

Technische Spielräume: Gegenständliche Computerschnittstellen als Werkzeug für erfahrungsorientiertes, kooperatives Modellieren

Eva Hornecker, Bernd Robben, F.Wilhelm Bruns
Forschungszentrum artec, Universität Bremen

In den letzten Jahren sind mehrere neue Konzepte der Interaktion mit Computern entstanden, von denen ein Typus in diesem Beitrag vorgestellt wird: die *Gegenständlichen Computerschnittstellen*. Wir zeigen, wie nach diesem Konzept neuartige computergestützte Planungs- bzw. Modellierungswerkzeuge realisiert werden. Diese Werkzeuge sollen erfahrungsorientierte Zugänge ermöglichen, intuitiv benutzbar sein und kooperative Modellierungsprozesse unterstützen. Wenn wir in diesem Zusammenhang von „technischen Spielräumen“ sprechen, ist dies als ein Verweis auf Alternativen der Technikgestaltung zu lesen und zugleich als Hinweis auf das Spielerische, d.h. auf subjektive, nicht-zweckrationale Weisen des Handelns und Denkens: Subjektive Spielräume also, die durch alternative Technikformen ermöglicht werden. Eine weitere Vorbemerkung: Statt von Gegenständlichen Schnittstellen als Werkzeug ließe sich vielfach auch von ihnen als Medium sprechen, je nachdem ob sich das Augenmerk richtet auf das modellierende, einen Gegenstand bearbeitende bzw. herstellende Handeln oder auf die kooperative, kommunikative Interaktion, in der Bedeutung hergestellt wird (vergl. Schelhowe 1997).

Aus unterschiedlichen Gründen wird gefordert, Wissen und Bedürfnisse von Anwendern und Betroffenen in Planungen einzubeziehen. Computergestützte Visualisierungsmethoden erleichtern eine Diskussion über Planungsvorschläge, indem sie diese veranschaulichen. Partizipation (im Sinne einer vollen Beteiligung und Mitwirkung an Entscheidungen) geht jedoch über das bloße Reagieren auf vorgefertigte Lösungen hinaus: die Betroffenen müssen aktiv in den Entwurfsprozess einbezogen werden – in das Finden der Anforderungen, die Analyse des Problemraums, die Entwicklung von Lösungsideen. Computergestützte Modellierung erfordert häufig Vertrautheit mit dem technischen Werkzeug und einen abstrakten Denkstil, kann nur von Werkzeug-Experten durchgeführt werden. Durch die vom technischen Werkzeug erforderten Arbeitsabläufe und Denkweisen gehen potentielle subjektive Spielräume und nicht-formalisierbares Wissen verloren. Diese Veränderung von Arbeitsabläufen und Denkweisen ist ambivalenter Natur – zum einen bewirkt sie einen Verlust, zum anderen einen Gewinn an neuen Formen subjektiver Denkweisen und Erfahrungen. Festzustellen ist dabei die wachsende Bedeutung abstrakten Denkens und die Konzentration auf rein visuelle Information.

Die allgemein verbreiteten computergestützten Modellierungswerkzeuge behindern nicht nur erfahrungsorientierte Zugänge, sie eignen sich auch nicht für das gemeinsame Modellieren. Die übliche Ein- und Ausgabeschnittstelle Monitor-Maus-Tastatur erlaubt es nur jeweils einem Benutzer, aktiv Eingaben zu tätigen. Mit sog. „Groupware“, spezieller Software, kann man zwar gemeinsam an Objekten im Computer arbeiten. Weil diese Systeme aber vor allem für räumlich und/oder zeitlich verteilte Gruppen entwickelt wurden, ermöglichen sie den gleichzeitigen Zugriff nur von mehreren Rechnern aus. Eine Diskussion ‘Angesicht zu Angesicht’ mit gleichzeitiger Modellierung wird so verunmöglicht. 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/ Rexroth/ Holmer 1997). Dies lässt auf einen Bedarf für Modellierungswerkzeuge schließen, die eine ungestörte Diskussion ermöglichen. Gegenständliche Schnittstellen bieten hier eine Lösung und können dazu beitragen, Kooperationsprozesse zu unterstützen.

Im folgenden wird zunächst geklärt, was unter gegenständlichen Computerschnittstellen zu verstehen ist und ein kurzer Überblick über einige der bekannteren internationalen Projekte gegeben. Dann werden Hintergrund und Motivation der Entwicklung eines eigenen Konzeptes gegenständlicher Schnittstellen in Bremen dargestellt und in Beispielen konkretisiert. Anschließend werden erste Ergebnisse einer Untersuchung dargestellt, wie gegenständliche Schnittstellen erfahrungsorientierte Zugänge und kooperatives Modellieren unterstützen können.

1. Charakterisierung Gegenständlicher 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 verknüpften Forschung war eine wachsende Unzufriedenheit mit der Steuerung des Computers per Maus und Tastatur, die den Menschen auf Finger und Augen reduziert (Wellner/ Mackay/ Gold 1993). Gesucht wurde nach Alternativen zu graphischen Benutzungsoberflächen und zur Virtual Reality. 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 (Weiser 1993). Die physikalische Welt sollte Ausgangspunkt bleiben, erweitert mit digitalen Fähigkeiten/Eigenschaften, einer Art von (technisch gesteuerter) Magie. Diese Motivation hat sich zu einem Trend innerhalb der Mensch-Computer-Interaktion entwickelt. Entstanden sind mehrere neue Forschungsrichtungen, die sich zunehmend differenzieren und teilweise wieder von der ursprünglichen Intention abweichen bzw. sie unterschiedlich interpretieren.

Augmented Reality wird mittlerweile meist mittels der typischen Vorgehensweise und Technik definiert (Behringer/ Klinker/ Mizell 1999): als Hinzufügen von visuellen Elementen in eine reale Umgebung, bzw. ein Bild von ihr, durch Einblendetechniken¹. Die in (Wellner/ Mackay/ Gold 1993) genannten Intentionen und der Aspekt der Verknüpfung von physikalischer Welt mit computergesteuerten Prozessen treten dabei in den Hintergrund. Ziel des *Ubiquitous Computing* sind in der Umgebung verschwindende Computer (gemeint sind viele kleine, miteinander Daten austauschende und interagierende Prozessoren). Diese gehen in der Umgebung auf, werden nicht mehr als solche wahrgenommen und müssen nicht mehr explizit bedient werden. Die Umgebung wird so „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 einer lückenlosen Überwachung und werden zunehmend kontrovers diskutiert.

Im Verlauf der oben angesprochenen Differenzierung der Forschungsrichtungen entstand das zunehmend eigenständiger werdende Konzept der *Gegenständlichen Schnittstellen*. Um Fehlinterpretationen vorzubeugen ist eine Erklärung dieses Begriffs notwendig:

¹ Einblendung in ein Video oder in halbdurchlässige Brillen, seltener durch Projektion in die reale Umgebung

Gegenständlichkeit ist in unserem Sprachgebrauch im engen Sinne gemeint. Ein gegenständliches Objekt ist greifbar und stofflicher Natur, ist physikalisch, in einer Umgebung situiert und leiblich erfahrbar.

Als „graspable interfaces“ wurde das Konzept eingeführt in (Fitzmaurice/ Ishii/ Buxton 1995) und durch die „Tangible Bits“-Projekte des MIT bekannt gemacht (Ishii/ Ullmer 1997). Physikalische Objekte dienen dabei zur Repräsentation und gleichzeitigen Steuerung von digitaler Information. Beides sind zentrale Funktionen der Gegenstände. Insbesondere die Repräsentationsfunktion unterscheidet gegenständliche Schnittstellen von anderen Forschungsrichtungen. Denn die physikalischen Objekte haben für sich allein betrachtet bereits eine repräsentationale Signifikanz, z.B. sind ihre Position und räumliche Konstellation auch ohne Berücksichtigung von digitaler Information interpretierbar und bedeutsam (Ullmer/ Ishii 2000). Auf unterschiedliche technische Weisen (Bildererkennung, Datenhandschuhe, Sensorisierung der Objekte, berührungssensitive Oberflächen) werden die physikalischen Objekte mit digitalen Repräsentationen gekoppelt und dienen so als Eingabe- und Ausgabeschnittstelle. Der (Inter)Aktionsraum ist identisch mit dem Wahrnehmungsraum. Häufig werden zusätzliche Informationen, die beispielsweise Ergebnis einer Simulation sind, visuell dargestellt und auf die Objekte projiziert. Gegenständliche Schnittstellen gehen über die sogenannten „physical props“ hinaus, die in Virtual Reality Umgebungen die Interaktion vereinfachen oder die Immersion verbessern (props sind einzelne Gegenstände, die haptisches Feedback geben oder als Interaktionswerkzeug dienen). Ausgangspunkt ist nicht die virtuelle Welt, die durch einzelne reale Elemente erweitert wird, um realistischer zu wirken, sondern die reale Umwelt des Menschen, erweitert um eine Art „digitale Magie“² und den direkten Zugriff auf digital gespeicherte Information.

