
Friedemann Mattern

Allgegenwärtige und verschwindende Computer

ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem steten Fortschritt der IT-Technologie rückt die Vision einer umfassenden Informatisierung und Vernetzung der Welt und ihrer vielen Gegenstände immer näher. Nicht nur Prozessoren und Speicherbausteine werden laufend leistungsfähiger, kleiner und preiswerter, sondern bald lassen sich auch drahtlos miteinander kommunizierende Sensoren, die ihre Umgebung erfassen, sehr billig in miniaturisierter Form herstellen und millionenfach in die Umwelt einbringen oder unsichtbar in Gegenstände einbauen. Zusammen mit neuen Technologien zur Ortsbestimmung bekommen gewöhnliche Dinge auf diese Weise eine noch nie da gewesene Qualität – diese können dann wissen, wo und in welcher Situation sie sich gerade befinden, welche anderen Gegenstände oder Personen in der Nähe sind und was in der Vergangenheit mit ihnen geschah. Langfristig entsteht so ein „Internet der Dinge“, das gewaltige Auswirkungen auf viele Wirtschaftsprozesse und Lebensbereiche haben dürfte.

Der vorliegende Beitrag¹ geht auf drei Aspekte ein. Im ersten Teil werden einige *Technologie-trends* skizziert, die im Kontext des sogenannten „ubiquitous computing“ von Bedeutung sind. In einem zweiten Teil werden die darauf beruhenden *Zukunftsvisionen* diskutiert. Schließlich wird im dritten Teil der Frage nachgegangen, welche *Konsequenzen* diese Entwicklung haben könnte.

1 EINLEITUNG

Wir erinnern uns: Vor 25 Jahren, als der Autor mit seiner Diplomarbeit begann, hatte eine Universität neben einigen Spezialrechnern in den naturwissenschaftlichen Instituten typischerweise nur einen einzigen Computer, für den schon aufgrund des ehrfurchteinflößenden und raumfüllenden Umfangs die Bezeichnung *Großcomputer* sehr treffend war. Er kostete mehrere Millionen, besaß wenige 100 Kilobyte Speicher, beschäftigte ein ganzes Rechenzentrum und diente allen Anwender der Universität gemeinsam.

Doch schon bald darauf, in den 1980-er Jahre, konnten sich immer mehr Leute einen eigenen kleinen Computer leisten: Das Zeitalter des *persönlichen Computers* („PC“) war angebrochen, und man steuerte auf ein zahlenmäßiges Verhältnis von 1:1 zwischen Nutzern und Computern zu. Heute nun hat sich das Verhältnis umgekehrt: Jeder von uns besitzt viele Mikroprozessoren – eingebaut im Mobiltelefon, in der Armbanduhr und im Auto, wobei diese meist leistungsfähiger als die Großcomputer vor 25 Jahren sind.

Diese erstaunliche Entwicklung, in der der Computer immer kleiner und unscheinbarer wird und schließlich sogar verschwindet, indem er sich in den Dingen „versteckt“, gerade dadurch aber auch allgegenwärtig wird, verdanken wir im Wesentlichen dem steten Fortschritt der Mikroelektronik. Interessanterweise scheint der zugrundeliegende Trend ungebrochen: Wenn die letzten 25 Jahre eine solch dramatische Entwicklung bewirkten, was ist dann in den nächsten 10 oder gar 25 Jahren zu erwarten? Und wie könnte sich dies auswirken? Das ist die eigentlich spannende Frage!

¹ Dieser Beitrag beruht in Teilen auf früheren Veröffentlichungen des Autors, u.a.: *Vom Verschwinden des Computers – Die Vision des Ubiquitous Computing*. In: F. Mattern (Hrsg.): *Total vernetzt – Szenarien einer informatisierten Welt*. Springer-Verlag, 1–41, 2003.

2 TECHNOLOGIETRENDS

Vieles treibt den Fortschritt der Informationstechnik auf ganz unterschiedlichen Ebenen voran: Technische Perfektionierungen von Lasern und Displays, produktivere Methoden zum Erstellen von Software, bessere Programmiersprachen und Betriebssysteme, neue physikalisch-chemische Prozesse für Batterien, innovative Konzepte für die Mensch-Maschine-Interaktion, flexiblere Fertigungsverfahren und noch manches mehr. Das alles wiederum beruht wesentlich auf dem kontinuierlichen Zuwachs an Erfahrung und Wissen sowie dem steten Erkenntnisgewinn der grundlagenorientierten Forschung.

Der Fortschritt ist im Detail nicht planbar, und einzelne Entdeckungen geschehen eher zufällig. Dennoch lassen sich auf hoher Ebene, dort wo viele Einzelbeiträge zusammenfließen, klare Trends ausmachen, die über lange Zeit anhalten. Die wichtigsten Technologietrends, die für das ubiquitous computing von Bedeutung sind, sollen nachfolgend kurz skizziert und diskutiert werden. Der Begriff „ubiquitous computing“ bezeichnet dabei die Vision vom allgegenwärtigen Computer, der als unsichtbare Hintergrundassistent agiert.

2.1 Das Gesetz von Moore

Mit erstaunlicher Präzision und Konstanz scheint das bereits Mitte der 1960er-Jahre von Gordon Moore aufgestellte „Gesetz“ zu gelten [Moo65], welches besagt, dass sich die Zahl der auf einen Chip integrierbaren elektronischen Komponenten etwa alle 18 Monate verdoppelt. Als Konsequenz ergab sich über die Zeit eine substantiellen Veränderung der Kostenrelationen, die aus dem teuren wissenschaftlichen Instrument „Rechner“ das Massenprodukt „PC“ gemacht hat.

