

## Alternativen zum Desktop: Virtual, Augmented und Real Reality

Ingrid Rügge

Im Bereich HCI (human-computer interaction) gibt es in letzter Zeit eine Vielzahl von Forschungsansätze zu neuen Interfaces und Interaktionsmetaphern. Gemeinsam ist ihnen das Ziel, den Umgang mit Computersystemen natürlicher und intuitiver zu gestalten. Insbesondere für Anwendungen jenseits der Schreibtischarbeit werden neue aufgabenbezogene Mensch-Maschine-Schnittstellen entwickelt und erprobt. Ich werde einen Einblick in diese Forschungen geben, Ähnlichkeiten und Unterschiede herausarbeiten und ein spezielles Konzept vorstellen, ein multimodales, realitätsorientiertes Interface zur geometrischen Modellierung von Freiformkörpern.

Computersysteme sind aus der Wirklichkeit in einer Industrienation fast nicht mehr wegzudenken. Die Geschwindigkeit, mit der diese Technologie in alle Lebens- und Arbeitsbereiche vordringt, ist atemberaubend. Die im Computer erzeugte Realität – die virtuelle Welt – erfordert für den interaktiven Umgang mit ihr besondere Fähigkeiten, neue Qualifikationen und insbesondere geeignete Interfaces. Damit meine ich nicht serielle oder parallele Ports, sondern lehne mich an Brenda Laurel an, die da schreibt: „Ein Interface ist die Kontakt-Oberfläche zu einer bestimmten Sache. Unsere Welt ist voll davon. Ein Türgriff ist das Interface zwischen einer Person und einer Tür. Lenkrad, Gaspedal, Kupplung und die Instrumente sind Interfaces zwischen Fahrer und Auto. Ein Raumanzug ist das Interface zwischen Astronauten und dem All.“ (Laurel 1990, S.47). Was kann unter dieser Perspektive ein angemessenes Interface zwischen Mensch und Computer sein? Wie ist die „Türklinke des Virtuellen“ sinnvoll und nutzbar zu gestalten? Die Antwort auf diese Fragen lautet: Kommt drauf an! Wir alle haben als InformatikerInnen intensive Erfahrungen mit graphischen Benutzungsschnittstellen gemacht, die nach dem Leitbild „Schreibtisch“ gestaltet worden sind, und haben wahrscheinlich festgestellt, daß diese Metapher für Büro- und Verwaltungsarbeiten eingängig ist. Was aber ist z.B. mit jenen, die Werkstoffe verarbeiten, verformen, produzieren, transportieren? Für sie ist der Schreibtisch nicht das richtige Leitbild. In Produktion, Medizin und allen strukturierenden, gestaltenden Gebieten (z.B. Architektur, Design) erfordert der Einsatz von Computersystemen andere Metaphern und andere Ein- und Ausgabemedien als Maus, Tastatur und Bildschirm. Der Charakter und die Komplexität der dort zu bewältigenden Aufgaben macht angemessenere Alternativen notwendig.

Unter klangvollen Bezeichnungen wie immersive oder non-immersive Virtual Reality, Virtual Environments, Artificial Reality, Physical Manipulation Interfaces, Augmented Reality, Real Reality, Natural oder Graspable User Interfaces, Tangible Media,

Ubiquitous Computing, Wearable Computers werden mittlerweile Ansätze propagiert, die genau dies zum Ziel haben. Ich greife im folgenden beispielhaft einige Konzepte auf, die die ganze Spannweite der Möglichkeiten abdecken.

---

### Virtual Reality

---

Bevor es die Bezeichnung „Virtual Reality“ gab, wurde die Idee einer sichtbaren, interaktiven und computergenerierten Scheinwelt „Cyberspace“ genannt, Myron Krueger gab ihr den Namen „Artificial Reality“ (Krueger 1983). Ich finde Kruegers Bezeichnung sehr passend, sie hat sich jedoch nicht durchgesetzt. Die Kreation des Begriffs „Virtual Reality“ wird Jaron Lanier zugeschrieben und ins Jahr 1988 datiert: „'Virtuell' heißt, daß etwas nur als elektronisches Bild existiert, aber sonst keine konkrete Gegenständlichkeit hat. Es ist, als wäre es da, aber es ist nicht.“ (Heilbrun/Stracks 1991, S.69) Modern und populärwissenschaftlich klingt die Definition folgendermaßen: „Virtual Reality ist eine neue Generation von Mensch-Maschine-Schnittstellen, gleichzeitig aber auch ein völlig neues Medium, welches die zwischenmenschliche Kommunikation unter Einbeziehung aller Sinne in eine Scheinwelt verlagern kann.“ (Hennig 1997, S.9)