Gegenständliche Schnittstellen werden von mehreren Forschergruppen entwickelt, mit jeweils eigener Ausprägung, spezifischen Akzenten und Schwerpunkten. Der von unserer Bremer Arbeitsgruppe entwickelte Ansatz der „Real Reality“, den wir im weiteren vertieft vorstellen werden, legt besonderen Wert auf die Gegenständlichkeit und ermöglicht Übergänge zwischen dem Gegenständlichen und virtuellen Welten. Über die Verschiedenheiten der Ansätze hinaus geht es jedoch um ein Gemeinsames, das in obiger Erklärung der Gegenständlichen Schnittstellen beschrieben wurde und Gegenstand einer abschließenden Diskussion ist.

1.1 Überblick über die internationale Forschung

Auffallend im Vergleich bisher realisierter Projekte ist, dass vielfach kooperative Lern- und Arbeitssituationen unterstützt werden sollen. Offensichtlich bieten sich gegenständliche Schnittstellen hierzu förmlich an. Es folgt ein Überblick über einige bekanntere Projekte, der die Vielfalt von Anwendungsgebieten und technischen Realisierungswegen aufzeigt.

Die *Tangible Media Projekte* des MIT fokussieren auf die Verwendung physikalischer Objekte zur Modellierung und Steuerung. Hierzu zählen u.a. *Illuminating Light*, *Urp* und *Media Blocks*.

Illuminating Light (Underkoffler/ Ishii 1998) ist eine Lernumgebung für optische Experimente. Mit Strichcode bedruckte Elemente symbolisieren die realen optischen Werkzeuge, die sehr teuer und reparaturanfällig sind (Lichtquellen, Spiegel, Prismen). Sie werden beim Aufbau

² Dag Svanæs schlägt magische und para-normale Phänomene als Quelle für Interaktionsmetaphern für gegenständliche Schnittstellen vor (Svanæs/ Verplank 2000)

eines optischen Experiments verwendet, als seien sie echt. Mittels Bilderkennung 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 real wirken.

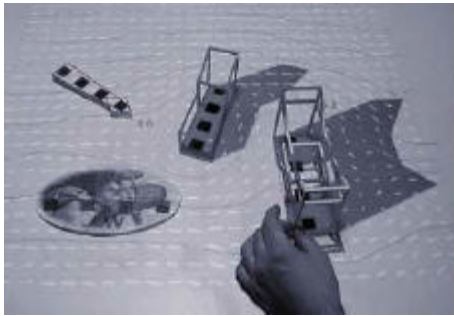


Abb.1: „Urp“-Planungssituation mit Gebäuden, Schatten, Windquelle und Windsimulation

Im *Urp* Projekt (Ullmer/ Ishii 2000) werden auf ähnliche Weise Planungsprozesse von Stadtplanern und Architekten unterstützt. Die Modellierenden positionieren Drahtmodelle von Gebäuden auf einem Tisch. Von oben werden die berechneten Licht- und Schatteneffekte auf die Planungsfläche projiziert. Zusätzliche Objekte werden wie Werkzeuge verwendet. So kann die Berührung mit einem speziellen Gegenstand die Oberfläche einer Wand in Stein oder Glas verwandeln. Die Simulation berechnet, ob es durch große Glasflächen zu

Spiegelungsreflexen kommt und blendet diese ebenfalls in das Modell ein. Zieht man mit einem Lineal eine Verbindung zwischen zwei Punkten, wird die Entfernung eingeblendet. Ein anderes Werkzeug dient als virtuelle, verstellbare Uhr, d.h. die Simulation zeigt Licht- und Schattenfall für den entsprechenden Sonnenstand. In Abbildung 2 sieht man weiterhin die projizierte Simulation der Windkanäle. Auf diese Weise können einige Konsequenzen von Designentscheidungen experimentell und spielerisch überprüft werden.

Das *MediaBlocks* System (Ullmer/ Ishii 2000) dient zur Verwaltung und Manipulation von Medien-Elementen (Videosequenzen, Ton, Bild), welche dynamisch mit Holzbausteinen verbunden werden. Im Prinzip handelt es sich um ein gegenständliches Schnitt- und Mischpult für digitale Medien. Das Mischpult hat die Form eines Rahmens, auf dessen Seitenflächen die Medienblöcke (verkörpert durch Bausteine) gelegt werden. Die Innenfläche des Rahmens zeigt auf einem Bildschirm den Inhalt der Medienblöcke als verkleinerte Bildfolgen. Die Holzbausteine sind mit digitalen Markierungen versehen (dies lässt sich beispielsweise durch elektrische Widerstände oder durch kleine Sender realisieren), die von der Auflagefläche erkannt werden. Eine Seite des Rahmens dient zum Verknüpfen mehrerer dort hingelegter Mediensequenzen zu einer Sequenz. Die untere Rahmenfläche dient als Schnittpult. Wird ein Block dort aufgelegt und verschoben, zeigt der Bildschirm den Inhalt als zusammengefaltete Bildfolge, die je nach Position des Blocks an anderen Stellen aufklappt. Anfangs- und Endpunkt einer Sequenz können so definiert werden und die gewählte Sequenz an einen weiteren Block gebunden werden, mit dem dann weiter gearbeitet wird. Während in den beiden ersten Systemen vor allem die räumliche Konfiguration der Gegenstände von Belang ist, ist hier die Reihenfolge der Handlungen entscheidend (Ullmer/ Ishii 2000 nennen dies „spatial“ bzw. „relational“). Bemerkenswert sollte weiterhin, dass dies eines der (bisher wenigen) Systeme ist, das eine komplexe Manipulation von abstrakter digitaler Information ermöglicht, d.h. deren Gegenstandsbereich abstrakter Natur ist und das kein (verkleinertes) Modell von etwas (möglichem) Realem darstellt.

Die *EDC Umgebung* (Envisionment and Discovery Collaboratory) in Boulder, Colorado (Arias/ Eden/ Fischer 1997; EDC 2000) wurde für die partizipative Nachbarschaftsentwicklung realisiert und von Stadtplanern und Computerwissenschaftlern zusammen mit Transportplanern und Stadtteil-Initiativen entwickelt (Arias et al 2000). Sie ermöglicht Anwohnergruppen das Experimentieren an einem Modelliertisch, unterstützt durch eine digitale Wandtafel sowie Simulationen. Auf dem Tisch (eine berührungssensitive Fläche, die zugleich Bildschirmfläche

ist) wird der vorhandene Wohnblock angezeigt. Physikalische Objekte werden zusätzlich darauf plaziert und repräsentieren z.B. eine Bushaltestelle, weitere Häuser, Schulen etc. 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 kann der Computer z.B. eine Fahrtroute für den Bus vorschlagen. Die Wandtafel dient zur Sammlung und Ausgabe zusätzlicher Information, z.B. Fragebögen, wer wann zur Arbeit fährt. Zusätzlich dient sie als Reflektionsraum, d.h. Fakten, Meinungen und Argumente zu bestimmten Themen werden als Hypertext dargestellt. Frühere Diskussionen können dort nachgelesen und Argumentationsstrukturen analysiert werden. Eine Simulation mit den Ergebnissen aus Planung und gesammelten Daten wird auf dem Planungstisch dargestellt.



Abb.2: Die EDC-Umgebung in Colorado, rechts im Hintergrund die Wandtafel

BUILD-IT (Rauterberg et al 1998, Fjeld et al 1999) dient zur Planung von Fabrikanlagen und kann CAD-Daten verarbeiten und erzeugen. Im Unterschied zu den meisten anderen gegenständlichen Schnittstellen werden nur wenige reale Bausteine verwendet, welche temporär an auf einen Tisch projizierte Objekte gebunden werden, sozusagen als greifbare „Handle“. Ein Baustein dient als virtuelle Kamera und bestimmt die Perspektive einer 3D-Ansicht, die auf einer Leinwand hinter dem Tisch gezeigt wird. 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 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 (oder zu verkleinern), selektiert man das entsprechende Werkzeug, legt einen Baustein auf das Modell (und verankert es damit), legt einen zweiten Baustein auf eine andere Stelle und bewegt diese dann auseinander. Da die zwei Punkte verankert sind, wird die Darstellung vergrößert. Im engeren Sinne ist *BUILD-IT* keine gegenständliche Schnittstelle, da die Gegenstände nur eine temporäre Repräsentationsfunktion besitzen. In einem weiteren Sinne wird es allgemein dazu gezählt, da besonderer Wert auf die intuitive Manipulation mit greifbaren „Handles“ gelegt wird und die Forschergruppe ihren Ansatz selber zu den „graspable interfaces“ rechnet, bzw. als „brick-based augmented reality“ bezeichnet (Fjeld et al 1999), also als Mischform.



