

Dieter Müller, F. Wilhelm Bruns

Arbeiten und begreifen: Erfahrungshandeln in virtuellen und realen Welten

Einführung

Die heutige industrielle Produktion ist durch eine zunehmende Informatisierung von Produkten und Produktionsprozessen und die Tendenz zur Virtualisierung gekennzeichnet. Traditionelle Produktions- und Arbeitsweisen, die mehr oder weniger durch den unmittelbaren und vielsinnigen Umgang mit materiellen Objekten geprägt waren, verlieren an Bedeutung. An ihre Stelle treten virtuelle Werkzeuge, Werkstoffe und Maschinen. *Virtual Prototyping* und *Virtual Manufacturing* sind beispielsweise solche Techniken, die bei vielen Unternehmen bereits Einzug gefunden haben und die eine durchgängige digitale Prozesskette ermöglichen. Das Ziel ist die Zahl physikalischer Modelle und Prototypen, deren Erstellung viel Zeit und Kosten kostet, drastisch zu reduzieren. Welche Konsequenzen hat dies für die Handhabung technischer Prozesse und für deren Verständnis und Beherrschung?

Inzwischen gilt es als eine gesicherte Erkenntnis, dass unmittelbare und vielsinnige Wahrnehmungen nicht nur beim Umgang mit einfachen Werkzeugen, sondern auch bei der Arbeit mit hochtechnisierten Systemen bedeutsam sind. In den 80er Jahren haben Böhle und Milkau (1988) dies auf der Grundlage verschiedener Fallstudien aus dem Bereich der Werkstattarbeit an konventionellen und rechnergesteuerten Werkzeugmaschinen belegt. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass rechnerbasierte Werkzeugmaschinen gegenüber herkömmlichen Maschinen eine geringere Prozesstransparenz und beschränkte manuelle Eingriffsmöglichkeiten aufweisen, die zu Erfahrungsverlusten im Umgang mit diesen Maschinen führen. Obwohl das Bedienungspersonal durch rechnergestützte Technik von körperlicher Arbeit entlastet wird, wird andererseits aber die Erfahrungsbildung durch die 'Distanz' zur Maschine, zum Werkzeug und Material erschwert. Dementsprechend kann bestimmtes Erfahrungswissen, welches vormals im Zuge sinnlicher Erfahrung und *subjektivierenden Arbeitshandels* an konventionellen Maschinen ausgebildet werden konnte, nicht mehr entwickelt werden. Rechnergestützte Werkzeugmaschinen repräsentieren eine Form objektivierenden Technikwissens, die auch zu einem distanzierten, objektivierten Umgang zwingt. Wie Böhle/Milkau zeigen, entstehen nun hieraus Probleme, die in bestimmten komplexen Situationen virulent werden können. Vor allem in Arbeitssituationen mit unvollständigen Informationen und bei risikobehafteten Entscheidungsfällen und dies insbesondere unter Zeitdruck, steuert nicht objektivierendes, sondern subjektivierendes Handeln, das heißt das durch praktische Erfahrung individuell erworbene Wissen, angemessenes Handeln. Hier reicht objektivierendes Handeln, basierend auf objektivierten Kenntnissen und Bewertungen nicht aus – so die damals auch empirisch unterstützte These.

Die daraus abgeleitete Forderung an Systemgestalter war, Maschinen zu konstruieren, die ein subjektivierendes, erfahrungsorientiertes Arbeiten ermöglichen. Weil das Haptische eine zentrale Rolle spielt, haben Informatiker, Ingenieure, Psychologen und Pädagogen mehr oder weniger greifbare und begreifbare Systeme entwickelt.

Im folgenden sollen einige dieser Konzepte, die im Zusammenhang mit der Auseinandersetzung um Erlebnis- und Erfahrungsmöglichkeiten in virtuellen und realen Welten entstanden

sind, dargestellt werden. Zunächst wird ein kurzer Überblick über die Virtualisierung von Produktionsprozessen und Produkten gegeben. Es folgen Ausführungen zu den Konsequenzen der Virtualisierung und der Frage, wie viel Realitätsbezug für das Verstehen komplexer technischer Zusammenhänge erforderlich ist, um diese begreifen und beherrschen zu können. Dabei wird auf die Bedeutung, die das Greifen und Begreifen für das Verstehen komplexer technischer Zusammenhänge hat, eingegangen. Ein Überblick über gegenständliche Computer-Schnittstellen zeigt neue Gestaltungsperspektiven für Lern- und Arbeitsumgebungen. Vor diesem Hintergrund werden abschließend eigene Konzepte und Realisierungen vorgestellt.

Virtualisierung von Produktionsprozessen und Produkten

Heute gilt die *Virtual Reality (VR)*¹ als eine der fortgeschrittensten Techniken im Bereich der Mensch-Maschine-Kommunikation. Kennzeichnend für *Virtual Reality*-Umgebungen sind neuartige Ein- und Ausgabegeräte, die bei dem Benutzer die Illusion entstehen lassen, er manipulierte und bewege sich in einer natürlichen, konkreten Welt. Auf diese Weise soll 'echtes' Raum- und Zeiterleben möglich werden und Handeln nicht nur medial vermittelt, sondern mit Hilfe 'kinästhetischer Kopplungen' direkt als 'Handeln in *Echt-Zeit*' (Halbach 1994, S. 206) erfahren werden können.

Der Begriff *virtuell* ist doppeldeutig. Aus dem lateinischen *virtus* (= Tugend oder Tauglichkeit) abgeleitet, wird *Virtualität* heute sowohl im Sinne von Schein, wie es Newton mit seinem virtuellen Punkt hinter der Spiegeloberfläche meinte, oder als Möglichkeit/Fähigkeit, wie es die Griechen und auch d'Alembert mit seiner virtuellen Arbeit meinten, verwendet.

Wir finden VR-Anwendungen, die sich ganz auf den Schein konzentrieren. Ihre Objekte haben keine Funktionalität, aber eine Gestalt, die möglichst realistisch aussehen soll. Eine ausgeprägte Funktionalität, wie sie in der rechnergestützten Simulation üblich ist, wird mit steigender Rechnerleistung zunehmend auch in VR-Welten eingesetzt. Es werden Gesetzmäßigkeiten (häufig physikalische) modelliert, deren Verhalten interaktiv beeinflussbar ist und visualisiert werden kann. Die so angereicherten Modelle können dabei exakt die gleichen Steuerungsalgorithmen wie entsprechende reale Maschinen enthalten, haben aber nicht deren Materialbindung, Härte und Starrheit. Diese Leichtigkeit kann für das experimentelle Umgehen von Vorteil sein, birgt aber auch die Gefahr des Realitätsverlustes, denn die korrigierende Rückkopplung mit der gegenständlich-stofflichen Welt ist aufgehoben.

In der Informatik wird der Begriff 'virtuell' seit den Anfängen dieser Wissenschaft benutzt. Virtuelle Maschinen sind hier Abstraktionen von konkreten, realen Maschinen. Zunächst für die Steuerung von Rechenmaschinen mit dem Ziel eingeführt, Anwendungsprogramme und Betriebsprogramme unabhängig von den realen Rechnertypen herstellen zu können, wird das Konzept heute auch für traditionelle Produktionsmaschinen in rechnerintegrierten vernetzten Fertigungssystemen verwendet, um die Fertigungsausführung möglichst flexibel von der Fertigungsplanung zu trennen. Man spricht in diesem Zusammenhang vom sog. *Virtual Manufacturing Device (VMD)*. Ein *VMD* definiert eine abstrakte Klasse möglicher Produktionsmaschinen und ihr Außenverhalten, die durch jeweils konkrete Ausprägung und Realisierung (Instanzierung) zu einem Abbild einer realen Maschine wird. Maschinenklasse plus Maschinenversion plus spezieller Betriebsvorrichtung und Werkzeug plus Steuerprogramm ergeben dann eine wirkende, formverändernde Einheit. In diesem Sinne bestehen Produktionssysteme aus zwei Komponenten: einer realen Komponente und einer anderen virtuellen, also dem *VMD*.

Virtuelle Verbindungen sind in der Kommunikationstechnik im Gegensatz zu physikalischen Verbindungen solche, die von ihrer Wirkung für die Nutzer zwar effektiv vorhanden sind, real aber nicht kontinuierlich durch physikalische Träger unterstützt werden: Virtualität also in der Bedeutung von effektivem Schein.