Konkret heißt das, daß die lebendige Welt weitestgehend in ein berechenbares Computermodell transformiert werden soll. Die Interaktion der BenutzerIn mit dieser rein computergenerierten Modellwelt erfolgt durch neue 3D-Eingabe- und Ausgabemedien, die die Wahrnehmung der gewohnten Umwelt verhindern und nur die kontrollierten computergesteuerten Eindrücke zulassen. Dadurch soll ein Gefühl des Eintauchens in die virtuellen Gefilde erzeugt werden (Immersion).

Es gibt auch eine „flache“ Variante von Virtual Reality, sie wird zumeist als non-immersiv bezeichnet. In dieses Genre fallen zum Beispiel interaktive Spiele,

die eine fotorealistische 3D-Darstellung zusammen mit einer flexiblen Navigation anbieten, sowie diverse Programme im Internet mit diesen Merkmalen. Als Ein- und Ausgabemedien dienen weiterhin Bildschirm, Maus und Tastatur, so daß man im vorn genannten Sinne nicht von neuen Mensch-Maschine-Interfaces sprechen kann, höchstens von neuen Benutzungsoberflächen. Allerdings werden in diesem „flachen“ zweidimensionalen Bereich auch neue Metaphern zur Gestaltung von Bildschirmoberflächen entwickelt und untersucht. Die verwendeten Leitbilder sind häufig der alltäglichen Erfahrung entlehnt, z.B. eine Zeitung oder ein bestimmtes, der Zielgruppe bekanntes Gebäude (vgl. Keuneke/Heeg 1998). Usability-Tests haben allerdings gezeigt, daß eine fotorealistische Bildschirmdarstellung die Eingängigkeit der Metapher nicht unbedingt fördert (ebd.). Ich komme auf dieses Thema später (siehe Fragen am Ende der Seite) noch einmal zurück, da es nicht nur ein Problem des 2D-Bereichs ist.

Die Technologie neuer dreidimensionaler Ein- und Ausgabegeräte ist mittlerweile zum Synonym für „echte“ Virtual Reality (VR) geworden. Ein zentrales Element sind die optischen Ausgabemedien, die das stereoskopische Sehen des Menschen zur Erzeugung einer dreidimensionalen visuellen Wahrnehmung unterstützen. Ein anderes ist die Sensorisierung der BenutzerIn mittels 3D-Eingabegeräten<sup>1</sup>, die das dreidimensionale Navigieren und Interagieren in der virtuellen Welt ermöglichen. Zu nennen sind u.a.:

- Head-Mounted-Displays (HMDs), „Augenbildschirme“, die wie eine monströse Brille direkt vor den Augen angebracht werden. Sie zeigen für jedes Auge ein perspektivisch etwas anderes Rasterbild an und rufen so den 3D-Eindruck hervor. Die BenutzerIn kann von jeder unerwünschten visuellen Wahrnehmung abgeschirmt werden. Außerdem sind diese Geräte mit Kopfhörern ausgestattet, so daß auch der Hörsinn direkt kontrolliert wird. Außerdem besitzen sie ein Trackingsystem, auf das ich gleich zurückkommen werde.
- Shutterbrillen, die mit einem zweidimensionalen Display synchronisiert werden. Als Display kann ein ganz normaler Bildschirm verwendet werden, eine Großbildleinwand, eine Workbench oder eine Mehrwandprojektionsanlage (CAVE), in der die Bilder rund um die BetrachterIn an die Wände projiziert werden. Ausgegeben wird abwechselnd

für jedes Auge das entsprechende Bild. Eine Synchronisation zwischen Display und Brille bewirkt, daß die Brille den Blick des einen Auges ermöglicht und den des anderen Auges verhindert.