Abb.3: (links) BUILD-It Nutzung in der Gruppe (rechts) Arbeit mit den Klötzchen

Das *Roomware* Konzept der GMD, das kreative Teams unterstützen soll (Streitz 1999), ist in Bezug auf die Ausgangsmotivation, situierte Kooperation und Interaktion zu unterstützen, verwandt mit den gegenständlichen Schnittstellen, verwendet aber Konzepte des Ubiquitous Computing. 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. Zusätzlich können kleine reale Objekte, sogenannte „Passenger“, mit digitalen Daten verbunden werden und dann als physikalisches Zeichen 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 der aktuelle Diskussionsstand (auf der Wand) mit einem solchen Gegenstand verknüpft werden und in einen anderen Raum gebracht werden, um dort das Gespräch fortzusetzen. Passenger sind dabei immer nur Transport- oder Speichermittel für digitale Informationen.

1.2 Der Bremer *Real Reality* Ansatz

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 (Bruns 1993). Die Interpretation dieses Ansatzes als Schnittstellenkonzept ist allerdings eine nachträgliche und nachgängige, einige Besonderheiten außer Acht lassende. Für unsere Arbeit zentral ist die Sichtweise von *Real Reality* als einem Konzept mit starkem Anwendungsbezug für das synchrone Modellieren im realen und virtuellen. Beide Sichtweisen sind möglich und korrekt. Die zweite Sichtweise (als anwendungsbezogenes Modellierungswerkzeug) weist *Real Reality* im Rahmen der gegenständlichen Benutzungsschnittstellen eine Sonderrolle zu und macht die Stärken und Besonderheiten des Ansatzes deutlich.

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. Die virtuellen Elemente können zur Simulation verwendet werden und ermöglichen den Zugriff auf verschiedene Repräsentationsebenen und Ansichten. Wir haben dieses Konzept in ironischer Entgegensetzung zur VR „*Real Reality*“ genannt, weil es einen Schwerpunkt auf die Verwendung realer Gegenstände legt. Ermöglicht werden Übergänge zwischen verschiedenen „Welten“ bzw. Repräsentationsarten – zwischen der realen und der virtuellen Welt, zwischen konkreten gegenständlichen Modellen und abstrakten Modellen. Mit dem Begriff der *Übergänge* soll daran erinnert werden, dass bei jeder Transformation sowohl Bedeutung erhalten als auch verändert wird. Reale und virtuelle Welt gehorchen

unterschiedlichen Gesetzen. Die physikalischen Gesetze, die für die gegenständlichen Modelle gelten, können in der Simulation oft nur approximiert und vereinfacht werden. Das reale Modell ist widerständig, weist eine eigene, physikalische Logik auf. Diese Unterschiedlichkeit kann aber auch gewollt sein, wenn reale und virtuelle Modelle verschiedenartige, sich ergänzende oder auch konkurrierende Sichtweisen ermöglichen. Einen großen Stellenwert innerhalb unseres Konzeptes haben daher gegenständliche Baukastensysteme, deren Elemente ein physikalisches Verhalten besitzen und die deshalb auch schon ohne ihr virtuelles Gegenstück ein funktionales Modell bilden (d.h. ein Verhalten und eine beobachtbare Funktion haben).

1.2.1 Hintergrund und Motivation

Unsere Arbeit wurde inspiriert durch die Studien des Arbeitspsychologen Böhle und seiner Mitarbeiter (Böhle/ Milkau 1988, Böhle/ Rose 1994). Diese stellten fest, dass das Personal an CNC-Werkzeugmaschinen, in Kontrollräumen und Leitwarten nicht nur planerisch und logisch-strukturiert vorgeht und denkt. Sinnliche Eindrücke, Emotionen und körperliche Gefühle leiteten ihr Verhalten ebenfalls. Böhle nannte diese Form des intuitiven Denkens und Handelns „*subjektivierendes Arbeitshandeln*“. Im Gegensatz zum „*objektivierenden Arbeitshandeln*“, das logisch-rational, planerisch, analysierend vorgeht, ist es an die Person gebunden, prozesshaft-interaktiv, emphatisch, gefühlsbetont, intuitiv, bezieht alle Sinne und den Körper ein.³ 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 Facharbeitern als weniger anstrengend und oft effektiver bewertet als ein rein rationales Vorgehen. Frühere praktische Erfahrung mit den konkreten Maschinen und Prozessen, sowie die Möglichkeit, den ablaufenden Prozess unvermittelt erfahren zu können, sind wichtige Ressourcen, um diese Intuition und lebhaftes Imagination entwickeln zu können. Subjektivierendes 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 her wechseln zu können. Computerisierte Kontrollräume und Leitwarten abstrahieren jedoch von den tatsächlich ablaufenden Prozessen. Dies stellt ein Problem für die Akkumulation von Erfahrung dar und erschwert Entwicklung und Einsatz eines erfahrungsorientierten Arbeitshandelns. Auch Facharbeiter an hochtechnisierten Maschinen und Leitwarten kennen Formen subjektivierenden Arbeitshandelns – für sie ist dieses intuitive Wissen jedoch sehr viel schwieriger zu erreichen.

Arbeits- und Technikgestaltung müssen folglich Raum lassen für Erwerb und Einsatz von Erfahrungswissen. 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 ein Bedarf für Schnittstellenkonzepte, die einerseits die direkte Erfahrung von physikalischen Phänomenen (und somit erfahrungsorientiertes Denken und Vorgehen) ermöglichen, und andererseits deren formale Repräsentation in Rechnermodellen verständlich und nachvollziehbar machen. Aus dieser Überlegung resultiert unser Konzept, „Übergänge“ zwischen realen, begreifbaren, physikalisch-materiellen Modellen und korrespondierenden abstrakten computergestützten Modellen bereitzustellen. Böhle wies zudem darauf hin, dass

³ Diese Gegenüberstellung impliziert jedoch nicht, dass das subjektivierende Arbeitshandeln irrational ist, es handelt sich vielmehr um eine andere Form der Vernunft / des Verstands.

Facharbeiter die Anlagen, mit denen sie später interagieren, selbst mit aufbauen sollten, um sie kennenzulernen und ihr Erfahrungswissen einzubringen. Diese Forderung lässt sich zu einem Argument ausweiten, Facharbeiter beim Entwurf der Anlagen einzubeziehen.

Die abnehmende Konkretheit von Produktionsprozessen hat noch weitere Folgen. Die Auszubildenden kommen in der betrieblichen Praxis nur noch selten mit den eigentlichen physikalischen Prozessen in Berührung, weil die computerisierte Leitwarten und Kontrollräume vorherrschen und die Auszubildenden in die von ihnen erforderten Arbeitsprozesse integriert werden. 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 praktische, „handgreifliche“ Erfahrung von realen Phänomenen 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 und dadurch andere Lernformen und -medien zu ersetzen, ist deshalb oft kontraproduktiv, selbst wenn damit andere Lernziele unterstützt werden. Das Koppeln von realen und virtuellen Modellen in Lernumgebungen ermöglicht es uns, die verschiedenen Ziele gleichzeitig zu verfolgen.

Die konkrete Motivation für unser Konzept entstand aus Erfahrungen mit partizipativen Projekten in der Fabrik- und Anlagenplanung. In diesen Projekten wurde das Potential von Simulation als Methode experimentellen Systementwurfs in partizipativen Planungsprozessen erprobt und analysiert (Bruns/ Heimbucher 1992, Bruns 1995). Dabei wurden verschiedene Defizite von Simulationssystemen aufgezeigt. Die verfügbaren Simulationssysteme erwiesen sich als zu abstrakt und schwer bedienbar für Fertigungspraktiker. Weil sie deshalb kaum aktiv an den Modellierungsphasen teilhaben konnten, konnten sie ihr Erfahrungswissen nur schwer in den Planungsprozess einbringen. Durch die Simulationssysteme wurden tendenziell Perspektiven/Sichtweisen verengt und kreatives Explorieren behindert⁴. Zudem fehlte es an Unterstützung für den kompletten Simulationszyklus (Modellierung, Experiment, Auswertung, Korrektur am Modell).

