

# Ubiquitous Computing<sup>1</sup>

Friedemann Mattern<sup>2</sup>

*“As we approach 2001, we are in the Information Age, not in the Space Age!”*

Randy Katz, UC Berkeley

## 1 Der Trend zur Vernetzung aller Dinge

Das Internet verbindet heute fast alle Computer der Welt, und nun macht es sich daran, auch die übrigen Gegenstände zu vernetzen – so könnte man kurz und plakativ den Anspruch des „ubiquitous computing“ aus technikzentrierter Sicht charakterisieren. Wird man aber schon dem Internet in seiner heutigen Ausprägung als World Wide Web nicht gerecht, wenn man es auf seine informationstechnische 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. Noch aber befinden wir uns erst im Zeitalter 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!

Schon gibt es allerdings erste Anzeichen, dass sich das Internet über seine klassische Domäne hinaus auszubreiten beginnt: Der WAP-Standard in Europa und das imode-System in Japan ermöglichen bereits jetzt einen drahtlosen Internetzugang für mobile Geräte; und auch wenn WAP („Wireless Application Protocol“) via Handy derzeit noch mit mancherlei Kinderkrankheiten behaftet ist und wohl erst mit einer nachfolgenden Protokoll- und Gerätegeneration und fortgeschrittener Trägertechnologie (wie z.B. UMTS) reif für den Massenmarkt wird, demonstrieren diese Systeme klar den Trend hin zum Informationszugang „sofort, überall und zu allem“. Umgekehrt können Handys mittlerweile aber auch als mobile WWW-Server im Internet fungieren (Guthery u.a. 2000) und damit beispielsweise ihren momentanen Aufenthaltsort oder andere Parameter fernabfragbar machen. Auch kontaktlose Chipkarten, elektronische Terminplaner und andere „personal digital assistants“ (PDAs), welche über eine Funkchnittstelle mit ihrer Umgebung kommunizieren, sind zusammen mit Geräten aus dem Unterhaltungsbereich, wie etwa Set-Top-Boxes und mit dem Internet verbundene Spielkonsolen, erste Vorboten des anbrechenden und durch eine nahezu totale Vernetzung gekennzeichneten „Post-PC-Zeitalters“, das von IBM-Chairman Lou Gerstner einmal so beschrieben wurde: „A billion people interacting with a million e-businesses through a trillion interconnected intelligent devices...“.

Tatsächlich ist das Wachstum des Internet ja nicht nur durch einen stürmischen, derzeit noch immer nahezu exponentiell verlaufenden Zuwachs hinsichtlich der angeschlossenen Rechner charakterisiert, mindestens genauso interessant ist sein Wachstum in qualitativer Hinsicht:

---

<sup>1</sup> Der Beitrag beruht in Teilen auf (Mattern 2001) und (Mattern u. Langheinrich 2001).

<sup>2</sup> Prof. Dr. Friedemann Mattern ist Professor für Informatik an der ETH Zürich.

War das Internet in den 70er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts 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 80er-Jahren, vor allem in der Wissenschaft, zunehmend als Kommunikationsmedium von *Mensch zu Mensch* benutzt – E-Mail war seinerzeit die dominierende Anwendung. Die 90er-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 Internet dar.

Jetzt zeichnet es sich indes ein weiterer Quantensprung ab: Das Internet wird in Zukunft 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. Dafür sorgen werden viele in Alltagsgegenstände eingebetteten Prozessoren und Sensoren im Verbund mit neuen technischen Möglichkeiten der Datenkommunikation. Neil Gershenfeld vom Media Lab des MIT drückte diese Erwartung folgendermaßen aus: „*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.*“ (Gershenfeld 1999)

## 2 Moores Gesetz und Weisers Vision

Der ständige Fortschritt in der Mikroelektronik ist uns inzwischen fast zur Selbstverständlichkeit geworden: Mit erstaunlicher Präzision und Konstanz gilt das bereits Ende der 60er-Jahre von Gordon Moore aufgestellte und nach ihm benannte „Gesetz“, welches besagt, dass sich die Leistungsfähigkeit von Prozessoren etwa alle 18 Monate verdoppelt. Für die chipherstellende Industrie stellt dies mittlerweile eine Art *self-fulfilling prophecy* dar, sie orientiert sogar ihre auf die Zukunft gerichteten „technology roadmaps“ nach diesem „Gesetz“. Ein ähnlich hohes exponentielles Wachstum ist auch für einige andere Technologieparameter wie Speicherdichte oder Kommunikationsbandbreite zu beobachten; umgekehrt betrachtet fällt mit der Zeit bei gleicher Leistungsfähigkeit der Preis für mikroelektronisch realisierte Funktionalität radikal. Technologieexperten gehen davon aus, dass dieser Trend noch eine ganze Reihe von Jahren anhalten wird.