- Trackingsysteme, die die Position und Bewegung der BenutzerIn im dreidimensionalen Raum sensorisch erfassen. Anhand der Auswertung der Meßwerte wird das Computermodell modifiziert. Die oben genannten visuellen Ausgabegeräte sind jeweils mit einem Trackingsystem versehen, um aus der Position des Kopfes zu berechnen, wohin die BenutzerIn im Virtuellen blickt, und um dann die Ausgabe entsprechend anzupassen.
- Spacemouse, Spaceball, Spacestick, Wand, Pick usw. sind Bezeichnungen für 3D-Eingabegeräte, die sich von den ursprünglichen Devices (z.B. Mouse und Joystick) durch mehr Freiheitsgrade (DOFs) in den Bewegungsrichtungen unterscheiden. Sie werden zur Navigation im virtuellen dreidimensionalen Raum eingesetzt.
- Datenhandschuhe dienen der Sensorisierung der Hände, um anhand der Stellung der Hand und der Beugung der Finger statische oder dynamische Gesten zu erkennen. Ein Datenanzug liefert entsprechende Sensorwerte für die Stellung des ganzen Körpers. Mit diesen Daten wird das rechnerinterne Modell aktualisiert.

Das Equipment dient dazu, die computergenerierte Welt so sinnlich wie möglich zu gestalten und die Software steuert ihren Anteil dazu bei: die Grafik ist fotorealistisch, sichtbare Objekte verhalten sich nach bekannten physikalischen Gesetzen, die Reaktion auf Bewegungen und Aktionen der BenutzerIn erfolgt ohne Zeitverzögerung, die Navigation ist intuitiv und natürlich. So zumindest die Vorstellung.

In Anbetracht des Umfangs und der Komplexität dieses Virtualisierungsvorhabens werden sehr hohe Leistungsanforderungen an Hard- und Software gestellt. Bisher besitzen nur Superrechner verbunden durch ATM-Leitungen annähernd die erforderlichen Kapazitäten. Die größten technischen Schwierigkeiten sind z.Z. die (schlechte) Qualität der Peripherie, die Gewährleistung von Echtzeit-Interaktion und die Mustererkennung (z.B. von Bildern, von gesprochener Sprache, von Posen und Gesten). Dazu kommen unerwünschte Nebeneffekte wie die sogenannte „Simulatorkrankheit“ (simulation sickness). Es hat den Anschein, als ob sich diese Probleme nur mit nicht technikzentrierter Forschung überwinden lassen, denn aus den bisherigen Erfahrungen mit realisierten VR-Anlagen ergeben sich u.a. folgende Fragen:

- In wieweit ist unsere Welt technisch modellier- und reproduzierbar? (Transformation)

---

<sup>1</sup> Eine laufend aktualisierte umfangreiche Liste von Eingabegeräten inkl. Beschreibungen und Bezugsadressen ist auf der Homepage von Bill Buxton zu finden: <http://www.dgp.toronto.edu/people/BillBuxton/InputSources.html>

- Welche Aspekte der Welt müssen modelliert werden, um zu einem möglichst perfekten Abbild der realen Umgebung zu kommen? (Selektion)
- Wie realistisch muß das vom Computer generierte wahrnehmbare Modell sein, um den gewünschten „Eintauch“-Effekte zu erreichen? (Abstraktion)
- Welche menschlichen Sinne müssen in welcher Kombination angesprochen werden? (Modalitäten)

Es gibt hierauf zwar (noch?) keine Antworten, aber es gibt verschiedene multidisziplinäre Forschungsansätze: Die Wahrnehmungsforschung hat sich des Themas angenommen (siehe den Beitrag von Sabine Gillner in diesem Heft). Technisch wird versucht, die visuellen Eindrücke durch eine computergenerierte Stimulation anderer Sinne zu verstärken, um die Nebenwirkungen zu unterdrücken. Stichwörter hierzu sind z.B.: Kraft-, Berührungs-, Temperaturreckkopplung, Bewegungsplattform, akustisches Feedback etc. Ferner hat ein interdisziplinärer Diskurs über Möglichkeiten der Abstraktion von Sinneswahrnehmungen begonnen.<sup>2</sup> Die Lösungsansätze sind nicht nur für Virtual Reality relevant, sondern ebenso für andere technische Entwicklungslinien, die bei der Konzeptionierung ihrer Mensch-Maschine-Schnittstellen zwar nicht die Eliminierung der realen Welt als Ziel verfolgen, aber dennoch ähnliche Technologien einsetzen. Die im folgenden vorgestellten Forschungsrichtungen gehören in diese Kategorie.

