

Studie des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung

Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft

Auswirkungen des Pervasive Computing
auf Gesundheit und Umwelt

**Lorenz Hilty, Siegfried Behrendt, Mathias Binswanger
Arend Bruinink, Lorenz Erdmann, Jürg Fröhlich
Andreas Köhler, Niels Kuster, Claudia Som
Felix Würtenberger**

www.ta-swiss.ch



BAG OFSP UFSP SFOPH



BAKOM
OFCOM
UFCOM
OFCOM



BUWAL
OFEFP
UFAFP
SAEFL

Diese Publikationsreihe enthält die Ergebnisse der Studien, die im Auftrag des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung (TA-SWISS) beim Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat (SWTR) durchgeführt wurden.

TA-SWISS hat zum Ziel, die gesellschaftlichen Auswirkungen neuer Technologien möglichst umfassend zu untersuchen. Es geht darum, die allfälligen positiven und negativen Einflüsse der Technologie auf soziale, politische, wirtschaftliche und ökologische Systeme und Abläufe abzuschätzen.

Um diese Aufgabe zu erfüllen, setzt der SWTR einen Leitungsausschuss aus Fachleuten von Wissenschaft, Industrie, Politik und NGO's (Nichtstaatliche Organisationen) ein, welcher die massgeblichen Themen und Fragen definiert, die TA-SWISS behandelt.

Nach einer Pilotphase von vier Jahren haben der Bundesrat und das Parlament den SWTR beauftragt, die TA-SWISS Aktivitäten für die Periode 1996 bis 1999 weiterzuführen. Ende 1999 wurde vom Parlament beschlossen, die Technologiefolgen-Abschätzung zu institutionalisieren. Dies ist im Bundesgesetz über die Forschung vom 8. Oktober 1999 festgehalten.

Die materielle Verantwortung für den Bericht liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Cette série de publications de TA-SWISS contient les résultats des projets menés dans le cadre du Centre d'évaluation des choix technologiques (Technology Assessment) auprès du Conseil Suisse de la science et de la technologie (CSST).

TA-SWISS vise à cerner de la manière la plus approfondie possible les effets des nouvelles technologies sur la société. Il s'agit là des influences potentielles, aussi bien positives que négatives, que la technologie peut avoir sur des procédures et des systèmes sociaux, politiques, économiques et écologiques.

Pour répondre à cette demande, le CSST a nommé un Comité Directeur composé de scientifiques, de spécialistes des domaines industriel et politique ainsi que des représentants des organisations non gouvernementales (NGO).

Après une phase pilote de quatre années, le Conseil fédéral et le Parlement ont chargé le CSST de poursuivre les activités de TA-SWISS pour la période 1996-1999. Le Parlement a décidé fin 1999 d'institutionnaliser les activités d'évaluation des choix technologiques. Cette décision est consignée dans la loi fédérale sur la recherche du 8 octobre 1999.

Ce rapport n'engage que ses auteur(e)s.

Herausgeber TA-SWISS
Zentrum für Technologiefolgen-
Abschätzung
Birkenweg 61
CH-3003 Bern
Telefon +41 (0) 31 322 99 63
Fax +41 (0) 31 323 36 59
E-Mail ta@swtr.admin.ch
Internet www.ta-swiss.ch

Editeur TA-SWISS
Centre d'évaluation
des choix technologiques
Birkenweg 61
CH-3003 Berne
Téléphone +41 (0) 31 322 99 63
Fax +41 (0) 31 323 36 59
E-Mail ta@swtr.admin.ch
Internet www.ta-swiss.ch



BAG OFSP UFSP SFOPH



BAKOM
OFCOM
UFCOM
OFCOM



BUWAL
OEFFP
UFAFP
SAEFL



Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft

Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt

Lorenz Hilty
Siegfried Behrendt
Mathias Binswanger
Arend Bruinink
Lorenz Erdmann
Jürg Fröhlich
Andreas Köhler
Niels Kuster
Claudia Som
Felix Würtenberger

August 2003

TA 46/2003

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag des TA-SWISS von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), St. Gallen, und dem Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin, unter Mitwirkung der Fachhochschule Solothurn Nordwestschweiz (FHSO), Olten, und dem Institut für Wirtschaftsethik der Universität St.Gallen (IWE-HSG) durchgeführt. Die Foundation for Research on Information Technologies in Society an der ETH Zürich (IT'IS) hat im Rahmen eines Zusatzauftrages den Anhang über Strahlungsexpositionen erarbeitet.

Autoren der Studie:

Prof. Dr. Lorenz M. Hilty, EMPA, St. Gallen, Projektleitung
Siegfried Behrendt, IZT, Berlin
Prof. Dr. Mathias Binswanger, FHSO, Olten
Dr. Arne Bruinink, EMPA, St. Gallen
Lorenz Erdmann, IZT, Berlin
Dr. Jürg Fröhlich, IT'IS, ETH Zürich
Andreas Köhler, EMPA, St. Gallen
Prof. Dr. Niels Kuster, IT'IS, ETH Zürich
Claudia Som, EMPA, St. Gallen
Felix Würtenberger, IZT, Berlin

Weitere Mitwirkende:

Dr. Johannes Gauglhofer, EMPA, St. Gallen
Dr. York Lunau, IWE-HSG, St. Gallen
Pierre-André Magnin, Communication in Science, Genf

Begleitgruppe:

Prof. Dr. Albert Küdlig, Institut für Kommunikationstechnik, ETH Zentrum, Zürich, Präsident der Begleitgruppe, TA-SWISS Leitungsausschuss
Dr. Bernard Aebscher, Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zentrum WEC, Zürich
Dr. Jürg Baumann, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
Carmen Baumeler, Institut für Elektronik, ETH, Zürich
Sabine Brenner, Bundesamt für Kommunikation, Biel
Dr. Regula Gysler, Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz, Dürnten
Prof. Dr. Peter Leuthold, Institut für Kommunikationstechnik, ETH Zentrum, Zürich
René Longet, Equiterre, Genève, TA-SWISS Leitungsausschuss
Dr. Mirjana Moser, Bundesamt für Gesundheit, Bern
Prof. Dr. Beat Sitter-Liver, Schweizerische Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften, Bern, TA-SWISS Leitungsausschuss
Dr. Walter Steinlin, Swisscom, Bern

Projektbegleitung TA-SWISS:

Dr. Sergio Bellucci, Geschäftsführer TA-SWISS
Dr. Danielle Bütschi, Projektverantwortliche TA-SWISS

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Resumé	9
Summary	15
1 Einleitung	21
1.1 Ausgangslage: Pervasive Computing als Technologievision	22
1.2 Zielsetzung und Methode dieser Studie	25
1.3 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes	26
1.4 Aufbau dieser TA-Studie	28
2 Vorsorgeprinzip, Nachhaltigkeit und ethische Aspekte der Informationsgesellschaft	29
2.1 Vorsorgeprinzip	29
2.2 Vorsorgeprinzip und Informationsgesellschaft	34
2.3 Nachhaltige Entwicklung	37
2.4 Nachhaltigkeit und Informationsgesellschaft	40
2.5 Weitere ethische Aspekte der Informationsgesellschaft	41
2.6 Fazit: Ein normativer Rahmen für diese TA-Studie	45
3 Technologische Entwicklungen	47
3.1 Mikroelektronik: leistungsfähiger, kleiner und billiger	47
3.2 Vernetzung von Geräten und Gegenständen	49
3.3 Benutzerschnittstellen	58
3.4 Identifikation, Lokalisierung und Kontextsensitivität	61
3.5 Software-Agenten	63
3.6 Konzepte der Energieversorgung	65
3.7 Fazit: Was ist neu am Pervasive Computing?	67
4 Entwicklungen in ausgewählten Anwendungs- und Technologiefeldern	69
4.1 Wohnen	72
4.2 Verkehr	77
4.3 Arbeit	85
4.4 Gesundheit	91
4.5 Wearables	96
4.6 Digitale Informations- und Unterhaltungsmedien	103
4.7 Smart Labels und andere automatische Identifikationssysteme	108
4.8 Zwischenbilanz: Der Trend zum Pervasive Computing	114
4.9 Drei Szenarien des Pervasive Computing	116

5	Effizienz und Rebound-Effekte	123
5.1	Information, Kommunikation und Effizienz	123
5.2	Effizienz und Produktivität.....	124
5.3	Effizienz vs. Suffizienz.....	125
5.4	Der Rebound-Effekt.....	126
5.5	Zum Begriff des Nutzens	128
5.6	Das Konzept der Haushaltsproduktionsfunktion	129
5.7	Beobachtungen zum Rebound-Effekt	130
5.8	Daten zum ökonomischen Verhalten der Privathaushalte.....	132
5.9	Abschätzung der Rebound-Effekte in den vier Anwendungsfeldern	135
5.10	Fazit: Rebound-Effekte in den Bereichen Verkehr und Arbeit.....	138
6	Auswirkungen auf die Gesundheit.....	139
6.1	Chancen des Pervasive Computing für die Gesundheit.....	140
6.2	Gesundheitliche Risiken des direkten Kontakts mit Elektronik-Komponenten	143
6.3	Wirkungen elektromagnetische Felder: Grundlagen.....	145
6.4	Gesundheitsrisiken durch hochfrequente Strahlung	154
6.5	Einflussgrößen der Strahlungsbelastung durch Pervasive Computing	171
6.6	Schlussfolgerungen.....	178
7	Auswirkungen auf die Umwelt	181
7.1	Primäreffekte.....	182
7.2	Sekundär- und Tertiäreffekte	221
8	Zusammenfassung der Chancen und Risiken des Pervasive Computing	235
8.1	Relevanzkriterien	236
8.2	Zur Einteilung der Auswirkungen in Chancen und Risiken	236
8.3	Gesundheit	238
8.4	Umwelt	247
8.5	Soziale Aspekte	252
8.6	Schweizer Wirtschaft	257
8.7	Qualitative Charakterisierung der Risiken	259
9	Empfehlungen für Vorsorgemaßnahmen	267
9.1	Politik.....	267
9.2	Forschung.....	273
9.3	Ausbildung.....	275
9.4	Empfehlungen an private und öffentliche Unternehmen.....	277
9.5	Empfehlungen, die sich an mehrere Akteure richten.....	279
	Abkürzungsverzeichnis und Glossar	281
	Quellenverzeichnis	291
	Detailliertes Inhaltsverzeichnis.....	303
	ANHANG: Expected Exposure from Pervasive Computing	311

Zusammenfassung

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?“

Diese Frage kann nur im gesellschaftlichen Diskurs beantwortet werden. Ziel der vorliegenden Studie ist es, einen sachlichen Beitrag zu diesem Diskurs zu leisten, indem sie mögliche Chancen und Risiken des Pervasive Computing aufzeigt. Dabei liegt der Schwerpunkt auf Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt.

Schon die Identifikation und Unterscheidung von Chancen und Risiken setzt indessen die Orientierung an Wertgrundlagen voraus und kann nicht innerhalb der Wissenschaft allein entschieden werden. Diese Studie orientiert sich bei Bewertungen an den Prinzipien der traditionellen Ethik (Achtung der Menschenwürde, Fürsorgeprinzip und Gerechtigkeit), ergänzt um das *Vorsorgeprinzip* und die Leitidee *Nachhaltige Entwicklung*. Der gemeinsame Kern von Vorsorge und Nachhaltigkeit ist die Erweiterung des Gerechtigkeitsprinzips auf zukünftige Generationen im Sinne einer intergenerationalen Fairness: Heutiges Handeln soll die Freiräume für zukünftiges Handeln möglichst nicht einschränken.

Die eilige Leserin und der eilige Leser können sich über die Ergebnisse der Studie wie folgt informieren:

- über politischen Handlungsbedarf und weitere Empfehlungen in Kapitel 9
- über die untersuchten Chancen und Risiken und deren Bewertung in Kapitel 8
- über Fachbegriffe und Abkürzungen im Glossar

In jedem Fall empfiehlt sich zusätzlich die Lektüre der Einleitung (Kapitel 1), die Gegenstand, Zielsetzung, Methode und Aufbau der Studie erläutert. Es folgt eine Kurzfassung der Kernaussagen der Kapitel 2-9.

Kapitel 2: Das Vorsorgeprinzip dient dem Umgang mit Risiken in Situationen, in denen keine akute Gefährdung gegeben ist. Es hat den Zweck, auch solche Risiken zu minimieren, die sich möglicherweise erst langfristig manifestieren, und Freiräume für zukünftige Entwicklungen zu erhalten. Das Leitbild „Nachhaltige Entwicklung“ besagt, dass sowohl eine *intra-* als auch eine *intergenerationelle* Gerechtigkeit Ziel der gesellschaftlichen Entwicklung sein sollen. Vor diesem Hintergrund identifiziert und bewertet diese Studie Chancen und Risiken des Pervasive Computing. Neben Gesundheits- und Umweltaspekten im engeren Sinne kommen dabei auch Wirkungsfelder in Betracht, die im ICT-Bereich seit längerem diskutiert werden: Datenschutz, Sicherheit, die Folgen unbeherrschbarer Komplexität technischer Systeme, die

zunehmende Abhängigkeit von solchen Systemen, Auswirkungen auf die Gleichstellung der Geschlechter und die „Digitale Spaltung“.

Kapitel 3: 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 Netzwerke (W-LAN) 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.

