

Technische Spielräume: Gegenständliche Computer-Schnittstellen als Werkzeug für erfahrungsorientiertes, kooperatives Modellieren

Eva Hornecker, Bernd Robben

In diesem Beitrag stellen wir ein alternatives Konzept für Computerschnittstellen und dessen Umsetzung in computergestützte Planungs- bzw. Modellierungswerkzeuge vor. Anwendungen, die auf diesem neuen Konzept beruhen, sollen erfahrungsorientierte Zugänge ermöglichen, intuitiv benutzbar sein und kooperative Modellierungsprozesse unterstützen.

Aus den verschiedensten Gründen wird gefordert, Wissen und Bedürfnisse von Anwendern und Betroffenen in Planungen einzubeziehen, sei es als demokratische Legitimation, sei es, um Planungsdefizite zu minimieren und die Akzeptanz zu erhöhen. Computergestützte Modellierung erfordert jedoch häufig Vertrautheit mit dem technischen Werkzeug und einen bestimmten abstrakten Denkstil, kann also nur von Werkzeug-Experten durchgeführt werden. Partizipation bedeutet aber mehr als das bloße Reagieren auf vorgefertigte Lösungen: die Betroffenen müssen aktiv in den Entwurfsprozeß einbezogen werden – in das Finden der Anforderungen, die Analyse des Problemraums, die Entwicklung von Lösungsideen. Durch die vom technischen Werkzeug erforderten Arbeitsabläufe und Denkweisen gehen vielfach subjektive Spielräume und nicht-formalisierbares Wissen verloren, bzw. verändern sich. Diese Veränderung ist ambivalenter Natur – zum einen bewirken sie einen Verlust, zum anderen einen Gewinn an neuen Formen subjektiver Denkweisen und Erfahrungen. Festzustellen ist dabei die wachsende Bedeutung mental-abstrakten Denkens und die Bewältigung rein visueller Information sowie einer "Datenflut".

Die allgemein verbreiteten computergestützten Modellierungswerkzeuge eignen sich zudem nicht für das gemeinsame Modellieren. Denn die traditionelle Eingabe- und Ausgabeschnittstelle Monitor-Maus-Tastatur erlaubt es nur jeweils einem Benutzer, aktiv Eingaben zu tätigen und begrenzt die Gruppengröße. Will man gleichzeitig modellieren, muß spezielle Software, sog. Groupware, eingesetzt werden. Bis aus wenige Ausnahmen wurde diese für räumlich und/oder zeitlich verteilte Gruppen entwickelt und ermöglicht den gleichzeitigen Zugriff nur über je

einen eigenen Rechner pro Person. Eine face-to-face Diskussion mit gleichzeitiger Modellierung wird so praktisch unmöglich. Face-to-face Kommunikation ist jedoch sehr wichtig für Situationen mit hohem Konfliktpotential oder für den Beginn der Kooperation zwischen Fremden (z.B. Macaulay 1999, Streit 1997). Dies läßt auf einen Bedarf für Modellierungswerkzeuge schließen, die eine ungestörte face-to-face Diskussion ermöglichen. Gegenständliche Schnittstellen (manchmal auch als greifbare Schnittstellen bezeichnet) bieten hier eine Lösung und können sogar dazu beitragen, Kooperationsprozesse zu unterstützen.

Im folgenden wird zunächst geklärt, was unter gegenständlichen Computer-Schnittstellen zu verstehen ist. Dann werden Hintergrund und Motivation der Entwicklung eines eigenen Konzeptes gegenständlicher Schnittstellen in Bremen dargestellt und in Beispielen vorgestellt. Es folgt ein kurzer Überblick über die bekanntesten Projekte weltweit, die ähnliche Konzepte realisieren.

Was sind Gegenständliche Schnittstellen?

Gegenständliche Schnittstellen, auch als "greifbar" bezeichnet, werden im englischen *Graspable* oder *Tangible User Interfaces* genannt. Ausgangsmotivation der anfänglich eng mit Augmented Reality verknüpften Forschung war die wachsende Unzufriedenheit mit Maus und Tastatur, die die Sinne des Menschen auf Finger und Augen reduzieren (Wellner 1993). Anstatt immer tiefer in virtuelle Realitäten einzutauchen, sollte es möglich sein, in der Alltags-Umwelt zu bleiben, direkt – d.h. ohne Medienvermittlung – zu kommunizieren und gewohnte Umgangsformen mit Objekten und Information beizubehalten. Die physikalische Welt sollte Ausgangspunkt bleiben, erweitert mit digitalen, beinahe magischen Fähigkeiten. Diese Motivation hat sich zu einem Trend innerhalb der Human-Computer-Interaction entwickelt. Entstanden sind mehrere neue Forschungsrichtungen, die sich zunehmend differenzieren und teilweise wieder von der ursprünglichen Intention abweichen bzw. sie unterschiedlich interpretieren.¹ Neben Augmented Reality und Ubiquitous Computing zählen gegenständliche (greifbare) Schnittstellen zu dieser Entwicklungsrichtung.

¹ Augmented Reality wird mittlerweile vielfach mittels typischer Vorgehensweise und Technik definiert: als Hinzufügen von visuellen Elementen in eine reale Umgebung, bzw. ein Bild von ihr, mittels Einblendtechniken (Einblendung in ein Video oder in halbdurchlässige Brillen, seltener durch Projektion in die reale Umgebung). Die in Wellner 1993 genannten Intentionen treten dabei in den Hintergrund. Manche Visionen des Ubiquitous Computing, der in der Umgebung verschwindenden Computer (gemeint sind viele kleine, miteinander Daten austauschende und interagierende Prozessoren), wecken sogar eher Ängste vor einem Kontrollverlust (da sie aktiv und eigenständig arbeiten und man sie bewußt ausschalten müßte) sowie einer lückenlosen Überwachung aller Bewegungen und werden zunehmend kontrovers diskutiert.

Das Konzept der graspable interfaces wurde eingeführt in (Fitzmaurice 1995) und durch MITs Tangible Bits bekannt gemacht (Ishii 1997). Physikalische Artefakte dienen dabei zur Repräsentation und gleichzeitig Steuerung von digitaler Information. Auf unterschiedlichste technische Weise (Bildererkennung, Datenhandschuhe, Sensorisierung der Objekte, berührungssensitive Oberflächen) werden die physikalischen Objekte mit digitalen Repräsentationen gekoppelt und dienen so als Eingabe- und Ausgabeschnittstelle. Häufig werden zusätzliche Informationen, die beispielsweise Ergebnis einer Simulation sind, visuell dargestellt und auf die Objekte projiziert und erweitern so den physikalischen Aufbau. Gegenständliche, greifbare Schnittstellen gehen über die sog. "physical props" hinaus, die die Interaktion vereinfachen oder die Immersion in Virtual Reality Umgebungen verbessern (props sind einzelne Gegenstände, die haptisches Feedback geben oder als Interaktionswerkzeug dienen). Nicht die virtuelle Welt ist Ausgangspunkt, der durch einzelne reale Elemente erweitert wird, um realistischer zu wirken. Ausgangspunkt ist vielmehr die reale Umwelt des Menschen, erweitert um eine Art "digitale Magie" und den direkten Zugriff auf digital gespeicherte Information.

Der "Real Reality" Ansatz aus Bremen

Ungefähr zeitgleich mit den ersten Projekten in den USA und angeregt durch die Diskussionen über Virtual Reality und Augmented Reality entstand in unserer Arbeitsgruppe in Bremen ein eigener Ansatz gegenständlicher Schnittstellen. Durch eine Eins-zu-Eins Kopplung von realen und virtuellen Objekten können die Benutzer ein physikalisches Modell aufbauen, während der Computer synchron das korrespondierende virtuelle Modell erstellt. Der physikalische Arbeitstisch dient als Schnittstelle für das virtuelle Modell. Die virtuellen Elemente können zur Simulation verwendet werden und ermöglichen den Zugriff auf verschiedene Repräsentationsebenen und Ansichten. Wir haben dieses Konzept "Real Reality" genannt, weil es einen Schwerpunkt auf die Verwendung realer Gegenstände legt.

