

# Gestenbasierte Interaktion mit Hilfe von Multitouch und Motiontracking\*

J. Boetzer, M. Rahimi, M. Vogt, P. Wendt, K.v.Luck  
Department Informatik, HAW Hamburg

27. Mai 2008

## Zusammenfassung

Inspiriert durch Mark Weiser wird seit 2002 auch an der HAW Hamburg über das Thema Ubiquitous Computing nachgedacht. Eines der Leitthemen sind „handbuchfreie Computer“ als konkrete Interpretation von disappearing computing. Gegenstand dieses Papiers ist ein Szenario von co-located Collaborative Workplaces, das sich im Gegensatz zu asynchroner Distanz-Kooperationen (z.B. Google Docs) eine zeitliche und räumliche Koexistenz der beteiligten Akteure voraussetzt. Aktuelle Einbettung unserer Aktivitäten ist im Projekt GamecityLab Hamburg, das als Kooperationsprojekt mit der Medientechnik der HAW durch die Wirtschaftsbehörde finanziert wird. In diesem Projekt sollen u.a. neuartige Techniken zur Mensch-Computer-Interaktion auf Ihre Tauglichkeit für innovative Spielideen entwickelt und überprüft werden.

## 1 Computer Supported Collaborative Workplace

In Umgebungen, die Jeff Pierce ([Jeff Pierce \(2008\)](#)) als personal information environments (PIE) bezeichnet hat, finden sich mehr Informationen, als häufig sinnvoll zu Verarbeiten sind. Der Übergang von Informationen zu Wissen als handlungsbefähigende Informationen wird dadurch immer schwieriger, teilweise wird durch die Unüberschaubarkeit von Informationsmengen (information overload) sogar potentiell Wissen vernichtet, weil es nicht mit vertretbarem Aufwand auszuwerten ist. Die Navigation durch Informationsbestände ist somit ein wesentlicher Baustein für Wissensverwaltung. Ein Modell der Informationsnavigation, das an der HAW Hamburg entwickelt wird, ist Gegenstand dieses Beitrags.

---

\*Veröffentlicht in Proceedings WIWITA 2008, Editor Jürgen Cleve, Hochschule Wismar Seite 38-49

## 1.1 Entstehung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Ansätze basieren einerseits auf den Arbeiten von Irene Greif und Paul Cashman ([Brown u. a. \(1985\)](#)) als auch den Überlegungen von Terry Winograd und Fernando Flores ([Winograd und Flores \(1987\)](#)) zum Computer Supported Collaborative Workplace. Hierbei steht nicht mehr die Intelligenz der Maschinen im Vordergrund, sondern die Kommunikation der Menschen untereinander, die durch Rechner gestützt sind. Ein wesentlicher Beitrag der EDV ist hierbei die einfache Bedienbarkeit, damit sich die soziale Interaktion auf das wesentliche konzentrieren kann und nicht die Handhabung technischer Geräte im Vordergrund steht. Somit sind auch die Beiträge des Bereichs Human Computer Interaction (HCI, [Jacko und Sears \(2003\)](#)) wesentlicher Baustein typischer CSCWs.

Seit Ende der 90er Jahre werden weltweit Räume aufgebaut, die als Besprechungsräume, Konferenzzimmer, Leitzentralen und ähnlichem ihren – teilweise fiktiven – Einsatzbereich finden (so z.B. in Stanford ([Stanford \(2008\)](#)) oder Darmstadt ([Tandler \(2004\)](#))). Als typische Ausstattungen finden sich hier hochauflösende Bildschirmwände (Powerwalls), (Multi-)Touch-Wände und -Tische und mobile Geräte wie Notebooks, mehr oder minder kohärent integriert in ein Gesamtkonzept, unterlegt mit einer speziellen Middleware (z.B. iRos [Johanson u. a. \(2002\)](#)). So wird auch an der HAW Hamburg im Ambient Intelligence Lab seit 2006 ein solcher Raum geplant und realisiert (Abb. 1 und 2).



