

# Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt

Ergebnisse einer Studie der TA-Swiss

Erik Petersen

**Pervasive Computing ist eine zukünftige Anwendungsform von Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT), die durch Miniaturisierung und Einbettung von Mikroelektronik in andere Objekte sowie ihre Vernetzung und Allgegenwart im Alltag gekennzeichnet ist. Anders als die meisten heutigen ICT-Produkte werden Komponenten des Pervasive Computing mit Sensoren ausgestattet sein, über die sie ihre Umgebung erfassen, ohne dass der Benutzer dies aktiv veranlasst.**

**Eine so weitgehende Vision der Durchdringung des Alltags mit mikroelektronischen Komponenten, die immer und überall eingeschaltet und weitgehend drahtlos vernetzt sind, wirft Fragen nach möglichen unerwünschten Nebenfolgen dieser Technologie auf. Den erwarteten Vorteilen sind die teilweise ungeklärten Risiken gegenüberzustellen, die in der Verwirklichung dieser Technologievision liegen. Bei der Abwägung von Chancen und Risiken stellt sich die Grundfrage der Technikethik: „Mit welcher Technik wollen wir in welcher Welt leben?“**

**Bereits im Jahr 2003 wurde eine umfassende Studie des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung der Schweiz (TA-SWISS) veröffentlicht, die mögliche Chancen und Risiken des Pervasive Computing mit Schwerpunkt auf Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt aufzeigen sollte.**

## Einleitung

Mobiltelefone, elektronische Terminplaner, Chipkarten und digital gesteuerte Haushaltgeräte sind die Vorboten einer neuen Anwendungsform elektronischer Informations- und Kommunikationstechnologie: „Pervasive Computing“. Damit wird das Eindringen der Computertechnologie in Bereiche des Alltags

bezeichnet, in denen sie bisher nicht präsent war und in denen sie möglicherweise auch gar nicht als Computertechnologie erkannt wird. Ein Diktiergerät im Kugelschreiberformat oder das Bedienungsfeld einer Kaffeemaschine entsprechen nicht der gängigen Vorstellung von Computern. Sie enthalten jedoch stark miniaturisierte Computer und stützen sich damit alle auf die gleiche Technologie der digitalen Informationsverarbeitung.

Die Computertechnik macht jeden Gegenstand, in den sie Einzug hält, zum potenziellen Bestandteil eines Informations- und Kommunikationssystems. Zusammen mit dem Trend zur drahtlosen digitalen Vernetzung, der mit dem Mobilfunk eingeleitet wurde, zeichnet sich die Vision allgegenwärtiger, aber nahezu unsichtbarer Computer ab, die untereinander Daten austauschen und uns in allen Bereichen des Lebens diskret unterstützen.

### Kontakt:

Erik Petersen  
umwelt · medizin · gesellschaft  
Frielinger Str. 31  
28215 Bremen  
Tel.: 0421/498 42 51  
Fax: 0421/498 42 52  
info@umg-verlag.de

## Summary

Pervasive Computing refers to visionary new ways of applying Information and Communication Technologies (ICT) to our daily lives. It involves the miniaturization and embedding of microelectronics in non-ICT objects and wireless networking, making computers ubiquitous in the world around us. Unlike most of today's ICT products, Pervasive Computing components will be equipped with sensors enabling them to collect data from their surroundings without the user's active intervention.

If our daily life is to be pervaded in such ways by microelectronic components, running all the time with most of them wirelessly networked, one must ask whether these technologies might not have undesirable side-effects. The expected benefits need to be weighed against the potential risks involved in implementing such technological visions.

When comparing opportunities with risks, we will have to answer the basic question of the ethics of technology: „Which technologies do we want in our lives, and what kind of a world would that be?“

Only a public discourse can provide answers to this question. The purpose of the TA-SWISS-Study from 2003 is to make a contribution to such a discourse by striving to objectively display the opportunities and risks of Pervasive Computing. The study focuses on the risks for human health and the environment.

Nicht nur Arbeit, Verkehr und die Informationsangebote der Medien werden sich dadurch verändern, sondern auch der private Haushalt und die medizinische Behandlung.

In Deutschland sind schon vor geraumer Zeit die sog. RFID-Chips ins Gerede gekommen, mit denen eine große Supermarktkette ihre Waren kennzeichnen wollte. Verbraucherschützer beschworen Negativ-Visionen vom „Gläsernen Konsumenten“ und die mannigfaltigen Proteste erreichten, dass der Konzern zumindest zum damaligen Zeitpunkt von seinen Plänen Abstand nahm. Mittlerweile ist die Boom-Branche Logistik ohne Funkchips nicht mehr vorstellbar. Es wundert von daher nicht, dass sich Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) in einer Studie 2005 umfangreich mit den Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen auseinandergesetzt hat. Das BSI beschäftigte sich allerdings im Wesentlichen mit den Themen Datensicherheit und Missbrauchsmöglichkeiten und nicht mit ökologischen oder gesundheitlichen Fragen (BSI 2005).

Auch die Verlautbarungen des im Jahr 2005 von der Industrie gegründeten Informationsforum RFID beschäftigen sich hauptsächlich mit den Chancen und weniger mit den Risiken der Technologie. So preisen die beteiligten Unternehmen im Gesundheitswesen ähnliche Anwendungsmöglichkeiten wie in der Logistik (INFORMATIONSFORUM RFID 2007). Auch hier geht es darum, einzelne Gegenstände - aber auch Patienten - individuell zu kennzeichnen und damit zu überwachen: die vom Operateur

im Bauch des Patienten vergessene Schere gehörte dann ebenso der Vergangenheit an wie vertauschte Säuglinge.

Die Studie des Schweizer Instituts für Technikfolgenabschätzung aus dem Jahr 2003 ist demnach immer noch die einzige umfassende Studie auf diesem Gebiet, die sich vornehmlich mit der Abschätzung möglicher Risiken des Pervasive Computing für die menschliche Gesundheit und die Umwelt beschäftigt. Aus diesem Grund stehen Problematiken der elektromagnetischen Strahlungen sowie des Energieverbrauchs und der Abfallbeseitigung bei der TA-SWISS-Studie im Mittelpunkt. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse dargestellt, die subjektive Auswahl erfolgte durch die Redaktion (HILTY et al. 2003).

## — Pervasive Computing als Technologievision

Pervasive Computing (kurz „PvC“) ist eine Technologievision, oder genauer: die Vision einer zukünftigen Anwendungsform von Informations- und Kommunikationstechnologien (kurz „ICT“). Es handelt sich also nicht um eine neue Technologie, sondern um eine stärkere Durchdringung des Alltags mit existierenden Technologien, die sich allerdings noch stark weiterentwickeln werden.

ICT-Komponenten werden nach dieser Vision ihre Dienste an jedem Ort und zu jeder Zeit zur Verfügung stellen. Gebrauchsgegenstände, Fahrzeuge, Gebäude, Kleidung und teilweise auch der menschliche Körper werden also mit Komponenten ausgestattet, die in der Lage sind, Daten zu speichern, zu verarbeiten und zu übertragen.