Hintergrund und Motivation

Die ursprüngliche Motivation für unser Konzept entstand aus den Erfahrungen aus partizipativen Projekten in der Fabrik- und Anlagenplanung. In diesen Projekten wurde das Potential von Simulation als Methode experimentellen Systemdesigns in partizipativen Planungsprozessen erprobt und analysiert (Bruns 1992, 1995). Dabei wurden etliche Defizite von Simulationssystemen aufgezeigt. Die verfügba-

ren Simulationssysteme erwiesen sich als zu abstrakt und schwer bedienbar für Fertigungspraktiker. Diese konnten keinen Zusammenhang zwischen der Simulation und ihrem Erfahrungswissen herstellen und konnten dieses Erfahrungswissen daher auch kaum in den Planungsprozeß einbringen. Durch die Simulationssysteme wurden tendenziell Perspektiven/Sichtweisen verengt und wurde kreatives Explorieren verhindert. Zudem fehlte es an Unterstützung für den kompletten Simulationszyklus (Modellierung, Experiment, Auswertung, Korrektur am Modell) – schon allein die Modellbau-Phase kann häufig hochgradig diskursiv sein.

Für die Diskussion in den heterogenen, aus Arbeitern und Ingenieuren zusammengesetzten Gruppen erwiesen sich konkrete, physikalische Modelle als wertvoll, da sie anschaulich waren, einen intuitiven Umgang und kreatives, spielerisches Explorieren ermöglichten. Deshalb griff man für die Modellbildung und die Suche nach Lösungsansätzen wiederholt auf solche stoffliche Modelle zurück. Der Umgang mit ihnen führte häufig zu kreativen Problemlösungen. Insbesondere für die Herausbildung eines gemeinsamen Verständnisses über dynamische Vorgänge, die sprachlich nur schwer zu beschreiben sind, war das



Abb. 1: Händisches Experimentieren von Transportabläufen für Postpakete (Videostandbild)

manuelle Vormachen mit handlichen Modellen am Tisch sehr förderlich. Die Resultate des physikalischen Modellierens mußten nachher penibel auf die virtuellen Modelle übertragen werden, damit beide konsistent blieben. Dies bedeutete z.B., das Experimentieren mit dynamischen Abläufen auf Video aufzunehmen und die "gelungenen Sequenzen" im Nachhinein vom Video zu transkribieren und in die Notation des Simulationssystem zu übersetzen. Abb. 1 zeigt einen Ausschnitt aus einem solchen Video aus einem Projekt zur Transportplanung von Postpaketen.

Auf die Vorteile der virtuellen Modelle wollte man aber nicht verzichten: Abstraktion, Simulation, Animation, automatische Analyse und Archivierung. Beispielsweise hilft Simulation dabei, Modellvorstellungen zu explizieren und damit diskutierbar zu machen. Sie erleichtert es, Komplexität experimentell zu bewältigen, indem sie kreative, kommunikative Probehandlungen ermöglicht. Nicht vergessen werden darf dabei jedoch, daß die Ergebnisse einer Simulation immer diskursabhängig sind und ihre Beurteilung erfahrungsabhängig ist (z.B. die Einschätzung makroskopischer Wechselwirkungen mit nicht im Modell enthaltenen Realitätsebenen und -bestandteilen). Ein Ergebnis dieser Analyse des Potentials von Simulation für

experimentelles, partizipatives Systemdesign waren Anforderungen an zukünftige Simulationssysteme. Als Entwicklungsziel benannt wurde ein erfahrungsorientiertes Modellierungswerkzeug, das weniger abstraktes Denken erfordert als bisherige Systeme, mögliche Perspektivenwechsel akzentuiert, Ebenenwechsel des Modells ermöglicht (konkret-abstrakt, roh-Detail) und das Simulation als Suchmethode unterstützt.



Abb. 2 synchrones reales und virtuelles Modellieren (RUGAMS)

Die Idee der Kopplung von realen und virtuellen Modellen (und damit auch die Ausnutzung ihrer Vorteile) entstand als Lösung dieser Probleme (Bruns 1993). Der physikalische, reale Modellierungsprozeß ermöglicht es Arbeitern, aktiv teilzunehmen und ihr Wissen sowie ihre Sichtweisen einzubringen. Da das virtuelle Modell automatisch erstellt wird, ist keine zusätzliche Arbeit erforderlich und entfallen damit verbundenen mögliche Fehlerquellen. Unsere Arbeit wurde inspiriert durch die Studien des Arbeitspsychologen Fritz Böhle (Böhle/Milkau1988, Böhle/Rose 1994). Dieser stellte fest, daß das Personal an Industriemaschinen, in Kontrollräumen und Leitwarten nicht immer rational vorgeht und denkt. Sinnliche Eindrücke, Emotionen und sogar körperliche Gefühle leiteten ihr Verhalten ebenso sehr. Böhle nannte diese Form des intuitiven Denkens und Handelns, die verwandt mit den sog. "tacit skills" aus der Industriearbeit ist, "*subjektiverendes Arbeitshandeln*". Im Gegensatz zum "objektiverenden Arbeitshandeln" das rational, planerisch, analysierend ist, ist es an die Person gebunden, prozeßhaft-interaktiv, emphatisch, gefühlsbetont, intuitiv, bezieht alle Sinne und sogar den Körper ein. Statt konzentriert und zielgerichtet zu beobachten, schweift die Aufmerksamkeit und registriert offen und breitbandig, "aus der Peripherie des Bewußtseins" Unstimmigkeiten und sich anbahnende Probleme. Dieses Vorgehen wurde von den Arbeitern als weniger anstrengend und als häufig effektiver bewertet als rein rationales Vorgehen. Frühere "hands-on" Erfahrung mit den konkreten Maschinen und Prozessen sowie die Möglichkeit, den ablaufenden Prozeß unvermittelt erfahren zu können, waren wichtige Ressourcen, um diese Intuition und lebhaftige Imagination entwickeln zu können. Sub-

objektivierendes und objektivierendes Arbeitshandeln ergänzen sich gegenseitig. Erfahrung ist eine Mixtur aus beidem und zeichnet sich durch die Fähigkeit aus, situationsadäquat zwischen beiden Handlungsweisen hin- und herzuwechseln. Computerisierte Kontrollräume und Leitwarten abstrahieren jedoch von den tatsächlich ablaufenden Prozessen. Die abnehmende Konkretheit stellt ein Problem für die Akkumulation von Erfahrung dar und erschwert Entwicklung und Einsatz des erfahrungsorientierten Arbeitshandelns. Auch Arbeiter an hochtechnisierten Maschinen und Leitwarten kennen Formen subjektivierenden Arbeitshandelns – für sie ist dieses intuitive Wissen jedoch sehr viel schwieriger zu erreichen.

Arbeit und Technikgestaltung müssen folglich Raum lassen für Erwerb und Einsatz von Erfahrungswissen, dürfen nicht nur objektivierendes Handeln zulassen. Raum für Erfahrung gibt es, wenn Nähe zur Maschine und zum Prozeß möglich ist. Dies umfaßt Wahrnehmung, Eingriffsmöglichkeiten und direktes Erleben von Reaktionen, sowie individuelles Anpassen des Vorgehens. Ganzheitliche Wahrnehmung zu fördern bedeutet, körperliche Bewegung zu ermöglichen, unmittelbare multisensorische Rückkopplung zu geben (nicht nur visuelle) und eine schweifende Aufmerksamkeit zu erlauben. Es besteht folglich Bedarf für Schnittstellenkonzepte, die zum Einen einen Ersatz für die direkte Erfahrung von physikalischen Phänomenen bieten und zum Anderen erfahrungsorientiertes Denken und Vorgehen ermöglichen. Hierzu soll unser Schnittstellen-Konzept beitragen.