Kapitel 4: Von den ausgewählten Anwendungsfeldern Wohnen, Verkehr, Arbeit und Gesundheit ist im Verkehr die rascheste Entwicklung zu erwarten. Das Auto ist durch seine Geschlossenheit und stabile Energieversorgung eine Testplattform für Pervasive Computing und wird in den kommenden Jahren immer „intelligenter“ werden. Das „intelligente Haus“ wird sich dagegen eher langsam durchsetzen, wenngleich die heutige Verkabelung für Computer, Telefon usw. weitgehend drahtlosen Verbindungen weichen wird. Unter den Querschnittstechnologien digitale Informations- und Unterhaltungsmedien, Wearables und Smart Labels (die hier alle unter Pervasive Computing gefasst sind) werden die Smart Labels den Alltag am schnellsten durchdringen. Es wurden drei Szenarien mit einem Zeithorizont von 10 Jahren entwickelt, die drei möglichen Entwicklungspfaden des Pervasive Computing entsprechen: Ein zurückhaltendes, ein mittleres und ein „Hightech“-Szenario. Sie unterscheiden sich hauptsächlich im angenommenen Durchdringungs- und Vernetzungsgrad, den Pervasive Computing in den verschiedenen Anwendungsfeldern erreichen wird.

Kapitel 5: 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 Entfernung 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 aus-

bleiben 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.

Kapitel 6: Große Chancen bietet Pervasive Computing für die medizinische Behandlung und Pflege. Besonders die Lebensqualität von chronisch Kranken, Rehabilitations- und Risikopatienten lässt sich verbessern. Ihre Abhängigkeit von stationären Einrichtungen wird durch neue Möglichkeiten der Fernüberwachung des Gesundheitszustandes (Personal Health Monitoring) und der aktiven Implantate abnehmen. Den medizinischen Chancen stehen Risiken gegenüber, darunter unvorhergesehene Nebenwirkungen von aktiven Implantaten und mögliche psychische Folgen einer neuen „Apparatemedizin“, die die Patienten stärker überwacht.

Unter Gesundheitsaspekten ist besonders die heutige Kontroverse um nichtionisierende Strahlung (NIS) der Mobilfunknetze zu beachten. Pervasive Computing wird nur unter sehr weit reichenden Annahmen zu einer Stabilisierung oder Abnahme der alltäglichen NIS-Exposition führen. Wahrscheinlicher ist eine Zunahme, weil sich zusätzlich zu den Mobilfunknetzen drahtlose lokale Datennetze (W-LANs) ausbreiten werden. Diese werden zwar mit schwächeren Sendeleistungen betrieben, haben aber doch zur Folge, dass eine zusätzliche Infrastruktur mit NIS-Quellen aufgebaut wird. Mögliche Gesundheitsrisiken, die von Strahlungsintensitäten unterhalb der thermischen Wirkungsschwelle ausgehen, sind nach wie vor ungeklärt. Bestimmte biologische Effekte sind nachgewiesen und geben Anlass zur Vorsicht. Gerade vor dem Hintergrund, dass Pervasive Computing das Tragen von Strahlungsquellen am Körper (Wearables) oder sogar im Körper (Implantate) vorsieht, besteht weiterhin dringender Forschungsbedarf. Die Strahlungsexposition kann auch bei Quellen mit niedriger Sendeleistung sehr hoch werden, wenn der Abstand zum Körpergewebe sehr klein ist.

Kapitel 7: Pervasive Computing wird sowohl zusätzliche Umweltbelastungen als auch Entlastungen für die Umwelt mit sich bringen. Ob in der Summe die positiven oder die negativen Auswirkungen überwiegen, hängt hauptsächlich von den energie- und abfallpolitischen Rahmenbedingungen ab, unter denen sich Infrastrukturen und Anwendungen in den kommenden Jahren entwickeln. Direkte (primäre) Wirkungen von ICT auf die Umwelt sind Material- und Energieverbrauch in der Produktions- und Nutzungsphase sowie Schadstoffbelastung bei der Entsorgung dieser Produkte. Pervasive Computing wird die Ökobilanz dieses Lebensweges nicht grundlegend verändern. Die fortschreitende Miniaturisierung wird mit hoher Wahrscheinlichkeit durch größere Anzahl und kürzere Nutzungsdauer der Komponenten mengenmäßig kompensiert oder überkompensiert werden. Der Energiebedarf der Vernetzung, die für Pervasive Computing benötigt wird, kann einige Prozent des gesamten Stromverbrauchs erreichen, wenn keine Anreize zur Nutzung technischer Energiesparpotenziale gegeben werden. Mit einem zunehmenden Eintrag von mikroelektronischen Wegwerfprodukten einschließlich Batterien in andere Abfallströme (Verpackungen, Textilien) ist zu rechnen.

Diesen primären Umweltwirkungen stehen die Chancen gegenüber, durch die Anwendung von Pervasive Computing material- und energieintensive Prozesse zu optimieren oder durch reine Signalverarbeitung zu substituieren (Dematerialisierung). Die Entlastungspotenziale solcher Sekundäreffekte sind hoch und können die Primäreffekte bei weitem übertreffen, etwa wenn durch die zunehmende Ortsunabhängigkeit von Tätigkeiten Verkehr vermieden wird. Diese Entlastungspotenziale werden jedoch nur dann realisiert, wenn ausreichende Anreize zu einem ökonomischen Umgang mit

natürlichen Ressourcen bestehen. Andernfalls wird ein Wachstum der Nachfrage (Tertiäreffekte) die Einsparungen kompensieren. Bisherige Erfahrungen mit den Auswirkungen von ICT haben gezeigt, dass dieser Rebound-Effekt in den meisten Fällen eintritt.

Kapitel 8: Gesamthaft betrachtet zeigt sich das folgende Bild der 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 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:

- 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.
- 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.
- 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.

Kapitel 9: Zur Vorsorge gegen die identifizierten Risiken empfiehlt die Studie unter anderem folgende Maßnahmen:

- 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 empfehlen wir, sich der „Global e-Sustainability Initiative“ (GeSi) anzuschließen und eine freiwillige Selbstkontrolle zu etablieren, die ethische Mindeststandards für das Inhaltsangebot der vermittelten Dienste verlangt.
- Den Unternehmen des öffentlichen Verkehrs empfehlen wir, eine gemeinsame, langfristig orientierte Strategie zum Einsatz von ICT durch die Unternehmen selbst und durch ihre Kunden entwickeln, besonders in Hinblick auf die Konkurrenz mit dem Individualverkehr.
- Den Betreibern von Kehrichtverbrennungsanlagen wird empfohlen, ihr Monitoring auf eine allfällige Zunahme von Elektronikanteilen im Hausmüll einzustellen, um bei absehbaren Problemen andere Akteure der Elektronikabfall-Entsorgung (Branchenverbände, Gesetzgeber) frühzeitig auf ungünstige Entwicklungen aufmerksam zu machen.

Weitere vorgeschlagene Maßnahmen zielen darauf ab, den Missbrauch von Pervasive Computing zu verhindern und die Freiwilligkeit seiner Nutzung aufrecht zu erhalten.

Resumé

L'informatique omniprésente (Pervasive Computing) fait référence à une application des technologies de l'information et de la communication (TIC) se caractérisant par une miniaturisation et une intégration de la microélectronique dans divers objets de la vie quotidienne en mesure de communiquer les uns avec les autres. Contrairement à la plupart des produits TIC actuels, cette nouvelle technologie sera pourvue de capteurs capables de saisir automatiquement leur environnement sans que l'utilisateur n'ait à intervenir directement.

L'idée d'un quotidien pénétré de composants microélectroniques constamment et partout en service – sur des réseaux sans fil pour la plupart – soulève la question des effets secondaires indésirables que pourrait engendrer cette informatique omniprésente. Il est donc indispensable de confronter les avantages attendus aux risques – encore partiellement inconnus – qui pourraient résulter de la concrétisation de ces visées technologiques. L'appréciation des avantages et des risques amènera immanquablement à la question primordiale de l'éthique de la technique: «Avec quelles techniques voulons-nous évoluer dans quel monde?»

Seul un large débat de société permettra de trouver une réponse à cette question. La présente étude aspire à contribuer de manière concrète à cette discussion en démontrant les chances et les risques éventuels de l'informatique omniprésente. L'étude se concentre sur les risques pour la santé et l'environnement.

L'identification et la différentiation des chances et risques presuppose de se baser sur des jugements de valeur que la science, elle seule, n'est pas à même de fixer. Cette étude s'appuie sur des principes de l'éthique traditionnelle (respect de la dignité humaine, non-malfaisance, bienfaisance, équité), en y ajoutant celui de la *précaution*, ainsi que l'objectif de *développement durable*. Le noyau commun de précaution et de durabilité est que les deux étendent le principe d'équité aux générations futures: Les actions d'aujourd'hui ne devront pas gêner les actions entreprises à l'avenir.

Les lectrices et lecteurs pressés pourront s'informer vite

- sur des propositions d'action au niveau politique et autres recommandations au chapitre 9
- sur l'analyse des chances et des risques, ainsi que leur appréciation au chapitre 8
- sur des termes techniques et des abréviations au glossaire.

Il sera en tout cas utile de lire également l'introduction (chapitre 1) qui informe sur l'objet, les buts, la méthode et la structure de l'étude.

Un aperçu des constatations essentielles faites dans les chapitres 2 à 9 suit.

Chapitre 2: Le principe de précaution sert à traiter les risques dans des situations sans danger urgent. Il prévoit de minimiser des risques qui peuvent se déclarer à longue échéance et de préserver la liberté d'actions futures. Le concept de développement durable signifie que les buts du développement social doivent inclure autant l'équité entre les générations actuelles que celle d'une génération à l'autre. C'est dans ce contexte que la présente étude identifie et évalue les avantages et inconvénients de l'informatique omniprésente. Outre les aspects de santé et environnementaux au sens étroit du terme, d'autres aspects, débattus dans les milieux des TIC depuis un certain temps déjà, sont pris en considération: protection des données, sécurité, conséquences d'une complexité incontrôlable des systèmes techniques, dépendance

croissante qu'engendrent de tels systèmes, retombées sur l'égalité des sexes et le fossé numérique sont abordés.

Chapitre 3: La miniaturisation des systèmes microélectroniques que nous connaissons actuellement devrait se poursuivre encore pendant 10 ans. Elle représente une force motrice essentielle pour concrétiser la vision d'une «informatique omniprésente». Le développement continu de réseaux de téléphonie mobile, mais aussi des réseaux locaux sans fil (W-LAN) aura également un effet décisif. Enfin, avec leur nombre croissant (des centaines de composants par personne), l'approvisionnement en énergie des composants mobiles ne pourra plus seulement reposer sur des piles jetables ou rechargeables par des adaptateurs secteur. D'autres concepts d'alimentation en énergie tels que cellules solaires ou électrochimiques, ou l'utilisation de l'énergie corporelle se diffuseront. Beaucoup de ces composants seront uniquement activés par contact ou par un champ d'alimentation, comme cela est le cas aujourd'hui pour les cartes à puce ou les «étiquettes intelligentes» (smart labels). La percée de l'informatique omniprésente dépendra cependant des progrès faits dans le domaine des interfaces utilisateur, en matière de commande vocale par exemple. La sensibilité au contexte s'impose comme une innovation essentielle pour l'informatique omniprésente: les composants devront réagir à leur environnement et pourront donc être actifs sans l'intervention de l'utilisateur. Dans le domaine des logiciels, les technologies dites «des agents» gagneront en importance. L'utilisateur «délèguera» ainsi des décisions à des programmes, puisqu'il ne pourra plus contrôler le flux d'informations par lui-même.

Chapitre 4: On s'attend à ce que l'informatique omniprésente se développe avant tout dans le domaine des transports, tout en perçant dans d'autres secteurs tels que l'habitat, le travail et la santé. L'automobile représente une plate-forme d'essai idéale pour l'informatique omniprésente car elle offre un système indépendant avec une alimentation stable en énergie; son «intelligence» croîtra dans les années à venir. Les «maisons intelligentes», quant à elles, seront plus lentes à progresser, et ceci malgré le remplacement régulier des câblages actuels (câblages informatiques, téléphoniques, etc.) par des réseaux sans fil. L'informatique omniprésente se réalisera aussi à travers des technologies transversales, telles que les médias numériques, les «habits digitaux» (wearables) et les «étiquettes intelligentes» (smart labels). Ces dernières seront les plus rapides à percer la routine quotidienne. Trois scénarios ont été développés sur un horizon temporel de 10 ans chacun, illustrant trois voies d'évolution possible pour l'informatique omniprésente: un scénario «prudent», un «moyen» et un de «haute technologie». Ils se distinguent notamment par les taux de pénétration et de connexion que l'informatique omniprésente est censée atteindre dans ses différents champs d'application.

