Simulationsumgebung im Unterricht*

Das grundlegende Prinzip beim Modellieren mit komplexen Modellobjekten besteht darin, gegenständlich-stoffliche Modellkomponenten mit rechnerinternen virtuellen Modellrepräsentationen zu synchronisieren. Dabei werden die gegenständlich-stofflichen Komponenten zum Aufbau eines realen und eines virtuellen Modells benutzt. Die Synchronisierung erfolgt über Techniken der Objekterkennung per Videokamera, sensorisierter Hand oder sensorisierten Objekten. Das Operieren am Realteil bedingt automatisch eine synchrone Veränderung der anderen Komponenten. Durch diese Verbindung von Realität und Virtualität ist es möglich, reale Systeme aufzubauen und synchron dazu ihre immer abstrakter werdenden Repräsentationen zu verfolgen. Erste empirische Ergebnisse des Einsatzes einer derartigen Lernumgebung in der beruflichen Ausbildung (vgl. Abb. 4) liegen inzwischen vor (Grund/Grote 1999).

5 Zusammenfassung

Im Fokus der in diesem Beitrag formulierten Vorstellungen über ein erfahrungsbezogenes Lernkonzept zeigt der beschriebene Ansatz Möglichkeiten auf, wie multimodale Übergänge zwischen einer konkreten, stofflichen Welt mit ihren sinnlichen Elementen und einer abstrakten, virtuellen Modellwelt mit ihren formalen Strukturen möglich sind und real-technisch umgesetzt werden können: Die ‚handgreifliche‘ Modellierung bildet die Grundlage für kognitive Abstraktionsvorgänge, Denkprozesse und Begriffsbildungen. Gleichzeitig dienen die im Rechner generierten Modellbeschreibungen dazu, unterschiedlich abstrakte Repräsentationen und Visualisierungen des Modells zu erzeugen, um den Lernprozess zu unterstützen.

6 Literatur

- Aebli, H. (1995) Grundlagen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. 3. Aufl. Stuttgart.
- Bodendorf, F. (1993) Typologien von Systemen für die computergestützte Weiterbildung, In: Bodendorf, F./ Hofmann (Hrsg.), Computer in der betrieblichen Weiterbildung. München, Wien, 63-82.
- Brauer, V. (1999) Gegenständliche Benutzungsschnittstellen für die Mensch-Computer-Interaktion. Dissertation, Bremen.
- Bruns, F. W. (1999) Complex Construction Kits for Engineering Workspaces, In: Streitz, N. A./ Siegel, J./ Hartkopf, V./ Konomi, S. (Hrsg), Cooperative Buildings – Integrating Information, Organizations and Architecture. Second Int. Workshop, CoBuild'99. Carnegie Mellon. Lecture Notes of Computer Science 1670. Heidelberg, 55-68.
- Bruns, F. W. (2000) Complex Objects and anthropocentric Systems Design, In: Camarinha-Matos, L.M./ Afsarmanesh, H./ Erbe, H.-H. (Ed.), Advances in networked Enterprises: Virtual Organizations, Balanced Automation and Systems Integration, Kluwer Academic Publishers, 249-258.

- Buck, G.* (1967) Lernen und Erfahrung. Zum Begriff der didaktischen Induktion. Stuttgart u.a.
- Fischer, Martin* (1996) Überlegungen zu einem arbeitspädagogischen und -psychologischen Erfahrungsbegriff, In: ZWB – Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 92 (1996) 3, 227-244.
- Fishwick, P. A.* (1995) Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Grund, S./ Grote, G.* (1999) Auswirkungen eines gegenständlich-virtuellen Lernumfelds auf Wissen und Problemlösen. Arbeit, In: Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. Wiesbaden, 321-317.
- Mandl, H./ Friedrich, H.F./ Hron, A.* (1993) Psychologie der Wissenserwerbs, In: Weidenmann/Krapp 1993, 143-218.
- Mayer, V.* (1996) Gottlob Frege. München.
- Müller, D.* (1998) Simulation und Erfahrung. Dissertation, Bremen.
- Ropohl, G.* (1979) Eine Systemtheorie der Technik. München, Wien.
- Simon, H. A.* (1982) The Sciences of the Artificial. Cambridge.
- Stachowiak, H.* (1973) Allgemeine Modelltheorie Wien/ New York 1973.
- Stachowiak, H.* (Hrsg.) (1983) Modelle - Konstruktion der Wirklichkeit. München
- VDI 3633 VDI - Richtlinien* (Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure): Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen - Grundlagen. VDI 3633. Blatt 1. - Entwurf. Düsseldorf. Oktober 1992.
- Weidenmann, B./ Krapp, A. u.a.* (Hrsg.) (1993) Pädagogische Psychologie. 3. Aufl. München.

