

# Ubiquitous Computing: Schlaue Alltagsgegenstände

## Die Vision von der Informatisierung des Alltags

Computer werden nicht nur immer kleiner, billiger und leistungsfähiger, sie verstecken sich auch zunehmend in Alltagsobjekten. Die kommende Welt des Ubiquitous Computing wird eine Welt der Paradoxe, eine Welt, in der der Computer scheinbar verschwindet, aber gleichzeitig doch überall ist und sogar in viele gewöhnliche Gegenstände eindringt. Die Auswirkungen einer umfassenden Informatisierung der Welt, in der „smarte“ Dinge das Internet nutzen und zahllose kleinste Sensoren ihre Umgebung beobachten, lassen sich nur erahnen.

### Friedemann Mattern

Seit mehreren Jahrzehnten verdoppelt sich die Rechengeschwindigkeit typischer Prozessoren alle 18 bis 24 Monate. Eine ähnlich hohe Leistungssteigerung lässt sich auch für einige andere Technologieparameter wie die Speicherkapazität oder die Kommunikationsbandbreite beobachten. Experten erwarten, dass dieser Trend noch viele Jahre anhält, was dazu führt, dass Computer in Zukunft noch wesentlich kleiner und preiswerter und damit quasi allgegenwärtig („ubiquitär“) werden.

Die Konsequenzen dieser Entwicklung hat Mark Weiser, seinerzeit leitender Wissenschaftler am Xerox-Forschungszentrum im Silicon Valley, schon Anfang der 1990-er Jahre erkannt und in seinem visionären Artikel „The Computer for the 21st Century“ [1] beschrieben. Weiser prägte den Begriff „Ubiquitous Computing“ und

propagiert den allgegenwärtigen Computer, der unsichtbar und unaufdringlich den Menschen bei seinen Tätigkeiten unterstützt und ihn von lästigen Routineaufgaben befreit. Idealerweise sollte der Computer als sichtbares Gerät sogar ganz verschwinden, dessen informationsverarbeitende Funktionalität im Sinne einer „elektronischen Hintergrundassistenten“ aber überall verfügbar sein.

Während Weiser den Terminus „Ubiquitous Computing“ eher in akademisch-idealistischer Weise als eine unaufdringliche, humanzentrierte Technikvision verstand, die sich erst in der fernerer 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 omnipräsente Informationstechnologie, allerdings mit dem primären Ziel, diese schon kurzfristig im Rahmen von Mobile-Commerce-Szenarien

und Web-basierten Geschäftsprozessen nutzbar zu machen. Die Perspektiven des Pervasive Computing wurden vom damaligen IBM-Chairman Lou Gerstner so beschrieben: „A billion people interacting with a million e-businesses through a trillion interconnected intelligent devices.“

## Das Internet der Dinge

Plakativ ausgedrückt besteht der Anspruch des Ubiquitous Computing darin, möglichst viele Gegenstände der Welt zu „informatisieren“ und miteinander zu vernetzen. Tatsächlich steckt im dynamischen Fortschritt der Kommunikationstechnik ein enormes Potential, das die Möglichkeiten der Vernetzung ständig erweitert. Das Internet wird bald – so die Erwartungen – nicht mehr nur für den Transport von E-Mails und Web-Daten, sondern vorwiegend für die Kommunikation von „Ding zu Ding“ verwendet werden – „humans out of the loop“ lautet hier die Devise.

Neu aufkommende Standards und Infrastrukturdienste, welche Web-Informationen maschinenlesbar machen, wie beispielsweise XML, Web-Services und das Semantic Web, sind erste Anzeichen für das kommende „Internet der Dinge“. Vor allem aber werden in Alltagsgegenstände eingebettete Prozessoren und Sensoren zusammen mit neuen Möglichkeiten und Standards der drahtlosen Kommunikation (wie etwa ZigBee) dafür sorgen, dass viele Alltagsdinge miteinander kommunizieren und zum Beispiel ihren Aufenthaltsort oder ihre Sensorwerte anderen interes-

sierten Dingen mitteilen. Neil Gershenfeld vom Media Lab des MIT drückte diese Erwartung einmal folgendermassen aus [2]: „*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.*“

