

Mixed Reality Adventures

Interaktion in Caves

Bernd Robben, Dieter Müller, Martin Faust, Daniel Cermak-Sassenrath,
F. Wilhelm Bruns

Forschungszentrum artecLab – Universität Bremen

Zusammenfassung

Wir schildern Erfahrungen studentischer Projekte mit (Low Cost-)Cave-Installationen, diskutieren am Beispiel dreier realisierter Implementierungen von Mixed Reality-Caves das Interaktions-Design und werten Erfahrungen über unsere Wanderung zwischen Spielwelten, Kunst und Technik aus.

1 Einleitung

An der Universität Bremen absolvieren alle Informatik-Studierenden in ihrem Hauptstudium ein viersemestriges Projekt. Als unsere Arbeitsgruppe vor zwei Jahren als Thema eines zukünftigen Projektes vorschlug, einen Mixed Reality Cave zu gestalten, meldeten sich über 60 Interessenten. Die Studierenden faszinierte offensichtlich die Möglichkeit, eine immersive Computer-Umgebung zu schaffen, deren Realisierung vor einigen Jahren noch eine Investition in Millionenhöhe verlangt hätte. Inzwischen sind aber handelsübliche PCs durchaus in der Lage, die für die Echtzeit-Grafik erforderliche Rechenleistungen zu erbringen. Da sich mit sechzig Teilnehmern kein Projekt-Studium realisieren lässt, bildeten wir drei Gruppen, die jeweils eigenständig einen Mixed Reality Cave (*Mica*) zu realisieren hatten. Es entstanden die studentischen Projekte *Micado*, *Micasa* und *Micarpet*.

Es gab mehrere Vorgängerprojekte, deren Themen alle im Schnittpunkt von Kunst und Technologie standen. Ihre transdisziplinäre Ausrichtung erforderte die enge Zusammenarbeit mit Kultur- und Theaterwissenschaftlern, sowie mit Künstlern. Startprojekt war ein *Theater der Maschinen*, in denen Roboter zusammen mit menschlichen Schauspielern ein Stück aufführen¹ (Vgl. Bruns, Faust und Robben 2004, Richard und Bruns 2004). Ein weiteres

¹ Das Stück wurde beim Zweiten Internationalen Jugendtheater-Festival 2001 in Stuttgart mit Erfolg aufgeführt (vgl. Richard 2002).

Projekt war der Sensoric Garden. Zu den 200 Jahr Feiern der Bremer Wallanlagen wurden Mixed Reality Installationen als nächtliches Ereignis in den dortigen Gärten präsentiert (Vgl. Hornecker und Bruns 2004).

Vom technologischen Standpunkt wurde immer eine Mixed Reality Umgebung implementiert, wobei eine besondere Herausforderung in der Gestaltung der Sensorik und Aktorik liegt. Bei den Mica-Projekten waren darüber hinaus die Anforderungen an die Echtzeit-Grafik hoch. Als übergreifende, bisher nicht wirklich gelöste Frage schälte sich das Problem eines adäquaten Interaktions-Design heraus. Hierbei geht es weniger um Fragestellungen der Software-Ergonomie, sondern um inzwischen in der Forschung zur Mensch-Computer-Interaktion etablierte Themen, wie Präsenz, Immersion und verkörperte Interaktion (Vgl. Fleischmann und Strauss 1998, Suchman 1987, Svannæs 1999, Winograd 1997). Die drei *Mica*-Projekte entwickelten jeweils ein eigenes Szenario und eine Reihe von Einzelexperimenten mit unterschiedlichen Interface-Devices.

2 Interaktive Szenarios

Micado stellte sich die Aufgabe der Erschaffung einer Dschungelwelt mit eigenständigen, kommunikationsfähigen Geschöpfen. In ihrem (sechseitigen) Cave sollte man die Möglichkeit zur Navigation in der Dschungelwelt und der Interaktion mit der in ihr lebenden Wesen haben: Schnecken, Schildkröten, Spinnen, Säbelzähntiger und Phantasietiere.

