

# Vom Verschwinden des Computers – Die Vision des Ubiquitous Computing

Friedemann Mattern  
Institut für Pervasive Computing, ETH Zürich

*In the 21st century the technology revolution will  
move into the everyday, the small and the invisible.  
Mark Weiser (1952–1999)*

**Kurzfassung.** Bedingt durch weiter anhaltende Fortschritte in der Mikroelektronik und Kommunikationstechnik scheinen in den nächsten Jahren die Visionen des Ubiquitous Computing von einer umfassenden Informatisierung und Vernetzung fast aller Dinge tatsächlich realisierbar, jedenfalls aus technischer Sicht: Über Funk miteinander kommunizierende Mikroprozessoren, welche kleinste Sensoren enthalten und so die Umgebung erfassen können, lassen sich dann sehr billig herstellen und millionenfach in die Umwelt einbringen oder unsichtbar in Gegenstände einbauen. Dies ermöglicht eine feinmaschige Überwachung vielfältiger Phänomene und verleiht gewöhnlichen Dingen eine noch nie da gewesene Qualität – diese könnten dann wissen, wo sie sich gerade befinden, welche anderen Gegenstände oder Personen in der Nähe sind und was in der Vergangenheit mit ihnen geschah.

Die Auswirkungen einer derart tief greifenden Integration von Informationstechnologie in unseren Alltag, bei welcher der Computer als sichtbares Gerät verschwindet aber gleichzeitig allgegenwärtig wird, sind bisher noch kaum abzusehen. Wenn „smarte“ Alltagsgegenstände in weitgehend autonomer Weise Informationen austauschen, Zugriff auf beliebige Ressourcen im Internet haben und dadurch Menschen bei der Bewältigung ihrer Aufgaben auf eine neue, intuitive Art unterstützen, dann dürfte dies jedenfalls zu größeren wirtschaftlichen und sozialen Konsequenzen führen und könnte damit letztendlich vielleicht sogar ein Politikum werden.

## Total vernetzt

Das Internet verbindet heute fast alle Computer der Welt, und nun macht es sich daran, auch die übrigen Gegenstände zu vernetzen – so könnte man vielleicht kurz und plakativ den Anspruch des „Ubiquitous Computing“ aus technikzentrierter Sicht charakterisieren. Wird man aber schon dem Internet in seiner heutigen Aus-

---

Teile dieses Beitrags beruhen auf früheren Veröffentlichungen des Autors (u.a. Bohn et al. 2003; Mattern 2001a, 2001b, 2003a, 2003b).

prägung als World Wide Web nicht gerecht, wenn man es auf seine informations-technische Dimension reduziert, so gilt dies sicherlich umso mehr für die Vision des Ubiquitous Computing, nach der beliebige Alltagsdinge mittels eingebauter Sensoren und Prozessoren „smart“ werden und miteinander kommunizieren sollen. Was kommt hier auf uns zu?

Vermutlich Gewaltiges: „something big is clearly underway“ schrieb dazu Satyanarayanan, der Hauptherausgeber des Pervasive Computing Magazine in der ersten Ausgabe der Zeitschrift (Satyanarayanan 2002). Noch aber sind wir nicht im Zeitalter des Ubiquitous Computing angekommen, sondern befinden uns erst in der Ära des „personal computing“: Der PC, also der „persönliche Computer“, ist uns allen vertraut und innerhalb weniger Jahre nahezu allgegenwärtig geworden. War anfangs die Vernetzung allerdings noch eher ein Mittel, um durch die Nutzung gemeinsamer Ressourcen und den Austausch von Dateien die klassische Zweckbestimmung des PCs aufzuwerten, so ist es heute meist umgekehrt – es ist nicht mehr der PC, der im Mittelpunkt steht und an den man die Netzperipherie anschließt, sondern das Netz als solches hat eine unabhängige, dauerhafte Existenz angenommen und spielt die dominante Rolle: PCs werden heute oft deswegen angeschafft, weil es das Internet gibt und durch sie der Zugang zum WWW mit seinen vielfältigen Informationsressourcen überhaupt erst ermöglicht wird!

Nun ist das Wachstum des Internets allerdings nicht nur durch einen stürmischen, derzeit noch immer nahezu exponentiell verlaufenden Zuwachs hinsichtlich der angeschlossenen Rechner charakterisiert, mindestens genauso interessant ist das Wachstum in qualitativer Hinsicht: War das Internet in den 1970er-Jahren zunächst noch ein Experimentier- und Forschungsnetz, das Programmierer im Wesentlichen für remote login und Dateitransfer, also den entfernten Zugriff auf Computerressourcen, verwendeten, so wurde es in den 1980er-Jahren, zunächst vor allem in der Wissenschaft, zunehmend als Kommunikationsmedium von *Mensch zu Mensch* benutzt – E-Mail war seinerzeit die dominierende Anwendung. Die 1990er-Jahre brachten mit dem WWW dann aber eine ganz andere Nutzungsform hervor: Nun kommunizierten *Menschen* via Browser auf der einen Seite mit *Maschinen*, nämlich WWW-Servern, auf der anderen Seite. Damit einher ging eine Vervielfachung des Datenverkehrs; gleichzeitig stellte dies die Voraussetzung für die schnelle Kommerzialisierung und Popularisierung des Internets dar. Die gegenwärtige Dekade lässt sich wohl dadurch charakterisieren, dass sich mit mobilen „Internet Appliances“ das Internet über seine klassische Domäne hinaus ausbreitet: Der WAP-Standard in Europa und das i-mode-System in Japan ermöglichten erstmalig einen drahtlosen Internetzugang via Handy – anfangs zwar noch etwas holprig und mit mancherlei Kinderkrankheiten behaftet, doch dürften Always-on-Technologien wie UMTS, angepasste Kommunikationsprotokolle, neue Gerätegenerationen und nicht zuletzt Entwicklungen für den Consumer-Bereich wie „Foto-Handys“ einen ganz neuen Markt und Tummelplatz für das Internet erschließen und damit den Trend hin zum Informationszugang „sofort, überall und zu allem“ fortsetzen.

Jetzt zeichnet sich indes ein weiterer Qualitätssprung ab: Das Internet wird in mittelfristiger Zukunft wohl vor allem für die Kommunikation von *Maschine zu*

*Maschine* – oder vielleicht besser von *Ding zu Ding* – verwendet werden. Weiterhin werden zwar „klassische“ Anwendungen wie E-Mail und WWW eine wichtige Rolle spielen und sogar umfänglicher als heute genutzt werden, allerdings wird die reine Maschinenkommunikation dominant werden. Kommunikationsprotokolle und Infrastrukturdienste, die Web-Informationen maschinenlesbar machen, wie beispielsweise XML und Web-Services, sind erste Anzeichen dafür; auch das „semantic Web“ und die Bemühungen, geeignete Ontologien zur Klassifikation und Strukturierung von Daten im Web zu erhalten, dienen letztlich dem Zweck, höherwertige Prozesse im Internet automatisch ausführbar zu machen. Vor allem aber werden viele in Alltagsgegenstände eingebettete Prozessoren und Sensoren im Verbund mit neuen technischen Möglichkeiten der Datenkommunikation dafür sorgen, dass Dinge miteinander kommunizieren können und diese z.B. ihren Aufenthaltsort oder ihre Sensorwerte anderen interessierten und dazu befugten Dingen mitteilen. Damit dürfte das Internet einen weiteren drastischen Wandel erleben – nachdem mittlerweile so gut wie alle Computer der Welt daran angeschlossen sind, steht nun also quasi seine Verlängerung bis in die letzten Alltagsgegenstände hinein an! Neil Gershenfeld vom Media Lab des MIT drückte diese Erwartung vor einiger Zeit folgendermaßen aus (Gershenfeld 1999): „*Es kommt mir so vor, als sei das rasante Wachstum des WWW nur der Zündfunke einer viel gewaltigeren Explosion gewesen. Sie wird losbrechen, sobald die Dinge das Internet nutzen.*“

## Allgegenwärtige und unsichtbare Computer

Der Begriff „Ubiquitous Computing“ wurde bereits Anfang der 1990er-Jahre von Mark Weiser, bis zu seinem frühen Tod 1999 leitender Wissenschaftler am Forschungszentrum von XEROX in Palo Alto, geprägt und in seinem schon vom Titel her visionären Aufsatz „The computer for the 21st century“ (Weiser 1991) beschrieben. Weiser propagiert darin den allgegenwärtigen Computer, der unsichtbar und unaufdringlich den Menschen bei seinen Arbeiten und Tätigkeiten unterstützt und ihn von lästigen Routineaufgaben weitestgehend befreit. Dabei versteht er Technik als reines Mittel zum Zweck, die in den Hintergrund treten soll, um eine Konzentration auf die Sache an sich zu ermöglichen – der PC als Universalwerkzeug sei in dieser Hinsicht der falsche Ansatz, da dieser aufgrund seiner Vielfältigkeit und Komplexität die Aufmerksamkeit des Anwenders zu sehr in eigener Sache in Anspruch nehme. Generell solle der Computer als Gerät nach Weisers Auffassung verschwinden, dessen informationsverarbeitende Funktionalität aber (eben ganz im wörtlichen Sinne des Ubiquitous Computing) überall verfügbar sein. Aufdringliche Technik solle einer „calm technology“ Platz machen: „*As technology becomes more imbedded and invisible, it calms our lives by removing the annoyances... The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.*“ Ob letztendlich das scheinbar Paradoxe gelingt, nämlich trotz zunehmender Menge und Allgegenwart von Information diese dann – etwa mittels intuiti-

tiver Schnittstellen und impliziter Informationsverarbeitung – auch einfacher zu nutzen, bleibt allerdings abzuwarten.

Michael Dertouzos, Direktor des Laboratory for Computer Science am MIT, meint jedenfalls, dass man bei der Verwendung von Ubiquitous-Computing-Technik die humane Komponente in den Mittelpunkt stellen muss (Dertouzos 2002): *„Ubiquity and pervasiveness are simply not the important drivers of change for tomorrow ... If our technologists are driven by the prospects of pervasive computing alone, they are likely to continue along the familiar path that increases the complexity and inadequacy that users face, even though the designers never had this intent ... The important quest for the balance of this century is to make our information systems human-centered.“*

Bemerkenswert am Paradigma des Ubiquitous Computing ist, dass es in seinem Anspruch, den Computer in die Welt zu bringen, der gerne propagierten Maxime der virtuellen Realität, die Welt in den Computer zu bringen, diametral entgegensetzen scheint. Tatsächlich geht es in der Vision des Ubiquitous Computing gerade nicht darum, sich von der realen Welt abzukapseln und eine künstliche Welt aufzubauen, sondern im Gegenteil darum, unser Leben in der „einzig wahren“ Welt und der natürlichen, dem Menschen vertrauten Umgebung durch diskret in den Hintergrund tretende Technik angenehm zu gestalten. Eine Synthese erleben die beiden Standpunkte dann bei der „augmented reality“: Dabei werden Elemente einer virtuellen, informationsbasierten Welt der gegenständlichen Welt passend überlagert – indem beispielsweise einem Benutzer Zusatzinformationen in eine Brille eingespiegelt werden – so dass die reale Welt nicht ausgeschlossen, sondern angereichert wird. M. Satyanarayanan hat die sich dann ergebenden Möglichkeiten der augmented reality in leicht sarkastischer Weise einmal so geschildert<sup>1</sup>: *„You could wear a pair of glasses with a small amount of face recognition built-in, look at a person, and his name would pop up in a balloon above his head. You could know instantly who the person is, even if you don't immediately recognize him. I look at my tree, and a little balloon pops up saying, ‚Water me‘, I look at my dog, it says, ‚Take me out‘, or I look at my wife, it says, ‚Don't forget my birthday!‘“*

Während Weiser den Begriff „Ubiquitous Computing“ eher in akademisch-idealistischer Weise als eine unaufdringliche, humanzentrierte Technikvision versteht, die sich erst in der weiteren Zukunft realisieren lässt, hat die Industrie dafür inzwischen den Begriff „Pervasive Computing“ mit einer leicht unterschiedlichen Akzentuierung geprägt: Auch hier geht es um die überall eindringende und allgegenwärtige Informationsverarbeitung, allerdings mit dem primären Ziel, diese eher kurzfristig im Rahmen von Electronic-Commerce-Szenarien und Web-basierten Geschäftsprozessen nutzbar zu machen. In dieser pragmatischen Variante, bei der neben diversen mobilen Geräten vor allem Kommunikationskonzepte, Middlewarekonzepte und Techniken zur anwendungsneutralen Datenrepräsentation eine Rolle spielen, beginnt das Ubiquitous Computing in der Praxis bereits Fuß zu fassen. Die Perspektiven des Pervasive Computing wurden von IBM-Chairman

---

<sup>1</sup> [www.computer.org/dsonline/0106/departments/int0106\\_1.htm](http://www.computer.org/dsonline/0106/departments/int0106_1.htm)

Lou Gerstner einmal so beschrieben: „*A billion people interacting with a million e-businesses through a trillion interconnected intelligent devices ...*“

## Die Vision und das Gesetz von Moore

Der ständige Fortschritt in der Mikroelektronik ist uns inzwischen fast zur Selbstverständlichkeit geworden: Mit erstaunlicher Präzision und Konstanz scheint das bereits Mitte der 1960er-Jahre von Gordon Moore, einem der Gründer der Firma Intel, aufgestellte und nach ihm benannte „Gesetz“ zu gelten (Moore 1965), welches in seiner populären Kurzform besagt, dass sich die Leistungsfähigkeit von Computern etwa alle 18 Monate verdoppelt (Abb. 1). Für die chipherstellende Industrie stellt dies mittlerweile eine Art sich selbst erfüllende Prophezeiung dar, sie orientiert sogar ihre auf die Zukunft gerichteten „technology roadmaps“ nach diesem „Gesetz“.



Abb. 1. „It’s been 18 months and my computer’s power hasn’t doubled.“

Eine ähnlich hohe Effizienzsteigerung ist auch für einige andere Technologieparameter wie Speicherkapazität oder Kommunikationsbandbreite zu beobachten; umgekehrt ausgedrückt fällt mit der Zeit bei gleicher Leistungsfähigkeit der Preis für mikroelektronisch realisierte Funktionalität radikal. Dieser allem Anschein nach weiter anhaltende Trend führt dazu, dass Prozessoren und Speicherkomponenten in Zukunft noch wesentlich leistungsfähiger, kleiner und billiger werden.

Da auf diesem Prinzip des „immer schneller“ bei gleichzeitigem „immer billiger und kleiner“ viele mit Ubiquitous Computing verbundene Zukunftserwartungen beruhen, meist begründet durch simple Extrapolation einiger Größenverläufe, soll auf das mooresche Gesetz hier etwas genauer eingegangen werden. Zunächst ist festzuhalten, dass es sich natürlich nicht um ein Gesetz im wissenschaftlichen Sinne, sondern bestenfalls um eine Faustregel bzw. eine Erfahrungstatsache handelt. Ein exponentielles Wachstum kann offenbar nicht sehr lange anhalten, die

Grenzen werden mit fortschreitender Zeit „immer schneller“ erreicht. So prophezeite Kish z.B. im Jahr 2002 das baldige Ende des mooreschen Gesetzes, weil wegen fundamentaler physikalischer Eigenschaften die Grenze hinsichtlich der Integrationsdichte bald erreicht ist und man deswegen schon in 6 bis 10 Jahren in ernste Schwierigkeiten mit Bitfehlern aufgrund von thermischen Fluktuationen hineinlaufen würde (Kish 2002): „*The effect causing the problem is due to power dissipation and the energy equipartition theorem in thermodynamical systems, so it is fundamental and general. ... The only way to get around this effect would be either to give up increasing the integration density, that is itself Moore's law, or to give up increasing the clock frequency.*“

Eine etwas anders geartete Kritik am mooreschen Gesetz äußert Ilkka Tuomi. Er behauptet, dass das Gesetz im Laufe der Zeit mehrfach mutierte und anders interpretiert wurde, dass es also streng genommen gar nicht gelten würde (Tuomi 2002). Es verkörpere stattdessen eine der faszinierenden Legenden und Mythen der modernen Gesellschaft, dass nämlich Informationsverarbeitung im Wesentlichen frei sei und die technischen Möglichkeiten unbegrenzt seien. Nun steht rückblickend aber außer Zweifel, dass im Computerbereich in den letzten Jahrzehnten eine dramatische Entwicklung mit einer substantiellen Veränderung der Kostenrelationen<sup>2</sup> stattgefunden hat, die aus dem wissenschaftlichen Instrument „Rechner“ schließlich das Massenprodukt „PC“ gemacht hat und damit die Informationsverarbeitung im wahrsten Sinne des Wortes popularisiert hat, nachdem es sich bei der Datenverarbeitung zunächst nur um eine „ernste“ kommerzielle Angelegenheit handelte.<sup>3</sup>

Was hat Moore nun tatsächlich behauptet und inwiefern gilt sein Gesetz? In seinem auch heute noch sehr lesenswerten Beitrag zur 35-Jahrfeier der Zeitschrift „Electronics“ im Jahr 1965 äußert sich Moore zunächst zu den seinerzeit unglaublich erscheinenden Möglichkeiten der Mikroelektronik (Moore 1965): „*Integrated circuits will lead to such wonders as home computers ... and personal portable communications equipment.*“ Die Herausgeber der Fachzeitschrift fanden das wohl so phantastisch, dass sie eine Karikatur hinzufügten, in der ein Kaufhausverkäufer neben dem Kosmetikstand dem Publikum in einer „Sales“-Aktion seine schuhkartongroßen „Handy Home Computers“ anpreist. Moore selbst war bei dieser Prophezeiung zu einem Zeitpunkt, als noch nicht einmal elektronische Taschenrechner üblich waren, wohl auch nicht ganz wohl, denn er fügte dann sogleich einschränkend hinzu „or at least terminals connected to a central computer“.