Die abnehmende Konkretheit von Produktionsprozessen hat noch weitere Folgen. Wenn wir die konkrete Erfahrung der physikalischen Prozesse als wichtig für die Ausbildung von erfahrungsorientiertem Wissen und damit beruflicher Kompetenz erachten, muß die Ausbildung/Schule eine kompensatorische Funktion zur Praxis einnehmen (Böhle 1991, Robben/Hornecker 1998). Sie muß eine "hands-on" Erfahrung der realen Phänomene ermöglichen, die in der betrieblichen Praxis nicht mehr zugänglich sind. Die Berufsschule sollte die Fähigkeit, Erfahrungen zu machen, fördern und Gelegenheiten zum Ausprobieren und Austesten der Eigenschaften und Grenzen von Materialien und Arbeitsgegenständen bieten. Die Tendenz, den Computer als Lernmedium zu verwenden, ist in diesem Fall kontraproduktiv, selbst wenn er andere Lernziele unterstützt. Das Koppeln von realen und virtuellen Modellen in Lernumgebungen ermöglicht es uns, diese verschiedenen Ziele gleichzeitig zu verfolgen.

Beispielprojekte in Bremen

Bedingt durch die oben beschriebenen Erfahrungen in der partizipativen Fabrikplanung und unserer engen Zusammenarbeit mit Berufspädagogen, haben unsere bisherigen Projekte das Real Reality Konzept vor allem für Anwendungen genutzt, die Planungs- und Lernprozessen unterstützen.

RUGAMS - real-virtuelle Planung von Förderbandanlagen

Im DFG-Projekt RUGAMS (Schäfer 1998, Hornecker/Schäfer 1999) wird die Planung von Förderbandanlagen für die Produktion untersucht. Diese Planung umfaßt sowohl das statische Layout der Bänder wie das dynamische Verhalten der gesamten Anlage. Die Verwendung von Datenhandschuhen ermöglicht es, Handgesten zu identifizieren. Wird ein Griffmuster nahe bei einem Objekt identifiziert, gilt es als gegriffen und das virtuelle Zwillingsobjekt bewegt sich synchron im virtuellen Modell. Um reales und virtuelles Modell zu synchronisieren, müssen alle Gegenstände an einer definierten Startposition stehen. Zu Beginn sind beide Modelle leer. Die modellierende Person entnimmt alle Modellelemente einer sog. "Object Box", die sie an einen definierten Punkt auf dem Arbeitstisch stellt. Wird der Object Box ein Element entnommen, erzeugt der Computer das entsprechende virtuelle Zwillingsobjekt. Die realen Objekte können auf dem Tisch abgelegt werden und später erneut gegriffen und auf eine andere Position gelegt werden. Durch die Wahl einer bestimmten "Object Box" kann man sich zwischen verschiedenen Typen realer Gegenstände entscheiden, mit denen man dann modelliert. Diese können mehr oder weniger realistisch aussehen und unterschiedlich viel Platzbedarf haben (komplexere Förderbänder aus Fischertechnik bzw. einfache beschriftete hölzerne Bausteine, die wenig Platz benötigen). Die Darstellung des virtuellen Modells kann ebenfalls in ihrem Detaillierungsgrad ausgewählt werden. Wir verwenden Standard 3D Virtual Reality Systeme hierfür.

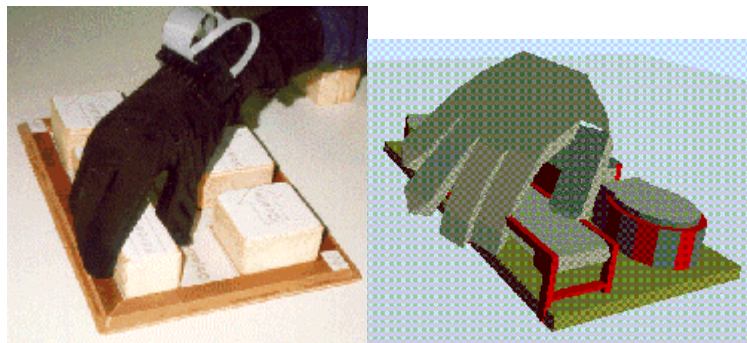


Abb. 3 Reale und virtuelle Objekte werden aus der ObjectBox entnommen

Wenn das statische Layout der Förderbänder fertig ist, kann man das erwünschte Verhalten demonstrieren, indem man die Bewegung der Objekte, bzw. die Regeln dafür, manuell vormacht. Z.B. sollen rote Container über das eine Band laufen und blaue einen anderen Weg nehmen. Zusätzliche Gegenstände ("Token") können auf Bänder gelegt und so als Zeichen dafür verwendet werden, daß dieser Pfad belegt ist, um dann alternative Transportwege zu zeigen. Dieses "Programmieren durch Vormachen", erzeugt letztendlich CNC-Code und SPS-Programme. Die erzeugte Simulation wird zur Steuerung eines virtuellen 3D-Modells verwendet. Weiterhin installierten wir eine Projektion der Simulation von oben auf den Tisch. Bunt leuchtende Objekte scheinen über die Förderbänder zu laufen, was der Simulation Konkretheit verleiht und die Funktion des physikalischen Arbeitsplatzes als Ort der Diskussion erhält.



Abb. 4: (links) Programmieren durch Vormachen: Erzeugen der Regel für einen alternativen Pfad.

(rechts) Visuelle Erweiterung des realen Modells durch Projektion der Simulation auf die Bausteine

EUGABE – eine Pneumatik-Lernumgebung

Im DFG-Projekt EUGABE² wurde der Prototyp einer Lernumgebung für den Berufsschulunterricht in Pneumatik entwickelt (Robben/Hornecker 1998, Hornecker/Robben 1999). Pneumatik spielt eine wichtige Rolle in der industriellen Produktion und wird dazu eingesetzt, Maschinen zu kontrollieren, zu steuern und Kräfte zu übertragen. Daher ist es wichtig, in der Ausbildung ein Verständnis sowohl für die physikalischen Phänomene, wie den logischen Aufbau solcher Steuerungen zu vermitteln. Reale Schaltungen und die entsprechenden Schaltungsdiagramme (die Darstellung der logischen Struktur als Verknüpfung von Schaltungs-

² BR 1556/3-2

symbolen) unterscheiden sich in ihrem Aussehen stark und stellen unterschiedliche Anforderungen. Zudem fällt es Berufsschülern schwer, diese beiden Repräsentationsebenen aufeinander zu beziehen und z.B. im Diagramm erkannte Fehler in einer realen Schaltung zu beheben. Unsere Lernumgebung koppelt daher eine stofflichen Lernumgebung – die pneumatische Schalttafel – mit computergenerierten Modellen, genauer, einem Simulationsprogramm. So werden automatische Übergänge zwischen zwei Welten ermöglicht: die physikalischen Schaltungen und die Welt der abstrakten Symbole.

Die Idee zu diesem Projekt resultierte aus dem mehrjährigen Modellversuch HYSIM an Bremer Berufsschulen (HYSIM 1997) über Entwicklung und Einsatz von Hypermedia-Systemen für den Unterricht. In diesem Modellversuch wurde erkundet, inwieweit Hypermediasysteme für entdeckendes Lernen und handlungsorientierten Unterricht geeignet sind. Fazit war, daß Simulationsprogramme und Hypermedien so gestaltet werden *können*, daß sie dafür geeignet sind, dabei jedoch eine Reihe offener Einzelfragen und zwei zentrale Problemfelder verbleiben. Erstens besteht die Tendenz, reale Modelle durch Hypermedia zu ersetzen und so die Wahrnehmung auf den audiovisuellen Bereich zu reduzieren sowie eine Reihe von im Realen auftretenden Problemen im Unterricht verschwinden zu lassen, die stofflicher Art sind. Zweitens ist es für BerufsschülerInnen oft schwierig, abstrakte Modelle wieder auf real-stoffliche Anlagen zu beziehen. Die Projektstudie plädierte dafür, im Unterricht eine Verbindung, bzw. einen Übergang zwischen Simulationsmodellen und der physischen Welt herzustellen.