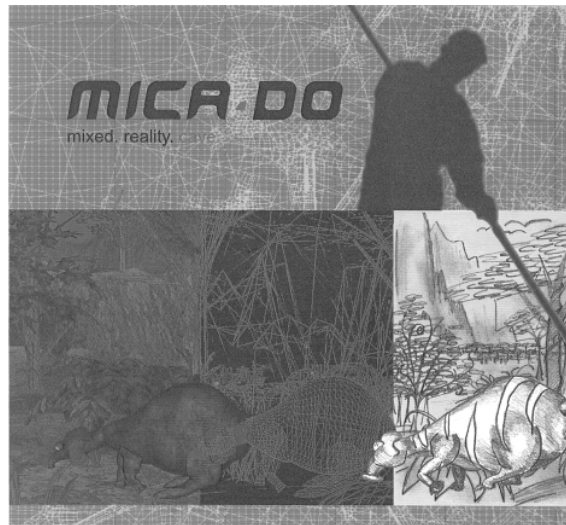


Abbildung 1: Cave der Dschungel-Welt

Dafür war die künstliche Intelligenz für die Navigation und das Agieren der Kreaturen zu implementieren. Sie verfolgten je nach Gemütslage verschiedene Absichten wie Essen, Trinken Schlafen oder Interesse an Cave-Besuchern. Diese standen auf einem rechteckigen realen Floß, neben dem sich auf jeder Seite Sensorgräben befinden. Mit einem Ruderstab konnten sie sich durch die Welt bewegen und mit einer handelsüblichen Fernbedienung dabei Tiere anlocken oder wegscheuchen.

Micasa implementierte keine Phantasiewelten, sondern nahm sich vor, reale Räume zu modellieren: die Bremer Kunsthalle, das Rathaus, den Bahnhof, Bremer Häuser und viele andere Orte in Bremen, sowie das eigene Institut. Die Studierenden beschäftigten sich mit Architektur und Stadtplanung und formulierten als Ziel ihres Caves, Bewohner und Politiker bei aktuellen Planungen zu unterstützen. Technisch realisiert und implementiert wurden kleine Ausschnitte der Kunsthalle und das MZH, das Mehrzweckhochhaus, in dem die Informatik haust. Besucher des Caves können sich durch Betreten einer speziell hergerichteten Fußmatte durch die virtuellen Gebäude bewegen.



Abbildung 2: Cave des Institutsgebäudes

Micarpet baute einen Cave, der einen fliegenden Teppich simuliert. Fluggäste setzen sich auf einen realen Teppich, der auf einer Bewegungs-Plattform liegt. Über diese Plattform können sie den Flug über die virtuelle Landschaft steuern. Ihre Aufgabe liegt darin, in der virtuellen Landschaft aufgebaute Ringe zu durchfliegen. Dabei bläst ihnen der durch Ventilatoren erzeugte Fahrtwind ins Gewicht. Wer mit der Steuerung des Teppichs durch Gewichtverlagerung nicht zurechtkommt und mit Hindernissen in der Landschaft kollidiert, erfährt den Zusammenprall durch das Force-Feedback-System der Bewegungs-Plattform.



Abbildung 3: Cave des fliegenden Teppichs

3 Interaktions-Devices

Um Besuchern im Cave bei der Bewegung und beim Umgang mit Objekten in der virtuellen Welt den Eindruck von Natürlichkeit zu vermitteln, bedurfte es nicht nur einer realistischen 3D-Grafik, sondern auch anderer Möglichkeiten als über Maus und Tastatur Eingaben zu betätigen. Entscheidend scheint uns für die zu verwendende Aktorik und Sensorik nicht nur, dass sie die Funktion des Inputs und Outputs in das Computersystem erfüllen, sondern auch wie sie in der Umgebung „verankert“ sind. Die Art der „Verankerung“ trägt entscheidend dazu bei, ob einen sofort beim Eintritt in die Höhle das Gefühl einer sterilen Künstlichkeit überfällt oder ob man Lust hat, sie zu erkunden.²