Eine *virtuelle Operation* in objektorientierten Rechnerprogrammen ist eine Abstraktion. Sie wird in einer Klassenbeschreibung spezifiziert und kann so von anderen Programmteilen konzeptionell schon benutzt werden. Ihre konkrete Realisierung im Programm (Implementierung) erfolgt aber erst in einer nachfolgenden Unterklasse, ihre tatsächliche Wirkung erst bei der Abarbeitung des Programms auf einer Rechenmaschine: Virtualität also als Schein und Abstraktion.

Virtualisierung ist demnach ein Effekt, der eintritt, wenn ein Computermodell so interpretiert wird, als repräsentiere es ein Objekt in einer Umgebung, die eine andere ist, als die, in der dieses Objekt physikalisch existiert. Auf der Ebene der sinnlichen Wahrnehmung setzt damit ein Prozess ein, den Ellis (1995) folgendermaßen charakterisiert: „Virtualization may be defined as the process by which a human viewer interprets a patterned sensory impression to present an extended object in an environment other than that in which it physically exists“ (Ellis 1995, S. 17). Dementsprechend verschiebt sich die Quelle sinnlicher Wahrnehmung vom eigentlichen Objekt in ein künstliches Wahrnehmungsfeld, das mit dem Computer und entsprechender Peripherie erzeugt wird: Der Computer wird von einem Programm gesteuert, dem ein Modell von Wirklichkeit zugrunde liegt, das an einer konkreten Realität oder einer Phantasie des Programmierers orientiert ist. Der Benutzer operiert mit diesem Modell wie mit der Realität. Dieser Begriff von Virtueller Realität lässt sich weiter differenzieren. Je nach Art des zugrundeliegenden Modells von Realität und/oder Wirklichkeit kann zwischen generierter, gekoppelter und eingebetteter Virtualität unterschieden werden.

Einer *generierten Virtualität* liegt ein vollständig synthetisches Modell der Realität zugrunde. Dieses kann künstliche, natürliche, seelische, gesellschaftliche o.a. Aspekte versuchen abzubilden. Der Mensch geht hierbei mit einem rechnerinternen Modell um, das in seinen Aktionen und Reaktionen vollständig durch Eigengesetze bestimmt ist. Beispiele sind das *Virtual Prototyping* oder *Virtual Manufacturing*. Hiermit ist es möglich, interaktiv mit virtuellen Prototypen oder Werkstücken zu arbeiten, die man mittels immersiver Umgebungen wie Visualisierungsräumen (*Caves*), Visualisierungs-Wänden (*Display Walls*) und Visualisierungs-Desks in hochgradig realistischer Weise in 3D visualisiert. Weitere Anwendungsbeispiele im Bereich *generierter Virtualität* sind VR-Systeme zur Prozessplanung, Montagesimulationen oder Simulatoren zum Training komplizierter manueller Tätigkeiten mit virtuellen Werkzeugen und Maschinen.

Einer *gekoppelten Virtualität* liegt ein synthetisches Modell der Erscheinung bestimmter physikalischer Phänomene zugrunde. Das Rechnermodell bleibt aber über Sensoren und Aktoren an die äußere Realität gekoppelt. Die Erscheinungen der Realität werden mit Hilfe eines abstrahierenden Transformationsprozesses in Bilder, Zeichen und Signale für den Nutzer umgesetzt. Beispiele hierfür sind das Navigieren auf einer Materialoberfläche im Molekülbereich mittels Elektronenmikroskop, dargestellt als Fliegen durch eine Gebirgslandschaft, die Telemanipulation, als Steuern eines entfernten Manipulators mit vermittelter Ortssicht oder die Begegnung von zwei individuell und real gesteuerten Personenabbildern (*Avatare*) im virtuellen Raum.

Ein weiteres Konzept ist das der *eingebetteten Virtualität (embedded virtuality)*. Darunter wird die Überlagerung von Sinnesreizen aus der Realität mit solchen aus einem Rechnermodell verstanden, z.B. beim Einblenden von Anweisungen und Orientierungshilfen in das Abbild der realen Welt im Datenhelm (*head-mounted display*) von Instandhaltern komplexer technischer Anlagen.

