

UBIQUITOUS COMPUTING: EIN NEUES KONZEPT DER MENSCH-COMPUTER- INTERAKTION UND SEINE FOLGEN

MICHAEL FRIEDEWALD

Im Laufe der achtziger Jahre etablierten sich Personal Computer als Arbeits- und Spielgeräte, seit Beginn der neunziger Jahre zunehmend auch als Kommunikations- und Informationsmedien für den Massenmarkt. Dabei setzten sich grafische Benutzeroberflächen mit Fenstern, Icons und Menüs als Paradigma der Mensch-Computer Interaktion durch (Friedewald 1999). Die Fortschritte im Rahmen dieses Paradigmas sind seither inkrementell, die Produkte der großen Hersteller kaum mehr voneinander zu unterscheiden. Tatsächlich zeigen heutige grafische Benutzeroberflächen die gleichen Schwächen, die bereits zur Zeit ihrer Entwicklung und Markteinführung kritisiert wurden – die Komplexität und nur scheinbare Intuitivität der Bedienung sowie die hohen Anforderungen an die Aufmerksamkeit, die den Nutzer von seiner Umgebung isoliert. Mittlerweile haben sich die meisten Computerbenutzer so an die Benutzungsschnittstellen ihres Computers gewöhnt, dass sie diese Gewöhnung mit der Benutzerfreundlichkeit des Computers verwechseln. Wehner und Rammert (1990, S. 229) sprechen im Zusammenhang mit dieser Veralltäglichung im Umgang mit den Unzulänglichkeiten der Technik von »Aneignungszumutungen« (vgl. auch Raskin 1994).

Heute verstehen sich »Ubiquitous Computing« bzw. »Ambient Intelligence« als eine Abkehr vom derzeit dominierenden Grundkonzept moderner grafischer Benutzungsschnittstellen bei Arbeitsplatzcomputern oder gar als »neues Paradigma« in der Entwicklung von Mensch-Computer-Interfaces (Remagnino et al. 2005). Im Folgenden soll der Entwicklung dieses Konzeptes sowie seiner möglichen Auswirkungen nachgegangen werden. Dabei wird der Frage nachgegangen, welche Vorstellungen die Entwicklung des Ubiquitous Computing antreiben und auf welchen Prämissen diese Leitbilder zurückgreifen.

Mensch-Computer-Interfaces jenseits der grafischen Benutzeroberflächen

Als sich in den achtziger Jahren die grafischen Benutzungsoberflächen kommerziell durchsetzten, begann eine junge Generation von Wissenschaftlern neue Vorstellungen über die Mensch-Computer-Interaktion zu entwickeln, die auf sozialwissenschaftlichen Forschungsergebnissen basierten (Turkle 1984; Suchman 1985; später auch Laurel 1993; Reeves/Nass 1996). Anthropologische und konstruktivistische Ansätze hatten seit Ende der 1970er Jahre Einzug in die Informatik gehalten. Eine Pionierin des anthropologischen Ansatzes war Lucy Suchman, die seit 1979 in jener Forschungsgruppe des Xerox Palo Alto Research Centers (PARC) arbeitete, die zur gleichen Zeit auch die ersten graphischen Benutzeroberflächen entwickelt hatte. Diese Gruppe hatte eine kognitionspsychologische Theorie des Interaktionsdesigns entwickelt, bei dem es vor allem um die Modellierung mentaler Nutzermodelle ging (Card et al. 1983).

Suchman verfolgte einen anderen Ansatz, indem sie vorschlug, diese Entwurfsmethodik durch Verfahren zur Beobachtung und Analyse individueller und kollektiver Praktiken im Umgang mit den neuen Informationstechnologien in konkreten Arbeitszusammenhängen zu ergänzen, um die stets auftretenden Unterschiede zwischen der modellhaften und der tatsächlichen Nutzung aufzudecken. Solche Unterschiede konnte sie in einer Reihe von experimentellen Untersuchungen auch praktisch nachweisen. Ihre Erfahrungen fassten Suchman und ihr Kollege Randy Triggs wie folgt zusammen:

»Designers interested in augmenting or replacing current artifacts [...] do well to understand how they work, as well as what their limits are. [...] Design realism can be achieved, we believe, through new methods for understanding the organization of work practice in detail.« (Suchman/Trigg 1991, S. 73)

Etwa zur gleichen Zeit stellten sich Byron Reeves and Clifford Nass an der Stanford University die Frage, ob eine Computer-Anwendung in ihren Dialoganteilen bei dem Benutzer ähnliche Emotionen und Einstellungen auslöste, als hätte diese menschliche Persönlichkeitseigenschaften.¹ In einer Vielzahl von empirischen Untersuchungen kamen sie zu dem Ergebnis, dass Menschen die Tendenz haben, die über Medien konstruierten (vir-

1 Die Erkenntnis, dass die Mensch-Computer-Kommunikation eine soziale Dimension besitzt, ist freilich keine völlig neue Erkenntnis der 1980er Jahre, sondern wurde u.a. schon in den 1960er Jahren von Joseph Weizenbaum im Zusammenhang mit seinem Programm »ELIZA« diskutiert (Weizenbaum 1966, 1990, S. 250-255).

tuellen) Welten mit dem realen Leben gleichzusetzen. Infolgedessen sei die Interaktion des Einzelnen mit dem Computer als Prozess der Wirklichkeitskonstruktion im Grunde sozialer Natur (Reeves/ Nass 1996).²

XEROX PARC und das Konzept des Ubiquitous Computing

Ende 1987 schlug eine Gruppe von Wissenschaftlern unter Leitung von Mark Weiser (1952-1999) am Xerox PARC vor, wandgroße flache Computerdisplays herzustellen (Abb. 1). Sie gingen davon aus, dass sich solche Displays nicht nur als Ausgabe-, sondern auch als Eingabemedium zur Nutzung mit elektronischen Stiften oder zum Einscannen von Dokumenten eignen könnten. Aus dieser Anfangsidee entwickelten die Wissenschaftler am PARC in den nachfolgenden Jahren eine ganze Reihe von neuartigen Displays unterschiedlicher Größe für verschiedene Arbeitszusammenhänge. Das Spektrum reichte dabei vom elektronischen Zettel für den individuellen Nutzer, über den elektronischen Notizblock bis zur fest installierten elektronischen Tafel zur Nutzung durch Gruppen, die insbesondere durch die Vernetzung untereinander als auch mit anderen Geräten einen zusätzlichen Nutzen bieten konnten (Want et al. 1995).

Die Entwicklungsarbeiten führten auch bald zu neuen Vorstellungen über den Nutzer und die Nutzung der Informationstechnik. Einerseits sollten mehrere Nutzer gleichzeitig an einer elektronischen Tafel arbeiten, andererseits würde der individuelle Nutzer neben seinem persönlichen Endgerät auch die an verschiedenen Orten fest installierten Displays verwenden (Weiser et al. 1999). Bei diesem Wandel der Nutzungsweisen spielten auch die Forschungsergebnisse von Lucy Suchman eine wichtige Rolle, die den Technologen vor Augen geführt hatte, dass es weniger auf die einzelnen Kenndaten der eingesetzten Technik ankomme, sondern vielmehr auf den detaillierten Einsatzkontext, also die Einbettung des Computers in das komplexe Bezugssystem der täglichen Arbeit:

»The idea of ubiquitous computing arose first from contemplating the place of today's computer in actual activities in everyday life. In particular, anthropological studies of work life [by Lucy Suchman and Jean Lave] teach us that

-
- 2 Die folgende Darstellung der Konzeptentwicklung bleibt auf den amerikanischen Kontext beschränkt. Es gab freilich während der 1970er und 1980er Jahre auch in Europa anthropologische Ansätze in der Informatik. Nach Wissen des Autors gab es allerdings kaum Rückwirkungen auf die Entwicklung in den USA. Vgl. etwa die Beiträge in Floyd et al. 1992 und Coy et al. 1992

people primarily work in a world of shared situations and unexamined technological skills. The computer today is isolated from the overall situation, however, and fails to get out of the way of the work« (Weiser 1993, S. 76).