## Technische Grundlagen

Neben den Entwicklungen im Bereich der drahtlosen Kommunikation tragen auch andere Faktoren zur Realisierung der Ubiquitous Computing-Vision bei. Wesentlich ist der anhaltende Fortschritt der Mikroelektronik. Dieser dürfte dazu führen, dass kleinste, spontan und drahtlos miteinander kommunizierende Prozessoren fast im Überfluss vorhanden sein werden. Mit der absehbaren Überschwemmung der Welt durch Rechenleistung wird ein Paradigmenwechsel in der Computeranwendung eingeläutet: Prozessoren, Speicherbausteine und Sensoren können dann aufgrund ihrer geringen Grösse, ihres minimalen Energiebedarfs und fast vernachlässigbaren Preises in viele Alltagsgeräte eingebaut werden und diesen ein „smartes“ Verhalten verleihen, indem sie sie zu einem an die jeweilige Situation angepassten Verhalten befähigen. Damit dringt die Informationsverarbeitung, gekoppelt mit der Kommunikationsfähigkeit, fast überall ein, auch in Dinge, die zumindest auf den ersten Blick keine elektrischen Geräte darstellen.

Neue Erkenntnisse der Materialwissenschaften spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Es sieht beispielsweise so aus, als ob Polymere in Zukunft Dinge ermöglichen, die man ihnen früher nie zugetraut hatte. Als Konsequenz davon könnten wesentliche Komponenten von Computern bald recht ungewöhnliche Formen annehmen – ein Beispiel dafür stellen Displays aus so genannter elektronischer Tinte dar. Dabei schwimmen, vereinfacht

ausgedrückt, elektrisch unterschiedlich geladene weisse und schwarze Farbpartikel innerhalb von nur submillimetergrossen Kapseln. Diese miniaturisierten Kapseln werden auf eine dünne, flexible Substratfolie aufgetragen. Legt man eine positive oder negative Spannung an, fliessen an dieser Stelle entweder die weissen oder die schwarzen Farbpigmente nach oben und erzeugen einen kleinen Punkt in der entsprechenden Farbe. Auf diese Weise kann auf die Folie, die sich idealerweise anfühlen sollte wie Papier, etwas geschrieben und später wieder gelöscht werden. Prototypen haben zwar noch diverse Mängel hinsichtlich Flexibilität, Haltbarkeit, Pixelgrösse oder Preis, allerdings kann die Bedeutung für die Praxis, wenn irgendwann einmal Papier quasi zum Computer mutiert oder umgekehrt der Computer sich als Papier materialisiert, kaum hoch genug eingeschätzt werden!

Immer wichtiger werden auch Ergebnisse der Mikrosystemtechnik und der Nanotechnik, welche beispielsweise zu kleinsten integrationsfähigen Sensoren führen, die die unterschiedlichsten Parameter der Umwelt aufnehmen können. Eine interessante Entwicklung in dieser Hinsicht stellen Funksensoren dar, die ohne explizite Energieversorgung ihre Messwerte einige Meter weit melden können; die dazu nötige Energie beziehen sie aus der Umgebung oder direkt aus dem Messvorgang, indem beispielsweise piezoelektrische oder pyroelektrische Materialien bei Druck- bzw. Temperaturmessungen eingesetzt werden.

Ohne eigene Energiequelle funktionieren auch die als Ersatz für Strichcode-Etiketten dienenden und vor der Masseneinführung stehenden RFID-Chips („Radio Frequency Identification“) [3]. Technisch gesehen handelt es sich um Transponder, die mit einem Hochfrequenzsignal bestrahlt werden, dieses Signal decodieren, aus ihm die Energie für sich selbst beziehen und dann eine Antwortnachricht (zum Bei-

spiel einen Produktcode oder eine Seriennummer) als Funksignal mit einer Reichweite von einigen wenigen Metern zurücksenden. Man kann sogar in umgekehrter Richtung einige hundert Bits „durch die Luft“ auf den Chip schreiben; die Informationsübertragung geschieht in Sekundenbruchteilen. RFID-Chips inklusive der papierdünnen flexiblen Antenne kosten derzeit zwischen 10 Cent und 1 Euro pro Stück, mit fallender Tendenz, und lassen sich recht klein fertigen. So ist etwa der  $\mu$ -Chip von Hitachi nur  $0,4 \times 0,4$  Millimeter gross – damit Lesereichweiten von einigen Zentimetern erreicht werden, muss er allerdings mit einer kleinen Filmanenne ausgestattet werden.