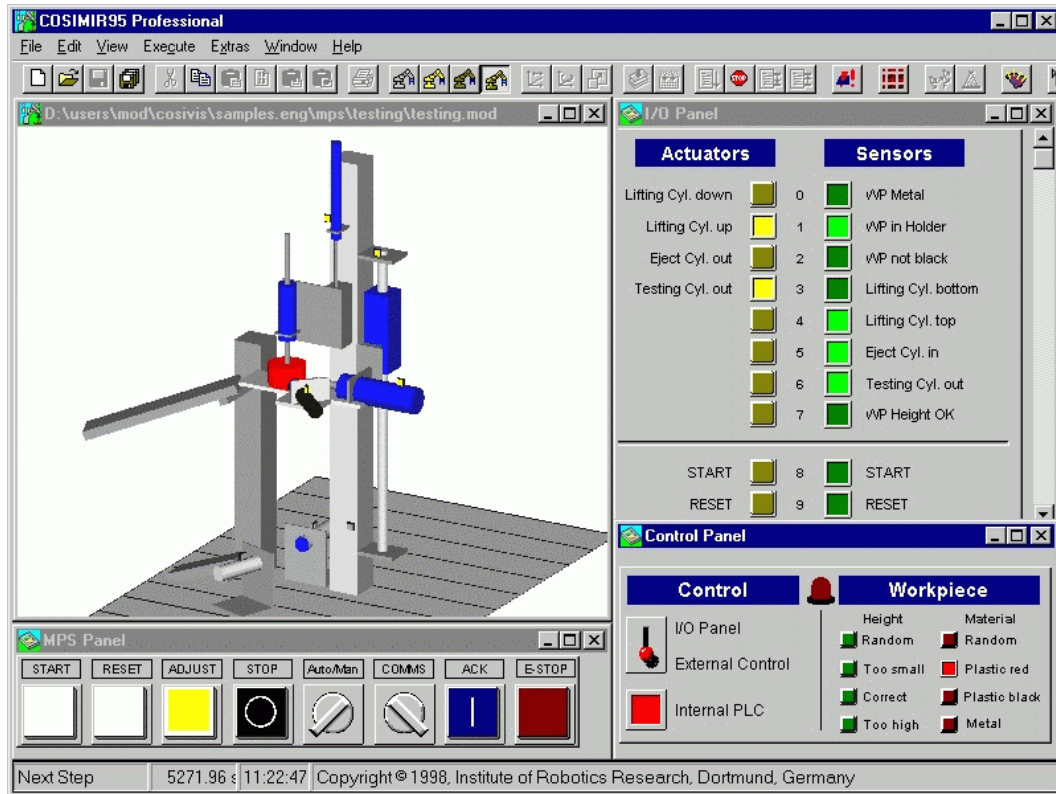


Abbildung 1. Virtuelles Modell einer Prüfstation

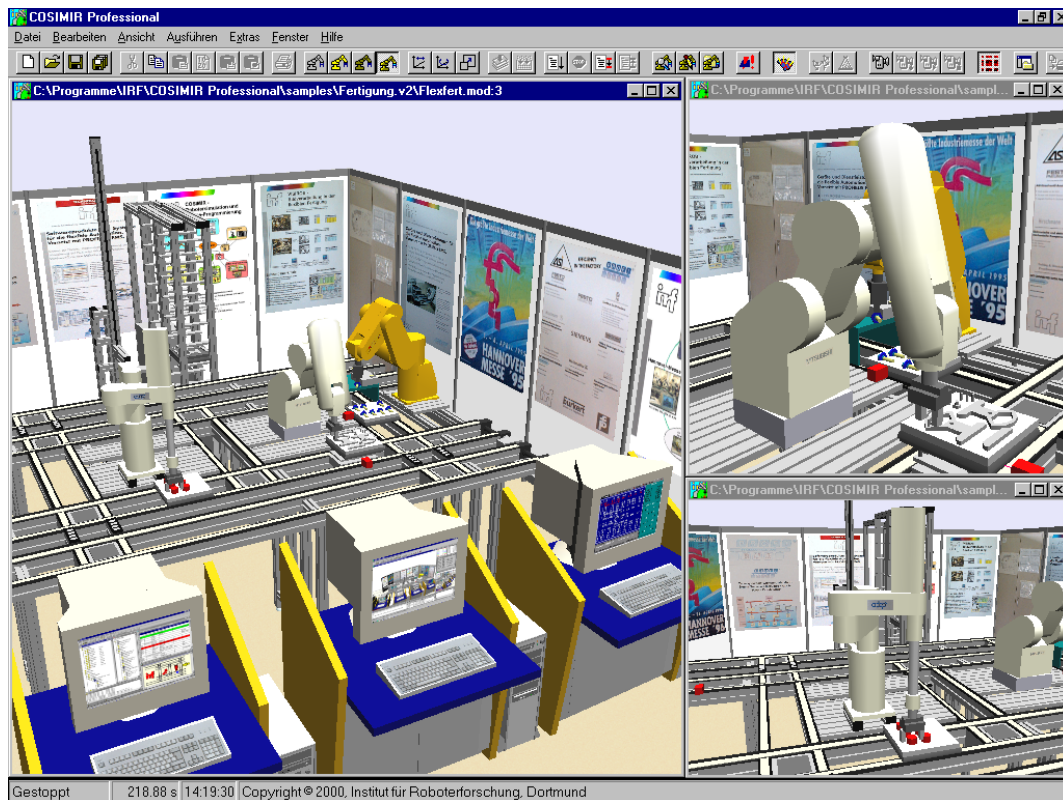


Abbildung 2: Virtuelles Modell einer Flexiblen Fertigungsanlage

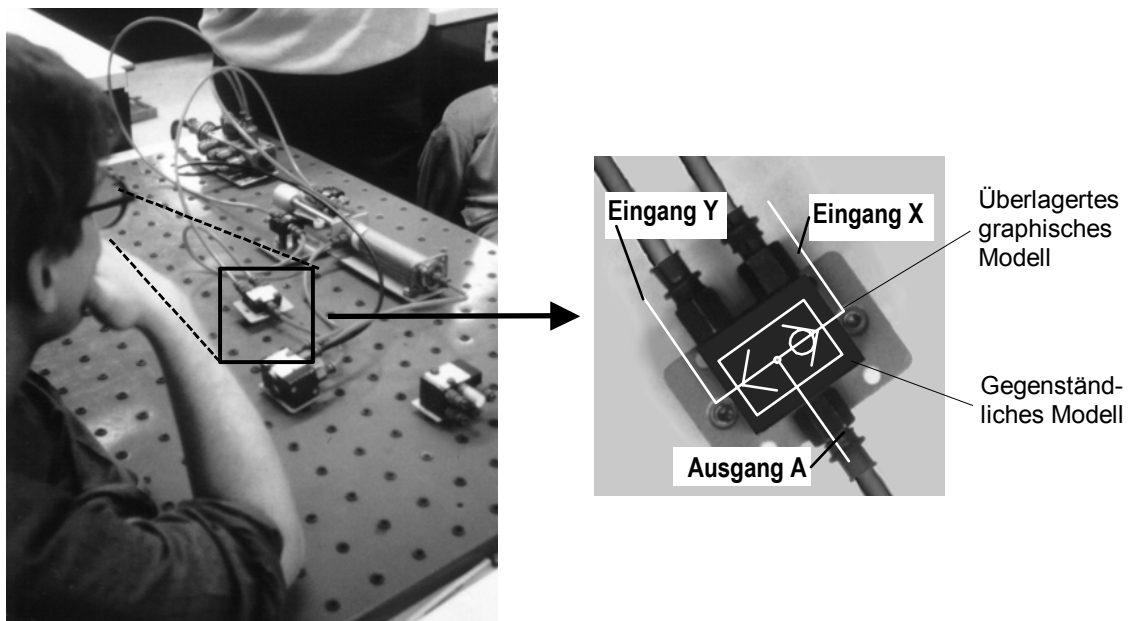


Abbildung 3: Embedded Virtuality in der technischen Bildung (Pneumatiksteuerungen)

Vom Greifen zum 'Be-Greifen'

Vor dem Hintergrund der vorangegangenen Ausführungen stellt sich die Frage, welche Auswirkung die zunehmende Virtualisierung von Produkten und Prozessen auf deren Handhabung und deren Verständnis und Beherrschung hat? Wie viel Realitätsbezug ist unverzichtbar für die Produktion materieller Güter? Der Zerspanungsprozess enthält – wie Böhle/Milkau belegt haben – offensichtlich immer noch Reste nicht-objektivierbarer Zusammenhänge, die

die Automatisierungstechnik seit Frederick Winslow Taylor versucht wissenschaftlich zu erhellen. Wie abhängig ist das subjektivierende Arbeitshandeln vom Umgang mit realen Gegenständen und Prozessen? Welche Bedeutung hat das Greifen für die Bildung des Sehens, für die Anschauung, für Vorstellung und Begriffe, für das Beherrschen technischer Prozesse?

Die Tatsache, dass sich der Mensch in einer gegenständlichen Umwelt entwickelt hat, ist aus anthropologischer Sicht von großer Bedeutung. Dass die Hand im Prozess der Evolution des Menschen und insbesondere für das 'begreifende' Erkennen der Welt dabei eine äußerst wichtige, wenn nicht die zentrale Rolle spielt, wird von vielen Autoren (Gebauer 1997; Popitz 1989, MacKenzie/Iberall 1994) hervorgehoben. Popitz spricht sogar davon, dass in der Hand die eigenartige „Dimension des menschlichen Bezuges zur Welt“ vorgeformt ist (Popitz 1989, S. 53). So dient die Hand als Mittel des Kampfes und der Versöhnung oder zur zärtlichen Berührung eines anderen Menschen und ist schließlich und wesentlich das Organ des Objektkontaktes. Mit ihr 'begreifen' wir die Wirklichkeit, um sie besser zu verstehen, wir berühren, tasten, greifen, formen, schlagen, werfen.

Die Hand ist ein wichtiges, beinahe universelles Sinnesorgan: Sie ist in der Lage, im Dunkeln zu 'sehen' oder um die Ecke herum zu 'schauen'. Die Finger der Hand besitzen neben der Zunge die größten sensorischen Repräsentationsareale im Gehirn (Engeln 1997, S. 130). Viele tausend Tastkörperchen und Nervenenden an den Fingerspitzen und den Handflächen nehmen jene Informationen auf, die die Hand erfühlt und senden sie ans Gehirn, damit die Welt 'begreifbar' wird.

Berühren, Tasten und insbesondere das Greifen sind deshalb elementare Modi des Erkundens. Eine „Schlüsselerfahrung“ des Menschen, so Popitz, ist die „... Begegnung der formenden Hand mit der Härte der Dinge“ (S. 65). Auf diese Phänomene hat bereits Piaget aufmerksam gemacht, wenn er beschreibt, wie die Objekt-Abstraktion in der 'hand-greiflichen' Auseinandersetzung des Kindes mit den Objekten seiner Umwelt ihren generellen Ursprung hat. Ebenso wie manipulierte Objekte mit einer spezifischen Reaktion (hervorgerufen durch Härte, Elastizität, Rauigkeit, Wärme, Kälte usw.) reagieren, wird die Weise, wie die Hand mit ihnen umgeht, vom Individuum in Handlungsschemata, mentale Bilder oder Modelle übernommen (Gebauer 1997, S. 479): „Mit Hilfe des Handgebrauchs wird der vorgefundenen Welt eine andere, nach Regeln strukturierte Ordnung übergelegt“ (Gebauer 1997, S. 481).

Die Anwendung eines kognitiven Schemas oder einer Struktur auf einen Gegenstand nennt Piaget (1973) in Anlehnung an den biologischen Begriff Assimilation, das heißt die 'Einverleibung' des Objektes in die kognitive Struktur. Ergreift das Subjekt ein neues unbekanntes Objekt, dann beinhaltet dies die Assimilation des Objektes an das Greifschema. „Das Schema oder die Struktur des Greifens kann – um erfolgreich zu sein – je nach Situation und je nach zu greifendem Gegenstand in anderer Weise realisiert werden. Diese Anpassung an die Situation oder den Gegenstand nennt Piaget 'Akkommodation' des Schemas an den Gegenstand“ (Montada 1982, S. 548).

Zusammenfassend charakterisiert Popitz die universelle, erfahrungsleitende Funktion der Hand folgendermaßen: „Die Hand kann sprechen - signalisiert Informationen - , sie kann in der Berührung des anderen Körpers alle Gefühle ausdrücken, deren der Mensch in seiner Beziehung zu anderen Menschen fähig ist. Sie ist das führende, erfahrungsleitende Organ des Objektkontaktes. Durch die Hand erfährt der Mensch die Körperhaftigkeit der Dinge und die Körperhaftigkeit des Lebendigen“ (Popitz 1997, S. 71f.).