Abbildung 1: Collaborative Work, Ambient Lab

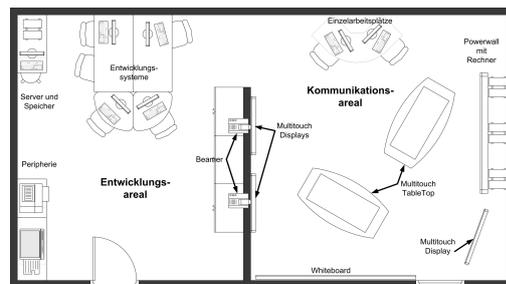


Abbildung 2: Übersichtsplan

Die Nutzung solcher Räume wird nach dem 3K-Modell von Teufel et al. ([Teufel \(1995\)](#)) als Spannungsverhältnis von Kommunikations-, Kooperations- und Koordinationsunterstützung beschrieben. Die kollokativen Ansätze als gemeinsame Informationsräume, die im Ambient Intelligence Lab der HAW untersucht werden, fordern somit alle drei Unterstützungstypen (Abb. 3). Die Unterscheidung von Heu-

## 2 EINSATZSZENARIEN

ris (Heuris (2008)) ordnet unseren Ansatz in den Bereich Media Room ein, wobei die Erweiterungen in die anderen Dimensionen nicht prinzipiell ausgeschlossen werden sollten (Abb. 4).

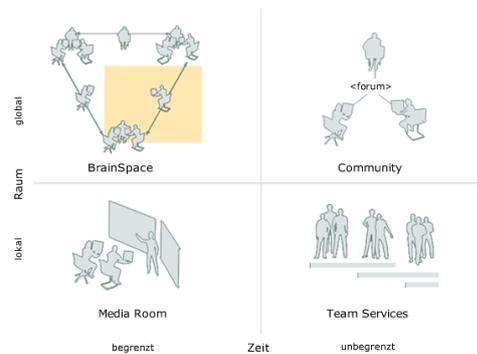
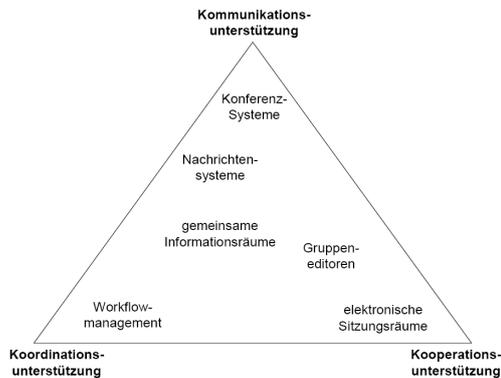


Abbildung 3: 3K Modell (aus Teufel, 1995)

Abbildung 4: Raum-Zeit Modell (aus Heuris, 2008)

## 2 Einsatzszenarien

Die bisherige Entwicklung des CSCW der HAW wurde maßgeblich durch eine Kooperation mit dem Betreiber des Frankfurter Flughafen Fraport<sup>1</sup> motiviert als Einsatzleitzentrale einer Werksfeuerwehr. Eine erste Skizze eines solchen Konzeptes wurde von Andreas Piening (Piening (2007)) vorgestellt (Abb. 5).

Kernanforderung ist die Unterstützung bei der Koordination der unterschiedlichen Einsatzkräfte, die bei einer größeren Katastrophe gerufen werden. Eine zeitnahe Bereitstellung von verwertbarer Information über die aktuellen Gegebenheiten vor Ort und in der Umgebung sowie die Möglichkeiten der unterschiedlichen Kräfte ist hierbei ausschlaggebend für die Eingrenzung von Schäden an Menschen und Gebäuden.

Typische Informationen, die in solchen Kontexten benötigt werden finden sich u.a. als Darstellung spezieller Karten inklusive integrierter dynamischer Event-Logs, Status-Ansichten, sowie Fotos und Videos vom Katastrophengebiet. Unterstützt werden müssen ebenfalls die Kommunikation zwischen Zentrale und Einsatzkräften vor Ort sowie den Unterstützungen in der Umgebung (Krankenhäuser, Notaufnahmen ...), so dass dieses Szenario auch als eine spezielle CSCW-Umgebung betrachtet werden kann.