Populärer ist eine Kurzform des mooreschen Gesetzes, welches ausdrückt, dass sich die Leistungsfähigkeit von Prozessoren (bei abnehmender Größe und Preis) etwa alle anderthalb Jahre verdoppelt. Dies ist aber eher eine Konsequenz aus der ursprünglichen Fassung, wobei neben den niedrigeren Schaltzeiten der kleineren Transistoren, die eine höhere Taktrate ermöglichen, auch Architekturprinzipien wie Pipelining, Parallelität und Cachegrößen ins Spiel kommen, mit denen die größeren Transistorzahlen in eine höhere Prozessorgeschwindigkeit umgesetzt werden.

Auch wenn immer wieder vor Fehlinterpretationen und dem baldigen Ende des mooreschen Gesetzes gewarnt wird (vgl. z.B. [Tuo02]), scheint kein unmittelbarer Anlass zu Fortschrittspessimismus gegeben zu sein: noch mindestens 10 oder 15 Jahre dürften Prozessoren und Speicherkomponenten laufend leistungsfähiger, kleiner und billiger werden – vielleicht sogar noch wesentlich länger. Genaue Aussagen dazu sind aber schwierig, da dies auch von nicht-technischen Faktoren, wie beispielsweise den ökonomischen Randbedingungen, abhängt. Auch die Speicherkapazität für Daten auf Hintergrundspeichern und die Übertragungsbandbreite von Kommunikationsnetzen nimmt übrigens in ähnlicher Weise exponentiell zu.

2.2 Kommunikationstechnik

Der zweite wichtige Technologiebeitrag für das ubiquitous computing stellt die Kommunikationstechnik dar. Auch hier sind über die Jahre gewaltige Fortschritte und ein Trend hin zu immer höheren Datenraten zu verzeichnen. Besonders relevant für das ubiquitous computing ist die drahtlose Kommunikation. Das Mobilfunknetz für Handys sowie der drahtlose Internetzugang via WLAN sind heute Standard – mit bereits entwickelten und kurz vor dem kommerziellen Einsatz befindlichen neuen Technologien wie „Ultra Wide Band“ (UWB) und ZigBee wird erreicht, dass die Kommunikationsmodule noch weniger Energie benötigen, noch kleiner werden und dass noch mehr Daten noch schneller „durch die Luft“ transportiert werden können. Die fernere Zukunft schließlich lässt noch mehr an Leistungssteigerung erwarten.

An dieser Stelle sei gestattet, kurz mit einigen Zitaten aus einem mittlerweile fast 100 Jahre alten Buch *Die Welt in 100 Jahren* [Bre10] auf die früher gehegten Erwartungen an die Möglichkeiten der

Telekommunikation einzugehen. Das Buch beschreibt eine Welt, in der wir heute eigentlich leben müssten – wenn die Vorhersagen über diesen langen Zeitraum einigermaßen zutreffend waren! Dabei beschränken wir uns hier auf das Kapitel *Das drahtlose Jahrhundert*.

Was also hat man damals für die heutige Zeit prophezeit? Erstaunliches, wenn man sich der Tatsache bewusst ist, dass zu jener Zeit sowohl die Funk- als auch die Telefontechnik erst rudimentär entwickelt waren. Es heißt dort nämlich: „*Es wird jedermann sein eigenes Taschentelephon haben, durch welches er sich, mit wem er will, wird verbinden können, einerlei, wo er auch ist, ob auf der See, ob in den Bergen, dem durch die Luft gleitenden Aeroplan oder dem in der Tiefe der See dahinfahrenden Unterseeboot.*“ Zwar hat man das mit dem Unterseeboot noch nicht erreicht, ansonsten aber beschreibt dies unser Handy-Zeitalter doch recht genau!

Weiter heißt es: „*Die Bürger jener Zeit werden überall mit ihrem drahtlosen Empfänger herumgehen, der irgendwo, im Hut oder anderswo angebracht sein wird.*“ Die Nutzungsmöglichkeiten eines drahtlosen Taschentelephons schienen damals jedenfalls phantastisch und fast unbegrenzt: „*Monarchen, Kanzler, Diplomaten, Bankiers, Beamte und Direktoren werden ihre Geschäfte erledigen können, wo immer sie sind.*“ Dass sich zwölfjährige Schulmädchen über zwei Meter Entfernung eine Textnachricht via SMS oder mit einem Fotohandy sogar einen Schnappschuss zusenden, war seinerzeit allerdings wohl doch jenseits des Vorstellbaren. Dennoch sollte nicht nur die Geschäftswelt von den Möglichkeiten der drahtlosen Kommunikation profitieren. Da auch Lokomotivführer drahtlos kommunizieren können, ist – so heißt es weiter in diesem Buch – eine Kollision von Zügen auf einer eingleisigen Strecke forthin natürlich „ganz unmöglich“.

Auch alltägliche Verrichtungen werden von der videobezogenen Kommunikationstechnik revolutioniert: „*Überhaupt wird das Einkaufen zu jener Zeit ein noch viel größeres Vergnügen sein, als jetzt. Man wird einfach von seinem Zimmer aus alle Warenhäuser durchwandern können und in jeder Abteilung Halt machen, die man eingehender zu besichtigen oder wo man etwas auszuwählen wünscht... Alle diese Wunder der drahtlosen Telegraphie werden das kommende Zeitalter zu einem großartigen, ungläublichen machen.*“ Fast meint man, die Melancholie des Autors im letzten Satz zu spüren: Dass er dieses großartige Zeitalter nicht mehr selbst wird erleben können!