Dass mit RFID-Chips auch unkonventionelle Anwendungen möglich sind, zeigt ein „smartes Kartenspiel“, das an der ETH Zürich entwickelt wurde. Dabei trägt jede Spielkarte einen kleinen RFID-Chip. Unter dem Spieltisch ist eine grössere Antenne montiert, die registriert, welche Karte jeweils ausgespielt wird. Dadurch kann die „intelligente“ Umgebung den Spielverlauf automatisch nachvollziehen und eventuelle Regelwidrigkeiten erkennen, die Spielpunkte zusammenzählen und den Gewinner ermitteln.

Die RFID-Technik wurde natürlich nicht für solche „Spielereien“ entwickelt. Vorangetrieben wird sie von Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Logistik: Wenn Produkte ihre Identität automatisch preisgeben, jedes Mal wenn sie das Tor einer Lagerhalle oder die Laderampe eines LKW passieren, dann können die Warenströme ohne manuelles Zutun lückenlos über die gesamte Lieferkette hinweg verfolgt werden. Fehllieferungen sollten so weitgehend ausgeschlossen werden können.

In letzter Zeit gewinnen in der Forschung auch drahtlose Sensornetze zunehmend an Bedeutung. Hier ist die Vorstellung, dass eine grosse Zahl hochgradig miniaturisierter Sensoren, zusammen mit Prozessoren zur Vorverarbeitung

der Signale, grossflächig in die Umwelt eingebracht wird, indem diese zum Beispiel aus einem Flugzeug abgeworfen werden. Die Aufgabe der Sensoren besteht darin, ihre unmittelbare Umgebung zu beobachten. Die Sensoren können sich bei Bedarf drahtlos mit benachbarten Sensoren vernetzen und ihre Arbeit untereinander abstimmen sowie relevante Erkenntnisse austauschen. Wird es bei einem Sensor zum Beispiel heiss, kurze Zeit später bei einem benachbarten Sensor, und wieder etwas später bei einem dritten Sensor, so lässt sich daraus auf ein Feuer schliessen und es kann die Ausbreitungsrichtung und -geschwindigkeit des Waldbrandes berechnet werden.

Prototypen solcher Sensornetze existieren bereits, allerdings steht man erst am Anfang der Entwicklung. Beherrscht man jedoch eines Tages die Technik, um die kleinen, energiearmen Funksensoren massenweise herzustellen, lassen sich damit vielfältige Phänomene der Welt in bisher nie da gewesener Genauigkeit beobachten. Durch die geringe Grösse und dadurch, dass keine physische Infrastruktur wie Kabel und Stromanschlüsse benötigt wird, kann die Instrumentierung in flexibler und nahezu unsichtbarer Weise geschehen, ohne die beobachteten Aspekte wesentlich zu beeinflussen. Das Umweltmonitoring stellt hierfür genauso eine Anwendung dar wie die militärische Aufklärung. Auch Infrastruktursysteme, Verkehrssysteme und Fabrikationsprozesse könnten von einem genauen und „unaufdringlichen“ Monitoring profitieren.

## Anwendungen für allgegenwärtige Computer

Mit der skizzierten Technikentwicklung kann Alltagsgegenständen eine neue, zusätzliche Qualität verliehen werden – diese können nicht nur mit Menschen und anderen

smarten Gegenständen in geeigneter Weise kommunizieren, sondern zum Beispiel auch erfahren, wo sie sich befinden, was in der Vergangenheit mit ihnen geschah und was in ihrer Umgebung los ist.

Die Zweckmässigkeit konkreter 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 natürlich Werbung) auf die Kühlschranktür projiziert, bis hin zur schlaun Unterwäsche, die eine kritische, vom individuellen Normalfall abweichende Puls- und Atemfrequenz dem Arzt weitermeldet – letztlich eine wichtige Rolle in der Zukunft spielen könnten.

