



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung Anwendungen 2 -
SoSe 2009
Mohammad Ali Rahimi
Tangible Computing
Haptic für Computer Intermedien

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung in das Themengebiet	4
1.1 Entstehungsgeschichte HCI	4
1.2 Der Tangible Computing Begriff	6
2 Konferenzen	6
2.1 CHI	7
2.2 TEI	8
2.3 TableTops and Interactive Surfaces	8
2.4 INTERACT	9
2.5 IUI	9
3 Vergleichbare Arbeiten, Bewertung und Abgrenzung	10
3.1 Papier-Mâché: toolkit support for tangible input	10
3.2 Siftables:towards sensor network user interfaces	11
3.3 SLAPbook: Tangible Widgets on Multi-touch Tables in Groupware Environments	13
3.4 Und noch viele mehr...	13
4 Zusammenfassung	14
Literatur	14

Kurzzusammenfassung

In dieser Ausarbeitung soll beschrieben werden, wie dem Benutzer die Verwendung eines Computers durch einfache Werkzeuge, welche sowohl passiv als auch aktiv die Umgebung beeinflussen, erleichtert wird. Hierzu wird sich den natürlichen Fähigkeiten des Menschen bedient.

1 Einführung in das Themengebiet

Das Motto an der Universitätsfakultät Stanford Engineering ist nach einem Vortrag von Alan Kay, welcher 1989 in seinem Essay „Predicting the future“ einen der wohl bekanntesten Sätze schrieb („The best way to predict the future is to invent it“ [Kay (1989)]), noch immer „Imagine the future“. In dem gleichen Essay jedoch schrieb er auch:

„Another way to predict future is to realize that it takes a very long time [...] to get technology out of research lab and into everyday life.“ [Kay (1989)]

Die Wahrscheinlichkeit, die Zukunft zu erfinden, ist durchaus geringer, als diejenige, dass es einfach sehr lange dauert, bis sich eine Erfindung durchsetzt. Er beschreibt selbst, dass die größten Erfindungen der Computerindustrie sehr lange in Laboren verbrachten (Kay (1989)). Kritischer ist es, wenn eine dieser Erfindungen scheitert, weil sie Grundlagen der menschliche Anatomie und des Bewusstseins nicht beachtet. Diese entwickelten sich über 5 bis 8 Millionen Jahre und es ist davon auszugehen, dass sich in dieser Zeit auch sehr genaue mentale Modelle von der Außenwelt gebildet haben. Eigentlich müssten wir also diese Repräsentation der physikalischen Realität nutzen und die Form des Computers dementsprechend anpassen. Auch dies hat Kay schon 1989 erkannt und beschrieben.

„At PARC we had a slogan: 'Point of view is worth 80 IQ points.' [...] We think better generally by inventing better representations; that's something that we as computer scientists recognize as one of the main things that we try to do.“ [Kay (1989)]

Ziel dieser Ausarbeitung ist es, bestehende Multitouch Interaktionen mit haptischen Hilfsmitteln zu versehen, um sie für den Menschen fühlbarer zu machen. Ausgangspunkt ist hierbei der Ausblick des AW1 Vortrages „Multitouch: Out of the Shelf“. Hier wurde von einer fehlenden Haptik berichtet, welche die Interaktion mit Touchscreens häufig nicht natürlich wirken lässt. Es gibt unterschiedliche Wege, die aktuell erforscht werden, Touchscreens fühlbarer zu machen. Der Forschungsschwerpunkt, welcher in dieser Ausarbeitung als Basis dient, wird als Tangible Computing bezeichnet 1.2. Dieser setzt sich genau mit o.g. Problem auseinander. Das Einordnen der Vorhaben aus dieser Ausarbeitung ist plausibler, wenn die Entstehung der HCI auch betrachtet wird. Im folgenden Abschnitt wird daher ein Einstieg in die Entstehungsgeschichte der HCI gegeben.

1.1 Entstehungsgeschichte HCI

Die zukünftig dominierenden Bewegungen der HCI sind schwer vorauszusagen. Dies liegt unter anderem an der Entstehungsgeschichte der Mensch-Maschinen-Interfaces.