Und weiter: „*Nirgends, wo man auch ist, ist man allein. Überall ist man in Verbindung mit allem und jedem. Auch auf die Ehe und die Liebe wird der Einfluß der drahtlosen Telegraphie ein außerordentlicher sein. Künftighin wird sich die leibliche Gattin stets davon überzeugen können, was ihr Herr Gemahl treibt; aber auch der Herr Gemahl wird ganz genau wissen, wie und ob seine Gattin nur an ihn denkt. Liebespaare und Ehepaare werden nie voneinander getrennt sein, selbst wenn sie Hunderte und Tausende Meilen voneinander entfernt sind. Sie werden sich immer sehen, immer sprechen, kurzum, es wird die Glückszeit der Liebe angebrochen sein.*“

Aus heutiger Sicht lässt sich kaum noch feststellen, ob eine gewisse Ironie in diesen Textzeilen mitschwingt. Ist es denn wirklich erstrebenswert, wenn der eine stets wissen kann, was der andere treibt?

Doch zurück in die Gegenwart und deren Kommunikationsmöglichkeiten: Das Internet ist noch jung und hat dennoch schon eine Entwicklungsgeschichte. Interessant erscheint vor allem seine qualitative Evolution: Stand zunächst im Sinne eines *Netzes von Rechnern* die Kommunikation zwischen Computern im Vordergrund (manifestiert durch Protokolle wie IP und TCP), so konnte man es später, mit dem Aufkommen des WWW, als ein *Netz von Dokumenten* (mit den Protokollen http und html) ansehen.

Gegenwärtig steht der Service-Charakter im Vordergrund des Interesses, womit sich ein weiterer Qualitätssprung abzeichnet: Das Internet wird zunehmend auch für die automatische Abwicklung von Dienstaufträgen verwendet. Kommunikationsprotokolle und Infrastrukturdienste, die Web-Informationen maschinenlesbar machen, wie beispielsweise XML und Web-Services, sind Anzeichen dafür.

Vor allem aber werden in Zukunft viele in Alltagsgegenstände eingebettete Prozessoren und Sensoren im Verbund mit neuen technischen Möglichkeiten der Datenkommunikation dafür sorgen, dass über das Internet gewöhnliche Dinge miteinander kommunizieren können und diese z.B. ihren Auf-

enthaltort 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 – es entsteht ein *Internet der Dinge!*

2.3 Neue Materialien

Aus dem Bereich der Materialwissenschaft kommen Entwicklungen, die den Computern der Zukunft eine gänzlich andere 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.

Es wird aber auch an *elektronischer Tinte* und *smart paper* gearbeitet. Hier gibt es verschiedene technische Möglichkeiten, eine davon beruht auf folgendem Prinzip: In kleinen, submillimeter großen Kapseln „schwimmen“ weiße und schwarze, elektrisch unterschiedlich geladene Pigmente. Diese „Tinte“ wird auf eine sehr dünne Plastikfolie aufgetragen. Legt man an einer Stelle der Folie eine positive oder negative Spannung an, dann fließen entweder die weißen oder die schwarzen Farbpigmente nach oben und erzeugen an dieser Stelle einen kleinen Punkt in der entsprechenden Farbe. Auf diese Weise kann dynamisch etwas geschrieben und später wieder gelöscht werden.

Idealerweise sollte sich eine solche beschichtete Folie anfühlen wie Papier – ganz so weit ist man allerdings mit der Entwicklung noch nicht. Immerhin existieren jedoch schon Prototypen. Diese haben noch diverse Mängel was z.B. Haltbarkeit, Pixelgröße oder Preis betrifft, an deren Behebung man aber natürlich arbeitet. Die Bedeutung für die Praxis, wenn irgendwann einmal Papier, ein uns auch kulturell wohl vertrautes und klassisches Medium, quasi zum Computer mutiert oder umgekehrt der Computer als Papier daherkommt, kann kaum hoch eingeschätzt werden!

2.4 RFID

Bei RFID („Radio Frequency Identification“) handelt es sich um eine Technologie, um Dinge aus der Ferne zu identifizieren. Dies stellt eine wichtige Basisfunktionalität für vielfältige Anwendungszwecke im Bereich des ubiquitous computing dar. Eine vereinfachte Form der RFID-Technologie kennt man von Kaufhäusern und Boutiquen, wo sie zum Diebstahlschutz eingesetzt wird: Antennen in den „Türschleusen“ senden ein Hochfrequenzsignal aus; dieses nimmt der in die Verpackungen der Produkte integrierte Chip über eine kleine Antenne wahr und schickt eine Antwort zurück. Eine eigene Batterie oder sonstige Energiequelle auf dem Chip ist dabei nicht nötig, da er nach dem Prinzip der magnetischen Induktion gleichzeitig auch mit Energie aus dem Sendesignal versorgt wird.

Im Falle des Diebstahlschutzes geht es bei der zurückgesendeten Antwort nur um einen binären Wert *bezahlt* oder *nicht bezahlt*. Allgemeiner lässt sich aber eine eindeutige Seriennummer aus dem RFID-Chip auslesen, und man kann sogar in umgekehrter Richtung Informationen bis zu einigen hundert Bits „durch die Luft“ auf den Chip schreiben. Diese Informationsübertragung geschieht dabei im Sekundenbruchteil und über Entfernungen von bis zu einigen wenigen Metern. RFID-Chips inklusive der papierdünnen flexiblen Antenne kosten derzeit mit fallender Tendenz zwischen 10 Cent und 1 Euro pro Stück.

Vorangetrieben wird die RFID-Technik von Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Logistik: Wenn Produkte ihre Identität jedes Mal automatisch preisgeben, wenn sie das Tor einer Lagerhalle oder die Laderampe eines LKW passieren, dann kann ohne manuelles Zutun eine lückenlose Verfolgung der Warenströme über die gesamte Lieferkette hinweg sichergestellt werden.