Abb. 1: Ubiquitous Computing-Installation bei Xerox PARC mit LiveBoard und ParcPad (vorne rechts). Mark Weiser ist ganz links zu sehen. Quelle: Weiser 1991



All dies führte 1988 zu einer radikalen Kritik an dem am PARC selbst entwickelten und mittlerweile paradigmatischen Leitbild des »Personal Computing«:³

»Dass den PC weithin noch immer eine Aura des Geheimnisvollen umgibt, liegt nicht bloß an der so genannten Benutzerschnittstelle. Meine Mitarbeiter und ich am [...] PARC halten vielmehr die ganze Idee eines persönlichen Computers für eine Sackgasse; in unseren Augen sind handliche Laptop-Geräte, elektronische Notiz- und Wörterbücher (*dynabooks*) und sogenannte Wissensnavigatoren nur Vorstufen zur eigentlichen Informationstechnik der

3 Aus ähnlichen Erkenntnissen erwuchs bereits 1984 mit dem »Computer-supported cooperative work« (CSCW) ein anderes interdisziplinäres Konzept, dessen zentrale Forschungsgegenstände die Kooperationen zwischen Menschen und deren Unterstützbarkeit durch Rechner sind.

Zukunft. Mit solchen Geräten kann die Datenverarbeitung nicht wirklich zu einem integralen, unsichtbaren Bestandteil des Alltags werden. Darum suchen wir eine neue Haltung zum Computer zu entwickeln, die den Menschen in den Mittelpunkt stellt und die Computer im Hintergrund verschwinden lässt« (Weiser 1991, S. 92).

Weiser und seine Kollegen entwickelten diesen Gedanken weiter, indem sie die technologische Entwicklung extrapolierten und in ihre Vision mit einbezogen. Demnach eröffne die Hardwareentwicklung mit der weiteren Miniaturisierung elektronischer Schaltkreise bei gleichzeitig fallenden Preisen bereits in naher Zukunft die Möglichkeit zur Realisierung ihrer Vision einer im Hintergrund verschwindenden Computertechnik mit neuen Interaktionsformen (Rheingold 1994).

Im Jahr 1991 veröffentlichte Weiser seine Vision unter dem Titel »The Computer for the 21st Century« in einem Themenheft des populärwissenschaftlichen Magazins »Scientific American«, in dem auch andere Pioniere der Mensch-Computer-Interaktion ähnliche Ideen formulierten (Kay 1991; Tesler 1991). Er stellte in seinem Artikel die These auf, dass im 21. Jahrhundert allgegenwärtige Computer den Menschen unaufdringlich und unsichtbar bei seinen Tätigkeiten unterstützten und ihn von lästigen Routineaufgaben weitestgehend befreien würden. Er formulierte damit eine Vision, die der 30 Jahre zuvor von J. C. R. Licklider (1961) propagierten »Mensch-Computer-Symbiose« ähnelte. Weiser selbst nannte diese, das Verhältnis zwischen Menschen, Arbeit und Technologie völlig neu definierende Form der Datenverarbeitung »ubiquitous computing« und sah in ihr bereits eine neue Welle der Datenverarbeitung, die über die vorherigen Wellen des isolierten Computers (sei es als Mainframe oder als Personal Computer) und des Internet hinausweist:

»The third wave of computing is that of ubiquitous computing, whose crossover point with personal computing will be around 2005-2020. The »UC« [Ubiquitous Computing, d. Verf.] era will have lots of computers sharing each of us. Some of these computers will be the hundreds we may access in the course of a few minutes of Internet browsing. Others will be embedded in walls, chairs, clothing, light switches, cars - in everything. UC is fundamentally characterized by the connection of things in the world with computation. This will take place at a many scales, including the microscopic« (Weiser/Brown 1997, S. 77).

Im Gegensatz zum traditionellen Ansatz der Computertechnik, wo der Computer als Werkzeug im Vordergrund der Aktivitäten steht, basiert das Ubiquitous Computing auf dem Prinzip, den Computer als Artefakt im

»Hintergrund« verschwinden zu lassen. Um die Bedeutung des »Hintergrunds« näher zu erläutern, bezieht sich Weiser wie andere Vertreter eines konstruktivistischen Ansatzes in der Informatik auf Philosophen wie Martin Heidegger und Hans-Georg Gadamer. Demnach führt nicht die prinzipielle Vorhandenheit eines Werkzeugs zum Ziel, sondern nur dessen faktische Zuhilfenahme, die Heidegger als »Zuhandenheit« (Heidegger 2001, § 15) bezeichnet.

Einbettung in den Hintergrund sollte demzufolge in zweierlei Weise verstanden werden: Zunächst wörtlich als die physische Einbettung der Computertechnik in Werkzeuge, Gegenstände und die Umwelt. Im weiteren Sinne muss diese Einbettung so realisiert werden, dass das Computersystem, die Anwendung oder der Dienst sich nicht mehr mit den anderen menschlichen Aktivitäten überlagert. In der Heideggerschen Seinsanalyse enthüllt ein technisches Artefakt wie ein Hammer seinen wesenhaften Gehalt gerade nicht im deskriptiven Auflisten seiner Eigenschaften. Ein solches Werkzeug ist für seinen Nutzer als solches nicht existent, sondern Teil des Hintergrundes an Zuhandenheit, der als selbstverständlich vorausgesetzt wird. Erst im »Zusammenbruch«, also wenn das Werkzeug seinen Dienst versagt oder unerwartete Effekte auftreten, kommt sein Charakter dem Menschen zu Bewusstsein. Nur der umsichtige und zielgerichtete Gebrauch verleiht dem Artefakt den Modus der Zuhandenheit und enthüllt damit seine Bedeutung. Das Werkzeug wird damit zu einem von vielen als selbstverständlich erachteten Aspekt bei menschlichen Tätigkeiten.

Mit einer im Hintergrund verschwindenden Computertechnik könne man – so die Hoffnung der PARC-Wissenschaftler – zwei wichtige Ziele erreichen: Zunächst würde sie den Menschen bei der Durchführung spezifischer Aufgaben unterstützen. Gleichzeitig würde sie auch dazu beitragen, dass sich die Nutzung der Computertechnik nicht nur auf eine Gruppe von technisch versierten Nutzern beschränkt. Vielmehr erwartet Weiser, dass »die verkörperte Virtualität [...] den Computer [...] hinaus in alle gesellschaftlichen Gruppen« bringt (Weiser 1991, S. 101). Dies sind bis heute wünschenswerte Ziele in einer als Wissens- oder Informationsgesellschaft bezeichneten Welt und ein Hinweis auf die ungebrochene Attraktivität von Weisers Vision als Leitbild in Wissenschaft und Politik.