Die durch den nachhaltigen technischen Fortschritt induzierte „schleichende Revolution“ hinsichtlich Quantität aber auch Qualität der Informationsverarbeitungsfähigkeit führt dazu, dass in nicht allzu ferner Zukunft Rechner quasi im Überfluss vorhanden sein werden – die nach Gebrauch wertlosen Chipkarten 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“ zusammengesetzt werden, die drahtlos mit dem Internet verbunden und für spezielle Aufgaben maßgeschneidert sind (Norman 1998; Want u. Borriello 2000), können andererseits aber auch in viele Alltagsgeräte eingebettet 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 – das „computing“ wird somit ubiquitär.

Der in diesem Sinne zu verstehende Begriff „ubiquitous computing“ wurde bereits vor über zehn Jahren von Mark Weiser, bis zu seinem frühen Tod 1999 leitender Wissenschaftler am Forschungszentrum von XEROX in Palo Alto, geprägt (Weiser 1991). Weiser versteht 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 er 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 Sinnes 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.“* Die von Weiser hier avisierte „verschwindende Technologie“ hat übrigens in programmatischer Hinsicht – und natürlich auch vom Namen her – maßgeblich die im Jahr 2001 gestartete „Disappearing Computer“-Forschungsinitiative der EU zum ubiquitous computing beeinflusst ([www.i3net.org/ser\\_pub/services/dc/](http://www.i3net.org/ser_pub/services/dc/)).

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.

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 (Hansmann u.a. 2001; Burkhardt u.a. 2001): 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 (Mattern 2001). In dieser pragmatischen Variante, bei der neben diversen mobilen Geräten (wie Smartphones und PDAs) vor allem Kommunikationskonzepte und -protokolle (WAP, Bluetooth, http etc.), Middlewarekonzepte (z.B. SOAP oder Jini) und Techniken zur anwendungsneutralen Datenrepräsentation (z.B. XML) eine Rolle spielen, beginnt das ubiquitous computing in der Praxis bereits Fuß zu fassen.

### 3 Technologische Aspekte

Die treibende Kraft hinter der dynamischen technischen Entwicklung ist die Mikroelektronik, die in ihrer Leistung dem Mooreschen Gesetz in den letzten Jahrzehnten treu geblieben ist. Immer wichtiger werden allerdings auch Ergebnisse der Mikrosystemtechnik und in Zukunft vermehrt auch der Nanotechnik; sie führen beispielsweise zu kleinste integrationsfähigen Sensoren, welche unterschiedlichste Parameter der Umwelt aufnehmen können. Neuere Sensoren können nicht nur auf Licht, Druck, Beschleunigung, Temperatur etc. reagieren, sondern 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 Druck- oder Temperaturänderungen einige zig Meter weit melden können – die nötige Energie zum Versenden des Messwertes und zur Aufprägung eines Identifikationscodes be-

zieht ein solcher Sensor aus dem Messvorgang selbst, indem piezoelektrische oder pyroelektrische Materialien verwendet werden.

Ohne eigene Energieversorgung funktionieren auch die so genannten „smart labels“ beziehungsweise RFIDs (für „Radio Frequency Identification“). Hierbei handelt es sich technisch gesehen um Transponder, die mit einem Hochfrequenzsignal aus einem Abstand von bis zu ca. zwei Meter bestrahlt werden, dieses Signal decodieren, aus ihm auch die Energie für die eigene Verarbeitung beziehen und selbst wiederum eine Antwortnachricht als Funksignal aussenden. Der Transponder ist je nach Bauform nur wenige Quadratmillimeter groß und dünner als ein Blatt Papier, die flache Antenne aus einigen Windungen kann aus sehr dünnem Kupfer oder auch aus leitfähiger Tinte bestehen. Als flexible Selbstklebeetiketten kosten die smart labels derzeit zwischen 0,5 und 1 € pro Stück und haben dadurch das Potential, in gewissen Bereichen die klassischen Strichcodeetiketten zur Identifikation von Gegenständen abzulösen; von Vorteil ist vor allem, dass keine Sichtverbindung zum „Lesegerät“ bestehen muss. 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, bei höherer Energiedichte (dann allerdings nur im Abstand von einigen Zentimetern zur externen Energiequelle) kann auch ein Mikroprozessor auf diese Weise betrieben werden – eine Technik, die man sich bei den so genannten kontaktlosen Chipkarten zunutze macht.