Basistechnologie heutiger und auch zukünftiger ICT ist die Mikroelektronik. Auch wenn die Vision PvC mit heutiger Technik schon realisierbar wäre, wird deren Weiterentwicklung und die daraus resultierende fortgesetzte Miniaturisierung und Verbilligung entscheidend zur Machbarkeit von PvC unter Marktbedingungen beitragen. Die Mikroelektronik wird durch Fortschritte in der Nanotechnologie, z.B. in der Sensorik, unterstützt und ergänzt werden (siehe Abbildung 1).

PvC ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Miniaturisierung: ICT-Komponenten werden kleiner und damit portabler als die heute üblichen Geräte.
- Einbettung: ICT-Komponenten werden häufiger in andere Geräte und Gegenstände des täglichen Gebrauchs eingebettet („Smart Objects“).
- Vernetzung: ICT-Komponenten sind in der Regel miteinander vernetzt, und der Datenaustausch erfolgt meist drahtlos.
- Allgegenwart: ICT wird allgegenwärtig und versieht ihren Dienst immer unauffälliger oder gar unsichtbar.
- Kontextsensitivität: ICT-Komponenten können sich durch drahtlosen Datenaustausch und mittels Sensoren Informationen über ihre Umgebung beschaffen.

Es ist anzunehmen, dass die heutige „PC-Ära“ bis 2012 von der „PvC-Ära“ abgelöst wird. PvC könnte also zu der aus Benutzersicht

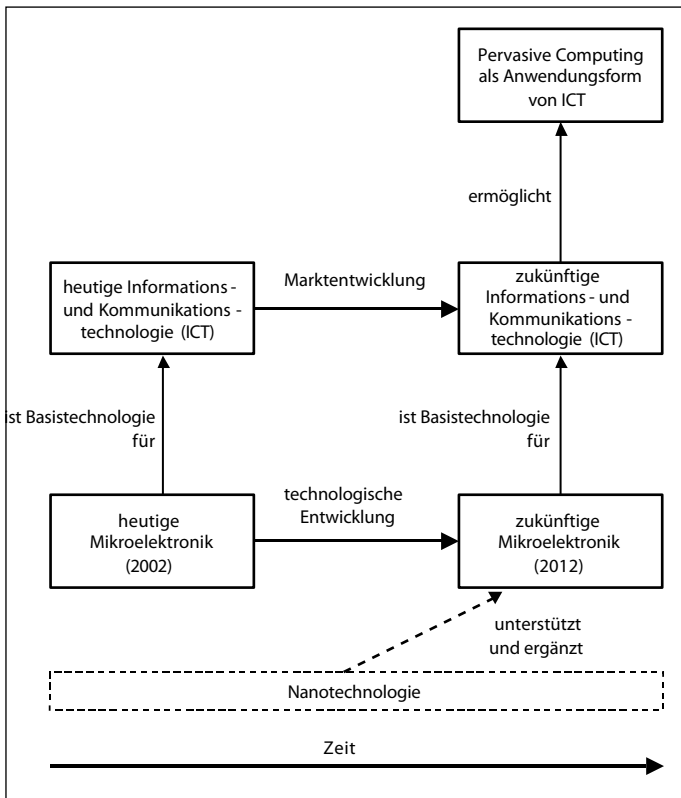


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Mikroelektronik, Nanotechnologie, ICT und Pervasive Computing (HILTY et al. 2003)

dominierenden Anwendungsform von ICT werden: Die Benutzer werden sich daran gewöhnen, dass die Dinge in ihrer alltäglichen Umgebung „intelligenter“ werden und sich nur noch selten bewusst sein, dass sie einen „Computer“ benutzen. Auch wenn heute schon 98 % aller programmierbaren CPUs eingebettet sind und vom Benutzer nicht als Computer wahrgenommen werden, z.B. in Haushaltgeräten, Fahrzeugen und Spielzeug (BROY & PREE 2003), so wird mit PvC durch die Vernetzung dieser unsichtbaren Komponenten eine völlig neue Situation entstehen (BOHN et al. 2002, MATTERN 2003).

In welchem Ausmaß dies tatsächlich geschehen wird, ist nicht allein von technischen Möglichkeiten und den Visionen der Hersteller abhängig, sondern wird entscheidend davon bestimmt, ob den zukünftigen Angeboten eine Nachfrage gegenübersteht, die ausreicht, um die in der Mikroelektronik-Produktion notwendigen Stückzahlen im Millionenbereich zu erreichen. Auch ist eine „kritische Masse“ von Anwendern Voraussetzung für das Angebot von attraktiven Diensten und Inhalten auf Basis von PvC.

**Was ist neu am Pervasive Computing?**

Betrachtet man den Übergang zum PvC im Zusammenhang mit den Anwendungsformen des Internet seit seiner Entstehung, so zeichnet sich eine Veränderung in mehreren Stufen ab, die in Abbildung 2 dargestellt sind (vgl. MATTERN 2003).

In den 1970er-Jahren wurde das Internet hauptsächlich von Forschern genutzt, um auf entfernte Computerressourcen zuzu-

greifen. In diesem Stadium war der Datentransfer über das Internet praktisch zu vernachlässigen. Erst mit dem Aufkommen von E-Mail in den 1980er-Jahren kam der Durchbruch. Das Internet wurde nun primär als Kommunikationsmedium von Mensch zu Mensch benutzt. Dies entspricht Fall (a) in der Abbildung.

Die 1990er-Jahre brachten mit dem World Wide Web (WWW) eine völlig neue Anwendungsform des Internet 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.“ (MATTERN 2003: 2). Dies entspricht Fall (b).

Nach Mattern zeichnet sich nun ein weiterer Qualitätssprung ab. Das Internet wird in naher Zukunft überwiegend zur Kommunikation von Maschine zu Maschine verwendet werden. Dies entspricht den Fällen (c) und (d) in der Abbildung, wobei im Fall (c) die Maschinen noch als solche in Erscheinung treten („Geräte“), im Fall (d) dagegen in andere Gegenstände eingebettet sind („intelligente Dinge“).

Alle vier Fälle werden zum Pervasive Computing gehören, aber (c) und (d) werden wahrscheinlich zu einer weiteren Vervielfachung des Datenverkehrs führen, mit entsprechenden Ansprüchen an die Infrastruktur. Weltweit werden Milliarden von PvC-Komponenten ohne menschliches Zutun via Internet Daten austauschen können. Diese Perspektive einer Welt, in der „die Dinge miteinander reden“ ist der wesentliche neue Aspekt in der Vision des Pervasive Computing.