Betrachtet man den Umgang mit virtuellen Systemen und VR-Umgebungen, so wird deutlich, dass die Hand hier ihre dominierende Rolle als tastendes, greifendes, formendes Organ verloren hat – zumindest im herkömmlichen Verständnis. Besonders zeigt sich dies an den Einschränkungen, die bei der Rechnerbenutzung daraus resultieren, dass das 'begreifende' Umgehen mit Dingen tendenziell auf die Tastatur, die Maus oder ein anderes Eingabegerät reduziert ist, also kein unmittelbarer sensomotorischer Kontakt mit Werkzeugen, Materialien usw. mehr stattfindet. Im Grunde gilt dies für alle rechnergestützten Systeme: Handlungen wirken sich nicht unmittelbar auf die Welt physikalischer Gegenstände aus, sondern bewirken Zustandsänderungen in der symbolischen Welt des Programms, welches wiederum Wirkungen in der objektiven Welt zur Folge hat.

Zwar sprechen Informatiker im Kontext der Mensch-Rechner-Interaktion gern und mit aller Selbstverständlichkeit von der sogenannten „Direkten Manipulation“ (Shneiderman 1983). Die direkte Manipulation bedeutet aber gerade nicht die unmittelbare Manipulation von Werkzeugen, Materialien usw., sondern die *Illusion* der direkten Manipulation, wenn der Benutzer mit der Hand ein Eingabegerät bedient. Die direkte Manipulation in diesem Sinne ist also ein sehr stark vermittelter technischer Prozess, der über zahlreiche Stufen zwischen der 'handgreiflichen' Aktion des Menschen, der Wirkung des Gerätes und der Reaktion des Prozesses verläuft: Tastendruck, Eingabesignal, Interfacebaustein des Rechners, Steuerungsalgorithmus, Ausgabebaustein, physikalischer Umwandlungsmechanismus, Wirkmechanismus usw. Die 'Erkennungsfunktion' der Hand ist in diesem Sinne also geschrumpft auf das Bedienen der immer gleichen Eingabeninstrumente, wie Tastatur, Maus oder Joystick. Dennoch wird im Handwerk und in einigen Bereichen der Industrie noch mit der Hand gearbeitet. Manche Formen der Handhabung von Werkzeugen haben sich kaum verändert: „Vor allem aber vertrauen wir heute wie gestern dem handgeführten Werkzeug überall dort, wo wir etwas Singuläres und vielleicht Kreatives herstellen wollen, wie beim Malen und Zeichnen, Basteln, Pflanzen und Kochen, Schnitzen und Töpfern“ (Popitz 1989, S.73). „Auch die Vorstellungsfähigkeit - die Entwicklung vorstellungsgeleiteten Handelns - und das explorierende Handeln, das Erkunden der Dinge, lassen sich in einer einsichtigen Konsequenz ableiten aus der Wiederholung bestimmter Erfahrungen in der Manipulation der Dinge, aus technischen Handlungserfahrungen mit der Hand“ (ebd., S. 69). Dies ist eine wichtige Erkenntnis, die Wissenschaftler in unterschiedlichen Kontexten dazu motiviert hat gegenständliche, be-greifbare Computerschnittstellen zu entwickeln. Für den Produktionsbereich und insbesondere für die technische Bildung ergeben sich daraus interessante neue Möglichkeiten einer stärker erfahrungsorientierten Computernutzung.

Gegenständliche Schnittstellen

Gegenständliche Schnittstellen, auch als "greifbar" bezeichnet, werden im englischen *Graspable* bzw. *Tangible User Interfaces* genannt. Ausgangsmotivation der anfänglich eng mit den Strömungen der *Augmented Reality* und des *Ubiquitous Computing*² verknüpften Forschung war die Entwicklung alternativer Benutzungskonzepte jenseits von grafischen Benutzungsschnittstellen und zur Virtual Reality. Als "graspable interfaces" wurde das Konzept von Fitzmaurice/ Ishii/ Buxton (1995) eingeführt und durch die "Tangible Bits"-Projekte des MIT bekannt (Ishii/ Ullmer 1997).

Der Entwicklung gegenständlicher Benutzungskonzepte für Computer widmet sich auch die Arbeitsgruppe Produktionsinformatik der Forschungszentrums *artec* an der Universität Bremen schon seit Anfang der 90er Jahre. Die allgemeine Zielrichtung ist eine an den Erfahrun-

gen der Benutzer orientierte Gestaltung von Rechnersystemen, insbesondere für den Bereich der industriellen Produktion und der gewerblich-technischen Bildung.

Ausgangspunkte der Arbeit im Forschungszentrum *artec* waren - neben den im letzten Abschnitt erörterten theoretischen Überlegungen - vor allem Erfahrungen aus Simulationsstudien im Bereich Anlagenplanung und Logistik. Im Zusammenhang mit diesen Fallstudien zeigten sich die Defizite von rechnergestützten Simulationssystemen: Die verfügbaren Simulatoren erwiesen sich - trotz verfügbarer rechnergestützter Visualisierungs- und Animationstechniken – als abstrakt und schwer bedienbar. Da speziell für die Modellierung Programmierkenntnisse und einschlägige Erfahrungen mit formalen Modellierungsmethoden³ erforderlich waren, konnten insbesondere die Nicht-Informatiker innerhalb der relativ heterogenen Planungsgruppe kaum aktiv an den Modellierungsphasen teilhaben und entsprechend auch nicht ihr Erfahrungswissen in den Planungsprozess einbringen. Zudem fehlte es an Unterstützung für den kompletten Simulationszyklus (Modellierung, Experiment, Auswertung, Korrektur am Modell). In dieser Situation erwiesen sich gegenständliche Modelle der zu planenden Anlagen als besonders hilfreich, da sie ein außerordentlich anschauliches, verständliches und leicht handhabbares Medium darstellten (Bruns/Busekros/Heimbucher 1992). Insbesondere für die Herausbildung eines gemeinsamen Verständnisses für dynamische Prozesse war das praktisch-gegenständliche Vormachen von Materialflüssen, z.B. durch manuelles Verschieben von Bausteinen, sehr hilfreich.

Bei der Übertragung der Resultate des gegenständlichen Modellierens in den Rechner zeigte sich allerdings, dass ein Teil Anschaulichkeit und Transparenz wiederum verloren geht, weil in dieser Phase nur Experten in der Lage sind, Modelldaten in den Rechner zu übertragen. Dementsprechend verschieben sich die geschilderten *Übertragungsprobleme und Brüche* von der Spezifikationsphase des Modells hin zur Implementierung und der anschließenden Verifikation und Validierung⁴.

Die eigenen Erfahrungen und Diskussionen über die geschilderten Beobachtungen führten zu Überlegungen, wie die genannten Übertragungsprobleme und Brüche überwunden werden können. Eine enge Kopplung von gegenständlichen Simulationsmodellen mit rechnergestützten wurde als eine neue Möglichkeit gesehen, um die Simulation einerseits ‚handhabbarer‘ und vor allem für Nicht-Experten transparenter zu machen und andererseits die Vorteile konventioneller rechnergestützter Simulationstechnik weiter nutzen zu können. So entstand die Idee von einem Simulationsbaukasten, bestehend aus erweiterbaren gegenständlichen Modellbausteinen und jeweils entsprechenden virtuellen Modellelementen im Rechner (Bruns 1993). Der physikalische, reale Modellierungsprozess ermöglicht es allen Beteiligten, aktiv teilzunehmen und ihr Wissen sowie ihre Sichtweisen einzubringen. Da das Simulationsmodell automatisch erstellt wird, entstehen keine Übertragungsprobleme vom Modell in den Rechner und es entfallen damit verbundene mögliche Fehlerquellen.

Zentral an diesem Ansatz ist der starke Anwendungsbezug und die Rückbindung der virtuellen Realität an die greifbare gegenständliche Wirklichkeit. Ermöglicht werden sollen erfahrungsbezogene Übergänge zwischen verschiedenen ”Welten” bzw. Repräsentationsarten – zwischen der realen und der virtuellen Welt, zwischen konkreten gegenständlichen und abstrakten Modellen. Um deutlich zu machen, dass unser Konzept den Schwerpunkt auf die Verwendung realer Gegenstände legt, haben wir es *Real Reality* genannt - ein Wortspiel, das den populären Begriff *Virtual Reality* umkehrt.