Die Chipkarten selbst sind ein Beispiel für eine interessante Ausprägung der Computertechnik. Der eigentliche Chip ist auch hier nur einige wenige Quadratmillimeter groß, stellt aber einen vollwertigen Mikroprozessor inklusive einiger Kilobyte Speicher dar, so dass solche Chips bereits ein einfaches Betriebssystem tragen können. Die Kosten liegen bei einigen wenigen Euro. Im Wesentlichen die gleiche Technik wird für die so genannten „embedded systems“ verwendet. Hierbei handelt es sich um vollwertige Computer auf einem einzigen Chip, die zu Steuerungsaufgaben in beliebige Geräte oder Alltagsgegenstände eingebaut werden. Es geht dabei weniger um hohe Rechenleistung als vielmehr darum, einen solchen Chip klein, billig und stromsparend auszuliegen; der technische Fortschritt mit Konsequenzen hinsichtlich Energiebedarf, Größe und Leistungsfähigkeit verläuft auch hier entsprechend dem mooreschen Gesetz. Bei solchen Prozessoren handelt es sich – im Verbund mit geeigneten Sensoren, Ein- / Ausgabeschnittstellen und Kommunikationsmöglichkeiten – um die primären Komponenten, welche Dinge „smart“ machen können. Für miteinander kommunizierende Artefakte werden derzeit Prozessoren entwickelt, die auch bereits die Vernetzungsfunktionalität auf dem Chip selbst enthalten.

Große Fortschritte werden derzeit auf dem Gebiet der drahtlosen Kommunikation erzielt. So ist die GSM-Mobiltelefonentechnik mittlerweile weit verbreitet und wird in den nächsten wenigen Jahren als so genannte Systeme der dritten Generation hinsichtlich höherer Bandbreiten (UMTS) und Angemessenheit für die Datenkommunikation (paketorientierte Übertragung und Abrechnung) ausgebaut. Für das ubiquitous computing entscheidender sind aber Kommunikationstechniken im Nahbereich, die weniger Energie benötigen und kleiner und billiger sind. Hierzu gehört die inzwischen etablierte WLAN-Technik mit Reichweiten von ca. 100 m und Übertragungsraten von derzeit ca. 10 Mbit/s (wobei dies in den nächsten Jahren um einen Faktor 2 bis 10 gesteigert werden kann), vor allem aber Funknetze für den Raumbereich (ca. 10 m). Für die letzteren ist gegenwärtig der Bluetooth-Standard mit Übertragungsraten von 1 Mbit/s und relativ geringem Stromverbrauch aktuell. Kommunikationsmodule für Bluetooth haben derzeit etwa das Volumen einer halben Streichholzschachtel, durch Integration von Speicher, Hochfrequenz- und Digitalteil auf einem einzigen Chip soll demnächst eine noch deutlich geringere Baugröße erzielt werden. Die Serienreife dürfte im Laufe des Jahres 2001 erreicht werden; der Preis der Bluetooth-Kommunikationsmodule sollte von derzeit noch ca. 50 € letztendlich bis auf ca. 5 € fallen.

Die enormen Bandbreitensteigerungen im Festnetzbereich, die mit Glasfasern und der Wellenlängenmultiplex-technik derzeit erzielt werden, sind indirekt für das ubiquitous computing insofern interessant, als damit die Backbone-Struktur zur Übermittlung der insgesamt anfallenden hohen Datenmengen realisiert werden kann. Unklar ist noch, ob die Powerline Communication (Datenübertragung via Stromversorgungsnetz, wie es in rudimentärer Weise die Babyphons tun) zumindest innerhalb von Wohneinheiten eine Rolle spielen werden. Spannender erscheinen Entwicklungen im Bereich von „Body Area Networks“ – hier wird der menschliche Körper selbst als Medium zur Übertragung von Signalen sehr geringer Stromstärken genutzt. Durch pures Anfassen eines Gerätes oder Gegenstandes kann diesem dann eine eindeutige Identifikation (die beispielsweise von der Armanduhr in den Körper eingespeist wird) übermittelt werden; auf diese Weise könnten Zugangsberechtigungen, spezifische 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.

