

# Der Trend zur Vernetzung aller Dinge

## Pervasive Computing und die Zukunft des Internets

Friedemann Mattern, ETH Zürich

### Kurzfassung

Seit über 30 Jahren ist zu beobachten, dass sich die Leistungsfähigkeit von Prozessoren etwa alle 18 Monate verdoppelt. Eine ähnlich hohe Steigerungsrate gilt auch für einige andere Technologieparameter wie Speicherkapazität oder Kommunikationsbandbreite. Dieser weiterhin anhaltende Trend führt dazu, dass Computer noch wesentlich kleiner, preiswerter und damit quasi im Überfluss vorhanden sein werden – sie werden allgegenwärtig und dringen sogar in Alltagsgegenstände ein („pervasive computing“). Auf diese Weise entstehen „smarte“ Dinge, die das Internet mit seinen vielfältigen Ressourcen für die Optimierung ihrer Zweckbestimmung mit einbeziehen können und gegebenenfalls sogar miteinander kooperieren können.

### 1 Vom Internet-Handy zum wearable computer

Die Wirkungen des rasanten Fortschritts in der Mikroelektronik, das Zusammenwachsen von Kommunikations- und Informationstechnologie sowie der Trend hin zur Computerisierung und Vernetzung von Alltagsdingen lassen sich gut am Beispiel von Mobiltelefonen verdeutlichen. Mobiltelefone waren noch vor wenigen Jahren so groß, teuer und in ihrer Funktionalität eingeschränkt, dass sie nur wenig Verbreitung fanden. Dies hat sich schnell geändert – Handys wurden deutlich kleiner, bekamen im Laufe der Zeit neue „handliche“ Funktionen hinzu und wurden mittlerweile sogar an das Internet angeschlossen.

In Europa wurde die Internetanbindung mit dem WAP-System realisiert, bei dem über das Handy auf WWW-Seiten im Internet zugegriffen werden kann. Dies hat in dieser Form jedoch keine große Akzeptanz gefunden, die Erwartungen waren dabei zu hoch und die Enttäuschungen dementsprechend groß. Ganz anders verlief dagegen die Entwicklung in Japan mit dem i-mode System, das so erfolgreich ist, dass im Jahr 2001 täglich mehrere zehntausend neue Kunden gewonnen werden konnten: Hier wurde nicht wie in Europa der mobile commerce als Anwendungsgebiet propagiert, sondern das System wurde bewusst als Lifestyle-Element mit 20 bis 30-jährigen Frauen als Hauptzielgruppe vermarktet. Der Begriff „Internet“ taucht dabei interessanterweise in der Werbung nicht auf, stattdessen stehen zielgruppenadäquate Dienste im Vordergrund.

Die Entwicklung der Handys schreitet weiter voran. Durch Ortungsmöglichkeiten können Mobiltelefone jetzt schon bis auf wenige 100 m genau lokalisiert werden; durch die Nutzung des satellitengestützten GPS-Systems sind (außerhalb von Gebäuden) Genauigkeiten im Bereich von etwa 10 m möglich. Verfügen

Handys über eine zusätzliche Funkschnittstelle für den Nahbereich (mit einem Tausendstel der sonst üblichen Sendeenergie kann ein Umkreis von ca. 10 m abgedeckt werden, wie dies etwa mit dem derzeit propagierten Bluetooth-Standard möglich ist), können auch andere persönliche Geräte des Nutzers von den Kommunikationsfähigkeiten und Lokalisierungsmöglichkeiten des Handys profitieren – das Handy wird damit implizit zu einer persönlichen Basisstation und Schaltzentrale für vielfältige andere Geräte und „schlaue Dinge“ in der Nähe, welche zur Nutzung von Internetdiensten und anderer Funktionalität dann nur mit einem einfachen und energiearmen (und daher billigen und sehr kleinen) Kommunikationsmodul geringer Reichweite ausgestattet werden müssen.