---

<sup>2</sup> Ray Kurzweil (2002) sieht die exponentielle Kostenreduktion, gemessen in Instruktionen pro Sekunde für 1000 US-Dollar, sogar über das ganze 20. Jahrhundert hin anhaltend, von  $10^5$  bei den mechanischen Rechenmaschinen bis zu  $10^9$  bei den neuesten Systemen.

<sup>3</sup> „We've all seen the picture: A computer room circa 1963 with its raised floor, a dozen tall skinny boxes representing the mainframe, a Teletype terminal, a bulky line printer or two, and the pièce de résistance – a cleancut gentleman loading a mag tape onto one of the 3 or 4 tape drives ... What else has changed? Computers have become ubiquitous, and many have disappeared.“ (Sun 2000)

Was Moore bekannt machte, waren aber weniger seine Visionen und Anmerkungen wie „the advantages of integration will bring about a proliferation of electronics, pushing this science into many new areas“, womit er fast als Vorläufer des Ubiquitous-Computing-Gedankens angesehen werden kann, sondern seine Beobachtung, dass sich seit 1959, als Jack Kilby den ersten Ein-Transistor-Chip hergestellt hat, die Zahl der auf einem einzigen Chip zu vernünftigen Kosten integrierbaren Komponenten (dies waren seinerzeit nicht nur Transistoren) jedes Jahr verdoppelt hatte. Er konnte im Labor seinerzeit bereits ca. 60 (also etwa  $2^6$ ) Komponenten integrieren und brachte den Mut auf, die durch nur 5 „Messpunkte“ gegebene Linie zu einer 10 Jahre in die Zukunft gerichteten Geraden zu extrapolieren<sup>4</sup> (Abb. 2, Moore 1965) und damit für das Jahr 1975 eine damals schier undenkbare Integrationsdichte von ca. 65000 Komponenten zu prophezeien. Dies trat tatsächlich mit einer „lächerlichen Genauigkeit“, wie Moore später sagt, ein. Er wagte dann eine neue Prophezeiung, diesmal sagte er eine Verdoppelung nur noch alle zwei Jahre voraus.

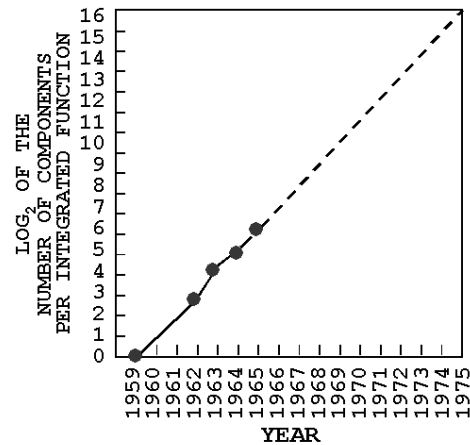


Abb. 2. Die Extrapolation von Gordon Moore (1965)

Faktisch betrug die Verdoppelungszeit bezüglich der Transistorzahl bei der ersten Mikroprozessorgeneration zwischen 1971 und 1981 (Intel 4004 bis 80286) 22 Monate. Später (Intel 386 und 486 Prozessoren) waren es 33 Monate und in den 1990er-Jahren (Pentium-Prozessorfamilie) sogar 54 Monate (Tuomi 2002). So gesehen liegt gar kein echtes exponentielles Wachstum vor, wie es die populäre Kurzform des mooreschen Gesetzes propagiert. Tatsächlich beziehen sich die oft kolportierten 18 Monate i.A. nicht auf die Zahl der Transistoren, sondern eher auf die Leistung von Prozessoren oder von ganzen Rechnern – die sich allerdings nicht wirklich objektiv messen und vergleichen lässt (eine Leistungsverdoppelung

<sup>4</sup> „So, I just drew a line. It doubled every year for 10 years. I essentially extrapolated from 60 to 60,000 on a chip.“ ([www.usnews.com/usnews/transcripts/moore.htm](http://www.usnews.com/usnews/transcripts/moore.htm))

alle 18 Monate entspräche einer Leistungszunahme von 55 % im Jahr). Hier kommen aber dann andere Effekte ins Spiel, so z.B. die Taktrate, Architekturprinzipien wie Pipelining und Parallelität, Cachegrößen und – bei ganzen Rechnern – weitere Hardwareaspekte wie Graphikkarten, Busbreiten, Bandbreite von Netzanschlüssen und sogar Softwareinflüsse.

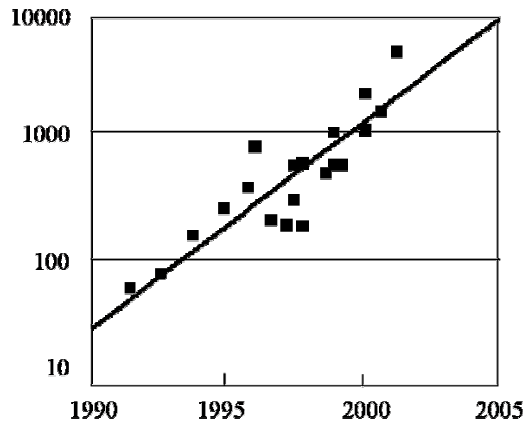


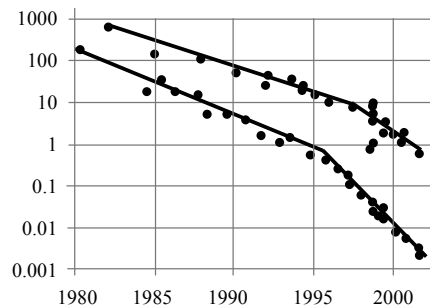
Abb. 3. Leistungsentwicklung Prozessoren (MIPS/W)

Ob sich der Fortschritt aber wirklich an physikalischen Größen wie Strukturbreiten und Transistorzahlen festmachen lässt, ist zumindest fraglich – der Nutzen oder gar das Vergnügen bei der Verwendung von Computern steigt sicherlich nicht proportional zu diesen Werten. Andererseits heißt dies aber auch, dass kein unmittelbarer Anlass zu Fortschrittspessimismus gegeben ist, wenn sich bezüglich einiger Aspekte (wie der von Kish thematisierten Integrationsdichte) Grenzen abzeichnen – die übrigens nicht nur physikalischer Art, sondern auch ökonomischer Art sein können, da die Kosten für die innerhalb weniger Jahre abzuschreibenden Produktionsstätten laufend steigen und bereits mehrere Milliarden US-Dollar betragen. Aber selbst wenn die Chipindustrie mit dem im engeren technologischen Sinne verstandenen mooreschen Gesetz in Zukunft nicht mehr Schritt halten kann, dürfte auf absehbare Zeit die „gespürte“ Computerleistung insgesamt weiter stark zunehmen. Adi Porobic drückte die ungebrochen optimistische Erwartung in netter und prägnanter Weise so aus: „2015: 50th birthday of Moore’s Law. Law continues, but microelectronics is dead.“ Und der Technikoptimist Ray Kurzweil sagt zwar – wegen der dann nur noch atomaren Größe von Transistoren – das Ende des eigentlichen mooreschen Gesetzes für das Jahr 2019 voraus (Kurzweil 2002), prophezeit gleichzeitig aber ein weiteres exponentielles Wachstum hinsichtlich der Leistungsfähigkeit von Computern: „*The exponential growth of computing didn’t start with integrated circuits (around 1958), or even transistors (around 1947), but goes back to the electromechanical calculators in the 1890 and 1900 U.S. census ... Moore’s Law is an S curve. But the growth of computation is an ongoing exponential ... Innovation turns the S curve of any specific*



*paradigm into a continuing exponential. A new paradigm takes over when the old paradigm approaches its natural limit.*“

Für die weiter anhaltende Leistungssteigerung sorgen in den nächsten Jahren neben neuen Architektur- und Verarbeitungsprinzipien auch die noch ungebrochenen Leistungssteigerungen bei der Kommunikation und dem Speichervermögen. Tatsächlich lässt sich das mooresche „Gesetz“ auf andere wichtige Technologieparameter ausdehnen. So verdoppelte sich Ende der 1990er-Jahre (vor allem auch dank des besser beherrschbaren Wellenlängenmultiplexverfahrens) die Bandbreite von Glasfaserverbindungen etwa jährlich, und auch die drahtlose Kommunikation konnte hohe Steigerungsraten vorweisen. Abbildung 3 zeigt den Effizienzgewinn beim Energiebedarf pro Computerinstruktion (angegeben im Reziprokwert MIPS pro Watt für ausgewählte Prozessoren) – ein wichtiges Ergebnis, da die Energiedichte von Batterien leider relativ zu den Steigerungsraten, die man in der Mikroelektronik gewohnt ist, nur langsam anwächst (vgl. dazu auch die Ausführungen im nächsten Kapitel).



**Abb. 4.** Preisentwicklung Speicher (US-Dollar/MByte)

Erstaunlich ist ferner die Entwicklung bei Speichern, für die das „verallgemeinerte“ mooresche Gesetz<sup>5</sup> voll zutrifft. Abbildung 4 (vgl. Hayes 2002) zeigt die Kosten bei konkreten Magnetplatten und Halbleiterspeichern (nach Daten von Edward Grochowski, IBM Almaden Research Center). In den letzten zwei Jahrzehnten fiel bei Magnetplatten (3,5-Zoll, untere Linie) der Preis für 1 MByte von ca. 100 US-Dollar auf einige zehntel Cent und liegt nun weit unter dem Preis von Papier als Speichermedium für die gleiche Datenmenge. Die Datendichte verdoppelte sich über lange Zeit etwa alle 2 Jahre; nachdem 1997 GMR-Leseköpfe eingeführt wurden, verdoppelte sie sich sogar jährlich, was sich in der Abbildung im Preisknick widerspiegelt. Auch Halbleiterspeicher wurden, wie Abb. 4 zeigt

<sup>5</sup> „For some reason anything that changes exponentially in the technology world now gets lumped under Moore’s Law – but I’m happy to take credit for all of it“ sagte der mittlerweile 74-jährige Gordon Moore im Februar 2003 anlässlich der International Solid-State Circuits Conference – und verlängerte gleichzeitig die Gültigkeit seines Gesetzes um weitere 10 Jahre.

(obere Linie), laufend billiger – wenn auch nicht mit der gleichen Rate wie Magnetplattenspeicher.

Interessanterweise kann man mit einer Prise Zynismus das mooresche Gesetz auch auf die Softwarekomplexität anwenden: Nathan Myhrvold, Chief Technology Officer von Microsoft, verglich die „Lines of Code“ verschiedener Releases von Microsoft-Produkten und stellte ein entsprechendes exponentielles Wachstum fest. Der Basic-Interpreter hatte im Jahr 1975 z.B. 4000 Zeilen, 20 Jahre später waren es etwa eine halbe Million. Er kommt zum Schluss (siehe Brand 1995): „So we have increased the size and complexity of software even faster than Moore’s Law ... software people have always consumed new capability as fast or faster than the chip people could make it available.“ Damit verbunden ist natürlich eine Zunahme an (meist sinnvoller, oft genug aber auch unsinniger<sup>6</sup>) Funktionalität, was typischerweise den eigentlich wahrgenommenen Fortschritt darstellt. Ed Lazowska drückte es in seiner Faculty Lecture on Computer Science (Lazowska 1996) so aus: „It’s the job of software to eat up those hardware advances!“

## Technologie für verschwindende Computer

Die durch das verallgemeinerte mooresche Gesetz induzierte „schleichende Revolution“ hinsichtlich Quantität (indirekt aber auch hinsichtlich Qualität) der Informationsverarbeitungsfähigkeit führt dazu, dass kleinste spontan und drahtlos miteinander kommunizierende Prozessoren bald quasi im Überfluss vorhanden sein werden – die nach Gebrauch wertlosen Telefonchipkarten oder die als Ersatz für Strichcode-Etiketten dienenden und vor der Masseneinführung stehenden smart labels sind erste Hinweise auf die zu erwartenden Myriaden von „Wegwerfcomputern“. Mit dieser absehbaren Überschwemmung der Welt durch Rechenleistung wird ein Paradigmenwechsel in der Computeranwendung eingeläutet: Kleinste und billige Prozessoren, Speicherbausteine und Sensoren können einerseits zu diversen preiswerten „information appliances“ zusammengebaut werden, die drahtlos mit dem Internet verbunden und für spezielle Aufgaben maßgeschneidert sind (Norman 1998; Want u. Borriello 2000), können andererseits aber auch aufgrund ihrer geringen Größe und vernachlässigbaren Preises in viele Alltagsgeräte eingebaut werden und diesen so das Attribut „smart“ (oder gar „intelligent“) verleihen, indem sie beispielsweise ein an die jeweilige Situation angepasstes Verhalten realisieren. In letzter Konsequenz dringt Informationsverarbeitung gekoppelt mit Kommunikationsfähigkeit fast überall ein, auch in Dinge, die zumindest auf den ersten Blick keine elektrischen Geräte darstellen<sup>7</sup> – das „computing“ wird somit ubiquitär.

---

<sup>6</sup> „I have always wished that my computer would be as easy to use as my telephone. My wish has come true. I no longer know how to use my telephone.“ (Bjarne Stroustrup, Entwickler der Programmiersprache C++)

<sup>7</sup> Vor 15 Jahren erschien die Vorstellung, dass alle Türen eines Gebäudes einen Chip enthalten, sicherlich absonderlich – heute findet man dagegen kaum mehr eine Hotelzim-

Die treibende Kraft hinter dem stetigen technischen Fortschritt im Bereich des Ubiquitous Computing ist die Mikroelektronik, die in den letzten Jahrzehnten bezüglich ihres Leistungszuwachses – unter Berücksichtigung des oben Gesagten – dem mooreschen Gesetz treu geblieben ist. Aber nicht nur sie trägt zur Allgegenwart und zum gleichzeitigen Verschwinden des Computers bei – immer wichtiger werden auch Ergebnisse der Mikrosystemtechnik und vermehrt auch der Nanotechnik, welche beispielsweise zu kleinsten integrationsfähigen Sensoren führen, die unterschiedlichste Parameter der Umwelt aufnehmen können. Neuere Sensoren reagieren nicht nur auf die klassischen Größen Licht, Beschleunigung, Temperatur etc., sondern können auch Gase und Flüssigkeiten analysieren oder generell den sensorischen Input vorverarbeiten und so gewisse Muster (z.B. Fingerabdruck oder Gesichtsformen) erkennen. Eine interessante Entwicklung in dieser Hinsicht stellen Funksensoren dar, die ohne explizite Energieversorgung ihre Messwerte einige Meter weit melden können – die nötige Energie bezieht ein solcher Sensor aus seiner Umgebung (indem er z.B. mit Mikrowellen bestrahlt wird) oder einfach direkt aus dem Messvorgang selbst (wie Temperaturänderung oder Druck, indem piezoelektrische oder pyroelektrische Materialien zur Anwendung kommen).



**Abb. 5.** Ein elektronisches Etikett

Ohne eigene Energieversorgung funktionieren auch die elektronischen Etiketten (so genannte passive „smart labels“ oder „RFID labels“ für „Radio Frequency Identification“). Hierbei handelt es sich technisch gesehen um Transponder, die mit einem Hochfrequenzsignal bestrahlt werden, dieses Signal decodieren, aus ihm auch die Energie für die eigene Verarbeitung beziehen und selbst wiederum eine Antwortnachricht als Funksignal aussenden (vgl. Finkenzeller 2002). Diese Transponder sind je nach Bauform weniger als ein Quadratmillimeter groß und dünner als ein Blatt Papier, die flache Antenne aus einigen Windungen kann aus

---

mertür ohne einen blinkenden und piepsenden Chip, und man wagt sogar daran zu denken, den Zusammenbau von Selbstbaumöbeln durch Chips in den Einzelteilen zu unterstützen (vgl. Antifakos et al. 2002). Kleiderbügel in den Boutiquen der Firma Prada enthalten ebenfalls Chips, damit auf Bildschirmen in den Anproberäumen individuelle Videoclips mit Modellen, die die entsprechenden Kleider vorführen, gezeigt werden können.

sehr dünnem Kupfer oder auch aus leitfähiger Tinte bestehen. In der Form von flexiblen Selbstklebeetiketten (Abb. 5) kosten sie mit fallender Tendenz derzeit zwischen 10 Cent und 1 € pro Stück und haben dadurch das Potential, in gewissen Bereichen die klassischen Strichcodeetiketten („bar code“) zur Identifikation von Waren abzulösen. Von Vorteil ist dabei vor allem, dass keine Sichtverbindung zum „Lesegerät“ bestehen muss (wie noch bisher beim Laserscanner im Supermarkt) und dass damit einzelne Produktinstanzen und nicht nur ganze Produktgruppen unterschieden werden können. In gewisser Weise handelt es sich bei dieser Technik um eine Weiterentwicklung der bekannten Diebstahlsicherungen und Türschleusen von Kaufhäusern. Allerdings geht es hier nun nicht mehr nur um eine binäre Information „bezahlt/gestohlen“, sondern es können „durch die Luft“ innerhalb von Millisekunden einige hundert Byte gelesen und geschrieben werden – je nach Bauform und zugrunde liegender Technik bis zu einer Distanz von einigen Metern. Bei höherer Energiedichte (dann allerdings nur im Abstand von einigen Zentimetern zur externen Energiequelle) kann auch ein Mikroprozessor auf diese Weise mit Energie versorgt und betrieben werden – eine Technik, die man sich bei den so genannten kontaktlosen Chipkarten zunutze macht.