Für die Diskussion in den heterogenen, aus Planern, Facharbeitern und Ingenieuren zusammengesetzten Gruppen erwiesen sich gegenständliche Modelle als wertvoll, da sie anschaulich sind, einen intuitiven Umgang und kreatives, spielerisches Explorieren ermöglichen. Deshalb griff man für die Modellbildung und die Suche nach Lösungsansätzen wiederholt auf solche gegenständlichen Modelle zurück. Insbesondere für die Herausbildung eines gemeinsamen Verständnisses für dynamische Vorgänge, die sprachlich nur schwer zu beschreiben sind, war das manuelle Vormachen

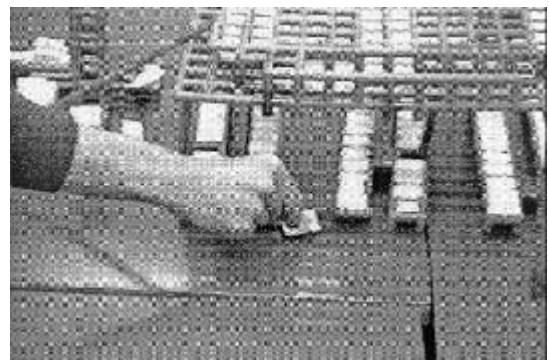


Abb.4: Per Hand Vormachen von Transportabläufen für Pakete (Videostandbild)

⁴ Jede Softwareimplementierung birgt die Gefahr einer nur noch schwer zu ändernden Verfestigung von Vorurteilen. Zudem neigen Informatiker dazu, eher auf die effektive Implementierung störungsfreier Regelfälle zu achten. Nachträglich von Praktikern während der Planungsprozesse sukzessive eingebrachte Ausnahmen und Störfälle stellten immer eine besondere Herausforderung, wenn nicht gar Störung dar.

mit den Modellen am Tisch förderlich. Die Resultate des gegenständlichen Modellierens (z.B. Topologien, Geometrien und Verhaltensregeln) mussten anschließend auf die virtuellen Modelle übertragen werden, um eine systematische Analyse und Variation zu ermöglichen. Ein erster Schritt, um diese Übertragung zu unterstützen, war die Videoaufzeichnung des Experimentierens und Vormachens von schwierigen Phasen der Systemdynamik. Dieses Video wurde dann analysiert und die dynamischen Abläufe in die Notation des Simulationssystem übersetzt. Abb. 5 zeigt einen Ausschnitt aus einem solchen Video aus einem Projekt zur Transportplanung von Expresspaketen.

Virtuelle Modelle bieten ebenfalls Vorteile: sie ermöglichen eine systematische Variation und Untersuchung des Systemverhaltens in Versuchsserien, anschauliche Visualisierung, automatische Analyse und Archivierung. Simulation erleichtert es, Komplexität experimentell zu bewältigen, indem sie kreative, kommunikative Probehandlungen ermöglicht. Nicht vergessen werden darf jedoch, dass die Ergebnisse einer Simulation immer diskursabhängig sind und ihre Beurteilung von Erfahrung abhängig ist (z.B. die Einschätzung makroskopischer Wechselwirkungen mit nicht im Modell enthaltenen Realitätsebenen und -bestandteilen). Ein Ergebnis der in diesem Projekt durchgeführten 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 Simulation als Suchmethode unterstützt.



Abb.5: synchrones reales und virtuelles Modellieren

Die Idee der Kopplung von realen und virtuellen Modellen (und damit auch die Ausnutzung beider Vorteile) entstand als Lösung dieser Probleme (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, ist keine zusätzliche Arbeit erforderlich und entfallen damit verbundene mögliche Fehlerquellen.

Bedingt durch die beschriebenen Erfahrungen in der partizipativen Fabrikplanung und unsere enge Zusammenarbeit mit Berufspädagogen, haben unsere bisherigen Projekte das Real Reality

Konzept vor allem zur Unterstützung von Planungs- und Lernprozessen eingesetzt. Es folgen nun zwei Beispiele für Anwendungen unseres Ansatzes.

1.2.2 Real-virtuelle Planung von Förderbandanlagen

Im DFG-Projekt RUGAMS⁵ (Schäfer 1998, Ernst/ Schäfer/ Bruns 1999, Hornecker/ Schäfer 1999) wird die Planung von Förderbandanlagen für die Produktion untersucht. Diese Planung umfasst sowohl das statische Layout des Förderbandsystems wie dessen dynamisches Verhalten. Die Verwendung von Datenhandschuhen ermöglicht es, Handgesten aufzuzeichnen und zu identifizieren. Wird ein Griffmuster nahe bei einem Objekt identifiziert, gilt es als

⁵ Rechnergestützte Übergänge zwischen gegenständlichen und abstrakten Modellen produktionstechnischer Systeme BR 1556/2-1

gegriffen und das virtuelle Zwillingsobjekt bewegt sich synchron im virtuellen Modell. Um reales und virtuelles Modell zu synchronisieren, stehen alle Gegenstände an einer definierten Startposition. Zu Beginn sind beide Modelle leer. Die modellierende Person entnimmt alle Modellelemente einer „ObjectBox“. Wird der ObjectBox 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. Die virtuellen Zwillingsobjekte werden vom Computer dementsprechend im virtuellen Modell platziert. Durch die Wahl einer bestimmten ObjectBox kann zwischen verschiedenen Typen realer Gegenstände gewählt werden. 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 Detailgrad gewählt werden.

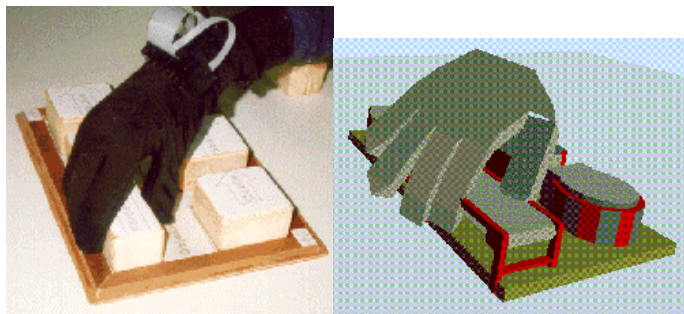


Abb.6: Reale und virtuelle Objekte werden aus der ObjectBox entnommen

Bereits nach dieser statischen Modellierung ist eine ereignisorientierte Computersimulation möglich. Jeder virtuelle Baustein besitzt ein charakteristisches Vorgabeverhalten. Die topologische Analyse des virtuellen Modells verknüpft die einzelnen Bausteine zu einem lauffähigen Gesamtmodell. In der folgenden Modellierungsphase kann das Verhalten des Modells

genauer spezifiziert werden.



Abb.7: (links) Programmieren durch Vormachen: Erzeugen der Regel für einen alternativen Pfad. (rechts) Visuelle Erweiterung des realen Modells durch Projektion der Simulation auf die Bausteine

Nachdem das statische Layout des Förderbandsystems fertig ist, kann man das erwünschte Verhalten demonstrieren, indem man die Bewegung der Objekte, bzw. die Regeln dafür, manuell vormacht. Eine solche Regel wäre z.B., dass Container eines bestimmten Typs immer auf einem bestimmten Pfad transportiert werden. Zusätzlich können Verzweigungsregeln in Abhängigkeit von spezifischen Zuständen der Anlage (z.B. eine belegte Bearbeitungsstation) definiert werden. Die Sensoren, die in diesem Fall aktiviert wären, werden durch Auflegen besonderer Marken (Token) gekennzeichnet, um dann alternative Transportwege für diesen Fall zu demonstrieren (vergl. Abb. 8 links). Dieses „Programmieren durch Vormachen“, erzeugt einen abstrakten Code (Petri-Netze), der in standardisierte SPS-Programme übersetzt wird und der zur Steuerung eines abstrakten Simulationsmodells verwendet werden kann. Die Simulation ist mit einem virtuellen 3D-Modell verbunden und erzeugt so eine 3D-Animation.

Mit dem SPS-Programm kann ein funktionales Fischertechnik-Modell der Anlage gesteuert werden. Eine Projektion des simulierten Anlageverhaltens (von oben auf den Arbeitstisch) schafft eine weitere Dimension der Anschauung. Farbige Objekte scheinen über die Förderbänder zu laufen, was der Simulation Konkretheit verleiht und die Funktion des physikalischen Arbeitsplatzes als Ort der Diskussion erhält.

An diesem Projekt wird der Stellenwert der Gegenständlichkeit und funktionaler Modelle innerhalb unseres Ansatzes deutlich, der ihn von anderen Ansätzen gegenständlicher Computerschnittstellen unterscheidet. Aus verschiedensten Modell-Ebenen kann gewählt werden. Die Holzbausteine sind eine abstrakte Repräsentation, dienen als gegenständliche und vor allem greifbare Symbole. Deutlich mehr Platz benötigen die Fischertechnikmodelle, die in Abb. 6 zu sehen sind, die in ihrer Form den realen Gegenständen ähneln, also ikonische (d.h. abbildhafte) Symbole sind.

Idealvorstellung des Real Reality Ansatzes ist jedoch die Verwendung funktionaler Fischertechnikmodelle (Abb. 9), die Sensoren und Aktoren (Motoren etc.) haben, mit SPS-Programmen gesteuert werden können und die daher verkleinerte, funktionsfähige Modelle der geplanten Real-Anlage sind. Solche funktionalen Modelle gibt es bislang nur innerhalb unseres Ansatzes.