Schon 1965 entbrannte die erste Differenz darüber, wie die Mensch-Maschine-Interaktion zu verstehen sei. Ausgelöst durch Frederick P. Brooks, der damals das Departement für Computer Science an der University of North Carolina gründete, wurde zum ersten Mal das Mensch-Maschine-Interface aus einer komplexen Designperspektive gesehen.

„The whole discipline of system architecture has its central concern in the definition of the interface between computer system and its users.“ [Brooks Jr. (1965)]

Dies war eine dramatische Aussage, da zuvor die großen Pioniere wie Alan Turing die Ein- und Ausgabe nur als „Servants“ und Peripherie betrachteten (Turing (1986)). Letztlich konnte sich Brooks Begriff des Interface-Architekten nicht durchsetzen, obwohl er schon 1977 erkannte, dass es Spezialisten geben muss, die die Berührungszone zwischen Mensch und System humaner gestalten (Brooks Jr. (1977)).

Aber er war nicht allein. Denn zur gleichen Zeit empfanden auch Engelbart und andere, dass die Interaktion mit dem Computer deutlich zu kurz kam (Engelbart (1962)). Dies waren die Anfänge des s.g. Interactive Computings, aus deren Bemühungen dann später die Maus entstand.

Das Desktop-Paradigma hat sich bis heute gehalten, obwohl es auch hier Gegenbewegungen gibt, zu denen unter anderem die Natural User Interfaces gehören. Angefangen hat diese Bewegung bereits 1969 mit Raymond S. Nickerson, welcher sich aus einem psychologischen Standpunkt heraus für eine andere Art der Kommunikation mit dem Computer aussprach.

„the need for the future is not so much for computer-oriented people as for people-oriented computers.“ [zitiert nach Newell (1985), S.231ff]

Dieser Satz und andere erzielten ihre Wirkung. Denn 1987 verkündete der IBM Researchs Vice President of Systems and Software:

„A considerable fraction of the computer's power will go to make the machine easier to use by accommodating a natural human-machine interaction based for example on voice and handwriting.“ [Peled (1987)]

Somit setzte auch IBM einen Forschungsschwerpunkt auf natürliche Bedienschnittstellen.

Zuerst wurden Anstrengungen in Richtung Virtual Reality gemacht, welche dann aber später aufgrund von zu invasiven Bodysuits und sehr aufwändigen Installationen wieder eingeschränkt wurden.

Daraus resultierten ab 1990 die „Back to the Reality“-Bestrebungen, welche durch die von Mark Weiser bekannten Papiere angeregt wurden (Weiser (1991)). Erstmals wurde versucht Rechenkapazität und Alltagsgegenstände zu verbinden. Die entstehenden Interfaces sind s.g. Tangible oder auch Graspable User Interfaces.

Wird dieser Ansatz weiter verfolgt, ergibt sich das „Proactive Computing“, welches sich in

Ideen wie dem „Calm, Dissapearing und Invisible Computing“ manifestiert. Hierbei wird davon ausgegangen, dass jeder Mensch eine große Menge von Computern zur Verfügung hat, die sich selbständig um das Wohl des Menschen kümmern (Weiser (1999)). Alle diese Systeme sind vernetzt und tauschen sich aus, während sie ständig in ihrer Umgebung nach Änderungen horchen (Context Awareness Schilit u. a. (1994)). Sie sind softwareseitig eigenständige Agenten und hardwareseitig Tagnibles.

1.2 Der Tangible Computing Begriff

Tangible Computing wurde geprägt von Hiroshi Ishii vom MIT MediaLab¹. Zum ersten Mal tritt der Begriff in dem Paper Tangible Bits (Ishii (2003)) auf. Hier wird beschrieben, dass der Mensch eine zwiespaltene Interaktion mit Computern führt.

Augen und Ohren werden durch „Windows to the digital Worlds“ (Monitore und Lautsprecher) gezogen, während der Körper und damit der Sinn des Fühlens in der Realität bei Mäusen und Tastaturen hängen bleibt. Ishii schlägt vor, den digitalen Informationen physikalische Repräsentationen zu geben (Ishii (2008)).