<sup>1</sup><http://www.fraport.de/>

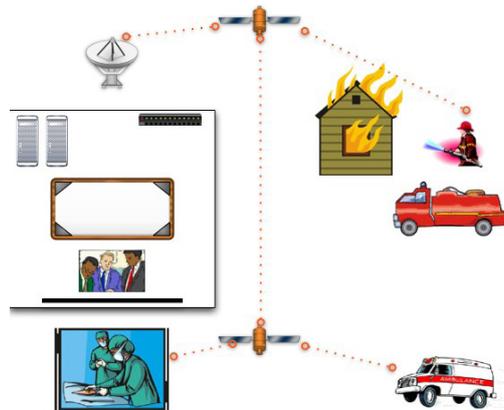


Abbildung 5: Einsatzszenario (aus [Pie-ning, 2007](#))

Aktuelle Einbettung unserer Aktivitäten ist im Projekt GamecityLab Hamburg, das als Kooperationsprojekt mit der Medientechnik der HAW durch die Wirtschaftsbehörde finanziert wird. In diesem Projekt sollen u.a. neuartige Techniken zur Mensch-Computer-Interaktion auf Ihre Tauglichkeit für innovative Spielideen entwickelt und überprüft werden.

Auch in diesem Nutzungskontext ist die intuitive Bedienung (handbuchlose Computer), losgelöst von Technik (ubiquitous Computing ([Weiser \(1991\)](#))), ein Untersuchungsgegenstand, der auch als seamless interaction nach Ishii u. a. ([Ishii u. a. \(1994\)](#)) bekannt ist. Die spezifischen Eigenschaften von Eingabegeräten haben dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung von Interaktionstechniken für Computersysteme.

## 3 Technik

In diesem Abschnitt sollen drei Möglichkeiten der Interaktion im CSCW besprochen werden, die sich alle am MVC-Pattern ([Gamma u. a. \(1995\)](#)) orientieren.

### 3.1 Interaktive Wand

Die interaktive Wand ist als ein FullHD 42“-Display ausgeprägt, das mit einem Multitouchrahmen auf Infrarot-Basis kombiniert wurde. Die Unterbrechung von Infrarot-Lichtschranken liefert eine erste Hypothese für die Position von Fingern auf der Scheibe.

Aufgrund der Probleme mit der eindeutigen Zuordnung von Unterbrechungen

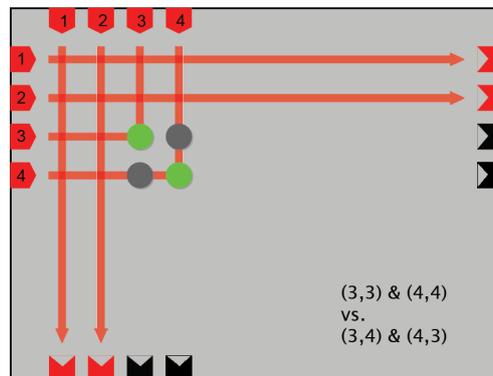


Abbildung 6: Infrarottechnik (aus [Gehn, 2007](#))

der Infrarot-Lichtschranken zu unterschiedlichen Fingern, welche durch die spezielle Hardware bedingt sind, wurde mit Hilfe einer Space-Time-Linearisierung und numerischer Betrachtung der Unterbrechungen eine erste Version einer einsatzfähigen API entwickelt. Zukünftige Entwicklungen zielen darauf ab, mit Hilfe von stochastischen Systemen die Erkennungsrate von mehreren Fingern auf dieser Hardware zu verbessern.

Für einfache Interaktionen mit diesen mittelgroßen Displays wurden somit Multitouch-Systeme entwickelt, die eine direkte Manipulation virtueller Objekte erlauben. Diese Überlegungen orientieren sich hierbei u.a. an Jefferson Y. Han ([Perceptive Pixel \(2007\)](#)), Apples iPhone ([Apple Inc. \(2007\)](#)) und Microsofts Surface ([Microsoft Corporation \(2007\)](#)).