Der Artikel war in zweierlei Hinsicht einflussreich: er formulierte eine Forschungsagenda und ein Leitbild, das seither viele andere Forscher aufgegriffen und weiterentwickelt haben. Ubiquitous Computing ist also vor allem durch das mit ihm verbundene Zukunftsbild geprägt. In den vom Science Citation Index (SCI) erfassten Veröffentlichungen ist Weisers Artikel seit 1991 345-mal zitiert worden und tatsächlich wird seine dama-

lige Vision noch heute in vielen Publikationen diskutiert.⁴ Dies ist umso bemerkenswerter als die seither vergangenen 16 Jahre in der Welt der Informationstechnik eine Ewigkeit darstellen und die wissenschaftlich-technischen Voraussetzungen heute ganz andere sind als im Jahr 1991, als es weder das World Wide Web noch GSM-Mobiltelefonie gab.

Heute wie schon 1991 werden gern Bilder einer nahen Zukunft gezeichnet, in der die Versprechungen des Ubiquitous Computing in Bezug auf eine unsichtbare und intelligente Unterstützung des Alltags eingelöst sind. Damit stellt sich automatisch die Frage, ob und ggf. warum diese nicht längst Realität geworden sind. Darauf gibt es eigentlich nur zwei mögliche Antworten: Entweder sind die entworfenen Zukunftsbilder grundsätzlich nicht einlösbar oder sie sind durch eine Vielzahl von inkrementellen Fortschritten bereits unmerklich realisiert worden.

Als wichtigstes Missverständnis bei der Rezeption von der ursprünglichen Vision hat sich im Rückblick das Versprechen erwiesen, Informationstechnik könne wirklich jemals aus dem Blick des Menschen verschwinden, würde unsichtbar und lautlos funktionieren. Die Erfahrung lehrt aber, dass Infrastrukturtechniken – und nichts anderes ist Ubiquitous Computing – wegen ihrer Heterogenität notorisch sichtbar bleiben und von den Nutzern sogar ganz besonders sorgfältig beobachtet werden, sei es aus Fragen des Zugangs oder der Abrechnung. Diese Art von Unordnung ist aber keine Besonderheit einer frühen Entwicklungsphase, sie verschwindet nicht mit der Reife der Technologie, sondern charakterisiert große Infrastrukturen auch noch Jahrzehnte nach ihrer Verbreitung, wie der Blick auf die Energie- oder Verkehrsinfrastruktur zeigt (Star 2002). Die Vision einer nahtlos funktionierenden einheitlichen Infrastruktur ist also bestenfalls das Trugbild einer niemals realisierbaren Welt.

Dies bedeutet aber nicht, dass es keine wichtigen Fortschritte auf dem Weg zu einer Allgegenwärtigkeit der Informationstechnik gegeben hat, auch wenn diese nicht im wörtlichen Sinne aus dem Blick der Nutzer verschwunden ist. Man kann sogar konstatieren, dass Weisers Vorhersagen für die nahe Zukunft, die längst unsere Gegenwart ist, bemerkenswert genau waren. Bereits 2002 wurde in der Welthandelsstatistik für Halbleiter festgestellt, dass deutlich über 90 % der Mikroprozessoren eingebettete Prozessoren sind, die ihren Dienst in einer Vielzahl von Industrie- und Konsumprodukten verrichten: Im Fernseher und im Mobiltelefon, aber auch Auto und der heimischen Waschmaschine. Dieser Trend hat sich in

4 Tatsächlich ist Weisers Artikel eine so genannte »sleeping beauty« (van Raan 2004), d.h. eine Veröffentlichung, die ihrer Zeit voraus ist und für einige Jahre »schläft«. Im Durchschnitt werden wissenschaftliche Artikel 4 Jahre nach ihrer Veröffentlichung am häufigsten zitiert, danach nimmt die Zitationshäufigkeit stark ab. Weisers Artikel wurde aber in den ersten 10 Jahren kaum wahrgenommen und wird seit 2003 bis heute häufig zitiert.

den vergangenen Jahren weiter fortgesetzt. Computer bzw. Rechenleistung ist also längst ubiquitär, nur dass die Benutzer davon nichts merken, weil die Technologie unsichtbar geworden ist und hinter der Funktionalität völlig zurücktritt. Ähnliches ist seit den späten 1990er Jahren auch in der mobilen Kommunikation geschehen. Hier ist die Informationstechnik heute z. B. in Form von Smartphones und einer Vielzahl so genannter »mobile appliances« nicht mehr wegzudenken. Insbesondere in Ostasien gibt es mittlerweile die ersten All-over-mobiles-Gesellschaften, in denen Kommunikationsmöglichkeiten allgegenwärtig sind und sogar eine gemeinschaftsstiftende Funktion besitzen (Lie 2005; Bell 2006). Mit RFID-Anwendungen in Logistik- und Warenwirtschaftssystemen beginnen Konzepte des Ubiquitous Computing schließlich seit einigen Jahren ganz langsam auch in betriebliche Abläufe Einzug zu halten (Fleisch/Michahelles 2007).

Obwohl all diese Entwicklungen den Einstieg in das Ubiquitous Computing verkünden, fehlt es noch an der umfassenden kommunikationstechnischen Infrastruktur und der Integration der verschiedenen Anwendungen. Und auch das proaktive Zusammenwirken von Programmintelligenz zwischen Alltagsgegenständen und -prozessen und ihren Nutzern realisiert sich nur langsam. Dabei ist es allerdings wenig wahrscheinlich, dass der Personal Computer, wie von Weiser propagiert, vollständig abgelöst wird, u.a. weil zweifelhaft bleibt, ob das Verschwinden des Computers in den Hintergrund überhaupt von den Nutzern gewünscht ist.

Andere Begriffe - ähnliche Konzepte

Trotz der intensiven Rezeption und wegweisender Wirkung von Weisers Arbeiten entstanden in den 90er Jahren eine ganze Reihe ähnlicher Konzepte bzw. Begriffe, von denen Nomadic Computing, Pervasive Computing und Ambient Intelligence die wohl bekanntesten sein dürften.

Nomadic Computing

Leonard Kleinrock, Professor an der University of California in Los Angeles und einer der Väter des Internet, bezeichnete 1995 Formen mobiler Computernutzung als »nomadic computing«, weil im Zuge der globalen Computervernetzung *nomadische* Arbeitsformen zugenommen hätten:⁵

5 Entsprechend häufig war das Konzept des »nomadic computing« auch mit der Diskussion um die »Telearbeit« verbunden, die erst um das Jahr 2000 abebbte. Vgl. hierzu etwa Jackson/Van der Wielen 1998.

»[Many] users may be considered to be nomads, in that they own computers and communication devices that they carry about with them in their travels as they move between office, home, airplane, hotel, automobile, branch office, etc. [...] We now recognize that access to computing and communications is necessary not only from one's »home base«, but also while one is in transit and when one reaches one's destination. [Nomadicity may be defined as] the system support needed to provide a rich set of capabilities and services to the nomad as he moves from place to place in a transparent and convenient form« (Kleinrock 1995, S. 37).