Bedingt durch die beschriebenen Erfahrungen in der partizipativen Fabrikplanung und durch enge Zusammenarbeit mit Berufspädagogen haben sich unsere weiteren Arbeiten vor allem auf Systeme im Bereich Planung und berufliche Bildung konzentriert. Mehrere Realisierungen liegen inzwischen vor. Es folgen nun zwei Beispiele für Anwendungen.

Beispiel: Planung von Förderbandanlagen

Das erste Beispiel bezieht sich auf das DFG-Projekt RUGAMS⁵ (Schäfer/ Bruns 1999; Brauer 1999, 122ff). Ziel des inzwischen abgeschlossenen Projekts war die Konzeption und Entwicklung einer gegenständlichen Modellierungsumgebung für die Planung von Förderbandanlagen. Diese Planung umfasst sowohl das statische Layout des Förderbandsystems als auch dessen dynamisches Verhalten. Entsprechend der Gestaltungsanforderungen wie sie im vorherigen Abschnitt dargestellt wurden, wurde ein Konzept des konzeptuellen Modellierens durch gegenständliches Vormachen entwickelt. Das grundlegende Prinzip beim Modellieren durch gegenständliches Vormachen besteht darin, reale mit virtuellen Modellen über Manipulationen der gegenständlichen Objekte zu koppeln. Die Kopplung besteht in der Aufzeichnung von Handoperationen des Benutzers über eine Sensorisierung der Hand, die mit einem *Datenhandschuh* realisiert wird, der die Bewegungen des Benutzers erfasst und simultan ein Rechnermodell erzeugt und/oder aktualisiert.

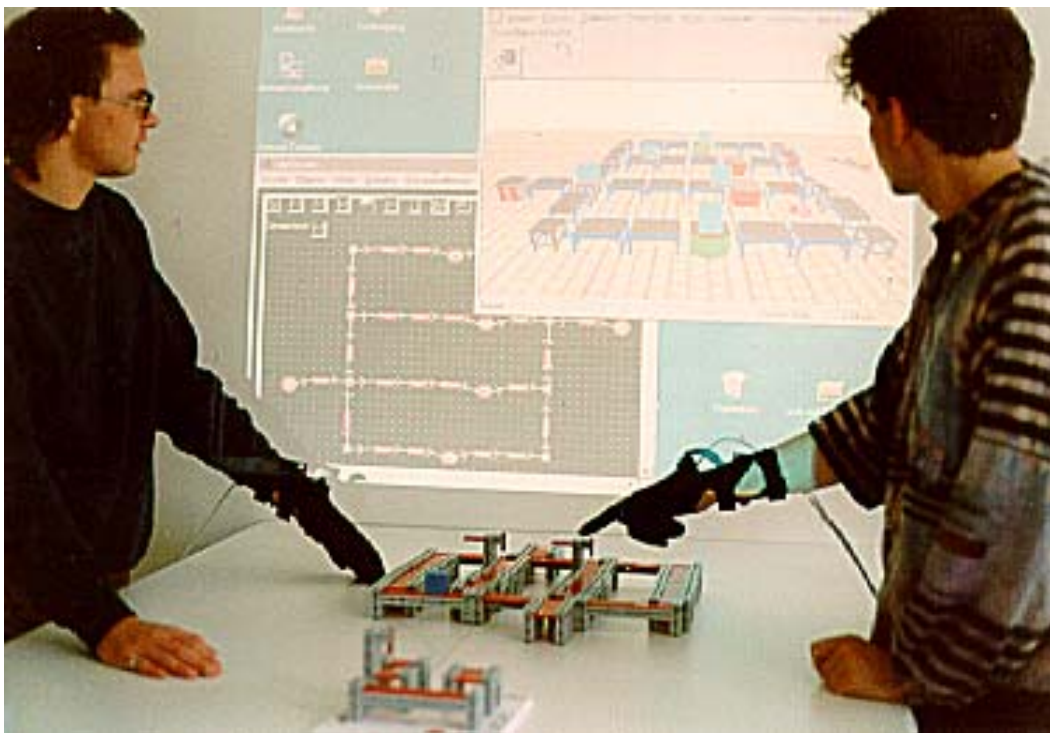


Abbildung 4: Gegenständliche Modellierungsumgebung für die Planung von Förderbandanlagen

Die Abbildung 4 zeigt den Aufbau eines Simulationsmodells im Gegenständlichen und im Virtuellen mit Hilfe von Datenhandschuhen. Im Bildhintergrund sieht man die Anlage als Netzplan und als virtuelles 3D-Modell auf einer Projektionswand.

Aus technischer Sicht besteht die Planungsumgebung aus einer Reihe von Teilkomponenten: einem Modellierbaukasten aus Materialflussbausteinen, einem Materialflusssimulator, einer 2D/3D-Visualisierungskomponente, einer Interaktionskomponente zur Erfassung von Benut-

zereingaben mittels Datenhandschuh sowie einer Integrationskomponente, über die die verschiedenen Teilkomponenten gekoppelt werden und miteinander kommunizieren (Brauer 1999, S. 125). Um zu verdeutlichen, wie mit dieser Modellierungsumgebung eine Anlage aufgebaut werden kann, werden nachfolgend die einzelnen Modellschritte (1-7) beschrieben:

- (1) *Modellierung der Struktur/Topologie*: In der ersten Modellierungsphase wird ein gegenständliches Modell aufgebaut, wobei mit Hilfe der oben beschriebenen Interfacetechnik synchron dazu ein rechnerinternes Abbild (Geometrie und Topologie) generiert und als 3D-Modell visualisiert wird.
- (2) *Vormachen des gewünschten realen Verhaltens*: In einem zweiten Schritt wird das dynamische Verhalten einzelner Modellelemente spezifiziert bzw. erweitert. Dies erfolgt durch gegenständliches Vormachen mittels Gestik oder sonstiger Manipulationen am realen Modell. Dabei werden die vom Rechner erfassten Bewegungsdaten und Griffereignisse mit Hilfe der implementierten Software aufgezeichnet.
- (3) *Visualisierung durch Record/Playback*: Die erfassten Bewegungsdaten und Griffereignisse werden als Positions- und Orientierungswerte unter Berücksichtigung ihrer zeitlichen Reihenfolge gespeichert, so dass bei Bedarf das aufgezeichnete dynamische Verhalten visualisiert werden kann.
- (4) *Generierung des abstrakten virtuellen Verhaltens*: In einem nächsten Schritte lassen sich die durch Vormachen erzeugten Bewegungsdaten durch Interpolations- und Approximationsverfahren in eine parametrisierte und abstrakte Modellbeschreibung überführen.
- (5) *Generierung einer symbolischen Verhaltensbeschreibung*: Aus der abstrakten Modellbeschreibung kann bei Bedarf eine symbolische Verhaltensbeschreibung zur Erzeugung eines realen Verhaltens (z.B. Steuerungsprogramm) generiert werden.
- (6) *Simulationsexperimente*: Zur Analyse, Fehlersuche oder Optimierung wird das erzeugte virtuelle Modell in einen Simulator eingelesen, um entsprechende Simulationsexperimente durchzuführen.
- (7) *Steuerung eines realen Systems*: Schließlich besteht bei spezifischen Systemkonstellationen die Möglichkeit, Simulator und gegenständliches Modell (oder Realsystem) zu koppeln, um die Wirkungskette Modellierer, reales Modell, Rechnermodell und Realität zu schließen.

In einer iterativen Vorgehensweise, bei der sich Modellbildung, Modellexperiment und Modellbewertung abwechseln, können somit innerhalb derselben Entwurfsumgebung schrittweise Problemlösungen erarbeitet werden. Die dargestellte Vorgehensweise beim Modellieren durch gegenständliches Vormachen zeigt, 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 Benutzer bei der Problemlösung zu unterstützen.