Bei den s.g. „Tangibles“ wird das aus dem MVC Model bekannte View in zwei Teile aufgespalten. So entsteht die physikalische Repräsentation in der Realität und die digitale Repräsentation im Computer. Auch auf das Control wird Einfluss genommen, indem die physikalische Repräsentation eng mit der digitalen verkoppelt wird, so dass alle Interaktionen mit dem physikalischen Modell direkt auf die digitalen Informationen übertragen werden.

Einen Prototypen eines solchen Tangible User Interfaces entwickelten Ishii und seine Studenten mit URP (Underkoffler und Ishii (1999)), einem Stadtplanungs-System, bei dem die Gebäude in der Realität als Modell auf dem Tisch stehen, während die Schattenwürfe, Reflektionen auf den Gebäuden und Wettereinflüsse simuliert werden (siehe Abb. 1).

2 Konferenzen

Im Bereich der Human-Computer-Interaction gibt es viele Konferenzen, die eine Rolle spielen. Durch die nicht ganz klare Definition und die interdisziplinäre Seinsart der HCI sind Ansätze sowohl bei Informatikern und Elektrotechnikern als auch bei Designern und Psychologen zu finden. Die lange Entstehungsgeschichte und die dauerhaften wellenartigen Entwicklungsbewegungen in diesem Bereich machen ihn noch diffuser (siehe Abschnitt 1.1).

¹<http://www.media.mit.edu/>

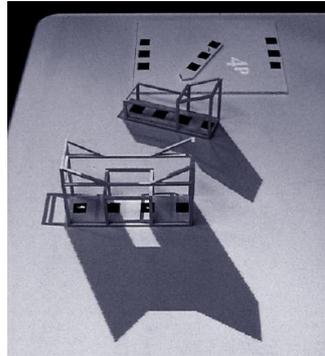


Abbildung 1: Stadtplanung mit Tangible User Interface (Ishii (2008))

2.1 CHI



Eine der wichtigsten Konferenzen in diesem Rahmen ist die CHI (ACM Conference on Human Factors in Computing Systems)². Sie wird jedes Jahr seit 1982 an verschiedenen Standorten abgehalten und ist so zu einer großen Konferenz avanciert. Auch internationale Beiträge werden hier eingereicht. Und da diese Konferenz jedes Jahr statt findet, ist die Wahrscheinlichkeit groß angenommen zu werden.

Für die Forschung und die vorliegende Ausarbeitung ist die CHI eine der wichtigsten Konferenzen, da sie in diesem Bereich sehr etabliert ist.

Gesponsert wird die CHI durch ACM SIGCHI, welches eine internationale Gesellschaft für Profis, Akademiker und Studenten ist, die sich für HCI interessieren. Wie der Name schon sagt, werden alle auf den Konferenzen vorgestellten Paper dann in der ACM Digital Library angeboten.

Die SIGCHI hat eine lange Geschichte und besteht aus den wichtigsten Personen in diesem Bereich. Es werden jedes Jahr verschiedene Awards vergeben, unter anderem der in diesem Bereich hoch angesehene SIGCHI Lifetime Achievement Award. Dieser wurde auch

²<http://www.chi2010.org>

Douglas C. Engelbart, Donald A. Norman, James D. Foley und Bill Buxton verliehen, welche alle sehr große Rollen in der HCI spielen.

Neben der Organisation von Meetings für Mitglieder, veröffentlicht die SIGCHI regelmäßig ein Magazin Namens „Interaction“, für das auch Mitglieder Artikel verfassen können. Zuletzt gibt es noch CHI Letters, in denen die besten Auszüge aus den von SIGCHI finanzierten Konferenzbänden erscheinen.

2.2 TEI



Eine weitere Konferenz von Bedeutung ist die TEI (Tangible, Embedded and Embodied Interaction), auf ihr werden im Gegensatz zur CHI auch hardwarenahe Beiträge präsentiert. Es ist noch abzuwarten, in wie weit sie bestehen bleibt, da 2010 erst die vierte Konferenz abgehalten wird. Sie findet auch jedes Jahr statt und wird bisher sehr gut angenommen.