Demnach bewegen sich nomadische Computer physikalisch mit dem Besitzer, unterscheiden sich aber sonst nicht von einem stationären Computer. Eine dynamische Anpassung an bzw. Einbettung in die jeweilige Umgebung wie in Weisers Konzept war nicht vorgesehen. Nomadische Computersysteme sind mit der Verbreitung von Internet und tragbaren PCs zum Normalfall geworden, auch wenn die Herstellung des Netzzugangs in wechselnden Umgebungen im Detail durchaus immer noch seine Tücken haben kann.

Pervasive Computing

Während die Wissenschaftler des PARC unter dem Begriff Ubiquitous Computing eine akademisch-idealistische Langfristvision entwickelten, hat die Industrie in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre den Begriff des »Pervasive Computing« geprägt, der für eine pragmatischere Variante von Weisers Vorstellungen steht. Ihren Ursprung hatte das Konzept in einem strategischen Projekt der Firma IBM, in der es darum ging, die sich in den 1990er Jahren abzeichnenden Trends in der Vernetzung und bei der Mobilkommunikation in die Zukunft fortzuschreiben. Das Ergebnis dieser Überlegungen, das von IBM-Chef Lou Gerstner im Frühjahr 1998 auf der Computermesse CeBit in Hannover erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt wurde, beschrieb Mark Bregman, der Leiter des Projekts folgendermaßen:

»Pervasive computing is about enabling people to gain immediate access to information and services anywhere, anytime, without having to scrounge for a phone jack. However, while mobility and wireless technology are a big part of it, it's really about making e-business personal. Thanks to the explosive growth of the Internet, people will soon expect to be able to engage in electronic business effortlessly.« (Bregman 1998)

Anders als bei Mark Weiser war das Konzept des Pervasive Computing also nicht mit einer fundamentalen Kritik des Personal Computers verbunden. Ganz im Gegenteil wurde argumentiert, die Grundidee sei ähnlich wie die des Personal Computers, weil der Nutzer in die Lage versetzt werde, jederzeit und überall mit einem beliebigen Endgerät auf seine Daten zugreifen zu können. Der Schlüssel dazu sollte ein verteiltes Netzwerk (wie das Internet) sein, das eine Vielzahl von unterschiedlichen Endgeräten, von denen die Mehrheit keine PCs sein würden, miteinander verband. Gerstner sprach in diesem Zusammenhang von »a billion people interacting with a million e-businesses with a trillion intelligent devices interconnected« (Gerstner 1997, zitiert in Mattern 2003, S. 5).

Auch beim Pervasive Computing geht es also um allgegenwärtige Informationsverarbeitung, allerdings mit dem Ziel, diese durch die Verwendung von (zum Teil) vorhandenen Mobile-Computing-Technologien schon kurzfristig nutzbar zu machen. Dabei standen insbesondere E-Commerce-Szenarien und Web-basierte Geschäftsprozesse im Fokus der Entwickler. Beim Pervasive Computing spielten deshalb zunächst mobile Endgeräte für den Informationszugriff (PDAs, Mobiltelefone etc.), Kommunikationskonzepte (wie WAP und Bluetooth), Techniken zur anwendungsunabhängigen Datenrepräsentation sowie Betriebssoftware für Chipkarten und PDAs genauso eine Rolle wie Middleware für verteilte Systeme und Methoden der Kryptographie. Im industriellen Umfeld spiegelte sich dieser Trend u. a. auch in der steigenden Bedeutung von Portaltechnologien wider, bei denen zusätzlich zum klassischen Zugang über den Web-Browser die drahtlosen, beweglichen Zugangsmedien auch im Geschäftsumfeld an Bedeutung gewinnen. Insgesamt ergaben sich durch (teilweise ungeplante) Integrationseffekte auch ganz neuartige Anwendungsszenarien wie z. B. ortsbezogene Dienste (*location based services*) (Ark/Selker 1999; Hansmann et al. 2001).

Hatte das Pervasive Computing anfangs mehr Ähnlichkeit mit dem Nomadic Computing, so näherte sich die damit verbundene Vision immer mehr der des Ubiquitous Computing an (vgl. etwa BSI 2006). Dies hatte einerseits mit der Wirkungsmächtigkeit von Weisers Konzept zu tun, das allmählich alle anderen Konzepte überformte, andererseits gehören die von der Industrie zunächst angestrebten mobilen Lösungen mittlerweile zum Alltag der mobilen Kommunikation.

Ambient Intelligence

Nach 1999 wurde in Europa der noch weiter reichende Begriff »Ambient Intelligence« popularisiert, der ursprünglich von Emile Aarts von Philips Research vorgeschlagen und schon kurz darauf von der »Information

Society Technologies Advisory Group« der Europäischen Kommission (unter dem Vorsitz von Aarts) aufgegriffen wurde (Aarts/Appelo 1999; ISTAG 2001, 2003). In der Folge wurde Ambient Intelligence im Rahmen des Fünften und Sechsten Forschungsrahmenprogramms zu einem wichtigen Forschungsschwerpunkt im Bereich der Information Society Technologies für die Jahre 2002 bis 2006 mit einem Budget von 35 Millionen EUR (Programm »The Disappearing Computer«).⁶

Zu den Charakteristika der Ambient Intelligence gehören neben der informationstechnischen Durchdringung des Alltags auch Aspekte der Mensch-Maschine-Kommunikation und der künstlichen Intelligenz. Man stellt sich dabei vor, dass eine intelligente Technik dem Menschen ständig unterstützend zur Verfügung steht, diese aber selbst praktisch unsichtbar wird. Dabei sollen Alltagsgegenstände zu aktiven, kommunikationsfähigen Subjekten werden und der dinglichen Welt eine ganz neue Eigenschaft verleihen: Diese wird reaktionsfähig, passt sich den aktuellen Bedürfnissen des Menschen an und steigert damit dessen Leistungsfähigkeit und Lebensqualität (Abb. 2). Dies klingt zunächst stark nach der ursprünglichen Grundidee des Ubiquitous Computing, betont aber, zumindest in der von der Europäischen Kommission verwendeten Lesart, nicht so sehr die technischen Aspekte als vielmehr die Bedürfnisse des einzelnen Nutzers wie auch der Gesellschaft (Europäische Kommission 2003). Mit Blick auf die so genannte Lissabon-Strategie der Europäischen Union aus dem Jahr 2000 sollte Ambient Intelligence die Wettbewerbsfähigkeit des europäischen Wirtschaftsraums fördern, den Übergang zu einer dynamischen Wissensgesellschaft unterstützen und dabei auf die gesellschaftlichen Bedürfnisse reagieren und insbesondere die soziale Kohäsion fördern. Nach der – in typisch floskelhaftem Europeak formulierten – Einschätzung der IST Advisory Group hat Ambient Intelligence für Europa ein erhebliches Nutzenpotenzial in Bezug auf

- »Modernising the European social model particularly in terms of: improving civil security; providing new leisure, learning and work opportunities within the networked home; facilitating community building and new social groupings; providing new forms of healthcare and social support; tackling environmental threats; supporting the democratic process and the delivery of public services.
- Improving Europe's economy in terms of: supporting new business processes; increasing the opportunities for tele-working in the networked home.

6 Auch wenn sich das europäische Programm gern von der als zu hardwareorientiert bezeichneten Entwicklung in den USA abgrenzt, knüpft es dennoch auch an aktuelle US-Forschungen an (vgl. etwa. Norman 1998; Denning 2002).

ked home; enhancing mobility and improving all forms of transport; supporting new approaches to sustainable development« (ISTAG 2003, S. 31; vgl. auch Burgelman/Punie 2005).