3.1 Floß

Für ein Floß wird ein Ruderstab benötigt über den die Interaktion ausgeführt und das Floß im Virtuellen bewegt wird. Ein erstes Konzept über ein Ultraschall-Tracking-System wurde wegen der Störanfälligkeit des Systems und den Verdeckungsproblemen verworfen. Als Low-Cost Lösung entschied sich die Gruppe für mit Reed-Kontakten bestückte Sensorgräben.

² Die technischen Details sind zu entnehmen aus: Micado Projektbericht 2005, Micarpet Projektbericht 2005 und Micasa Projektbericht 2005.



Abbildung 4: Floß mit Sensorgräben

Am Ruderstab brachte man einen starken Dauermagneten an, der die Reed-Kontakte in der Nähe schließt. Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit ließ sich dann aus der Folge der nacheinander geschalteten Kontakte ermitteln. Als Schnittstelle zum Computer experimentierte man mit einer fertigen Conrad-SPS³ aus dem Gebäudeautomationsbereich, die aber zu langsam schaltete. Deshalb entschied sich die Gruppe für eine für einen Eigenbau auf Basis des Microcontroller-Systems IO-Warrior. Für die Einbindung der Messwerte der Reed-Kontakte über den IO-Warrior schrieb das Projekt eine eigene Software. Diese setzt die ermittelten Bewegungswerte des Ruderstabes in eine Navigation in der virtuellen Landschaft um, die sich aus einer einfachen (physikalisch nicht korrekten) Berechnung der Floß-Strömung ergibt.

3.2 Pneumatik-Plattform



Abbildung 5: Pneumatik-Plattform

Die Force-Feedback Bewegungsplattform für den fliegenden Teppich stellte höchste Anforderungen sowohl an eine präzise Steuerung, als auch an eine stabile und funktionstüchtige Konstruktion der mechanischen Teile. Den Teppich legte man auf eine quadratische Holzplatte von einem Quadratmeter. Pneumatik-Zylinder arbeiten in zwei Schaltkreisen mit unterschiedlichen Arbeitsdruck gegeneinander, um sowohl die Dämpfung als auch das Force-Feedback zu realisieren. Zusätzlich wird Schaumstoff zur Dämpfung verwendet. Aus Sicherheitsgründen war auch eine Not-Aus-Schaltung zu realisieren.

Flieger steuern den Teppich über Gewichtsverlagerungen. Für eine einfache und stabile Konstruktion ist die Bewegung der Plattform auf zwei Freiheitsgrade eingeschränkt. Durch Distanzsensoren zwischen Boden und Platte wird die Position ermittelt. Über eine SPS wird die Umgebung mit dem Computer-System verbunden.

3.3 Tanzmatte

Um sich in der virtuellen Welt des Caves zu bewegen, wurden verschiedene Möglichkeiten der Interaktion überlegt. Die Idee, mittels eines Laufbandes die natürlichen Bewegungsabläufe beim Laufen in der realen Welt in die virtuelle Welt zu übertragen, wurde wegen des hohen Aufwandes und weil es nur Ortsveränderungen in eine Richtung erlaubt hätte, verworfen.

³ SPS = Speicher Programierbare Steuerung



Abbildung 6: Tanzmatte

Die Low-Cost Lösung war eine Tanzmatte, wie sie von Spiele-Herstellern angeboten wird. Sie ist in Felder unterteilt. Ein Tritt auf ein Feld bedeutet eine Bewegungsänderung in die angezeigte Richtung. Der Einsatz des Tastaturkontrollers war die einfachste Schnittstellenlösung, die 18 Informationsangaben der neun Felder (neun Mal geschaltet oder nicht geschaltet) direkt nutzbar machte. Die Aufteilung der Matte wurde vom PC analog zum Nummernfeld der Tastatur interpretiert. In den ursprünglichen Computerspielen haben die Felder keine Bedeutung. Der Tänzer muss sie im Rhythmus nach den Vorgaben der Graphik und Musik des Spiels treffen.