---

## Augmented Reality

---

Augmented Reality (AR) steht nicht nur wegen der Namensverwandtschaft in einem direkten Zusammenhang mit Virtual Reality: In AR-Anwendungen kommt die VR-Technologie intensiv zum Einsatz (z.B. halbdurchsichtige Head-Mounted-Displays, Shutterbrillen, 3D-Eingabemedien, fotorealistische Grafik, Tracking, ...). Der wesentliche Unterschied liegt nicht auf der technischen Ebene, sondern in der Zielrichtung: „[...] AR brings information into the user's real world rather than pulling the user into the computer's virtual world.“<sup>3</sup> Der Mensch wird also in seiner gewohnten Umgebung belassen, ihm werden in Relation zu dieser Umgebung sonst nicht unmittelbar wahrnehmbare Informationen computergeneriert und zumeist visuell als Ergänzung zur Welt angeboten. Ein intensiv beforschter Anwendungsbereich für Augmented Reality ist die Architektur.

<sup>2</sup> Siehe Workshop „Gestaltung von virtuellen und beGreifbaren Mensch-Computer-Schnittstellen“ während der 9. Software-Ergonomie Tagung 1999 in Walldorf.

<sup>3</sup> IGD-Projektgruppe „Augmented Reality“ am ZGDV in Darmstadt: <http://www.igd.fhg.de/www/igd-a4/flyers/ar>

Beispielsweise lassen sich in bestehenden Gebäuden die Lage der in den Wände gelegenen, nicht sichtbaren Versorgungsleitungen oder auch die für die Statik relevanten Bauelemente für Wartungsarbeiten sichtbar machen. (Webster et al. 1996) Ein anderes Beispiel ist die Projektion eines geplanten Neubaus in die noch unberührte Landschaft, um vor jeder baulichen Maßnahme einen visuellen Eindruck von den zu erwartenden Veränderung auch für nicht-Fachleute zu ermöglichen<sup>4</sup>.

Als Grenzüberschreitung zu Virtual Reality sehe ich jene Ausprägungen von Augmented Reality in denen Fotos (Pirr 1998) oder Videos<sup>5</sup> um visualisierte, computergenerierte 3D-Modelle ergänzt werden. Zwar sind wir daran gewöhnt, Fotos/Videos als Realität zu nehmen, aber dennoch sind sie nur Schein, beliebig manipulierbar und somit doch eher virtuelle Welten, in die das Eintauchen erleichtert (und das Ressourcenproblem reduziert) wird durch die Verwendung gewohnter Illusionserzeugungsmedien.

---

## Ubiquitous Computing

---

Ebenfalls in die Kategorie neuer Interfaces und Interaktionsmetaphern gehören Forschungsansätze, deren wesentliches Charakteristikum ihr Fokus auf physisch vorhandene Gegenstände als Schnittstellen zum Computer ist. Handhabbare Gegenstände werden sensorisiert und mit einem Computersystem verbunden, so daß ihre Bewegung eine Veränderung der virtuellen, computerinternen Welt bewirkt (die dann der BenutzerIn „angezeigt“ wird). Auch hier ist die Zielrichtung, nicht die Welt in den Rechner zu bringen und die Wahrnehmungsmöglichkeiten auf den computergenerierten Output zu reduzieren, sondern im Gegenteil: Ziel ist es, die gewohnte Umgebung entweder um Gegenstände mit „Computerfähigkeiten“ zu ergänzen (*Ubiquitous Computing*, Weiser 1993) oder die impliziten Konnotationen der realweltlichen Gegenstände zur Erleichterung des Umgangs mit dem Computersystem heranzuziehen, d.h. es durch die gegenständliche Referenz auf Bekanntes begreifbar zu machen (*Graspable User Interfaces*)<sup>6</sup>. Beide Konzepte werden an anderer Stelle ebenfalls unter den Begriff Computer Augmented Reality gefaßt. Ich differenziere hier, um in diesem Kontext die