Abb. 2: Die banale Realität der Philips-Vision: Eine allgegenwärtige Medienwelt. Quelle: Aarts/Marzano 2003



Trotz der erwähnten Unterschiede gibt es in den programmatischen Papieren von Aarts oder der ISTAG keine klare Abgrenzung zu den Begriffen Ubiquitous und Pervasive Computing. Ein gewisser Unterschied dürfte aber die Tatsache sein, dass das Interaktions- oder Nutzungsparadigma (eben nicht nur »Computing« oder »Communication«) bei Ambient Intelligence nicht festgelegt ist. Grob gesprochen ist das Aufgabengebiet durch die intelligente Interaktion von Benutzern mit der jeweiligen Umgebung charakterisiert. Im Vordergrund steht dabei die Intelligenz, die sich in den von dem Anwender verwendeten Zugangsgeräten, in einem Netzwerk, in den zugegriffenen Medien/Informationen oder der Umgebung manifestieren kann.

Alles in allem kann man konstatieren, dass die Unterscheidung der Begriffe Ubiquitous Computing, Pervasive Computing und Ambient Intelligence in der Praxis eher akademischer Natur ist: Gemeinsam ist allen das Ziel einer Unterstützung des Menschen sowie einer durchgängigen Optimierung wirtschaftlicher und sozialer Prozesse durch eine Vielzahl

von in die Umgebung eingebrachten Mikroprozessoren und Sensoren. Zusammenfassend sind sie durch folgende Merkmale gekennzeichnet (Abb. 3):

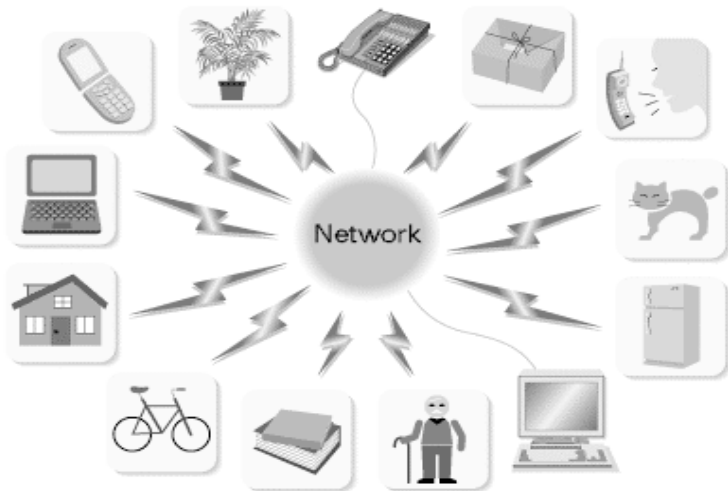
- Einbettung: IuK-Hardware wird immer kleiner und portabler und kann deshalb immer mehr in andere Geräte und Gegenstände des täglichen Gebrauchs eingebettet werden, die nach außen hin nicht mehr den Charakter eines Computers besitzen.
- Vernetzung: IuK-Systeme sind in der Regel miteinander vernetzt, sowohl lokal als auch global, über das Internet, Mobilfunk und neue Netzwerktechnologien.
- Intelligenz und Kontextsensitivität: IuK-Systeme sammeln immer mehr Informationen über ihre Umgebung. Auf dieser Basis treffen sie zunehmend autonome Entscheidungen, die sie selbstlernend verbessern können.
- Modularität: IuK-Systeme sind zunehmend modular aufgebaut und lassen sich mit anderen IuK-Systemen kombinieren. In ihrer spontanen, gemeinsamen Kommunikation und Interaktion sollen sie die limitierte Funktionalität der einzelnen Komponente überwinden und neue synergetische Qualitäten und Funktionalitäten für den Nutzer schaffen.

Herausforderungen allgegenwärtiger, vernetzter und individualisierter Informationssysteme

Was bedeutet es, wenn der Computer als Gerät verschwindet, er eine Symbiose mit den Dingen der Umwelt eingeht und höchstens noch als eine Art unsichtbare Hintergrundassistentz wahrgenommen wird? Angesichts der zu erwartenden Durchdringung vieler Lebensbereiche mit allgegenwärtiger Informationstechnik und den daraus resultierenden wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen stellt sich verstärkt auch die Frage nach den vorhandenen Gestaltungsspielräumen. Ihre Beantwortung ist gleichermaßen ein technisches und ökonomisches wie auch ein politisch-juristisches Problem.

Technisch betrachtet stellt Ubiquitous Computing zwar nur eine neue Stufe im Trend zu mobiler Kommunikation und individualisierter Information dar, dennoch besitzt sie das Potenzial für tiefgreifende Veränderungen für den Einzelnen wie für die Gesellschaft im Ganzen.

Abb. 3: Das Netz als Mittelpunkt des Ubiquitous Computing,
 Quelle: NTT Communications



Ubiquitous computing will enable diverse wireless applications, including monitoring of pets and houseplants, operation of appliances, keeping track of books and bicycles, and much more.

Für dieses Veränderungspotenzial zeichnen vor allem zwei zentrale technische Innovationen verantwortlich: zum einen die massiv erhöhten Kapazitäten zur technischen Erfassung und Speicherung alltäglicher Aktivitäten und Interaktionen von Privatpersonen in vielfältigen Ausprägungen sowie über große Distanzen und Zeiträume hinweg, zum anderen die gesteigerten Fähigkeiten zur schnellen Durchsuchung von großen Datenbanken, womit zusätzliche Möglichkeiten zur Erstellung von personenbezogenen Datenprofilen und anderen Formen des Data Mining einhergehen (Bohn et al. 2004). Einer der führenden Experten auf diesem Gebiet hat folgende allgemeine Problembereiche identifiziert, mit denen die Nutzer bzw. Betroffenen von Ubiquitous Computing sehr wahrscheinlich konfrontiert sein werden (Ackerman 2004, S. 430):

- Ein allgegenwärtiges Netzwerk von Anwendungen und Kommunikationen zieht einen *massiven Anstieg bei der Erhebung und Übermittlung personenbezogener Daten* nach sich.
- Die Einführung von biometrischen Verfahren und Wahrnehmungssensoren für bestimmte Anwendungen wird die *Qualität der im Umlauf befindlichen personenbezogenen Daten verändern*.

- Um personalisierte Dienste anbieten zu können, wird durch Ubiquitous Computing-Systeme ein *Großteil des Alltagslebens digital erfasst und gespeichert*.

Freilich gilt, dass sich diese Effekte im Zuge der technischen Entwicklung erst sukzessive entfalten werden. Obwohl sich diese Zukunftsvisionen aus heutiger Warte noch weitgehend wie Science-Fiction ausnehmen, ist eine frühzeitige Auseinandersetzung mit den potenziellen Risiken der Technologie erforderlich, sollen künftige Entwicklungen in gesellschaftlich erwünschte Bahnen gelenkt werden. Weil die grundlegende Technik für die Realisierung der Ubiquitous Computing-Visionen heute noch nicht existiert, gestaltet sich eine Folgenbewertung schwierig. Aus diesem Grund wurden die fiktiven Szenarien im Sinne erdachter, aber paradigmatischer Anwendungsbeispiele systematisch im Sinne eines problemorientierten Leitbildassessments (Grunwald/Grin 1999; Wright et al. 2007) analysiert, wobei normative Elemente stärker betont werden.