3.4 A.R.M.

Der Benutzer des Caves sollte virtuelle Objekte genauso manipulieren können, wie er es in der realen Umwelt gewohnt ist. Für die Realisierung ist ein Real-Time Motion Capturing-System nötig.



Abbildung 7: A Real Time Motion Capturing Device

Das System sollte die Bewegung der Arme in die Cave-Anwendung integrieren. Zur Repräsentation der Gelenke wurden Potentiometer verwendet, die je nach Armstellung mehr oder weniger Strom fließen lassen. Zunächst wurde ein Ellenbogengelenk konstruiert, an dem der Unterarm und der Oberarm jeweils durch Aluminiumrohre mit geringem Durchmesser repräsentiert wurden. Ein Potentiometer wurde dazu benutzt, eine Verbindung zwischen den beiden Rohren herzustellen. Durch Scherenbewegungen konnte der Winkel zwischen den beiden Rohren verändert und von dem Potentiometer gemessen werden. Die Konstruktion wurde zu einer Art Exoskelett, einem vereinfachten Nachbau der Unter- und Oberarmknochen, ausgebaut. Beim Design half ein virtuelles Modell die Kinematik-Kette der Armbewegungen mit ihren verschiedenen Freiheitsgraden zu simulieren.

Für die Informatik-Studierenden war der Eigenbau eines Exosketts sehr aufwändig. Beim Einsatz in der Praxis erwies sich, dass es der Körpergröße des Menschen anzupassen ist.

3.5 Pointer

Als traditioneller Zeiger kommt natürlich die Maus in Frage. Da sie aber nur relative Bewegungskoodinaten übermittelt, muss sie an einem festen Ort verankert werden. Mehr Bewegungsfreiheit lässt eine übliche Fernbedienung. Aber bei ihr ist nicht klar, wohin ein Knopfdruck zeigt. Micado hat sie benutzt, um immer mit der Kreatur im Dschungel zu interagieren, die sich am nächsten am Floß befindet. Die Studierenden suchten darüber hinaus aber nach einem frei beweglichen Zauberstab, mit dem man in die virtuelle Umgebung zeigen kann. Es

wurde eine Selbstbau-Lösung entwickelt, die das Tracking eines Zauberstabes in einem Raum ermöglicht. Die Studierenden fanden einen Weg über einen Laser-Pointer. Die Position des Lichtpunktes konnte über eine Bilderkennung ermittelt werden.

4 Präsentation der Caves

Die Studierenden brannten darauf, das Ergebnis ihrer Mühen einer größeren Öffentlichkeit vorzustellen. Da es am Informatik-Fachbereich in Bremen üblich ist, dass alle Projekte am Ende des Sommersemesters ihre Arbeit vorstellen, hatten sie an diesem Projekt-Tag mit dem ganzen Fachbereich ein Publikum. Wegen der Größe der Cave-Installationen konnten diese nicht am zentralen Veranstaltungsort gezeigt werden, sondern waren an verteilten Orten aufzustellen. Trotzdem wurde die Caves rege und ausdauernd frequentiert. Das lässt sich zum Teil sicherlich auf die allgemeine Faszination der Informatik-Studierenden für Spielwelten zurückführen. Aber es zeigt auch, dass es den Projekten gelungen ist, im Studium selbständig komplexe Cave-Welten anziehend zu gestalten.

Das Projekt *Micado* zeigte seine Installation nicht nur an der Uni, sondern in Zusammenarbeit mit einem Bremer Kino im Rahmen eines eigens organisierten Symposiums in der Bremer Öffentlichkeit.⁴ Dieses Ereignis fand auch in der lokalen Presse ein erfreulich hohes Echo.