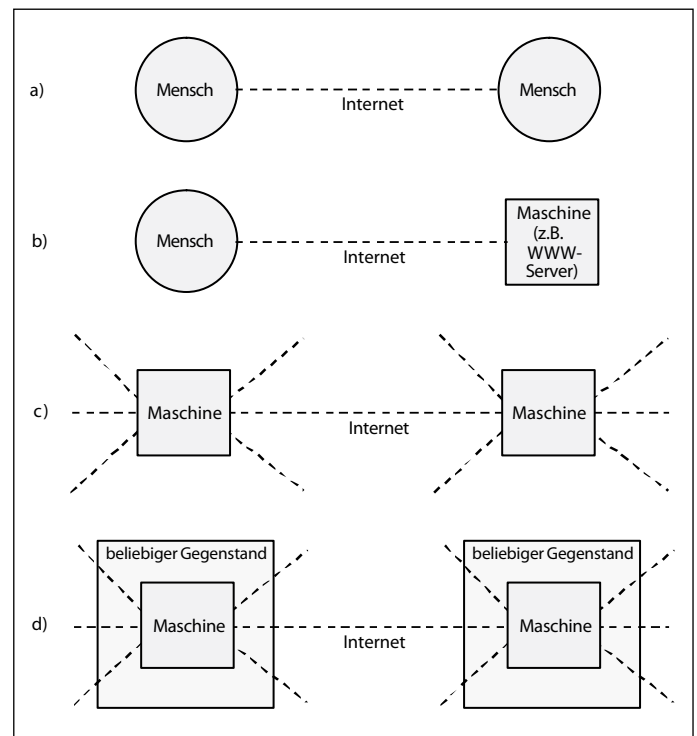


Abb. 2: Vier Entwicklungsstufen der technischen Kommunikation vom Aufkommen des Internet bis Pervasive Computing.

### Technologische Entwicklungen

Die Miniaturisierung der Mikroelektronik wird noch ca. 10 Jahre ohne Technologiebruch voranschreiten. Sie ist eine wesentliche Triebkraft für die Realisierung der Vision „Pervasive Computing“. Eine entscheidende Rolle wird die weitere Entwicklung der drahtlosen Vernetzung durch Mobilfunk, aber auch durch lokale drahtlose Netzwerke (WLAN) spielen. Die Energieversorgung mobiler Komponenten wird bei zunehmender Anzahl (hunderte Komponenten pro Person) nicht mehr primär über zu wechselnde oder am Netzteil aufzuladende Batterien geschehen können. Andere Energieversorgungskonzepte wie Solarzellen, Brennstoffzellen oder die Nutzung von Körperenergie werden sich stärker verbreiten. Viele Komponenten werden auch nur durch Kontakt oder durch ein Versorgungsfeld aktiviert werden, wie das heute bei Chipkarten bzw. „intelligenten Etiketten“ (Smart Labels) der Fall ist. Pervasive Computing wird sich nur dann auf breiter Basis durchsetzen, wenn Fortschritte im Bereich der Benutzerschnittstellen gemacht werden, etwa bei der Steuerung durch gesprochene Sprache. Eine wesentliche Neuerung gegenüber der heute verbreiteten ICT ist die Kontextsensitivität: Die Komponenten reagieren auf ihre Umgebung und können daher auch ohne Aufforderung durch den Benutzer aktiv werden. Im Softwarebereich werden so genannte Agententechnologien an Bedeutung gewinnen. Dabei delegiert der Benutzer Entscheidungen an Programme, weil er den Informationsfluss anders nicht mehr bewältigen kann.

### Effizienz und Rebound-Effekte

Informations- und Kommunikationstechnologien werden häufig in der Absicht eingesetzt, Vorgänge zu beschleunigen und damit Zeit einzusparen. Diese Effizienzsteigerung ist zwar nicht das einzige Motiv für den Einsatz von ICT, aber historisch betrachtet das wichtigste und zugleich ein gemeinsamer Nenner der vielfältigen

Anwendungen. Alle bisherigen Erfahrungen mit zeitsparenden Technologien (darunter ICT und Verkehrstechnik) haben jedoch gezeigt, dass durch die Beschleunigung kein absoluter Rückgang der Belastung des Menschen durch die jeweiligen Tätigkeiten eintreten muss. Die Belastung kann absolut betrachtet sogar zunehmen. Beispielsweise haben schnellere Verkehrsmittel nicht dazu geführt, dass wir durchschnittlich weniger Zeit im Verkehr verbringen. Vielmehr haben die zurückgelegten Entfernungen zugenommen. Obwohl E-Mails schneller geschrieben sind als Briefe, verbringen wir heute mehr Zeit mit E-Mails als früher mit der konventionellen Korrespondenz. Dieser so genannte Rebound-Effekt kann mit ökonomischen Modellen erklärt werden. Es gibt keinen Grund anzunehmen, dass der Rebound-Effekt bei Pervasive Computing ausbleiben wird. Ein Leben mit mehr Zeit für angenehme Tätigkeiten und weniger Stress gehört deshalb nicht zu den Vorteilen, die man von Pervasive Computing erwarten kann. Vielmehr werden mit der technisch ermöglichten Effizienz auch die generellen Erwartungen an die Leistungsfähigkeit des Einzelnen steigen, und zwar sowohl im Arbeitsmarkt als auch im Privatleben.

### Chancen und Risiken des Pervasive Computing im Gesundheitswesen

Pervasive Computing eröffnet große Chancen für die Überwachung von Risikopatienten und chronisch kranken Menschen, für die Präventivdiagnostik, die Unfallrettung, die Chirurgie, die Intensivpflege und die Rehabilitation. Die Vorteile kommen primär dem Patienten zugute, der durch PvC eine schnellere und bessere Diagnose und Therapie sowie mehr Bewegungsfreiheit erwarten kann.

Für das Gesundheitswesen insgesamt sind Kostensenkungspotenziale denkbar. Jedoch muss ein möglicher Rebound-Effekt in Betracht gezogen werden, weil der technische Fortschritt hier - wie in allen Lebensbereichen - Anreize zu einem breiten Einsatz der neuen Möglichkeiten schafft, so dass über das quantitative Wachstum die Kostenvorteile des ursprünglich qualitativen Fortschritts kompensiert werden.

Ein Risiko liegt im Vertrauen in die Technik, soweit diese den sozialen Kontakt und die ganzheitliche Wahrnehmung des Menschen in der Praxis ersetzt, weil technische Mängel und die inhärent eingeschränkte Perspektive stets unerwünschte Folgen haben können.

Einen speziellen Risikobereich bilden die aktiven Implantate, die gemäß der Vision des Pervasive Computing in Zukunft wesentlich häufiger eingesetzt werden. Hieraus ergeben sich folgende Schlussfolgerungen für die Zukunft:

- Die Richtlinien und Toxizitätstests für Implantate sollten weiter verbessert und verschärft werden. Günstig ist, dass die Kenntnisse über die verwendeten Materialien und Zell-Material-Reaktionen laufend zunehmen. Zudem werden geeignetere Materialien entwickelt. Das Risiko einer Fehleinschätzung des toxischen Potentials der verwendeten Materialien wird abnehmen.