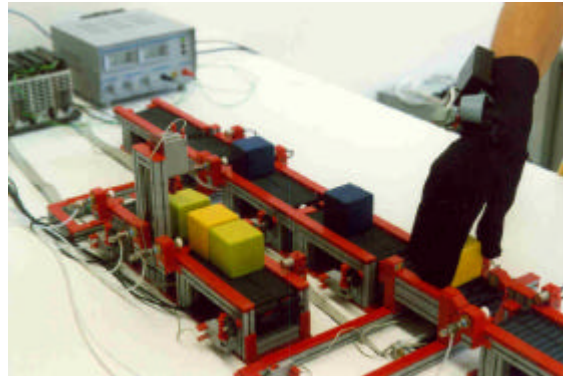


Abb.8: Verwendung eines funktionalen Modells - eine Fischertechnikanlage mit Sensoren und Aktoren, die SPS-Code ausführen kann

1.2.3 Eine Lernumgebung für den Pneumatik-Unterricht

Im DFG-Projekt EUGABE⁶ 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 steuern und Kraft zu übertragen. Daher ist es wichtig, in der Ausbildung ein Verständnis sowohl für die physikalischen Phänomene, als auch den logischen Aufbau solcher Steuerungen zu vermitteln. Reale Schaltungen und die entsprechenden Schaltungsdiagramme unterscheiden sich in ihrem Aussehen stark. Beispielsweise ist die Anordnung der Anschlüsse für Schläuche bei einigen realen Pneumatikelementen völlig verschieden von der der Symbole. Die Diagramme zeigen die logische Struktur der Schaltung als Verknüpfung von Schaltungssymbolen, während der Aufbau der realen Schaltung vom Anwendungsfall mit bestimmt wird. Die realen Schläuche neigen dazu, sich zu verwirren. Deshalb ist für die „Verschlauchung“ ein sorgfältiges Vorgehen wichtig. Dies alles stellt unterschiedliche Anforderungen an die Lernenden. Es fällt Berufsschülern schwer, die verschiedenen Repräsentationsebenen aufeinander zu beziehen, z.B. im Diagramm erkannte Fehler in einer realen Schaltung zu beheben. Unsere Lernumgebung koppelt daher eine gegenständliche Lernumgebung – die pneumatische Schalttafel – mit computergenerierten Modellen. So werden automatische Übergänge zwischen zwei Welten ermöglicht: die physikalischen Schaltungen und die Welt der abstrakten Symbole.

⁶ Erfahrungsorientierte Übergänge zwischen gegenständlichen und abstrakten Modellen technischer Systeme zur beruflichen Qualifizierung BR 1556/3-2

Während bei RUGAMS die Simulation erst im Anschluss an den Aufbau des Modells erfolgt, realisierten wir in diesem Projekt eine synchrone Verbindung zwischen realem und virtuellem Schaltungsaufbau, d.h. die Schaltungssymbole erscheinen zeitgleich auf der Projektionsfläche wie die real bewegten Elemente auf der Schalttafel. Dies erleichtert es den Lernenden, die Symbolik zu erlernen. Die direkte Verbindung ermöglicht es weiterhin, das Simulationssystem anzusteuern, ohne den Arbeitstisch zu verlassen und mittels einfacher Gesten Information bzw. Hilfe über einzelne Bauteile anzufordern oder die Simulation zu starten. Auf diese Weise werden Medienbrüche beim Übergang vom realen zum virtuellen Modell vermieden.

Die Idee zu diesem Projekt wurde unterstützt durch den mehrjährigen Modellversuch HYSIM an Bremer Berufsschulen (HYSIM 1997) über Entwicklung und Einsatz von Hypermedia-Systemen für den Unterricht. Erkundet wurde, 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 bleiben. Erstens besteht die Tendenz, reale Modelle durch Hypermedia zu ersetzen und so die Wahrnehmung auf den audiovisuellen Bereich zu reduzieren und eine Reihe von im Realen auftretenden Problemen im Unterricht verschwinden zu lassen, die aus den physikalisch-gegenständlichen Eigenschaften von Produktionssystemen resultieren. Zweitens ist es für Berufsschüler oft schwierig, abstrakte Modelle wieder auf real-stoffliche Anlagen zu beziehen.

Im Unterschied zu vielen anderen Lernsystemen ist unser System kein Tutoring-System, sondern eine offene Lernumgebung. Sie wurde so konzipiert, dass sie sich in das bewährte existierende Unterrichtskonzept der Handlungsorientierung einpasst und dieses als offenes Medium unterstützt, ohne ein methodisches Vorgehen nach anderen Konzepten auszuschließen. Sowohl für den Lehrenden, der seinen Unterricht nicht gänzlich vorplanen kann und auf Problemsituationen situativ reagieren muss, wie für die Lernenden, die sich selber Aufgaben ausdenken können, soll 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 in eine formale Notation gebracht werden, d.h. die Aufgaben stehen vorher fest. Die häufiger für möglich gehaltene Ersetzung von Lehrerinnen und Lehrern durch Computer halten wir nicht nur für nicht-wünschenswert, weil uns der lebendige Kontakt mit Menschen pädagogisch unersetzbar erscheint, sondern auch für illusorisch. Computer-Lernprogramme sind nicht flexibel genug, um auf (mitunter innovative und unorthodoxe) Problemlösungen und Ideen der Lernenden zu reagieren. In der Pneumatik kommt es nicht nur auf die formale Richtigkeit einer Lösung an, sondern auch auf ihre Praktikabilität unter den Randbedingungen möglicher realer Einsatzbereiche. Schulisches Lernen basiert auf sozialen Verständigungsprozessen mit anderen Schülern und mit Lehrern, während Computersysteme Argumentations- und Interaktionsprozesse auf schematische Weise simulieren. Reale Pneumatikschaltungen und der Umgang mit ihnen haben auch eine motivationspsychologische Wirkung, die wir im Selbstversuch und in Unterrichtsbeobachtungen feststellen konnten. Mit einigen Handgriffen eine greifbare und hörbare Automationssequenz zu erzeugen, 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 Berufsschüler sind die realen Schaltungen für sich bereits motivierend als „die echte Sache“ und wecken ihre Neugierde.

Eine weitere Intention des Projekts war es, kooperatives Lernen zu unterstützen, d.h. das gemeinsame Lösen der Aufgaben und die Diskussion über Probleme, Ideen und Lösungen. Dies wird dadurch erleichtert, dass bei der Arbeit an traditionellen Schalttafeln und Experimentiertischen ein gemeinsamer Interaktionsraum entsteht. Unsere Beobachtungen in Unterrichtssituationen lassen 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 Nebestehenden weckt, sowie die Tatsache, dass der Computer nicht als solcher bedient werden muss, sondern weitgehend von der realen Schalttafel aus gesteuert wird.

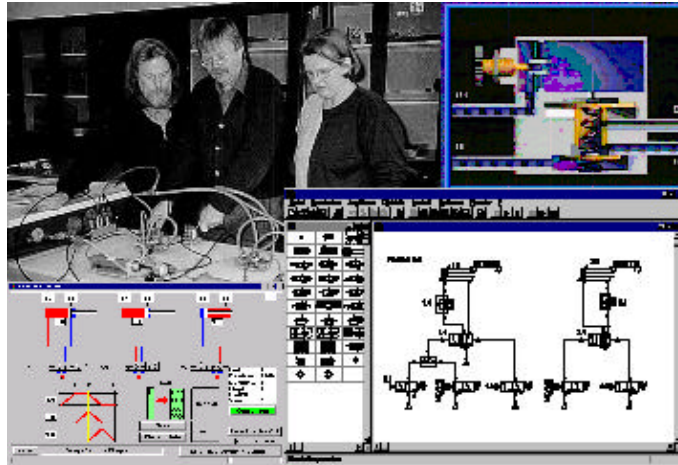


Abb.9. Verschiedene Repräsentationsformen pneumatischer Schaltungen und Elemente

Im EU-Projekt BREVIE (Grund/ Grote/ Schmudlach 2001; Schmudlach/ Hornecker/ Ernst/ Bruns 2000) wurde die oben beschriebene Anwendung zu einem im Schulbetrieb verwendbaren und evaluierbaren Prototyp entwickelt. Diese Lernumgebung verbindet reale pneumatische Schalttafeln mit Simulationssystemen und Multimedia-Hilfen (Animationen, Videos, Hypertext). Sie wurde in enger Zusammenarbeit mit vier 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 wurden alle Elemente mit Barcodes versehen. Mit einem speziellen Zeigestock können die Lernenden Information aus der Multimedia-Hilfe zu einem Baustein anfordern, ohne sich von der Schalttafel abzuwenden.