Handys, PDAs und andere portable persönliche Geräte dürften sich in Zukunft vielleicht in einzelne interagierende Komponenten auflösen: Am Ohr mag man (vermutlich als Schmuckstück) nur ein leichtes Headset beziehungsweise ein „Earpiece“ tragen, das Mikrophon verschwindet in einem Hemdenknopf; beide Teile kommunizieren schnurlos mit dem eigentlichen Handy am Gürtel oder in der Armbanduhr, wobei Letztere auch die Anzeige von Kurznachrichten und Bedienungsfunktionen ermöglicht. Kommunikationsdienste, Bedienungselemente, Anzeigedisplays und Zusatzfunktionalitäten wie Lokalisierungsdienste, Internetzugriff und digitale Assistenz können also durchaus auf verschiedene, jedoch miteinander kooperierende modische Accessoires verteilt werden. Dies reicht möglicherweise dann bis hin zu Brillen, die äußerlich von normalen kaum zu unterscheiden sind, aber Informationen einblenden, so dass computergenerierte Bilder der normalen Sicht überlagert werden können oder gar mit dieser verschmelzen.

Die zuletzt genannten Aspekte werden oft unter dem etwas diffusen Begriff „wearable computing“ subsumiert. In technischer Hinsicht geht es dabei nicht etwa

um futuristische Cyborg-Visionen, bei der Mensch und Computer zu einer Einheit verschmelzen, sondern die Erwartung ist schlicht, dass Computerfunktionalität und sie inkorporierende Geräte nicht nur „portabel“ sind, sondern in gewisser Weise Teil der Kleidung werden und mehr oder weniger direkt am Körper getragen werden. Ein wearable computer ist aufgrund körpernaher Sensoren auch gut dafür geeignet, den Gesundheitszustand des Benutzers zu überwachen (und im Bedarfsfall Werte der Vitalfunktionen per Telemetrie an ein medizinisches Callcenter weiterzumelden) oder seine Sinneswahrnehmung zu verstärken – insofern ergeben sich durch die Körpernähe neue Qualitäten und Funktionalitäten, die ein herkömmliches Handy kaum erbringen kann.

Die Ursache dafür, dass solche Vorstellungen erst jetzt ansatzweise realisiert werden können, liegt schlichtweg darin, dass bisher die Technik nicht weit genug fortgeschritten war: Zum einen musste die Halbleitertechnik erst dahin kommen, komplexe Funktionen auf so kleinem Raum zu integrieren, dass Größe, Gewicht und Stromverbrauch im wahrsten Sinne des Wortes erträglich werden, zum anderen rücken erst jetzt adäquate Kommunikationstechniken für den extremen Nahbereich (zum Beispiel „body area networks“) in greifbare Nähe, und schliesslich standen bisher Komponenten wie miniaturisierte Mikrophone und hochauflösende kleinformatige Displays nicht als preiswerte Serienprodukte zur Verfügung. Da durch den technischen Fortschritt diese Hürden nun jedoch langsam überwunden werden, ist wohl schon bald mit entsprechenden Produkten zu rechnen.

## 2 Technologietrends

Welche Wirkungen hat der sich ständig weiter beschleunigende technische Fortschritt? Immer deutlicher wird, dass wir vor einer neuen Epoche der Computeranwendung stehen, die unser Leben radikal beeinflussen dürfte. Haben PC, Internet und das Web in den vergangenen Jahren vor allem im Geschäftsbereich bereits viel verändert, so wird die bevorstehende nächste Welle der technologischen Revolution uns alle viel unmittelbarer und in allen Lebenssituationen betreffen: Es zeichnet sich ab, dass unsere nahe Zukunft voll sein wird von kleinsten, spontan miteinander kommunizierenden Prozessoren, welche aufgrund ihrer geringen Größe und vernachlässigbaren Preises in nahezu beliebige Alltagsgegenstände integriert sein werden.

Eine Ursache hierfür liegt im langfristigen Trend der Mikroelektronik: Mit erstaunlicher Präzision und Konstanz gilt das bereits Ende der 1960er-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 fast eine selbsterfüllende Prophezeiung dar,

sie orientiert sogar ihre auf die Zukunft gerichteten „technology roadmaps“ nach diesem Gesetz. Ein ähnlich hohes Effizienzwachstum ist auch für einige andere Technologieparameter wie Energiebedarf pro Computerinstruktion, Speicherdichte oder Kommunikationsbandbreite zu beobachten; umgekehrt ausgedrückt 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. Computerprozessoren und Speicherkomponenten werden also noch wesentlich leistungsfähiger, kleiner und billiger.