### 3.2 Tabletop

Ergänzend zur interaktiven Wand hat der Tabletop einen Physik-basierten virtuellen Desktop, der eine realitätsnähere Abbildung eines virtuellen Leuchttisches darstellt ([Roßberger \(2007\)](#)). Diese Art des Views einer Fläche mit Objekten, die Gewicht und Reibung besitzen, hat eine etwas andere Interaktionsform als Konsequenz, die eher als Aufbringung von gerichteter Kraft auf ein Objekt charakterisiert werden kann. Diese Interaktion wird ebenfalls durch den Multitouch-Rahmen angeboten, so dass direkte Manipulationen von Objekten („anfassen“) möglich werden.

### 3.3 Powerwall

Der Aufbau der Powerwall wurde durch ein Cluster von 9 Displays realisiert, die von einem Master-Rechner und 5 Slave-Rechnern als Rendering-Maschinen betrieben

wird. Somit ergibt sich eine Gesamtauflösung von 7500 x 4800 Bildpunkten. Als Technik zur Verteilung der Anzeige auf die Displays wurde das Chromium-System ([Chromium \(2008\)](#)) auf unsere Verhältnisse angepasst<sup>2</sup>.

Interaktionen mit sehr großen Displays wie unserer Powerwall können nicht mehr sinnvoll mit Multitouch Techniken realisiert werden. Hier wurden unterschiedliche alternative Interaktionen wie Zeigegeräte([Fischer \(2007\)](#)) und Motiontracking von A.R.T. ([Advanced Realtime Tracking GmbH \(2008\)](#)) evaluiert. Dadurch ergibt sich als ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt die Hinzunahme einer 3. Raumdimension, die durch Multitouch ebenfalls nicht realisierbar ist. Als Testszenarios dienen u.a. eine Google Earth bzw. Maps Steuerung (Abb. 7).



Abbildung 7: Powerwall mit IR-Marker

A.R.T. ermöglicht das Positionieren mehrerer unterschiedlicher Objekte im 3D Raum. Anhand dieser Informationen kann ein virtuelles Modell erstellt und Veränderungen im Raum verfolgt werden. Das Modell zeigt entweder die Position/Bewegung der Objekte im Raum direkt in Echtzeit an, oder extrahiert anhand z.B. einer Space-Time Linearisierung – analog zu dem Multitouch-Ansatz – Gesten/Bewegungsrichtungen aus den Objektveränderungen und setzt diese in Interaktionen mit einem sichtbaren Objekt um. (z.B. dreht die Google-Earth Ansicht). Da die Kamera auch an ein Objekt gebunden werden kann, kann sowohl die Blickrichtung als auch das dargestellte Objekt selbst verändert werden.

---

<sup>2</sup>Jan Napitupulu: Ein System mit skalierbarer Visualisierung zur Entwicklung kollaborativer Serious Games(forthcoming)

## 4 Gesten

Auf der Basis der Taxionomie von Queck, erweitert von Vladimir Pavlovic, Rajeev Sharma und Thomas Huang ([Pavlovic u. a. \(1997\)](#)), kann von einer Unterscheidung nach Gesten und unintentionalen Bewegungen ausgegangen werden (Abb. 8)

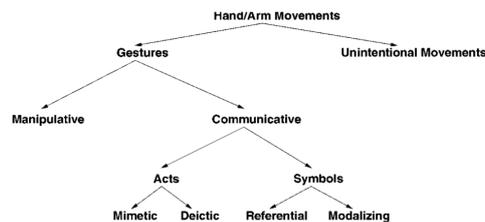


Abbildung 8: Taxonomie of Handgestures for HCI (aus [Pavlovic u. a., 1997](#))

Das Erkennen von unintentionalen Bewegungen in den jeweiligen Applikationen ist sicherlich keine einfache Aufgabe. In unserem Kontext konnten wir die unintentionalen Bewegungen weitgehend vernachlässigen, da im Fall des Multitouch-Systems die Berührung der Scheibe eine Geste einleitet, die durch das Heben des Fingers von der Scheibe dann beendet wird<sup>3</sup>. Eine Einleitung und Beendigung von Gesten im Fall des Motiontracking wird über bestimmte Konventionen geleistet, die sich als intuitiv verständlich herausgestellt haben.

Die Taxonomie von Pavlovic et.al., die auf dem kommunikativen Zweig ausgeprägt ist, sollte nach unseren Überlegungen hingegen im Bereich der manipulativen Gesten noch erweitert werden.