5 Verkörperte Interaktion

Caves schaffen eine computeranimierte Umgebung, die Nutzer völlig umgibt. Diese (inter-)agieren in einer Höhle, welche sie von der Außenwelt abschirmt. Ein Mixed Reality Cave unterscheidet sich von einer rein virtuellen Version dadurch, dass sich in der Umgebung reale Gegenstände befinden. Deren Perzeptibilität lässt sich nutzen für die Realisierung einer besonderen Form verkörperter Interaktionen, die das Gefühl der Präsenz verstärken und den Eindruck einer unnatürlichen Künstlichkeit vermindern. Durch die Experimente mit verschiedenen Interaktions-Geräten und Cave-Installationen sammelten wir wertvolle Erfahrungen darüber, was verkörperte Interaktion heißen kann. „Embodied Interaction is the creation, manipulation, and sharing of meaning through engaged interaction with artefacts.” (Dourish 2001, S. 126)

In diesem Sinne stellen auch das Sehen eines Films, ja sogar das Lesen eines Buches verkörperte Interaktion dar, denn es geht in jedem Fall um das Erzeugen von Bedeutung. Ohne Bedeutung gibt es keine Interaktion. Körperlichkeit meint nicht den Austausch bedeutungs-

⁴ Das Gesamtprogramm findet sich im Web unter <http://www.hoehlen.net>

loser Signale, sondern kommt erst zustande in interpretierten Zeichen.⁵ Das Lesen eines Buches und das Sehen eines Films unterscheiden sich nicht durch die Tiefe des Erlebnisses. Aber dennoch stimuliert ein Film die Perzeption auf völlig andere Weise als das Buch. Gefühlsmäßig wird man in diesem Fall hier eher eine verkörperte Interaktion sehen. Jedoch erst in einer computerunterstützten Umgebung, in der die Handlungen der Nutzer Einfluss auf die Interaktion mit dem Artefakt hat, lässt sich in einem emphatischen Sinne davon sprechen. „Embodied interaction places particular emphasis on interaction as activity in the world.“ (Dourish 2001, S. 137)

Die drei Cave-Szenarios unterstützen gemeinsame Bedeutungsbildung durch aufmerksame Interaktion auf unterschiedliche Art und erlauben sehr unterschiedliche Tätigkeiten in der Höhlenwelt:

Die Gebäude-Nachbildung faszinierte durch die Genauigkeit der Abbildung der Wirklichkeit. Anders als eine Karte vermittelte sie den Betrachtern das Gefühl, den abgebildeten Ort genau zu kennen, ohne jemals dort gewesen zu sein, bzw. die Informatik-Studierenden erkannten ihr Gebäude wieder. Kennzeichnend für ihre Interaktionsform ist jedoch ein hohes Maß an Sachlichkeit und Rationalität. Ähnlich wie beim Studieren einer Karte war das Ziel die kognitive Erfassung der räumlichen Lage eines Wirklichkeitsausschnitts. Es ist fraglich, ob sich nicht mit einer 3D-Bildschirmimplementation das kognitive Ziel genauso erreichen lässt und ob sich für eine solche Anwendung der Aufwand einer Cave-Konstruktion lohnt.

Bei der Simulation des fliegenden Teppichs steht das außer Zweifel. Nur die Bewegungs-Plattform vermag das Gefühl zu vermitteln, auf einem fliegenden Teppich zu gleiten. Der Unterschied, ob man sich dieses Gleiten in einer virtuellen Landschaft nur vorstellt oder wirklich erlebt, ist hier fundamental. Dass die Plattform selbst als Eingabegerät zur Navigation in der virtuellen Landschaft fungiert, forciert die Empfindung über oder in den Wolken zu reisen. Unerlässlich für die Impression der Fahrt ist auch die Generierung von kontextuell sich ändernden Umgebungsgeräuschen. Diese müssen aber nicht realistisch sein, sondern die Bedeutung des virtuellen Gleitens vermitteln. Was wären auch die realistischen Geräusche für einen fliegenden Teppich? (Bisher experimentierten die Informatik-Studierenden selbst mit Sound. Eine organisierte Zusammenarbeit mit Musikern und Toningenieuren liegt nahe.) Die Aufmerksamkeit wurde in diesem Cave konzentriert durch die klar vorgegebene Aufgabe, virtuelle Münzen zu durchfliegen, welche in der Phantasie-Landschaft schwebten.