Beispiel: Lernumgebung für den Unterricht in Elektro-Pneumatik

Im EU-Projekt DERIVE (Schmudlach/ Hornecker/ Ernst/ Bruns 2000) wurde eine Lernumgebung für den Berufsschulunterricht in Elektro-Pneumatik entwickelt. Auch hier kommt das Grundprinzip des Aufbaus im Gegenständlichen und der gleichzeitigen Generierung von virtuellen Modellen zum Tragen: reale Elektro-Pneumatik-Bauelemente (Zylinder, Ventile,

Schalter, Verbindungsschläuche etc.) können auf einer Schalttafel montiert werden während im Rechner ein virtuelles Abbild der Schaltung entsteht. Da dies auf Basis von Datenhandschuhen und Ortsensoren (*Tracking-Systeme*) beim derzeitigen Stand der Technik nicht realisierbar war, wird das virtuelle Modell über eine Bilderkennung der realen Schaltung erzeugt. Dazu wurden alle Elemente mit Strichcodes versehen. Mit einem speziellen Zeigestock können die Lernenden Information aus der Multimedia-Hilfe zu einem Baustein anfordern, ohne sich von der Schalttafel abzuwenden.



Abbildung 5: Lernumgebung in der Erprobung

Ähnlich wie das Planungssystem für Förderbandanlagen unterstützt diese Lernumgebung einen mehrdimensionalen Erfahrungsraum, in dem Aufgabenstellungen aus der Automatisierungstechnik im Realen und im Virtuellen auf unterschiedlichen Ebenen bearbeitet werden können (Müller 1998b).

Um die verschiedenen Repräsentationsarten (Abstraktionsstufen), Komplexitätsstufen (Detailierungsgrade) und Originalbezüge (strukturell-material) von Systemelementen in die Lernumgebung zu integrieren, wurden sogenannte *komplexe Modellobjekte* eingeführt. Komplexe Modellobjekte haben – in Anlehnung an die komplexe Zahl – eine gegenständlich-stoffliche Komponente und verschiedene rechnerinterne Repräsentationen (abstrakt-symbolisch, anschaulich-ikonisch usw.) (vgl. Abbildung 6). Die einzelnen Teile des komplexen Objekts stehen nun aber nicht beziehungslos nebeneinander, sondern sind über Wirkungsketten eng verbunden. Die Synchronisierung erfolgt über Techniken der Realitätserkennung per Videokamera, wie sie zuvor skizziert wurden. 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. Lernen kann auf einer Ebene beginnen, die den Vorerfahrungen des Lernenden entspricht, und sich dann auf unbekanntes Gebiet ausweiten und zu neuen Erfahrungen führen. Der Prozess kann in hohem Maße iterativ und explorativ erfolgen.

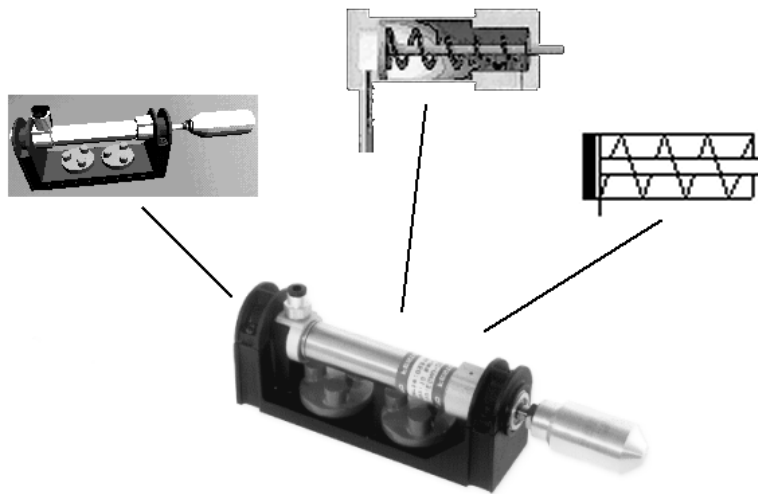


Abbildung 6: Komplexes Pneumatik-Objekt mit Real- und Imaginärteil

Das Konzept der Kopplung virtueller mit real-gegenständlichen Objekten wurde inzwischen um das des *Hyper-Bonds* weiter entwickelt. *Hyper-Bonds* basieren auf der Systemmodellierung mittels Bond-Graphen⁶ und können als eine Form von Hyperlinks zwischen virtuellen und gegenständlichen Modellknoten beschrieben werden (Bruns 2001). Mit Hyper-Bonds ist es möglich, ein komplexes technisches System, wie beispielsweise eine komplette Produktionsstraße, im Virtuellen zu realisieren und ausgewählte Teile, wie z.B. eine Fertigungsstation, im Gegenständlichen als begreifbares System auszukoppeln (vgl. Abbildung 7). Das neue Hyper-Bond-Konzept wurde bislang in der beschriebenen Lernumgebung im Berufsschulunterricht erprobt. Dabei zeigten sich neue Perspektiven arbeitsprozessbezogenen Lernens in der Berufsschule, weil komplexe Anlagenumfelder wenn schon nicht im Realen so doch als virtuelles Modell an vorhandene reale Baugruppen und Anlagen, die z.B. in einem Industriebetrieb stehen, angeschlossen werden können.