Da über die eindeutige Identifikation von RFID-Chips Objekte in Echtzeit mit einem im Internet oder einer entfernten Datenbank residierenden zugehörigen Datensatz verknüpft werden können, kann letztendlich beliebigen Dingen eine spezifische Information zugeordnet werden. Wenn sich

Alltagsgegenstände auf diese Weise flexibel mit Information behaften lassen, eröffnet dies in Zukunft aber weit über den vordergründigen Zweck der automatisierten Lagerhaltung oder des kassenlosen Supermarktes hinausgehende Anwendungsmöglichkeiten. Hier darf man spekulieren: Können RFID-Chips beispielsweise von einer Waschmaschine gelesen werden, dann kann sich diese automatisch auf die Wäsche einstellen. Eine nette Einsatzmöglichkeit stellen auch RFID-Chips im Abfall dar; hier kann ein Produkt der Müllsortieranlage in einer „letzten“ Willensmitteilung kundtun, aus was es besteht und wie seine Überreste behandelt werden sollen.

Ob solche Dinge wirklich realisiert werden, wenn RFID-Chips irgendwann einmal allgegenwärtig sind, und ob die Menschen dies dann auch haben wollen, lässt sich allerdings kaum vorhersagen. Realistischer erscheint beispielsweise ein RFID-Chip in der Bordkarte eines Flugreisenden. Damit kann beim Passieren geeignet instrumentierter Stellen automatisch festgestellt werden, in welchem Flughafenbereich sich dieser befindet. Er braucht dann nicht mehr überall per Lautsprecher ausgerufen zu werden, und die Fluggesellschaft kann entscheiden, ob es sich lohnt, die Maschine noch einige Minuten warten zu lassen – nämlich dann, wenn die Person (bzw. genauer: die Bordkarte mit dem Chip) nicht mehr weit vom Gate entfernt ist und es sich um einen guten Kunden handelt...

2.5 Lokalisierung

Zur Lokalisierung mobiler Objekte existieren verschiedene Ansätze [HiB01]. Eine einfache Methode besteht darin festzustellen, in welchen Funkzellen von Sendern man sich befindet, deren Positionen bekannt sind. Da die Signalstärke mit zunehmender Entfernung abnimmt, kann diese ebenfalls berücksichtigt werden, allerdings ist diese Methode recht ungenau. Eine etwas aufwendigere aber präzisere Möglichkeit besteht in der Laufzeitbestimmung von Signalen und daraus abgeleitet der Entfernungsmessung und ggf. der Ortsbestimmung mittels Triangulation.

Bekannt ist das satellitenbasierte „Global Positioning System“ (GPS); das ähnlich konzipierte europäische Galileo-System, soll zwischen 2008 und 2011 einsatzbereit sein. Eine Einschränkung stellt die Tatsache dar, dass diese Systeme bisher nur im Freien eingesetzt werden können.

An verbesserten Möglichkeiten zur Positionsbestimmung mobiler Objekte wird derzeit intensiv gearbeitet. Neben einer Erhöhung der Genauigkeit (derzeit einige Meter beim GPS-System) besteht das Ziel vor allem in einer deutlichen Verkleinerung der Module und einer Reduzierung des Energiebedarfs sowie der Entwicklung von Techniken, die auch in geschlossenen Räumen funktionieren. Es wird erwartet, dass im Jahr 2006 GPS-Chips auf den Markt kommen, die wesentlich schwächere Signale verarbeiten können und deutlich weniger Energie benötigen – damit wird die Verwendung in Mobiltelefonen und ähnlichen Geräten möglich, außerdem sollte vielfach auch noch eine Ortsbestimmung möglich sein, wenn keine direkt Sichtverbindung zu einem Satelliten möglich ist.

Flächendeckend vorhanden ist in vielen Ländern ein Mobilfunknetz, mit dem Handys auch geortet werden können. Beispielsweise ist bei GSM dem System die Funkzelle bekannt, in der sich ein Handy aufhält. Zwar ist die Funkzellendichte nur in Agglomerationsbereichen ausreichend hoch (einige wenige 100 Meter) und beträgt im ländlichen Raum bis zu 35 km, allerdings kennt die Basisstation einer Funkzelle die Entfernung der Handys zur Sendeantenne mit einer Granularität von etwa 550 m. Dies ist aus technischen Gründen (Synchronisation) notwendig und wird durch Laufzeitmessungen des Funksignals ermittelt. Befindet sich ein Handy im Überlappungsbereich mehrerer Funkzellen, dann kann im Prinzip durch Messung der Laufzeitunterschiede die Position auf etwa 300 m genau ermittelt werden. Bei UMTS, dem Mobilfunksystem der nächsten Generation, das zurzeit eingeführt wird, wäre in technischer Hinsicht sogar eine bis zu 10 Mal genauere Lokalisierung möglich.

Interessant ist eine neuere Lokalisierungsmöglichkeit, die auf WLAN-Zugangspunkten beruht: In vielen städtischen Bereichen sind WLAN-Basisstationen bereits sehr dicht verbreitet, so dass man sich fast überall im Bereich eines oder mehrerer solcher Funknetze (mit typischen Zellengrößen von einigen zig Metern) befindet – für Seattle wurde zum Beispiel im Herbst 2004 eine Dichte von 1200 Stationen pro Quadratkilometer gemessen. Kennt man die Ortskoordinaten der festen Stationen

(öffentlich zugängliche Datenbanken enthalten bereits über eine Million Netze mit deren eindeutiger Kennung und Ortskoordinaten), so kann damit eine Lokalisierungsgenauigkeit von 20-40 Meter erreicht werden (siehe www.placelab.org) bei fast hundertprozentiger Abdeckung in städtischen Bereichen – also auch innerhalb von Gebäuden, wo normalerweise GPS versagt.