Auch wenn es in der Praxis zunächst kaum um den klischeehaft bemühten Kühlschrank gehen dürfte, der die Milch automatisch nachbestellt, scheint das Potential an Anwendungen gross, wenn demnächst gewöhnliche Gegenstände miteinander kooperieren und drahtlosen Zugriff auf externe Datenbanken haben oder passende Internet-basierte Services nutzen können. So gewinnt offenbar ein automatischer Rasensprinkler nicht nur durch eine Vernetzung mit Feuchtigkeitssensoren im Boden an Effizienz, sondern auch durch die Konsultation der Wetterprognose im Internet.

Generell kann man sich hinsichtlich der Anwendungsmöglichkeiten smarterer Dinge viel Unsinniges, aber auch einiges Sinnvolles vorstellen. Zum Beispiel könnten Autos die Fahrzeuge auf der Gegenfahrbahn vor einem Stau warnen. Ferner mag eine Mülltonne neugierig auf die Recyclingfähigkeit ihres Inhaltes sein, ein Arzneischrank mag um die Haltbarkeit seiner Medikamente besorgt sein, oder mein Mobiltelefon könnte sich daran erinnern, wann und wo es zuletzt in unmittelbarer Nähe meines Schlüssels war.

Überhaupt besitzen Lokalisierungstechnologien ein hohes An-

wendungspotential – wird man in Zukunft einen verlorenen Gegenstand fast immer wiederfinden, weil dieser stets weiss, wo er ist und dies bei Bedarf mitteilen kann? Noch sind Lokalisierungsmodule, die beispielsweise auf dem GPS-System beruhen, für viele Anwendungen zu gross, zu teuer, zu ungenau und zu energiehungrig. Bei allen vier Parametern sind allerdings weitere Fortschritte zu erwarten, und für grössere und wertvolle Dinge, wie beispielsweise Mietautos, rechnet sich ihr Einsatz bereits heute. Schon gibt es erste Produkte, zum Beispiel „getarnt“ als Armbanduhren, mit denen man den Aufenthaltsort seiner Kinder feststellen kann. Klar ist, dass es um den Einsatz solcher Dinge und die damit einhergehende Gefährdung der Privatsphäre noch viel Streit geben dürfte!

Viele weitere Anwendungen „schlaun“ und kommunizierender Alltagsdinge sind denkbar. Die Grenzen liegen dabei weniger in der technischen Natur, sondern sind eher ökonomischer Art: Geschäftsmodelle, Standards, Amortisation der Infrastruktur oder Kosten des Informationszugriffs. Anfangs werden sicherlich eher solche höherpreisigen Dinge informationstechnisch aufgerüstet (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 jedoch allgemein eine grosse wirtschaftliche Bedeutung erlangen. Denn werden industrielle Produkte (wie zum Beispiel Haushaltsgeräte, Werkzeuge, Spielzeug oder Kleidungsstücke) durch integrierte Informationsverarbeitung „schlau“, oder bekommen sie auch nur eine fernabfragbare elektronische Identität beziehungsweise Sensoren zur Wahrnehmung des Kontextes (wissen also zum Beispiel, 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 bald darauf auch viele andere und eher banale Gegenstände ganz selbstverständlich das Internet mit seinen vielfältigen Ressourcen für die Durchführung ihrer Aufgaben nutzen, selbst wenn dies uns als Anwender gar nicht bewusst ist.

Auch wenn es im Einzelnen derzeit noch nicht abgeschätzt werden kann, dürfte klar sein, dass um die vielen schlaun Dinge herum völlig neue Dienste entstehen werden. Der digitale Mehrwert eigener Produkte kann diese auch von physisch ähnlichen Erzeugnissen der Konkurrenz absetzen und Kunden stärker an eigene Mehrwertdienste und dazu kompatible Produkte binden. Die Pflege und Weiterentwicklung der hierfür notwendigen globalen Infrastruktur mag vielleicht sogar einmal eine ganze Industrie beschäftigen, analog den heutigen Energie- und Telekommunikationsunternehmen.

## Auswirkungen auf die Gesellschaft

Der Technologietrend zeigt eindeutig in Richtung einer umfassenden Informatisierung der Welt. Alleine in technischer und organisatorischer Hinsicht ergeben sich dabei allerdings noch vielfältige Herausforderungen – etwa die Energieversorgung der schlaun Artefakte, geeignete Standards zur Kommunikation und vieles mehr.