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 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 als hochflexible, dünne und biegsame Plastikfolie ermöglichen – man mag sein Internet-Portal zum Wetterdienst in Zukunft vielleicht als Klebefolie am Schlafzimmerfenster anbringen. Es wird aber auch an „elektronischer Tinte“ und „smart paper“ geforscht, welche Papier und Stift zum vollwertigen, hoch mobilen Ein- und Ausgabemedium mit einer uns gut vertrauten Nutzungsschnittstelle erheben – von einer effektiven Nutzung, etwa im Sinne eines Computers als zusammenfaltbare interaktive Straßenkarte, dürfte man aber noch eine Reihe von Jahren entfernt sein. Laserprojektionen aus einer Brille direkt auf die Augenretina stellen eine weitere gegenwärtig untersuchte Möglichkeit zur Substitution klassischer Ausgabemedien von Computern dar.

Intensiv wird derzeit auch an verbesserten Möglichkeiten zur Positionsbestimmung mobiler Objekte (etwa mittels satellitengestützter Systeme wie GPS oder Funkpeilverfahren bei Handys) gearbeitet. Neben einer Erhöhung der Genauigkeit (GPS liegt gegenwärtig im Bereich von einigen Metern) besteht das Ziel vor allem in einer Verkleinerung (GPS-Empfänger sollen demnächst etwa die Größe von Kreditkarten haben) und in einer Reduktion des Energiebedarfs.

Natürlich lässt sich längst nicht jeder erwünschte Fortschritt über die Optimierung technologischer Parameter erreichen. Für den Bereich des ubiquitous computing so wichtige Aspekte wie neuartige Mensch-Maschine-Interaktionsformen, bessere Systemstrukturen zur Garantie von Sicherheit und Verlässlichkeit, Infrastrukturen für die intelligente Kooperation smarter Objekte sowie für Aspekte, die mit der Semantik von Aktionen zusammenhängen, werden vordringlich neue Konzepte benötigt, die vor allem aus Erkenntnissen grundlegender Forschung herrühren müssen. Deren Resultate beschleunigen sich leider nicht entsprechend dem Mooreschen Gesetz.

## **4 Anwendungen und Wirkungen**

Angesichts der zu erwartenden Allgegenwärtigkeit des Computers und den daraus resultierenden möglichen wirtschaftlichen, sozialen und gesellschaftlichen Auswirkungen stellt sich die Frage nach denkbaren Anwendungsbereichen, aber auch nach den vorhandenen Gestaltungsspielräumen. Letzteres ist gleichermaßen eine technische und ökonomische wie auch eine politisch-juristische Fragestellung.

Aus technischer Sicht lässt sich schon allein durch Extrapolation des Mooreschen Gesetzes in etwa abschätzen, was in den nächsten Jahren zumindest prinzipiell machbar erscheint. Was dann davon unter ökonomischen Gesichtspunkten – etwa hinsichtlich des Aufbaus einer Infrastruktur – sinnvoll ist, das ist schon weitaus schwieriger zu beantworten, wie erst jüngst wieder die teilweise skurrilen Ergebnisse der diversen UMTS-Frequenzversteigerungen demonstrieren. Ähnlich schwierig ist auch die Akzeptanz persönlicher Informations- und Kommunikationstechnik vorherzusagen – das Iridium-Satellitentelefonsystem entpuppte sich bekanntermaßen als klarer Misserfolg, das SMS-Kurznachrichtensystem für Handys dagegen wurde in kürzester Zeit ein in dieser Größenordnung völlig unerwarteter Erfolg.

Was lässt sich also prognostizieren? Klar erscheint zumindest, dass Techniken wie preiswerte präzise Positionsbestimmung, batteriefreie Funksensoren oder smart labels einen deutlichen Vorteil im Bereich der Produktion und Logistik bringen, insbesondere dann, wenn diese auf einer universellen Vernetzungsinfrastruktur – also letztlich dem „drahtlosen Internet“ – aufbauen können und geeignete Standards sowie gemeinsame Ontologien zur Kommunikation auf der Anwendungsebene existieren.