Chapitre 5: Les technologies d'information et de communication sont fréquemment utilisées dans le but d'accélérer les processus et de gagner ainsi du temps. Une telle augmentation d'efficacité – bien que n'étant pas l'unique raison – fournit, historiquement parlant, le motif principal pour l'utilisation des TIC et devient, en outre, un dénominateur commun pour ses multiples applications. Or, toutes les expériences faites jusqu'ici avec les technologies destinées à gagner du temps (y compris les TIC et les moyens de transport) ont démontré que l'accélération des activités ne saurait soulager avec certitude le stress individuel. A vrai dire, le stress peut même augmenter. A titre d'exemple, les moyens de transport plus rapides n'ont pas abaissé le temps que nous passons en moyenne dans la circulation, car les distances parcourues ont augmenté. Bien qu'un message électronique soit bien plus rapide à rédiger qu'une lettre, nous consacrons, à l'heure actuelle, beaucoup plus de temps au

courrier électronique qu'à la correspondance conventionnelle d'avant. Cet effet dit «de rebond» peut s'expliquer par le biais de modèles économiques. Il est peu probable qu'il n'y ait pas d'effet de rebond avec l'informatique omniprésente. Dès lors, la perspective d'une vie avec plus de loisirs et moins stressante ne fera pas partie des avantages auxquels on pourrait s'attendre avec l'informatique omniprésente. Au contraire, l'efficacité technologique obtenue engendrera des exigences de rendement plus élevées, autant sur le marché du travail qu'en privé.

Chapitre 6: L'informatique omniprésente offre de grands avantages pour les traitements et soins médicaux. En particulier, la qualité de vie des malades chroniques, des patients dans des centres de réhabilitation ou à risque pourra être considérablement améliorée. Ils dépendront moins des installations hospitalières grâce à de nouveaux systèmes de télésurveillance contrôlant l'état de santé des patients (Personal Health Monitoring) et grâce à des implants actifs. Mais ces avantages médicaux peuvent être contrebalancés par des risques, comme par exemple l'apparition d'effets secondaires imprévus dus à la présence d'implants actifs dans le corps, ou encore des conséquences psychologiques suscitées par une surveillance rapprochée rendue possible par une «médecine instrumentalisée».

En ce qui concerne les aspects de santé, la controverse contemporaine sur le rayonnement non ionisant (RNI) des réseaux de téléphonie mobile est particulièrement révélatrice. L'hypothèse que l'informatique omniprésente pourrait amener à une stabilisation ou à une diminution de l'exposition quotidienne au RNI ne saurait être considérée que sous des suppositions étendues. Il est plus probable que celle-ci augmentera, étant donné qu'en plus des réseaux de téléphonie mobile, les réseaux locaux sans fil (W-LAN) tendent à se propager. Malgré leur plus faible puissance d'émission, leur fonctionnement nécessitera la mise sur pied d'une infrastructure complémentaire avec des sources de RNI. La question des risques éventuels pour la santé pouvant découler du RNI au-dessous du seuil de l'effet thermique n'a toujours pas été éclaircie. Certains effets biologiques démontrés incitent à la prudence. En tenant compte du fait que l'informatique omniprésente prévoit le port de telles sources de rayonnement sur le corps (par exemple intégrées aux habits), voire dans le corps (implants), il est urgent d'approfondir les recherches. Une exposition au rayonnement non ionisant peut devenir importante pour des sources de faible intensité si elles se trouvent très près des tissus corporels.

Chapitre 7: L'informatique omniprésente entraînera aussi bien des effets bénéfiques pour l'environnement que des charges supplémentaires . Que les effets négatifs ou positifs fassent pencher la balance dépendra essentiellement des conditions de base régissant la politique énergétique et de traitement des déchets. C'est en effet en fonction de ces conditions que les infrastructures et les applications de l'informatique omniprésente se développeront dans les années à venir. Les effets directs (primaires) que peuvent avoir les TIC sur l'environnement proviennent de la consommation de matériel et d'énergie dans les phases de production et d'utilisation des produits, ainsi que de la pollution générée par leur élimination après usage. Il est peu probable que l'informatique omniprésente modifie de façon significative le bilan écologique de ce cycle de vie. Plus nombreux, avec une durée de vie plus courte, les composants vont vraisemblablement anéantir les avantages de la miniaturisation progressive. Sans incitation à utiliser des potentiels d'économie énergétique, les besoins d'énergie des réseaux nécessaires à l'informatique omniprésente pourraient atteindre plusieurs pourcent de l'ensemble de la consommation d'électricité. Il faut compter sur une présence accrue de produits microélectroniques jetables, piles comprises, dans d'autres flux de déchets (emballages, textiles).

Ces impacts environnementaux primaires peuvent être contrebalancés par le fait que l'informatique omniprésente permet d'*optimiser* des procédés consommant de grandes quantités de matériaux et d'énergie ou encore par le fait que des actions peuvent être *substituées* par le traitement des signaux (dématérialisation). Des effets secondaires de ce genre offrent des potentiels en faveur de l'environnement qui peuvent être considérables et surpasser de loin les effets primaires si, par exemple, le nombre croissant des activités non attachées à un lieu précis permet de diminuer les déplacements et, partant, la circulation routière. Mais la mise en pratique de ces potentiels ne pourra se réaliser que s'il existe des incitations encourageant à un comportement compatible avec la préservation des ressources naturelles. Sinon, la demande accrue (effets tertiaires) annulera à nouveau le bénéfice de ces économies. Les expériences faites jusqu'ici avec les répercussions des TIC ont révélé que cet effet de rebond se produit dans la plupart des cas.

Chapitre 8: Vu dans l'ensemble, les avantages et inconvénients de l'informatique omniprésente s'illustrent de la manière suivante:

Du côté des avantages, relevons tout d'abord ceux offerts par l'informatique omniprésente au niveau de la prévention, du traitement et des soins médicaux, ainsi que des innovations dans les services en général.

Diverses activités pourront se dérouler en tous lieux, ce qui aura des conséquences diverses. Concernant les aspects environnementaux, on mentionnera principalement les répercussions sur le trafic, puisque leur bilan peut s'avérer positif ou négatif. Du point de vue social, hommes et femmes pourront jouir d'une meilleure compatibilité entre leurs activités professionnelles et domestiques (notamment pour s'occuper des enfants).

Pour l'économie, seuls des contenus et services locaux pourront prêter une utilité décisive à l'informatique omniprésente. Les avantages de la sensibilité au contexte de l'informatique omniprésente favorisent uniquement des produits qui tiennent compte du lieu où se trouve l'utilisateur, et non pas des offres globales: sur la base d'un lieu de résidence précis et de préférences individuelles, les données informatiques sont mises à disposition et les services adéquats proposés.

Quant aux risques, diverses problématiques ont été identifiées en utilisant les critères *irréversibilité, effets de retardement, potentiels de conflit et effets négatifs pour les générations à venir*.

- Rayonnement non ionisant: L'exposition moyenne tend à augmenter. Il y a là un potentiel de conflit, car les non-utilisateurs de l'informatique omniprésente se verront exposés à des inconvénients par des tiers, comme dans le cas des fumeurs passifs. Cette situation impose une recherche plus approfondie sur les risques éventuels pour la santé.
- Stress: l'informatique omniprésente peut être stressante pour de nombreuses raisons comme, par exemple, une utilisation trop compliquée, de nombreuses distractions, la sensation d'être surveillé (protection des données), l'abus éventuel à des fins criminelles, ainsi que des exigences accrues sur le rendement individuel. Le stress a un impact considérable sur la santé.
- Situation de contrainte: L'utilisation accrue de l'information omniprésente peut précipiter une partie des consommateurs et patients dans une situation qui les force à utiliser cette technologie contre leur gré (si d'autres alternatives ne sont plus proposées, par exemple) ou à contribuer à son financement (par le biais du renchérissement des primes d'assurance maladie, par exemple).

- Durabilité écologique: La surexploitation des matières rares pour la production de produits électroniques et la consommation d'énergie par des infrastructures fixes pourraient s'intensifier encore. Si aucune solution adéquate en matière de traitement des déchets électroniques, déchets générés par les millions de composants minuscules, ne devait être trouvée à brève échéance, de précieuses matières premières seront perdues et de nombreux polluants émis dans l'environnement.
- Principe de causalité: En règle générale, il ne sera pas possible de clarifier les causes des dommages dus à l'effet concomitant de plusieurs composants provenant de matériaux d'ordinateurs, de programmes et de données dans les réseaux. La complexité de ces systèmes distribués ne pourra en effet plus être maîtrisée ni sur des bases mathématiques ni du point de vue juridique. Étant donné que l'informatique omniprésente contribuera à une dépendance croissante vis-à-vis de tels systèmes, nous devrons nous attendre à une augmentation globale des dommages occasionnés par cette complexité technique incontrôlable. Dès lors, une partie grandissante de la vie de tous les jours échappera de fait au principe de causalité.

Chapitre 9: Afin de prévenir les risques identifiés, l'étude recommande, entre autres, les mesures suivantes :

- La *politique* est appelée à mieux coordonner ses stratégies en matière de société d'information et de développement durable. En outre, il est urgent de vérifier si les normes de responsabilité, la protection des données ainsi que la protection contre la publicité directe ont des bases suffisamment solides pour répondre aux enjeux de l'informatique omniprésente.. Afin d'inciter l'utilisateur à mieux percevoir ses responsabilités, nous recommandons l'introduction d'une déclaration obligatoire des données techniques pour les produits TIC et d'une étiquette renseignant sur leurs besoins énergétiques. . Par ailleurs, il sera indispensable de revoir le système fiscal pour y intégrer des incitations écologiques poussées destinées à favoriser une infrastructure des TIC économe en énergie.
- Eu égard à l'étendue des répercussions, une évaluation technologique continue sous forme de «Technology Assessment» nous semble urgente pour l'avenir des TIC et ses formes d'utilisation. Une évaluation technologique dite participative qui fait participer tous les groupes sociaux en temps utile à la discussion pourra servir de «système d'alarme précoce», afin de limiter les risques.
- Les institutions scolaires de tous les niveaux devront inclure dans leurs objectifs d'enseignement une approche critique et mûrie des TIC, car des utilisateurs bien renseignés sur les possibilités et limites de l'informatique omniprésente sauront minimiser les risques sociaux que pourrait susciter cette technologie.
- Les entreprises de télécommunications auront intérêt à adhérer à la «Global e-Sustainability Initiative» (GeSi) et à introduire des contrôles mutuels volontaires qui requièrent un standard minimal d'éthique pour la teneur des services proposés.
- Quant aux entreprises de transports publics, elles devront développer ensemble des stratégies orientées sur le long terme . Ces stratégies devront porter à la fois sur l'usage des TIC au sein de l'entreprise elle-même et sur les services offerts aux clients, le but étant de rester compétitif face au transport individuel.
- Les concessionnaires d'incinérateurs de déchets sont appelés à être organisés en vue de l'augmentation éventuelle du portion d'éléments électroniques dans les ordures ménagères, afin de pouvoir alerter au plus tôt les autres acteurs en

matière de gestion des déchets électroniques (associations professionnelles, législateurs) sur une évolution défavorable.

D'autres mesures sont proposées dans le but de prévenir les abus et de garantir le libre choix des utilisateurs.

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 present study is to make an 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.

The identification and assessment of opportunities and risks, though, require value judgements, which cannot be decided by science alone. This study is based on values derived from the principles of traditional ethics (respect of human dignity, non-maleficence, beneficence, and justice), supplemented by the precautionary principle and the paradigm of sustainable development. The core values found both in the precautionary principle and in sustainability expand the principle of justice to include explicitly future generations: Act today in such a way that you do not restrict others' scope to act in the future.

You have quick access to the results of the study as regards:

- Our advice to politicians and others in Chapter 9,
- The opportunities and risks that we investigated and how we evaluated them in Chapter 8,
- Technical terms and abbreviations in the Glossary.

We recommend that all readers have a look at the introduction (Chapter 1), which presents the object, goals, method and design of the study.

The rest of this summary gives you the main findings of Chapters 2-9.

Chapter 2: In addition to preventing risks from becoming dangers, one should also minimize risks in situations with no pressing threat. The precautionary principle deals with the latter, including long term risks. It is intended to preserve the potential for future developments. The paradigm of sustainable development says that the development of the society should be aimed at both intra- and inter-generational fairness. Based on these values, the present study identifies and assesses the opportunities and risks of Pervasive Computing. Although this study is focused on health and environmental impacts, it also addresses other issues that have persisted in discussions of ICT ethics, such as privacy, security, unmastered complexity in technical systems, our

increasing dependence on these systems, ICT impacts on gender equality, and the “digital divide”.

Chapter 3: The miniaturization of microelectronics is bound to continue for about another 10 years without breaking the trend. It is an essential driver for implementing the vision of “Pervasive Computing”. Further development of wireless communications by means of mobile phone networks and wireless local area networks (W-LAN) will play a decisive role. The number of mobile components per person will rise so fast into the hundreds, that it will no longer be practical for the energy supply to be provided in the form of batteries that have to be replaced or recharged using AC adaptors. Other energy supply technologies such as solar cells or fuel cells, or the use of body energy will become more common than today. Many components will only come on when brought against a contact or into a field supplying energy, as can be seen with today’s chip cards or smart labels, respectively. Pervasive Computing will only gain acceptance if progress is made in user interfaces, i.e. voice controlled systems. A major innovation over current ICT applications will be context sensitivity: Components will react to their environments and thus will operate without being activated each time by the user. On the software level, so-called agent technologies will gain in importance. Thus, technology and the information it makes available will demand so many additional decisions from us that we will need to delegate decisions to technology to be able to cope with them.