Interessant an solchen fernabfragbaren elektronischen Markern ist, dass sich dadurch Objekte eindeutig identifizieren lassen und so in Echtzeit mit einem im Internet oder einer entfernten Datenbank residierenden zugehörigen Datensatz verknüpft werden können, wodurch letztendlich beliebigen Dingen spezifische Informationen zugeordnet werden können. Lassen sich Alltagsgegenstände aus der Ferne eindeutig identifizieren und mit Information behaften, eröffnet dies aber weit über den ursprünglichen Zweck der automatisierten Lagerhaltung oder des kassenlosen Supermarktes hinausgehende Anwendungsmöglichkeiten, wie wir weiter unten noch sehen werden.



**Abb. 6.** Ein flexibles Plastik-Display

Aus dem Bereich der Materialwissenschaft kommen Entwicklungen, die den Computern der Zukunft eine gänzlich andere äußere Form geben können oder sogar dafür sorgen, dass Computer auch äußerlich nicht mehr als solche wahrgenommen werden, weil sie vollständig mit der Umgebung verschmelzen. Hier wären unter anderem lichtemittierende Polymere („leuchtendes Plastik“) zu nennen, die Displays aus hochflexiblen, dünnen und biegsamen Plastikfolien ermöglichen (Abb. 6). Laserprojektionen aus einer Brille direkt auf die Augenretina stellen eine weitere gegenwärtig untersuchte Möglichkeit zur Substitution klassischer Ausgabemedien von Computern dar. Im Bereich der Eingabemedien macht die

Erkennung gesprochener Sprache langsame, aber stetige Fortschritte; schnellere Prozessoren und Heuristiken, die auch den physischen Kontext eines Nutzers mit einbeziehen, werden die Erkennungsraten bald deutlich steigern.<sup>8</sup> Es wird aber auch an „elektronischer Tinte“ und „smart paper“ gearbeitet, welche Papier und Stift zum vollwertigen, interaktiven und hoch mobilen Ein- und Ausgabemedium mit einer uns wohlvertrauten Nutzungsschnittstelle erheben. Zwar ist hier noch einiges an technischer Entwicklungsarbeit zu leisten und man dürfte von einem breiteren kommerziellen Einsatz noch einige Jahre entfernt sein, jedoch existieren bereits Prototypen von elektronischem Papier und elektronischer Tinte, und die Bedeutung für die Praxis, wenn Papier quasi zum Computer wird oder umgekehrt der Computer sich als Papier materialisiert, kann kaum hoch genug eingeschätzt werden.

Anhaltende technische Erfolge werden auch auf dem Gebiet der drahtlosen Kommunikation erzielt. Interessant sind, neben Fortschritten bei der mittlerweile großflächig etablierten Handy-Technik (Weiterentwicklungen von GSM und UMTS einschließlich neuer Datenvermittlungsdienste, die basierend auf paketorientierter Übermittlung beispielsweise einen „Always-on-Betrieb“ ermöglichen) sowie der WLAN-Technik hinsichtlich höherer Datenraten, vor allem neuere Kommunikationstechniken im Nahbereich (wie etwa Bluetooth), die sehr wenig Energie benötigen und im Vergleich zu heutigen Handys kleinere und billigere Bauformen ermöglichen. Derartige Kommunikationsmodule haben derzeit etwa ein Volumen von einem Kubikzentimeter. Durch weitere Integration wird demnächst eine noch deutlich geringere Baugröße erzielt werden; der Preis liegt bei einigen Euro und dürfte schnell weiter fallen.

Spannend sind auch Entwicklungen im Bereich von „Body Area Networks“ – hier kann der menschliche Körper selbst als Medium zur Übertragung von Signalen sehr geringer Stromstärken genutzt werden. Allein durch Anfassen eines Gerätes oder Gegenstandes kann diesem dann eine eindeutige Identifikation (die beispielsweise von der Armbanduhr in den Körper eingespeist wird) übermittelt werden; auf diese Weise könnten Zugangsberechtigungen, personalisierte Konfigurationen von Geräten oder die Abrechnung von Dienstleistungen erfolgen. Auch mit Kleidern aus Stoffen, die leitfähige Fasern enthalten, wird im Bereich des „wearable computing“ experimentiert. Fasern, die beim Dehnen ihren elektrischen Widerstand ändern, ermöglichen jedenfalls interessante Mensch-Maschine-Schnittstellen, da so Körperbewegungen erfasst werden können oder Funktionen beispielsweise durch leichtes Ziehen an einem Stück der Kleidung ausgelöst werden können.

Intensiv wird derzeit auch an verbesserten Möglichkeiten zur Positionsbestimmung mobiler Objekte gearbeitet. Neben einer Erhöhung der Genauigkeit (derzeit einige Meter beim satellitengestützten GPS-System) besteht das Ziel vor allem in einer Verkleinerung der Module und einer Reduzierung des Energiebedarfs sowie

---

<sup>8</sup> „Speech understanding will effectively speech-enable almost anything. A conversation with the refrigerator (*Do we have any milk? Is there enough orange juice for the weekend?*) will not seem out of place. Nor will it seem odd to discuss travel plans with the car.“ (Cerf 2002)

der Entwicklung von Techniken, die auch in geschlossenen Räumen funktionieren – Letzteres gestaltet sich allerdings teuer und schwierig. Module zur Ortsbestimmung im Freien werden einschließlich notwendiger Antennen schon bald nur noch etwa die Größe von Kreditkarten haben.

Lokalisierungstechnologien besitzen ein hohes Anwendungspotential. Manch einer mag davon träumen, in Zukunft kaum mehr etwas verlieren zu können bzw. das Verlorene fast immer wieder zu finden, weil ein Gegenstand stets weiß, wo er ist und dies bei Bedarf mitteilen kann – dies ist beim jetzigen Stand der Technik allerdings noch unrealistisch. Für größere und wertvolle Dinge wie beispielsweise Mietautos rechnet sich die Verwendung von Lokalisierungstechnologien indes schon heute, und mit dem Fortschritt der Technik werden nach und nach dann auch einfachere Gegenstände von dieser Möglichkeit profitieren. Steht eine verlässliche und hochpräzise Infrastruktur erst einmal flächendeckend zur Verfügung, kann man tatsächlich an Szenarien denken, wo Autos ihre eigene Position und den Ort benachbarter Fahrzeuge genau kennen und sich somit vielleicht manche Kollision vermeiden lässt; auch viele Verkehrsschilder könnten letztendlich überflüssig werden, wenn die jeweilige Information im Auto selbst angezeigt wird.

In entsprechender Weise können „Fahrtenschreiber“ für beliebige smarte Dinge realisiert werden: Weiß ein Gegenstand, wo er sich befindet, dann braucht er dies nur regelmäßig zusammen mit einem Zeitstempel abzuspeichern – im Nachhinein lässt sich dann die „Lebensspur“ des Gegenstandes einfach rekonstruieren und durch den Abgleich verschiedener solcher Lebensspuren kann der gemeinsame Kontext verschiedener Dinge ermittelt werden oder es kann über diese Historie einfach Zugang zu damit verbundenen Informationen (z.B. das Hotel, in dem sich eine ortsbewusste Reisetasche befand) erlangt werden. Ferner könnten Eltern es – auch in geldwerter Hinsicht – zu schätzen wissen, wenn Kleidungsstücke der Kinder ihren Aufenthaltsort verraten<sup>9</sup> (eine in den Ärmel eingenähte Spielkonsole mag für die Kinder dann einen Anreiz zur Benutzung der ortsbewussten Jacke darstellen) und diese sogar noch Alarm schlagen, wenn sich außer Haus der Schuh zu weit von der Jacke entfernt. Die vierzehnjährige Tochter, ein auf Bewährung freigelassener Sträfling<sup>10</sup>, ein untreuer Ehepartner<sup>11</sup> oder der kritische Zeitgenosse eines totalitären Regimes dürften sich darüber allerdings weniger freuen!

---

<sup>9</sup> Erste Versuche, hier mit ortsbewussten Armbanduhren ein Geschäft zu machen, gibt es schon. Bei [www.wherify.com](http://www.wherify.com) heißt es z.B.: „Peace of mind for parents, cool for kids: We'll map your child's location within feet ... 110 grams, 3"l x 2.5"h x 2"w, \$399.99 plus tax and shipping, monthly service charge \$24.95.“

<sup>10</sup> „Documents obtained by The Observer reveal the Government could track paedophiles by satellite, with a system similar to that used to locate stolen cars. ... Tracker, the company which runs Britain's largest stolen vehicle monitoring network, has already been approached about paedophile monitoring. The tags can be put beneath the skin under local anaesthetic and would also be able to monitor the heart rate and blood pressure of the abuser, alerting staff to the possibility that another attack was imminent.“ (The Observer, 17.10.2002)

<sup>11</sup> Dazu passt die Meldung vom „gewichtsbewussten“ Ehebett: „Un inventeur roumain soupçonneux a créé une application qui devait le prévenir par SMS si le lit conjugal

Eher langsame Fortschritte – jedenfalls im Vergleich zur gewohnten Effizienzsteigerung bei Prozessorleistung, Kommunikationsbandbreite und Speicherdichte – macht die Batterietechnik. Immerhin konnte die Kapazität typischer Batterien auf Ni-Cd- und Ni-MH-Basis in den letzten 20 Jahren von ca. 0,4 auf 1,2 Amperestunden (für AA Mignonzellen) vergrößert werden (Estrin et al. 2002), was eine Steigerung von durchschnittlich ca. 5 % pro Jahr bedeutet. Die Energiedichte entspricht dabei ca.  $1 \text{ J/mm}^3$ , Lithiumbatterien erreichen bis zum Dreifachen, Kondensatoren können leider nur (über kürzere Zeit) ein Hundertstel davon speichern. Für portable Geräte und Gegenstände ist auch das Maß „Energie pro Gewicht“ relevant. Man hat die Hoffnung, mit neuen Materialien, z.B. auf Lithium-Polymerbasis, im Jahr 2010 Werte von 2 J/mg zu erreichen – wobei bei einigen Substanzen die Umweltverträglichkeit problematisch ist und man beachten muss, dass man sich teilweise der Energiedichte von Sprengstoff annähert. Mit einer Energie von 1 J können bei gegenwärtiger Technik (z.B. Bluetooth-Implementierungen) über kurze Distanzen immerhin ca. 10 Millionen Bits an Daten (also mit  $100 \text{ nJ/bit}$ )<sup>12</sup> drahtlos verschickt oder empfangen werden, wobei dies in den nächsten Jahren um mindestens eine Größenordnung gesteigert werden kann (vgl. Doherty 2001), da bei der Funkkommunikation die meiste Energie für die Signalverstärkung und „Recheninstruktionen“ benötigt wird, deren Energiebedarf aber mit der mikroelektronischen Strukturbreite korreliert. Mit der gleichen Energie von 1 J können übrigens etwa eine Milliarde Instruktionen eines 32-Bit-Prozessors ausgeführt werden (vgl. auch Abb. 3) – bei 1-GHz-Prozessoren reicht dies dann allerdings doch nur für eine einzige Sekunde.

Batterien lassen sich mittlerweile in dünner (0,5 mm) und biegsamer Bauform herstellen und können in ihrer Form daher den Gegenständen angepasst werden. Der Energiehunger elektronisch realisierter Funktionalität und der Wunsch, Batterien – wenn überhaupt – möglichst selten wechseln zu müssen (praktisch unabdingbar in der Vision autonomer smarterer Alltagsgegenstände) hat aber auch zur intensiven Suche nach alternativen Energiequellen geführt. Brennstoffzellen haben hinsichtlich ihres Energieträgers (z.B. Methanol) eine 10 bis 40fach höhere Energiedichte als Batterien, allerdings lassen sie sich derzeit nicht beliebig klein verwirklichen und es tritt bei der Umwandlung in elektrische Energie ein Verlust von ca. 50–80 % auf. Für den Betrieb von Laptops und ähnlichen Geräten sollten solche Brennstoffzellen jedoch bald auf den Markt kommen, wobei der Umgang mit ihnen nicht ganz unkritisch sein dürfte. Typische Solarzellen erreichen bei Sonnenschein ca.  $10 \text{ mW/cm}^2$ , was einer Energiegewinnung von etwa  $1 \text{ J/mm}^2$  an einem einigermaßen sonnigen Tag entspricht. Bei Kunstlicht ist die Ausbeute leider um fast 3 Größenordnungen kleiner. Weitere Möglichkeiten, Energie in geringem Umfang aus der Umwelt abzuschöpfen, besteht z.B. bei mechanischer Energie (vibrierende Fensterscheiben, Körperbewegungen etc.) – dies mag in

---

accueillait un autre poids que celui de sa femme pendant son absence. L'application a parfaitement fonctionné et un jour un SMS l'a prévenu de son cocufiage. Le malheureux homme a retrouvé sa femme avec son voisin.“ ([www.netsurf.ch/sms.html#34](http://www.netsurf.ch/sms.html#34))

<sup>12</sup> Die optische Kommunikation per Laser kommt über kurze Distanzen sogar mit nur  $20 \text{ pJ/bit}$  aus.

Zukunft bei spezifischen Anwendungskontexten sinnvoll sein, wenn Prozessoren, Speicher und Kommunikationsmodule, bedingt durch den zu erwartenden Fortschritt in der Mikroelektronik, deutlich weniger Energie als heute benötigen.

Eine noch nicht voll ausgeschöpfte Option im Umgang mit dem Energieproblem besteht auch im Energiesparen – dies betrifft nicht nur schaltungstechnische Maßnahmen in der Hardware, sondern auch energiebewusste Software, die auf „intelligente“ Weise mit Energie verantwortungsvoll umgehen kann und einzelne Systemkomponenten zeitweise abschalten oder mit reduzierter Leistung betreiben kann – hier dürfte in nächster Zeit noch einiges zu erwarten sein. Schließlich muss auch nicht jedes Gerät oder jedes Ding viel Energie zum Rechnen oder Kommunizieren über große Distanzen aufwenden: gibt es in unmittelbarer Nähe ein anderes Gerät, das aufgrund der kurzen Distanz „billig“ in drahtloser Weise erreichbar ist und über einen größeren Energievorrat verfügt (wie z.B. ein Handy) oder gar mit dem Stromnetz verbunden ist, dann kann dieses unter Umständen aushelfen, indem es Rechenleistung übernimmt oder die versendete Information in verstärkter Form weiterleitet. Generell gilt, dass Funktionen, die hohe Rechenkapazität, große Datenbanken oder ein hohes Speichervolumen voraussetzen, nicht unbedingt „vor Ort“, beispielsweise in den modischen IT-Accessoires des „wearable computing“, realisiert werden müssen: Ist ein solcher smarterer Gegenstand so gut wie immer und mit ausreichender Bandbreite mit dem Internet und seinen Servern und Diensten – gegebenenfalls in indirekter Weise – verbunden, so kann die Speicherung von Daten (z.B. Fotos oder Musik) oder die Informationsverarbeitung (z.B. für eine automatische Sprachübersetzung) auch an anderer Stelle „im Netz“ erfolgen, wo ausreichend Kapazität, Raum und Energie zur Verfügung stehen – lediglich die Ein- und Ausgabedaten müssen drahtlos übertragen werden, um dem Benutzer die Illusion zu vermitteln, dass sein Gegenstand dies alles selbst kann (wie beispielsweise eine Spielzeugpuppe, die Geschichten rund um die letzte Kindersendung des Fernsehens erzählt). Eine Auslagerung von Daten in das Netz ist auch deswegen sinnvoll, weil dann bei einem Verlust der kleinen IT-Accessoires nicht auch deren Daten verloren gehen.

Sosehr der in diesem Kapitel angesprochene und auf vielen Gebieten erkennbare technische Fortschritt (vgl. auch Want et al. 2002) auch faszinieren mag: Klar ist, dass sich natürlich längst nicht jede erwünschte Verbesserung über die inkrementelle Optimierung technologischer Parameter erreichen lässt und die auch nur ansatzweise Realisierung der Ubiquitous-Computing-Visionen alles andere als trivial ist – selbst wenn man die hier skizzierten Trends der Basistechnologien als gegeben annimmt. Gut ein Jahrzehnt nach Veröffentlichung des grundlegenden und viel beachteten Artikels von Mark Weiser (Weiser 1991) nimmt sich das Pervasive Computing Magazine in einem Themenheft „Reaching for Weiser’s Vision“ dieses Aspektes an (vgl. Satyanarayanan 2002). Die Autoren kommen darin zum Schluss „many aspects of Mark Weiser’s vision of ubiquitous computing appear as futuristic as they did in 1991“ (Davies u. Gellersen 2002) – und dies trotz mannigfaltiger Fortschritte in vielen Bereichen.