Je genauer und einfacher der Ort eines kleinen, preiswerten Gerätes ermittelt werden kann, umso vielfältiger und interessanter sind natürlich die möglichen Anwendungen. Andererseits wächst dadurch die Missbrauchsgefahr und erst langsam wird der Öffentlichkeit bewusst, dass die „location privacy“ ein Aspekt ist, um den man eventuell besorgt sein sollte.

3 VISIONEN DES UBIQUITOUS COMPUTING

Fasst man die oben skizzierten Technikrends und Entwicklungen zusammen – extrem miniaturisierte Sensoren, die vielfältige Umgebungsinformation erfassen, aller kleinste, energieeffiziente 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 noch viele grundlegende Fragen ungelöst sind.

Indem jedenfalls drahtlos kommunizierende Prozessoren und Sensoren aufgrund ihrer geringen Größe und ihres vernachlässigbaren Preises und Energiebedarfs bald in viele Gegenstände integriert oder anderweitig in die Umwelt eingebracht werden können, dringt Informationsverarbeitung gekoppelt mit Kommunikationsfähigkeit fast überall ein, sogar in Dinge, die zumindest auf den ersten Blick keine elektrischen Geräte darstellen. Damit sind auch die technischen Voraussetzungen für eine „totale Informatisierung“ der Welt geschaffen.

Früh erkannt hat das Potential, das im nachhaltigen Fortschritt der Mikroelektronik und Informationstechnik liegt, Mark Weiser, seinerzeit leitender Wissenschaftler am Xerox-Forschungszentrum im Silicon Valley. Basierend auf seinen eigenen Entwicklungen propagierte er schon 1991 in seinem visionären Artikel *The Computer for the 21st Century* [Wei91] den allgegenwärtigen Computer, der unsichtbar und unaufdringlich den Menschen bei seinen Tätigkeiten unterstützt und ihn von lästigen Routineaufgaben weitestgehend befreit. Weiser stellte seinerzeit die These auf, dass das einundzwanzigste Jahrhundert dadurch geprägt sein wird, dass die *kleine* Technik – insbesondere die Computertechnik – in den Alltag einzieht und sich dort unsichtbar macht. Tatsächlich kann man derzeit ja erkennen, dass dem Kleinen – „Mikro“, „Nano“, „Bio“ etc. – viel Aufmerksamkeit zukommt, nachdem das letzte Jahrhundert eher durch Großtechnologie geprägt war.

Die Aussage von Marc Weiser „*in the 21st century the technology revolution will move into the everyday, the small and the invisible*“ lässt sich auf verschiedene Art interpretieren. Kleine und preiswerte Prozessoren, Sensoren, Speicher und Kommunikationsmodule lassen sich einerseits in Alltagsgegenstände integrieren, was als *embedded computing* bezeichnet wird. Wenn man sie am Körper oder in der Kleidung trägt, dann spricht man eher von *wearable computing*. Stattet man die Umwelt damit aus, etwa um die Umgebung zu beobachten, dann erhält man schließlich *Sensornetze*. Auf alle drei Aspekte soll im Folgenden kurz eingegangen werden.

3.1 Embedded computing

Möchte man Alltagsdinge „smart“ machen und sie mit der Fähigkeit versehen, Information zu verarbeiten, dann gehört dazu zunächst ein Mikroprozessor. Einfache Prozessoren, die nicht höchste PC-Leistung erzeugen müssen, können billig und klein hergestellt werden. Damit die Information weitergeleitet werden kann, braucht man zusätzlich noch drahtlose Kommunikationsmodule, womit sich benachbarte Gegenstände zu Netzen zusammenschließen können. Damit dies alles überhaupt sinn-

voll ist, müssen die Gegenstände Information aus ihrer Umgebung aufnehmen, wofür Sensoren eingesetzt werden.

Die verschiedenen Basistechnologien, nämlich Analog-, Digital- und Hochfrequenztechnologie der Sensoren, Prozessoren und Kommunikationsmodule stellen recht unterschiedliche Anforderungen an den Herstellungsprozess. Daher ist eine Integration derzeit noch teuer, aber nicht unmöglich. Ziel ist ein einziger kleiner Chip, der Umgebungsparameter wahrnimmt, diese verarbeitet und gegebenenfalls weitermeldet – an einen Menschen, an ein informationstechnisches System oder an andere so ausgestattete Dinge.

Auf diese Weise können Alltagsgegenstände kommunizieren und sich beispielsweise über die wahrgenommenen Umgebungsbedingungen austauschen, wodurch die Grundlage für eine Kooperation von Dingen miteinander gelegt wird. Salopp ausgedrückt entstehen so „smarte“ Gegenstände. Diese können sich gewisse Vorkommnisse merken – wenn sie mit einem Lokationssensor ausgestattet sind, z.B. wo sie schon überall waren. Sie können sich – bei geeigneter Programmierung – auch kontextbezogen verhalten. Ein Rasensprinkler würde z.B. neben den Feuchtigkeitssensoren im Boden auch die Wettervorhersage im Internet konsultieren, bevor er sich entscheidet, den Rasen zu wässern. Es geht übrigens nicht darum, Dinge wirklich „vernunftbegabt“ zu machen – vielmehr sollen sie sich „schlau“, also situationsangepasst, verhalten, ohne tatsächlich „intelligent“ zu sein!²