Im Dschungel-Szenario vermittelt das Floß die Navigation. Durch das Rudern wird das Fahren zur körperlichen Anstrengung, anders als es bei einer Maus-Navigation der Fall wäre. Zwar ließe sich auch damit ein schwer zu steuerndes Floß-Gleiten realisieren. Aber die Interaktion über das reale Floß, verankert die Besucher im Ort der Höhle. Damit diese glaubhaft den realen Innenraum der Höhle mit den interaktiven Bildern der Dschungel-Welt verbindet, war auch hier ein sich mit dem virtuellen Kontext verändernder Sound unabdinglich. Während die fest vorgegebene Aufgabe für die Cave-Besucher beim fliegenden Teppich die Simulation eines – in der Realität unmöglichen – Fluges darstellt, hatte man beim Dschun-

⁵ Deshalb unterscheidet Maurice Merleau-Ponty in seiner Phänomenologie der Wahrnehmung zwischen Körper und Leib (Merleau-Ponty 1966).

gel-Cave viel weniger den Eindruck, sich in einem simulierten Zoo zu befinden. Die Ungewissheit über die eigentlich unmögliche zu erkundende Welt vermittelte eher etwas wie eine Differenz-Erfahrung. Trotz des Märchen Szenarios ging es beim fliegenden Teppich um die Bewältigung und Trainierung der gestellten Aufgabe wie beim herkömmlichen Flugsimulator. Beim Dschungel-Cave lag der Reiz dagegen in der Auskundschaftung des Fremden. Die Studierenden sprachen von einer Höhle der Grenzerfahrung. Noch deutlicher lässt sich der Unterschied in der leiblichen Erlebnisqualität im Vergleich zur Gebäude-Nachbildung beschreiben. Solange allein die intellektuelle Sondierung über die räumlichen Beziehungen zwischen Orten im Fokus ist, wirkt die Begehung des Caves über eine Fußmatte deplaziert. Wird ein Gebäude allerdings zur zu erkundenden Erlebnislandschaft, stellt sich alles ganz anders dar. Dann werden Schrittgeräusche und ihre Echos sofort vermisst.

Entscheidend ist also nicht, ob die Situation in der virtuellen Umgebung künstlich oder in der realen Welt auch vorstellbar ist. Etwa die Tanzmatte in ihrer ursprünglichen Funktion in der Spiel-Umgebung verführt Menschen zu völlig künstlich gesteuerten Tanzbewegungen. Gerade in ihrer Einfachheit – Punkte im Rhythmus gemäß visueller Zeichen auf dem Schirm mit den Füßen treffen – macht nach unserer Erfahrung sehr vielen Menschen riesigen Spaß. Die körperliche Aktivität der Beinarbeit konzentriert die Tanzenden in der virtuellen Umgebung. Ein Cave ist gar nicht nötig, um die reale Umgebung abzuschirmen.⁶