Aus dem Bereich der Materialwissenschaft und der Festkörperphysik kommen Entwicklungen, die den Computern der Zukunft eine gänzlich andere äußere Form geben können oder sogar dafür sorgen, dass Computer auch äußerlich nicht mehr als solche wahrgenommen werden, weil sie vollständig mit der Umgebung verschmelzen. Hier wären unter anderem lichtemittierende Polymere („leuchtendes Plastik“) zu nennen, die Displays aus hochflexiblen, dünnen und biegsamen Plastikfolien ermöglichen. Es wird aber auch an „elektronischer Tinte“ und „smart paper“ geforscht, welche Papier und Stift zum vollwertigen, interaktiven und hoch mobilen Ein- und Ausgabemedium mit einer uns wohlvertrauten Nutzungsschnittstelle erheben. Immer wichtiger werden auch Ergebnisse der Mikrosystemtechnik und vermehrt auch der Nanotechnik; sie führen beispielsweise zu kleinsten integrationsfähigen Sensoren, welche unterschiedlichste Parameter der Umwelt aufnehmen können.

Eine bemerkenswerte Technologie sind so genannte passive „smart labels“ oder RFID („Radio Frequency Identification“) tags, die ohne eigene Energieversorgung funktionieren. Diese sind je nach Bauform weniger als ein Quadratmillimeter groß und dünner als ein Blatt Papier. In der Form von flexiblen Selbstklebeetiketten kosten sie derzeit mit fallender Tendenz zwischen 0,5 und 1 € pro Stück und haben dadurch das Potential, in gewissen Bereichen die klassischen Strichcodeetiketten zur Identifikation von Waren abzulösen. Von Vorteil ist dabei vor allem, dass keine Sichtverbindung zum „Lesegerät“ bestehen muss (wie noch bisher beim Laserscanner im Supermarkt). Dabei können „durch die Luft“ innerhalb von Millisekunden einige hundert Byte gelesen aber auch geschrieben werden – je nach Bauform und zugrunde liegender Technik bis zu einer Distanz von ca. zwei Meter.

Interessant an solchen fernabfragbaren elektronischen Markern ist, dass sich dadurch Objekte der realen Welt eindeutig erkennen lassen und so in Echtzeit mit einem im Internet oder einer entfernten Datenbank residierenden zugehörigen Datensatz verknüpft werden können, wodurch letztendlich beliebigen Dingen spezifische Informationen und Methoden zur Informationsverarbeitung zugeordnet werden können. Lassen sich Alltagsgegenstände aus der Ferne identifizieren und mit Information behaften, eröffnet dies aber weit

über den ursprünglichen Zweck der automatisierten Lagerhaltung oder des kassenlosen Supermarktes hinausgehende Anwendungsmöglichkeiten, wie weiter unten skizziert wird.

Große Fortschritte werden derzeit auch auf dem Gebiet der drahtlosen Kommunikation erzielt. Interessant sind hier vor allem neuere Kommunikationstechniken im Nahbereich, die wenig Energie benötigen und kleine und billige Bauformen ermöglichen. Derartige Kommunikationsmodule haben derzeit etwa das Volumen einer halben Streichholzschachtel, durch weitere Integration wird demnächst eine noch deutlich geringere Baugröße erzielt werden, der Preis liegt bei wenigen Euro und dürfte schnell weiter fallen.

Spannend sind auch Entwicklungen im Bereich von „Body Area Networks“ – hier wird der menschliche Körper selbst als Medium zur Übertragung von Signalen sehr geringer Stromstärken genutzt. Allein durch Anfassen eines Gerätes oder Gegenstandes kann diesem dann eine eindeutige Identifikation (die beispielsweise von der Armbanduhr in den Körper eingespeist wird) übermittelt werden; auf diese Weise könnten Zugangsberechtigungen, personalisierte Konfigurationen von Geräten oder die Abrechnung von Dienstleistungen erfolgen.

Intensiv wird auch an verbesserten Möglichkeiten zur Positionsbestimmung mobiler Objekte (etwa mittels satellitengestützter Systeme wie GPS oder Funkpeilverfahren bei Handys) gearbeitet. Neben einer Erhöhung der Genauigkeit besteht das Ziel vor allem in einer Verkleinerung der Empfänger und in einer Reduktion des Energiebedarfs. GPS-Empfänger werden inklusive der notwendigen Antenne schon bald nur noch etwa die Größe von Kreditkarten haben.