Finanziert wird die TEI durch ACM, Microsoft, Nokia und anderen major Players. Das Interesse an dieser Konferenz ist also auch von der Wirtschaft groß. Auf der TEI werden internationale Beiträge angenommen. Der Unterschied zur CHI ist aber, dass die TEI an weltweiten Standorten statt findet.

Diese Konferenz ist für die Begutachtung des Umfelds, in der sich diese Ausarbeitung bewegt, wichtig, da hier die Technologieschöpfungen vorgestellt werden.

2.3 TableTops and Interactive Surfaces



Die „Tabletops and Interactive Surfaces“ war bis 2008 noch ein Workshop. Er hat allerdings so viele Anhänger gefunden, dass sich daraus eine Konferenz gebildet hat. Sie wird jährlich wiederholt und die vierte ihrer Art findet im November 2009 statt³.

³<http://www.tis2009.org/>

Das besondere an dieser Konferenz ist, dass sie sich komplett auf interaktive Flächen fokussiert. Interessant ist auch, welche Sponsoren sich engagieren. Hierzu gehören neben Microsoft und Smart auch Firmen wie Philips, Mitsubishi und Wacom.

Die Konferenzbeiträge werden bei IEEE angeboten und sind wie die der TEI ähnlich hochwertig. Auch hier werden internationale Beiträge akzeptiert. Für diese Ausarbeitung ist diese Konferenz nur von wenig Bedeutung. Der Bezug besteht durch die Anwendungsmöglichkeit des Tangible Computing auf Basis eines Tisches.

2.4 INTERACT



Die INTERACT ist eine Konferenz, die seit 1984 alle zwei Jahre von der IFIP TC.13⁴ ausgerichtet wird. Sie besitzt jedes Mal ein anderes Motto, unter dem die eingereichte Beiträge stehen müssen. Da diese Konferenz schon sehr lange existiert, ist sie auch dementsprechend wichtig für Forschungen im Bereich der HCI⁵.

Die IFIP ist ein Mutterverband für Gesellschaften, die sich mit dem Thema Informationstechnologie beschäftigen. Sie besteht aus Technologie Komitees, welche wiederum aus Arbeitsgruppen bestehen, die Konferenzen ausrichten, Workshops anbieten und Paper verteilen. Die INTERACT wird von dem Technologie Komitee 13, kurz TC.13, organisiert.

Auch für diese Ausarbeitung ist diese Konferenz wichtig, da hier viele der wirklich wichtigen Neuerungen vorgestellt werden. Desweiteren ist diese Konferenz interessant, weil die Organisation nicht allein US Amerikanischen Wissenschaftlern überlassen ist.

2.5 IUI

Intelligent User Interfaces ist auch eine Konferenz, welche sich im Raum HCI bewegt, allerdings geht es hierbei eher um die Softwareseite Implementation und Automation von GUIs. Diese Konferenz ist somit für mich nicht interessant, sollte aber aufgrund der Vollständigkeit aufgezählt werden.

⁴International Federation for information Processing: <http://www.ifip.or.at>

⁵<http://www.interact2009.org/>

Durch diese Konferenzen ergibt sich ein riesiger Fundus an Ideen, aus denen ausgewählt werden kann. Nachfolgend werden die für diese Ausarbeitung wichtigsten beschrieben und diskutiert.

3 Vergleichbare Arbeiten, Bewertung und Abgrenzung

3.1 Papier-Mâché: toolkit support for tangible input

Scott Klemmer ist Assistenzprofessor an der Stanford University und Kodirektor der HCI Group⁶. Er untersteht damit Terry Winograd, welcher einer der Hauptakteure im HCI Umfeld ist. Das folgende Paper wurde auf der CHI'09 im April 2009 präsentiert.

Er macht in „Papier-Mâché: toolkit support for tangible input“ (Klemmer u. a. (2004)) deutlich, dass die GUI lange Zeit hatte sich zu entwickeln.