Chapter 4: The application areas chosen for the study were “housing”, “traffic”, “work” and “health”, of which the most dynamic one is traffic. As an independent system with a stable energy supply, the car represents a suitable test platform for Pervasive Computing, and it will acquire more “intelligence” in the years to come. “Smart homes”, however, are catching on at a much slower rate, in spite of the fact that wireless connections are already being substituted for present-day computer, telephone and other wired connections. Among the cross-sectional technologies digital media, wearables and smart labels (all taken here as part of Pervasive Computing), smart labels will be the fastest to become part of our daily life. Three scenarios were developed, each set for a 10 year time horizon, corresponding to three possible development paths of Pervasive Computing: a “cautious”, an “average” and a “high-tech” scenario. They differ mainly in the penetration rate and the degree of connectivity supposed to be reached by Pervasive Computing.

Chapter 5: Information and communication technologies are frequently used with the intention of speeding up processes in order to save time. Such efficiency enhancement is the main reason for using ICT – although not the only one – and can be observed in all their application areas. All the experience gained thus far with time-saving technologies (including ICT and traffic technologies), however, have shown that acceleration does not necessarily imply that people’s stress level will be reduced. Strictly speaking, work pressure is even expected to increase. To take one example, faster means of transportation have not shortened our average time spent in traffic, but instead have caused the distances travelled to increase. Although e-mail is much quicker to write, we are spending more time today on it than we used to in the past on conventional letters. This so-called rebound effect can be explained well by economic models; there is no reason to believe that the rebound effect will not apply to Pervasive Computing. Hence, a lifestyle with more time for leisure activities and less stress is not an advantage to be expected from Pervasive Computing. Instead, the expectations placed on individuals’ performance will grow as a consequence of technologically improved efficiency, both on the labour market and in private life.

Chapter 6: Pervasive Computing offers great opportunities for medical treatment and care. In particular the quality of life for patients who are chronically sick, undergoing rehabilitation or at high risk can be improved. Their dependence on hospital facilities will be reduced by new remote methods of personal health monitoring and by active implants. These medical opportunities will be accompanied by the risk that active implants might have unexpected side-effects or that an “over-instrumented” medicine might have negative psychological impacts on patients subjected to close observation.

Regarding health effects, the current controversy on the non-ionizing radiation (NIR) of mobile phone networks is an important issue. Only under far-reaching assumptions might Pervasive Computing make possible a stabilization of, or decrease in, our daily exposure to NIR. An increase is more probable, as wireless local area networks (W-LANs) are being built in addition to mobile phone networks. In spite of their lower transmission power, they will add to the total exposure, unless they are used as a substitute for existing networks. Questions on possible health hazards caused by NIR below the threshold of thermal effects are still open. Certain proven biological effects do give reason for caution. Considering the fact that Pervasive Computing involves wearing radiation sources on the body (wearables) and even inside the body (implants), we see a need for further research. Even sources of low transmitting power may cause high exposure to radiation if they are very close to body tissues.

Chapter 7: Pervasive Computing will bring about both additional loads on and benefits to the environment. The prevailing balance of positive and negative effects will depend on how effectively energy and waste policy governs the development of infrastructures and applications in the coming years. Direct (primary) effects of ICT on the environment will result from material and energy consumption in the production and use phases, including pollution caused by disposal of the resulting waste. Pervasive Computing is not expected to change radically the environmental impact of this life cycle. Greater quantities and shorter service lives of components will most probably counterbalance or even outweigh the benefits from progressing miniaturisation. The energy demand of the network infrastructure needed for Pervasive Computing might be as large as several percent of total power consumption if there are no incentives for using the technical energy saving potential. More and more microelectronic throw-away products, including batteries, will be found in waste streams outside that of electronic waste proper (packaging, textiles).

These primary environmental impacts of Pervasive Computing are to be seen in opposition to the secondary effects it provides in *optimising* material and energy intensive processes, or in *substituting* pure signal processing for such processes (dematerialisation). The potential environmental benefits from such secondary effects are considerable and can even outweigh the primary effects, if, for instance, the increasing independence of activities from defined locations reduces traffic. But using these potential environmental benefits requires that there will be enough incentives to manage natural resources more economically. Otherwise, the growth in demand (tertiary effects) will counterbalance these savings. The experience gained thus far with ICT effects has shown that such a rebound effect occurs in most cases.

Chapter 8: All things considered, the opportunities and risks associated with Pervasive Computing can be summed up as follows.

The most significant opportunities come in the form of medical prevention, treatment and care, and in general on innovative services, all of them enabled by Pervasive Computing.

The increasing independence of activities from defined locations has various consequences. Among the environmental aspects, the effects on traffic are foremost, as the bottom line can turn out to be either positive or negative. As far as social aspects are concerned, an improved compatibility of professional and domestic activities (namely caring for children) may result in gains for persons of either gender.

Pervasive Computing becomes interesting for business and consumers when it is filled with local contents and services. The context sensitivity of Pervasive Computing favours locally differentiated products: Information is made available and services proposed according to one's precise position and individual preferences.

We used the following criteria to evaluate risks: *irreversibility*, *delay effect*, *conflict potential* and *negative impacts on posterity*, and identified the following issues as the most important:

- Non-ionized radiation: Average exposure is expected to increase. There is a conflict potential, as non-users of Pervasive Computing will see themselves exposed to impairments caused by others, such as in the case of passive smokers. It is imperative to do further research on the possible health risks.
- Stress: Pervasive Computing can generate stress for various reasons, such as poor usability, disturbance and distraction, the feeling of being under surveillance (privacy issues), possible misuse of the technology for criminal purposes as well as increased demands on individuals' productivity. Stress has a considerable impact on health.
- Restrictions on individual freedom: The trend toward Pervasive Computing may drive some consumers and patients into a situation in which they are compelled to use such technology (if, for instance, alternatives are no longer available) or to co-finance it against their will (as for example with rising mandatory contributions to health insurance).
- Ecological sustainability: Consumption of scarce raw materials for the production of electronics and the energy consumption of stationary infrastructure may increase sharply. Furthermore, if no adequate solution is found for the end-of-life treatment of the electronic waste generated by millions of very small components, precious raw materials will be lost and pollutants emitted to the environment.
- Causation principle: As a rule, it is not possible to isolate the cause of damages due to the combined effects of several components from computer hardware, programmes and data in networks, as no one can cope with the complexity of such distributed systems, neither mathematically nor legally. As society's dependence on systems of this kind will grow with Pervasive Computing, a net increase in the damage derived from unmastered technical complexity has to be expected. As a consequence, a growing part of day-to-day life will, virtually, be removed from liability under the causation principle.

Chapter 9: The study recommends taking the following precautionary measures against the identified risks:

- Switzerland has a strategy for an “Information Society” and one for “Sustainable Development”; we call upon *policymakers* to coordinate the two more closely. They should also monitor and where necessary harmonize the strength of liability standards, data security, and protection from direct marketers to hold up under the conditions of Pervasive Computing. In order to enlighten users, we recommend making compulsory a declaration for technical data from NIR sources and an energy label for ICT products. Ecological incentives should be included in the tax system to point the way to an energy efficient ICT infrastructure.
- Considering the far reaching effects of future ICT and its application forms, continual technology assessment (TA) appears urgent. Participatory TA including all social groups in good time in the discussion may serve as an “early warning system” to minimize the risks.
- Educational institutions of all levels are requested to include critical, mature treatment of ICT in learning objectives, as the social risks from Pervasive Computing can be minimized best when users are made aware of the possibilities and limits of this technology.
- Companies in the telecommunication sector are advised to join the “Global eSustainability Initiative” (GeSi) and to initiate self-regulation to establish ethical standards for the content of the services provided.
- Public transportation services ought to develop jointly long-term oriented strategies for the use of ICT by themselves and by their clients, in particular in order to remain competitive against private transport.
- We recommend to the operators of incinerators that they prepare their monitoring procedures for a possible increase in electronic components in domestic waste, in order to make other actors in the disposal of electronic waste (business associations, legislators) aware of unfavorable developments early enough whenever problems arise.

Further proposed measures aim to prevent the abuse of Pervasive Computing and to maintain the voluntary character of its use.

1 Einleitung

Lorenz Hilty

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

IBM rechnet in den nächsten fünf bis zehn Jahren mit weltweit über einer Milliarde Menschen, die über eine Billion vernetzter Gegenstände benutzen werden.

Will die Gesellschaft diese Einwanderung "elektronischer Heinzelmännchen" in ihren Alltag? Wie könnte sich die Technologievision "Pervasive Computing" konkret realisieren? Welche Chancen und Risiken für Gesundheit und Umwelt wird diese Entwicklung mit sich bringen?

Die vorliegende TA-Studie hat das Ziel, zur Klärung dieser Fragen auf dem heutigen Stand des Wissens beizutragen und Empfehlungen für Vorsorgemaßnahmen zu erarbeiten. Der Schwerpunkt liegt auf der Abschätzung möglicher Risiken des Pervasive Computing für die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Sie konzentriert sich damit auf den Punkt *Environmental Issues* gemäß Vorschlag der Grundlagenstudie des TA-Swiss zu IT Assessment (Kündig, 2002). Ethische und rechtliche Aspekte sowie weiterführende Fragestellungen aus dem Bereich Philosophie und der Sozialwissenschaften können nur gestreift werden. Die Studie wurde im Zeitraum April 2002 bis Januar 2003 durchgeführt.

1.1 Ausgangslage: Pervasive Computing als Technologievision

Pervasive Computing (kurz "PvC") ist eine Technologievision, oder genauer: *die Vision einer zukünftigen Anwendungsform von Informations- und Kommunikationstechnologien (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 zukünftiger¹ 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 1-1).

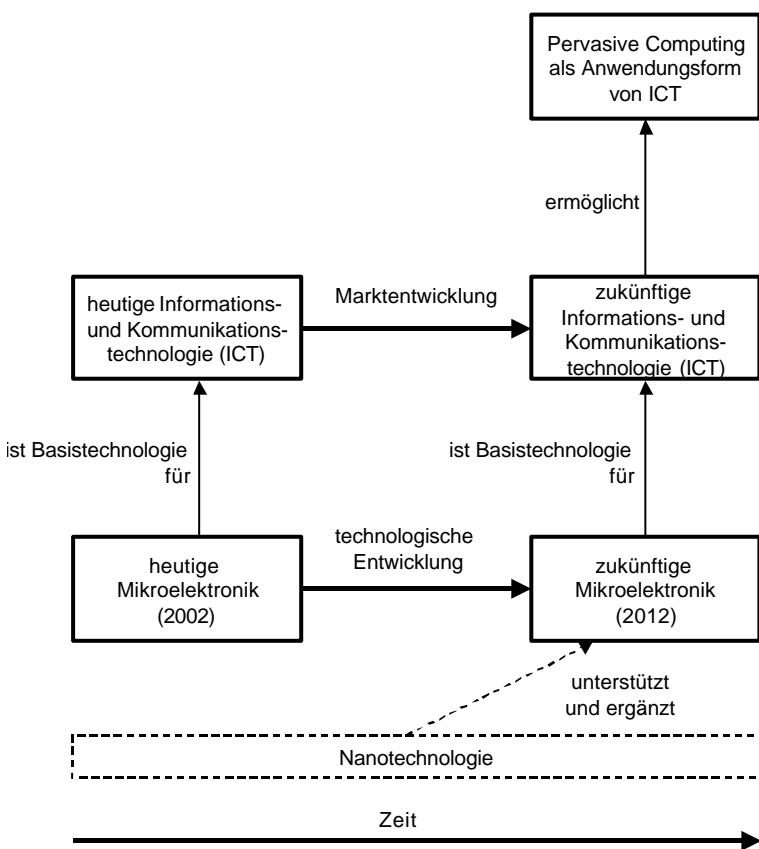


Abbildung 1-1: Zusammenhang zwischen Mikroelektronik, Nanotechnologie, ICT und Pervasive Computing

¹ In Bezug auf die Technologieentwicklung hat diese Studie einen Zeithorizont von 10 Jahren.

"Der Computer wird in den nächsten 5 bis 10 Jahren aus unserem Bewusstsein verschwinden. Wir werden einfach nicht mehr über ihn reden, wir werden nicht über ihn lesen, außer natürlich Fachleute."

Joseph Weizenbaum (2001).

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.

Wir verstehen den Begriff "Pervasive Computing" möglichst umfassend. Insbesondere sind verwandte Konzepte wie "Ubiquitous Computing", "Ambient Intelligence", "Wearable Computers", "The Invisible Computer" und "Anytime, Anywhere Computing" damit abgedeckt. Ebenso sehen wir die „Things That Think“-Initiative des MIT Media Lab als Teil der umfassenden PvC-Vision. Diese Initiative vereinigt 40 Firmen und 20 Forschungsgruppen, die damit das Ziel verfolgen, eine Zukunft mit digital erweiterten Gegenständen zu entwerfen (Holt, 1999; MIT Media Lab, 2003).

Es ist anzunehmen, dass die heutige „PC-Ära“ bis 2012 von der „PvC-Ära“ abgelöst wird. PvC könnte also zu der aus Benutzersicht dominierenden Anwendungsform von ICT werden: Die Benutzer werden sich daran gewöhnen, dass die Dinge in ihrer alltäglichen Umgebung „intelligenter“² 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.

² Wir setzen das Adjektiv „intelligent“ stets in Anführungszeichen, wenn es sich nicht auf Menschen bezieht, um uns von den weit reichenden und bisher nicht ansatzweise eingelösten Ansprüchen der „Starken Künstlichen Intelligenz“ zu distanzieren. Die Vertreter der „Starken KI“ wie z.B. Marvin Minsky (MIT) gehen von der umstrittenen Annahme aus, dass Maschinen die Intelligenz von Menschen erreichen und übertreffen können.