Schwieriger sind Anwendungen mit „smarten“ Alltagsdingen einzuschätzen. Das Potential scheint gewaltig, wenn Gegenstände dank neuerer Techniken zur spontanen Vernetzung miteinander kooperieren können und prinzipiell Zugriff auf jegliche in Datenbanken oder im Internet gespeicherte Information haben bzw. jeden passenden Internet-basierten Service nutzen können. Die Grenzen liegen hier weniger in der technischen Natur, sondern sind eher ökonomischer (was darf der Zugriff auf eine bestimmte Information kosten bzw. rechnet sich die notwendige Infrastruktur?) oder sogar rechtlicher Art (was darf der Gegenstand wem verraten und was darf er sich merken?). Auch Experten sind sich nicht darüber im Klaren, welche der vielen manchmal absurd klingenden Ideen – angefangen vom klischeehaft bemühten Kühlschrank, der die Milch automatisch nachbestellt, über kommunizierende Regenschirme, die vor einem heranziehenden Regenschauer warnen, wenn befreundete Schuhe ohne sie die Haustür ansteuern, bis hin zur „intelligenten“ Kleidung, die kritische, vom individuellen Normalfall abweichende Pulsfrequenz und Atemtätigkeit dem Arzt weitermeldet – letztendlich eine Rolle in der Zukunft spielen könnten.

Anfangs dürften von einer ubiquitären Vernetzung und „kollektiven Intelligenz“ sicherlich eher solche höherpreislichen Haushaltsgeräte, Werkzeuge, Spielzeuge oder Autos profitieren (und damit zur Verbreitung der Techniken und Infrastrukturen beitragen), die durch sensorgestützte Informationsverarbeitung und Kommunikationsfähigkeit einen deutlichen Mehrwert erhalten: Ein automatischer Rasensprenger gewinnt offenbar nicht nur durch eine Vernetzung mit Feuchtigkeitssensoren im Boden an Effizienz, sondern auch durch die im Internet kostenlos erhältliche Wetterprognose. Eltern könnten es – auch in geldwerter Hinsicht – zu schätzen wissen, wenn Schuhe und Jacken der Kinder ihren Aufenthaltsort verraten (eine in den Ärmel eingenahte Spielkonsole und ein durch die Gehbewegung gespeister Stromgenerator im Schuh mögen für die Kinder dann einen Anreiz zur Benutzung der Kleidungsstücke darstellen...) und diese sogar noch Alarm schlagen, wenn sie sich außer Haus zu weit voneinander entfernen. Und falls alle Autos ihre eigene Position und den Ort benachbarter Fahrzeuge genau kennen, lässt sich vielleicht manche Kollision vermeiden; auch viele Verkehrsschilder könnten letztendlich überflüssig werden, wenn die entsprechende Information im Auto selbst angezeigt wird – Voraussetzung für solche Szenarien ist natürlich eine verlässliche und flächendeckende Verfügbarkeit der Infrastruktur.

Die ultimative Vision des ubiquitous computing geht jedoch über solche Anwendungsbereiche hinaus und bemüht Szenarien, die an Science-Fiction heranreichen oder aus heutiger Sicht betrachtet in ihrer Wirkung gar nach Zauberei anmuten. Es geht dann um so alltägliche Dinge wie 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. Abgesehen davon, dass die Verlängerung des Internet bis in die letzten Dinge hinein schon aus technischer und organisatorischer Sicht eine formidable Aufgabe darstellt, ist derzeit aber noch weitgehend unklar, wie in effektiver Weise Nutzen aus solcher Technik gezogen werden kann, wie also beispielsweise wir Menschen mit unseren smarten Dingen geeignet kommunizieren können. Hier harren sicherlich noch viele Gestaltungsaufgaben, die nicht rein technischer Natur sind.

In seinen Konsequenzen zu Ende gedacht, dürfte eine Welt aus kommunizierenden smarten Dingen jedenfalls zu einer deutlich geänderten Wahrnehmung unserer Umgebung führen und größere gesellschaftliche und ökonomische Auswirkungen haben und damit letztlich sogar von politischer Relevanz sein. Die Konsequenzen in sozialer und kultureller Hinsicht erscheinen derzeit zwar noch weitgehend unklar, mit Sicherheit ist allerdings die Privatsphäre im Sinne von Datenschutz und „Privacy“ betroffen.