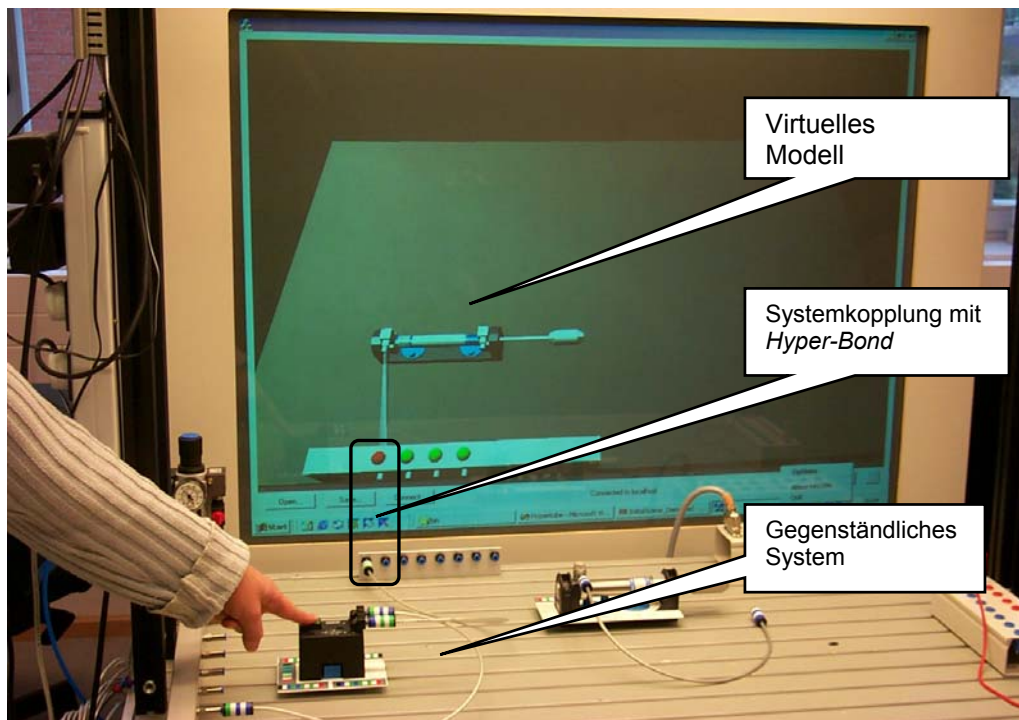


Abbildung 7: Integration eines Hyper-Bonds in eine Lernumgebung

Lernen in realen und virtuellen Welten

Aus den bisherigen Ausführungen mag deutlich geworden sein, dass rechnergestützte Lernumgebungen, die die Realität im Virtuellen abbilden und simulieren, eine lernförderliche Rolle spielen können, um Arbeit und Technik besser verstehen und bewältigen zu können. Dies gilt unseres Erachtens vor allem für solche Bereiche, in denen die *unmittelbare Erfahrung* der gegenständlichen Welt nicht oder nur mehr unzureichend möglich ist. Dort, wo beispielsweise Auszubildende, Facharbeiter und Ingenieure nur noch selten mit den eigentlichen physikalischen Prozessen in Berührung kommen, weil computerisierte Systeme vorherrschen. Oder dort, wo die Mikroelektronik mechanische Elemente ersetzt hat. Überall hier ist das Wissen über die innere Struktur und das Verhalten eines technischen Systems nicht mehr am technischen Artefakt selbst und nicht mehr im ‚sinnlichen‘ Umgang mit ihm zu erwerben. Die körperlich-materielle Erscheinung vieler vorfindlicher Produkte und Prozesse gibt jedenfalls keinen über die Wahrnehmung vermittelbaren Hinweis darauf. Entsprechend lässt sich das Wesen vieler technischer Systeme und Prozesse heute nicht mehr im Sinne des klassischen Maschinenbaus *be-greifen*. Adolph beschreibt dieses Phänomen der ‘Entgegenständlichung’ folgendermaßen: „Das materielle ‘So-Sein’ der Geräte und Maschinen gibt keinen über die Sinne vermittelbaren Hinweis auf Funktionen und ‘innere’ Struktur. In diesem Sinne ist das Gegenständliche verschwunden. Das, was die Maschine *ist*, offenbart sich nicht mehr in ihrem materiellen So-Sein“ (Adolph 1986, S. 36). Die grundsätzliche Andersartigkeit solcher Artefakte repräsentiert typischerweise ein integrierter Schaltkreis im Gegensatz beispielsweise zu einem mechanischen Schalter. Das Wissen, das den Schalter hervorgebracht hat, ist mechanisch-gegenständlich materialisiert und damit prinzipiell über den sinnlichen Zugang rekonstruierbar. Dies gilt aber in keinsten Weise für einen integrierten Schaltkreis, der aus zahlreichen, hoch vernetzten und nicht sichtbaren Halbleiterelementen besteht. Damit sind bestimmte Formen des sinnlichen Erfahrens und ‚Be-Greifens‘ im Zusammenhang mit Arbeit und Technik unmöglich geworden.

Nun können gerade hier rechnergestützte Lernumgebungen, wie z.B. Simulationssysteme in vielen Fällen besser als andere Lehr- und Lernmedien *neue* pädagogische Zugangsmöglichkeiten eröffnen, die sich nicht auf Instruktion reduzieren. So lassen sich im Zuge von Modellbildung, Experiment und Modellanimation in vielen Fällen verborgene, nicht unmittelbar wahrnehmbare Eigenschaften, Wirkungszusammenhänge, Funktionsprinzipien oder Prozesse technischer Systeme veranschaulichen oder explorativ erkunden⁷.

Vorausgesetzt, es stehen entsprechende Lernumgebungen zur Verfügung, haben Lernende dabei die Möglichkeit, viel stärker als in einem auf Belehrung ausgerichteten – meist sprachlich vermittelten – Unterricht selbstgesteuert ihren Lernprozess zu gestalten. Insbesondere handlungsorientierte Sozial- bzw. Kooperationsformen wie Gruppenunterricht oder Partnerarbeit sind dabei möglich. Das bedeutet, didaktisch sinnvolle Anwendungsbereiche rechnergestützter Lernumgebungen eröffnen sich paradoxerweise gerade dort, wo die Rechnertechnik häufig selbst die Undurchschaubarkeit technischer Aggregate, Geräte, Apparate und Maschinen hervorgerufen und zu jener ‘Entgegenständlichung’ und Virtualisierung mit all ihren Konsequenzen wesentlich beigetragen hat.

Nun ist allerdings keineswegs die Tendenz von der Hand zu weisen, dass rechnerbasierte Lehr- und Lernmedien in Schulen heute auch dort benutzt werden, wo das Lernen ohne Computer, direkt am *Original*, ohne Probleme möglich wäre. Dazu kommt vielleicht, dass praktische Übungen, Versuche und Experimente mit Hilfe gegenständlicher Medien (Real- und Modellmaschinen, technischer Komponenten, Baugruppen usw.) aufwendiger und kostspieliger sind als die Nutzung einer Lernsoftware. Ein solches Verständnis vom didaktischen Einsatz rechnergestützter Lernumgebungen ist allerdings aus lernpsychologischer Sicht kontraproduktiv, da hierdurch Zugänge zur gegenständlichen Welt abgeschnitten und Wirklichkeits- sowie Erfahrungsverluste induziert werden können, die *bedeutungshaltiges* Lernen verhindern.

Es ist lohnend sich in diesem Zusammenhang die Arbeiten Aebli anzusehen. In „Grundlagen des Lehrens“ schlägt er für die Gestaltung von Lehr- und Lernprozessen eine „Taxonomie bildender Tätigkeiten“ (Aebli 1995, S 21ff) vor, deren Dimensionen in einem Würfel dargestellt werden (vgl. Abbildung 8). Aebli unterscheidet hier sachbezogene, soziale, herstellende, darstellende, reale und symbolische Tätigkeitsformen⁸. Aus dieser Kombination ergeben sich insgesamt acht Teilwürfel, denen acht Tätigkeitsformen und die gleiche Anzahl von Lernbereichen entsprechen. Diese Taxonomie gibt nicht nur Hinweise für die Formulierung von Lernzielen, sondern auch inhaltliche und methodische Anhaltspunkte für die Organisation von Lernprozessen und – was für diesen Zusammenhang bedeutsam ist – auch Anhaltspunkte für das Lernen in realen und virtuellen Lernumgebungen.

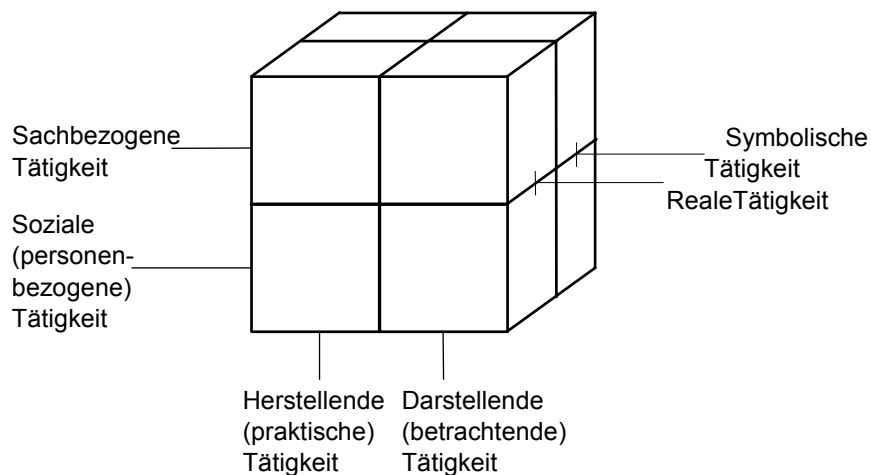


Abbildung 8: Drei Dimensionen der Tätigkeit im Unterricht (aus Aebli 1995, S. 22)

Wie man leicht bemerkt, entsprechen den verschiedenen Tätigkeitsformen nach dem Aebli'schen Ordnungssystem auch verschiedenen *Formen der Erfahrung*. Die oberen Würfelemente repräsentieren den Bereich der fachlichen Erfahrung, den ein Lernender mit sachbezogenen Tätigkeiten erlernt. Die unteren Würfelemente beinhalten Formen der sozialen Erfahrung, die im Umgang mit anderen Menschen erworben werden. Die links angeordneten Würfelemente stehen für praktische Erfahrungen aus konstruktiven Tätigkeiten und die rechten Elemente stellen Erfahrungsformen dar, die wir *über* Menschen und Dinge erwerben. Die vorderen Würfel schließlich repräsentieren 'reale', unmittelbare Erfahrungen, während die hintere Würfelscheibe für mittelbare (d.h. auch virtuelle) Erfahrungen steht. Wie Aebli in besonderer Weise hervorhebt, sollte idealerweise ein Gleichgewicht zwischen diesen Erfahrungsbereichen angestrebt werden, um den Aufbau, die Umstrukturierung des Handelns und Denkens sowie die Konsolidierung aufgebauten Strukturen ganzheitlich zu sichern (Aebli 1995, S. 26).

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden neue Ansätze der Mensch-Computer-Interaktion vorgestellt, die physikalische und virtuelle Erfahrungsräume verbinden. Die beschriebenen Lern- und Arbeitsumgebungen und die Erfahrungen, die wir mit diesen Systemen in zahlreichen Fallstudien haben sammeln können, bestätigen unsere These, dass die didaktischen Potentiale rechnergestützter Medien sich eigentlich nur dann eröffnen, wenn sichergestellt wird, dass sie das konkret-reale Umgehen mit den Dingen ergänzen und nicht ersetzen, das heißt, wenn die Rückbindung an konkrete Artefakte dort erhalten bleibt, wo es möglich und realisierbar ist. Pädagogisch geboten ist dies vor allem für den Unterricht in der Berufsschule, sicher aber auch für andere technische Bildungsgänge und in einem gewissen Maße auch für die Ingenieurausbildung an den Hochschulen. Diese Aussage markiert die zwiespältige Funktion rechnergestützter Lernumgebungen im didaktischen Vermittlungsprozess und das Suchen um angemessene Lehr- und Lernformen mit realen und virtuellen Medien.