Gemeinsam ist vielen Entwürfen einer vernetzten und von Informationstechnik durchdrungenen Welt die Neudefinition der Beziehung zwischen Mensch und Technik. Elemente, die vormals einem autonomen menschlichen Nutzer zugeschrieben wurden, wie zum Beispiel Urteilsvermögen oder rationales Handeln, erscheinen nun als Ausdruck wechselnder Interaktionen des Menschen mit seiner sozialen und dinglichen Umwelt. Die materielle Umgebung erfährt als Bestandteil der menschlichen Identität eine Aufwertung. Sie erscheint nicht länger »neutral«, sondern wird selbst zum Akteur im sozio-technischen System in grundlegender Weise.

Eine solche Auffassung fand mit der Etablierung des Internet einen Bezug zur elektronischen Kommunikation. Beispielfhaft hierfür sind problematische Konzepte zur Übertragung der menschlichen Vernunft in das Internet, die Idee der Intersubjektivität durch vernetzte Informationsbestände oder die Annahme einer Repräsentation des modernen, dezentralen Bewusstseins durch Hypertextstrukturen (Hellige 2000). Auch in der populären Kultur fand der Gedanke einer innigen Verbindung von menschlicher Identität und computerisierter Kommunikationstechnik durch zahlreiche Filme, Romane und Comics Verbreitung. Die digitale Kommunikation stellt sich nach Auffassung von Vordenkern des Cyberspace als quasi natürliche Konstitutionsbasis der menschlichen Identität dar und etabliert eine neue digitale Seinsform. Nicholas Negroponte schrieb beispielsweise: »[I]n der Digitalzeit müssen wir nicht auf eine Erfindung warten – das digitale Leben ist bereits hier und jetzt vorhanden. Und man kann es fast als vererbbar bezeichnen; vererbbar insofern,

als dass jede Generation ein wenig digitaler werden wird als die Generation davor« (Negroponte 1997, S. 280).

Man kann bezweifeln, ob die Entstrukturierung und Entkopplung von der realen Welt tatsächlich durch digitale Kommunikation ausgelöst wird (vgl. Stegbauer 2001). Tatsächlich ist die propagierte enge Verbindung zwischen menschlicher Identitätsbildung und Informationstechnik keine zwangsläufige Entwicklung wie von den Evangelisten des digitalen Lebens gerne apodiktisch behauptet, sondern nur *eine*, durchaus gestaltbare Entwicklung.

Ubiquitous Computing vervollständigt die historische Ausdifferenzierung medialer Interaktionswelten, indem sie auch den Bereich der gegenständlichen Umgebung erfasst. Nicholas Negroponte bezeichnet mit Blick auf eine allgegenwärtige Computertechnik die Welt als »aufgefaltetes Gehirn«. In Szenarien werden Identität und Persönlichkeit gern als sozial situierte Erscheinungen dargestellt und der menschliche Nutzer als grundlegender Teil eines soziotechnischen Netzwerkes eingeführt: »Maintaining existing relationships and creating new ones is an essential feature of human life« (ISTAG 2001: 32).

Sie folgen damit insbesondere postmodernen Theorien etwa von Gilles Deleuze, die die Neigung der menschlichen Selbstwahrnehmung zur Definition durch die Umwelt betonen, auch wenn diese selbst eine artifizielle, durch die Informationstechnik geschaffene Umwelt ist. Eine Vielzahl von Mikroprozessoren und Sensoren sorgt in der postmodernen Vorstellung für eine weit gehende Medialisierung der dinglichen Umgebung. Pointiert ausgedrückt kann man sagen, dass die Umgebung durch Ubiquitous Computing selbst zum Programm des neuen Mediums wird.

Auf diese Weise geht Ubiquitous Computing über den bloßen Charakter einer virtuellen Realität hinaus und erhebt den Anspruch eine neue Form von Wirklichkeit zu sein:

»[Ubiquitous Computing] automatisiert die Abbildung der realen Welt der Menschen, Produkte und Betriebsmittel in die virtuelle Welt des Internets, [...] und ersetzt damit den Menschen als Mediator zwischen realer und virtueller Welt.« (Fleisch et al. 2003: 12)

Nach der Auffassung einflussreicher Denkschulen (von George Herbert Mead über Max Scheler bis zum postmodernen Konstruktivismus) entsteht Wirklichkeit aber auf der Basis individueller Widerstandserfahrungen (vgl. Berger/Luckmann 1980; Di Blasi 2003). Solche Widerstandserfahrungen werden in Visionen des Ubiquitous Computing antizipiert und sollen explizit abgebaut werden. Widerstandserfahrungen werden zwar stets im Zuge der Diffusion neuer Technologien vermindert, aller-

dings wurde bislang der Widerstandsabbau explizit an die Technik delegiert und nicht bereits in der Lebenswelt angelegt. Ein Teil des Ubiquitous Computing-Leitbildes ist der »Kontextsensitivität« des Systems verpflichtet. Hier wird die veränderte Bedeutung von Wirklichkeit und Widerstandserfahrung deutlich. Die Kontextsensitivität des Menschen liegt gerade darin, aus der Vielfältigkeit der Welt seine individuelle Wirklichkeit zu konstruieren. Damit technische Systeme kontextsensitiv werden, müssen die einschlägigen Handlungsumgebungen bereits dekontextualisiert sein. Denn in der Vielfältigkeit ihrer Merkmale sind sie für die technischen Systeme nicht greifbar, sondern nur bezüglich ausgewählter, herausgestellter Merkmale. Sie müssen bereits vorab explizit gemacht und mögliche Interaktionen strukturiert werden.

In den Szenarien, wie sie von der IST Advisory Group (ISTAG 2001) oder im Rahmen des deutschen Futur-Prozesses (BMBF 2003) entwickelt wurden, wird die Individualität der Nutzer in besonderer Weise hervorgehoben. Insbesondere in der Innovationspolitik wird in diesem Zusammenhang der Begriff der »personalisierten Interaktionswelten« benutzt, er beschreibt die Entfaltung der Netzwerkorganisation von individuellen Nutzungsanforderungen aus. Anwendungen des Ubiquitous Computing, die die Herstellung interaktiver Beziehungen unterstützen, sollen nach diesem Verständnis Alternativen zu technikgetriebenen Innovationsmodellen bilden. Anwendungen wie beispielsweise das intelligente Haus oder der persönliche Softwareagent sind nach dem Bild eines Dieners an die Bedürfnisse ihrer Besitzer angepasst. Ubiquitous Computing ist in diesen Szenarien ein zusätzlicher Baustein zur weiteren Individualisierung des Mediengebrauchs, wobei die Erhaltung von Autonomie und Individualität der Nutzer gegenüber der Technik durch eine perfektionierte Adaption an seine Bedürfnisse im Vordergrund steht (ISTAG 2001, S. 1).

Die Integration von vernetzten Mikroprozessoren, Sensoren und Software-Anwendungen in unsere alltägliche Lebenswelt gibt dieser in der Wahrnehmung den Charakter eines scheinbar sozialen Gegenübers. Es ist allerdings unklar, ob Kommunikation in Form einer »Ansprache« durch intelligente Gegenstände tatsächlich eine quasi-soziale Interaktion im Sinne von Reeves und Nass ergibt (vgl. Kiesler/Sproull 1997).