Das Institut für Arbeitspsychologie der ETH Zürich führte eine begleitende Evaluation durch (Grund/ Grote 2001). 74 Schüler erhielten einen 16stündigen standardisierten Pneumatikgrundkurs, aufgeteilt in drei Vergleichsgruppen. Eine Gruppe lernte nur mit realen Schaltungen, eine mit dem Simulationssystem, und eine dritte Gruppe verwendete das CLEAR-System, das beide verbindet. Die Gruppen unterschieden sich im Nachtest nicht hinsichtlich des gelernten theoretischen Fachwissens. Die reine Simulationsgruppe war jedoch bei allen praktischen Aufgaben (Konstruktionsaufgabe, symbolische Fehlersuche auf einem Schaltplan, reale Fehlersuche in einer Schaltung) insgesamt etwas schlechter. Ein quantitativ

nachweisbarer höherer Lernertrag der Integration von Simulation und realen Komponenten konnte bisher nicht gezeigt werden. Die reale Gruppe und die BREVIE Gruppe waren sich in alle Aufgabentypen sehr ähnlich, was darauf schließen lässt, dass der Gegenständlichkeit eine höhere Bedeutung für den Lernprozess zukommt als der Simulation. Unsere Vermutung ist, dass bei komplexeren Aufgaben und einem ausgereifteren Prototypen die Vorteile der Integration deutlicher hervortreten.

1.3 Zwischenbilanz

Wenn wir heute über die Vorteile gegenständlicher Schnittstellen und unsere Motivation, diese weiterzuentwickeln, sprechen, ist unsere Sichtweise differenzierter geworden. Dies ergibt sich allein schon dadurch, dass sich die Benutzer verändert haben (sie haben i.d.R. mehr Vorerfahrung mit Computern oder sind gar in spielerischem Umgang mit ihnen aufgewachsen) und die Systeme besser geworden sind. An Bedeutung gewonnen hat für uns neben der Idee des „Rechners im Rücken“ das Konzept der *Übergänge*, d.h. das Schaffen von Übersetzungen und einer engen Kopplung zwischen Realem und Virtuellem in der Interaktion. Das „Erfassen“ der manuellen Interaktion erweist sich als komplexes technisches Problem und stößt immer wieder an Grenzen. Deutlich wird, dass es immer nur möglich ist, einen Teil des natürlichen Verhaltens zu erfassen und zu interpretieren.

So sehr wir (und andere Forscher, die gegenständliche Schnittstellen entwickeln) Wert auf intuitiven und erfahrungsorientierten Umgang mit gegenständlichen Modellen legen, müssen wir darauf hinweisen, dass immer eine Formalisierung notwendig ist. Damit die Interaktion mit den realen Modellbestandteilen vom Computer erkannt und interpretiert werden kann, muss zuvor eine formale Interaktionsgrammatik definiert werden. Dies legt der freien Interaktion Grenzen auf und erzwingt eine gewisse Anpassung, z.B. an die Grammatik des Programmierens durch Vormachens. Nur die Anteile der Interaktion mit dem Modell, die innerhalb dieser Grammatik erkennbar sind, können in entsprechende Aktionen für das virtuelle Modell übersetzt werden. Im Rahmen unserer Sichtweise der *Übergänge* zwischen verschiedenen Repräsentationswelten, die verschiedenen Gesetzeswelten gehorchen, kann es sogar gewollt sein, nur Teile der gegenständlichen Interaktion als relevant für die virtuellen Modellbestandteile zu interpretieren.

1.4 Theorieanfänge und -defizite

Die Anzahl von Arbeiten, die zu einem Verständnis gegenständlicher Schnittstellen, ihrer grundsätzlichen Besonderheiten und Eigenschaften, und damit zu Designempfehlungen etc. beitragen, nimmt zu. Der Schwerpunkt bisheriger Arbeiten liegt auf konstruktiven Lösungen. Arbeiten, die zu einer Theorie gegenständlicher Schnittstellen beitragen, konzentrieren sich 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 Laborstudien untersucht. Die Frage der kooperativen Benutzung wird 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.

Eher klassische ergonomische Untersuchungen zu „graspable interfaces“ sind u.a.: (Fitzmaurice 1996), (Fjeld/ et al 1999), (Patten/ Ishii 2000). (Ullmer 2000) und (Fitzmaurice/

Ishii/ Buxton 1995) bestimmen charakterische Eigenschaften gegenständlicher Schnittstellen und kategorisieren Systeme. (Brauer 1999) untersuchte in seiner Dissertation die Besonderheiten der Mensch-Computer-Interaktion mit gegenständlichen 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 gegenständliche Schnittstellen und Modelle lernpsychologische Vorteile haben.

Der Anlass für viele Projekte mit gegenständlichen Schnittstellen sind kooperative Szenarien, einige sind explizit entstanden, um Partizipation zu fördern. Immer wieder wird als Erfahrung berichtet, dass solche Systeme Gruppendiskussionen fördern und unterstützen und erwähnt, dass Verhaltensweisen normaler face-to-face Gespräche erhalten bleiben. Genauer analysiert wird dies jedoch kaum – eine lobenswerte Ausnahme bilden (Arias/ Eden/Fischer 1997). Im Promotionsprojekt „Gegenständliche Benutzungsschnittstellen und kooperative Modellierung“ (Hornecker 2000) soll ein Beitrag zum Verständnis dieses Zusammenhangs geleistet werden. Im folgenden werden einige erste Ergebnisse dargestellt, die die eingangs aufgestellte These untermauern, dass gegenständliche Schnittstellen erfahrungsorientierte Zugänge und kooperatives Modellieren unterstützen.

2. Kooperatives und erfahrungsorientiertes Modellieren mit gegenständlichen Schnittstellen

Bewusst wird hier nicht von „Kooperationsförderlichkeit“ gesprochen, sondern der Begriff *Kooperatives Modellieren* verwendet. Kooperation ist ein sehr allgemeiner Begriff, mit dem unterschiedliche, kaum vergleichbare Formen der Zusammenarbeit bezeichnet werden (Kumbruck 1999). In den meisten der oben vorgestellten Projekte, die kooperative Szenarien ansprechen (Illuminating Light, Urp, BUILD-IT, EDC, RUGAMS), lässt sich die Art der Arbeit als „Modellieren“, „Bauen“ oder als Entwurf bezeichnen. Daher wurde der Begriff des *Kooperativen Modellierens* gewählt, um den gemeinsamen Kooperationstypus in diesen Szenarien zu bezeichnen. Tendenziell handelt es sich um eine Form der Kooperation, die vor allem in Kleingruppen stattfindet (wobei die Nachbarschaftsentwicklung mit EDC zeigt, dass auch größere Gruppen möglich sind). Konflikte sind ein integraler Bestandteil des Kooperationsprozesses. Kommunikation ist Grundlage für die Verständigungsprozesse.

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

die gemeinsame Produktion von etwas Neuem und insofern eine nicht-routinehafte Situation. Dies umfasst auch Lernprozesse, bei denen etwas subjektiv Neues erzeugt wird.. Es ist eine kreativ-konstruktive Tätigkeit, für deren Verlauf und Ergebnis es meist keine Vorschrift oder Vorgehensregel gibt (sog. „open-ended design issues“). Diese Tätigkeit ist potentiell konflikthaft wegen der differierenden Sichtweisen und Interessen der Teilnehmer. Notwendig ist ein Verständigungs- und Einigungsprozess, ein Aushandlungs- und Argumentationsprozess, der zur konstruktiven Bewältigung von Konflikten führt ((Arias/ et al 2000) sprechen von einem „informierten Kompromiss“). Benötigt werden dazu das Wissen und die Zusammenarbeit aller.

Qualitätskriterien zur Bewertung eines solchen Prozesses wurden in Frageform formuliert. Im wesentlichen geht es in diesen Kriterien darum, ob „gelungene Kommunikation“ stattfindet:

Gelingt die Perspektivenvermittlung? Entsteht ein gemeinsam geteiltes Verständnis? Wird das Ergebnis von allen akzeptiert (als Konsens oder wenigstens als akzeptabler Kompromiss) und werden alle Sichtweisen zufriedenstellend berücksichtigt (oder gibt es ein Modellmonopol weniger Teilnehmer, deren Wille oder Idee vorherrscht)? Kommt es zu einer Synergie von Wissen und Perspektiven und wird das Kreativitätspotential der Gruppe genutzt? Ist für die Beteiligten nachvollziehbar, wie das Ergebnis entstanden ist?

2.1 Interaktion mit gegenständlichen Schnittstellen

Während zahlreiche Untersuchungen nachweisen, dass Papier noch immer eine zentrale Rolle in Designprozessen und vielen Arbeitssituationen spielt (z.B. Henderson 1998), gibt es nur wenige vergleichbare Studien für dreidimensionale Modelle (z.B. Sachse/ Specker 1999, Scheel/ Hacker/ Henning 1994). Papier als materielles Objekt besitzt etliche Eigenschaften, welche Arbeitsprozesse und Interaktionen erleichtern, aber in der Arbeitsanalyse oft übersehen werden (z.B. leichte Annotierbarkeit, Transportierbarkeit, Wiedererkennbarkeit aufgrund physischer Merkmale wie Eselsohren und Handschrift, 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 gegenständliche Modelle in vielen Berufszweigen an Bedeutung verloren haben.⁷ Dass für gegenständliche Modelle großer Bedarf besteht, wird uns von Fertigungspraktikern, Produktionstechnikern und Berufsschullehrern bestätigt.