Ob das Bedürfnis nach PvC und die Akzeptanz der damit möglicherweise verbundenen Risiken hierfür ausreichen werden, ist schwer vorherzusagen. Wir werden in dieser Studie deshalb drei Szenarien für den Zeitraum bis 2012 skizzieren:

- ein "zurückhaltendes" Szenario, das von einer gebremsten Entwicklung ausgeht;
- ein "Hightech"-Szenario, das auf der Annahme beruht, dass alles realisiert wird, was technisch und wirtschaftlich machbar ist,
- ein "mittleres" Szenario, das zwischen den beiden anderen liegt und das wir aus heutiger Sicht für das wahrscheinlichste halten, ohne allerdings eine Prognose abzugeben.

Der Versuch einer Prognose wäre schon deshalb nicht angemessen, weil wir die Entwicklung für *gestaltbar* halten. Die Grundfrage der Technikethik – „Mit welcher Technik wollen wir in welcher Welt leben?“ – wäre sinnlos, würde man die Gestaltbarkeit der Entwicklung a priori verneinen. Die Zukunft wird somit auch davon abhängen, ob und wie die Gesellschaft sich darüber einigen kann, welche Rolle diese Technik in ihrem Leben spielen soll.

1.2 Zielsetzung und Methode dieser Studie

Ziel dieser Studie ist es,

1. die Entwicklungsperspektiven der Informations- und Kommunikationstechnologie in Richtung des "Pervasive Computing" aufzuzeigen;
2. Vorteile und Risiken dieser Entwicklung für Gesundheit und Umwelt abschätzen und aus einer Perspektive der Risikovorsorge gegeneinander abzuwägen;
3. Wege zur Präzisierung des Vorsorgeprinzips in der Informationsgesellschaft aufzuzeigen und mögliche Maßnahmen speziell für "Pervasive Computing" abzuleiten.

Der Zeithorizont der Untersuchung in Bezug auf die Technologie- und Marktentwicklung wurde auf 10 Jahre begrenzt und in eine Nahperspektive (2007) und eine Fernperspektive (2012) aufgeteilt.

Die Abschätzung der Entwicklung und ihrer Chancen und Risiken stützt sich die Studie auf folgende Methoden:

- Literaturauswertung:
Die Aussagen dieser Untersuchung stützen sich in erster Linie auf die Auswertung aktueller Fachliteratur³, im Falle der Gesundheitswirkungen nichtionisierender Strahlung insbesondere auf Reviews und Berichte von Expertenkommissionen.
- Trendextrapolation:
Einige Trends der Technologieentwicklung werden in die Zukunft fortgeschrieben, wenn keine besonderen Gründe für die Annahme eines Umbruchs sprechen.
- Szenarien:
Mögliche Zukunftssituationen werden in Szenarien beschrieben, die auf unterschiedlichen Annahmen vor über die Ausbreitungsgeschwindigkeit und -möglichkeit von Pervasive Computing beruhen. Vor dem Hintergrund der Szenarien werden auf der Grundlage bekannter oder abschätzbarer Sachverhalte mögliche Auswirkungen der Technologie identifiziert.
- Expertenbefragung:
Die Aussagen zu Chancen und Risiken stützen sich neben dem zugänglichen Fachwissen auf die Befragung von Expertinnen und Experten, die das Projektteam fachlich ergänzen.
- Expertenworkshops:
Im Projektverlauf wurden drei Workshops durchgeführt.
 - Ein erster Workshop zu Beginn des Projekts diente zur Validierung und Feinabstimmung der Fragestellung und zur Identifikation der wichtigsten Problembereiche.
 - Zwei weitere Workshops in der zweiten Phase des Projekts dienten zur Diskussion erster Ergebnisse in Gruppen von Fachleuten, die breit gefächerte fachliche Perspektiven und Interessen vertraten.

³ Fachartikel, Bücher, Internetquellen

1.3 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

1.3.1 Abgrenzung der Technologie

Gegenstand der Untersuchung sind auf Mikroelektronik basierende Informations- und Kommunikationstechnologien, die einen Beitrag zur Realisierung der Vision "Pervasive Computing" leisten können, wie sie in Abschnitt 1.1 beschrieben wurde. Dabei müssen nicht alle Merkmale des Pervasive Computing (Miniaturisierung, Einbettung, Vernetzung, Allgegenwart, Kontextsensitivität) gleichzeitig erfüllt sein.

1.3.2 Abgrenzung der Anwendungsfelder

Die Untersuchung betrachtet vier ausgewählte Anwendungsfelder:

- Wohnen
- Verkehr (mit Schwerpunkt Automobil)
- Arbeit
- Gesundheit

Ergänzend wird die Entwicklung in drei Bereichen betrachtet, die in mehreren Anwendungsfelder auswirken können:

- Wearables (am Körper getragene ICT)
- digitale Informations- und Unterhaltungsmedien (ohne Spiele)
- Smart Labels und andere automatische Identifikationssysteme

1.3.3 Abgrenzung der Wirkungsfelder

Als Wirkungsfelder der betrachteten Anwendungen werden schwerpunktmäßig Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die ökologische Umwelt untersucht. Aufgrund der hohen Bedeutung sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen - nicht zuletzt für die beiden erstgenannten Anwendungsfelder - werden soziale und wirtschaftliche Aspekte mitbetrachtet, jedoch mit geringerer Untersuchungstiefe.

Die Fokussierung auf Gesundheit und Umwelt ist darin begründet, dass

- die Debatte um mögliche Gesundheitsbelastungen durch nichtionisierende Strahlung und die *große Ungewissheit auf diesem Gebiet* einen breiten Diskurs notwendig erscheinen lassen, bevor eine neue Nutzungsform drahtlos vernetzter ICT Fakten schafft.
- die Auswirkungen von ICT auf die Umwelt bisher zwar in Fachkreisen diskutiert werden, aber trotz ihrer hohen Relevanz noch kaum in das Bewusstsein der Öffentlichkeit gedrungen sind: Elektronikabfall, steigender Energieverbrauch durch ICT und Stand-By-Verluste werden zu umweltpolitisch relevanten Problemen.

1.3.4 Ethisch-politische Implikationen

Die Vision des Pervasive Computing unterliegt auch der Reflexion unter ethisch-politischen und rechtlichen Aspekten. Sie ist im Lichte der Grundfrage der Technikethik und -politik zu betrachten, nämlich der Frage: „Mit welcher Technik wollen wir, ausgehend von unserem Selbstverständnis, in unserer Welt leben?“

Die Studie beschränkt sich – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – jedoch darauf, die in dieser Hinsicht wichtigsten Probleme und Kontexte zu *signalisieren*, welche in einem weiteren Schritt in ethisch-politischer Perspektive zu bearbeiten wären.

Dabei orientiert sie sich an den Prinzipien der traditionellen Ethik:

- am Autonomieprinzip (Selbstbestimmungsprinzip), das sich auf der Achtung der Würde des Menschen und seiner Freiheit gründet,
- am Fürsorgeprinzip (nicht schädigen, Hilfe leisten),
- am Prinzip der sozialen Gerechtigkeit.

Soziale Gerechtigkeit verstehen wir als Fairness im Sinne John Rawls (1971) und in der räumlichen und zeitlichen Erweiterung, die den Kern der Leitidee „Nachhaltige Entwicklung“ bildet: Fairness auch in globaler Perspektive und gegenüber zukünftigen Generationen.

Besonders der dritte Punkt – das im Sinne der Nachhaltigkeit erweiterte Gerechtigkeitsprinzip – erinnert dabei an die Verantwortungsethik von Hans Jonas (Jonas, 1979). Wir gehen jedoch nicht so weit, Jonas’ Position zu übernehmen, was einem maximalen („starken“) Vorsorgeprinzip und auch der so genannten „starken Nachhaltigkeit“ entsprechen würde: Die Schlussfolgerungen dieser Studie setzen nicht voraus, dass man der Natur einen Eigenwert zuerkennt (d.h. sie ergeben sich auch in einem anthropozentrischen Wertesystem), und sie berufen sich auch nicht auf einen absoluten „Vorrang der schlechten Prognose“ im Sinne von Jonas.

Eine weitergehende Diskussion des Vorsorgeprinzips, des Leitbilds „Nachhaltige Entwicklung“ und damit des normativen Rahmens dieser Studie ist im anschließenden 2. Kapitel zu finden.

1.3.5 Danksagung

Das interdisziplinäre Projektteam dieser Studie wurde von einer ebenso interdisziplinär zusammengesetzten Begleitgruppe unter Leitung von Prof. Albert Kündig beraten, deren Hinweise und Anregungen das Ergebnis ganz wesentlich geprägt haben. Neben dem Leiter waren die Herren Prof. Beat Sitter-Liver, Prof. Peter Leuthold und Dr. Jürg Baumann durch ihre detaillierte Kommentierung der Entwürfe maßgeblich an der Entstehung dieses Textes beteiligt. Frau Dr. Mirjana Moser danken wir für wichtige Hinweise und der gesamten Begleitgruppe für die bereichernden Diskussionen in Bern. Von der Seite des TA-SWISS haben Frau Dr. Danielle Bütschi und Herr Dr. Sergio Belucci das Projekt begleitet und uns zahlreiche fachliche Hinweise gegeben.

Zum Inhalt dieser Studie haben außerdem die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der durchgeführten Expertenworkshops beigetragen, denen wir hiermit für die engagierte Mitwirkung danken möchten:

Christine Abbt, PD Dr. Peter Achermann, Christian Aeberli, Dr. Fulvio Caccia, Dr. Marion Dreyer, Dr. Gregor Dürrenberger, Dr. Morten Fjeld, Dr. Rolf Frischknecht, Ursula Forsblom, Christian Grasser, Dr. Stefan Joss, Prof. Dr. Heinrich Kuhn, Leo Lehmann, Prof. Dr. Friedemann Mattern, Katrin Meier, Matthias Nast, Jürg Nipkow, Dr. Rüdiger Paschotta, Dr. med. Jörg Reissenweber, Michael Schanne, Prof. Dr. Daniel Spreng, Prof. Dr. Gerhard Tröster, Dr. Tanja Vitale, Prof. Dr. Heinz-Gregor Wieser, Prof. Dr. Carl August Zehnder.

Wir danken Frau Therese Bracher, Empa, für die Arbeit an zahlreichen Abbildungen für die Studie.

1.4 Aufbau dieser TA-Studie

Abbildung 1-2 zeigt die Kapitel dieser Studie mit ihrer Funktion und ihren Abhängigkeiten. Die Kapitel 5, 6, und 7 können unabhängig voneinander gelesen werden, d.h. sie bauen nicht aufeinander auf. Für den eiligen Leser sollten die Kapitel 1, 8 und 9 einen ausreichendes Verständnis der Ergebnisse vermitteln.

Die verwendeten Abkürzungen und wichtigsten Fachausdrücke sind in einem kombinierten Abkürzungsverzeichnis und Glossar zusammengestellt.

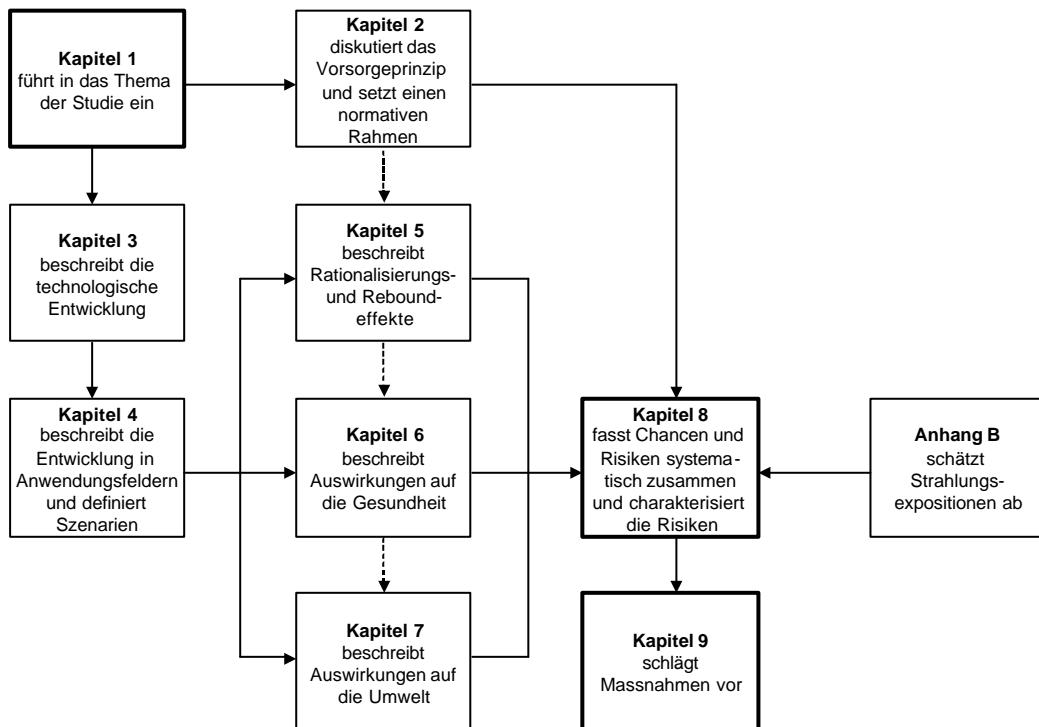


Abbildung 1-2: Aufbau der Studie

Männliche und weibliche Formen von Personenbezeichnungen beziehen sich in diesem Text auf Personen beiderlei Geschlechts.