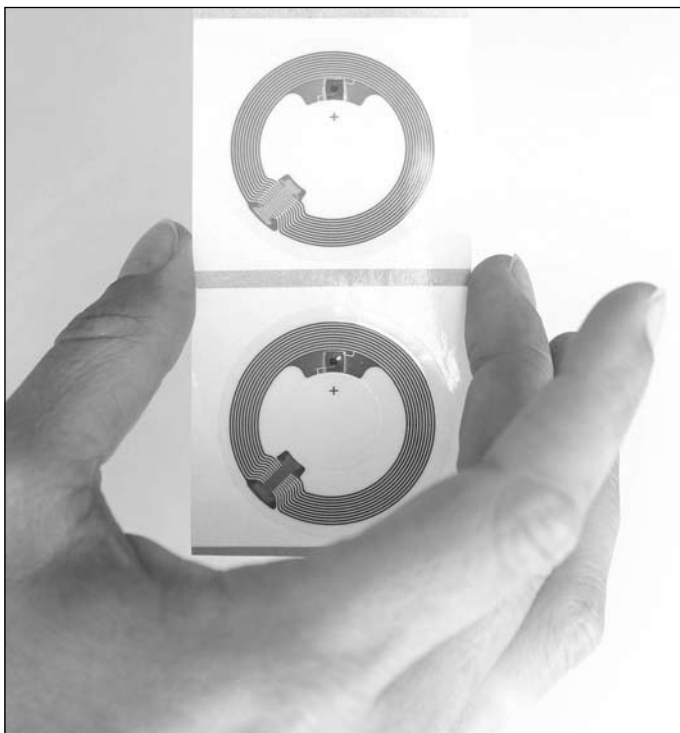


Abb. 3: RFID-Transponder

- Bei Verwendung aktiver Elemente ist der Langzeiteinfluss noch nicht am Menschen bestimmt, und es gibt noch keine ausreichend validierten Modelle. Negative Folgen aktiver Implantate sind damit zum jetzigen Zeitpunkt relativ schwierig abzuschätzen. Es sind systematische Studien erforderlich, in welchen denkbare Folgen abgeklärt werden. Zusätzlich besteht Bedarf an validen Modellen. Beim Einsatz aktiver Implantate sollten die Vorteile weiterhin sehr kritisch gegen die möglichen Nachteile abgewogen werden.

### **Gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder**

Ob und inwieweit die Technologien des Pervasive Computing zu einer substantiellen Zunahme der Strahlenbelastung im Alltag führen werden, hängt von verschiedenen Einflussfaktoren und Entwicklungen ab.

#### **- Wachsende Anzahl von Strahlungsquellen im Alltag**

Parallel zur wachsenden Durchdringung des Alltags mit ICT wird auch die Zahl der Strahlungsquellen im Alltag stark wachsen. Die einzelnen Szenarien („zurückhaltend“, „mittel“, „Hightech“) unterscheiden sich hierbei sehr stark. Im Hightech-Szenario ist mit einer Verzehnfachung oder gar Verhundertfachung der Anzahl der Strahlungsquellen zu rechnen.

#### **- Sinkende Strahlungsleistung der Einzelquellen**

Da die meisten Technologien, die im Zusammenhang mit Pervasive Computing diskutiert werden, auf eine Vernetzung im Nahbereich ausgelegt sind, haben sie meist deutlich niedrigere Strahlungsleistungen als herkömmliche Mobiltelefone. Eine weitere Absenkung des Strahlungsniveaus aller drahtlosen Technologien wäre bereits heute technisch möglich, ist aber aufgrund hoher Preise derzeit nicht marktfähig. Mittelfristig sind hier jedoch deutliche Verbesserungen zu erwarten. Diesen Entwicklungen hin zu immer geringeren Sendeleistungen steht der Trend zu immer höheren Übertragungsraten entgegen, der einen wachsenden Leistungsbedarf der Geräte nach sich zieht. Dies dürfte die Verringerung der Strahlungsleistung allerdings nur teilweise kompensieren.

#### **- Unterschiedliche Netzinfrastrukturen**

Bei den Netzinfrastrukturen, über die die Vernetzung der Geräte bzw. der Zugriff auf übergeordnete Netze und Dienste erfolgt, sind zwei Entwicklungen zu beobachten:

- Wachsende Bedeutung lokaler Netze (W-LANs) für den mobilen Internet-Zugriff,
- Übergang von zellularen Netzen (mit Basisstationen) zu ad-hoc-Netzen zwischen Endgeräten.

Mit beiden Tendenzen verbindet sich die Hoffnung, dass gleiche Übertragungsleistungen mit weniger Strahlungsbelastung für die Nutzer erzielt werden können. Hier lässt sich keine allgemeine Aussage treffen, da die Strahlungsbilanz stark von den konkret verwendeten Funkstandards und Nutzungsmustern abhängt. Insbesondere beim lokalen Netzzugriff (gegenüber dem Zugriff via GSM oder UMTS) sind allerdings gewisse Potenziale zur Strahlungsabsenkung erkennbar.

## **Radio Frequency Identification (RFID)**

Ein kleiner Chip soll den Alltag revolutionieren. Er verheißt Einkaufserlebnisse, ohne dass man an der Kasse Schlange stehen muss. Im Kühlschrank wird es keine abgelaufenen Lebensmittel mehr geben, die Pizza bäckt sich von selbst, und die Lieblingsbluse kann nicht mehr zu heiß gewaschen werden. Radio Frequency Identification oder kurz RFID heißt die Technik, welche all dies ermöglichen soll. Je nach Ausführung sind die dazu erforderlichen Speicherchips nur wenige Millimeter bis einige Zentimeter groß. Sie werden an Produkten angebracht, über die sie je nach Bedarf unterschiedliche Datenmengen speichern können - so zum Beispiel den Preis, das Haltbarkeitsdatum, die Backdauer oder die Waschtemperatur. Funkwellen übertragen die Energie zur Aktivierung der batterielosen Mikrochips. Über die eingebaute Antenne werden die gespeicherten Daten dann per Funk an ein Lesegerät gesandt und anschließend ausgewertet. Das Trägermaterial für die eigentliche Elektronik besteht in der Regel aus biegsamen Kunststoffen wie Polyamid oder Polyester. Die Antenne wird aus Kupfer oder allenfalls aus Aluminium gefertigt.

### **Die Frage der Entsorgung**

Doch was bedeutet es für die Umwelt und die Abfallströme, wenn täglich Millionen dieser Minichips zur Entsorgung anfallen? Ein Materialrecycling oder gar die mehrmalige Verwendung der Minispeicher wäre zwar wünschenswert, wird jedoch kaum möglich sein. Bei einer separaten Wiedergewinnung stieße man nämlich schnell an wirtschaftliche und ökologische Grenzen. Zum gewaltigen logistischen und technischen Aufwand käme ein erheblicher Energieverbrauch für die Separatsammlung und Verwertung hinzu. Auf Grund der Miniaturisierung sind die Wertstoffgehalte zudem gering, sodass ein separates Recycling nicht lohnenswert wäre. Somit werden die Chips am Ende ihrer meistens kurzen Lebensdauer in andere Abfallströme eingetragen und bedeuten einen Verlust an nicht erneuerbaren Ressourcen.