Literatur

Aebli, H. (1995): Grundlagen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. 3. Aufl., Stuttgart.

- Adolph, G. (1986): Das Verschwinden der Gegenständlichkeit (Zum Problem der Durchschaubarkeit beruflichen Handelns). In: *lehren & lernen*. 2. Jahrg. (1986) Heft 7. S. 33-50
- Böhle, F./Milkau, B. (1988): Vom Handrad zum Bildschirm. ISF München
- Brauer, V. (1999): Gegenständliche Benutzungsschnittstellen für die Mensch-Computer-Interaktion. Dissertation, Universität Bremen
- Bruns, F.W./Busekros, L./Heimbucher, A. (1992): Simulation Containerbrücke und Transtainerlager für Bremer Lagerhaus-Gesellschaft. Dokumentation. Universität Bremen, Forschungszentrum artec, Februar 1992
- Bruns, F. W. (1993): Zur Rückgewinnung von Sinnlichkeit – Eine neue Form des Umgangs mit Rechnern. *Technische Rundschau* Heft 29/30, 14-18
- Bruns, F. W. (1999) Complex Construction Kits for Engineering Workspaces, In: Streit, 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. (2001): Hyper-Bonds – Enabling Mixed Reality. ARTEC Paper 82, Universität Bremen
- Ellis, S.R. (1995): Origins and Elements of Virtual Reality. In: Bartfield, W./Furness, T.A. (Eds.): *Virtual Environments and Advanced Interface Design*. New York, S. 14-57
- Engeln, H. (1997): Die Hand - Geniestreich der Evolution. In: *Geo* Nr.7/1997. S. 120-138
- Fitzmaurice, G. W., H. Ishii, W. Buxton (1995): Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces. *CHI'95 Mosaic of Creativity*, 1995, pp. 442-449
- Gebauer, G. (1997): Hand. In: Wulf, Ch. (1997): *Vom Menschen*. Handbuch Historische Anthropologie. Weinheim, Basel, S. 479-489
- Halbach, W. R. (1994): Interfaces. Medien- und kommunikationstheoretische Elemente einer Interface-Theorie. München
- Ishii, H./Ullmer, B. (1997): Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. *Proceedings of the ACM CHI'97 Conference*
- MacKenzie, C.L./Iberall, T. (1994): *The Grasping Hand*. Amsterdam: Elsevier
- Mayr, H. (2002): *Virtual Automation Environments. Design – Modeling – Visualisation – Simulation*. New York, Basel
- Montada, L. (1982) Die geistige Entwicklung aus der Sicht Jean Piagets. In: Oerter/ Montada 1982
- Müller, D. (1998a): Hypermediagestützte Simulationssysteme. In: *berufsbildung. Zeitschrift für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule*. Juni 1998. 52. Jahrgang. S. 8-10
- Müller, D. (1998b) *Simulation und Erfahrung*. Dissertation, Universität Bremen
- Oerter, R./Montada, L. (Hrsg.) (1982): *Entwicklungspsychologie. Ein Lehrbuch*. München
- Piaget, J. (1973) *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde*. Stuttgart
- Popitz, H. (1989): Epochen der Technikgeschichte - Technisches Handeln mit der Hand. Tübingen, S. 40-73
- Schäfer, K./ Bruns, F.W. (1999): Rechnergestützte Übergänge zwischen gegenständlichen und abstrakten Modellen produktionstechnischer Systeme. Dritter Zwischenbericht zum DFG Forschungsprojekt RUGAMS. Universität Bremen: Forschungszentrum artec

- Schmudlach, K./ Hornecker, E./ Ernst, H./ Bruns, F.W. (2000): Bridging Reality and Virtuality in Vocational Training. In: Proc. of CHI 2000, Extended Abstracts. New York: ACM, S.137-138
- Shneiderman, B. (1983): Direct Manipulation. A Step Beyond Programming Languages. In: Computer, IEEE, Vol 16 /No. 8, pp. 101-109, 1983
- Weiser, M. (1991): Computer for the 21st century. In: Scientific American, 265, 3 September 1991, pp. 94-104
- Wellner, P.: Interacting with Paper on the DigitalDesk. In: Communications of the ACM, 36/7, July 1993

Anmerkungen

¹ Synonym zu dem Begriff *Virtual Reality* (Virtuelle Realität) werden eine Reihe anderer Begriffe verwendet wie zum Beispiel *Artificial Reality* (Künstliche Realität), *Virtual Environments* (Virtuelle Umgebungen), *Synthetic Environments* (Synthetische Umgebungen). In der Medienwelt weit verbreitet ist auch die Bezeichnung *Cyberspace*.

² Im Jahre 1991 veröffentlichte hierzu Mark Weiser (1991) einen Artikel über Visionen einer „Allgegenwärtigen Datenverarbeitung“ (*Ubiquitous Computing*). *Ubiquitous Computing* stützt sich auf die drahtlose Vernetzung unterschiedlichster Dinge, indem Rechner nahtlos und unsichtbar in unsere Alltagswelt integriert werden. Die Umgebung wird somit „intelligent“, registriert, erkennt und beobachtet ihre Bewohner und reagiert auf sie, antizipiert gar ihre Wünsche und Handlungen. Manche dieser Visionen wecken Ängste vor einem Kontrollverlust sowie vor einer lückenlosen Überwachung (Datenschutz, Persönlichkeitsrechte) und werden zunehmend kontrovers diskutiert.

³ Man betrachte beispielsweise grafenorientierte Modellbildungs- und Simulationssysteme, wie beispielsweise *Petri-Netz-Simulatoren*. Derartige Systeme sind zwar sehr leistungsfähig, erfordern aber einen hohen Einarbeitungsaufwand, weil sie auf einen relativ abstrakten Modellbeschreibungsformalismus aufbauen.

⁴ *Verifikation*: Nachweis, dass die technischen Hilfsmittel Rechner und Algorithmus das tun, was sie sollen. *Validierung*: Nachweis, dass das Modell die zu betrachtenden besonderen Aspekte der Wirklichkeit richtig beschreibt.

⁵ Rechnergestützte Übergänge zwischen gegenständlichen und abstrakten Modellen produktionstechnischer Systeme.

⁶ *Bond Graphen* sind ein Hilfsmittel, mit dem dynamische Systeme modelliert werden können. Die mechanischen, elektrischen, hydraulischen, thermischen, magnetischen und fluiden Systeme werden mit den Größen: Antrieb (*effort*) und Fluss (*flow*) beschrieben. Die Beschreibung der Modelle beruht auf dem Gleichgewicht der Energie und dem Fluss von Leistung, also auf den Symmetrieeigenschaften der Naturgesetze.

⁷ Im Rahmen des Modellversuches „Hypermediagestützte Simulationssysteme für berufliche Schulen (HYSIM)“ wurden dafür zahlreiche Beispiele entwickelt (Müller 1998b).

⁸ Aebli führt in diesem Zusammenhang den Begriff der *Tätigkeit* ein, um deutlich zu machen, dass es im Kontext von Lehr- und Lernprozessen nicht nur um Handlungen im engeren Sinne, das heißt um streng zielorientierte Aktivitäten geht, sondern auch um ein Tun, dessen Zielsetzung dem Tätigen häufig nur teilweise oder gar nicht bewusst ist (Aebli 1995, S. 21).

Autoren

Bruns, F. Wilhelm, Prof. Dr.-Ing.,
Universität Bremen, Forschungszentrum Arbeit – Umwelt – Technik (artec)
Enrique-Schmidt-Str. (SFG), 28334 Bremen
bruns@artec.uni-bremen.de

Tätigkeitsschwerpunkte: Sozialverträgliche Technikgestaltung, Produktionsinformatik/Mechatronik, Gegenständliche Mensch-Maschine Interaktion

Müller, Dieter, Dr.
Universität Bremen, Forschungszentrum Arbeit – Umwelt – Technik (artec)
Enrique-Schmidt-Str. (SFG), 28334 Bremen
mueller@artec.uni-bremen.de

Tätigkeitsschwerpunkte: Digitale Medien in der beruflichen Aus- und Weiterbildung, Produktionsinformatik/Mechatronik, Gegenständliche Mensch-Computer Interaktion