Klemmer geht damit auf Kritik ein, die unter anderem auch von dem Deutschen Koordinator des Forschungsfeldes Technik und Konsum an der Universität Bremen, Hans Dieter Hellige, ausgesprochen wurde. Es wird hierbei gesagt, dass sich die Tangible Interfaces nicht durchzusetzen vermögen, da sie viele technische Schwierigkeiten besitzen (Hellige (2005)). Im Gegensatz dazu führt Klemmer vor Augen, dass der erste Schub, der die GUI Entwicklung einfacher machte, Frameworks waren, welche den Entwicklern die Arbeit stark abgenommen haben.

Klemmer stellt hiermit ein Framework/Toolkit zu Verfügung, mit dem es Entwicklern ermöglicht wird, mit Hilfe von Kameras und RFID Readern eine Augmented Reality bzw. Tangible Umgebung zu schaffen. Diese kann verhältnismäßig einfach durch Modelle aus Papier und Pappe gebaut werden, welche das System erkennt und darauf reagiert.

In der Abbildung 2 ist die Applikation SiteView zu sehen, welche prototypisch eine Home-Automation-Umgebung auf Basis von Papier-Mâché realisiert. Rechts sind die Papier Modelle zu sehen, und links ein beispielhafter Aufbau mit Anzeige der Augmented Reality und RFID Tag bestückten Modellen.

Bewertung

Diese Arbeit ist von Interesse, da es durch Papier-Mâché ermöglicht wird, Tangible User Interfaces einfach prototypisch zu erstellen und zu testen.

⁶<http://hci.stanford.edu/srk/>



Abbildung 2: Projekt SiteView realisiert mit PapierMache von [Klemmer u. a. \(2004\)](#)

Der Einsatz eines visuellen Tools zur Unterstützung ist hierbei ein sehr guter Zug, der allerdings auch Nachteile mit sich bringt. Dadurch, wie Klemmer selbst in 6.2 Limitations beschreibt, ergeben sich Einschränkungen, weil der direkte Einfluss auf den erzeugten Code nicht mehr möglich ist. Es gibt zwar Tools, die derartige Fähigkeiten besitzen (siehe Adobe Director). Diese sind aber aufgrund ihrer Flexibilität nur sehr schwer zu bedienen. Ein Aufbau einer solchen Funktionalität wäre zu aufwändig.

Abgrenzung

Die Arbeit von Klemmer beschreibt ein Tool, mit dem allgemein Tangible User Interfaces gestaltet und getestet werden können. Ich habe jedoch vor, eine ganz spezielle Lösung für das Problem der nicht-fühlbaren Multitouch Oberfläche zu entwickeln. Das Tool eignet sich aber sehr gut für mich, um Prototypen der Umgebung zu bauen, die dann ausprobiert werden können.

3.2 Siftables:towards sensor network user interfaces

David Merrill et al. haben mit Siftables kleine Minicomputer geschaffen, welche ein Meshnetzwerk aufbauen. Sie bestehen aus Prozessor, Arbeitsspeicher, Funk- und Infrarotmodul, sowie einem kleinen Display.

Siftables können erkennen, dass andere Siftables in der Nähe sind. Desweiteren stellen sie

fest, ob andere Siftables direkt angedockt sind. Auf diese Weise können sie Informationen austauschen oder vereinte Informationen auf ihren Displays anzeigen. Neigungssensoren sorgen dafür, dass ein Drehen des Gerätes erkannt wird.

Motivation dieser Arbeit war die faszinierende Fähigkeit von Menschen, durch viele kleine Objekte zu navigieren, diese zu sortieren und mit ihnen als ganzes zu interagieren (Merrill u. a. (2007)).

Veröffentlicht wurde diese Arbeit auf der TEI'07. Betreut wurde sie von Pattie Maes und ist entstanden am MIT MediaLab. Da es den Bereich des Tangible Computing betrifft, fällt es unter die Schirmherrschaft von Hiroshi Ishii, der in diesem Gebiet und am MIT MediaLab sehr einflussreich ist.