So stellen sich beispielsweise alleine hinsichtlich adäquater Softwarearchitekturen (vgl. Banavar u. Bernstein 2002) und einheitlicher Standards noch viele



Fragen (wie lassen sich etwa die Unmengen durch smarte Dinge und Sensoren generierten Daten strukturieren, damit möglichst viele Anwendungen, die man in einer offenen Welt a priori nicht alle kennt, davon profitieren können?). Für die dringend benötigten neuartigen Mensch-Maschine-Interaktionsformen (wie interagiert man eigentlich mit einem unsichtbaren Computer?), adäquaten Systemstrukturen zur Garantie von Sicherheit und Verlässlichkeit, aber auch für skalierbare Infrastrukturen zur wechselseitigen Kooperation smarter Objekte sowie für Aspekte, die die Semantik und den Kontext von Aktionen betreffen, sind vorzüglich neue *Konzepte* erforderlich, die vor allem aus Erkenntnissen grundlegender Forschung herrühren müssen – hierzu sind in letzter Zeit auch unter Begriffen wie „everyday computing“ (Abowd u. Mynatt 2000) oder „ambient intelligence“ (Aarts et al. 2002) einige Aktivitäten gestartet worden. Forschungsergebnisse als Ergebnisse intellektueller Prozesse und geistiger Anstrengungen beschleunigen sich aber leider nicht entsprechend dem mooreschen Gesetz. Außerdem zeigen Beispiele wichtiger klassischer Technologiebereiche wie Elektrizität, Telefonie und Automobil, dass es Jahrzehnte dauern kann, bis eine neue und schlussendlich gesamtwirtschaftlich relevante und „durchdringende“ Technologie eine breite Wirkung entfalten kann – man darf also hinsichtlich der Implementierung von heute noch nach Zauberei oder Science-Fiction<sup>13</sup> anmutenden Aussichten (vgl. Maurer 2002) nicht allzu ungeduldig auf schnelle Lösungen hoffen!

## Die Informatisierung und Instrumentierung der Welt

Fasst man die oben skizzierten Techniktrends und Entwicklungen zusammen – extrem miniaturisierte Sensoren, die vielfältige Umgebungsinformation wie Temperatur, Helligkeit, Feuchtigkeit, Luftdruck oder Beschleunigung erfassen, allerkleinste, energiearme und preiswerte Prozessoren mit integrierter drahtloser Kommunikationsfähigkeit, Fernidentifikation von Dingen durch passive und praktisch unsichtbare Elektronik, präzise Lokalisierung von Gegenständen, flexible Displays auf Polymerbasis, elektronische Tinte und Papier – so wird deutlich, dass damit die technischen Grundlagen für eine spannende Zukunft gelegt sind, auch ungeachtet der Tatsache, dass etwa hinsichtlich der adäquaten Verarbeitung von Kontextinformation oder einer „intelligenten“ Mensch-Maschine-Interaktion noch viele grundlegende und schwierige Fragen ungelöst sind. Die Devise für die von der Ubiquitous-Computing-Gemeinde propagierten smarten Alltagsdinge und Umgebungen heißt hier, sich „schlau“ zu verhalten, ohne tatsächlich „intelligent“ zu sein.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> „The reader is reminded that just because something appears on Star Trek doesn't imply it is impossible.“ John Walker in „Unicard – Ubiquitous Computation, Global Connectivity, and the End of Privacy“ ([www.fourmilab.ch/documents/unicard.html](http://www.fourmilab.ch/documents/unicard.html)).

<sup>14</sup> Matthias Horx bringt dies in netter Form auf den Punkt: „Ich will nicht, dass mein Kühlschrank intelligent wird. Ich will, dass er blöd ist, aber schlau funktioniert.“

Der Ansatz, aus sensorischen Werten der Umgebung ein „smarteres“ Verhalten zu erzeugen, Intelligenz<sup>15</sup> also in gewisser Weise zu „simulieren“, ist natürlich durchaus kritikwürdig, und man muss sich fragen, wie weit man damit kommt, ohne in die schwerwiegenden Probleme der Interpretation einer Situation hineinzulaufen, die ein Weltmodell voraussetzen, woran sich in der Vergangenheit schon die Künstliche-Intelligenz-Forschung die Zähne ausgebissen hat (vgl. Lueg 2002). Nichtsdestotrotz, ob nun nur „smart“ oder tatsächlich „intelligent“: Ein Auto, das weiß, wo es ist, wo es war und wie es abhängig von der aktuellen Verkehrssituation schnell zum Ziel kommt, ist natürlich *nützlich*. Dinge darf man vielleicht dann „smart“ nennen, wenn sie sich situationsangepasst verhalten und angemessen auf die Umwelt reagieren.

Konkret schälen sich zurzeit zwei unterschiedlich akzentuierte Stoßrichtungen heraus, die durch den massiven Einsatz von Mikroelektronik die Welt informatisieren und – im wörtlichen Sinne – instrumentieren wollen: Zum einen sind es die Sensornetze, bei denen eine große Zahl kleinster und sich typischerweise zu drahtlosen Ad-hoc-Netzen formierender Sensoren in die Umwelt eingebracht werden, um diese im weitesten Sinne zu überwachen, zum anderen smarte Alltagsgegenstände, die ihren Nutzern aufgrund autonomer „Intelligenz“ (oder besser „Smartness“) und der Kooperationsfähigkeit mit anderen smarten Dingen und Hintergrundservices einen Zusatznutzen stiften. Beide Aspekte sollen nachfolgend thematisiert werden.

### Sensornetze

Mit miniaturisierten und energiearmen Sensoren, die ihre Werte – zumindest über kurze Distanzen – drahtlos übermitteln können, wird es möglich, Phänomene der realen Welt in bisher nie da gewesener Genauigkeit zu beobachten. Indem viele solche preiswerte Sensoren, integriert mit Prozessoren zur Verarbeitung und Weiterleitung der Signale, in die Umwelt oder physische Strukturen wie Brücken, Straßen oder Wasserleitungssysteme eingebracht werden, erhält man dichte Überwachungsnetze für vielfältige Zwecke (vgl. Akyildiz et al. 2002; Raghavendra u. Sivalingam 2002). Durch ihre geringe Größe und dadurch, dass sie keine physische Infrastruktur (Verkabelung, Stromanschlüsse etc.) benötigen, kann dies in flexibler und nahezu „unsichtbarer“ Weise geschehen, ohne die Prozesse der physischen Welt wesentlich zu beeinflussen.

In gewisser Weise handelt es sich dabei um einen Paradigmenwechsel im Einsatz von Computern: Verarbeitete man früher mit der „EDV“ Daten, die typischerweise manuell eingegeben wurden, so erfasst man jetzt – automatisch, online und in Realzeit – die physischen Phänomene selbst, was natürlich in einem viel größeren Umfang möglich ist (Estrin et al. 2002). Tatsächlich sendet die Umwelt eine Vielzahl von Signalen unterschiedlicher „Modalitäten“ aus; messen oder beobachten kann man akustische Phänomene, visuelle Phänomene wie die Bewe-

---

<sup>15</sup> „If a computer merely knows what room it is in, it can adapt its behavior in significant ways without requiring even a hint of artificial intelligence“ (Weiser 1991).

gung von Objekten oder aber einfach nur Helligkeit, Beschleunigung, Temperatur, Feuchtigkeit und viele andere Parameter.

Die Interpretation der Daten und Ereignisse, die nach lokaler Aufbereitung und Vorverarbeitung typischerweise an einer zentralen Stelle zusammenlaufen, ist ein Thema für sich, auf das hier nicht eingegangen werden soll. Hinsichtlich der technischen Aspekte und den Informatikkonzepten, die für einen großflächigen Einsatz vernetzter Sensoren notwendig sind, zeichnet sich die Machbarkeit inzwischen ab, auch wenn noch eine Vielzahl von Problemen zu lösen ist, bevor Sensornetze einfach angewendet werden können. Estrin et al. (2002) schreiben dazu: *„Interfacing to the physical world is arguably the single most important challenge in computer science today.“*

Tatsächlich sind die Herausforderungen nicht nur auf der Hardwareebene, sondern auch auf der Softwareebene enorm: Trotz starker Ressourcenbeschränkung hinsichtlich Speicher und Prozessorleistung (schließlich muss alles in wenigen Kubikmillimetern Platz haben), sollen nicht nur Sensorsignale vorverarbeitet werden, sondern die Sensorknoten sollten idealerweise in der Lage sein, sich spontan zu Ad-hoc-Netzen zu formieren (um Sensorwerte oder Steuerinformation untereinander austauschen und weitergeben zu können), mit der verfügbaren Energie sollte „klug“ umgegangen werden (indem z.B. die Relay-Funktionalität gegebenenfalls eingeschränkt wird oder die Messrate adaptiv angepasst wird) und das Gesamtsystem muss fehlertolerant sein (da immer damit zu rechnen ist, dass einzelne Knoten defekt sind oder aus Energiemangel ausfallen). Dies setzt Betriebssystemfunktionalität voraus, die sich von klassischen Betriebssystemen (auch von so genannten Realzeitbetriebssystemen) unterscheidet. In ähnlicher Weise stellt die Kommunikation neue Anforderungen: TCP/IP oder LAN-Protokolle eignen sich kaum – nicht nur, weil diese nicht auf den Zweck von Sensornetzen hin optimiert wurden (z.B. eher niedrige Bitraten, möglichst geringer Protokolloverhead), sondern auch weil die Voraussetzungen unterschiedlich sind. So sind bei Sensornetzen die einzelnen Knoten eher uninteressant und man möchte i.A. nicht einen mit einer bestimmten Adresse oder gar einem bestimmten Namen versehenen Knoten ansprechen, sondern z.B. eine gewisse geographische Region adressieren oder das gesamte Sensornetz hinsichtlich interessanter Sensorwerte befragen.

Selbstkonfiguration, Skalierbarkeit in Größenordnungen von Tausenden oder Millionen von Knoten und Energieeffizienz stellen weitere große Herausforderungen dar, für die es Ansätze und Konzepte, aber noch keine endgültigen Lösungen gibt. Dennoch erwartet man von Sensornetzen in mittelfristiger Zukunft Gewaltiges: Statt Experimente in einem Labor voller Instrumente durchzuführen, soll es dann – quasi umgekehrt – oft möglich sein, die extrem miniaturisierten Beobachtungsinstrumente am Experiment in der Natur selbst anzubringen. Ökosysteme beispielsweise sollten sich so viel leichter und umfassender beobachten lassen – auch wenn man von schwimmenden Sensoren in Planktongröße zur Beobachtung von Fischschwärmen vorerst höchstens träumen darf.<sup>16</sup> Allgemein dürften die

<sup>16</sup> Forscher von Intel instrumentieren immerhin schon Rebstöcke („Intel and winemaking? Yes you read right!“). Dazu Intel-Cheftechnologe Pat Gelsinger: „Imagine smart farmlands where literally every vine plant will have its own sensor making sure that it gets

stark sinkenden Kosten zur Überwachung und Informationsgewinnung viele Anwendungen ermöglichen, die bisher unwirtschaftlich gewesen wären – vor allem auch im industriellen Bereich.<sup>17</sup> So schätzt die Basler Intecho Consulting, dass der globale Markt für Sensoren bis 2008 auf 50 Milliarden Euro anwachsen wird. Selbstverständlich ist das Militär an sich autonom konfigurierenden Sensornetzen – vor allem in der Form von „smart dust“ (Kahn et al. 1999) – sehr interessiert, da diese ein ideales Aufklärungsmittel darstellen. Die US-amerikanische DARPA-Förderinstitution hat im Jahr 2002 Sensortechnik und Sensornetze zu einem Thema höchster Priorität erklärt und fördert dies mit 160 Millionen US-Dollar aus eigenen Mitteln sowie 500 Millionen US-Dollar „matching funds“ anderer staatlicher Institutionen.

Die generische „Killerapplikation“ von Sensornetzen ist das feinmaschige und umfassende Monitoring. Werden damit nicht Ökosysteme, Produktionsprozesse oder physische Infrastrukturen überwacht, sondern in indirekter oder direkter Weise Menschen, dann zieht eine solche einfach anzuwendende und nahezu unsichtbare Technik natürlich massive gesellschaftliche Probleme nach sich – viele Wünsche totalitärer Machthaber, staatlicher Institutionen oder neugieriger Zeitgenossen würden damit wohl mehr als zufrieden stellend erfüllt (Cas 2002): *„The conflicting relation between freedom and security ... will be dramatically strengthened by Ubiquitous Computing as this technology will increase the quantitative and qualitative possibilities of monitoring immensely and extend it to spheres which are currently out of the reach of permanent and unobtrusive surveillance.“* Auf den allgemeinen Aspekt der „privacy“ im Zeitalter des Ubiquitous Computing gehen wir an anderer Stelle noch ein.

### Smarte Gegenstände

Mit der weiter oben skizzierten absehbaren Technikentwicklung kann Alltagsgegenständen eine neue, zusätzliche Qualität verliehen werden – diese könnten nicht nur mit Menschen und anderen smarten Gegenständen in geeigneter Weise kommunizieren, sondern zum Beispiel auch erfahren, wo sie sich befinden, welche anderen Gegenstände in der Nähe sind, was in der Vergangenheit mit ihnen geschah und was in ihrer Umgebung los ist.

Grundlage und Vorläufer smarterer Alltagsdinge sind – was die Informatikkonzepte betrifft – die so genannten „eingebetteten Systeme“. Dabei handelt es sich um Computer, die zu Steuerungsaufgaben in Maschinen und andere Geräte eingebaut werden. Heute sind diese typischerweise auf einem einzigen Chip integriert, wobei es weniger um hohe Rechenleistung als vielmehr darum geht, einen solchen

---

exactly the right nutrients, exactly the right watering.“  
([www.intel.com/labs/features/rs01031.htm](http://www.intel.com/labs/features/rs01031.htm))

<sup>17</sup> Fano und Gershman (2002) drücken den Fortschritt gegenüber der gegenwärtigen Data-Mining-Praxis gleichnishaft so aus: „Fire departments don’t rely on data mining records from past fires to tell them where to go next. They rely on smoke detectors to tell them what is happening now.“

Chip klein, billig und Strom sparend auszulegen. Traditionelles Einsatzgebiet eingebetteter Systeme waren vor allem Realzeitanwendungen, zunächst vorwiegend im militärischen Bereich und der Flugzeug- und Fahrzeugindustrie. Mit der einhergehenden Verkleinerung und Verbilligung der Hardware wurden aber im Laufe der Zeit auch zunehmend andere Geräte „elektronifiziert“ und digitalisiert. Im Jahr 2000 fanden sich bereits über 98 % aller ca. 8 Milliarden hergestellter Mikroprozessoren nicht in den rund 150 Millionen gefertigter PCs oder sonstigen Computern, sondern in irgendwelchen anderen Geräten. Da der technische Fortschritt mit seinen Konsequenzen hinsichtlich Energiebedarf, Größe und Leistungsfähigkeit auch hier entsprechend dem verallgemeinerten mooreschen Gesetz verläuft, ist ein Ende dieses Trends vorerst nicht abzusehen – man kann daher erwarten, dass letztlich fast beliebige Alltagsgegenstände auf diese Weise „smart gemacht“ werden, sofern dies im jeweiligen Fall irgendeinen wirtschaftlichen Sinn ergibt.

Konkrete<sup>18</sup> Anwendungen für smarte Dinge einzuschätzen ist schwierig, und auch Experten sind sich nicht darüber im Klaren, welche der vielen oft zunächst absurd klingenden Ideen – angefangen vom Fertiggericht, das Rezeptvorschläge (und Werbung) auf die Kühlschranktür projiziert, bis hin zur „smarten“ Unterwäsche, die kritische, vom individuellen Normalfall abweichende Pulsfrequenz und Atemtätigkeit dem Hausarzt weitermeldet – letztendlich eine wichtige Rolle in der Zukunft spielen könnten. Jedenfalls dürfte es in der Praxis nicht nur um den klischeehaft bemühten Kühlschrank<sup>19</sup> gehen, der die Milch automatisch nachbestellt und als abschreckendes Beispiel für eine entfremdete Weltsicht technikvernarrter Zeitgenossen herhalten muss (*„Nein, Küchenmaschinen sollten nicht denken können – was will ich mit einer Espressomaschine, die hinter meinem Rücken im Internet Quellwasser aus dem Apennin ordert, weil der Idiot mich mit seinem verkalkten Leitungswasser umbringen will!“*).<sup>20</sup>

Generell scheint das Potential hinsichtlich sinnvoller Anwendungen jedoch groß, wenn Gegenstände miteinander kooperieren können und prinzipiell Zugriff auf jegliche in Datenbanken oder im Internet gespeicherte Information haben bzw. jeden passenden Internet-basierten Service nutzen können. So gewinnt offenbar ein automatischer Rasensprenger nicht nur durch eine Vernetzung mit Feuchtigkeitssensoren im Boden an Effizienz, sondern auch durch die im Internet kostenlos erhältliche Wetterprognose. Entsprechendes gilt auch für einen Thermostaten, dem man nicht nur die Wunschttemperatur sondern auch ein Budget vorgibt, mit dem dieser zur Erlangung des Zieles verantwortungsvoll, aber nach eigenem Ermessen haushaltet (vgl. Fano u. Gershman 2002). Um ihre Aufgabe gut zu erfüllen, müssen smarte Dinge (beispielsweise über Sensoren) mit Informationen ihrer Umge-

<sup>18</sup> „Odd new things become possible. Shirt labels gain the power to disclose what airplanes, trucks, and ships carried it, what substances compose it, and the URL of a webcam in the factory where the shirt was manufactured. Things tell you where they are. Places can be haunted by intergenerational messages. Virtual graffiti on books and bars becomes available.“ (Rheingold 2003)

<sup>19</sup> „It would be necessary occasionally to reboot the refrigerator“ (Lucky 1999)

<sup>20</sup> Hans Zippert in „Gold“, zitiert nach Matthias Horx, „High Tech/High Touch“.

bung versorgt werden, weil erst dadurch eine Wechselwirkung zwischen Computer und „Cyberspace“ einerseits und der realen Umwelt andererseits möglich wird. Sie sollten aber auch mit anderen nahen oder fernen Objekten kommunizieren können. Beim Thermostaten verbessern und erleichtern beispielsweise Informationen über Innentemperatur, Sonneneinstrahlung, Außentemperatur sowie Fensterstellung die Durchführung der Aufgabe wesentlich (Fleisch u. Dierkes 2003); vollumfänglich handeln kann er aber nur, wenn er auch mit dem Elektrizitätswerk über Sonderangebote verhandeln kann oder mit dem Auto seines Besitzers konspiziert, um zu erfahren, ob mit einer baldigen Rückkehr der Bewohner zu rechnen ist – wobei fraglich ist, wie viel Handlungsautonomie man einem Thermostat-Agenten eigentlich geben sollte ...