Im Unterschied zu vielen anderen Lernsystemen soll unser System nicht die Didaktik des Unterrichts verändern, sondern sich in das bewährte existierende Unterrichtskonzept der Handlungsorientierung einpassen und dieses als offenes Medium unterstützen. Sowohl für den Lehrer, der seinen Unterricht nicht gänzlich vorplanen kann und auf Problemsituationen reagieren muß, wie für die Lernenden, die sich selber Aufgaben ausdenken können, muß die Lernumgebung offen und flexibel sein. Viele Lernsysteme leisten dies nicht. Weil beispielsweise Tutoringsysteme aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz eine formale Repräsentation des Wissens über korrekte Lösungen benötigen, müssen zuerst die Aufgaben vom Lehrenden in eine formale Notation gebracht werden, d.h. die Aufgaben stehen vorher fest. Der Lehrer kann unserer Ansicht nach in vielen Zusammenhängen nicht ersetzt werden, da Computer nicht flexibel genug auf (mitunter innovative und unorthodoxe) Problemlösungen und Ideen der Schüler reagieren können. In der Pneumatik kommt es beispielsweise nicht nur auf die formale Richtigkeit einer Lösung an, sondern auch auf ihre Praktikabilität unter den Randbedin-

gungen möglicher realer Einsatzbereiche. Schulisches Lernen basiert zudem auf sozialen Verständigungsprozessen mit anderen Schülern und Lehrern, während Computersysteme Argumentations- und Interaktionsprozesse nur auf schematische Weise simulieren können. Hinzu kommt eine motivationspsychologische Funktion von realen Pneumatikschaltungen und der sinnlichen Erfahrung mit ihnen, die wir – sozusagen im Selbstversuch – bei einem eigenen Pneumatik-Lehrgang – aber auch in Unterrichtsbeobachtungen feststellen konnten. Selber mit ein paar Handgriffen eine greifbare und hörbare Automationssequenz anzu-steuern, liefert stärkere Erfolgserlebnisse als die funktional richtige Positionierung und Verknüpfung von Symbolen am Bildschirm. Die Materialität der Bauteile und der Druckluft-Phänomene steigert die Eindrücklichkeit des Lernerlebnisses. Für viele BerufsschülerInnen waren die realen Schaltungen zudem für sich bereits motivierend als “die echte Sache” und weckten ihre Neugierde.

Da zu Beginn von EUGABE die gleichzeitige Verwendung von Datenhandschuhen und Metallbauteilen (aufgrund der verfügbaren Hardware) nicht möglich war, wiesen wir zunächst die prinzipielle Machbarkeit nach, indem wir die Schaltungselemente mit Holzbausteinen repräsentierten. Dieses Holzmodell enthielt alle funktional wesentlichen Elemente. Ein im Verlauf des Projektes zusätzlich angeschafftes geeignetes Trackingsystem hob diese Restriktion später auf, so daß mit einem industrieüblichen Modellbaukasten (der Firma FESTO Didactic) gearbeitet werden kann. Die Art der Kopplung entspricht im wesentlichen der oben für RUGAMS bereits beschriebenen. Während bei RUGAMS jedoch die Simulation erst im Anschluß an den Aufbau des Modells erfolgen kann, realisierten wir zusätzlich eine direkte Verbindung zwischen realem Schaltungsaufbau und der Simulation der Schaltungsdiagramme, d.h. die Schaltungssymbole erscheinen zeitgleich auf der Projektionsfläche wie die real bewegten Elementen. Dies erleichtert es den Schülern, die Symbolik zu erlernen. Diese direkte Verbindung ermöglicht es weiterhin, das Simulationssystem anzusteuern, ohne den Arbeitstisch zu verlassen und mittels bestimmter Gesten Information bzw. Hilfe über einzelne Schaltbauteile anzufordern oder die Simulation zu starten. Auf diese Weise werden Medienbrüche beim Übergang vom realen zum virtuellen Modell vermieden.

Auch bei diesem Projekt war eine Intention, die kooperativen Lernprozesse der Schüler zu unterstützen. Dies wird dadurch erleichtert, daß bei der Arbeit an traditionellen Schalttafeln und Experimentiertischen ein gemeinsamer Interaktionsraum entsteht. Zudem können mehrere Lernende gleichzeitig am Modell hantieren. Unsere Beobachtungen in Unterrichtssituationen lassen uns vermuten, daß Teamwork bei der Problemlösung an den physikalischen Arbeitstischen oft fast

automatisch entsteht, wenn der Computer mit dem Modellierungsprozeß synchronisiert ist. Ursachen können die gute Sichtbarkeit der Schaltung sein, die die Neugierde der Nebenstehenden weckt, sowie die Tatsache, daß der Computer nicht als solcher bedient werden muß, sondern weitgehend von der Schalttafel aus angesteuert wird.

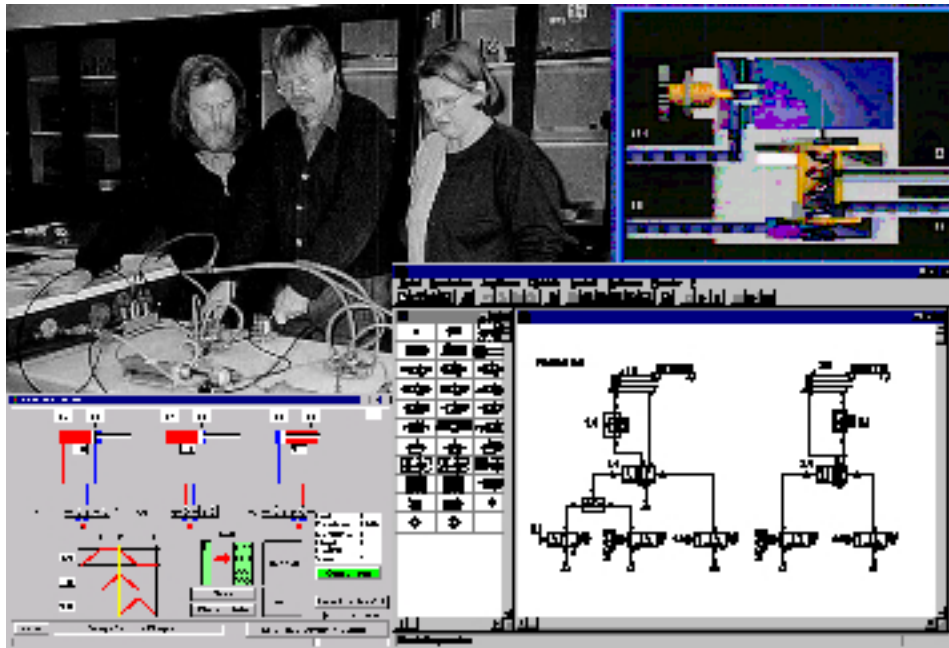


Abb. 5. Verschiedene Repräsentationsformen pneumatischer Schaltungen und Elemente:

(von links oben nach rechts unten) Reale Schaltung, animiertes Schnittsbild, Schrittdiagramm, Simulation mit Schaltsymbolen

Im EU-Projekt BREVIE (Schmudlach et al 2000) wurde die oben beschriebene Anwendung zur Produktreife geführt. Diese Lernumgebung verbindet reale pneumatische Schalttafeln mit Simulationssystemen (Virtual Reality, sowie abstrakte Simulation mit pneumatischen Symbolen) und Multimedia-Hilfen (Animationen, Videos, Hypertext). Sie wurde in enger Zusammenarbeit mit mehreren europäischen Schulen der beruflichen Bildung entwickelt und evaluiert. Die Ansteuerung der Computerprogramme erfolgt, entsprechend der in EUGABE aufgestellten Anforderungen, weitestgehend von der Schalttafel aus. Für den Schuleinsatz waren elementare Anforderungen die Verwendung von Standard-Hardware und Computern, die Stabilität der Erkennungssoftware sowie ergonomische Kriterien. Da dies mit dem bisherigen Konzept auf Basis von Datenhandschuhen und Tracking beim derzeitigen Stand der Technik noch nicht realisierbar war, wird das virtuelle Modell über eine Bilderkennung der realen Schaltung erzeugt. Dazu mußten alle Elemente mit großen Strichcodes beklebt werden. Mit einem speziellen Zeige-

stock können die Lernenden Information aus der Multimedia-Hilfe zu einem Baustein anfordern, ohne sich von der Schalttafel abzuwenden. Die Evaluation wies bessere Lernergebnisse der Schüler im Vergleich zum Lernen ohne das System oder nur am Computer nach.