Konkrete, anfaßbare, gegenständliche Modelle ermöglichen spielerische, intuitive und erfahrungsorientierte (im Sinne Böhles: 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 heterogene Gruppen und Personen, denen ein abstrakter Zugang schwer fällt. Ein "Sprung in die symbolische Welt der Planer" stellt für die meisten Fertigungspraktiker eine Überforderung dar, 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" (Dahmer 1994: S.40). Sie brauchen anschauliche Modelle, z.B. Prototypen, und Möglichkeiten zur praktischen Erprobung in der physikalischen Welt. Gegenständliche Schnittstellen bieten für solche Praktiker, aber auch für Fachlaien eine niedrige Hemmschwelle, da sie eine intuitive Manipulation ermöglichen. Auf der Grundlage der intuitiven Manipulation (die Ebene der reinen Handhabung und manueller Einzeloperationen) werden erfahrungsorientierte Zugänge und Herangehensweisen möglich (eine Ebene komplexerer semantisch bedeutungsvoller Handlungen). Dies konnten wir in partizipativen Projekten in der Fabrikplanung beobachten. Ähnliches berichten (Arias/ Eden/ Fischer 1997, Bernds 1999, Wildman/ White/ Muller 1993). Gewohnte Umgangsweisen mit physikalischen Objekten können eingesetzt werden und erinnern an das kindliche Spiel mit Bausteinen sowie die alltägliche Verwendung umherliegender Gegenstände, um etwas zu demonstrieren. Zudem ist das praktische Tun und Zeigen auch ohne Kenntnis von (Fach-)Begriffen möglich. Implizites Wissen, vor allem über

⁷ Zudem beziehen sich viele ethnographische Studien (z.B. in der CSCW) auf den Bürobereich und fokussieren auf bereits informatisierte Arbeitstätigkeiten oder im Übergang dazu befindliche, die oft papierbezogen sind. Dabei gerät aus dem Blick und leicht in Vergessenheit, dass es weiterhin gegenständliche Praktiken gibt.

Prozesse und Bewegungen, kann leichter ausgedrückt werden. Die aktive Beteiligung 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 Systemen, werden keine Vorgehensweisen und Verfahren vorgegeben und forciert. Diese Systeme 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 gegenständlichen Modellen abhängig von der Etablierung sozialer Protokolle, die jedoch situiert und flexibel sein können. Wie bereits angesprochen, können gegenständliche Modelle von mehreren Personen gleichzeitig manipuliert werden. Dies trägt dazu bei, die "normale" Kommunikationsstruktur zu erhalten, da keine technischen Synchronisationsmechanismen notwendig sind (wie z.B. das Sperren einer Datei für andere, während sie bearbeitet wird), weil diese Synchronisation sozial ausgehandelt wird. Die gegenständlichen Modelle sind kein Garant für gelingende Kommunikation; sie sind zu sehen als ein Werkzeug beim kooperativen Modellieren, das situiert verwendet wird, bzw. als ein Medium, das Selbst- und Welterfahrung und Kommunikation unterstützt (Schelhowe 1997). In Situationen mit hohem Konfliktpotential oder für festgefahrene Diskussionen ist daher ein Moderator oder Mediator notwendig (siehe Macaulay 1999 für einen Überblick über die Aufgaben eines Moderators). Die Beiträge von Martina Hammel und Bettina Törpel (in diesem Band) machen deutlich, welchen Einfluss Hierarchien und Organisationsstrukturen auf partizipative Entwicklungsprozesse haben und was alles bei der Organisation und Durchführung Partizipativen Designs (kurz PD) berücksichtigt werden muss. Gegenständliche Modelle können im Rahmen von PD Teil einer Methode bzw. Werkzeug sein.

Wie Erfahrungen im Partizipativen Design und mit PD-Designspielen, wie z.B. PICTIVE, zeigen, fokussieren reale Modelle oder Artefakte die Diskussion (Arias/ Eden/ Fischer 1997, Muller 1993, Wildman/ White/ Muller 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 Gegenstände 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 getürmt wurden. Von ganz ähnlichen Erfahrungen berichten (Arias/ Eden/ Fischer 1997).

(Gutwin/ Greenberg 1998) weisen auf wichtige Eigenschaften physikalischer Arbeitsräume hin, die auch für gegenständliche Schnittstellen gelten, und die das Gewährsein für Mitwirkende und Umwelt (engl. *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. Zeigegegenstände 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 (Robertson 1997). Innerhalb des physikalischen Raums sind leibliche Handlungen immer auch für andere sichtbar und gewinnen so eine performative Bedeutung, z.B. wäre das Zeigen sinnlos, ohne gesehen zu werden. Ein körperlich miteinander geteilter Raum bewirkt zudem ein Gefühl größerer sozialer Nähe, erhöht also potentiell die Kooperationsbereitschaft. Der Philosoph Gernot Böhme beschreibt Kommunikation als Ausübung und Vermischung von leiblicher Präsenz, der Mensch strahle eine spürbare Atmosphäre aus (Böhme 1997).

Gegenständliche Modelle sind eine sichtbare Externalisierung, greifbare Symbole, auf die man zeigen und mit denen man agieren kann, ein Verständigungsmedium über (Fach)Sprachgrenzen hinweg. Sie erleichtern es den mit ihnen hantierenden Personen, ihre Gedanken zu verfolgen (d.h. den Faden zu behalten, durch Referenz auf die Externalisierung Teile zeitweise auszuklammern und sich auf andere zu konzentrieren) und sich auszudrücken (da sie nicht alles verbalisieren müssen). Zugleich sind sie für die anderen Beteiligten sichtbar und unterstützen deren Verständnis. 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 Erklärungen 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 gegenständlichen Schnittstellen durch ihre physikalischen Anteile zukommen. Gegenständliche Schnittstellen integrieren aber reale und virtuelle Anteile. 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 ein Playback des Modellierungsverlaufs. *Simulationen* ermöglichen es den Modellierenden, die Folgen des Zusammenspiels mehrerer Designentscheidungen zu beobachten und zu analysieren. Die virtuellen Anteile gegenständlicher Schnittstellen kompensieren einige der Nachteile (nicht-funktionaler) physikalischer Medien (Arias/ Eden/ Fischer 1997): passive Modelle ohne Visualisierung von Verhalten und ohne Feedback zu sein (dieses Argument trifft nicht auf Real Reality zu, da dieser Ansatz Bauteile mit integriertem Verhalten bevorzugt verwendet), die Verwaltung und Archivierung von Information und von alternativen Lösungen.

3. 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 erforscht, insbesondere im Bereich weniger stark gegenstandsbezogener Planung. Viele der bisherigen Projekte haben Anwendungsgebiete, bei denen sich eine Eins-zu-Eins Abbildung von realen Objekten des Anwendungsbereichs auf gegenständliche Modelle geradezu anbietet. Manchmal ist es möglich, das resultierende Modell mit werkzeugähnlichen Objekten zu bearbeiten. Dass sich gegenständliche Schnittstellen auch für abstrakte Objekte eignen können, zeigen Projekte wie MediaBlocks. Dies ist zudem eines der wenigen Beispiele, in denen gegenständliche Schnittstellen nicht für Planungsprozesse,

sondern für Steuerungs- und Produktionsaufgaben verwendet werden, und insofern Teil eines „normalen“, informatisierten Arbeitsalltages sein könnten. Mögliche Anwendungsgebiete gegenständlicher Schnittstellen sind nach (Ullmer/ Ishii 2000) Informationsspeicherung und -manipulation, Lernprozesse, Entertainment, Visualisierung von Information, Modellierung und Konstruktion, System Management und Konfiguration, Programmierung algorithmischer Systeme.

Nehmen wir den bisherigen technischen Stand als Grundlage, dann eignen sich gegenständliche Schnittstellen im Modellierungsbereich vor allem dann, wenn mit Standardbauteilen 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 gegenständliche Schnittstelle für die Anwendungsaufgabe geeignet ist. Vor allem in den Anfangsphasen des Entwurfs, in denen eine Grobplanung erstellt wird, und wenn Anwender und Betroffene aktiv beteiligt werden sollen, sind gegenständliche Modellierungswerkzeuge wertvoll.