Abbildung 3: Sensor Network User Interfaces in Form von Siftables

Bewertung

Diese Arbeit stellt mit Abstand eine der wichtigsten Arbeiten für mich dar. Sie verknüpft die Idee von Pads (geschaffen von Mark Weiser) mit der Idee des Tangible Computing. Auch interessant ist die Idee des Sensor Network User Interfaces. Hier wird dem Menschen eine Möglichkeit gegeben, auf üblicherweise nicht zugreifbare Netzwerke direkt Einfluss zu nehmen.

Abgrenzung

Siftables sind für meine Arbeit geeignet. Allerdings möchte ich eine Kopplung mit dem Multitouch-System erzielen, so dass der Benutzer durch die Interaktion mit den Siftables auch mit dem Datenbestand auf dem System interagiert. Dazu müssten die Siftables mit Aktuatoren, wie z.B. Vibratoren erweitert werden, um auch ein Feedback über Ereignisse liefern zu können.

3.3 SLAPbook: Tangible Widgets on Multi-touch Tables in Groupware Environments

SLAPBook wurde auf der TEI'09 im Februar 2009 vorgestellt (Weiss u. a. (2009)) und ist eine Zusammenarbeit von Studenten der RWTH Aachen und der University of California. Sie haben gemeinsam Folien hergestellt, die mittels Tags von einem kamerabasiertem Multitouch Tisch erkannt werden. Die so erkannten Objekte werden dann je nach Funktion von unten illuminiert. Eine Tastatur bekommt beispielsweise so die Buchstaben (siehe Abb. 4).

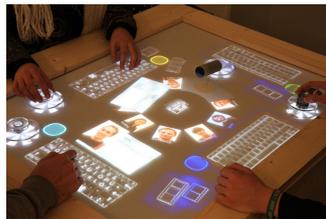


Abbildung 4: SlapBook at Work

Bewertung

Diese Arbeit beschreibt zwar ein einfaches aber wirkungsvolles Konzept. Man kann durch einfache Markierungen auf speziellen Objekten die Funktionszuschreibung dynamisch durchführen. So kann ein Objekt auch die Funktion wechseln, je nachdem wie es eingesetzt werden soll.

Abgrenzung

Auch dieses Projekt kommt meinem sehr nahe. Hier ist es schade, dass die Objekte außerhalb des Multitouch Tisches lebloses Plastik werden. Gut wären aktive Objekte, die sowohl außerhalb funktionieren würden, als auch Feedback über Ereignisse liefern könnten.

3.4 Und noch viele mehr...

Diese Projekte sind nur ein winziger Auszug aus dem nahezu unermesslichem Repertoire aus dem man schöpfen kann. Leider kann ich aufgrund von Platzmangel nicht auf die anderen

Arbeiten eingehen. Auf den o.g. Konferenzen werden natürlich auch Workshops angeboten, zu denen Manuskripte existieren, auf die ich hier keine Rücksicht genommen habe.

4 Zusammenfassung

Die Forschungen im Rahmen der Tangible User Interfaces sind noch lange nicht abgeschlossen, aber schon jetzt eröffnen sich durch die aktuellen Arbeiten Möglichkeiten, Multitouch Bildschirme mit Haptik- und Feedbackmechanismen zu versehen.

Durch die spezielle Hardware, welche dem Ambient Lab der HAW zur Verfügung gestellt wird, wird es möglich sein über die Hardware mittels Infrarot zu kommunizieren. Hierzu eignen sich Siftables ähnliche Geräte, welche auch untereinander kommunizieren können. Darüber hinaus werden sie über Aktuatoren verfügen, die Feedbackmechanismen ermöglichen. Durch die Formgebung der einzelnen Module kann ein ToolKit wie Papier-Mâché eingesetzt werden, um prototypisch erste Versionen zu erstellen und zu testen. Ansätze wie SlapBook oder SurfaceWare (Dietz und Eidelson (2009)) zeigen, dass durch einfache Formgebung viel erreicht werden kann.

Eine Kombination dieser Eigenschaften ist erklärtes Ziel weiterer Arbeiten.