Graspables – weltweit

Auffallend im Vergleich der bisher realisierten Projekte ist, daß viele kooperative Lern- und Arbeitssituationen unterstützen sollen. Offensichtlich bieten sich greifbare Schnittstellen dazu förmlich an. Es folgt ein Überblick über einige der wichtigsten und bekanntesten Projekte, der die Vielfalt an Anwendungsgebieten und technischen Realisierungswegen aufzeigt:

Die *Tangible Media Projekte am MIT* fokussieren auf die Verwendung physikalischer Objekte zur Modellierung und Steuerung. Illuminating Light (Underkoffler 1998) ist eine Lernumgebung für optische Experimente. Mit Strichcode bedruckte Elemente symbolisieren die realen optischen Werkzeuge und werden beim Aufbau eines optischen Experiments verwendet, als seien sie real. Mittels Bildererkennung wird der Aufbau interpretiert und in eine Simulation überführt. Die Lichteffekte werden zusammen mit Winkelangaben etc. von oben auf die Arbeitsfläche projiziert, so daß die Experimente sehr echt wirken. Im Urp Projekt werden auf ähnliche Weise Planungsprozesse

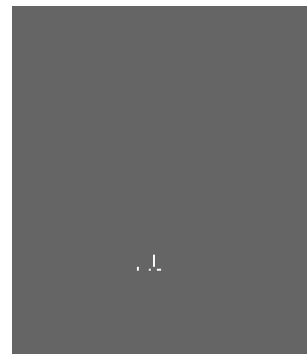


Abb. 6: Illuminating Light

von Architekten unterstützt. Die Modellierenden positionieren Drahtmodelle von Gebäuden auf einem Tisch. Von oben werden die berechneten Licht- und Schatteneffekte auf die Planungsfläche projiziert. Zusätzliche Elemente werden wie Werkzeuge verwendet. So kann durch die Berührung mit einem bestimmten Werkzeug die Oberfläche einer Wand zwischen Stein und Glas wechseln. Wenn man mit einer Art Lineal eine Verbindungslinie zwischen zwei Punkten zieht, wird die Entfernung angezeigt. Ein anderes Werkzeug dient als virtuelle Uhr, d.h. die Simulation zeigt Licht- und Schattenfall beim entsprechenden Sonnenstand. Auf diese Weise können einige Konsequenzen von Designentscheidungen experimentell und spielerisch überprüft werden. Das MediaBlocks System dient zur Verwaltung und Manipulation von Medien-Elementen (Videosequenzen, Ton, Bild), welche dynamisch mit kleinen Bausteinen verbunden werden. Im Prinzip handelt es sich um ein gegenständliches Schnitt- und Mischpult für digitale Medien.

Die *EDC Umgebung in Colorado* (Arias 1997) wurde für die partizipative Nachbarschaftsentwicklung realisiert. Sie ermöglicht Anwohnergruppen das Experimentieren an einem Modelliertisch und einer digitalen Wandtafel und die Simulation. Auf den Tisch (eine berührungssensitive Fläche) wird der Wohnblock projiziert. Physikalische Objekte, z.B. eine Bushaltestelle, weitere Häuser, Schulen etc., können darauf plziert werden. Mit einem Stift werden neue Straßen eingezeichnet. Die einzelnen Anwohner zeichnen ihre gewohnten Routen zur Arbeit, zur Schule, zum Einkaufen etc. auf den Plan. Auf Basis dieses Plans und der Information über die Fahrtrouten könnte der Computer z.B. eine Fahrtroute für den Bus vorschlagen. Die Wandtafel dient zur Sammlung und Ausgabe zusätzlicher Information, z.B. wer wann zur Arbeit fährt. Zusätzlich dient sie als Reflektionsraum, d.h. Fakten, Meinungen und Argumente zu bestimmten Themen werden hypertextartig zusammengeführt und dargestellt. Eine Simulation zeigt die Ergebnisse aus Planung und gesammelten Daten, Ergebnisse der Simulation werden auch auf dem Planungstisch dargestellt.



Abb. 7: (oben) BUILD-IT und (unten) die EDC/Intersim-Umgebung in Colorado

Rauterbergs BUILD-IT (Rauterberg 1998) dient zur Planung von Fabrikanlagen. Im Unterschied zu den meisten anderen greifbaren Schnittstellen werden nur wenige reale Bausteine verwendet, die temporär an auf einen Tisch projizierte Objekte gebunden werden, sozusagen als greifbare "Handle". Ein Baustein kann auch als virtuelle Kamera dienen und die Perspektive einer 3D-Ansicht bestimmen. Diese 3D-Ansicht wird auf einer Leinwand hinter dem Tisch gezeigt. Am Rand des Tisches ist eine Art "Taskleiste", d.h. eine Reihe von Symbolen für Werkzeugtypen, wie besagter Kamera. Wird der reale Baustein auf ein solches Symbol gelegt, verwandelt er sich in ein solches Werkzeug. Die Beschränkung auf wenige Interaktionsbausteine ermöglicht es, Interaktionstechniken einzusetzen, die aus dem Bereich der Virtual Reality oder der gewohnten Rechnerbenutzung stammen. Um einen Ausschnitt des Modells zu vergrößern (bzw. zu verkleinern – ZOOM-Funktion), selektiert man das entsprechende Werkzeug, legt einen Baustein auf das Modell (und verankert es damit), nimmt dann einen zweiten Baustein auf eine zweite Stelle (und verankert es so) und bewegt diese dann auseinander. Da die zwei Punkte verankert sind, wird die Darstellung vergrößert.

Eine Verwandtschaft der gegenständlichen, greifbaren Schnittstellen, zumindest in Bezug auf die Ausgangsmotivation, besteht zum Roomware Konzept der GMD, das kreative Teams unterstützen soll (Streitz 1999). Hier ermöglichen interaktive Wände und Tische den Zugang zu Daten, das Skizzieren und Notieren und Speichern, unter Verwendung von Interaktionsmetaphern in Anlehnung an den Umgang mit Papier und Stiften. Kleine reale Objekte können zudem mit digitalen Daten verbunden werden und dann als physikalisches "Token" zum Transport der Daten (innerhalb des Roomware-Rechnernetzes) verwendet werden. Auf diese Weise können Daten handlich von der interaktiven Wand auf einen Tisch und dann zum Drucker transportiert werden, oder es kann der aktuelle Diskussionsstand mit einem solchen Gegenstand verknüpft werden und in einen anderen Raum gebracht werden, um dort das Meeting fortzusetzen.