Bildquellen:

Abb.1: Photo verwendet mit Erlaubnis von John Underkoffler und Hiroshi Ishii,

Abb.2: Photos mit Erlaubnis der Urheber, aus (EDC 2000)

Abb.3: Photos mit Erlaubnis von Peter Troxler, Zürich (Fotograf) und Morten Fjeld

Literatur

Arias, Ernesto/ Eden, Hal/ Fischer, Gerhard (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, S.12.

Arias, Ernesto/ et al (2000): Transcending the Individual Human Mind. Creating Shared Understanding through Collaborative Design. In: ACM Transactions on Computer-Human-Interaction (ToCHI), Vol7, No.1, March 2000, S.84-113.

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

Behringer, Reinhold/ Klinker, Grudrun/ Mizell, David (1999): International Workshop on Augmented Reality 1998 – Overview and Summary. In: (dieselben): Augmented Reality. Placing Artificial Objects in Real Scenes; Proc. of IWAR '98. Natick Mass.: AK Peters, S.xi-xx.

Bernds, Esther (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: Hurrel, G./ 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.

Böhme, Gernot (1997): Einführung in die Philosophie. Weltweisheit Lebensform Wissenschaft. Frankfurt: stw.

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

- Bruns, F.Wilhelm/ Heimbucher, Achim (1992): Simulation as a Means of Shaping Work and Technology. Using new tools in participatory factory planning. In Brödner, Peter/ Karwowski, W. (Hrsg.): Ergonomics of Hybrid Automated Systems III. Amsterdam: Elsevier, S.133-138.
- Bruns, F.Wilhelm (1993): Zur Rückgewinnung von Sinnlichkeit. Eine neue Form des Umgangs mit Rechnern. In: Technische Rundschau, Jg.29,H.39, Zürich, S.14-18.
- Bruns, F.Wilhelm (1995): Simulation als Werkzeug, Medium oder Objekt?. In: Lange, Helmut/ Müller, Wilfried (Hrsg.): Kooperation in der Arbeits- und Technikgestaltung. Münster: LIT, S.183-199.
- Dahmer, Hans-Jürgen (1994): Dominiert das Planungswissen das Erfahrungswissen? Hans-Böckler-Stiftung, Manuskripte 160
- EDC (2000): <http://www.cs.colorado.edu/~l3d/systems/EDC/roadmap/intersim/> und <http://www.cs.colorado.edu/~l3d/systems/EDC/introduction/> (27.10.2000)
- Ernst, Hauke/ Schäfer, Kai/ Bruns, F.Wilhelm (1999): Creating Virtual Worlds with a Graspable User Interface. In: Proc. of Twente Workshop on Language Technology (TWTL 15). Enschede: Universiteit Twente, S.45-57
- Fitzmaurice, George W./ Ishii, Hiroshi/ Buxton, William (1995): Bricks: Laying the foundation for Graspable User Interfaces. In: Proc. of CHI'95. ACM, S.422-449.
- Fitzmaurice, George W. (1996): Graspable User Interfaces. PhD Thesis, University of Toronto.
- Fjeld, Morten et al. (1999): Exploring Brick-Based Navigation and Composition in an Augmented Reality. In: Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'99). Lecture Notes in Computer Science. Springer, S.102-116.
- Grund, Sven/ Grote, Gudela (2001): Multimediales Lernen: Wie wichtig ist die Gegenständlichkeit? In: Proc. of Mensch & Computer 2001 (GI-Tagung 5.3- 8.3.01, Bad Honnef). (im Erscheinen).
- Grund, Sven/ Grote, Gudela/ Schudlach, Kai (2001): CLEAR (Constructive Learning Environment). Brücken zwischen Realität und Virtualität in der technischen Berufsausbildung. In: Proc. of Mensch & Computer 2001 (GI-Tagung 5.3- 8.3.01, Bad Honnef). (im Erscheinen).
- Gutwin, Carl/ Greenberg, Saul (1998): Design for Individuals, Design for Groups. Tradeoffs between Power and Workspace Awareness. In: Proc. of CSCW'98. ACM, S.207-216.
- Henderson, Kathryn (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, S.139-174.
- Hornecker, Eva/ Schäfer, Kai (1999): Gegenständliche Modellierung virtueller Informationswelten. In: Proc. of Software-Ergonomie '99. Stuttgart: Teubner, S.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, Hillsdale, N.J.: 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.Wilhelm/ Heimbucher, Achim/ Müller, Dieter/ u.a.: Modellversuch: Hypermediagestützte Simulationssysteme für berufliche Schulen (HYSIM). Abschlussbericht. Universität Bremen, artec.
- Ishii, Hiroshi/ Ullmer, Brygg (1997): Tangible Bits. Towards seamless interfaces between people, bits, and atoms. In: Proc. of CHI'97. ACM, S.234-241.
- Kumbruck, Christel (1999): "Angemessenheit für situierte Kooperation" Ein Kriterium arbeitswissenschaftlicher Technikforschung und -gestaltung. Münster: LIT. (auch Habil.schrift, Universität Bremen 1996).
- Macaulay, Linda A. (1999): Seven-Layer Model of the Role of the Facilitator. In: Requirements Engineering Jg.4,H.1; London: Springer, S.38-59.

- Muller, Michael (1993): PICTIVE: Democratizing the Dynamics of the Design Session. In: Schuler, Douglas/ Namioka, Aki (Hrsg): Participatory Design. Principles and Practices. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, S.211-237.
- Müller, Dieter (1998): Simulation und Erfahrung. Ein Beitrag zur Konzeption und Gestaltung rechnergestützter Simulatoren für die berufliche Bildung. Dissertation Universität Bremen.
- Norman, Donald (1994): Things that Make Us Smart. Defending Human Attributes in the Age of the Machine. Reading, Mass: Addison Wesley.
- Patten, James/ Ishii, Hiroshi (2000): A Comparison of Spatial Organization Strategies in Graphical and Tangible User Interfaces. In. Proc. of Designing Augmented Reality Environments (DARE 2000), ACM. S.41-50.
- Rauterberg, Michael et al. (1998): BUILD-IT: a planning tool for construction and design. In: Proc. of CHI'98 conference companion. ACM,
- Robben, Bernd/ Hornecker, Eva (1998): Gegenständliche Modelle mit dem Datenhandschuh begreifen – Eine Lernumgebung für den Technikunterricht. In: Informatik und Ausbildung (GI-Fachtagung). Springer, S.123-132.
- Robertson, T. (1997): Cooperative Work and Lived Cognition. A Taxonomy of Embodied Actions. In: Proc. of E-CSCW'97. Dordrecht: Kluwer, S.205-220.
- Sachse, Pierre/ Specker, Adrian (Hrsg.) (1999): Design Thinking. Analyse und Unterstützung konstruktiver Entwurfstätigkeiten. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Schäfer, Kai (1998): Real Reality – Simulationsunterstützung durch gegenständliche Modelle. In: Proc. of Simulation und Visualisierung. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, SCS.
- Schelhowe, Heidi (1997): Das Medium aus der Maschine – Zur Metamorphose des Computers. Frankfurt/New York: Campus.
- Scheel, J./ Hacker, K./ Henning K. (1994). Fabrikorganisation neu beGreifen. Köln: TÜV Rheinland
- Schmudlach, Kai/ Hornecker, Eva/ Ernst, Hauke/ Bruns, F.W. (2000): Bridging Reality and Virtuality in Vocational Training. In: Proc. of CHI 2000, Extended Abstracts. ACM, S.137-138.
- Streitz, Norbert/ Rexroth, Petra/ Holmer, Thorsten (1997): Does "roomware" matter?. In: Proc. of E-CSCW'97. Dordrecht: Kluwer, S.297-312.
- Streitz, Norbert/ Geißler, Jörg et all (1999): i-LAND: An interactive Landscape for Creativity and Innovation. In: Proc. of CHI'99. ACM, S.120-127.
- Svanæs, Dag/ Verplank, William (2000): In Search of Metaphors for Tangible User Interfaces. In: Proc. of Designing Augmented Reality Environments (DARE'2000).
- Ullmer, Brygg/ Ishii, Hiroshi (2000): Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces. In: IBM Systems Journal Vol.39,No.3&4 - MIT Media Lab Feature Article.
- Underkoffler, John/ Ishii, Hiroshi (1998): Illuminating Light: An Optical Design Tool with a Luminous-Tangible Interface. In: Proc. of CHI '98. ACM, S.542-549.
- Weiser, Mark (1993): Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing. In: Communications of the ACM, Vol.36, No.7, S.74-84.
- Wellner, Pierre/ Mackay, Wendy/ Gold, Rich (1993): Computer-Augmented Environments. Back to the Real World. In: Communications of the ACM Vol.36, No.7, S.24-26.
- Wildman, Daniel/ White, Ellen/ Muller, Michael (1993). Buckets. In: Wildman/ White/ Muller. Participatory Design Through Games and Other Techniques. Tutorial Notes, INTERCHI '93. S.77-85.