2 Vorsorgeprinzip, Nachhaltigkeit und ethische Aspekte der Informationsgesellschaft

Lorenz Hilty, Claudia Som

Das Vorsorgeprinzip (VSP) ist ein sehr offenes Prinzip, das der Auslegung und Präzisierung in Kontext der Informationsgesellschaft bedarf. Unser Verständnis des Vorsorgeprinzips erläutern wir in den Abschnitten 2.1 und 2.2.

Über das VSP hinaus benötigen wir Grundlagen, um die möglichen Auswirkungen des Pervasive Computing (PvC) zu bewerten. Hier bietet sich ergänzend zu den Prinzipien der traditionellen Ethik die Leitidee der Nachhaltigen Entwicklung an (Abschnitt 2.3).

Die beiden Leitideen Informationsgesellschaft und Nachhaltige Entwicklung stehen in einem direkten Zusammenhang (Abschnitt 2.4).

Um bei der Identifikation von Chancen und Risiken des PvC den Fokus nicht zu früh auf direkte Gesundheits- und Umweltwirkungen einzuzengen und unsere Untersuchung mit einem umfassenderen Problemverständnis zu beginnen, betrachten wir zunächst das breite Spektrum von gesellschaftlichen Auswirkungen der Informations- und Kommunikationstechnologien, die bisher als ethische Fragen der Informationsgesellschaft diskutiert werden. Ein Teil davon erweist sich als sehr relevant in Hinblick auf Pervasive Computing (Abschnitt 2.5)

Aus diesen Überlegungen resultiert der normative Rahmen (das Wertesystem), auf den sich diese Studie bezieht (Abschnitt 2.6).

2.1 Vorsorgeprinzip

Obwohl das *Vorsorgeprinzip (Precautionary Principle)* in der aktuellen internationalen Diskussion sehr unterschiedlich formuliert und verstanden wird, sei hier der Versuch unternommen, einen gemeinsamen Nenner zu formulieren:

Das Vorsorgeprinzip (VSP) dient dem Umgang mit Risiken in Situationen, in denen keine akute Gefährdung gegeben ist. Es hat den Zweck, auch solche Risiken zu minimieren, die sich möglicherweise erst langfristig manifestieren, und Freiräume für zukünftige Entwicklungen zu erhalten.

Das Vorsorgeprinzip unterscheidet sich damit vom *Prinzip der Gefahrenabwehr (Schutzprinzip, engl. Prevention)*, das im Falle eines Risikos mit akutem Gefährdungspotenzial zur Anwendung kommt. Ein Risiko muss nachgewiesen und ausreichend hoch sein, um als *Gefahr* im juristischen Sinne zu gelten.⁴

Köck und Hansjürgens bringen die Besonderheit des VSP auf den Punkt: "Vorsorge bedeutet, einen Vorrat an Sicherheit zu schaffen" (Köck/Hansjürgens 2002, S 42).

⁴ Die Höhe eines Risikos wird an den beiden Hauptkriterien Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit gemessen. Sofern diese Größen quantifizierbar sind, entspricht die Höhe des Risikos dem mathematischen Produkt der beiden Hauptkriterien.

2.1.1 Geschichte des Vorsorgeprinzips

Nach einer langen Phase der Technikgläubigkeit entstand in den siebziger Jahren ein Bewusstsein für technikbedingte Risiken. Es wurde offensichtlich, dass technische Entwicklung nicht nur Fortschritt bedeutet, sondern auch zu Schäden an der menschlichen Gesundheit und der Umwelt führen kann. Der von Ulrich Beck geprägte Begriff der "Risikogesellschaft", der durch den Reaktorunfall von Tschernobyl einen greifbaren Inhalt bekam, symbolisiert einen Wendepunkt dieser Entwicklung (Beck, 1986).

Im Zuge der frühen Umweltpolitik haben die meisten Industriestaaten in den sechziger Jahren damit begonnen, Grenzwerte für schädliche Einwirkungen festzulegen, um Schäden an Gesundheit und Umwelt zu verhindern. Dabei stand außer Frage, dass ein Grenzwert nur dann erlassen wird, wenn im juristischen Sinn eine Gefahr - d.h. ein nachgewiesenes und ausreichend hohes Risiko - gegeben ist (vgl. Reich, 1989; Köchlin, 1989; Rehbinder, 1991; Beyer, 1992; Wiedemann, 2001).

Dagegen wurden *möglicherweise hohe* Risiken bei nicht ausreichendem Wissensstand von der Rechtssprechung meist den unvermeidbaren Restrisiken zugeordnet und damit ignoriert (Reich, 1989).

Im Laufe der Zeit wurden die Grenzen der Gefahrenabwehr deutlich. Eine erste Referenz zum Vorsorgeprinzip findet sich im Umweltbericht der deutschen Bundesregierung von 1976: "Umweltpolitik erschöpft sich nicht in der Abwehr drohender Gefahren und der Beseitigung eingetretener Schäden. Vorsorgende Umweltpolitik verlangt darüber hinaus, dass die Naturgrundlagen geschützt und schonend in Anspruch genommen werden" (Umweltbericht, 1976; S. 2).

Seither wurde das VSP in verschiedene nationale Gesetzgebungen und in internationale Vereinbarungen aufgenommen. Die Entdeckung des Ozonlochs hat zur Akzeptanz des VSP in der Politik wesentlich beigetragen (Cavender-Bares, 2001).

Im Schweizerischen Umweltschutzgesetz (USG) von 1983 ist das VSP wie folgt verankert:

- Artikel 1, Absatz 2: "Im Sinne der Vorsorge sind Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden könnten, frühzeitig zu begrenzen."
- Artikel 11, Absatz 2: "Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sind Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist."

Das USG verlangt somit, das Risiko auch für schädliche Wirkungen, *die erst vermutet werden*, möglichst gering zu halten. Dabei muss eine konkrete Schädigung nicht nachgewiesen sein. Es genügt, wenn die Einwirkungen aufgrund ihrer Eigenschaften geeignet sind, schädliche oder lästige Wirkungen hervorzurufen. Vermeidbare Emissionen müssen vermieden werden, und zwar unabhängig von der bereits bestehenden Belastung. Damit bleibt ein Freiraum für die zukünftige Entwicklung erhalten.

2.1.2 Zweck des Vorsorgeprinzips

Warum sollte es geboten sein, Einwirkungen auch dann zu vermeiden, wenn von ihnen keine akute Gefährdung ausgeht?

In der juristischen Literatur werden zwei Theorien des Vorsorgeprinzips diskutiert (Köchlin, 1989; Beyer, 1992):

- Die *Ignoranz-Theorie* rechtfertigt eine vorsorgliche Belastungsminimierung durch die Begrenztheit des Wissens (Ungewissheit) über zukünftige Wirkungen. Das VSP soll den vernünftigen Umgang mit *ungeklärten Risiken* unterstützen, während die Gefahrenabwehr den Umgang mit sicheren, d.h. ausreichend nachgewiesenen Risiken regelt.
- Die *Freiraum-Theorie* besagt, dass mit dem VSP Freiräume für die Aktivitäten zukünftiger Generationen erhalten werden sollen. Dies gilt z.B. für zukünftige umweltbelastende Aktivitäten, indem die (gemäß Gefährdungsgrenzwert) erlaubte Umweltbelastung nicht ausgeschöpft wird. Der Freiraum kann aber auch auf eine veränderte Beurteilung und Bewertung bezogen werden, da sich in der Gesellschaft Werte, Recht und Risikoakzeptanz wandeln und neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden ("Änderungsrisiko"). Was heute als unbedenklich gilt, kann morgen als inakzeptabler Schaden gesehen werden.⁵

Der Gesetzgeber hat bei der Formulierung des USG beide Aspekte berücksichtigt.

Vom VSP erhofft man sich unter anderem, auch kleinste – für sich genommen unschädliche, aber in der Summe schädliche – Auswirkungen vermeiden zu können. Das VSP ergänzt das Schutzprinzip auch in Fällen, wo schleichende Effekte zu latenten, nicht eindeutigen oder mit unspezifischen Symptomen verbundenen Gesundheitsstörungen führen (Köchlin 1989).

Nach Van den Daele (2001) wird das VSP in Anspruch genommen, um die Technikentwicklung stärker in den Einflussbereich von Politik und Gesellschaft zu bringen. Dies erscheint notwendig, weil der technische Fortschritt nicht nur Naturgefahren in den Verfügungshorizont menschlicher Entscheidungen holt, sondern gleichzeitig auch neue Risiken schafft. Neue Technologien können inakzeptable Nebenfolgen für die Gesellschaft haben. Das VSP soll gewährleisten, dass sich die Gesellschaft sich bewusst für oder gegen das Eingehen solcher Risiken entscheiden kann, und zwar auch dann, wenn über die Existenz und das Ausmaß eines Risikos Ungewissheit besteht.

2.1.3 Reichweite und Ausprägungen des Vorsorgeprinzips

Das VSP ist nicht nur ein wichtiges Handlungsprinzip in der nationalen und internationalen Umweltpolitik, sondern wird heute auch auf die Verbraucherschutzpolitik ausgedehnt (Köck/Hansjürgens 2002).

Nach Van den Daele wurden ferner die mit dem Risikobegriff assoziierten Schadensbereiche (ursprünglich Gesundheit und Umwelt) um den Bereich sozialer Fehlentwicklungen oder die Veränderung moralischer Prinzipien erweitert (Daele, 1991, zitiert nach Wiedemann/Brüggemann, 2001). Bei dieser „erweiterten Zuständigkeit“ des VSP wäre sogar die Möglichkeit der Veränderung der gültigen Wertmaßstäbe als Risiko zu behandeln und zu minimieren. Dabei stellt sich dann die Frage, ob auf Grundlage der heutigen Wertmaßstäbe überhaupt deren mögliche Veränderung als Chance oder Risiko bewertet werden kann. Sicher müssten solche Prozesse noch mehr als andere dem gesellschaftlichen Diskurs überantwortet werden (Habermas 2001), da es hier offensichtlich darum geht, dass die Gesellschaft ihr wertmäßiges „Koordinatensystem“ neu definiert und nicht nur innerhalb eines solchen Systems über neue Technologien

⁵ Die Freiraumtheorie hat einen direkten Bezug zum Gedanken der *intergenerationellen Fairness* im Nachhaltigkeitsprinzip.

entscheidet. Es ist nicht akzeptabel, dass die Technik "faits accomplis" schafft und damit die Moral vorgibt, ohne dass darüber reflektiert wird.

Es würde jedoch den Rahmen dieser Studie sprengen, wenn wir auf diese Grundfragen näher eingehen. Es sei nur darauf hingewiesen, dass Pervasive Computing das Potenzial hat, gesellschaftliche Moral zu verändern, etwa bei der Grenzziehung zwischen dem Privaten und dem Öffentlichen.

Heute ist das Vorsorgeprinzip Bestandteil zahlreicher nationaler Gesetzgebungen und internationaler Vereinbarungen. Der Gedanke des Vorsorgeprinzips wird durch die jeweiligen Formulierungen jedoch sehr unterschiedlich interpretiert. Als zwei Extrempunkte einer Skala kann man eine schwache und eine starke Version des Vorsorgeprinzips unterscheiden (vgl. Sandin 1999, Van den Daele 2001, Rogers/Wiener 2002, Rippe 2003).

In der schwachen Ausprägung des VSP werden Vorsorgemaßnahmen nur ergriffen, falls große irreversible Risiken vorliegen könnten und deren wissenschaftliches Nachweisniveau hoch ist. Es müssen außerdem nur Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, die geringe Kosten verursachen.

Gemäß der starken Ausprägung des VSP (das andere Extrem) sollen hingegen Vorsorgemaßnahmen schon dann ergriffen werden, wenn spekulative Hinweise auf Risiken vorliegen. Die Risiken müssen nicht hoch und irreversibel sein. Vorsorgemaßnahmen werden unabhängig von ihren Kosten (z.B. entgangener Nutzen einer Technologie) ergriffen.

Die in Gesetzen und internationalen Vereinbarungen festgeschriebenen Ausprägungen des Vorsorgeprinzips liegen zwischen den beiden Extrempunkten. Die Kernfrage lautet stets: Welcher Wissensstand (bzw. Nachweisniveau) über ein Risiko reicht aus, um welche Vorsorgemaßnahmen umzusetzen?

Tabelle 2-1: Starkes und schwaches Vorsorgeprinzip als zwei extreme Ausprägungen.

	Schwaches VSP: Vorsorgemaßnahmen werden ergriffen nur wenn	Starkes VSP: Vorsorgemaßnahmen werden ergriffen auch wenn
Ausmaß der Bedrohung	große irreversible Risiken vorliegen könnten	kleinere reversible Risiken vorliegen könnten
Ausmaß des Nicht-Wissens	das wissenschaftliche Nachweisniveau hoch ist	nur spekulative Hinweise existieren
Ausmaß des Handelns	die Kosten für Vorsorgemaßnahmen niedrig sind	wenn die Kosten für Vorsorgemaßnahmen hoch sind
Wie obligatorisch ist die Anwendung des Vorsorgeprinzips	Es kann gehandelt werden	Es muss gehandelt werden

Das Spektrum der Vorsorgemaßnahmen reicht über die sorgfältige Beobachtung der Entwicklung einer Technologie über die Umkehr der Beweislast bis hin zu einem Verbot.