### **Mögliche Störung der Recyclingsysteme**

Anders sieht es dagegen aus, wenn Smart Labels in die Separatsammlungen für Altglas, Aluminium, PET-Flaschen, Altpapier oder Weißblech gelangen. Dies könnte die bestehenden Recyclingsysteme beeinflussen und die Werkstoffverträglichkeit beeinträchtigen. In Fachkreisen besteht noch ein geringes Bewusstsein für diese potenziellen Probleme. Neben Nachteilen sind bei geschicktem Einsatz der RFID-Technik aber auch Vorteile für das Recycling denkbar. So ließe sich die Abfalltrennung und Sortierung mit Hilfe der Chips stark vereinfachen. Enthalten die Smart Labels nämlich Informationen über das Verpackungsmaterial, so könnten die verschiedenen Abfallfraktionen den richtigen Recyclingweg quasi automatisch finden. Dies bedingt allerdings, dass die Chips beim Verlassen des Ladens nicht unleserlich gemacht werden, wie Datenschützer und Konsumentenschutzorganisationen es vielfach fordern (VÖGLI 2004).

**- Abstand der Strahlungsquellen vom Körper**

Viele der im Zusammenhang mit Pervasive Computing diskutierten Technologien werden direkt am Körper oder in seiner unmittelbaren Umgebung eingesetzt, so dass ein großer Teil der abgestrahlten Leistung im Körper absorbiert wird. In der Wirkung macht dies die verringerte Strahlungsleistung teilweise wieder wett. In lokalen Netzen sind die in der Nähe des Körpers befindlichen Strahler (wegen der Strahlungsintensität), sowie permanent sendende Basisstationen (wegen der permanenten Ganzkörperbelastung bei niedrigen Frequenzen) die aus gesundheitlicher Sicht kritischsten Quellen. Nicht am Körper befindliche Geräte und „intelligente Gegenstände“ sind dagegen von nachrangiger Bedeutung.

**- Wachsende Relevanz niedriger Frequenzkomponenten**

Angesichts ernstzunehmender Hinweise auf eine besondere biologische Relevanz niederfrequenter Strahlungsanteile ist gerade der gepulsten Strahlung und always-on Anwendungen besondere Beachtung zu schenken. Gerade beim Problem eines permanenten Hintergrunds niederfrequenter Standby-Strahlung wirkt Pervasive Computing mit seinem Trend zur zeitlich und räumlich unbegrenzten Verfügbarkeit von Kommunikation verstärkend.

**- Nettoentwicklung der Strahlungsbelastung**

Den Tendenzen, die auf einen signifikanten Anstieg der Strahlungsbelastung durch Pervasive Computing hindeuten, stehen zahlreiche Entwicklungen gegenüber, die in Richtung einer engen Begrenzung des Strahlungsniveaus der entsprechenden Technologien weisen.

Eine Nettobilanz lässt sich hier schwer abschätzen. Interessant ist vor allem die Frage der Korridore möglicher Entwicklungen, sowohl bei der Diffusionsgeschwindigkeit der Technologien als auch bei den technologischen Gestaltungspotenzialen. So ist durchaus denkbar, dass sich die Ausschöpfung der

Entwicklungskorridore strahlungsarmer Technologien und die Gestaltung von Netzinfrastrukturen letztlich als maßgeblicher für künftige Belastungsniveaus erweist als der tatsächliche Durchdringungsgrad des Alltags mit Strahlungsquellen, wie er in den drei Szenarien („zurückhaltend“, „mittel“, „Hightech“) jeweils zum Ausdruck kommt.

**Auswirkungen auf die Umwelt**

Für das PvC benötigte Geräte und Infrastrukturen verursachen auf ihrem Lebensweg Rohstoff- und Energieverbrauch, Abfall und Schadstoffemissionen. Die Vision des PvC signalisiert eine Entwicklung, die für sich genommen zu hoher Dissipation führt. Im Vergleich zur heutigen Informations- und Kommunikationstechnologie, die auf größeren Geräteeinheiten in geringerer Zahl beruht, könnte die feinere Verteilung von Elektronik zu einer Ausweitung der bekannten negativen Umweltwirkungen der Hardware (Abfall und Stromverbrauch) führen, die bis zum Jahr 2012 zu erwartenden primären Umwelteffekte können jedoch mit großer Unsicherheit abgeschätzt werden.

**Verschärfung der Abfallprobleme**

Das PvC wird zu einer breiten Verteilung einer steigenden Anzahl miniaturisierter ICT-Bauteile führen. Es ist eher nicht zu erwarten, dass die weitere Miniaturisierung zu absoluten Materialeinsparungen auf der Makroebene führt (Rebound-Effekte). Eine separate Wiedergewinnung einzelner Bauteile wie z.B. Chips, Batterien, etc. für das Recycling würde einen gewaltigen logistischen und technischen Aufwand und damit auch einen erheblichen Energieaufwand bedeuten. Geringe Größe und Gewicht, die Einbettung in andere Gegenstände und der ubiquitäre Einsatz können dazu führen, dass sie verloren gehen.

| Risiko   | sozioök. Irreversibilität | Verzögerungswirkung: | Konfliktpotenzial |               | Belastung für die Nachwelt |
|--|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------|----------------------------|
|  |                           |                      | Unfreiwilligkeit  | Unfairness    |                            |
| Gesundheitsschäden durch NIS                   | hoch                      | partiell hoch        | partiell hoch     | partiell hoch | -                          |
| Stress durch Technik                           | hoch                      | -                    | hoch              | Hoch          | -                          |
| Kostenschub im Gesundheitswesen                | hoch                      | mittel               | mittel            | -             | -                          |
| Materialverbrauch und Entsorgungsprobleme      | hoch                      | -                    | -                 | partiell hoch | partiell hoch              |
| ICT-bedingter Energieverbrauch                 | hoch                      | -                    | -                 | partiell hoch | mittel                     |
| Zunahme energieintensiver Mobilität            | sehr hoch                 | mittel               | -                 | partiell hoch | hoch                       |
| Konkurrenznachteil des ÖV gegenüber MIV        | sehr hoch                 | mittel               | -                 | -             | mittel                     |
| Einschränkung der Wahlfreiheit der Konsumenten | hoch                      | mittel               | hoch              | -             | -                          |
| Datenschutz wird untergraben                   | hoch                      | mittel               | hoch              | hoch          | -                          |
| neue Formen der Computerkriminalität           | hoch                      | mittel               | hoch              | hoch          | -                          |
| Verursacherprinzip stößt an Grenzen            | hoch                      | mittel               | hoch              | hoch          | mittel                     |

Tabelle 1: Ungeklärte Risiken des Pervasive Computing mit hoher Priorität. Ein Strich („-“) bedeutet, dass das Kriterium nicht oder nur in geringem Ausmaß erfüllt ist (HILTY et al. 2003).

Durch die Miniaturisierung von Endprodukten und Mikroelektronik sinkt der Wertstoffgehalt und auch die Separierung der Elektronik kann erschwert werden. Als Bestandteil größerer Massenströme ist keine hochwertige Verwertung, sondern nur ein Downcycling möglich. Deshalb ist auch mit verschärften Schadstoff- und Fremdstoffproblemen in anderen Stoffkreisläufen zu rechnen.