Ausschlaggebend für das Erwecken von Präsenz und Immersion ist auch nicht die Art des Devices. Zum Beispiel Greif- und Zeigegeräte können relativ sachlich zur Herstellung von Relationen benutzt werden, wie wir es bei der Maus zumeist gewöhnt sind. Jedoch mit dem Zeigefinger auf einen Menschen zu deuten, kann ein starkes Gefühl erwecken, das an die Schamgrenze heranreicht. Dies lässt sich im Virtuellen durch die Visualisierung dieser Zeigegeste durchaus nachmachen. Das Zeigen mit dem Zauberstab (Laserpointer) kann als sachliches Auswählen eines Objektes realisiert werden. Wenn wir es aber als das Hineinleuchten wie mit einer Taschenlampe in eine sonst dunkle virtuelle Umgebung implementieren, weckt die Interaktion geheimnisvolle Gefühle des Unbekannten und Gefährlichen. Der A.R.M. erlaubt eine Spiegelung der realen Armbewegung in der virtuellen Welt. Greifen und zeigen wird zu einer seltsamen Begegnung mit sich selbst.

6 Fazit

Unser erstes Ergebnis ist, dass Informatik-Studierende durchaus in der Lage sind, in einem Projekt einen Low-Cost-Cave zu bauen – vom Design bis zum fertigen Produkt. Sie erwerben die Fähigkeit, selbständig und im Team zu arbeiten, machen wertvolle Erfahrungen mit transdisziplinärem Lernen. Ihre Arbeit ermöglichte uns als Lehrenden interessante Studien über das Interaktions-Design von Caves und über verkörperte Interaktion. Bisher haben wir keine eindeutigen Ergebnisse. Verstärkt wurde die Erkenntnis, dass die Beschäftigung mit

⁶ Ähnliche Effekt beobachten wir bei „Olympic Run“ einer Umgebung, in der Leute in einer virtuellen Landschaft wirklich rennen (Vgl. Faust und Cermak-Sassenrath 2004).

der Beziehung zwischen dem Sinn und den Sinnen unabdingbar ist für das Interaktions-Design. Wir planen das Thema in einer weiteren Veranstaltung zu vertiefen mit dem Vorschlag an Studierende, Spiele in Caves zu gestalten.

7 Literaturverzeichnis

- Bruns, F. W., Faust, M., Robben, B. (2004): Human-Machine-Systems and Performing Art. 9th IFAC Symp ADE Human-Machine-Systems
- Dourish, P. (2001): Where the action is – The Foundations of Embodied Interaction. Cambridge, MA und London: England. MIT-Press
- Faust M., D. Cermak-Sassenrath: Olympic Run. In: Proceedings of GI-Workshop Methoden und Werkzeuge zukünftiger Computerspiele, Ulm, September 22-24, 2004
- Fleischmann, M., Strauss, W. (1998): Images of the Body in the House of Illusion. In: Sommerer, Ch., Mignonneau, L. (Hrsg.): Art@Science, Wien und New York: Springer
- Hornecker, E., Bruns, F.-W. (2004): Interactive Installations Analysis. 9th IFAC Symp. ADE Human-Machine Systems, Atlanta
- Merleau-Ponty, M. (1966): Phänomenologie der Wahrnehmung. Berlin: Walter de Gruyter.
- Micado-Projektbericht. (2005): Universität Bremen. artecLab-Paper Nr. 4
- Micarpet-Projektbericht. (2005): Universität Bremen. artecLab-Paper Nr. 5
- Micado-Projektbericht. (2005): Universität Bremen. artecLab-Paper Nr. 6
- Richard, J., Bruns, F. W. (2004): Mensch und Maschine im Spielraum - Technische Praxis und ästhetische Erfahrung. Bremen: artec-Paper 111
- Richard, J. (2002): Netkids und Theater. Studien zum Verhältnis von Jugend, Theater und neuen Medien. Frankfurt/M. et al.: Peter Lang
- Suchman, L. (1987): Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication. Cambridge, MA: Cambridge University Press
- Svannæs, D. (1999): Understanding Interactivity. Steps to a Phenomenology of Human Computer Interaction. Trondheim: Dissertation. Computer and Information Science, University of Trondheim
- Winnograd, T. (1997): The Design of Interaction. In: Denning, P.M., Metcalfe, R.M. (Hrsg.): Beyond Calculation. The Next Fifty Years of Computation. New York: Springer, S. 149-162