In der Situation der Ungewissheit gibt Hans Jonas (1979) der "schlechten Prognose" den Vorrang und argumentiert, dass in der Technikentwicklung gleich wie in der

Evolution die Wahrscheinlichkeit für einen Treffer eher klein sei. Die Evolution könne sich hingegen unzählige Irrtümer leisten, da sie sich im Gegensatz zur Technikentwicklung in kleinen Schritten vortaste. Außerdem führt Jonas die Eigendynamik technischer Entwicklungen an und stellt die Frage, ob das Gegebene unwert genug sei, „um jedes Wagnis möglicher Verbesserung auf sich zu nehmen“ (Jonas, 1979, S. 75).

Wir sind der Meinung, dass die Antwort auf die Kernfrage zum einen stark vom potenziellen *Ausmaß der Bedrohung* abhängt. Zum anderen muss aber letztlich die Gesellschaft bewusst abwägen können, welches Wagnis sie eingehen möchte. Dies ist nur durch partizipative Ansätze der Technologiefolgenabschätzung zu erreichen.

Basierend auf den Erfahrungen mit ungewissen Risiken in der Vergangenheit (EEA 2001), scheint es uns außerdem wichtig, dass *wissenschaftliche Minderheitsmeinungen* als mögliche Frühwarnsysteme beachtet und geschätzt werden.

In diesem Sinne werden wir das VSP in dieser Studie anwenden.

2.1.4 Internationale Trends

Die Europäische Umweltagentur sieht eine wachsende gesellschaftliche Zustimmung zum VSP als Reaktion auf eine wachsende Spannung zwischen zwei Aspekten der modernen Naturwissenschaften (EEA, 2001):

- wachsende Innovationskraft
- begrenzte Möglichkeiten, die Konsequenzen der Innovationen im Voraus abzuschätzen.

Außerdem hat auch die außergewöhnliche Entwicklung der Kommunikationstechnik dazu beigetragen, dass die Öffentlichkeit immer besser in der Lage ist, neuartige Risiken zu erfassen, bevor diese wissenschaftlich vollständig geklärt sind (EU, 2000). Auf EU-Ebene und in zahlreichen Mitgliedsländern nimmt die Bedeutung des VSP heute weiter zu (Ammann/Vogel, 2001).

Als eine Reaktion auf die Skepsis gegenüber neuen Technologien und auf die Ungewissheit und Ungleichheit in der modernen Gesellschaft besteht international ein Trend, in der Technologiefolgenabschätzung (TA) vermehrt partizipative Verfahren einzusetzen (EUROPTA, 2000, Joss/Bellucci 2002). Risiken werden durch die Einbeziehung verschiedener Perspektiven und Erfahrungen verringert: „Sowohl im Prozess der Wissensproduktion als auch bei der Einführung von neuen Technologien [...] kann eine breite Beteiligung zivilgesellschaftlicher Akteure risikomindernd wirken“ (WBGU, 1998, S. 315).

Auch wenn wir im eng begrenzten Rahmen dieser Studie keine partizipativen Verfahren einsetzen konnten, so tragen wir diesen Gedanken durch die Berücksichtigung von Minderheitsmeinungen im Kapitel Gesundheit und durch breit angelegte Expertenworkshops mit Vertretern nicht nur verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen, sondern auch verschiedener Interessengruppen Rechnung.

2.2 Vorsorgeprinzip und Informationsgesellschaft

Das Vorsorgeprinzip, wie es in die Umweltschutzgesetzgebung Eingang gefunden hat, ist an der Kausalkette Emission-Transmission-Immission orientiert (siehe Abb. 2-1). Ein wesentlicher Gedanke des so verstandenen VSP ist es, schädliche Einwirkungen *an der Quelle* zu begrenzen, also die Emission zu minimieren und somit in der Wirkungskette möglichst weit vorne anzusetzen.

Es stellt sich die Frage, ob dieser Ansatz auch für Probleme, die sich im Zusammenhang mit der breiten Verwendung von ICT stellen können, angemessen ist, oder ob er für diesen Zweck einer Erweiterung bedarf. Wir diskutieren diese Frage an drei Beispielen.

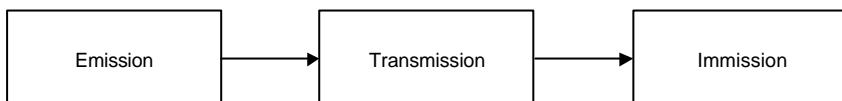


Abbildung 2-1: Die Kausalkette Emission – Transmission – Immission

Beispiele

Beispiel 1: Stand-By-Stromverbrauch von Unterhaltungselektronik

Mit dem Aufkommen der Fernbedienungen für Fernseher, Stereoanlagen usw. haben sich Geräte in großer Zahl verbreitet, die ohne besondere Gegenmaßnahmen des Benutzers dauernd Strom verbrauchen. Schon 1990 summierten sich die Stand-By-Verluste von Elektronikgeräten auf knapp 2 % des gesamten schweizerischen Stromverbrauchs (Bachmann, 1993). Wie hätte dieses Problem vorsorglich verhindert werden können? Das VSP gemäß Umweltschutzgesetz würde auf Maßnahmen an den Elektrizitätswerken als Quellen von schädlichen Einwirkungen abzielen.⁶ Nach einem intuitiven Verständnis von Vorsorge würde man jedoch nicht nur erwarten, dass elektrischer Strom möglichst umweltfreundlich produziert wird, sondern dass auch vermeidbarer Verbrauch verhindert wird, zumal dann, wenn es (wie in diesem Beispiel) dafür technische Lösungen gibt.

Beispiel 2: NIS-Exposition bei zunehmender Anzahl drahtloser vernetzter Geräte

Für den Fall, dass nichtionisierende Strahlung (NIS) Gesundheitsschäden hervorrufen könnte, hat die Schweiz in der "Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung" (NISV) unter anderem vorsorgliche Emissionsbegrenzungen für ortsfeste Anlagen erlassen. Die Exposition, der ein Benutzer durch das mobile Endgerät (Handy) ausgesetzt ist, ist für ihn selbst um ein Vielfaches höher als die Exposition durch die ortsfesten Anlagen. Personen, die selbst keine Endgeräte benutzen, sind schwächer exponiert. Unter der hypothetischen Annahme, dass sich die Zahl der mobilen Endgeräte vervielfacht (und das ist für Pervasive Computing notwendig), könnte sich aber trotz NISV *auch die Exposition für Nicht-Benutzer erhöhen*. Die Risikowahrnehmung könnte sich ähnlich wie beim "Passivrauchen" entwickeln und zu

⁶ Diese Maßnahmen dürften bereits vollzogen sein.

entsprechenden Gegenreaktionen führen. Im Unterschied zum Rauchen wäre es für die Betroffenen jedoch wesentlich schwieriger, die Verursacher zu identifizieren.

Beispiel 3: Jeder fühlt sich überwacht

Pervasive Computing bietet unter anderem die Möglichkeit, nahezu unsichtbare Mikrofone und Kameras zu verwenden, Visionäre sprechen sogar von "Überwachungsstaub". Durch die angestrebte Allgegenwart vernetzter Elektronik wäre es praktisch unmöglich, unerwünschte Überwachungseinrichtungen von den anderen, erwünschte Dienstleistungen erbringenden Komponenten zu unterscheiden. Nimmt man an, dass einige spektakuläre Fälle von Bespitzelung bekannt werden, könnte dies zu einem allgemeinen Klima des Misstrauens führen, dessen soziale und auch gesundheitliche Auswirkungen kaum absehbar sind. Wie könnte die Gesellschaft solchen Entwicklungen vorsorglich begegnen?

Schlussfolgerungen aus den Beispielen

In allen drei Beispielen ist der *entscheidende Schritt* auf dem Weg zur Verursachung eines (möglichen) Schadens *die Ausbreitung einer Technologie* zusammen mit der *Art ihrer Anwendung*. Wir erweitern deshalb das kausale Modell wie in Abbildung 22 gezeigt. Die ursprüngliche Kausalkette bildet nun den letzten Abschnitt einer längeren Kette, und soziale Auswirkungen (wie in Beispiel 3 illustriert) kommen neu hinzu. Die Anwendung einer Technologie, die sich verbreitet hat, hat Wechselwirkungen sowohl mit dem Verhalten der Benutzer als auch mit der Anwendung anderer Technologien.

Die Ausbreitung einer breit genutzten Technologie ist zwar *theoretisch reversibel*, aber *praktisch irreversibel*. Hat sich eine Technologie erst einmal verbreitet, wären die volkswirtschaftlichen Kosten einer Kurskorrektur sehr hoch, sofern überhaupt die rechtlichen Voraussetzungen dafür gegeben wären. Wir sprechen in einem solchen Fall von *sozioökonomischer Irreversibilität*.

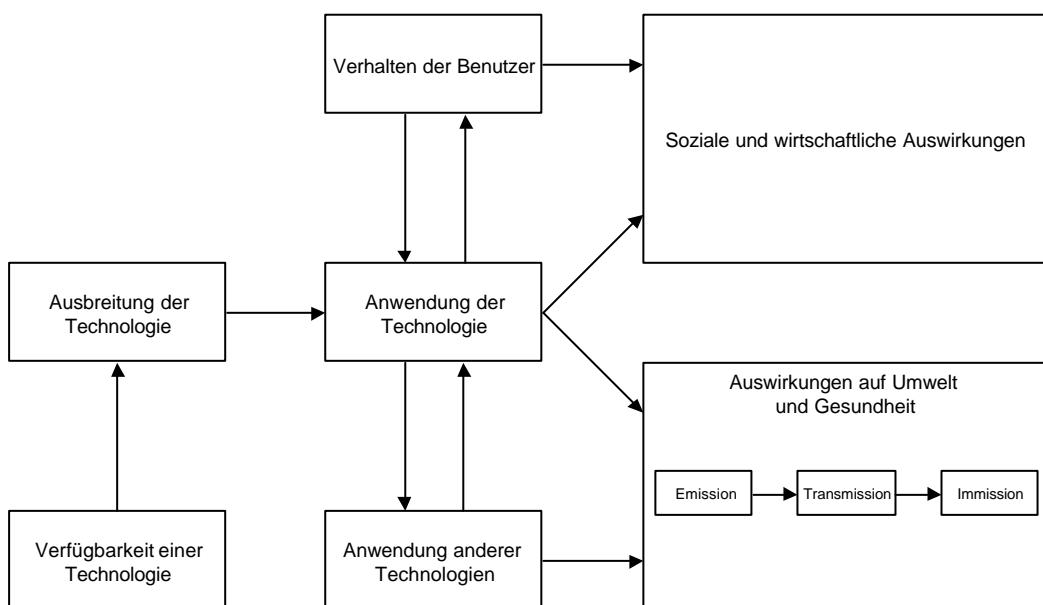


Abbildung 2-2: Erweitertes Kausalmodell für die Auswirkungen neuer Technologien

Aus diesem Grund muss im Falle von Technologien wie ICT, die sehr breit eingesetzt werden, Vorsorge schon vor der Entwicklung und Verbreitung (Diffusion) der Technologien ansetzen. Ein wichtiger Ansatzpunkte für Maßnahmen ist zwar auch das Benutzerverhalten, aber solche Maßnahmen haben eher nachsorgenden als vorsorgenden Charakter.⁷

Zusammenfassend ist festzustellen: Es gibt drei Gründe, weshalb das VSP im Kontext der Informationsgesellschaft nicht nur im Schema "Emission-Transmission-Immission" verstanden werden kann:

1. Die Verbreitung von sehr breit eingesetzten Technologien (Massenprodukten) wie – schon der heutigen – ICT ist sozioökonomisch irreversibel.
2. Eine hohe Anzahl von Emissionsquellen kann auch bei an der Quelle begrenzten Emissionen zu unerwünschten Immissionen führen. Hinzu kommt, dass die Betroffenen wenig Möglichkeiten haben, sich solchen ubiquitären Risiken gegenüber zu verhalten.
3. Vorsorge gegen soziale Auswirkungen einer Technologie ist nicht mit dem Konzept der "Vermeidung schädlicher Einwirkungen" zu fassen.

Diese Gründe gelten zum Teil auch bei anderen breit genutzten Technologien und sind daher nicht nur im Kontext der Informationsgesellschaft relevant. Sie gelten im Falle von PvC aber in besonderem Masse, weil die massenhafte Nutzung dieser Technologie, ihrer Allgegenwart und die Durchdringung aller Lebensbereiche erklärter Bestandteil der Vision sind.

Diese Feststellung führt auf ein Dilemma hinsichtlich der Vorsorgemaßnahmen, die für die Politik aus einer Abschätzung von Technikfolgen resultieren können:

- Möchte man in einem erweiterten Sinn "an der Quelle" ansetzen, also bereits die Entwicklung und Ausbreitung von Technologien regulieren, besteht die Gefahr von Ineffizienz und von Konflikten, weil die Maßnahmen z.B. als technische Handelshemmnisse gegen internationale Abkommen (WTO) verstößen könnten.
- Unterlässt man dagegen Maßnahmen, die weit vorne in der Kausalkette ansetzen, ist im Falle von "Massentechnologien" keine Vorsorge möglich, sondern nur die nachsorgende Behandlung faktisch irreversibler Zustände.