Wozu aber sollten so Allerweltdinge wie eine Armbanduhr und eine Kreditkarte miteinander kommunizieren? Auch dies ist nicht ganz so absurd, wie es auf den ersten Blick erscheinen mag. Dazu stellt man sich vor, dass beide mit winzigen Beschleunigungssensoren versehen sind, die messen können, in welcher Weise der jeweilige Gegenstand geschüttelt wird. Schüttelt man nun beide zusammen (indem man die Kreditkarte in der Hand mit der Armbanduhr hält), so würden beide ihr jeweiliges Schüttelmuster per Funk in der näheren Umgebung verbreiten. Durch Empfang eines weitgehend identischen Musters eines anderen Gegenstandes weiß der Empfänger dann, dass ein gemeinsamer „Schüttelkontext“ vorliegen muss [HMS01]. Im skizzierten Szenario würde (durch gemeinsames Schütteln) die Kreditkarte auf die Armbanduhr geprägt und fortan nur noch funktionieren, wenn sie in unmittelbarer Nähe „ihrer“ Armbanduhr ist. Eine verlorene oder gestohlene Kreditkarte würde ihren Dienst verweigern. Eine neue Kreditkarte kommt daher in Zukunft vielleicht mit der Anweisung „*Vor erstmaligem Gebrauch gut schütteln!*“.

3.2 Wearable computing

Zurück zur Vision von Mark Weiser. Betrachten wir kurz die zweite Ausprägung davon, das wearable computing. Man kann sich leicht vorstellen, dass in Zukunft immer mehr elektronisches Gerät in miniaturisierter Form in Kleidung, Armbanduhren und Schmuckstücke eingebaut wird. In der Erprobung befinden sich beispielsweise sogenannte Retinaldisplays. Das sind Brillen, die im Gestell einen kleinen Laser eingebaut haben. Der Laser erzeugt ein Bild, das auf ein kleines Prisma im Brillenglas gelenkt wird. Von dort wird es in das Auge gespiegelt und auf die Retina projiziert. Das Bild entsteht also nicht auf einem „Schirm“, sondern wird Punkt für Punkt direkt ins Auge geschrieben!

Solche Brillen eröffnen nun ganz neue Möglichkeiten zur Informationsdarstellung – Computer könnten dann z.B. auf ihre Bildschirme verzichten. Richtig interessant wird es aber, wenn der Brillenträger Informationen eingeblendet bekommt, die in der jeweiligen Situation für ihn nützlich sind. Dies hat M. Satyanarayanan auf nette (und vielleicht nicht so ganz ernst gemeinte) Weise einmal wie folgt beschrieben [Sat01], wobei er davon ausgeht, dass neben einer kleinen Kamera, die man bei Foto-Handys ja bereits findet, zukünftig auch ein Softwaresystem zur visuellen Objekterkennung vorhanden ist: „*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*

² 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.“

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!' "

Letztlich geht es beim wearable computing tatsächlich weniger darum, medienwirksame Cyborg-Phantasien oder Jacken mit eingebautem MP3-Player zu realisieren, sondern langfristig dem einzelnen Menschen in persönlicher Weise zu dienen: Seinen Gesundheitszustand zu überwachen, seine Sinne zu schärfen und ihn mit Informationen zu versorgen – ihn also sicherer und mächtiger zu machen – zwei bedeutende Triebkräfte!

3.3 Sensornetze

Sensoren sind „Fühler“, die Eigenschaften der Umgebung (Temperatur, Feuchtigkeit, Stärke eines Magnetfeldes, Anwesenheit von bestimmter Strahlung etc.) wahrnehmen und dies in elektrischer Form weitermelden. Bei der Sensortechnik wurden in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte erzielt. Besonders interessant wird es, wenn man Sensoren mit Funktechnologie ausstattet, so dass diese sich drahtlos vernetzen können – man erhält dann sogenannte Sensornetze.

Bei Anwendungsszenarien von Sensornetzen geht man davon aus, dass eine große Zahl hochgradig miniaturisierter Sensoren großflächig in die Umwelt eingebracht wird, indem diese im Extremfall z.B. aus einem Flugzeug abgeworfen werden. Die Aufgabe der Sensoren besteht darin, ihre jeweilige unmittelbare Umgebung zu beobachten. Die Sensoren können sich bei Bedarf mit benachbarten Sensoren vernetzen, ihre Arbeit untereinander abstimmen und relevante Erkenntnisse austauschen. Wird es bei einem Sensor z.B. heiß, kurze Zeit später bei einem benachbarten Sensor, und wieder etwas später bei einem dritten Sensor, so lässt sich daraus auf ein Feuer sowie dessen Ausbreitungsrichtung und -geschwindigkeit, etwa bei einem Waldbrand, schließen.

Prototypen solcher Sensornetze existieren bereits, allerdings steht man hier erst am Anfang der technischen Entwicklung. Beherrscht man jedoch eines Tages die Technik zur massenweisen Herstellung kleiner und energieeffizienter Sensoren, die sich automatisch vernetzen, dann lassen sich mit ihnen vielfältige Phänomene der Welt in bisher nie da gewesener Genauigkeit beobachten. Durch die geringe Größe und dadurch, dass keine physische Infrastruktur (Verkabelung, Stromanschlüsse etc.) benötigt wird, kann die Instrumentierung in flexibler und nahezu unsichtbarer Weise geschehen. Das Umweltmonitoring stellt genauso ein Anwendungsgebiet dar wie der militärische Bereich. Auch Infrastruktursysteme, Verkehrssysteme und Fabrikationsprozesse könnten von einem genauen und „unaufdringlichen“ Monitoring profitieren.