Viele weitere Anwendungen „schlauer“ und kommunizierender Alltagsdinge sind denkbar. Die Grenzen liegen dabei weniger in der technischen Natur, sondern sind eher ökonomischer (Geschäftsmodelle, Standards, Amortisation der Infrastruktur, Kosten des Informationszugriffs etc.) oder sogar rechtlicher Art (was darf der Gegenstand wem verraten und was darf er sich merken?). Anfangs werden von einer ubiquitären Vernetzung und „kollektiven Intelligenz“ sicherlich eher solche höherpreislichen Haushaltgeräte, Maschinen oder Autos profitieren (und damit zur Verbreitung der Techniken und Infrastrukturen beitragen), die durch sensorgestützte Informationsverarbeitung und Kommunikationsfähigkeit einen deutlichen Mehrwert erhalten. Mittel- und langfristig dürften die diversen Techniken des Ubiquitous Computing in ihrem Zusammenspiel jedoch allgemein eine große wirtschaftliche Bedeutung erlangen. Denn werden industrielle Produkte (wie z.B. Fertiggerichte, Arzneimittel oder Kleidungsstücke) durch integrierte Informationsverarbeitungsfähigkeit „schlau“, oder erhalten sie auch nur eine fernabfragbare elektronische Identität beziehungsweise Sensoren zur Wahrnehmung des Kontextes (wissen also z.B. wo und in welcher Umgebung sie sich gerade befinden), so sind dadurch innovative Produkte und ganz neue Services möglich.

Sind die Grundtechniken und zugehörigen Infrastrukturen dann erst einmal eingeführt, könnten auch viele andere und eher banale Gegenstände – vom Terminkalender bis zum Möbelstück, vom Spielzeug bis zur Konservendose – ganz selbstverständlich das Internet mit seinen vielfältigen Ressourcen für die Durchführung ihrer Aufgaben mit einbeziehen, auch wenn sich die Nutzer selbst dieses Umstands gar nicht bewusst sind. Für Geschäftstransaktionen, die ohne menschliches Zutun von Maschine zu Maschine oder von Ding zu Ding ablaufen, wurde jedenfalls von findigen Unternehmern schon ein Begriff geprägt: „silent commerce“.

In dieser Hinsicht hat das Beratungsunternehmen Accenture mit den so genannten „autonomous purchasing objects“ einen schon fast provokativen Vorschlag gemacht. Dabei denkt man nicht nur an Kopierer, die in eigener Verantwortung Papier nachbestellen, sondern präsentiert dem staunenden Publikum auch Barbie-Puppen<sup>21</sup>, die sich programmgesteuert und zum Entzücken der Kinder (und ihrer

---

<sup>21</sup> Dem Vernehmen nach war die Spielzeugfirma Mattel als Eigentümerin der Marke darüber gar nicht glücklich und schickte gleich die Anwälte – heute ist auf den Web-Seiten von Accenture nur noch von „a doll“, aber nicht mehr von der Barbie die Rede.

Eltern ...) neue Kleidchen von ihrem eigenen Taschengeld kaufen<sup>22</sup> (Maeder 2002): „*Barbie detects the presence of clothing and compares it with her existing wardrobe. The toy can buy straight from the manufacturer via the wireless connection. She can be constantly and anonymously shopping, even though the owner might not know it.*“ Den Verkäufer der Zukunft mögen angesichts solcher (tatsächlich absurder?) Vorstellungen ganz neue Fragen quälen (Fano u. Gershman 2002): „*Once objects become customers the question of what constitutes a customer relationship must be completely reexamined. How do you earn loyalty from a doll? These are among the challenges ubiquitous commerce will pose.*“

Mit Sensoren und Kommunikationsmöglichkeiten ausgestattete Alltagsgegenstände könnten aber auch neue Dimensionen im Leasinggeschäft und in Strategien für die Preisgestaltung eröffnen. Viele Gegenstände mögen sich nämlich für das Pay-per-use-Leasing als Alternative zum Kaufen eignen, vorausgesetzt, es kann festgestellt werden, wie oft, beziehungsweise wie intensiv, die Nutzung erfolgt – etwas, das bisher eigentlich nur beim Telefonieren, beim Stromverbrauch oder bei der Straßenmaut einfach machbar war. Accenture preist dieses „continuous selling“ genannte Modell nicht nur für den Verkäufer, sondern auch für den Kunden an: „Obviously, it’s great for the buyer because they only pay for what they use.“ Inwieweit die Kunden das mitmachen wollen, wird sich allerdings erst noch zeigen müssen: es ist sicherlich nicht jedermanns Sache, einer neuen Art des Lehnswesens Vorschub zu leisten und sich von einem Serviceprovider abhängig zu machen, der die Nutzung eines smarten Gegenstandes begrenzt und nach komplexen Preisstrategien einzeln abrechnet – eine „flat rate“ durch klassischen Kauf und Besitz einer Sache mit dem dadurch erworbenen Anspruch auf „unlimited mileage“ kann in vielen Fällen attraktiver wirken.

Aber angenommen, ein Kurzzeitleasing ließe sich in Zukunft auf viele weitere Dinge ausweiten, für die man dann in Abhängigkeit von der tatsächlichen Nutzungsdauer oder -intensität bezahlt. Über die Zeit würden sich somit viele Kurzverträge und Micropayments summieren. Unabhängig von der technischen Realisierbarkeit drängt sich dabei die Frage auf, wie man dann noch den Überblick über die Vielzahl der abgeschlossenen Kurzzeitverträge bzw. über die unzähligen geleisteten Kleinstzahlungen behalten könnte, geschweige denn, wie sich die Rechtmäßigkeit dieser Transaktionen im Nachhinein noch überprüfen ließe. Es ist sicherlich unrealistisch, Tausende von Transaktionen und Microleases von Hand nachverfolgen zu wollen, und es ist insofern fraglich, inwiefern unangemessene finanzielle Forderungen erkannt und rechtmäßige Zahlungen auch eindeutig und

<sup>22</sup> Interessanterweise taucht die smarte Barbie-Puppe auch in der recht amüsant zu lesenden *technology timeline* von BTextact auf (Pearson u. Neild 2002). Dort wird u.a. prophezeit: „2003 – Smart Barbie insists on allowance for clothes and accessories; 2004 – Security Barbie used for locating lost offspring; Shopping Barbie acts as personal shopper for children; 2010 – Smart Barbie with personality chip and full sensory input.“ Man mag diese Vorhersagen aber nicht ernster nehmen als die vielen anderen der *timeline*, etwa dass es aktive Kontaktlinsen (aber auch „orgasm by email“) schon 2010 geben soll, wir auf „computer enhanced dreaming“ genauso wie auf die „anti noise technology in gardens“ aber leider noch bis 2020 warten müssen.

unabstreitbar dem Verursacher zugeordnet werden können. Es werden also sichere und gleichzeitig effiziente Mechanismen benötigt, mit deren Hilfe auch beim „ubiquitous commerce“ die Zurechenbarkeit von Forderungen und Leistungen gewahrt bleibt – möglicherweise tut sich hier auch ein Geschäftsfeld für vertrauenswürdige Intermediäre auf.

Auch wenn es im Einzelnen derzeit noch nicht abgeschätzt werden kann, dürfte jedenfalls klar sein, dass um die vielen schlaun Dinge herum völlig neue Anwendungen<sup>23</sup> entstehen werden. Der digitale Mehrwert von Produkten eines Herstellers kann diese von physisch ähnlichen Erzeugnissen der Konkurrenz deutlich absetzen und Kunden stärker an eigene Mehrwertdienste und dazu kompatible Produkte binden. Man kann generell erwarten, dass hybride Produkte entstehen werden, die sich aus physischer Leistung (z.B. ein Medikament mit seinen biochemischen und medizinischen Wirkungen) und Informationsleistung (bei diesem Beispiel etwa aktuelle Hinweise zum Verlauf einer Grippeepidemie) zusammensetzen. Dies dürfte zu gravierenden Veränderungen im Geschäftsprozess führen, hin zu einer noch stärkeren Serviceorientierung, denn vernetzte smarte Dinge können nur dann ihr ganzes Potential ausspielen, wenn sie in eine umfassendere Struktur eingebunden sind. Geschäftsbeziehungen verschieben sich daher noch mehr vom reinen Verkauf eines Produktes zum Anbieten eines Services<sup>24</sup>, was eine längerfristige und vertrauensvolle Beziehung zwischen Kunden und Herstellern bzw. Serviceanbietern voraussetzt. Man kann daher erwarten, dass smarte Produkte als Marketinginstrument eingesetzt werden und die „smartness“ der Dinge auch zur Festigung der Bindung des Kunden an einen Anbieter beziehungsweise einer bestehenden Geschäftsbeziehung eingesetzt wird – in wesentlich umfassenderer Weise als dies etwa mit Kundenkarten und Bonusmeilen derzeit möglich ist und auch unter Einbeziehung emotionaler<sup>25</sup> Aspekte, die durch solche Dinge gefördert werden können. Letztlich dürften smarte Produkte auch wesentlich dazu beitragen, die Service-Ökonomie zu einer „Erlebnis-Ökonomie“ im Sinne von Pine und Gilmore (1999) zu erweitern.

Die Kunst des Verführens zum Kaufen könnte jedenfalls eine neue Hochform erreichen (Bohn et al. 2003), indem smarte Produkte in subtiler Form für sich selbst oder, im Sinne des cross marketings, für ihre „Freunde“ werben. So könnte

---

<sup>23</sup> Als im Frühjahr 2003 der Bekleidungshersteller Benetton ankündigte, künftig Transponder in seine Produkte einzunähen, entwickelten einige Teilnehmer des Heise-Leserforums ([www.heise.de](http://www.heise.de)) spontan einige eher abschreckende und nicht ganz so ernst gemeinte Anwendungsmöglichkeiten wie z.B.: „VIPs bekommen das Sponsorgeld nur, wenn sie die Kleidung wirklich anhaben“, „mit Klamotten unter 500 Euro kommst Du nicht in diese Bar“ oder – bezogen auf die Unterwäsche – „Mann kann dann erkennen, ob es sich lohnt, sie zum Essen einzuladen oder nicht – wenn sie das Oma-Modell trägt, ist sie bestimmt nicht auf eine heiße Nacht eingerichtet.“

<sup>24</sup> Fano und Gershman (2002) sehen sogar viele neue „Microservices“ voraus, die quasi kontinuierlich erbracht werden. So bemerken sie beispielsweise zum smarten Online-Medizinschränkchen: „Every visit to the bathroom potentially becomes a visit to your health care service provider.“

<sup>25</sup> Vgl. dazu auch „Kundenbindung durch Emotionen“ in (Fleisch u. Dierkes 2003).



z.B. ein smarter Kühlschrank Kochrezepte zu den in ihm gelagerten Waren liefern und eine Vertrauensbasis zum Konsumenten aufbauen, indem er über Ursprung und Inhaltsstoffe der Lebensmittel Auskunft gibt. Gleichzeitig kann er dann aber als Co-Branding-Maßnahme Bonuspunkte vergeben, jedes Mal wenn Tiefkühlprodukte einer bestimmten Marke, die er empfiehlt, darin aufbewahrt werden. Und warum sollte er nicht – vielleicht gegen weitere Bonuspunkte – die Essgewohnheiten weitermelden, um ein individuelles Marketing zu ermöglichen?

Die neuen Möglichkeiten, die smarte Produkte bieten, werden in diesem Sinne auch Einfluss darauf haben, wie Kundenbeziehungen gestaltet und gemanagt werden; Fano und Gershman (2002) meinen dazu: „*The move to ubiquitous computing where we can interact with a service through a product rather than a PC or phone will radically change the nature of customer relationships.*“ Durch smarte Produkte erhalten Customer-Relationship-Systeme mehr und präzisere Informationen (vgl. Siegele 2002), so dass nicht nur ein zielgruppengenaues, sondern oft sogar ein käufergenaues One-to-One-Marketing<sup>26</sup> mit entsprechendem Cross-Selling-Potential oder personenbezogener Preisdifferenzierung möglich wird, bei der jeder Konsument einen individuellen Preis erhält, der idealerweise genau seiner Zahlungsbereitschaft entspricht (vgl. Pfaff u. Skiera 2002; Skiera u. Spann 2002) – wobei es sich noch zeigen muss, ob Kunden dies positiv aufnehmen werden oder solchen Möglichkeiten eher mit Misstrauen begegnen werden. Denn da die neuen Techniken es Verkäufern erlauben, ihre Kunden sehr viel genauer zu taxieren und zu kategorisieren als bisher, ist zu erwarten, dass entsprechend maßgeschneiderte Angebote stärker den Profit des Händlers maximieren und die Kunden dabei das Nachsehen haben, weil Letztere schnell den Überblick über die diversen Preiskategorien und individuellen Sonderangebote verlieren. Dadurch könnte sich der Eindruck der Ungleichbehandlung verstärken und mit der Angst, „über’s Ohr gehauen“ zu werden, einem Verlust an Sicherheit und Vertrauen Vorschub geleistet werden – schon heute ist es ja manchmal irritierend, dass kaum zwei Leute in einem Flugzeug den gleichen Preis für ihr Flugticket bezahlt haben. Aufgrund massiver Kundenkritik hat jedenfalls Amazon, das bekannte Online-Kaufhaus, nach nur zwei Wochen einen Testlauf für individuelle DVD-Preise unter Entschädigung der düpierten Käufer beenden müssen (USA Today 2000) – dessen ungeachtet könnten aber verfeinerte Prinzipien individueller Preisgestaltung in Zukunft erfolgreich sein. Von einem ethischen Standpunkt aus betrachtet sollte dabei allerdings weniger die Fairness oder die Orientierungslosigkeit einzelner Kunden ein Problemaspekt darstellen, als der dadurch induzierte allgemeine Prozess des „social sorting“, den der Soziologe David Lyon beschreibt als „*categorizing persons and groups in ways that appear to be accurate, scientific, but*

<sup>26</sup> Das One-to-One-Marketing individueller Produkte wurde unter der Devise „manage your customers, not just your products“ 1993 von Don Peppers und Martha Rogers in ihrem Buch „The One to One Future“ propagiert. Aus heutiger Sicht, nur 10 Jahre später, mag man kaum glauben, dass dort das World Wide Web überhaupt nicht vorkommt – es war aber gerade erst entwickelt worden und spielte seinerzeit (ebenso wie das Internet generell) kommerziell noch keine Rolle. Stattdessen nahmen die Autoren an, dass in naher Zukunft jeder Privathaushalt mit einem Faxgerät ausgestattet sein würde.

*which in many ways accentuate difference and reinforce existing inequalities*“ (Lyon 2001).

Jenseits spezifischer Anwendungsmöglichkeiten smarterer Dinge dürfte sich bei der Pflege und Weiterentwicklung der notwendigen globalen Infrastruktur ein anderes wichtiges Geschäftsfeld auftun – einschließlich Maßnahmen, um dem in einer solchen Umgebung erhöhten Bedürfnis nach Sicherheit und Datenschutz gerecht zu werden. Dies mag vielleicht sogar einmal eine ganze Industrie beschäftigen, analog den heutigen Versorgungskonzernen im klassischen Telekommunikations- und Energiesektor.

## **Verknüpfung der realen Welt mit der virtuellen Welt**

Unsere Welt ist voll von kleinen und daher leicht beweglichen Gegenständen; bei fast allem, was wir besitzen und was uns etwas bedeutet, handelt es sich um „Mobilien“. Eine wesentliche Voraussetzung dafür, Menschen in einer gegenständlichen Umgebung beim Umgang mit solchen Dingen zu unterstützen, besteht darin, ein Objekt wieder zu erkennen, es also zu identifizieren. Ist ein Gegenstand selbst nicht „schlau“ (weil er z.B. nicht die nötigen Ressourcen in Form eingebetteter Mikroelektronik besitzt), dann kann eine smarte Umgebung, die ihn erkennt, hier behilflich sein und die Ressourcen in virtueller Form bereitstellen, in gewisser Weise die Smartness eines Gegenstandes also simulieren (vgl. Rohs u. Bohn 2003) – und zwar, wie deutlich werden wird, auf der Grundlage bekannter Informatikkonzepte wie „virtueller Speicher“ und „copy by reference“. Insofern stellt die Fernidentifikation von Dingen eine wichtige Grundfunktionalität für smarte Umgebungen dar.

Zur Identifikation von Gegenständen über eine Distanz von einigen Metern steht eine Reihe von laufend weiter perfektionierten Techniken zur Verfügung. Neben den noch nicht für eine breite Anwendung geeigneten Möglichkeiten einer Markierung mit biochemischen Mitteln oder der rein optischen Erkennung (viel versprechende Erfolge gibt es hier allerdings bereits mit der automatischen Identifikation von Gesichtern oder Fahrzeugen), sind dies vor allem die oben erwähnten elektronischen Etiketten. In etwas aufwendigerer und daher teurerer und größerer Bauform senden diese batteriegespeist in regelmäßigen Zeitabständen ein eindeutiges Funksignal aus, das von der Umgebung erkannt wird. Im Unterschied dazu benötigen die papierdünnen und kaum noch Quadratmillimeter großen passiven elektronischen Etiketten, die auf Gegenstände geklebt oder bei der Herstellung von Produkten in diese integriert werden, zwar aufwendigere „Detektoren“, welche die Etiketten gewissermaßen anfunken und deren eindeutige Funkechos erkennen, die Etiketten selbst sind jedoch preiswerter und arbeiten ohne Batterie, sind also für den Masseneinsatz prädestiniert.