Noch keine "Theorie" (oder Wesenslehre) gegenständlicher Schnittstellen

Die Anzahl von Arbeiten, die zu einer Theorie greifbarer Schnittstellen, zu einem Verständnis ihrer grundsätzlichen Besonderheiten und Eigenschaften, und damit zu Designempfehlungen etc. beitragen, nimmt zu. Bisherige Arbeiten konzentrieren sich meist auf Begriffsbestimmungen, Versuche zur Kategorisierung und ergonomische Handhabbarkeit. Dabei wird meist der Umgang einzelner Benutzer mit der Schnittstelle und sein Verständnis, bzw. sein mentales Modell in Laborstu-

dien untersucht. Die Frage der kooperativen Benutzung wird dabei weitgehend ausgeklammert. Aus der Forschung zu CSCW (Computer Supported Cooperative Work) ist jedoch bekannt, daß durch eine kooperative Benutzung andere, neue Anforderungen entstehen, eine ganz andere Interaktionsstruktur entsteht und es häufig sogar zu Designkonflikten mit einer Individuums-bezogenen Ergonomie kommen kann.

Für uns sind als Grundlage bedeutsam v.a. zwei in Bremen entstandene Arbeiten. (Brauer 1999) untersucht in seiner Dissertation die Besonderheiten der Mensch-Computer-Interaktion mit greifbaren Schnittstellen und die daraus resultierenden Gestaltungspotentiale. Haupteigenschaften sind nach Brauer 1) *die haptische Direktheit*, d.h. eine direkte Manipulation, bei der die physikalischen Objekte Schnittstelle sind und eine isomorphe und strukturerhaltende Manipulation ermöglichen und 2) *die Physikalische Räumlichkeit*, d.h. die Co-Präsenz von Objekten, Benutzern und anderen Personen in einem Interaktionsraum, bei dem Ein- und Ausgaberaum zusammenfallen. (Müller 1998) begründet, warum greifbare Schnittstellen und Modelle lernpsychologische Vorteile haben.

Der Anlaß für viele Projekte mit greifbaren Schnittstellen sind kooperative Szenarien, einige sind explizit vor einem partizipatorischen Hintergrund entstanden. Immer wieder wird als Erfahrung berichtet, daß solche Systeme Gruppendiskussionen fördern und unterstützen. Oft wird erwähnt, daß Verhaltensweisen normaler face-to-face Gespräche erhalten bleiben. Genauer analysiert wird dies jedoch kaum – die einzige nennenswerte Ausnahme bilden (Arias 1997). Das seit Anfang 2000 von der Hans-Böckler-Stiftung geförderte Promotionsprojekt "Gegenständliche Benutzungsschnittstellen und kooperative Modellierung" (Durchführung Eva Hornecker) soll einen Beitrag zum Verständnis dieses Zusammenhangs leisten. Im folgenden werden einige erste Ergebnisse der bisherigen Arbeit dargestellt, die die eingangs aufgestellte These untermauern, daß gegenständliche Schnittstellen erfahrungsorientierte Zugänge und kooperatives Modellieren unterstützen.

Kooperatives Modellieren mit gegenständlichen Schnittstellen

Bewußt wird hier nicht von "Kooperationsförderlichkeit" gesprochen, sondern der Begriff *Kooperatives Modellieren* verwendet. Kooperation ist ein sehr diffuser Begriff, mit dem unterschiedliche, kaum vergleichbare Formen der Zusammenarbeit bezeichnet werden (Kumbruck 1999). In den meisten der oben vorgestellten Projekte, die kooperative Szenarien ansprechen, läßt sich die Art der Arbeit als

”Modellieren”, ”Bauen” oder als Entwurf bezeichnen. Daher wurde der Begriff des *Kooperativen Modellierens* als Spezialisierung gewählt und in Auseinandersetzung mit (Kumbruck 1999) präzisiert. Konflikte sind ein integraler Bestandteil dieser Definition.

Unter *Kooperativem Modellieren* verstehen wir (Hornecker 2000):

die gemeinsame Produktion von etwas Neuem und insofern immer eine nicht-routinehafte Situation. Dies umfaßt auch Lernprozesse. Es ist eine kreativ-entdeckende Tätigkeit, die potentiell konflikthaft ist wegen differierender Sichtweisen und Interessen der Teilnehmer. Die Tätigkeit ist zielgerichtet (auf das gemeinsame Modellieren von etwas Neuem), aber wie das Resultat genau aussieht ist erst Ergebnis eines Verständigungsprozesses. Notwendig ist ein Verständigungs- und Einigungsprozeß, sowie das Wissen und die Zusammenarbeit aller.

Qualitätskriterien zur Bewertung eines solchen Prozesses wurden in Frageform formuliert:

Gelingt die Perspektivenvermittlung? Entsteht ein gemeinsam geteiltes Verständnis? Haben alle am Ergebnis teil und integriert es ihre Sichtweisen (oder gibt es ein Modellmonopol weniger Teilnehmer)? Wurden das Wissen und die Sichtweisen aller zusammengeführt oder nur aneinandergereiht?

Bausteine einer Theorie kooperationsförderlicher Eigenschaften

Während zahlreiche Untersuchungen nachweisen, daß Papier noch immer eine zentrale Rolle in Designprozessen und vielen Arbeitssituationen spielt (z.B. Henderson 1998), fehlen solche Studien für dreidimensionale Modelle. Papier als materielles Objekt besitzt etliche Eigenschaften, die Arbeitsprozesse und Interaktionen erleichtern, aber leicht übersehen werden (z.B. leichte Annotierbarkeit, Transportierbarkeit, Wiedererkennbarkeit aufgrund physischer Merkmale wie Eselohren und Handschriften, materielle Präsenz des Objekts als gezielte Erinnerungsstütze). Nur gelegentlich wird erwähnt, daß Prototypen eine ähnliche Rolle spielen können (Henderson 1998). Dies liegt zum Teil vermutlich daran, daß durch den Siegeszug von CAD greifbare Modelle in vielen Berufszweigen an Bedeutung verloren haben. Daß hierfür jedoch Bedarf besteht, merken die Mitarbeiter unserer Forschungsgruppe immer wieder, wenn wir unseren Real Reality Ansatz vor Fertigungspraktikern, Produktionstechnikern und Berufsschullehrern vorstellen, die begeistert reagieren und aus ihrer persönlichen Erfahrung heraus die Relevanz greifbarer Modelle betonen.

Konkrete, anfaßbare, greifbare Modelle ermöglichen spielerische, intuitive und erfahrungsorientierte (subjektivierende) Vorgehensweisen beim Modellieren. Sie erhalten subjektive Spielräume und können dort neue schaffen, wo diese durch den Einsatz von Computern verlorengegangen sind. Dies ist besonders vorteilhaft für Lernende, heterogene Gruppen und Personen, denen ein abstrahierender Zugang schwer fällt. (Dahmer 1994, S. 40) schreibt, daß ein "Spung in die symbolische Welt der Planer" für die meisten Fertigungspraktiker eine Überforderung darstelle, da sie "aufgrund ihrer Ausbildung und Tätigkeit weniger im hypothetisch-planerischen Bereich bzw. einer theoretischen Welt agieren, sondern ihr Wissen primär im gegenständlichen, anschauungsgestützten Handeln in einer physikalischen Welt anwenden und entwickeln", sie bräuchten anschauliche Modelle, z.B. Prototypen, und Möglichkeiten zur praktischen Erprobung in der physikalischen Welt. Greifbare Schnittstellen bieten für solche Praktiker, aber auch für Fachlaien eine niedrige Hemmschwelle, da sie eine intuitive Manipulation ermöglichen. Dies konnten wir in unseren partizipativen Projekten in der Fabrikplanung beobachten. Ähnliches berichten (Arias 1997, Bernds 1999, Wildman 1993). Gewohnte Umgangsweisen mit physikalischen Objekten können eingesetzt werden und erinnern an das kindliche Spiel mit Bausteinen sowie die alltägliche Verwendung herumliegender Gegenstände, um etwas zu demonstrieren. Zudem ist das praktische Tun und Zeigen auch ohne Kenntnis von (Fach-)Begriffen möglich. Implizites Wissen, vor allem über Prozesse und Bewegungen, kann leichter ausgedrückt werden. Die aktive Beteiligung – Partizipation – und der Einbezug des Wissens Aller wird so erleichtert.