Viele der genannten technologischen Trends und Entwicklungen – kleinste und preiswerte Prozessoren mit integrierten Sensoren und drahtloser Kommunikationsfähigkeit, Anheften von Information an Alltagsgegenstände mittels „smart labels“, Fernidentifikation von Dingen, präzise Lokalisierung von Gegenständen, flexible Displays und Halbleiter auf Polymerbasis, elektronisches Papier sowie verbesserte Spracherkennung – lassen sich zusammenführen oder gar integrieren. So werden etwa für den Bereich „eingebettete Systeme“ vollwertige Computer inklusive Sensoren und drahtloser Vernetzungsfunktionalität auf einem einzigen Chip entwickelt, die zu Steuerungsaufgaben in beliebige Geräte oder Alltagsgegenstände eingebaut werden können. Es geht dabei weniger um hohe Prozessorgeschwindigkeit als vielmehr darum, einen solchen Chip klein, billig und stromsparend auszuliegen. Bei solchen Mikrochips handelt es sich – gegebenenfalls im Verbund mit Ein- / Ausgabeschnittstellen und Kommunikationsmöglichkeiten – um die primären Komponenten, welche Alltagsdinge „smart“ machen können.

### 3 Alltagsdinge werden „schlau“ und vernetzen sich über das Internet

Mit der absehbaren Durchdringung der Welt mit Informationsverarbeitungskapazität, dem „pervasive computing“, wird ein Paradigmenwechsel in der Computeranwendung eingeläutet: Kleinste und billige Prozessoren können in viele Alltagsdinge eingebettet werden, welche über ebenfalls integrierte Sensoren die Umgebung erfassen und „ihren“ Gegenstand mit Informationsverarbeitungsfähigkeiten versehen. Auf diese Weise wird Alltagsgegenständen eine neue, zusätzliche Qualität verliehen – diese könnten dann zum Beispiel erfahren, wo sie sich befinden, welche anderen Gegenstände in der Nähe sind und was in der Vergangenheit mit ihnen geschah, ferner können sie mit anderen „smarten“ Gegenständen kommunizieren und kooperieren sowie prinzipiell auf beliebige Ressourcen im Internet zugreifen. Dinge und Geräte können sich damit situationsangepasst verhalten und wirken auf diese Art „schlau“, ohne tatsächlich „intelligent“ zu sein.

Dadurch, dass Dinge miteinander kommunizieren können (indem diese z.B. ihren Aufenthaltsort oder Sensorwerte anderen interessierten und dazu befugten Dingen mitteilen), wird auch das Internet einen drastischen Wandel erleben. Tatsächlich ist das Wachstum des Internet ja nicht nur durch einen stürmischen, derzeit noch immer nahezu exponentiell verlaufenden Zuwachs hinsichtlich der angeschlossenen Computer charakterisiert (hält das gegenwärtige Wachstum an, erwartet man über eine Milliarde internetfähiger Geräte im Jahr 2005), mindestens genauso interessant ist sein Wachstum in qualitativer Hinsicht: Wurde es in den 1980er-Jahren vor allem als Kommunikationsmedium von Mensch zu Mensch genutzt – E-Mail war seinerzeit die dominierende Anwendung – so brachten bereits die 1990er-Jahre mit dem WWW 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.

Mittlerweile zeichnet sich ein weiterer Qualitätssprung ab: Das Internet wird in Zukunft vor allem für die Kommunikation von Maschine zu Maschine – oder vielleicht besser von Ding zu Ding – verwendet werden. Nachdem mittlerweile so gut wie alle Computer der Welt an das Internet angeschlossen sind, steht nun also quasi eine Verlängerung des Internet bis in die Alltagsgegenstände hinein an.

Welche Bedeutung hat dies? Konkrete Anwendungen einzuschätzen ist schwierig. Das Potential scheint jedoch groß, wenn Gegenstände miteinander kooperieren können und prinzipiell Zugriff auf jegliche in Datenbanken oder im Internet gespeicherte Information

haben bzw. jeden passenden Internet-basierten Service nutzen können. Die sich durch den Fortschritt der Informations- und Kommunikationstechnik ergebenden neuen Basisfunktionen (wie Identifikation von Objekten aus der Ferne, „Intelligenz“ vor Ort, Vernetzung von Dingen über das Internet, unkonventionelle Mensch-Computer-Interaktionsprinzipien etc.) und die dadurch möglichen Anwendungen dürften mittel- und langfristig jedenfalls eine große wirtschaftliche Bedeutung erlangen. Für Geschäftstransaktionen, die ohne menschliches Zutun von Maschine zu Maschine oder von Ding zu Ding ablaufen, wurde von findigen Unternehmensberatern auch schon ein Begriff geprägt: „silent commerce“.