**Bewegungsverfolgung** ist eine Kategorie von manipulativen Gesten, die sich auszeichnet durch ihren direkten Einfluss auf die Orientierung und/oder Position von Objekten, die mit diesen Gesten manipuliert werden (Verschieben/Drehen von Objekten). Sie entsprechen am ehesten den Effekten von entsprechenden Handlungen in der physikalischen Welt.

---

<sup>3</sup>Ein Verrauschen der Daten kann durch einen Tiefpass im Regelfall kompensiert werden.

## 4 GESTEN

---

**Kontinuierliche Gesten** sind Gesten, die keine direkte Entsprechung in der physikalischen Welt haben, aber über Metaphern leicht erklärbar benutzt werden können<sup>4</sup>.

**Symbolisch-manipulative Gesten** sind eine Klasse von Gesten, die schon einen gewissen Lernprozess notwendig machen. So ist das Umdrehen von Objekten (Flip), das Stapeln und systematische Verstreuungen von Objekten (s.a. [Agarawala und Balakrishnan \(2006\)](#)) eine faszinierende, aber nicht mehr ganz intuitive Semantikzuschreibung von Gesten, deren Fortsetzung in Richtung Unbrauchbarkeit durch Mouse-Gestures ausreichend belegt ist. Somit ist in dieser Gruppe von Gesten die sorgfältige Auswahl und Applikationsangemessenheit eine besondere Herausforderung, deren Validierung durch Usability-Tests gesondert nachgewiesen werden muß<sup>5</sup>.

In unserem Labor unterscheiden wir orthogonal zu dieser Kategorisierung die Gesten in

**zweidimensionale Gesten**, welche sich über X-Y-Veränderungen von Punkten über die Zeit definieren. Betrachtet man die reine Bewegungsverfolgung, so würden virtuelle Objekte die Bewegung der Finger direkt nachempfinden. Kontinuierliche Gesten würden z.B. einem Zoom entsprechen oder dem Drücken eines Buttons über die Zeit. Keines besitzt eine Entsprechung in der Realität, ist aber leicht erlernbar. Symbolische Gesten können auch im 2D Raum einen definierten Start- und Endpunkt benötigen, um sie von der Bewegungsverfolgung/kontinuierlichen Geste unterscheiden zu können. Ein Ziehen mit drei Fingern über ein Bild könnte ein Flip, aber genauso eine völlig andere Aktion auslösen. Die Bindung der Semantik ist reine Implementationsache und nicht zwingend aus der Realität abzuleiten.

**dreidimensionale Gesten**, diese müssen im 3D Raum durch fest vorgegebene Regeln klar definiert sein, um unbeabsichtigte Bewegungen sicher ausfiltern zu können. Im 3D Bereich dient die reine Bewegungsverfolgung der direkten Manipulation/Interaktion von Objekten. Z.B. wird in unserem Squash-Spiel das Schlagen des virtuellen Balls mit einem realen Schläger(Hand) unmittelbar auf den virtuellen Schläger umgesetzt. Zur Interaktion mit Google-Earth nutzen wir kontinuierliche Gesten, um z.B. zu Zoomen (Hände auseinander/zusammenführen) oder zu Drehen (angedeutetes Drehen der Darstel-

---

<sup>4</sup>Die Interaktion mit dem iPhone ist, was ZoomIn/ZoomOut angeht, sofort für eine große Anzahl der Nutzer eingänglich.

<sup>5</sup>Eine solche Serie von Untersuchungen unterschiedlicher symbolisch-manipulativer Gesten nimmt an der HAW gerade Stefan Gehn vor ([Gehn \(2008\)](#)).

lung mit beiden Händen). Symbolisch-manipulative Gesten werden hingegen hauptsächlich zur Interaktion mit traditionellen Steuerelementen eingesetzt (z.B. das Umkreisen eines Steuerelements, um es zu aktivieren.). Allerdings müssen die Gesten simpel und intuitiv bleiben, um vom Anwender angenommen zu werden.