<sup>4</sup> siehe Fußnote 3

<sup>5</sup> Siehe z.B. die virtuelle „Marilyn am Genfer See“ von Nadia Magnenat Thalmann, MIRALab (<http://miralabwww.unige.ch/>)

<sup>6</sup> Siehe z.B. die Dissertation von G.W. Fitzmaurice (1996) (<http://www.dgp.toronto.edu/people/GeorgeFitzmaurice/thesis/Thesis.gf.html>) oder die Arbeiten des Forschungsverbunds „Things That Think“ im MediaLab des MIT (<http://www.media.mit.edu/ttt/>) und insbesondere die Projekte der Tangible Media Group (<http://tangible.www.media.mit.edu/groups/tangible/>)

Besonderheiten des Real Reality Ansatzes hervorzuheben.

---

### Real Reality

---

Real Reality ist das Konzept einer gegenständlichen, grifforientierten Mensch-Maschine-Schnittstelle für den Einsatz in Werkstatt und Produktion (siehe z.B. Robben/Rügge 1998). Die Idee wurde von Bruns et al. im interdisziplinären Forschungszentrum Arbeit und Technik (artec) der Universität Bremen entwickelt (Bruns/Heimbucher/Müller 1993). Sie resultiert u.a. aus Erfahrungen in verschiedenen Industrieprojekten und eigenen Entwicklungen im Bereich Simulation und ist als konstruktive Kritik an herkömmlicher Simulationssoftware für die Produktion zu verstehen.

Die wesentlichen Charakteristika des Konzepts sind:

- Physisch vorhandene Gegenstände, die einen direkten Bezug zur Anwendung haben, werden als sinnlich wahrnehmbare, greifbare Modellelemente verwendet.
- Im Zentrum steht die *real* formende, zeigende und manipulierende Hand.
- Der Rechner wird phasenweise in den Rücken der BenutzerIn verbannt, um den Fokus der Aufmerksamkeit weg vom Werkzeug und hin zur Aufgabe zu lenken.

Der Ausgangspunkt von Real Reality ist die These, daß *begreifen* nicht nur als Wort etwas mit *greifen* zu tun hat. Für die Entwicklung von Kindern ist dies seit langem eine anerkannte Tatsache, für Erwachsene spielt sie bisher höchstens in pathologischen Fällen eine Rolle. Es gibt allerdings wissenschaftlich fundierte Belege für den hohen Stellenwert einer komplexen sinnlichen Wahrnehmung, die sich über sämtliche Sinne (Hören, Sehen, Fühlen etc.) sowie körperliche Bewegungen vollzieht. Die Untersuchungen von Böhle u.a. zum Konzept des *subjektiverenden Arbeitshandelns* weisen nach, daß derartige Informationen nicht unzuverlässig sind, daß sie sogar im Hinblick auf die Bewältigung von Arbeitsanforderungen und im Umgang mit Technik unverzichtbar sind, weil sie unabhängig von der verstandesmäßigen Leistung über eine eigene kognitive Kompetenz verfügen (vgl. Böhle 1998, S.22). Einen eindeutigen Beleg für die oben genannte These geben diese Forschungen allerdings nicht.

Den Fokus des Interesses auf die Hand zu legen bedeutet im Rahmen des Real Reality Konzepts, daß die Hand sensorisiert wird. Veränderungen an und mit gegenständlichen Objekten durch Aktionen und Bewegungen der Hände werden so an einen Rechner

übermittelt, der anhand der Interpretation der Sensordaten ein virtuell vorhandenes Modell mit der Realität synchronisiert. Die BenutzerIn kann ihre Aufmerksamkeit ganz den Manipulationen im Gegenständlichen widmen, der Rechner verschwindet im Hintergrund, kann aber weiterhin für systematische Variationen, Analysen und zur Archivierung genutzt werden sowie für Rückprojektionen in das gegenständliche Modell.