Dennoch ist die Annahme begründet, dass Ubiquitous Computing durch seine Allgegenwärtigkeit eine Art Öffentlichkeit schafft, nach der die Nutzer ihr Verhalten ausrichten. Gerade aufgrund der Vernetzung digitaler Kommunikation, also aufgrund ihrer Reichweite in den öffentlichen Bereich (das Internet) oder der Weitergabe von Daten an intelligente Gegenstände (Smart Objects), aber auch aufgrund einer Undurchschaubarkeit bei der Verwendung von personenbezogenen Daten, kann andererseits in einer intelligenten Umgebung schnell ein mehr oder weniger

diffuses Gefühl des Beobachtetwerdens entstehen. Aus dem Empfinden, durch eine allgegenwärtige Computertechnik mit einem sozialen Gegenüber konfrontiert zu sein, kann es so zur Selbstdisziplinierung oder Selbstinszenierung des Nutzers in Hinblick auf diesen Konformitätsdruck kommen (Bohn et al. 2004).

Ubiquitous Computing soll einen intuitiven Zugang zu den Dienstleistungen der Informationsgesellschaft ermöglichen. Im Rahmen der Anwendungsentwicklungen ist die Vorstellung selbstständig kommunizierender Computer oder auch einer engen, gleichsam symbiotischen Mensch-Maschine-Interaktion vorherrschend. In einer »smarten«, informationstechnisch erfassten Umgebung wird suggeriert, die Dinge selbst gäben über sich Auskunft. Die »intelligente Umgebung« erscheint so als eine Dopplung der natürlichen Umwelt. Trotzdem impliziert eine Welt intelligenter Gegenstände häufig unerkannt eine Prägung der dinglichen Umgebung mit Informationen und Handlungsdispositionen, die bereits durch andere Menschen vorstrukturiert, interpretiert und bewertet wurden. Die Prägung entspricht verschiedenen Adaptionen wie zum Beispiel dem angenommenen oder erwünschten Nutzerverhalten. Die erstrebten Rationalisierungs- und Dienstleistungseffekte sind jedoch abzuwägen gegen den Wegfall produktiver Widerstandserfahrungen, die für die Herausbildung individueller Identität sowie der Entwicklung und Anpassung individueller Kompetenzen unverzichtbar sind.

Ubiquitous Computing ruft aber nicht nur eine stärkere Vorstrukturierung des Handlungsraums, sondern auch des Erfahrungsraums hervor. An jeder Stelle treffen Nutzer moderner Informationstechniken auf einen Bestandteil des Gesamtsystems, ob in einem smart home, dem intelligenten Büro oder dem virtuellen Fitnessclub. Wie in der Parabel vom Hasen und Igel, ist das so genannte »Evernet« (Accenture/CERIAS 2001) immer schon da. Ubiquitous Computing macht die Welt in einem hohen Maße verfügbar und kontrollierbar. Es integriert das Prinzip der Nützlichkeit nicht nur in die Gegenstände selbst, sondern funktionalisiert sie als Bausteine für einen umfassend zweckrationalen Zusammenhang. Dies hat Konsequenzen für den Umgang des Menschen mit sich selbst, den Umgang der Menschen miteinander und mit der dinglichen Welt nicht zuletzt weil Selbstzwecklichkeit, Freiheit und Kreativität Selbstzuschreibungen des Menschen sind, die seine Individualität und den Begriff der Menschenwürde begründen.

Eine Gesellschaft, in der Individualität und Persönlichkeit durch äußere Erfahrungswelten und soziale Bindungen definiert werden, steht vor der Aufgabe, diese Außenwelt auch in Hinblick auf das Fremde und Unverfügbare vielseitig zu gestalten. Nur so kann sichergestellt werden, dass Individuen dauerhaft ihre Fähigkeit zu unabhängiger, spontaner

Reflexion und eigenständiger Kritik entwickeln und nutzen. Individualität liegt nicht nur im Menschen selbst, sondern erfordert auch Freiheiten von einem omnipräsenten informationstechnisch vorstrukturierten Erfahrungsraum.

Literatur

- Aarts, E./Appelo, L. (1999): »Ambient Intelligence: Thuisomgevingen van de toekomst«. In: IT Monitor 9/1999, S. 7-11.
- Aarts, E./ Marzano, St. (Hg.) (2003): »The New Everyday: Views on Ambient Intelligence«. Rotterdam.
- Accenture/CERIAS (2001): »CERIAS Security Visionary Roundtable: Call to Action«. West Lafayette, IN.
- Ackerman, M. S. (2004): »Privacy in Pervasive Environments: Next Generation on Labelling Protocols«. In: Personal and Ubiquitous Computing 8, 6, S. 430-39.
- Ark, W. S./Selker, T. (1999): »A Look at Human Interaction with Pervasive Computers«. In: IBM Systems Journal 38. Jg., H. 4, S. 504-507.
- Bell, G. (2006): »Satu Keluarga, Satu Komputer (One Home, One Computer): Cultural Accounts of ICTs in South and Southeast Asia«. In: Design Issues 22, 2, S. 35-55.
- Berger, Th. L./Luckmann, T. (1980): »Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit: Eine Theorie der Wissenssoziologie«. Frankfurt.
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2003): »Futur: Der deutsche Forschungsdialog: Eine erste Bilanz«. Berlin.
- Bohn, J./Coroama, V./Langheinrich, M. et al. (2004): »Living in a World of Smart Everyday Objects – Social, Economic, and Ethical Implications«. In: Journal of Human and Ecological Risk Assessment 10, 5, S. 763-786.
- Bregman, M. (1998): »The Convenience of Small Devices: How Pervasive Computing Will Personalize E-Business (Interview with Mark Bregman)«. http://domino.watson.ibm.com/comm/wwwr_thinkresearch.nsf/pages/bergman398.html (zuletzt abgerufen am 16.02.2007).
- BSI (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) (2006): »Pervasive Computing: Entwicklungen und Auswirkungen«. Ingelheim.
- Burgelman, J.-C./Punie, Y. (2005): »Information, Society and Technology«. In: »True Visions: The Emergence of Ambient Intelligence«, hg. v. Aarts, E./Encarnação, J. L., Berlin, Heidelberg, New York. S. 17-33.
- Card, St. K./Moran, Th. P./Newell, A. (1983): »The Psychology of Human-Computer Interaction«. Hillsdale, N J.
- Coy, W./Nake, F./Pflüger, J.-M. et al. (Hg.) (1992): »Sichtweisen der Informatik«. Braunschweig, Wiesbaden.