Die Bedeutung von neuen Technologien soll hier am Beispiel der Fernidentifikation durch „smart labels“ ausgeführt werden: Bislang werden solche elektronischen Etiketten vorwiegend zur Erhöhung der Fälschungssicherheit von Markenprodukten (als eine Art elektronisches Siegel) oder zur Optimierung von Lagerhaltung und Produktionsprozessen eingesetzt. Die meisten Pilotanwendungen finden sich bisher in der Automobilindustrie, in der Logistik und im Transportwesen. Neuere Anwendungsbeispiele kommen aus den Life Sciences und dem Einzelhandel. Einfache Anwendungen beschränken sich dabei auf Basisfunktionen wie Identifikation, Lokalisierung und Ortsverfolgung, wobei lediglich der Identifikator dezentral auf dem Gegenstand gespeichert wird. Komplexere Anwendungen nutzen zunehmend Sensoren zur dezentralen Sammlung von Daten aus der Umwelt und arbeiten mit so genannten notification services, d.h. smarte Dinge melden sich autonom, wenn eine vorgegebene Bedingung eintritt oder wenn gegen eine vorprogrammierte Regel (z.B. bezüglich zulässiger Temperatur oder Aufenthaltsdauer) verstoßen wird.

Allgemein ausgedrückt kann sich also ein smartes Produkt einerseits automatisch (aus einer Datenbank oder sogar von seiner eigenen Homepage) die neuesten Informationen wie Zielort oder aktualisierte Gebrauchsanleitung herunterladen, andererseits kann es sein informationelles Gegenstück, das irgendwo im Internet residiert, selbständig mit Sensordaten wie etwa seinem Aufenthaltsort versorgen. Man kann so in gewisser Weise den Gegenstand mit dem elektronischen Etikett oder den Funksensoren als den „Körper“ des Objektes ansehen, sein informationelles Gegenstück dagegen als dessen „Seele“, das die objektspezifischen Daten speichert und gegebenenfalls sogar als aktive Informationseinheit autonom agieren und kommunizieren kann.

Die neuen Techniken automatisieren damit die Verknüpfung der realen Welt der Alltagsdinge mit der virtuellen Welt des Internets. Längerfristig lassen die Verfahren der entfernten Identifikation von Gegenständen zusammen mit dem drahtlosem Informationszugriff sowie Techniken der Mobilkommunikation und des „wearable computing“ damit Möglichkeiten zu, die auf eine umfassende Informatisierung der Welt hi-

nauslaufen. Dazu stelle man sich vor, dass Alltagsgegenstände wie Möbelstücke, verpackte Lebensmittel, Arzneimittel oder Kleidungsstücke mit einem elektronischen Etikett versehen sind, das als digitale Information eine jeweils spezifische Internetadresse (also eine „URL“) enthält, welche – vereinfacht ausgedrückt – auf die Homepage des Gegenstandes verweist. Kann man diese Internetadresse dann mit einem Handyartigen Gerät auslesen, indem man damit auf den Gegenstand zeigt, so kann das Handy von sich aus, ohne weitere Zuhilfenahme des „anvisierten“ Gegenstandes, die entsprechende Homepage über das Mobilnetz besorgen und anzeigen.

Für den Nutzer entsteht so der Eindruck, als habe ihm der Gegenstand selbst eine ihm angeheftete Information „zugefunkt“, obwohl diese tatsächlich vom Handy in indirekter Weise über die URL aus dem Internet besorgt wurde. Bei der Information kann es sich beispielsweise um eine Gebrauchsanweisung eines Werkzeugs handeln, oder um ein Kochrezept für ein Fertigericht, oder auch um den Beipackzettel eines Arzneimittels. Was im Einzelnen angezeigt wird, dies mag vom „Kontext“ abhängen – also etwa davon, ob der Nutzer ein guter Kunde ist und viel für das Produkt bezahlt hat, ob er über oder unter 18 Jahre alt ist, welche Sprache er spricht, wo er sich gerade befindet oder auch welchen Welterklärungsservice eines Lexikonverlags er abonniert hat.