Die Machbarkeit des Konzepts wurde bereits nachgewiesen (Schäfer/Brauer/Bruns 1997), so daß sich nun aktuelle Forschungsfragen um die Verfeinerung, um die Möglichkeiten und Grenzen sowie um geeignete Anwendungsbereiche für Real Reality ranken. Zur Zeit wird die Eignung eines derartigen Systems für den Einsatz im Technikunterricht an Berufsschulen untersucht (siehe <http://www.brevie.uni-bremen.de>). Eine andere Möglichkeit ist die Erweiterung des Konzepts durch die Integration weiterer menschlicher Modalitäten in die Mensch-Maschine-Interaktion.

---

### Ein multimodales Interface zur Modellierung von Freiformkörpern

---

*Stell dir vor ...*

*Du hast DIE IDEE für die Form einer völlig neuen, handgerechten Maus, bei deren Benutzung mensch keine Krämpfe und keine kalten Hände bekommt, die sich gut anfühlt und ansprechend aussieht. Du gehst nun hin, nimmst ein Stück Modelliermasse und formst diese Maus. Stell dir weiter vor, daß synchron zu deinem sinnlich kreativen Schaffen automatisch ein analoges virtuelles Modell generiert wird, das du beliebig verwenden kannst, ohne daß du die Maus im Virtuellen noch einmal nachbauen mußt.*

In der industriellen Fertigung werden seit langem CAD-Programme (computer aided design) eingesetzt, mit denen die BenutzerInnen allerdings nicht zufrieden sind, auch nicht mit den 3D-Varianten. Die verwendeten Programme überfordern bei komplexen Aufgabenstellungen die Abstraktionsfähigkeit durch die Einschränkung auf den Gesichtssinn, so daß PlanerInnen von großen Systemen immer wieder auf stoffliche, anfaßbare Modelle aus Papier, Plastik oder Holz zurückgreifen. (Scheel/Hacker/Henning 1994) Des weiteren wird beklagt, daß ihre Handhabung sperrig ist und die Bedienung eine individuelle, situationsabhängige Vorgehensweise nicht unterstützt. (Bolte 1998) Diese beiden Kritikpunkte legen nahe, das Real Reality Konzept auf den Prozeß der Geometriemodellierung selbst anzuwenden.

Mittels Berührung mit sensorisierten Händen wird der dreidimensionale reale Gegenstand schrittweise charakterisiert. Dabei kann es sich um das Abtasten eines vorhandenen Objekts handeln, von dem es kein digitales Pendant gibt. Der Gegenstand kann aber auch mit den Händen zusammengebaut werden aus in einem Modellbaukasten bereitgestellten Elementen. Die dritte Möglichkeit ist gleichzeitig die anspruchsvollste: Der Gegenstand kann unter Verwendung einer geeigneten Modelliermasse während des Modellierprozesses erst erstellt werden, indem z.B. Ton mit den Händen verformt wird. In der modellierenden Phase besteht eine direkte geometrische Analogie zwischen dem gegenständlichen und dem virtuellen Modell. Erst in einer nachfolgenden Phase des Experimentierens mit dem rechnerinternen Modell erfolgt eine Auseinanderbewegung der beiden Welten.

Diese Art der Modellierung vereint mehrere Vorteile in sich: Die BenutzerIn setzt ihre gegenständliche Erfahrung, ihren Weltbezug und insbesondere ihre taktilen Möglichkeiten bei der Modellierung ein. Sie kann sich auf der Grundlage ihrer mit allen Sinnen gemachten Wahrnehmung ein mentales Modell vom zu produzierenden Gegenstand bilden. Es ist auch möglich, während der modellierenden Phase die rechnerinterne Repräsentation direkt anhand des stofflichen Gegenstands zu validieren, um so Einsichten über das virtuelle Modell zu gewinnen, die in der anschließenden Phase der virtuellen Variation hilfreich sein werden. Da der komplette Modellierungsprozess aufgezeichnet wird, ist es möglich, zumindest im Virtuellen zu jeder vorherigen Ausprägung des Modells zurückzukehren. Das ist insbesondere beim künstlerischen Arbeiten mit einer Modelliermasse hochinteressant, da zu Beginn der Modellierung noch nicht feststeht, wo sie hingehen wird. Vorstellbar ist sogar, daß mittels einer desktop-production-Anlage ein realstoffliches Abbild des virtuellen Modells hergestellt wird, so daß bei geeigneter Wahl des Materials ein erneuter Zyklus der synchronen Modellierung begonnen werden kann.