Die greifbaren Objekte verändern die normale Struktur der Kommunikation nicht. Anders als bei vielen computergesteuerten Mediationssysteme oder sog. Group Decision Support Systeme, werden keine Vorgehensweisen und Verfahren vorgegeben und forciert. Diese werden dahingehend kritisiert (Bannon 1997), daß sie von einem rationalen Problemlöseprozeß ausgehen, der häufig weder den realen Bedingungen noch den Denkstrukturen der Teilnehmenden entspricht. Zudem werde oft die Schwierigkeit der gemeinsamen Begriffsbildung, bzw. der Entwicklung eines Verständnisses für unterschiedliche Begriffsinterpretationen unterschätzt. Wie auch im Alltag, ist die erfolgreiche Aufgabenbewältigung bei der Modellierung mit greifbaren Modellen abhängig von der Etablierung sozialer Protokolle, die jedoch situiert und flexibel sein können. In Situationen mit hohem Konfliktpotential oder für festgefahrene Diskussionen kann daher ein Moderator oder Mediator notwendig sein (siehe Macaulay 1999 für einen Überblick über die Aufgaben eines Moderators). Wie bereits angesprochen, können greifbare Modelle von mehreren Personen gleichzeitig manipuliert werden. Dies trägt dazu bei, die

”normale” Kommunikationsstruktur zu erhalten, da keine Synchronisationsmechanismen notwendig sind, bzw. diese Teil der gewohnten Interaktionsstruktur sind.

Wie Erfahrungen im Participatory Design und mit PD-Designspielen, wie PICTIVE, zeigen, fokussieren reale Modelle oder Artefakte die Diskussion (Arias 1997, Muller 1993, Wildman 1993). Abstrakte Argumente müssen am Modell konkretisiert werden, was sie diskutier- und kritisierbar macht. Dies verhindert das Steckenbleiben in abstrakten Diskussionen. Die Objekte erinnern ständig und sichtbar an das konkrete Problem. Viele Widersprüche und Probleme werden leichter sichtbar und die greifbaren Stücke lassen sich nicht einfach wegdiskutieren. Dies fördert die Konsensbildung und die pragmatische Lösung von Konflikten. In einer Untersuchung zum Gerechtigkeitsverständnis im Straßenverkehr wurden Anwohnern Pappmodelle eines Straßenzugs, inklusive Modellautos, -fahrrädern, etc., als Anschauung gegeben (Bernds 1999). Die Anwohner begannen rasch und lebhaft, anhand des Modells zu diskutieren. Der Versuch, ganz auf Parkplätze zu verzichten, resultierte in einem deutlich sichtbaren Berg von Autos neben dem Tisch. Der Vorschlag, eine zentrale Sammelstelle für gelbe Säcke zu bestimmen, wurde von allen als unzumutbar abgelehnt, sobald einige der Modellsäcke aufeinander gestürzt wurden. Von ganz ähnlichen Erfahrungen berichten (Arias 1997).

Gutwin (1998) weisen auf wichtige Eigenschaften physikalischer Arbeitsräume hin, die auch für greifbare Schnittstellen gelten, und die das Gewahrsein der Mitwirkenden und der Umwelt (“awareness”) verbessern. Durch die Eigenschaften des physikalischen Raums und die Größe der sichtbaren Arbeitsfläche wird die periphere Wahrnehmung erleichtert und damit die Koordination einer zusammenarbeitenden Gruppe unterstützt. Die Handlungen der anderen können nebenbei oder unterbewusst registriert werden. Zeigegesten bereichern die Kommunikation, indem sie zusätzliche Bedeutungsinhalte vermitteln und/oder die Aufmerksamkeit steuern. Die Objekte auf der Arbeitsfläche sind eine gemeinsame, gut sichtbare Referenz der Kommunikation und helfen, Ambiguitäten aufzulösen.

Greifbare Modelle tragen auf verschiedene Weisen zur gegenseitigen Verständigung bei. Sie sind eine sichtbare Externalisierung, greifbare Symbole, auf die man zeigen und mit denen man agieren kann, und ein Medium beim beobachtbaren Zeigen und Vormachen, über (Fach)Sprachgrenzen hinweg. Dabei werden sie zu einer Hilfe bei der Entwicklung gemeinsamer Begriffswelten. Die Beteiligten haben zwar verschiedene Sichtweisen auf die Objekte, assoziieren unterschiedlich, beziehen sich aber dennoch auf einen gemeinsamen Kern, nämlich das sichtbare und greifbare Artefakt. Während des Vormachens und der damit verbundenen Er-

klärungen werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten deutlich, das Geschehene und die Erklärungen prägen sich als gemeinsame Erfahrung ein.

Die bisherigen Überlegungen drehten sich vor allem um die Eigenschaften, die greifbaren Schnittstellen durch ihre physikalischen Anteile zukommen. Eigentlich handelt es sich aber um gemischt real-virtuelle Modelle, dies wurde anfangs als Besonderheit herausgestellt. Der physikalische geteilte Raum der Schnittstelle kann mit einer Reihe verschiedener digitaler Repräsentationen erweitert werden. Die virtuellen Modellanteile ermöglichen zusätzliche *Übergänge zwischen Repräsentationen* (neben realem und virtuellem Modell meist zusätzlich verschiedene virtuelle Darstellungen). Die virtuellen Modelle dienen zur *Archivierung* und ermöglichen es z.B., ein Playback des Modellierungsverlaufs anzusehen. *Simulationen* ermöglichen es den Modellierenden, die Folgen des Zusammenspiels mehrerer Designentscheidungen zu beobachten und zu analysieren. Die virtuellen Anteile greifbarer Schnittstellen kompensieren einige der Nachteile physikalischer Medien (Arias 1997): passive Modelle ohne Visualisierung von Verhalten und ohne Feedback zu sein, die Schwierigkeit der Verwaltung und Archivierung von Information und von alternativen Lösungen.

Ausblick

Häufig wird gefragt, für welche Anwendungsgebiete sich gegenständliche Schnittstellen besonders eignen und für welche nicht. Da es sich um ein junges Forschungsgebiet handelt, sind die Grenzen des Machbaren noch lange nicht ausgelotet. Vermutlich ist zudem ein Umdenken erforderlich, um ganz neue Anwendungsgebiete zu erschließen. Da auch Forscher Gewohnheitstiere sind, neigen wir dazu, die Modelle, die wir als reale kennen, als Anwendung verwenden zu wollen und können uns andere Dinge, die aus unserer Erfahrung her abstrakt sind, bisher ganz anders durchgeführt werden oder vom Computer bereits unterstützt werden, nur schwer als gegenständliche Interaktion vorstellen.

Viele der bisherigen Projekte haben Anwendungsgebiete, bei denen sich eine Eins-zu-Eins Abbildung von realen Objekten auf greifbare Modelle geradezu anbietet. Manchmal ist es möglich, das resultierende Modell mit werkzeugähnlichen Objekten zu bearbeiten (bei Urp kann man die Tageszeit bestimmen). Wie gut sich greifbare Schnittstellen auch für eher abstrakte Gebiete eignen, ist noch offen, obwohl Projekte wie MediaBlocks (siehe: Abschnitt "Graspables - weltweit") bereits in diese Richtung gehen. Dies ist zudem eines der wenigen bisher realisierten Beispiele, in denen gegenständliche Schnittstellen nicht für Planungspro-

zesse, sondern für Steuerungs- und Produktionsaufgaben verwendet werden, und insofern Teil eines normalen Arbeitsalltages sein könnten.