Bei dem hier noch als „Handy“ bezeichneten Gerät mag es sich in Zukunft, wie weiter oben dargelegt, in Kombination mit einem „Zeigestab“ auch um eine spezielle Brille oder um ein Stück elektronisches Papier zur Anzeige der Information handeln. Weiterhin sind natürlich nicht nur menschliche Nutzer an Zusatzinformation zu Gegenständen interessiert, sondern ebenso andere „schlaue“ Dinge. Die Mülltonne mag beispielsweise neugierig auf die Recyclingfähigkeit ihres Inhaltes sein, der Arznschrank mag um die Verträglichkeit seiner Medikamente und deren Haltbarkeit besorgt sein. Prinzipiell spricht – zumindest aus technischer Hinsicht – auch gar nichts dagegen, dass Gegenstände (bzw. deren informationelle Gegenstücke im Internet) Information untereinander austauschen, sich also quasi miteinander unterhalten, sofern eine gemeinsame Verständigungsbasis in Form einer normierten, formalen Sprache vorhanden ist. Entsprechende Bemühungen, Produktbeschreibungssprachen zu definieren, gibt es bereits.

Auch wenn dies im Einzelnen derzeit noch nicht abgeschätzt werden kann, dürfte klar sein, dass um die vielen schlaunen Dinge herum völlig neue Anwendungen entstehen werden. Der digitale Mehrwert eigener Produkte kann diese von physisch ähnlichen Erzeugnissen der Konkurrenz deutlich absetzen und Kunden stärker an eigene Mehrwertdienste und dazu kompatible Produkte binden. Die Pflege und Weiterentwicklung der für derartige Aspekte notwendigen globalen Infrastruktur – einschließlich Maßnahmen, um dem in einer solchen Umgebung erhöhten Bedürfnis nach Sicher-

heit und Datenschutz gerecht zu werden – mag vielleicht sogar einmal eine ganze Industrie beschäftigen, analog den heutigen Energie- und Telekommunikationsunternehmen.

Der Technologietrend zeigt jedenfalls eindeutig in Richtung einer weiteren Informatisierung und Vernetzung der Welt – durch Einbettung von Prozessoren in immer mehr Alltagsdinge und durch den zunehmenden Anschluss von allerlei Gegenständen an das Internet. In technischer und organisatorischer Hinsicht ergeben sich dabei allerdings noch vielfältige Herausforderungen – etwa die Energieversorgung der Artefakte, Standards zur Kommunikation und vieles mehr.

In seinen Konsequenzen zu Ende gedacht, dürfte eine von Informationstechnik im wahrsten Sinne des Wortes durchdrungene Welt über kurz oder lang jedoch mit Sicherheit größere gesellschaftliche und ökonomische Konsequenzen nach sich ziehen und dem pervasive computing und der damit einhergehenden zukünftigen Ausprägung des Internet damit auch eine politische Dimension geben.

---

*Der Autor dankt seinem Kollegen Elgar Fleisch für Beiträge zur wirtschaftlichen Nutzung der Ubiquitous Computing-Technologien. Einige Textpassagen dieses eingeladenen Beitrags wurden früheren Veröffentlichungen des Autors entnommen [1-5], die auch weitere Literaturangaben zum Thema enthalten.*

## 4 Literatur

- [1] Elgar Fleisch, Friedemann Mattern, Hubert Österle: Betriebliche Anwendungen mobiler Technologien: Ubiquitous Commerce. Computerwoche (CW-Extra, Themenheft „Collaborative Commerce / Neue Geschäftsprozesse“), Feb. 2002
- [2] Friedemann Mattern: Ubiquitous Computing: Vision und technische Grundlagen. INFORMATIK-INFORMATIQUE 5/2001, pp. 4-7, Okt. 2001
- [3] Friedemann Mattern: Ubiquitous Computing. In: H. Kubicek, G. Fuchs, D. Klumpp, A. Roßnagel (Herausgeber): Internet @ Future, Jahrbuch Telekommunikation und Gesellschaft 2001, Band 9, pp. 52-61
- [4] Friedemann Mattern: Pervasive / Ubiquitous Computing. Informatik-Spektrum, Vol. 24 No 3, pp. 145-147, Juni 2001
- [5] Friedemann Mattern, Marc Langheinrich: Allgegenwärtigkeit des Computers – Datenschutz in einer Welt intelligenter Alltagsdinge. In: G. Müller, M. Reichenbach (Herausgeber): Sicherheitskonzepte für das Internet, Springer-Verlag, pp. 7-26, 2001