Bislang werden solche „smart labels“ in prototypischer Weise zur Erhöhung der Fälschungssicherheit von Markenprodukten (als eine Art elektronisches Siegel) oder zur Optimierung von Lagerhaltung und Produktionsprozessen eingesetzt. Das Auto-ID-Center am MIT ist nun aber bemüht, die technischen und infrastrukt-

turellen Voraussetzungen dafür zu schaffen, RFID labels in ubiquitärer Weise als Ersatz für den bekannten Strichcode auf Waren aller Art anzubringen (Sarma et al. 2001, 2002). Ist ein Objekt durch eine Nummer eindeutig gekennzeichnet (64 oder 128 Bit genügen dafür typischerweise), dann kann an geeigneter Stelle (Wareneingang, Supermarktkasse, Verarbeitungsstation eines Produktionsprozesses etc.) beim Lesen dieser Nummer ein zugehöriger Datensatz aus einer Datenbank abgerufen oder aktualisiert werden.

In gewisser Weise stellt der spezifische Datenbankeintrag das externe Gedächtnis des Gegenstandes dar – die dem Gegenstand gehörende oder zumindest damit assoziierte Information befindet sich also in einem „virtuellen Speicher“, den man logisch dem Gegenstand zuordnen kann. Anders betrachtet kann man annehmen, dass es zu jedem physischen Objekt ein informationelles Gegenstück (eine Art „Datenschatten“) irgendwo im Internet gibt, dessen Adresse am physischen Objekt anhaftet. Konkret kann man sich vorstellen, dass dieser Datenschatten durch eine individuelle (und maschinenlesbare) Homepage des Gegenstandes dargestellt wird und das Bitmuster seiner Identifikationsnummer die Internetadresse des Gegenstandes repräsentiert. Zwar ist diese Betrachtungsweise aus nahe liegenden Gründen (Datenstrukturierung, Zugriffsschutz auf gewisse Daten, Effizienz des Zugriffs, Skalierbarkeit, Persistenzgarantien etc.) für die Praxis zu simpel, als Modell einer dann aufwendiger implementierten Realisierung eignet es sich jedoch gut. Ein entsprechend ausgestatteter Gegenstand vermag sein informationelles Gegenstück auch selbstständig mit Sensordaten wie etwa seinem Aufenthaltsort versorgen. Man kann so in gewisser Weise den Gegenstand mit der elektronischen Identifikation als den „Körper“ des Objektes ansehen, sein informationelles Gegenstück dagegen als dessen „Seele“, das die objektspezifischen Daten speichert und gegebenenfalls sogar als aktive Informationseinheit autonom agieren und kommunizieren kann.

Die Fernidentifikation automatisiert damit die Verknüpfung der realen Welt der Alltagsdinge mit der virtuellen Welt des Internets – bezogen auf wirtschaftliche Aspekte heißt das konkreter die Verknüpfung von Produkten und Betriebsmitteln mit Electronic-Commerce- und Supply-Chain-Management-Systemen (Kubach 2003), wobei vielfach der Mensch als Mediator zwischen realer und virtueller Welt ersetzt wird. Als Konsequenz ermöglicht dies unter anderem neue Geschäftsprozesse und hilft, Durchlaufzeiten, Lagerbestände, Risiken und Fehlerraten zu reduzieren (Schoch u. Strassner 2003), trägt zur Qualitätssicherung, Entsorgung und Wiederverwertung bei und ermöglicht schließlich vor allem auch zahlreiche neue Dienstleistungen sowie die konsequente Individualisierung bzw. Personalisierung von Gütern über deren gesamten Lebenszyklus.

Längerfristig lassen die Verfahren der entfernten Identifikation von Gegenständen zusammen mit dem drahtlosen Informationszugriff sowie Techniken der Mobilkommunikation und des „wearable computing“ allerdings Möglichkeiten zu, die über die Optimierung von Geschäftsprozessen weit hinausgehen und die gewissermaßen auf eine Informatisierung der Welt hinauslaufen. Insbesondere kann auf diese Weise mit Dingen „kommuniziert“ werden: Lässt sich die Internetadresse des Datenschattens eines Alltagsgegenstandes mit einem handlichen Gerät –

man denke an ein Handy in Form und Größe eines Stiftes – auslesen, indem man damit auf den Gegenstand zeigt, so kann dieser „Handystift“ von sich aus, ohne weitere Zuhilfenahme des „anvisierten“ Gegenstandes, die entsprechende (vom Datenschatten bereitgestellte) Information über das drahtlose Mobilnetz aus dem Internet besorgen und anzeigen (vgl. Kindberg et al. 2000).

Für den Nutzer entsteht so der Eindruck, als habe ihm der Gegenstand selbst eine Information „zugefunkt“, obwohl diese tatsächlich vom Zeigegerät in indirekter Weise („copy by reference“) aus dem Internet besorgt wurde (Barrett u. Maglio 1998). Bei der Information kann es sich beispielsweise um eine Gebrauchsanweisung handeln, um ein Kochrezept für ein Fertiggericht oder auch um den Beipackzettel eines Arzneimittels. Was im Einzelnen angezeigt wird, mag vom „Kontext“ abhängen – also etwa davon, ob der Nutzer ein guter Kunde ist und viel für das Produkt bezahlt hat, ob er über oder unter 18 Jahre alt ist, welche Sprache er spricht, wo er sich gerade befindet oder welchen „Welterklärungsservice“ eines Lexikonverlags er abonniert hat – aber vielleicht ja auch davon, ob er seine Steuern brav bezahlt hat.

Das Zeigegerät mag in Zukunft auch um ein Stück elektronisches Papier oder eine spezielle Brille zur Anzeige der zugefunkten Information ergänzt werden. Weiterhin sind natürlich nicht nur menschliche Nutzer an Zusatzinformation zu Gegenständen interessiert, sondern ebenso andere „schlaue“ Dinge. Eine Mülltonne mag beispielsweise neugierig auf die Recyclingfähigkeit ihres Inhaltes sein, ein Arznschrank mag um die Verträglichkeit seiner Medikamente und deren Haltbarkeit besorgt sein. Prinzipiell spricht – zumindest aus technischer Hinsicht – auch gar nichts dagegen, dass Gegenstände (bzw. deren informationelle Gegenstücke im Internet) Information untereinander austauschen, sich also quasi miteinander unterhalten, sofern eine gemeinsame Verständigungsbasis in Form einer normierten, formalen Sprache vorhanden ist. Entsprechende Bemühungen, Produktbeschreibungssprachen zu definieren, gibt es bereits (Floerkemeier u. Koh 2002).

## Implikationen

Was bedeutet es, wenn der Computer als Gerät verschwindet<sup>27</sup>, er eine Symbiose mit den Dingen der Umwelt eingeht und höchstens noch als eine Art unsichtbare Hintergrundassistenten wahrgenommen wird? Michael Lyons von British Telecom plädiert für eine hinsichtlich möglicher Vor- und Nachteile ausgewogene Analyse der Konsequenzen und kritisiert gleichzeitig die weitgehend technikzentrierte Sicht des Ubiquitous Computing (Lyons 2002): „*The vision is largely technology driven, yet pervasive computing has the potential to alter radically the way indi-*

---

<sup>27</sup> „The history of computers is actually quite simple. In the beginning there were no computers. Then there were computers. And then there were none again. Between the second and the third stage, they simply disappeared. They didn't go away completely. First they faded into the background. Then they actually merged with the background.“ (Brown 2001)

*viduals relate to themselves, each other, the world and to institutions such as businesses and government authorities. ... Much literature focuses on the undoubted benefits such systems can offer. For example, applications in the area of home care and medical monitoring will provide a much greater degree of security for vulnerable people than is currently possible. However, to ignore the potential of the technology to control individuals and restrict freedoms is as naive as to focus solely on the disadvantages.*“

Während eine Technikanalyse höchstens die Frage zu beantworten vermag, was die Zukunft bringen *kann*, muss die Frage, was die Zukunft bringen *darf*, durch einen gesellschaftlichen Prozess beantwortet werden. Angesichts der zu erwartenden Durchdringung vieler Lebensbereiche mit allgegenwärtiger Informationstechnik und den daraus resultierenden wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen stellt sich dabei verstärkt auch die Frage nach den vorhandenen Gestaltungsspielräumen. Letzteres ist gleichermaßen ein technisches und ökonomisches wie auch ein politisch-juristisches Problem.

Langfristig ergeben sich, bedingt durch die Anwendungsbreite des Ubiquitous Computing, jedenfalls viele spannende Herausforderungen im nicht-technischen Bereich. Wenn in Zukunft beispielsweise Information an „elektronisch aufgewerkelte“ Dinge angeheftet wird, physische Dinge also quasi selbst zu Medien<sup>28</sup> werden, wer darf dann über den Inhalt bestimmen? Kann etwa eine Verbraucherschutzinstitution die in einem elektronischen Etikett eines Fertiggerichtes gespeicherte Identifikationsnummer mittels eines eigenen Verzeichnisdienstes auf eine andere Information abbilden, als es der Hersteller beabsichtigt hat, um so beispielsweise vor Allergenen bei den Inhaltsstoffen zu warnen? Ist das zumindest dann gestattet, wenn der Nutzer dies explizit wünscht? Anders ausgedrückt: Wenn Dingen Information oder eine Identifikation anheftet, die es ermöglicht, dass ein – vielleicht in einer Brille befindlicher – persönlicher digitaler Assistent die Welt erläutert („Computer, was ist das?“), dürfen die Dinge der Welt dann vom Hersteller der smarten Brille beliebig interpretiert werden? Da die Verknüpfung von Ortskoordinaten mit Information technisch einfacher zu bewerkstelligen ist als das Auslesen von Information, die physischen Dingen anhaftet, kann dieses Problem bei ortsbewussten Diensten im Zuge derzeit entwickelter elektronischer Stadtpläne und Touristenführer schon bald virulent werden. „*The digital divide with location based services is going to be about who controls information about your community. When I go to Harlem, do I get information that’s created by the residents of Harlem, or by Yahoo in Santa Clara?*“ meint dazu etwa Anthony Townsend (vgl. Goldman 2001). Weil Weltsichten schon oft Anlass zum Streit waren, darf man

---

<sup>28</sup> „Things we hold in our hands are already speaking to things in the world. Using our telephones as remote controls is only the beginning ... A new media sphere is emerging from this process, one that could become at least as influential, lucrative, and ubiquitous as previous media spheres opened by print, telegraphy, radio, television, and the wired Internet ... Media spheres include industries and financial institutions, content providers and consumers, regulatory infrastructures, power structures, civic impacts ...“ (Rheingold 2003)

sich diesbezüglich nun, wo der Cyberspace mit der Realität auf Tuchfühlung geht oder sogar mit ihr verschmelzen wird, noch auf einiges gefasst machen!

Interessant ist in dieser Hinsicht das AURA-Projekt<sup>29</sup> von Microsoft Research, bei dem es primär um soziologische Aspekte beim Annotieren physischer Objekte mit Information im Web geht, sowie das im „Untergrund“ entstandene CueJack-Programm<sup>30</sup>. Man hat dort einen Barcode-Scanner mit einem PC verbunden, der über eine Datenbankabfrage aus der eingescannten Produktnummer die Herstellerfirma ermittelt und diesen Namen zusammen mit „geeigneten“ Schlagworten wie „boycott“ oder „profits“ einer Suchmaschine übergibt. Das Ergebnis verblüffte unbedarfte Nutzer: Es erschienen eindeutig ideologisch gefärbte oder „alternative“ Web-Seiten zu den willkürlich eingescannten Lebensmitteln, die bestimmt nicht für das Produkt werben! Nun kommt einem dieses Experiment vielleicht wie ein billiger Taschenspielertrick vor – es zeigt aber, wie einfach es im Prinzip ist, den informatisierten Dingen der Welt eine (naive) Ideologie aufzuprägen.

Damit stellt sich letztlich auch die Frage, wer die Objektivität und Richtigkeit von „Aussagen“ smarterer Objekte und Produkte garantiert (Bohn et al. 2003). Wer bestimmt beispielsweise, was eine smarte Sprechpuppe den Kindern erzählt? Könnten die Kinder ideologisch polarisiert werden? Es besteht jedenfalls die Gefahr, dass die Puppe, ohne dass die Eltern sich dessen voll bewusst sind, Einfluss auf die Meinungsbildung der Kinder nimmt. Bettelt die Puppe außerdem um das neue Kleidchen aus der Fernsehwerbung, so können bei Kindern kommerzielle Begierden geweckt werden. Gewinnt der Hersteller mit Hilfe der Puppe zudem noch Wissen über die Spielgewohnheiten der Kinder und deren übrige Spielsachen, so ist er in der Lage, gezielt auf einen einzelnen Haushalt hin Werbung zu betreiben.

Viele weitere Fragen stellen sich bei der zunehmenden Informatisierung der Welt, so etwa auch hinsichtlich der „dependability“: Funktionieren etwa in Zukunft viele (auch bisher eher alltägliche) Dinge nur noch dann ordnungsgemäß, wenn Zugriff auf das Internet oder eine vergleichbare Infrastruktur besteht, dann entsteht natürlich eine große Abhängigkeit von diesen Systemen und der zugrunde liegenden Technik. Wenn diese versagt, wofür es unterschiedliche Gründe – Entwurfsfehler, Materialdefekte, Sabotage, Überlastung, Naturkatastrophen, Krisensituationen etc. – geben kann, dann kann sich dies gleich in globaler Hinsicht katastrophal auswirken. Ist das korrekte Funktionieren der informationstechnischen Infrastruktur überlebenswichtig für die Gesellschaft und den Einzelnen, müssen nicht nur geeignete Sicherungsmechanismen vorgesehen werden, sondern Systeme sollten von vornherein im Bewusstsein dieser Verantwortung entworfen werden.

Ein anderer Fragenkomplex betrifft die sozialverträgliche Gestaltung der skizzierten Technologien und ihrer Anwendungen, denn die Nutzung von Technik in sozialen Systemen ist immer problematisch und mit vielen vorher nicht beachteten oder ignorierten Fallstricken versehen (Müller et al. 2003), wie ohnehin technikmotivierte Vorhersagen oft dem Tunnelblicksyndrom unterliegen und damit eine

---

<sup>29</sup> <http://aura.research.microsoft.com/aura/AuraPortal/>

<sup>30</sup> <http://rtmark.com/cuejack/>

gewisse soziale Blindheit (Brown u. Duguid 2002) aufweisen. Nicht von der Hand zu weisen ist jedenfalls die Gefahr einer neuen Art des „digital divide“: Alain Touraine bemerkte mit „l'affaire n'est plus aujourd'hui d'être «up or down» mais «in or out»“ (Touraine 1991) treffend, dass soziale Problemfelder heute immer weniger aus der traditionellen vertikalen Klassengesellschaft („société de discrimination“) herrühren, als vielmehr aus einer horizontal gespaltenen Gesellschaft („société de ségrégation“), bei der es darauf ankommt, „dabei“ zu sein oder an den Rand gedrängt und vom Wesentlichen ausgeschlossen zu sein. Sicherlich sollte die Verwendung der wichtigsten Funktionen des Ubiquitous Computing daher einfach und allgemein möglich sein, um eine sonst tief in das alltägliche Leben hineinreichende digitale Spaltung der Gesellschaft zu vermeiden. Denn da beim Ubiquitous Computing der Cyberspace mit den Dingen der realen Welt in enger Weise verknüpft ist, könnte ansonsten die bei verschiedenen Bevölkerungsgruppen unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeit, an der Informationsgesellschaft teilzunehmen, eine entsprechend reale Spaltung der Gesellschaft mit allen negativen Konsequenzen nach sich ziehen. Genauso wichtig scheint es aber auch, den Aspekt im Auge zu behalten, welche Kartelle, Monopole oder Machtkonzentrationen sich durch die Verlängerung des Internets in die Alltagswelt hinein herausbilden könnten und wie dies in einer demokratischen Gesellschaft moderiert werden kann.

Vor allem aber ist dem Aspekt „Schutz der Privatsphäre“ besondere Beachtung zu schenken (Mattern u. Langheinrich 2001; Langheinrich u. Mattern 2002). Denn sollten sich smarte Umgebungen und schlaue Alltagsgegenstände durchsetzen, wäre im Unterschied zu heute mit dem Ausschalten des PCs keineswegs auch die elektronische Datensammlung beendet: Smarte Gegenstände und sensorbestückte Umgebungen wären fast immer aktiv und würden eine Unmenge von Daten sammeln, um den Nutzern sinnvolle (und weniger sinnvolle) Dienste anbieten zu können.