**Gesten in einer physikbasierten Umgebung**, die aufgrund der virtuellen Physikumgebung eingeschränkt werden. Einfache Bewegungsverfolgungen wie das Bewegen und Rotieren eines virtuellen Objektes sind mit einem Finger zu realisieren, da sich hier die Handbewegung linear zum Aufwenden einer Kraft betrachten lässt. Die kontinuierlichen Gesten, wie das Skalieren von Objekten sind im vgl. zur zweidimensionalen Geste des Vergrösserns nicht mehr intuitiv, da sich hierbei Änderungen im Model des Objektes ergeben, wie z.B. Veränderungen bei den Gewicht- und Reibungskoeffizienten. Der Sinn der symbolisch-manipulativen Gesten ist in diesem Kontext unserer Meinung nach fraglich. Hier ist zu evaluieren, in wieweit in dieser physikbasierten Umgebung dieser Gestentyp Einsatz finden könnte.

Für ein besseres Verständnis unserer bisherigen Ergebnisse siehe die Videos auf der UbiComp Webseite<sup>6</sup>.

Im Ambient Labor werden zur Zeit Werkzeuge aufgebaut, die zusätzlich Gesten lernen können<sup>7</sup>, so dass nicht nur vordefinierte, sondern auch beobachtete Gesten in das Repertoire der gestenbasierten Computersteuerung eingepflegt werden können.

## 5 Fazit

Als erste Ergebnisse lassen sich feststellen, dass die Umsetzung der Steuerung von virtuellen Objekten basierend auf Bewegungsverfolgung kein systembezogenes Wissen erfordert, sondern direkt bedienbar ist. Der Übergang zwischen Mensch und System verläuft hier nahtlos (seamless). Durch die Abbildung der natürlichen Gesten in den Computersystemen konnte jede Testperson sofort ein Ihr/Ihm beschriebenes System bedienen.

Bei der Interaktion auf Basis von symbolischen Gesten, die keine direkte Entsprechung in der Realität haben, fällt hingegen ein geringer Lernaufwand an. Eine Entwicklung von einem Gestenrepertoire, das eine fast natürliche Interaktion

---

<sup>6</sup><http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/Videos/index.html>

<sup>7</sup>Auf der Basis von Hidden Markov Modells und Support Vector Machines, Johann Heitsch: Ein Framework zur Erkennung von dreidimensionalen Gesten(forthcoming)

erlaubt, ist somit eine der nächsten Fragestellungen, die in diesem Labor erfolgen muss. Hierbei ist eine Korrelation zwischen semantischer Nähe einer gesten-gestützten Systemfunktion und dem kognitiven Aufwand bei der Adaption durch einen Benutzer der entscheidende Faktor für den Erfolg solcher Systeme.

Ob sich hingegen die Gestensteuerung von Computersystemen als Ergänzung oder Ersatz tradierter Interaktionsmodi einbürgern wird, hängt sicherlich nicht nur mit PR-Massnahmen von Apple für das iPhone zusammen, sondern auch mit der intuitiven Schnittstelle für Applikationen, so dass eine applikationsunabhängige Betrachtung von Gesten als Modalität sicherlich nicht sehr sinnvoll ist.

## Literatur

- [Advanced Realtime Tracking GmbH 2008] ADVANCED REALTIME TRACKING GMBH: *A.R.T. GmbH*. Webseite. 2008. – URL <http://www.ar-tracking.de/>. – Letzter Aufruf am 14. Mai 2008
- [Agarawala und Balakrishnan 2006] AGARAWALA, Anand ; BALAKRISHNAN, Ravi: Keepin' it real: pushing the desktop metaphor with physics, piles and the pen. In: *CHI '06: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2006, S. 1283–1292. – ISBN 1-59593-372-7
- [Apple Inc. 2007] APPLE INC.: *iPhone*. Webseite. 2007. – URL <http://www.apple.com/iphone/>. – Letzter Aufruf am 14. Mai 2008
- [Brown u. a. 1985] BROWN, John S. ; CASHMAN, Paul M. ; MALONE, Thomas: Interfaces in organizations (panel session): supporting group work. In: *SIGCHI Bull.* 16 (1985), Nr. 4, S. 65. – ISSN 0736-6906
- [Chromium 2008] CHROMIUM: Chromium Documentation. (2008). – URL <http://chromium.sourceforge.net/doc/index.html>. – Letzter Aufruf am 14. Mai 2008
- [Fischer 2007] FISCHER, Christian: *Entwicklung eines multimodalen Interaktionssystems für computergestützte Umgebungen*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg, Diplomarbeit, 2007. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/arbeiten/master/fischer.pdf>