Im Bereich der Etikettierung ist mit Milliarden dissipativ verwendeter Smart Labels zu rechnen. Unverträglichkeiten der Mikroelektronik z.B. mit dem Verpackungs-Recycling könnten erhebliche Auswirkungen auf zukünftige Abfallströme haben (siehe Kasten zu RFID).

Durch das Eindringen von ICT-Bauteilen in Alltagsgegenstände und den Trend zur Low-Cost-Elektronik ist eine Verringerung der Nutzungsdauer bis hin zu Einwegprodukten zu erwarten.

### Wachsender Strombedarf durch Vernetzung

Die lokale Vernetzung im Haushalt, wie sie für Pervasive Computing benötigt wird, kann unter vorsichtigen Annahmen zu einem jährlichen Mehrverbrauch an elektrischer Energie in der Schweiz in der Größenordnung von 1000 GWh führen. Das entspricht 1,2 % des heutigen Stromverbrauchs in der Schweiz. Wenn wir mit Cremer et al. davon ausgehen, dass grob die Hälfte des Stromverbrauchs durch ICT in den Haushalten stattfindet und der Rest auf Büro und Infrastruktur entfällt und diese drei Bereiche sich analog entwickeln, so ergibt sich ein geschätzter jährlicher Mehrverbrauch von 2.000 GWh (CREMER et al. 2003). Diese Schätzung verdreifacht sich, wenn man unser Hightech-Szenario zugrundelegt. In diesem Fall würden jährlich 6.000 GWh (oder ca. 7 % des heutigen Stromverbrauchs in der Schweiz) zusätzlich für Vernetzung verbraucht.

Auch wenn diese Schätzungen mit großen Unsicherheiten behaftet sind, so ist doch festzustellen, dass zumindest ein Risiko besteht, dass durch die allgegenwärtige Vernetzung ein signifikanter Anstieg des Strombedarfs erfolgt. Das Vorsorgeprinzip legt in diesem Fall nahe, frühzeitig Maßnahmen zu ergreifen, die das Risiko minimieren. Dazu gehört die Verringerung dieser Primäreffekte durch Anreize, energieeffiziente Technologien einzusetzen, z.B. Stand-By- und Aus-Verluste auf das technisch notwendige Minimum zu reduzieren.

Es ist nicht abzusehen, dass der Stromverbrauch der Aggregate und Netze allein durch Marktkräfte optimiert wird und unrealistisch, dass sich das Nutzungsverhalten ohne aktives Zutun am Energiesparen orientieren wird.

Der steigende Datenverkehr in den Nahnetzen des PvC erfordert auch entsprechende Kapazitäten in den großräumigeren Netzen. Zum einen ist in der Schweiz mit einem weiteren Ausbau und Nutzung des Leitmediums Internet zu rechnen, zum anderen werden neue Mobilfunkinfrastrukturen aufgebaut. Insgesamt ist damit zu vermuten, dass das PvC auch zu einem wachsenden Strombedarf der großräumigen Infrastruktur beitragen wird.

### Chancen und Risiken des Pervasive Computing

Auf der Seite der Chancen sind die Möglichkeiten der medizinischen Prävention, Behandlung und Pflege und das generelle Angebot an neuartigen Dienstleistungen hervorzuheben, die auf

## Spezielle Risiken durch Nichtionisierende Strahlung

### Gesundheitsschäden durch NIS

Die heutige Diskussion über Gesundheitsrisiken durch NIS bezieht sich auf die Möglichkeit athermischer Effekte. Das sind Wirkungen, die nicht auf die Erwärmung des Gewebes zurückzuführen sind und deshalb schon bei niedrigeren Expositionen auftreten könnten.

Die Entfernung zwischen Strahlungsquelle und Körper hat wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Exposition. Deshalb sind die heutigen Expositionen durch Basisstationen (fest installierte Sendeanlagen) viel geringer als durch die Benutzung der Endgeräte, die in der Nähe des Kopfes gehalten werden. Das Tragen einer NIS-Quelle direkt auf der Haut führt zu wesentlich höheren Expositionen, weil dann bis zu 50 % der Strahlung in den Körper eindringen, im Falle der Implantation eines Senders sind es 100 %.

Die meisten Untersuchungen zu athermischen Effekten sind durch die Verbreitung der Mobiltelefonie motiviert und gelten nur für die Exposition des Kopfes und nur für die Strahlungseigenschaften von Mobiltelefonen der heute gebräuchlichen 2. Generation (GSM-Handys). Solange keine kausalen Erklärungen für festgestellte biologische Effekte vorliegen, kann über die Verallgemeinerbarkeit von empirischen Ergebnissen nichts ausgesagt werden. Insbesondere gelten sie nicht ohne weiteres für die Mobiltelefonie der 3. Generation (UMTS), und nicht für PvC.

### Abnehmende oder zunehmende NIS-Exposition

Pervasive Computing kann sowohl zu einer Abnahme als auch zu einer Zunahme der durchschnittlichen NIS-Exposition im Alltag im Vergleich zum heutigen Zustand führen. Eine Abnahme ist möglich, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Lokale Funknetze (W-LANs) setzen sich durch; und
- der mobile Zugriff auch auf andere Netze erfolgt auf dem Umweg über W-LANs, wo immer dies möglich ist, d.h. der Zugriff auf Mobilfunknetze (GSM bzw. in Zukunft UMTS) bleibt auf Situationen begrenzt, in denen kein W-LAN vorhanden ist; und der körpernahe Einsatz drahtlos vernetzter Endgeräte nimmt nicht wesentlich zu.

Zukünftige mobile Endgeräte müssten in der Lage sein, auf alle Netze wie Internet, Telefon-Festnetz usw. über ein W-LAN zuzugreifen, wenn sich im Umkreis von 100 m eine W-LAN-Basisstation befindet, und diese würden eine hohe Abdeckung erreichen. Nur im Ausnahmefall, d.h. außerhalb der Abdeckung mit W-LANs in Ballungsgebieten, würde ein Zugriff auf Mobilfunknetze erforderlich sein.

Unter diesen Voraussetzungen würde die Exposition zurückgehen, weil seltener auf Mobilfunknetze zugegriffen würde. Dieser setzt aufgrund der größeren Entfernung zur Basisstation (mehrere Kilometer) eine um den Faktor 10-20 höhere Sendeleistung beim Endgerät voraus als der Zugriff auf ein W-LAN. Ist mindestens eine der drei Voraussetzungen nicht erfüllt, ist mit einer Zunahme der NIS-Expositionen zu rechnen. Das gilt insbesondere dann, wenn drahtlose Endgeräte direkt am Körper (und damit näher als eine Handyantenne) benutzt werden. Die Exposition kann durch die größere Körpernähe lokal um ein Vielfaches höher sein.