Nehmen wir den bisherigen technischen Stand als Grundlage, dann eignen sich greifbare Schnittstellen als Modellierungswerkzeug vor allem dann, wenn mit Standardbauteilen, bzw. vorher definierten, modelliert wird und diese in definiertem Umfang verändert werden. Die Größe und Komplexität der benötigten Modelle, sowie ihre Kleinteiligkeit sind ebenfalls zu berücksichtigen, um zu entscheiden, ob eine greifbare Schnittstelle für die Anwendungsaufgabe geeignet ist. Mit Virtual Reality und Rapid Prototyping können greifbare Schnittstellen nicht konkurrieren, wenn es darum geht, komplexe Modelle schnell zu ändern oder sehr kleinteilige Modelle zu erstellen. Geht es dagegen um eine "Grob"planung und sollen Anwender und Betroffene aktiv beteiligt werden, sind gegenständliche Modellierungswerkzeuge zu bevorzugen.

Dieser Beitrag ist als vorläufige Fassung zu verstehen, da er nicht mehr überarbeitet und gegengelesen werden konnte!

Literatur

Arias, E.; Eden, H.; Fischer, G. (1997): Enhancing Communication, Facilitating Shared Understanding, and Creating Better Artifacts by Integrating Physical and Computational Media for Design. In: Designing Interactive Systems (DIS '97). ACM. 1-12

Bannon, Liam (1997): Group Decision Support Systems: An Analysis and Critique. In: Proc. 5th Conference on Information Systems, Vol. 1 (526-539)

Bernds, E. (1999): Verteilungskonflikte im öffentlichen Straßenraum - Gerechtigkeits- und Fairneßvorstellungen. laufende Dissertation, Universität Bremen (persönliche Mitteilung)

Böhle, Fritz (1991): Kompetenzen für "erfahrungsgeleitete Arbeit" – Neue Anforderungen an die berufliche Bildung bei fortschreitender Technisierung. In: Hurrele, Gerd; Jellich, F.-J., Seitz, J. (Hrsg.): Wie bedingen sich Arbeit, Technik und Beruf im industriellen Prozess? Schüren, Hans-Böckler-Stiftung

Böhle, Fritz; Milkau, Brigitte (1988): Vom Handrad zum Bildschirm – eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß. München: Campus

Böhle, Fritz; Rose, Helmut (1994): Technik und Erfahrung – Arbeit in hochautomatisierten Systemen, FfM

Brauer, V. (1999): Gegenständliche Benutzungsschnittstellen für die Mensch-Computer-Interaktion. Dissertation am FB 3 der Universität Bremen

Bruns, F.W.; Heimbucher, A. (1992): Simulation as a Means of Shaping Work and Technology. Using new tools in participatory factory planning. In Brödner, P. and Karwowski, W. (Hrsg.). Ergonomics of Hybrid Automated Systems III. Amsterdam :Elsevier. 133-138

Bruns, F.W. (1993). Zur Rückgewinnung von Sinnlichkeit – Eine neue Form des Umgangs mit Rechnern. *Technische Rundschau*, 29/39. Zürich. 14-18

- Bruns, F.W. (1995).** Simulation als Werkzeug, Medium oder Objekt?. In: Lange, Hellmut; Müller, Wilfried (Hrsg.): Kooperation in der Arbeits- und Technikgestaltung. Lit-Verlag, Münster. 183-199
- Dahmer, H.-J. (1994).** Dominiert das Planungswissen das Erfahrungswissen? Hans-Böckler-Stiftung, Manuskripte 160
- Fitzmaurice, G.W., Ishii, H., and Buxton, W. (1995).** Bricks: Laying the foundation for Graspable User Interfaces. In: Proc. of CHI'95. ACM. 422-449
- Gutwin, C.; Greenberg, S. (1998):** Design for Individuals, Design for Groups: Tradeoffs between Power and Workspace Awareness. In: Proc. of CSCW'98. ACM. 207-216
- Henderson, K. (1998):** The Role of Material Objects in the Design Process: A Comparison of Two Design Cultures. In: Science, Technology & Human Values, Vol.23, No. 2, Sage Publications. 139-174
- Hornecker, E.; Schäfer, K. (1999):** Gegenständliche Modellierung virtueller Informationswelten. In: Software-Ergonomie '99. Stuttgart: Teubner. 149-159
- Hornecker, Eva ; Robben, Bernd (1999):** *Vocational Training with combined real/virtual environments*. In: Proc. of HCI '99 (8th Intern. Conf. on Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum, Vol. 2, S. 730 - 734.
- Hornecker, Eva (2000).** Ein-Jahres-Bericht über das Promotionsprojekt "Gegenständliche Benutzungsschnittstellen und kooperative Modellierung", artec, Universität Bremen
- HYSIM (1997):** Bruns, F.W.; Heimbucher, A.; Müller, D. u.a.: Modellversuch: Hypermediagestützte Simulationssysteme für berufliche Schulen (HYSIM). Abschlußbericht. Universität Bremen, artec.
- Ishii, H., and Ullmer, B. (1997):** Tangible Bits: Towards seamless interfaces between people bits and atoms. In: Proc. of CHI'97. ACM. 234-241
- Kumbruck, C. (1999):** "Angemessenheit für situierte Kooperation" Ein Kriterium arbeitswissenschaftlicher Technikforschung und -gestaltung. LIT-Verlag, Münster (auch Habil.schrift, Universität Bremen 1996)
- Macaulay, L. (1999):** Seven-Layer Model of the Role of the Facilitator in Requirements Engineering. In: Requirements Engineering 4 (1). London: Springer. 38-59
- Muller, M. (1993):** PICTIVE: Democratizing the Dynamics of the Design Session. In: Schuler, D and Namioka, A. (Hrsg): Participatory Design - Principles and Practices. Lawrence Erlbaum. 211-237
- Müller, D. (1998):** Simulation und Erfahrung – Ein Beitrag zur Konzeption und Gestaltung rechnergestützter Simulatoren für die berufliche Bildung. Dissertation Universität Bremen
- Norman, D. (1994):** Things that Make Us Smart – Defending Human Attributes in the Age of the Machine. Addison Wesley
- Rauterberg, M., et al. (1998).** BUILD-IT: a planning tool for construction and design. In: Proc. of CHI'98. ACM.
- Robben, Bernd; Hornecker, Eva (1998):** Gegenständliche Modelle mit dem Datenhandschuh begreifen – Eine Lernumgebung für den Technikunterricht. In: Claus, Volker (Hrsg.) Informatik und Ausbildung, GI-Fachtagung 1998. Springer. 123-132
- Schäfer, Kai (1998).** Real Reality - Simulationsunterstützung durch gegenständliche Modelle. In: Proc. *Simulation und Visualisierung*, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, SCS
- Schmudlach, K.; Hornecker, E.; Ernst, H.; Bruns, F.W. (2000):** Bridging Reality and Virtuality in Vocational Training. In: Proc. of CHI 2000 Extended Abstracts. ACM. 137-138
- Streitz, N.; Rexroth, P.; Holmer, T. (1997):** Does "roomware" matter?. In: E-CSCW'97. 297-312
- Streitz, N., Geißler, J. et al (1999): i-LAND: An interactive Landscape for Creativity and Innovation. In: Proc. of CHI'99. ACM
- Underkoffler, J., Ishii, H. (1998):** Illuminating Light: An Optical Design Tool with a Luminous-Tangible Interface. In: Proc. of CHI '98. ACM. 542-549

Wellner, P.; Mackay, W.; Gold, R. (1993): Computer-Augmented Environments - Back to the Real World. In: Communications of the ACM 36/7. 24-26

Wildman, D., White, E. and Muller, M. (1993). Buckets. In: Wildman, White and Muller. Participatory Design Through Games and Other Techniques. Tutorial Notes, INTERCHI '93. 77-85