Die Vision des allgegenwärtigen Computers erweitert damit die aus dem Internet bekannte Problematik der „Online-Historie“, also der Erfassung von Mausklicks und besuchten Web-Seiten, zur umfassenden „Offline-Historie“: Während sich bisher die informationelle Überwachung einer Person zumindest klar abgrenzbar auf die Benutzung von PCs beschränkt, wird es in einer Welt voll smarter Alltagsgegenstände oft gar keine klare Unterscheidung zwischen dem „Online“ und dem „Offline“ mehr geben. Dadurch gewinnen die allgegenwärtig erhobenen Daten zwangsläufig an Qualität: Wo vorher nur ein relativ begrenzter Aspekt einer Person durch Stöbern in den Datenspuren erfassbar war (beschränkt auf die Zeit, die bei der Verfolgung beruflicher oder privater Interessen online verbracht wurde), offenbart sich in der ubiquitären Vision ein weitaus detaillierteres Bild über die Interessen, die Neigungen, die allgemeine Verfassung und auch über die Schwächen einer Person. Da auf diese Weise, durchaus ungewollt und quasi als Nebenprodukt der Verwendung bequemer oder qualitätssteigernder Dienste, leicht individuelle Aktivitätsprotokolle entstehen, welche beinahe lückenlos Auskunft über das Leben einer Person geben, scheint jedenfalls klar, dass man ohne effektive Maßnahmen zum Datenschutz eine Überwachungsinfrastruktur schaffen würde,

welche viele bestehenden Gesetze und Mechanismen zum Schutz der Privatsphäre aushebeln könnte. Es sind daher grundlegende rechtliche Überlegungen, neue technische Ansätze und auch intensive gesellschaftliche und organisatorische Anstrengungen auf den Gebieten Sicherheit und Datenschutz nötig, um die schöne neue Welt voller aufmerksamer und kommunikationsfreudiger Dinge nicht in einen orwellschen Überwachungsstaat oder in einen von Konsumterror und Polizeigewalt geprägten Staat zu verwandeln, wie ihn Regisseur Steven Spielberg in seinem beeindruckenden und mit viel Ubiquitous-Computing-Technologie inszenierten Film „Minority Report“ nach intensiven Recherchen mit einschlägigen Zukunftsforschern<sup>31</sup> entworfen hat.

Allerdings erscheint die bisher durch den Gesetzgeber typischerweise erhobene Forderung nach prinzipieller Zweckgebundenheit aller gewonnenen Daten in einer Zukunft voll schlauer Küchengeräte, Schreibstifte, die alles digitalisieren, was mit ihnen geschrieben wird, oder Reisetaschen, die sich an besuchte Orte und transportierte Gegenstände (oder sogar belauschte Gespräche?) zu erinnern vermögen, kaum mehr adäquat, da sie das Gedächtnis solcher Gegenstände so gut wie verbietet – der Vorteil oder sogar die Idee eines Artefakt-Gedächtnisses liegt aber gerade in der Speicherung von Information für zukünftige, jedoch a priori unbekannte Zwecke. Erschwerend kommt hinzu, dass die unauffällige Einbettung von Computertechnik in Alltagsgegenstände oft im direkten Widerspruch zum Grundsatz der Offenlegung von Datensammlungen steht. Selbst eine Forderung nach genereller Verschlüsselung von Daten direkt an der Quelle stieße auf praktische Schwierigkeiten: Kleinste Sensoren haben oft nur sehr wenig Energie zur Verfügung, eine Verschlüsselung der weiterzumeldenden Sensordaten kann den Energiebedarf vervielfachen, was einige Anwendungen unmöglich macht. Da bei einer strikten Auslegung von Datenschutzgesetzen, die in einem vor-ubiquitären Zeitalter entstanden sind, viele nette neue Anwendungen, die beispielsweise die nachträgliche Rekonstruktion des Ortsbezugs oder ein episodisches Gegenstandsgedächtnis voraussetzen, verhindert würden, darf man gespannt sein, wie sich die gesellschaftliche und gesetzgeberische Diskussion hier entwickelt.

Hinsichtlich der Datenschutzaspekte haben Roßnagel et al. (2001) diesbezüglich einen Anfang gemacht, indem sie im juristischen Kontext erstmalig das Potential des Ubiquitous Computing thematisieren. In einem im Auftrag des Bundesministeriums des Innern erstellten Gutachten zur zukünftigen Ausgestaltung des deutschen Datenschutzgesetzes schreiben die Autoren dazu u.a.: *„Künftig ist jedoch zu erwarten, dass der Einzelne nicht nur Datenspuren seiner Handlungen in der für ihn abgegrenzten Welt des Cyberspace hinterlässt, sondern auch durch vielfältigste Handlungen in der realen Welt. ... Diese Ubiquität der Datenverarbeitung und das Verschwinden des Computers werden eine neue Qualität personenbezogener Datenverarbeitung bringen. ... Niemand wird mehr im Voraus wissen können, welche Daten von diesen Gegenständen erhoben und zwischen*

<sup>31</sup> „Although the experts disagreed on many issues, one of the several things they did unanimously agree on was that the entire advertising industry is going to recognize us as individuals, and they’re going to spot-sell to us.“ Associated Press, 28. Juni 2002: „In the Future, Eyes Are the Window to the Wallet“



*ihnen kommuniziert werden. Auf diese Entwicklung allgegenwärtiger Datenverarbeitung ist das Datenschutzrecht noch überhaupt nicht vorbereitet.“*

Weitere wichtige mit der „privacy“ zusammenhängende Gesichtspunkte stellen Vertrauen, Authentizität und Autorisierung dar – in einer dynamischen, globalisierten, offenen und damit potentiell gefährlichen Welt, die von vielen kurzlebigen smarten Dingen bevölkert ist, ergeben sich hier einige problematische Aspekte. Offensichtlich wird man nur einer vertrauenswürdigen Instanz Zugriff auf private Daten gestatten bzw. Handlungen im eigenen Interesse ermöglichen wollen. So sollte etwa eine ortsbewusste Spielzeugpuppe für Kinder nur den Eltern (bzw. deren elektronischen Helfern) ihren Aufenthaltsort verraten, oder die Dienstwaffe eines Polizisten sollte sich nur entsichern lassen, wenn der richtige smarte Fingerring in unmittelbarer Nähe ist. Wie sich in einer von Ubiquitous-Computing-Techniken durchdrungenen Umgebung Vertrauensstrukturen weitgehend automatisch herausbilden können, ist derzeit noch weitgehend unklar.

Ronald Rivest, einer der Erfinder des RSA-Verschlüsselungsverfahrens, hat als Ursache für viele derartige Probleme, die wir rund um das Internet haben, die „Umkehrung der Defaults“ identifiziert. Beispiele dafür sind „what was once hard to copy is now trivial to duplicate“ oder „what was once forgotten is now stored forever“, vor allem aber „what was once private is now public“. Letzteres unter anderem deswegen, weil mit dem Internet die „natürliche“ Schwierigkeit, an Information heranzukommen, wegfällt. Tatsächlich musste man früher beträchtliche Energie aufwenden, um Information zu verbreiten – heute ist es eher umgekehrt: man muss oft einigen Aufwand treiben, um Informationen lokal oder geheim zu halten. Wenn im Zeitalter des Ubiquitous Computing das Internet bis in die Alltagsdinge hinein verlängert wird, dann wird alleine dadurch schon klar, dass hinsichtlich des Datenschutzes gewaltige Herausforderungen auf uns zukommen werden.

Neben technischen<sup>32</sup> Aspekten spielen beim Schutz der Privatsphäre auch soziale, rechtliche und politische Gesichtspunkte eine Rolle. Während man in den Anfangszeiten des Datenschutzes zunächst den allwissenden Staat beargwöhnte, inzwischen aber mehr und mehr informationshungrige Marketingabteilungen großer Firmen im Blickfeld hat, wird mit Miniaturkamera und in die Kleidung integrierter Computer jeder Einzelne zum ständigen Datensammler – oder, schlimmer noch, sogar smarte Gegenstände, für die sich niemand mehr richtig verantwortlich fühlt, werden zu Datenspionen. An die Stelle des allwissenden „großen Bruders“ treten zahllose „kleine Geschwister“ (Roßnagel 2002) in Form neugieriger Nachbarn und eifersüchtiger Bekannter, deren Hemmschwelle für ein gelegentliches Bespitzeln mit dem technischen Aufwand für solch eine Überwachung sinken dürfte.

---

<sup>32</sup> „Although the issue is most often cast as ‚privacy‘, arguments over surveillance technology are about power and control ... Will others know everything they need to know about you through the sensors you encounter and information you broadcast? Different answers to those questions lead to different kinds of futures. The answers will be determined in part by the way the technology is designed and regulated in its earliest stages.“ (Rheingold 2003)

In der Industrie ist man sich des ambivalenten Erscheinungsbildes des Ubiquitous Computing als eine „Dual-use-Technologie“ durchaus bewusst. Während damit einerseits ein schon verkauftes smartes Produkt in ein Marketinginstrument verwandelt werden kann, indem es Informationen über sich oder ähnliche Produkte anbietet und Nutzungsinformationen sammelt und dem Hersteller meldet, könnte es andererseits als Überwachungsinstrument erscheinen. In einer Studie der Firma IBM, die die Transformation der Haushaltsgeräteindustrie zum Thema hat (IBM 2001), wird zunächst als Vorteil für den Hersteller die Tatsache beschrieben, dass damit während der gesamten Lebenszeit eines Produktes ein Verkaufskanal zum Kunden besteht, Produkte zu Serviceplattformen mutieren und durch die Liveverbindung in die Haushalte Informationen über das Verhalten und die Gewohnheiten der Kunden gewonnen werden können. Weiter heißt es dann aber: *„A very cautious approach is needed ... with this kind of monitoring otherwise newspaper headlines such as ‚Spy in the Kitchen‘ would soon appear, killing the intelligent appliance before it takes off.“*

Auch im Zusammenhang mit dem erhöhten öffentlichen Sicherheitsbedürfnis erscheint eine Entwicklung hin zum Sammeln unzähliger Daten, die isoliert betrachtet eher harmlos sind, brisant: An Stelle eines öffentlichen Aufrufs an potenzielle Zeugen nach einem Verbrechen könnte demnächst die freiwillige Freigabe der persönlichen sensorischen Datenbanken einer ganzen Bevölkerungsgruppe stehen, welche zusammen mit hoch entwickelten Suchalgorithmen eine Rasterfahndung ungeahnten Ausmaßes erlauben würde. Ähnlich den immer populärer werdenden freiwilligen DNA-Analysen würden sich bei solchen Maßnahmen all jene verdächtig machen, die den Sicherheitsorganen den uneingeschränkten Zugriff auf ihr „digitales Gedächtnis“ verweigerten.

Selbst wenn die technische Realisierbarkeit solcher Szenarien noch in einiger Ferne liegen sollte, so birgt deren grundlegendes Prinzip – d.h. die sekundäre Nutzung von Daten jenseits ihres ursprünglichen Zwecks – schon in näherer Zukunft Konfliktpotenzial. Nachdem Leihwagenfirmen bereits die Vorteile von GPS-Empfängern und Mobilfunk für das Lokalisieren vermisster Wagen zu schätzen gelernt haben, gibt es inzwischen erste Verleiher, die mit der gleichen Technologie auch den pfleglichen Umgang des Mieters mit dem Fahrzeug sicherstellen: so erhebt z.B. eine Mietwagenfirma in den USA von ihren Kunden eine Gebühr für „gefährliches Fahren“, sobald sich der Wagen mit mehr als 79 Meilen pro Stunde bewegt (Lemos 2001). Einige Versicherer erwägen auch bereits den Einsatz von „black boxes“ am Fahrzeug, um Kunden auf den individuellen Fahrstil optimierte Prämien berechnen zu können bzw. um im Schadensfall die Schuldfrage zu klären. Schleichend entsteht so ein feinmaschiges Überwachungsnetz, welches die klassische Unschuldsvermutung der Rechtssprechung in eine grundsätzliche Schuldvermutung umkehren könnte: Wer keine eigenen Aufzeichnungen des fraglichen Zeitpunktes vorweisen kann, da er bewusst auf die damit verbundenen Vorteile wie z.B. geringere Versicherungsprämien verzichtet, macht sich verdächtig.

Der drohende Verlust der Privatsphäre ist einer der am häufigsten genannten Kritikpunkte an der Vision des Ubiquitous Computing. Vor allem von sozial- und

geisteswissenschaftlicher Seite wird darüber hinaus auch die Sorge um weitere negative Auswirkungen und schädliche Seiteneffekte der Verheißungen des Ubiquitous Computing vorgebracht (wie beispielsweise eine drastische Dynamisierung und Beschleunigung des Lebenskontextes oder ein Kontrollverlust durch illoyale smarte Dinge, verbunden mit einem Ohnmachtsgefühl und Orientierungslosigkeit), welche diese Technik als eine Bedrohung erscheinen lassen (vgl. Bohn et al 2003); aber es werden gelegentlich sogar die Visionen und Ziele des Ubiquitous Computing selbst in Frage gestellt. Letzteres vor allem aufgrund des „totalitären“ Charakters der Vision, da die unsichtbare Technik *überall* eindringen soll, *ständig* wirken soll und als Konsequenz ausdrücklich die Transformation der Gesellschaft durch eine alles umfassende Computerisierung vorhergesehen wird. Kritiker wie Augustin Araya sehen in Ubiquitous Computing daher den Versuch einer gewalttätigen aber gleichzeitig heimlichen technologischen Durchdringung des Alltagslebens (Araya 1995), was mit großen Risiken und negativen Konsequenzen verbunden sei.

Sorge bereitet einigen Beobachtern die Tatsache, dass die technischen Neuerungen mit ihren möglicherweise drastischen sozialen Auswirkungen in eher allmählicher (und damit in ihrer Brisanz kaum wahrgenommener) Weise eingeführt werden, dies jedoch über die Zeit ein enormes Potential für möglicherweise negative gesellschaftliche Änderungen darstellt. Ian Pearson, Futurologe bei BTextact, meint dazu (Pearson 2001): „*Technology mostly develops gradually, so gradually in fact that many people tell me that nothing much has changed over the last decade. Yet a decade ago, they probably weren't using a PC, or cellphone, satellite TV, or even a fax, let alone a Palm Pilot or DVD drive. People quickly forget what things used to be like. In the same way, attitudes change gradually, yet over a few years they can change dramatically. We have seen almost an inversion of morality in just two decades in several fields. Many things that were socially unacceptable are now fashionable. ... But such graduality is a danger because it means that with enough time, almost any new technology or social attitude change can be rolled out. Whatever reservations we may have today about any new or potential technologies, we cannot be certain that they will be rejected for long.*“

Howard Rheingold, der in seinem viel beachteten Buch „Smart Mobs“ die sozialen und kulturellen Implikationen des Ubiquitous Computing diskutiert (Rheingold 2003), spricht die Transformation der Gesellschaft durch die allumfassende Computerisierung explizit an, indem er zu bedenken gibt, dass die Ausprägung der Technik auch in gesellschaftlicher Hinsicht die Zukunft determiniert: „*What kind of people will we become when we use the technology? The kind of world we will inhabit for decades to come could depend on the technical architecture adopted for the emerging mobile and pervasive infrastructure over the next few years.*“ Er warnt dann weiter: „*The designs that dominate early in the growth of a technology can have disproportionate power over the way the technology will affect power structures and social life ... If today's mobile telephone morphs into something more like a remote control for the physical world, social outcomes will depend on whether the remote control device's software infrastructure is an open system, like the Web, or a closed, proprietary system.*“

Einige Beobachter, wie beispielsweise der Science-Fiction-Autor Bruce Sterling, sehen langfristig nicht nur Gefahren wie „*if physical objects misbehaved as badly as most computer software does, human life would become hellish and possibly murderous*“ (Sterling 2002a), sondern auch positive Möglichkeiten: „*Huge benefits ensue. I no longer need to sweat and struggle to put my possessions into order. My things can never get lost or misplaced. They can't even be stolen from me, because the tags are too small to see and will avenge me on the thief. Best of all, when they become garbage, they are smart garbage! In a dutiful ecstasy of self-immolation, they identify themselves to the junk recyclers...*“ Das reicht hin bis zu etwas skurril anmutenden sozialen Utopien: „*If all your possessions become network peripherals, then the physical world changes its character. In this world, I need not buy and keep a shovel ... What I want is an occasional shoveling functionality. So I might as well share a shovel with my neighbor; he can't steal it, and if he breaks it, I'll know immediately ... A full-blown ubicomp shovel has been designed with a full set of microelectronic mechanical sensors that instantly determine if a tool is worn or broken or abused. Therefore, we can indeed network the shovel. Once we're comfortable with this new model of ownership, we can pool our resources to Web-search for all such goods. It's a new form of social and economic behavior that functional ubicomp might make plausible and workable*“ (Sterling 2002b).

## Fazit

Der Technologietrend zeigt eindeutig in Richtung einer umfassenden Informatisierung der Welt. Die dadurch induzierten Veränderungen geschehen allerdings nicht über Nacht, vielmehr handelt es sich bei diesem Prozess um eine schleichende Revolution, deren treibende Kräfte die Mikroelektronik und die Informatik bilden, unterstützt durch Grundlagenforschungen in Bereichen wie Physik und Materialwissenschaft. Die dynamische Entwicklung in diesen Gebieten geht ungebremst weiter, die Auswirkungen ihrer technischen Errungenschaften betreffen daher immer größere Teilbereiche des täglichen Lebens. Damit wird auch deutlich, dass das 21. Jahrhundert wohl weniger, wie frühere populäre Zukunftsprognosen es nahe legten, durch Mondkolonien, Unterwasserstädte und Atomaautos geprägt sein wird, die alle den Einsatz großer (und damit teurer und nur im Rahmen eines gesellschaftlichen Konsenses realisierbarer) Technikstrukturen voraussetzen, als vielmehr durch die Anwendung kleinster<sup>33</sup> und damit quasi unsichtbarer, aber gerade dadurch leicht replizierbarer und verbreitbarer Technik, wozu man neben der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik (Reichl 2003) auch die Nanotechnik<sup>34</sup> und Biotechnik zählen muss.