## 5 Forget Privacy?

Immer billigere, effektivere und kleinere Sensoren und Prozessoren ermöglichen eine immer umfangreichere Erfassung und automatische Wahrnehmung der Umwelt – und damit auch unseres Handelns in der Welt. Wie aber lässt sich das Datenschutzproblem angehen, wenn unsere eigenen Dinge große Mengen personenbezogener oder gar persönlicher Daten erzeugen und diese potentiell kommunizieren?

Die Vision des allgegenwärtigen Computers erweitert jedenfalls die aus dem Internet bekannte Problematik der „Online-Historie“, also der Erfassung von Mausclicks und besuchten Web-Seiten, zur umfassenden „Offline-Historie“: Während sich bisher die Web-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 zwangsweise 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.

Ronald Rivest, einer der Erfinder des RSA-Verschlüsselungsverfahrens, hat als Ursache für viele Probleme, die wir rund um das Internet haben, einmal 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 Probleme auf uns zukommen werden.

Es mag in diesem Zusammenhang etwas zynisch klingen, ist aber sicherlich ernst gemeint, wenn die Gartner-Unternehmensberatung in einer kürzlich durchgeführten Analyse unter dem Begriff „Insight for the Connected World“ schreibt: *„By 2010, driven by the improving capabilities of data analysis... privacy will become a meaningless concept in Western societies.“* Ist es da tröstlich, wenn die Analytiker dieser Möglichkeit in einer Bewertung „nur“ eine Wahrscheinlichkeit von 60% zuordnen? Manche Wissenschaftler jedenfalls scheinen vor den Aussichten und den Implikationen der Technik eher zu kapitulieren: Bei einer Podiumsdis-

kussion, die im Herbst 2000 zum Thema „Security and Privacy in Ubiquitous Computing Environments“ stattfand, sagte einer der Sicherheitsexperten wörtlich „forget privacy“! Diese „These“ wurde von ihm dann mit Vehemenz während der gesamten Podiumsdiskussion vertreten.

Klar scheint jedenfalls, dass man ohne effektive Maßnahmen zum Datenschutz mit den Techniken des ubiquitous computing eine Überwachungsinfrastruktur schaffen würde, welche viele bestehende Gesetze und Mechanismen zum Schutz der Privatsphäre ineffektiv machen 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 diese schöne neue Welt voller „smarter“ und kommunikationsfreudiger Dinge nicht in einen orwellischen Überwachungsstaat zu verwandeln (Mattern u. Langheinrich 2001).

Man sieht: Die Vernetzung aller Dinge ist ein Unternehmen, das nicht nur in technischer Hinsicht eine Herausforderung darstellt!

## Literatur

*Burkhardt, J., H. Henn, S. Hepper, K. Rindtorff, T. Schäck (2001): Pervasive Computing. Im Druck 2001.*

*Gershensfeld, N. (1999): Wenn die Dinge denken lernen. München 1999.*

*Hansmann, U., L. Merk, M. Nicklous, T. Stober (2001): Pervasive Computing Handbook. Berlin, Heidelberg 2001.*

*Guthery, S, R. Kehr, J. Posegga (2000): How to Turn a GSM SIM into a Web Server. Proc. CARDIS'2000.*

*Mattern, F. (2001): Das aktuelle Schlagwort: Pervasive Computing / Ubiquitous Computing. In: Informatik-Spektrum. Jg. 24 (2001) H. 3.*

*Mattern, F., M. Langheinrich (2001): Allgegenwärtigkeit des Computers – Datenschutz in einer Welt intelligenter Alltagsdinge. In G. Müller (Hrsg.): Mit Sicherheit nicht dabei? Die Machbarkeit von Sicherheit im Internet. Berlin, Heidelberg 2001*

*Norman, D.A. (1998): The Invisible Computer. Cambridge, Mass.: MIT Press 1998.*

*Want, R., G. Borriello (2000): Special Issue on Information Appliances. In: IEEE Computer Graphics and Applications, May / June 2000.*

*Weiser, M. (1991): The Computer for the 21st Century. In: Scientific American. Jg. 265 (1991) H. 9, S. 66-75.*