- Denning, P. J. (Hg.) (2002): »The Invisible future: The seamless integration of technology into everyday life«. New York.
- Di Blasi, L. (2003): »Die Räume der Kybernetik«. In: Trans - Internet-Zeitschrift für Kulturwissenschaften H. 15. http://www.inst.at/trans/15Nr/10_4/blasi_Luca15.pdf
- Europäische Kommission (2003): »Arbeitsprogramm zum spezifischen Programm im Bereich der Forschung, technologischen Entwicklung und Demonstration: »Integration und Stärkung des Europäischen Forschungsraums«. Spezifische Maßnahmen für die wissenschaftliche Unterstützung der Politik im Rahmen der »Unterstützung der Politiken und Planung im Vorgriff auf den künftigen Wissenschafts- und Technologiebedarf« (SSP Call 3)«. Brüssel.
- Fleisch, E./Mattern, F./Billinger, St. (2003): »Betriebswirtschaftliche Applikationen des Ubiquitous Computing: Beispiele, Bausteine und Nutzenpotenzial«. In: HMD. Theorie und Praxis der Wirtschaftsinformatik, H. 229, S. 5-15.
- Fleisch, E./Michahelles, F. (2007): »Messen und Managen – Bedeutung des Ubiquitous Computing für die Wirtschaft«. In: »Die Informatisierung des Alltags: Leben in smarten Umgebungen«, hg. v. F. Mattern, Berlin, Heidelberg, New York, S. 145-159.
- Floyd, Chr./Züllighoven, H./Budde, R./Keil-Slawik, R. (Hg.) (1992): »Software Development and Reality Construction«. Berlin, Heidelberg, New York.
- Friedewald, M. (1999): »Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers«. Berlin, Diepholz.
- Grunwald, A./Grin, J. (Hg.) (1999): »Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society«. Berlin, Heidelberg, New York.
- Hansmann, U./Merk, L./Nicklous, M. S. et al. (2001): »Pervasive Computing Handbook«. Berlin, Heidelberg, New York.
- Heidegger, M. (2001): »Sein und Zeit«. 18. Aufl., Tübingen.
- Hellige, H. D. (2000): »Weltbibliothek, Universalenzyklopädie, Worldbrain: Zur Säkulardebatte über die Organisation des Wissens«. In: Technikgeschichte 67, 4, S. 303-329.
- ISTAG (Information Society Technologies Advisory Group) (2001): »Scenarios for Ambient Intelligence in 2010«. Luxemburg.
- ISTAG (Information Society Technologies Advisory Group) (2003): »Ambient Intelligence: From Vision to Reality. For participation – in society and business«. Luxemburg.
- Jackson, P. J./Van der Wielen, J. M. (Hg.) (1998): »Teleworking: international perspectives: From telecommuting to the virtual organisation«. London, New York.

- Kay, A. C. (1991): »Computer Networks and Education«. In: Scientific American, 265, 3, S. 138-148.
- Kiesler, S./Sproull, L. (1997): »Social responses to »social« computers«. In: »Human values and the design of technology«, hg. v. B. Friedman, Stanford, S. 191-199.
- Kleinrock, L. (1995): »Nomadic Computing – an Opportunity«. In: ACM Computer Communication Review, 25, 1, S. 36-40.
- Laurel, B. (1993): »Computers as Theatre«. Reading, MA. u.a.
- Licklider, J. C. R. (1960): »Man-Computer Symbiosis«. In: IRE Transactions on Human Factors in Electronics, 1, 1, S. 4-11.
- Lie, E. (2005): »Ubiquitous Network Societies: The Case of the Republic of Singapore«. Paper prepared for the ITU Workshop on Ubiquitous Network Societies, 6.-8. April 2005, Genf.
- Mattern, F. (2003): »Vom Verschwinden des Computers – Die Vision des Ubiquitous Computing«. In: »Total vernetzt«, hg. v. F. Mattern, Berlin, Heidelberg, New York, S. 1-41.
- Negroponte, N. (1995): »Total Digital: Die Welt zwischen 0 und 1 oder die Zukunft der Kommunikation«. Gütersloh.
- Norman, D. A. (1998): »The Invisible Computer. Why good products can fail, the personal computer is so complex, and the information appliances are the solution«. Cambridge, MA, London.
- Raskin, J. (1994): »Intuitive equals Familiar«. In: Communications of the ACM, 37, 9, S. 17.
- Reeves, B./Nass, C. I. (1996): »The media equation: how people treat computers, televisions, and new media like real people and places«. Stanford.
- Remagnino, P./Foresti, G. L./Ellis, T. (Hrsg.) (2005): »Ambient Intelligence: A Novel Paradigm«. Boston.
- Reynolds, T./Kelly, J./Jin-Kyu, J. (2005): »Ubiquitous Network Societies: The Case of the Republic of Korea«. Paper prepared for the ITU Workshop on Ubiquitous Network Societies, 6.-8. April 2005, Genf.
- Rheingold, H. (1994): »PARC is back!«. In: Wired 2, 2, S. 90-95.
- Srivastava, L. (2005): »Ubiquitous Network Societies: The Case of Radio Frequency Identification«. Paper prepared for the ITU Workshop on Ubiquitous Network Societies, 6.-8. April 2005, Genf.
- Star, S. L. (2002): »Infrastructure and ethnographic practices«. In: Scandinavian Journal of Information Systems, 24, 2, S. 107-122.
- Stegbauer, Chr. (2001): »Grenzen virtueller Gemeinschaft: Strukturen internetbasierter Kommunikationsforen« Wiesbaden.
- Suchman, L. A. (1985): »Plans and Situated Actions: The problem of human-machine communication«. PARC Tech. Rep. ISL-6, Palo Alto.
- Suchman, L. A./Trigg, R. H. (1991): »Understanding Practice: Video as a Medium for Reflection and Design«. In: »Design at Work: Cooperative

- Design of Computer Systems«, hg. v. J. Greenbaum/M. Kyng. Mahwah, N J, S. 65-90.
- Tesler, L. G. (1991): »Networked Computing in the 1990s«. In: Scientific American, 265, 3, S. 84-91.
- Turkle, S. (1984): »Die Wunschmaschine: Vom Entstehen der Computerkultur«. Reinbek.
- van Raan, A. F. J. (2004): »Sleeping Beauties in Science«. In: Scientometrics, 59, 3, S. 467-472.
- Want, R./Schilit, B. N./Adams, N. I. et al. (1995): »An Overview of the Parc-Tab Ubiquitous Computing Experiment«. In: IEEE Personal Communications, 2, 6, S. 28-43.
- Wehner, J./Rammert, W. (1990): »Zum Stand der Dinge: Die Computerwelt und ihre wissenschaftliche Beobachtung«. In: »Computerwelten - Alltagswelten. Wie verändert der Computer die soziale Wirklichkeit?«, hg. v. W. Rammert. Opladen, S. 225-238.
- Weiser, M. (1991): »Computer im nächsten Jahrhundert«. In: Spektrum der Wissenschaft, November 1991, S. 92-101 (Original: »The Computer for the 21st Century«. In: Scientific American, 265, 3, S. 94-104).
- Weiser, M. (1993): »Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing«. In: Communications of the ACM, 36, 7, S. 75-85.
- Weiser, M./Brown, J. S. (1997): »The Coming Age of Calm Technology«. In: »Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing«, hg. v. P. Denning/R. M. Metcalfe. New York, S. 75-85.
- Weiser, M./Gold, R./Brown, J. S. (1999): »The Origins of Ubiquitous Computing Research at PARC in the late 1980s«. In: IBM Systems Journal, 38, 4, S. 693-696.
- Weizenbaum, J. (1966): »ELIZA – a computer program for the study of natural language communication between man and machine«. In: Communications of the ACM, 9, 1, S. 36-45.
- Weizenbaum, J. (1990): »Die Macht des Computers und die Ohnmacht der Vernunft«. 8. Aufl., Frankfurt.
- Wright, D./Gutwirth, S./Friedewald, M./Vildjiounaite, E./Punie, Y. (Hg.) (2008): »Safeguards in a World of Ambient Intelligence«. Dordrecht.