## Mögliche Umweltprobleme

### Weniger ICT-bedingter Materialverbrauch oder mehr ICT-bedingter Materialverbrauch

Durch weitere Miniaturisierung der Mikroelektronik wird der spezifische Materialverbrauch im ICT-Sektor zurückgehen. Pvc als Anwendungsform der ICT erzwingt geradezu die Verwendung sehr kleiner und leichter Komponenten. Im zurückhaltenden Szenario könnte dies einen absoluten Rückgang des Materialverbrauchs in ICT-Sektor bewirken. Dieser Effekt wird allerdings dadurch abgeschwächt, dass der Materialverbrauch für die Produktion eines ICT-Produkts nicht proportional mit der Masse des Produkts abnimmt. Beispielsweise werden heute für die Produktion eines Desktop PCs mit 17"-CRT-Monitor (zusammen 23 kg) heute 500-1500 kg Material aufgewendet, für die Produktion eines Laptops von 4 kg immerhin 435 kg (WUPPERTAL-INSTITUT 2002).

Im mittleren und besonders im Hightech-Szenario wird der Rückgang des spezifischen Materialverbrauchs mit hoher Wahrscheinlichkeit kompensiert bzw. überkompensiert, weil die Anzahl der produzierten Komponenten stark zunehmen wird. Dafür sprechen die folgenden Gründe:

- Die Vision des Pvc geht von einer großen Anzahl Komponenten aus, die parallel benutzt werden (Schätzung: 1000/Person).
- Durch die zu erwartende Verbilligung der Komponenten könnte ihre Nutzungsdauer sich im Vergleich zu einem heutigen Notebook oder Mobiltelefon weiter verkürzen (Trend zur Wegwerfprodukt).

Es besteht somit das Risiko eines wachsenden Rohstoffbedarfs des ICT-Sektors.

### Weniger oder mehr ICT-bedingter Energieverbrauch

Es ist der Energieverbrauch für die Produktion und für die Nutzung zu unterscheiden. Nach bisherigen Erfahrungen ist der Energieverbrauch für ICT in der Nutzungsphase dann höher als in der Produktionsphase, wenn stationäre Geräte im Dauerbetrieb betrachtet werden (insbesondere Server). Bei Geräten, die nur während der direkten Nutzung in Betrieb sind und insbesondere bei mobilen Geräten ist der Energieverbrauch in der Nutzungsphase geringer als in der Produktionsphase.

Für den kumulierten Energieaufwand aus der Produktion (graue Energie), gelten die sinngemäß die gleichen Aussagen wie für den Materialverbrauch (s. o.).

Für den Energiebedarf in der Nutzungsphase besteht bei mobilen Endgeräten eine große Chance für Einsparungen,

- weil die geforderte Mobilität der Produkte Anreize zu höchster Energieeffizienz gibt; im Falle von Notebooks war dies bereits zu beobachten;
- weil die erwartete große Anzahl sehr kleiner Komponenten die Versorgung mit Solarzellen oder anderen netzunabhängigen Energiequellen erforderlich macht, das Aufladen über Netzteile oder das Batteriewechseln ist nicht mehr praktikabel.

Das Risiko eines Netto-Mehrverbrauchs kann jedoch überwiegen, wenn keine Anreize zur energiesparenden Auslegung der benötigten stationären Infrastruktur (Server, Basisstationen, Router, Gateways, Repeater, Switches usw.) und der Hilfsgeräte (wie z.B. Klimaanlage) gegeben sind (vgl. TÜRK et al. 2002).

Basis des Pervasive Computing möglich werden. Die zunehmende Ortsunabhängigkeit von Aktivitäten hat vielfältige Auswirkungen. Unter Umweltaspekten sind besonders die Auswirkungen auf den Verkehr zu beachten, die in der Bilanz positiv oder negativ sein können. Unter sozialen Aspekten kann eine bessere Vereinbarkeit von Berufs- und Familientätigkeiten (v.a. Kinderbetreuung) für Personen beiderlei Geschlechts resultieren.

Für die Wirtschaft ist von Bedeutung, dass erst lokale Inhalte und Dienste dem Pervasive Computing den entscheidenden Nutzen verleihen. Nicht globale Einheitsangebote, sondern nur lokal differenzierte Produkte können von der Kontextsensitivität des Pervasive Computing Gebrauch machen: Abhängig vom exakten Aufenthaltsort und individuellen Präferenzen werden Informationen bereitgestellt und Dienstleistungen angeboten.

Auf der Seite der Risiken wurden nach Anwendung der Kriterien Irreversibilität, Verzögerungswirkung, Konfliktpotenzial und Belastung für die Nachwelt folgende Problemfelder als die wichtigsten (jedoch nicht die einzigen) identifiziert (siehe auch Tab. 1):

- Nichtionisierende Strahlung: Die durchschnittliche Exposition wird voraussichtlich zunehmen. Hier besteht Konfliktpotenzial, weil Nicht-Benutzer von Pervasive Computing sich ähnlich wie Passivraucher einer von anderen verursachten Belastung ausgesetzt sehen werden. Es besteht dringender Bedarf, mögliche Gesundheitsrisiken weiter zu erforschen (siehe Kasten).
- Stress: Pervasive Computing kann aus mehreren Gründen Stress auslösen, darunter schlechte Benutzbarkeit, Störung und Ablenkung der Aufmerksamkeit, das Gefühl des Überwachtwerdens (Datenschutz), möglicher krimineller Missbrauch sowie steigende Anforderungen an die Produktivität des Einzelnen. Stress ist ein wichtiger Einflussfaktor für die Gesundheit.
- Unfreiwilligkeit: Ein Teil der Konsumenten und Patienten könnten durch die Entwicklung in Richtung Pervasive Computing in eine Lage gebracht werden, in der sie diese Technologie unfreiwillig anwenden müssen (z.B. weil Alternativen nicht mehr angeboten werden) oder unfreiwillig mitfinanzieren (z.B. über steigende Krankenkassenbeiträge).
- Ökologische Nachhaltigkeit: Der Verbrauch seltener Rohstoffe durch die Produktion von Elektronik und der Stromverbrauch durch die stationäre Infrastruktur könnten stark zunehmen. Wenn die Entsorgung von Millionen sehr kleiner Komponenten als Elektronikabfall nicht adäquat geregelt werden kann, gehen wertvolle Rohstoffe verloren und gelangen Schadstoffe in die Umwelt (siehe Kasten).
- Verursacherprinzip: Die Ursachen von Schäden, die durch das Zusammenwirken mehrerer Komponenten aus Computerhardware, Programmen und Daten in Netzwerken entstehen, sind in der Regel nicht aufzuklären, weil die Komplexität dieser verteilten Systeme weder mathematisch noch juristisch zu beherrschen ist. Da mit Pervasive Computing die Abhängigkeit von solchen Systemen zunehmen wird, ist insgesamt ein Anstieg des durch unbeherrschte technische Komplexität entstehenden Schadens zu erwarten. Die Folge ist, dass ein wachsender Teil des Alltagslebens sich faktisch dem Verursacherprinzip entzieht.

## Zonen mit eingeschränktem Elektronikgebrauch

Der Betrieb mobiler Elektronik kann an Orten eingeschränkt werden, wo ein Bedürfnis nach Schutz vor Belästigungen durch die Präsenz von elektronischen Geräten oder vor nicht-ionisierender Strahlung (NIS) besteht. Diese Maßnahme wird Konflikten vorbeugen, die um Geräuschbelästigungen, NIS und das Bedürfnis nach dem Schutz der Privatsphäre entstehen können. Der letztgenannte Grund dürfte in den folgenden Jahren an Bedeutung gewinnen.