Literatur

- [Brooks Jr. 1977] BROOKS JR., F. P.: The computer 'scientist' as toolsmith — studies in interactive computer graphics. In: GILCHRIST, B. (Hrsg.): *Information Processing 77, Proc. IFIP Congress Bd. 7, 1977*, S. 625–634
- [Brooks Jr. 1965] BROOKS JR., Frederick P.: The Future of Computer Architecture. In: *Information Processing, Proceedings of IFIP Congress, Bd.2 S 87-91*. New York, NY, USA, 1965, S. 87–91
- [Dietz und Eidelson 2009] DIETZ, Paul H. ; EIDELSON, Benjamin D.: SurfaceWare: dynamic tagging for Microsoft Surface. In: *TEI '09: Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*. New York, NY, USA : ACM, 2009, S. 249–254. – ISBN 978-1-60558-493-5
- [Engelbart 1962] ENGELBART, Douglas C.: Augmented Human Intellect: A conceptual Framework. In: *AFOSR-3233 Summary Report 1* (1962), Oktober. – URL <http://www.doungengelbart.org/pubs/augment-3906.html>
- [Hellige 2005] HELLIGE, Hans D.: Krisenphasen und Innovationssprünge in der Geschichte der MMK / HCI. In: *GI Jahrestagung (1)*, 2005, S. 194–198

- [Ishii 2003] ISHII, Hiroshi: *Tangible bits: designing the seamless interface between people, bits, and atoms*. 2003
- [Ishii 2008] ISHII, Hiroshi: Tangible bits: beyond pixels. In: *TEI '08: Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*. New York, NY, USA : ACM, 2008, S. xv–xxv. – ISBN 978-1-60558-004-3
- [Kay 1989] KAY, Alan: *Predicting the future*. Magazine. 1989. – URL <http://www.ecotopia.com/webpress/futures.html>. – In: *Stanford Engineering*, 1, 1, S. 1-6
- [Klemmer u. a. 2004] KLEMMER, Scott R. ; LI, Jack ; LIN, James ; LANDAY, James A.: Papier-Mache: toolkit support for tangible input. In: *CHI '04: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 2004, S. 399–406. – ISBN 1-58113-702-8
- [Merrill u. a. 2007] MERRILL, David ; KALANITHI, Jeevan ; MAES, Pattie: Siftables: towards sensor network user interfaces. In: *TEI '07: Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*. New York, NY, USA : ACM, 2007, S. 75–78. – ISBN 978-1-59593-619-6
- [Newell 1985] NEWELL, Allen F.: Speech - The natural Modality for Man-Mashine Interaction? In: *Schackel, B. (Hrsg.), Human Computer Interaction, INTERACT'84* (1985), S. 232–253
- [Peled 1987] PELED, Abraham: The next computer revolution. In: *Sci. Am.* 257 (1987), Nr. 4, S. 56–64. – ISSN 0036-8733
- [Schilit u. a. 1994] SCHILIT, B ; ADAMS, N ; WANT, R: *Context-aware computing applications*. 1994
- [Turing 1986] TURING, Alan M.: Lecture to the London Mathematical Society on 20 February 1947. In: *M.D. computing: computers in medical practice* 12 (1986), September, Nr. 5, S. 390–397. – ISSN 0724-6811
- [Underkoffler und Ishii 1999] UNDERKOFFLER, John ; ISHII, Hiroshi: Urp: a luminous-tangible workbench for urban planning and design. In: *CHI '99: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 1999, S. 386–393. – ISBN 0-201-48559-1
- [Weiser 1991] WEISER, Mark: The Computer for the Twenty-First Century. In: *Scientific American* 265 (1991), S. 94–104
- [Weiser 1999] WEISER, Mark: The computer for the 21st century. In: *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 3 (1999), Nr. 3, S. 3–11. – ISSN 1559-1662

-
- [Weiss u. a. 2009] WEISS, Malte ; WAGNER, Julie ; JENNINGS, Roger ; JANSEN, Yvonne ; KHOSHABEH, Ramsin ; HOLLAN, James D. ; BORCHERS, Jan: SLAPbook: tangible widgets on multi-touch tables in groupware environments. In: *TEI '09: Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*. New York, NY, USA : ACM, 2009, S. 297–300. – ISBN 978-1-60558-493-5