4 KONSEQUENZEN

Der weiter anhaltende Technologietrend zeigt eindeutig in Richtung einer umfassenden Informatisierung der Welt. Über kurz oder lang dürften damit einige der geschilderten Visionen so oder zumindest in ähnlicher Weise realisierbar werden: Kaum sichtbare Sensoren beobachten die Umwelt (und damit vielleicht auch uns), und Alltagsgegenstände werden „smart“ – sie wissen, wo sie sich gerade befinden, welche anderen Dinge oder Personen in der Nähe sind, was in der Vergangenheit mit ihnen geschah und teilen ihre Erkenntnisse anderen Gegenständen mit. Was bedeutet dies und was ist damit möglich?

4.1 Anwendungsmöglichkeiten smarterer Alltagsdinge

„Smarte“ und kommunikationsfähige Dinge haben ein hohes Anwendungspotential – welche Ideen wirtschaftlich sinnvoll sind, wird sich aber erst noch zeigen müssen. Zum Beispiel könnte ein Auto das andere auf der Gegenfahrbahn vor einem Stau warnen. Oder mein Mobiltelefon könnte sich daran erinnern, wann und wo es zuletzt in unmittelbarer Nähe meines Schlüsselbundes war. Ferner

mag eine Mülltonne neugierig auf die Recyclingfähigkeit ihres Inhaltes sein, ein Arzneischrank mag um die Verträglichkeit seiner Medikamente und deren Haltbarkeit besorgt sein, und eine Wohnungsheizung könnte mit dem Auto oder anderen persönlichen Gegenständen der Bewohner „konspirieren“ wollen, um zu erfahren, ob mit deren baldiger Rückkehr zu rechnen ist.

Vor allem Lokalisierungstechnologien besitzen ein hohes Anwendungspotential. Wird man in Zukunft einen verlorenen Gegenstand fast immer wiederfinden, weil dieser stets weiß, wo er ist, und er 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 erzielt man allerdings kontinuierliche Fortschritte, und für größere und wertvolle Dinge wie beispielsweise Mietautos rechnet sich ihr Einsatz schon heute. Es ist daher absehbar, dass sich in Zukunft für viele Dinge eine Art „Fahrtenschreiber“ realisieren lässt: Weiß ein Gegenstand, wo er sich befindet, dann braucht er dies nur regelmäßig zusammen mit der momentanen Uhrzeit abzuspeichern – im Nachhinein lässt sich dann die „Lebensspur“ des Gegenstandes einfach rekonstruieren. 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 und diese sogar noch Alarm schlagen, wenn sich außer Haus die Jacke zu weit vom Schuh entfernt. Ein auf Bewährung freigelassener Sträfling, ein untreuer Ehepartner oder der kritische Zeitgenosse eines totalitären Regimes dürften sich über solche Möglichkeiten allerdings weniger freuen!

Haben kooperierende smarte Alltagsdinge einen ökonomischen Mehrwert? Hierzu nur ein paar kurze Hinweise. Wenn Produkte jederzeit Auskunft geben können, wo im Produktionsprozess oder der Lieferkette sie sich befinden, ist das bestimmt oft von Vorteil für Hersteller und Lieferanten. Auch zu erfahren, wie intensiv ein Produkt durch den Kunden genutzt wird, ist für den Hersteller nützlich – er könnte dem Kunden dann zum Beispiel passend und rechtzeitig vor der Konkurrenz etwas Neues anbieten...

Theoretisch wäre sogar denkbar, dass die Milch im Supermarkt dynamisch ihren Preis ändert: Wenn sie älter wird, senkt sie ihren Preis, wenn sie einsam im Supermarkt wird, kann sie ihn dagegen erhöhen. Dies klingt ziemlich absurd und würde so von den Kunden vermutlich nicht akzeptiert. Wie wäre es aber mit dynamischen Autoversicherungen, die ihre Prämie davon abhängig machen, ob schnell oder langsam gefahren wird, ob gefährliche Überholmanöver durchgeführt werden, in welchen Gegenden der Wagen abgestellt wird und auf was für Straßen man fährt?

Viele weitere Anwendungen „schlauer“ und kommunizierender Alltagsdinge sind denkbar. Mittel- und langfristig dürften die diversen Techniken des ubiquitous computing in ihrem Zusammenspiel allgemein eine große wirtschaftliche Bedeutung erlangen [Fle05]. Denn werden industrielle Produkte (wie z.B. Haushaltsgeräte, Werkzeuge, Spielzeug oder Kleidungsstücke) durch integrierte Informationsverarbeitung „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 um die schlauen Dinge herum völlig neue Dienste möglich.

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. 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.

4.2 Gefährdung der Privatsphäre?

Schon das Internet mit seinen Suchmaschinen und Möglichkeiten, einzelne Mausklicks zu speichern und zu analysieren, schaffte einige neue Probleme hinsichtlich des Schutzes der Privatsphäre. Mit dem Einzug in das Zeitalter des ubiquitous computing verschärft sich die Situation noch [LaM02, Mat03, RoM04]: Smarte Gegenstände und sensorbestückte Umgebungen häufen eine Unmenge von Daten an, um den Nutzern jederzeit ihre Dienste anbieten zu können. Allerdings wissen wir nie genau, ob wir bei irgendwelchen Handlungen beobachtet werden. Eine einzelne Beobachtung mag für sich genommen auch harmlos sein – aber wenn verschiedene Beobachtungen zusammengeführt werden, kann dies u.U. eine folgenschwere Verletzung der Privatsphäre nach sich ziehen.

Eine nahezu unsichtbare aber allgegenwärtige „Beobachtungstechnik“, wie sie drahtlose Sensornetze und smarte Alltagsdinge darstellen, zieht eventuell 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.