Solche Orte können öffentliche Einrichtungen wie Spitäler, Kindergärten, Kultureinrichtungen oder Sportstätten sein. Betreiber dieser Stätten können von ihrem Hausrecht Gebrauch machen, um Besucher zum Deaktivieren dieser Geräte zu veranlassen oder den Gebrauch einzuschränken.

Zukünftig dürfte es wegen der Miniaturisierung schwieriger sein, die Einhaltung solcher Verbote zu überwachen. Dennoch kann eine Betonung der Unerwünschtheit dazu beitragen, dass eine Kultur der gegenseitigen Rücksichtnahme hinsichtlich des „pervasiven“ Gebrauchs von Elektronik entsteht.

## Empfehlungen für Vorsorgemaßnahmen

Die Empfehlungen der Autoren der SWISS-TA-Studie orientieren sich am Gedanken des Vorsorgeprinzips. Sie erklären ausdrücklich, dass sie somit nicht in der Annahme ausgesprochen werden, dass das Unterlassen einer Maßnahme eine akute Gefährdung zur Folge hätte. Vielmehr zielen die Maßnahmen darauf ab, Risiken zu minimieren, bevor sie zu akuten Gefahren werden sowie eine mittel- und langfristige Entwicklung in Richtung einer nachhaltigen Informationsgesellschaft zu unterstützen (s.a. Kasten: Zonen mit eingeschränktem Elektronikgebrauch).

- Handlungsbedarf besteht auf Seite der Politik, die beiden Strategien „Informationsgesellschaft“ und „Nachhaltige Entwicklung“ besser zu koordinieren. Es ist ferner zu prüfen, ob Haftungsnormen, Datenschutz und Schutz vor Direktwerbung für die neuen Herausforderungen des Pervasive Computing ausreichend gewappnet sind. Damit der Verbraucher seine Verantwortung besser wahrnehmen kann, empfehlen wir die Einführung einer Deklarationspflicht für technische Daten von NIS-Quellen und einer Energie-Etikette für ICT-Produkte. Um die Weichen in Richtung einer energieeffizienten ICT-Infrastruktur zu stellen, ist die konsequente Verstärkung ökologischer Anreize im Steuersystem notwendig.
- Eine kontinuierliche Technologiefolgenabschätzung (TA) für zukünftige ICT und ihre Anwendungsformen erscheint aufgrund der weit reichenden Auswirkungen dringend angezeigt. Partizipative TA, die alle gesellschaftlichen Gruppen frühzeitig in die Diskussion einbezieht, kann als „Frühwarnsystem“ zur Minimierung von Risiken beitragen.

- Bildungsinstitutionen aller Stufen wird empfohlen, einen kritischen und mündigen Umgang mit ICT in die Lernziele aufzunehmen, weil die sozialen Risiken von Pervasive Computing am wirkungsvollsten minimiert werden, wenn sich die Benutzer der Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologie bewusst sind.
- Den Unternehmen der Telekommunikations-Branche wird empfohlen, sich der „Global e-Sustainability Initiative“ (GeSi) anzuschließen und eine freiwillige Selbstkontrolle zu etablieren, die ethische Mindeststandards für das Inhaltsangebot der vermittelten Dienste verlangt (GESI 2008).
- Den Unternehmen des öffentlichen Verkehrs wird empfohlen, eine gemeinsame, langfristig orientierte Strategie zum Einsatz von ICT durch die Unternehmen selbst und durch ihre Kunden zu entwickeln, besonders in Hinblick auf die Konkurrenz mit dem Individualverkehr.
- Den Betreibern von Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVAs/MVAs) wird empfohlen, ihr Monitoring auf eine deutliche Zunahme von Elektronikanteilen im Hausmüll einzustellen, um bei absehbaren Problemen andere Akteure der Elektronikabfall-E Entsorgung (Branchenverbände, Gesetzgeber) frühzeitig auf ungünstige Entwicklungen aufmerksam zu machen.

### Nachweise

- BOHN, J., COROAMA, V., LANGHEINRICH, M., MATTERN, F., ROHS, M. (2002): Allgegenwart und Verschwinden des Computers - Leben in einer Welt smarter Alltagsgegenstände. Institut für Pervasive Computing, ETH Zürich.
- BROY, M., PREE, W. (2003); Ein Wegweiser für Forschung und Lehre im Software-Engineering eingebetteter Systeme. Informatik-Spektrum, Februar 2003: 3-7.
- BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK - BSI (Hrsg.) (2005): Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen, Bonn.
- CREMER, C., EICHHAMMER, W., FRIEDEWALD, M. et al. (2003): Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010 - Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Energieeinsparung in diesen Bereichen. CEPE-ETHZ und Fraunhofer-ISI.
- GeSi (Global e-Sustainability Initiative) (2008): How the ICT Industry can support Sustainability, [http://gesi.org/files/gesi\\_materiality\\_summary.pdf](http://gesi.org/files/gesi_materiality_summary.pdf) [letzter Zugriff 5.5.2008].
- HILTY, L., BEHRENDT, S., BINSWANGER, M., BRUININK, A., ERDMANN, L., FRÖHLICH, J., KÖHLER, A., KUSTER, N., SOM, C., WÜRTENBERGER, F. (2003): Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft. Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt, Studie des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung TA 46/2003; [http://www.ta-swiss.ch/a/info\\_perv/2003\\_46\\_pervasivecomputing\\_d.pdf](http://www.ta-swiss.ch/a/info_perv/2003_46_pervasivecomputing_d.pdf) [letzter Zugriff: 5.5.2008].
- INFORMATIONSFORUM RFID (Hrsg.) (2007): RFID im Gesundheitswesen, Eigenverlag, Berlin, [www.info-rfid.de/downloads/rfid\\_im\\_gesundheitswesen.pdf](http://www.info-rfid.de/downloads/rfid_im_gesundheitswesen.pdf) [letzter Zugriff: 5.5.2008].
- MATTERN, F. (2003): Vom Verschwinden des Computers - Die Vision des Ubiquitous Computing, in: MATTERN, F (Hrsg.): Total Vernetzt, Springer: 1-41.
- TÜRK, V., RITTHOFF, M., VON GEIBLER, J., KUHNNDT, M. (2002): Internet: virtuell = umweltfreundlich? In: ALTNER, G., METTLER-VON MEIBOM, B., SIMONIS, U. WEIZSÄCKER, E.U. von (Hrsg.): Jahrbuch Ökologie 2003. Beck, München: 110-123.
- VÖGELI, Y. (2004): Funkchips in Konsumartikeln: Mikroelektronische Wegwerfprodukte, UMWELT 4/2004, BUWAL, Bern, Schweiz.
- WUPPERTAL INSTITUT (2002): Persönliche Mitteilung von Michael Kuhndt, Arbeitsgruppe Ökoeffizienz & Zukunftsfähige Unternehmen, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. 30.1.2003.