Die Auswirkungen einer derart tief greifenden Integration von Informationstechnologie in unseren Alltag, wie sie das Ubiquitous Computing propagiert, sind bisher zwar noch kaum abzusehen, aber wenn gewöhnliche Dinge wissen, welche anderen Dinge oder Personen in der Nähe sind und was in der Vergangenheit mit ihnen geschah, und sie dies anderen Gegenständen mitteilen können, dann dürfte dies mit Sicherheit grössere wirtschaftli-

che und soziale Konsequenzen haben.

Langfristig ergeben sich durch die Verlängerung des Internets in die Alltagswelt hinein aber auch einige Probleme. Ein Aspekt ist zum Beispiel die Zuverlässigkeit: Funktionieren etwa alltägliche Dinge wie Türschlösser, Schreibstifte, Fotoapparate, Autos etc. nur noch dann ordnungsgemäss, wenn von diesen ein Online-Zugriff auf das Internet besteht, dann entsteht natürlich eine grosse Abhängigkeit von der zugrunde liegenden Technik. Wenn diese versagt, wofür es unterschiedliche Ursachen – Entwurfsfehler, Materialdefekte, Sabotage, Überlastung, Naturkatastrophen, Krisensituationen etc. – geben kann, dann könnte sich dies sogar in globaler Hinsicht katastrophal auswirken. Ist das korrekte Funktionieren der informationstechnischen Infrastruktur für die Gesellschaft überlebenswichtig, dann müssen nicht nur geeignete Sicherungsmechanismen vorgesehen werden, solche Systeme müssen vielmehr von vornherein im Bewusstsein dieser Verantwortung entworfen werden.

Vor allem aber ist dem Schutz der Privatsphäre besondere Beachtung zu schenken [4]. Smarte Gegenstände und sensorbestückte Umgebungen häufen quasi auf Vorrat eine Unmenge teilweiser sensibler und intimer Daten an, um den Nutzern jederzeit ihre Dienste anbieten zu können. Werden aber beispielsweise mit Sensornetzen nicht Ökosysteme überwacht, sondern in indirekter oder gar direkter Weise Menschen, dann zieht eine solche nahezu unsichtbare Technik massive gesellschaftliche Probleme nach sich: Es könnte damit die delicate Balance von Freiheit und Sicherheit aus dem Gleichgewicht gebracht werden, weil die qualitativen und quantitativen Möglichkeiten zur Überwachung derart ausgeweitet werden, dass auch Bereiche erfasst werden, die einem dauerhaften und unauffälligen Monitoring bisher nicht zugänglich waren.

In seinen Konsequenzen zu Ende gedacht, dürfte die Realisierung

der Vision einer von Informationstechnik im wahrsten Sinne des Wortes durchdrungenen Welt daher nicht nur eine grosse technische und ökonomische Herausforderung darstellen, sondern könnte auch eine gesellschaftliche Brisanz bekommen [5].

## Bibliographie

- [1] *M. Weiser: The Computer for the 21st Century. Scientific American* 265(1991)3, pp 66–75.
- [2] *N. Gershenfeld: Wenn die Dinge denken lernen. München: Econ, 1999.*
- [3] *K. Finkenzeller: RFID-Handbuch. München: Hanser-Verlag, 2002.*
- [4] *M. Langheinrich und F. Mattern: Wenn der Computer verschwindet – Was Datenschutz und Sicherheit in einer Welt intelligenter Alltagsdinge bedeuten. Digma – Zeitschrift für Datenrecht und Informationssicherheit* 2(2002)3, pp 138–142.
- [5] *F. Mattern: Vom Verschwinden des Computers – Die Vision des Ubiquitous Computing. In: F. Mattern (Hrsg) Total vernetzt. Berlin: Springer-Verlag, pp 1–41, 2003.*

## Angaben zum Autor

Prof. **Friedemann Mattern** ist Professor für Informatik und Vorsteher des Instituts für Pervasive Computing an der ETH Zürich. Er ist auch Mitbegründer des von der ETH Zürich und der Universität St. Gallen (HSG) gemeinsam getragenen M-Lab-Kompetenzzentrums, das unter Beteiligung namhafter Firmen betriebswirtschaftliche Aspekte des Ubiquitous Computing untersucht.

*Institut für Pervasive Computing, ETH Zürich, CH-8092 Zürich, mattern@inf.ethz.ch*