Die Integration von gesprochener Sprache (in Form von Schlüsselbegriffen) als zusätzliche Eingabemöglichkeit und damit die Erweiterung von Real Reality in Richtung multimodales Mensch-Maschine-Interface ist für die genannte Anwendung äußerst sinnvoll, da sich Gesten der Hand und gesprochene Sprache semantisch teilweise komplementär verhalten. (Oviatt/ DeAngeli/Kuhn 1997) So läßt sich der Eingabeaufwand drastisch reduziert, indem durch begriffliche Beschreibungen unnötig komplizierte Gesten vermieden werden. Die Stärken der jeweiligen menschlichen Ausdrucksmodalität werden effizient genutzt. In welchen Bereichen Komplementä-

rität bei der Modellierung von Geometrie vorliegt, ist noch zu untersuchen, genauso wie die erforderlichen Gesten, Posen, Griffe.

---

## Literatur

---

- F. Böhle: Neue Anstöße für die Technikentwicklung aus der Perspektive subjektivierenden Arbeitshandelns. In: I. Rügge et al.: Arbeiten und begreifen: Neue Mensch-Maschine-Schnittstellen. LIT-Verlag: Münster, 1998, S. 19-28
- A. Bolte: „Beim CAD geht das Konstruieren langsamer als das Denken“. In: Arbeit, 4/1998, S.362-379
- F.W. Bruns, A. Heimbucher, D. Müller: Ansätze einer erfahrungsorientierten Gestaltung von Rechnersystemen für die Produktion: Exemplarische Darstellung der Bereiche Konstruktion und Fertigung, artec-paper 21, Universität Bremen, 1993
- A. Heilbrun, B. Stracks: Was heißt „virtuelle Realität“? Ein Interview mit Jaron Lanier. In: M. Waffender (Hrsg.): Cyberspace: Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten. Rowohlt: Reinbeck bei Hamburg, 1991, S. 67-87
- A. Hennig: Die andere Wirklichkeit: Virtual Reality - Konzepte, Standards, Lösungen. Addison Wesley: Bonn u.a., 1997
- S. Keuneke, F.J. Heeg: Transparenz von User-Interfaces. In: V. Brauer et al.: Vom Bildschirm zum Handrad. artec-paper 59, Universität Bremen, 1998, S. 201-208
- M.W. Krueger: Artificial Reality. Addison Wesley: Reading, MA, 1983
- B. Laurel: The Art of Computer Interface Design (1990). Zitiert in: M. Waffender (Hrsg.): Cyberspace: Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten. Rowohlt: Reinbeck bei Hamburg, 1991
- S. Oviatt, A. DeAngeli, K. Kuhn: Integration and Synchronization of Input Modes during Multimodal Human-Computer Interaction. In: Proc. of CHI'97. ACM, S. 415-422
- U. Pirr: Realität in der Virtuellen Realität: digitale Panoramen. In: V. Brauer et al.: Vom Bildschirm zum Handrad. artec-paper 59, Universität Bremen, 1998, S. 95-103
- B. Robben, I. Rügge: Mit den Händen beGreifen: Real Reality. In: I. Rügge et al.: Arbeiten und begreifen: Neue Mensch-Maschine-Schnittstellen. LIT-Verlag: Münster, 1998, S.133-146
- K. Schäfer, V. Brauer, F.W. Bruns: A new Approach to Human-Computer Interaction – Synchronous Modelling in Real and Virtual Spaces. In: Proc. of DIS'97, ACM 1997, S. 335-344
- J. Scheel, W. Hacker, K. Henning: Fabrikorganisation neu beGreifen. TÜV Rheinland: Köln, 1994
- A. Webster et al.: Augmented Reality in Architectural Construction, Inspection, and Renovation. In: Proc. of ASCE'96, S.913-919
- M. Weiser: Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing. In: Com. of the ACM, 7/1993, S. 74-84

*Ingrid Rügge, TZI, Universität Bremen, FB  
Postfach 330440, D-28334 Bremen  
Tel.: 0421-218-7829  
E-Mail: ruegge@tzi.de*