## LITERATUR

---

- [Gamma u. a. 1995] GAMMA, Erich ; HELM, Richard ; JOHNSON, Ralph ; VLIS-SIDES, John: *Design patterns: elements of reusable object-oriented software*. Addison-Wesley Professional, 1995
- [Gehn 2007] GEHN, Stefan: *Techniken für Interaktion mittels Bewegungen und Gesten*. Seminararbeit an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. 2007. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master07-08-aw/gehn/folien.pdf>
- [Gehn 2008] GEHN, Stefan: *Forthcoming*. 2008. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/papers.html>
- [Heuris 2008] HEURIS: *Kollaborative Systeme*. Webseite. 2008. – URL <http://www.heuris.net/dnn/Default.aspx?tabid=57>. – Letzter Aufruf am 14. Mai 2008
- [Ishii u. a. 1994] ISHII, Hiroshi ; KOBAYASHI, Minoru ; ARITA, Kazuho: Iterative design of seamless collaboration media. In: *Commun. ACM* 37 (1994), Nr. 8, S. 83–97. – ISSN 0001-0782
- [Jacko und Sears 2003] JACKO, Julie A. (Hrsg.) ; SEARS, Andrew (Hrsg.): *The human-computer interaction handbook: fundamentals, evolving technologies and emerging applications*. Mahwah, NJ, USA : Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2003. – ISBN 0-8058-3838-4
- [Jeff Pierce 2008] JEFF PIERCE: *Personal Information Environments*. Webseite. 2008. – URL <http://www.almaden.ibm.com/cs/projects/pie/>. – Letzter Aufruf am 14. Mai 2008
- [Johanson u. a. 2002] JOHANSON, Brad ; FOX, Armando ; WINOGRAD, Terry: *The Interactive Workspaces Project: Experiences with Ubiquitous Computing Rooms*. Piscataway, NJ, USA : IEEE Educational Activities Department, 2002. – 67–74 S. ISSN 1536-1268
- [Microsoft Corporation 2007] MICROSOFT CORPORATION: *Microsoft Surface*. Webseite. 2007. – URL <http://www.microsoft.com/surface/>. – Letzter Aufruf am 14. Mai 2008
- [Pavlovic u. a. 1997] PAVLOVIC, Vladimir I. ; SHARMA, Rajeev ; HUANG, Thomas S.: Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction: A Review. In: *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 19 (1997), Nr. 7, S. 677–695. – ISSN 0162-8828

## LITERATUR

---

- [Perceptive Pixel 2007] PERCEPTIVE PIXEL: *Perceptive Pixel*. Webseite. 2007. – URL <http://www.perceptivepixel.com/>. – Letzter Aufruf am 14. Mai 2008
- [Piening 2007] PIENING, Andreas: *Katastrophen-Leitstand: Current work and projects*. Seminararbeit an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. 2007. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master06-07-aw/piening/report.pdf>
- [Roßberger 2007] ROSSBERGER, Philipp: *Physikbasierte Interaktion im Collaborative Workspace*. Seminararbeit an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Februar 2007
- [Stanford 2008] STANFORD: *Interactive Workspaces*. Webseite. 2008. – URL <http://iwork.stanford.edu/>. – Letzter Aufruf am 14. Mai 2008
- [Tandler 2004] TANDLER, Peter: *Synchronous Collaboration in Ubiquitous Computing Environments*, TU Darmstadt, Fachbereich Informatik, Dissertation, 2004. – URL <http://elib.tu-darmstadt.de/diss/000506>
- [Teufel 1995] TEUFEL, S.: *Computerunterstützung für die Gruppenarbeit*. Addison-Wesley, 1995
- [Weiser 1991] WEISER, Mark: The Computer for the Twenty-First Century. In: *Scientific American* 265 (1991), S. 94–104
- [Winograd und Flores 1987] WINOGRAD, Terry ; FLORES, Fernando: *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*. Boston, MA, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1987. – ISBN 0201112973