---

<sup>33</sup> „By making things smaller, everything gets better simultaneously. There is little need for tradeoffs. The speed of our products goes up, the power consumption goes down, system reliability improves, ... the cost drops.“ (Moore 1995)

<sup>34</sup> „There's plenty of room at the bottom“ bemerkte dazu bekanntlich schon 1960 Richard Feynman, einer der faszinierendsten Physiker des 20. Jahrhunderts (Feynman 1960). Zu

Der Einsatz von Ubiquitous-Computing-Systemen dürfte langfristig positive wie negative Auswirkungen haben, welche über die offensichtlichen, technischen Folgen weit hinausgehen: Durch massiv in die Umwelt eingebrachte Miniatursensoren lassen sich ökologische Effekte wesentlich besser als bisher ermitteln und kontrollieren, analog gilt dies auch für gesundheitlich relevante Parameter, die in unaufdringlicher Weise direkt am Körper gemessen werden können. Andererseits könnte sich allein schon durch die umfassende Überwachungsmöglichkeit, die die Technik im weitesten Sinne bietet, das politische und wirtschaftliche Machtgefüge verschieben, neue Geschäftsmodelle könnten eine stärkere Abhängigkeit von der zugrunde liegenden Technik und damit eine höhere Anfälligkeit im Krisenfall begründen, und nicht zuletzt besteht die Gefahr, dass wir das Vertrauen in eine kaum mehr durchschaubare, allzu smarte Umgebung verlieren und so grundlegend unsere Einstellung zu der uns umgebenden Welt ändern (Bohn et al. 2003).

In seinen Konsequenzen hinsichtlich der wirtschaftlichen Bedeutung, aber auch der Abhängigkeit von einer sicheren globalen IT-Infrastruktur und den Fragen der Sozialverträglichkeit zu Ende gedacht, dürfte die Vorstellung einer von Informationstechnik im wahrsten Sinne des Wortes durchdrungenen Welt über kurz oder lang eine gesellschaftliche und ökonomische Brisanz bekommen und so dem Ubiquitous Computing und der damit einhergehenden Ausprägung des zukünftigen „Internet der Dinge“ auch eine politische Dimension geben.

## Literatur

- Aarts E, Harwig R, Schuurmans M (2002) Ambient Intelligence. In: Denning PJ (ed) *The invisible future – the seamless integration of technology in everyday life*. McGraw-Hill, pp 235–250
- Abowd GD, Mynatt ED (2000) Charting Past, Present and Future Research in Ubiquitous Computing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 7(1): 29–58
- Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E (2002) Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks* 38: 393–422
- Antifakos S, Michahelles F, Schiele B (2002) Proactive Instructions for Furniture Assembly. Fourth International Conference on Ubiquitous Computing, UbiComp 2002, Springer-Verlag, pp 351–360
- Araya A (1995) Questioning Ubiquitous Computing. In: *Proceedings 23rd Annual Conference on Computer Science*, ACM Press, pp 230–237
- Banavar G, Bernstein A (2002) Software Infrastructure and Design Challenges for Ubiquitous Computing. *Communications of the ACM* 45(12): 92–96

---

den damals raumfüllenden Computern meinte er: „Warum können wir sie nicht ganz klein machen, aus kleinen Drähten, kleinen Bauteilen – und mit klein meine ich *klein*. Die Drähte zum Beispiel sollten einen Durchmesser von 10 bis 100 Atomen haben, und die Schaltkreise einige Tausend Angström breit sein ... Es gibt jede Menge Platz, um sie kleiner zu machen. Ich kann in den Gesetzen der Physik nichts erkennen, was besagt, dass die Bauteile der Rechner nicht viel, viel kleiner gemacht werden können als sie jetzt sind.“

- Barrett E, Maglio P (1998) Informative Things: How to Attach Information to the Real World. In: Proceedings UIST '98, pp 81–88
- Bohn J, Coroama V, Langenheinrich M, Mattern F, Rohs M (2003) Allgegenwart und Verschwinden des Computers – Leben in einer Welt smarterer Alltagsdinge. In: Grötter R (Hrsg) Privat! Kontrollierte Freiheit in einer vernetzten Welt, Heise-Verlag, pp 195–245
- Brand S (1995) The Physicist (Interview with Nathan Myhrvold). *Wired*, September 1995, pp 152–154
- Brown JS (2001) Where Have All the Computers Gone? [www.techreview.com/magazine/jan01/brown.asp](http://www.techreview.com/magazine/jan01/brown.asp)
- Brown JS, Duguid P (2002) Don't Count Society Out. In: Denning PJ (ed) *The invisible future – the seamless integration of technology in everyday life*. McGraw-Hill, pp 117–144
- Cas J (2002) Privacy In Ubiquitous Computing Environments? In: Proceedings 13th ITS-Europe Regional Conference, Madrid, Spain, September 8–10, 2002
- Cerf V (2002) One Is Glad to Be of Service. In: Denning PJ (ed) *The invisible future – the seamless integration of technology in everyday life*. McGraw-Hill, pp 227–233
- Davies N, Gellersen HW (2002) Beyond Prototypes: Challenges in Deploying Ubiquitous Systems. *Pervasive Computing Magazine* 1(1): 26–35
- Dertouzos M (2002) Human-Centered Systems. In: Denning PJ (ed) *The invisible future – the seamless integration of technology in everyday life*. McGraw-Hill, pp 181–191
- Doherty L (2001) Energy and Performance Considerations for Smart Dust. *International Journal on Parallel Distributed Systems and Networks* 4(3): 121–133
- Estrin D, Culler D, Pister K, Sukhatme G (2002) Connecting the Physical World with Pervasive Networks. *Pervasive Computing Magazine* 1(1): 59–69
- Fano A, Gershman A (2002) The Future of Business Services in the Age of Ubiquitous Computing. *Communications of the ACM* 45(12): 83–87
- Feynman R (1960) There's Plenty of Room at the Bottom. *Engineering & Science* (Caltech), Feb. 1960. Wiederabdruck in: *Journal of Microelectromechanical Systems* 1(1): 60–66, März 1992
- Finkenzeller K (2002) *RFID-Handbuch*. Hanser-Verlag
- Fleisch E, Dierkes M (2003) Betriebswirtschaftliche Anwendungen des Ubiquitous Computing – Beispiele, Auswirkungen und Visionen. In: Mattern F (Hrsg) *Total Vernetzt*. Springer-Verlag, pp 143–157
- Floerkemeier C, Koh R (2002) The Physical Mark-Up Language. MIT Auto-ID Center Technical Memo, [www.inf.ethz.ch/vs/publ/papers/MIT-AUTOID-TM-006.pdf](http://www.inf.ethz.ch/vs/publ/papers/MIT-AUTOID-TM-006.pdf)
- Gershenfeld, N (1999) *When Things Start to Think*. Henry Holt and Company, New York
- Goldman J (2001) The City Transformed. *TheFeature*, [www.thefeature.com/index.jsp?url=article.jsp?pageid=13458](http://www.thefeature.com/index.jsp?url=article.jsp?pageid=13458)
- Hayes B (2002) Terabyte Territory. *American Scientist* 90(3): 212–216
- IBM (2001) Transforming the appliance industry – Switching on revenue streams in services. IBM Global Services
- Kahn JM, Katz RH, Pister KSJ (1999) Mobile Networking for Smart Dust. *ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '99)*, pp 271–278

- Kindberg T, Barton J, Morgan J, Becker G, Caswell D, Debaty P, Gopal G, Frid M, Krishnan V, Morris H, Schettino J, Serra B, Spasojevic M (2002) People, Places, Things: Web Presence for the Real World. *Mobile Networks and Applications* 7(5): 365–376
- Kish LB (2002) End of Moore's law: thermal (noise) death of integration in micro and nano electronics. *Physics Letters A* 305(2002): 144–149
- Kubach U (2003) Integration von Smart Items in Enterprise-Software-Systeme. In: Sauerburger H (Hrsg) *Ubiquitous Computing. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik* 229: 56–67
- Kurzweil R (2002) Fine Living in Virtual Reality. In: Denning PJ (ed) *The invisible future – the seamless integration of technology in everyday life*. McGraw-Hill, pp 193–215
- Langheinrich M, Mattern F (2002) Wenn der Computer verschwindet – Was Datenschutz und Sicherheit in einer Welt intelligenter Alltagsdinge bedeuten. *digma – Zeitschrift für Datenrecht und Informationssicherheit* 2(3): 138–142
- Lazowska E (1996) A Half Century of Exponential Progress in Information Technology: Who, What, When, Where, Why, and How. Twentieth Annual Faculty Lecture, Department of Computer Science & Engineering, University of Washington, [www.cs.washington.edu/homes/lazowska/faculty.lecture](http://www.cs.washington.edu/homes/lazowska/faculty.lecture)
- Lemos R (2001) Rental-car firm exceeding the privacy limit? CNET News, <http://news.com.com/2100-1040-268747.html>
- Lucky RW (1999) Connections (“everything is connected to everything else”). Reflections column, *IEEE Spectrum* 36(3): 3
- Lueg C (2002) On the Gap between Vision and Feasibility. In: Mattern F, Naghshineh M (eds) *Pervasive 2002*, Springer-Verlag, pp 45–57
- Lyon D (2001) Facing the Future: Seeking Ethics for Everyday Surveillance. *Ethics and Information Technology* 3(3): 171–180
- Lyons M (2002) Pervasive Computing – Control and Freedom in Cyberspace. ITS 14th Biennial Conference, Seoul, Korea
- Maeder T (2002) What Barbie Wants, Barbie Gets. *Wired Magazine* 10(1)
- Mattern F (2001a) Ubiquitous Computing. In: *Internet @ Future, Jahrbuch Telekommunikation und Gesellschaft 2001*, Hüthig-Verlag, S 52–61
- Mattern F (2001b) Ubiquitous Computing – Der Trend zur Informatisierung und Vernetzung aller Dinge. In: Rossbach H (Hrsg) *Mobile Internet, Tagungsband 6. Deutscher Internet-Kongress*, dpunkt-Verlag, S 107–119
- Mattern F (2003a) Ubiquitous Computing – Szenarien einer informatisierten Welt. In: Zerdick A, Picot A, Schrape K, Burgelman JC, Silverstone R (Hrsg) *E-Merging Media – Digitalisierung der Medienwirtschaft*, Springer-Verlag
- Mattern F (2003b) Ubiquitous Computing – Eine Herausforderung für Datenschutz und Sicherheit. 8. Deutscher IT-Sicherheitskongress, SecuMedia-Verlag
- Mattern F, Langheinrich M (2001) Allgegenwärtigkeit des Computers – Datenschutz in einer Welt intelligenter Alltagsdinge. In: Müller G, Reichenbach M (Hrsg) *Sicherheitskonzepte für das Internet*. Springer-Verlag, S 7–26
- Maurer H (2002) Parapsychologische Phänomene, Magie, Wunder... und Technologie. *Informatik-Spektrum* 25(3): 187–193
- Moore G (1965) Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics* 38 (April 1965), pp 114–117
- Moore G (1995) Lithography and the Future of Moore's Law. *Proceedings SPIE* 2440, pp 2–17

- Müller G, Kreutzer M, Strasser M, Eymann T, Hohl A, Nopper N, Sackmann S, Coroama V (2003) Geduldige Technologie für ungeduldige Patienten: Führt Ubiquitous Computing zu mehr Selbstbestimmung? In: Mattern F (Hrsg) Total Vernetzt. Springer-Verlag, S 159–186
- Norman DA (1998) *The Invisible Computer*. MIT Press, Cambridge MA
- Pearson I (2001) What's next? *BT Technology Journal* 19(4)
- Pearson I, Neild I (2002) Technology Timeline. *Journal of the Institution of British Telecommunications Engineers* 3(1), [www.btexact.com/docimages/42270/42270.pdf](http://www.btexact.com/docimages/42270/42270.pdf)
- Peppers D, Rogers M (1993) *The One to One Future: Building Relationships One Customer at a Time*. Double Day Publications
- Pfaff D, Skiera B (2002) Ubiquitous Computing – Abgrenzung, Merkmale und Auswirkungen aus betriebswirtschaftlicher Sicht. In: Britzelmaier B, Geberl S, Weinmann S (Hrsg) *Wirtschaftsinformatik: Der Mensch im Netz – Ubiquitous Computing*. Teubner, S 24–37
- Pine BJ, Gilmore JH (1999) *The Experience Economy*. Basic Books
- Raghavendra CS, Sivalingam KM (2002) Proceedings of the first ACM international workshop on wireless sensor networks and applications, ACM Press
- Reichl H (2003) Das Leben im Jahr 2020. In: Botthof A, Pelka J (Hrsg) *Mikrosystemtechnik*. Springer-Verlag, S 1–33
- Rheingold H (2003) *Smart Mobs: The Next Social Revolution*. Perseus Books
- Rohs M, Bohn J (2003) Entry Points into a Smart Campus Environment – Overview of the ETHOC System. In: Proceedings 23rd International Conference on Distributed Computing Systems – Workshops (ICDCS 2003 Workshops)
- Roßnagel A (2002) Freiheit im Cyberspace. *Informatik-Spektrum* 25(1): 33–38
- Roßnagel A, Pfitzmann A, Garstka H (2001): *Modernisierung des Datenschutzrechts*. Bundesministerium des Inneren, Berlin
- Sarma S, Brock D, Ashton K (2001) *The Networked Physical World – Proposals for Engineering the Next Generation of Computing, Commerce and Automatic Identification*. MIT Auto-ID Center, [www.autoidcenter.org/research/MIT-AUTOID-WH-001.pdf](http://www.autoidcenter.org/research/MIT-AUTOID-WH-001.pdf)
- Sarma S, Weis A, Engels D (2002) RFID Systems and Security and Privacy Implications. CHES 2002, Springer-Verlag LNCS, pp 454–470
- Satyanarayanan M (Ed) (2002) Special Issue „Reaching for Weiser's Vision“. *Pervasive Computing Magazine* 1(1)
- Schoch T, Strassner M (2003) Wie smarte Dinge Prozesse unterstützen. In: Sauerburger H (Hrsg) *Ubiquitous Computing. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik* 229: 23–31
- Siegele L (2002) Tante Emma lebt. *Die Zeit* (42):27, Oktober 2002
- Skiera B, Spann M (2002) Preisdifferenzierung im Internet. In: Schögel M, Tomczak T, Belz C (Hrsg) *Roadm@p to E-Business – Wie Unternehmen das Internet erfolgreich nutzen*, Thexis, St. Gallen, S 270–284
- Sterling B (2002a) *Tomorrow Now: Envisioning the Next Fifty Years*. Random House
- Sterling B (2002b) When Our Environments Become Really Smart. In: Denning PJ (ed) *The invisible future – the seamless integration of technology in everyday life*. McGraw-Hill, pp 251–275
- Sun (2000) Why Jini Technology Now? [www.sun.com/jini/whitepapers/whyjini.html](http://www.sun.com/jini/whitepapers/whyjini.html)
- Touraine A (1991) Face à l'exclusion. *Esprit* 169: 7–13
- Tuomi I (2002) The Lives and Death of Moore's Law. *First Monday* 7(11)



- USA Today: Amazon May Spell End for 'Dynamic' Pricing. September 2000, [www.usatoday.com/life/cyber/tech/cti595.htm](http://www.usatoday.com/life/cyber/tech/cti595.htm).
- Want R, Borriello G (2000) Special Issue on Information Appliances. IEEE Computer Graphics and Applications, May/June 2000
- Want R, Pering T, Borriello G, Farkas KI (2002) Disappearing Hardware. Pervasive Computing Magazine 1(1): 36–47
- Weiser M (1991) The Computer for the 21st Century. Scientific American 265(3): 94–104

**Prof. Dr. Friedemann Mattern** ist an der ETH Zürich tätig und leitet dort das Fachgebiet „Verteilte Systeme“. Er studierte Informatik in Bonn und promovierte an der Universität Kaiserslautern. Zwischen 1991 und 1999 hatte er Professuren an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken und an der Technischen Universität Darmstadt inne, wo er u.a. das Graduiertenkolleg „Infrastruktur für den elektronischen Markt“ gründete. Mit seinem Ruf an die ETH Zürich im Jahr 1999 begann er mit dem Aufbau einer Forschungsgruppe für Ubiquitous Computing, seit Herbst 2002 steht er dort dem neu gegründeten Institut für Pervasive Computing vor.

Mattern ist an mehreren Industriekooperationen und Forschungsprojekten zum Thema Ubiquitous und Pervasive Computing beteiligt, u.a. im Rahmen der „Disappearing Computing“-Initiative der EU. Er ist Mitbegründer des von der ETH Zürich und der Universität St. Gallen gemeinsam getragenen M-Lab-Kompetenzzentrums, das die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen des Ubiquitous Computing erforscht, und koordiniert das Ladenburger Kolleg „Leben in einer smarten Umgebung“, an dem Forschungsgruppen von sieben Universitäten beteiligt sind. Er ist Mitglied im Technologiebeirat verschiedener Konzerne, Mitherausgeber mehrerer Fachzeitschriften und initiierte eine Reihe internationaler Fachkonferenzen, u.a. „Pervasive 2002“ sowie die erste „Summer School on Ubiquitous and Pervasive Computing“ auf Schloss Dagstuhl im August 2002. Seine derzeitige Lehrtätigkeit umfasst die Gebiete verteilte Systeme und Algorithmen, Rechnernetze, Ubiquitous Computing sowie Grundlagen der Informatik.