Besondere Beachtung dürfte in Zukunft auch der „location privacy“ zukommen: Wissen Dinge, wo sie sind oder wo sie waren, dann kann damit leicht auf den Aufenthaltsort einer Person geschlossen werden, wenn die Dinge dies „ausplaudern“. Schon gibt es erste Produkte, z.B. in Form von Armbanduhren, mit denen man aus der Ferne den Aufenthaltsort seiner Kinder feststellen kann. Diese Armbanduhren sind noch nicht so bequem und energiesparsam, wie man es sich wünscht, aber die Technik macht ja Fortschritte! Nun mag ein 8-Jähriger das Tragen einer solchen Uhr „cool“ finden. Aber ist auch die 15-jährige Tochter bereit, sich damit auf Schritt und Tritt verfolgen zu lassen? Muss sie sich rechtfertigen, wenn sie die Fernlokalisierungsmöglichkeit einmal abschaltet? Sollte man nicht „vorsichtshalber“ auch entlassene Sträflinge verpflichten, so ein Gerät zu tragen? Oder – sollte die Technik zukünftig klein genug sein – Ausländern („zum eigenen Schutz“) in das Visum integrieren?

5 FAZIT

Die Informatik hat es mit dem Internet geschafft, nahezu alle Rechner und PCs der Welt, immerhin mehrere 100 Millionen an der Zahl, zu vernetzen. Und ohne sich dessen so richtig bewusst zu sein, beginnt sie nun, in die reale Welt einzugreifen, indem sie deren Gegenstände informatisiert und zu einem „Internet der Dinge“ vernetzt! Die langfristigen Konsequenzen einer solcherart geschaffenen „augmented reality“ dürften gewaltig sein.

Die durch den Fortschritt der Informationstechnologie 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 vielen anderen Bereichen. Die dynamische Entwicklung in diesen Gebieten geht ungebremst weiter, die Auswirkungen ihrer technischen Errungenschaften betreffen daher immer größere Teilbereiche des täglichen Lebens.

In seinen Konsequenzen hinsichtlich der wirtschaftlichen Bedeutung, aber auch der Abhängigkeit von einer sicheren und verlässlichen globalen IT-Infrastruktur und den Fragen der Sozialverträglichkeit zu Ende gedacht [BCL04], dürfte das „Projekt“ der totalen Informatisierung der Welt, in das wir unverhofft hineingeschlittert sind, über kurz oder lang eine hohe gesellschaftliche und ökonomische Brisanz bekommen und damit vielleicht sogar zu einem Politikum werden. Wir leben zweifellos in interessanten Zeiten, und man darf auf die Zukunft gespannt sein!

LITERATUR

- [BCL04] J. Bohn; V. Coroama; M. Langheinrich; F. Mattern; M. Rohs: *Living in a World of Smart Everyday Objects – Social, Economic, and Ethical Implications*. Journal of Human and Ecological Risk Assessment, 10(5), 763–786, 2004.
- [Bre10] A. Brehmer (Hrsg): *Die Welt in 100 Jahren*. Berlin, Verlagsanstalt Buntdruck GmbH, 1910.
- [Fle05] E. Fleisch: *Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge*. In: E. Fleisch; F. Mattern (Hrsg): *Das Internet der Dinge*. Springer-Verlag, 2005.
- [LaM02] M. Langheinrich; F. Mattern: *Wenn der Computer verschwindet: Was Datenschutz und Sicherheit in einer Welt intelligenter Alltagsdinge bedeuten*. digma – Zeitschrift für Datenrecht und Informationssicherheit, 3(2), 138–142, September 2002.
- [HiB01] J. Hightower; G. Borriello: *Location Systems for Ubiquitous Computing*. IEEE Computer Magazine, 57–66, August 2001.
- [HMS01] L.E. Holmquist; F. Mattern; B. Schiele; P. Alahuhta; M. Beigl; H.-W. Gellersen: *Smart-Its Friends: A Technique for Users to Easily Establish Connections between Smart Artefacts*. Proc. Ubicomp 2001, LNCS 2201, Springer-Verlag, 116–122, 2001.
- [Mat03] F. Mattern: *Ubiquitous Computing – Eine Herausforderung für Datenschutz und Sicherheit*. 8. Deutscher IT-Sicherheitskongress des BSI: IT-Sicherheit im verteilten Chaos, SecuMedia-Verlag, 519–531, 2003.
- [Moo65] G. Moore: *Cramming More Components onto Integrated Circuits*. Electronics 38, 114–117, April 1965.
- [RoM04] A. Roßnagel; J. Müller: *Ubiquitous Computing – neue Herausforderungen für den Datenschutz*. Computer und Recht, 8/2004.
- [Sat01] M. Satyanarayanan: *M. Satyanarayanan on Mobile and Pervasive Computing (Interview)*. IEEE Distributed Systems Online, Vol. 2, No. 6, 2001.
- [Tuo02] I. Tuomi: *The Lives and Death of Moore’s Law*. First Monday 7(11), 2002.
- [Wei91] M. Weiser: *The Computer for the 21st Century*. Scientific American 265(3), 66–75, 1991.
-



Prof. Dr. Friedemann Mattern ist an der ETH Zürich tätig und leitet dort das Fachgebiet Verteilte Systeme sowie das Institut für Pervasive Computing. Er studierte Informatik in Bonn und promovierte an der Universität Kaiserslautern. Vor seinem Wechsel nach Zürich hatte er Professuren an der Universität des Saarlandes und an der Technischen Universität Darmstadt inne. Er ist Mitbegründer des M-Lab-Kompetenzzentrums, das zusammen mit namhaften Industrieunternehmen die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen des ubiquitous computing erforscht, und koordiniert das Ladenburger Kolleg „Leben in einer smarten Umgebung“.