Ropohl (1996) propagiert deshalb die "innovative Technikbewertung", welche dort ansetzt, wo eine Technologie mit einer Nutzungsiede verbunden wird. "Dies hätte den Vorteil, dass sie schon in frühen Stadien der technischen Entwicklung wirksam werden können und zudem am Ort des umfangreichsten technologischen Wissen erfolgen." (Mehl, 2001, S 112f). Gemäß Ropohl (1996) hat dies aber auch den Nachteil, dass zu diesem frühen Zeitpunkt eine Prognose schwierig ist. Deshalb schlägt er vor, dass die Technikbewertung in einem kontinuierlichen Lernprozess die Technikentwicklung begleitet. "Die innovative Technikbewertung bedarf zwar auch der wissenschaftlichen und politischen Institutionen, aber ist in gleicher Weise auch auf die konstruktive Mitwirkung der industriellen Korporationen und auf die fachlich-verantwortliche Kompetenz der darin tätigen Individuen angewiesen." (Ropohl, 1996, S 269f)

Der Vorteil dieses Ansatzes besteht sicherlich darin, dass die Entwickler einer Technologie frühzeitig am gesellschaftlichen Diskurs beteiligt werden und Verant-

⁷ Dies sei am Beispiel 1 illustriert: Es ist durchaus sinnvoll, den Benutzern zu empfehlen, die Geräte am Netzschalter auszuschalten oder - falls es keinen gibt - den Netzstecker zu ziehen. Aber dies wäre wohl kaum als Vorsorgemaßnahme aufzufassen.

wortung wahrnehmen können. Jedoch ist auch zu bedenken, dass die Unabhängigkeit der Technologiefolgenabschätzung in Frage gestellt ist.

2.3 Nachhaltige Entwicklung

Nachhaltige Entwicklung als politische Leitidee hat ihren Ursprung im Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (WCED, 1987). Der Nachhaltigkeits-Gedanke im Sinne dieses Berichts besagt, dass sowohl eine *intragenerationelle* als auch eine *intergenerationale* Gerechtigkeit Ziel der wirtschaftlichen Entwicklung sein sollen. Die Bedürfnisse der heute lebenden Menschen sollen weltweit befriedigt werden, ohne dass dies auf Kosten zukünftiger Generationen geht. Dies ist bis heute der Kern des Nachhaltigkeitsprinzips.⁸ Bei strikter Auslegung wäre dieses Prinzip "revolutionär", wie Meyer-Abich feststellt. Gerade deshalb enthalte es eine "immanente Garantie der Folgenlosigkeit" (Meyer-Abich, 2001, S. 293).

In den neunziger Jahren haben sich zwei Extrempunkte der Auslegung des Nachhaltigkeitsprinzips herausgebildet.

- *Starke Nachhaltigkeit:* Die Summe des Naturkapitals muss erhalten bleiben, d.h. die Wirtschaft als Nutzer der Natur darf nur von den "Zinsen" des Naturkapitals leben. Damit wäre die Nutzung nicht-regenerierbarer Ressourcen ausgeschlossen, und regenerierbare Ressourcen dürften nur innerhalb ihrer Regenerationsraten genutzt werden.⁹
- *Schwache Nachhaltigkeit:* Die Summe des anthropogenen *und* natürlichen Kapitals muss erhalten bleiben.¹⁰ Das bedeutet, dass Naturkapital beliebig abgebaut werden kann, wenn im Austausch dazu vom Menschen geschaffenes Kapital aufgebaut wird.

In der politischen Diskussion zeigt sich immer wieder, dass ein konsensfähiger Ansatz zwischen den beiden Extrempunkten liegt und stets neu gefunden werden muss. Damit ist Nachhaltigkeit ein zukunftsbezogener gesellschaftlicher Lern-, Such- und Gestaltungsprozess, der durch weitgehendes Unwissen, Unsicherheit und vielfältige Konflikte gekennzeichnet ist, eine „regulative Idee“ (Minsch et al., 1998).

In der Schweiz hat die Nachhaltige Entwicklung Verfassungsrang:

- Mit der Präambel bindet die neue Bundesverfassung von 1999 Volk und Kantone u.a. in die Verantwortung gegenüber künftigen Generationen ein.

⁸ Wir orientieren uns hier an Meyer-Abich (2001), der Nachhaltige Entwicklung gemäß Brundtland-Report als *ein Prinzip* auffasst. Es erscheint uns ungewöhnlich, ob man eher von einer Sammlung von Prinzipien sprechen müsste, was spätere Formulierungen zur Nachhaltigen Entwicklung teilweise nahe legen.

⁹ Das starke Nachhaltigkeitsprinzip würde ausschließen, dass durch den Verbrauch endlicher Ressourcen "ein Wirtschaftsaufschwung erreicht wird, mit dem sich so große technische Fortschritte verbinden, dass danach wieder mit regenerierbaren Ressourcen gewirtschaftet werden kann" (Meyer-Abich, 2001, S. 297).

¹⁰ "Damit sind weitgehende Substitutionen des Letzteren durch das Erstere vereinbar, also z.B. von Meeresufern durch Schwimmbäder, von Kulturlandschaften durch Freizeitparks, von Waldläufen und Spaziergängen durch Fitness-Zentren." (Meyer-Abich, 2001, S. 296)

- Der übergeordnete Zweck der Eidgenossenschaft (Artikel 2) umfasst u.a. "den Einsatz für die dauerhafte Erhaltung der natürliche Lebensgrundlagen und für eine friedliche und gerechte internationale Ordnung".
- Gemäß Artikel 73 (Nachhaltigkeit) haben Bund und Kantone "ein auf Dauer ausgewogenes Verhältnis zwischen der Natur und ihrer Erneuerungsfähigkeit einerseits und ihrer Beanspruchung durch den Menschen andererseits" anzustreben.

Der Bundesrat hat mit seiner "Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002" sechs Leitlinien sowie eine Reihe von Handlungsfeldern und Maßnahmen für die Politik der Nachhaltigen Entwicklung festgelegt (Strategie Nachhaltige Entwicklung, 2002).

Wir orientieren uns an den Leitlinien, um die Auswirkungen des Pervasive Computing zu bewerten. Nicht alle Leitlinien und nicht alle Aussagen zu den einzelnen Leitlinien sind aber für das Thema dieser Studie relevant. Tabelle 22 führt deshalb in der rechten Spalte jene Aspekte stichwortartig auf, die für unsere weiteren Überlegungen aus den nachstehenden Gründen von Bedeutung sein werden.¹¹

- Das Vorsorgeprinzip (Leitlinie 1), hat in dieser Studie eine Sonderstellung als Teil der Zielsetzung.
- Verursacher- und Haftungsprinzip (ebenfalls Leitlinie 1) sind insofern von PvC tangiert, als Feststellung einer Verursachung bzw. die Zuweisung einer Haftpflicht von der weiteren ICT-Entwicklung erheblich beeinflusst werden können. An verschiedenen Stellen dieser Studie werden wir auf dieses Grundproblem zurückkommen (Abschnitte 3.5, 8.7.2).
- Es ist offensichtlich, dass die drei in Leitlinie 2 genannten Dimensionen von der Weiterentwicklung einer Schlüsseltechnologie wie ICT tangiert sind, besonders wenn die Entwicklung einer Vision folgt, die die Durchdringung aller Lebensbereiche zum Inhalt hat. Wir übernehmen jedoch nicht den Gedanken der Gleichwertigkeit der drei „Dimensionen“, weil es sich um drei einander enthaltende Systeme handelt: Die Wirtschaft ist ein Funktionssystem der Gesellschaft (neben Politik, Recht, Wissenschaft, Religion usw.), und die menschliche Gesellschaft ist Teil des ökologischen Systems (neben anderen Populationen). Was ineinander enthalten ist, kann man aber nicht logisch nebeneinander stellen und in ein Gleichgewicht bringen.
- Leitlinie 3 nennt das Problem der Irreversibilität als Eigenheit der Umweltdimension und erwähnt die Veränderung von Klima, Biodiversität und Ozonschicht als Beispiele. Wir werden dieses Kriterium etwas weiter interpretieren und auch schwer umkehrbare gesellschaftliche Entwicklungen, von denen dauerhafte Umweltbelastungen ausgehen können, als irreversible Risiken einstufen („sozio-ökonomische Irreversibilität“).

Die Leitlinien 46 werden bei der Auswahl der Maßnahmen berücksichtigt, die die Studie empfiehlt.

¹¹ Die Tabelle ist kein Ersatz für die Originalformulierung der Leitlinien - die wir hier aufgrund ihrer allgemeinen Zugänglichkeit (www.johannesburg2002.ch) nicht wiedergeben - sondern eine Übersicht über jene ausgewählten Aspekte, die von den Auswirkungen des Pervasive Computing tangiert werden.

Tabelle 2-2: Von den Auswirkungen von PvC tangierte Aspekte aus den Leitlinien der Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002.

Leitlinie	In der Leitlinie erwähnte Aspekte
1. Zukunftsverantwortung wahrnehmen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorsorgeprinzip • Verursacherprinzip • Haftungsprinzip
2. Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft gleichwertig berücksichtigen	<ul style="list-style-type: none"> • ökologische Verantwortung (Verbrauch von Ressourcen, Belastung durch Emissionen bzw. Schadstoffe) • wirtschaftliche Leistungsfähigkeit (Einkommen, Beschäftigung, Wettbewerbsfähigkeit, Innovationskraft) • gesellschaftliche Solidarität (Gesundheit, Sicherheit, Bildung, Rechtsgleichheit und -sicherheit)
3. Eigenheiten der Dimensionen der Nachhaltigen Entwicklung anerkennen	<ul style="list-style-type: none"> • besondere Vorsicht bei irreversibler Zerstörung von Umweltgütern
4. Nachhaltige Entwicklung in alle Politikbereiche einbeziehen	<i>Diese 3 Leitlinien dienen nicht zur Bewertung der Chancen und Risiken, werden jedoch bei der Auswahl der Maßnahmen berücksichtigt, die diese Studie empfiehlt.</i>
5. Koordination zwischen den Politikbereichen verbessern und Kohärenz erhöhen	
6. Nachhaltige Entwicklung partnerschaftlich realisieren	

Zum Zusammenhang von Vorsorge- und Nachhaltigkeitsprinzip

Durch die langfristige Orientierung des VSP und die "Freiraumtheorie" besteht ein direkter Zusammenhang zum Ziel der intergenerationalen Gerechtigkeit des Nachhaltigkeitsprinzips. Das VSP kann somit als eines von mehreren Instrumenten gesehen werden, das Nachhaltigkeitsprinzip umzusetzen.

Auch Rausch (1985) und Rehbinder (1991) erkennen im Nachhaltigkeits- und im Vorsorgeprinzip die gemeinsame Absicht, die Übernutzung der Natur nicht nur hinauszuzögern, sondern permanent zu verhindern.

Norton (1992) sieht im Vorsorgeprinzip eine Möglichkeit, das Nachhaltigkeitsprinzip vor der befürchteten Folgenlosigkeit zu bewahren.

Die Abschlussdeklaration der "United Nations Economic Conference for Europe" betonte schon 1990 die Rolle des VSP als notwendige Voraussetzung für Nachhaltige Entwicklung: "In order to achieve sustainable development, policies must be based on the precautionary principle [...] Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty should not be used as a reason for postponing measures to prevent environmental degradation." (Bergen Declaration, 1990).

2.4 Nachhaltigkeit und Informationsgesellschaft

Nachhaltigkeit in der Informationsgesellschaft ist ein neueres Forschungsgebiet, das sich auf die Folgen der Informations- und Kommunikationstechnologie (ICT) für das Ziel der Nachhaltigen Entwicklung konzentriert. Dies umfasst sowohl die Hoffnung auf eine weitgehend dematerialisierte Wertschöpfung durch ICT als auch die ökologischen Folgen von ICT-Produktion, -Nutzung und -Entsorgung sowie Rebound-Effekte¹² von Effizienzverbesserungen (Heiskanen et al., 2001; Herring, 2002; Hilty, 2002a, 2002b; Türk et al., 2002).

Nachhaltige Entwicklung wird auf diesem Gebiet hauptsächlich unter dem *ökologischen* Aspekt betrachtet, weil hier der größte Nachholbedarf besteht: Bis vor wenigen Jahren wurden positive oder negative ökologische Auswirkungen der ICT kaum diskutiert (soziale Auswirkungen dagegen seit den siebziger Jahren¹³). Dies ist erstaunlich, weil der von ICT angetriebene ökonomische Strukturwandel gerade auch auf ökologischem Gebiet große Veränderungen mit sich bringt.

In jüngerer Zeit wurden Fragen der Nachhaltigkeit in der Informationsgesellschaft durch das wachsende Problem des Elektronikschrotts (BAN, 2002) sowie durch Berichte über große Materialverbräuche zur PC-Produktion und hohen Energiebedarf des Internet aufgeworfen (vgl. Türk et al., 2002).

Abgesehen von diesen Auswirkungen der ICT ist der Gedanke der Nachhaltigkeit in der Informationsgesellschaft aber vor allem durch eine Hoffnung geprägt: Die Möglichkeit einer weitgehenden Dematerialisierung der Wertschöpfung durch den Einsatz von ICT. Als Dematerialisierung wird eine Reduktion der Material- und Energieintensität von ökonomischen Prozessen (Produktion, Transport, Konsum, Entsorgung) bezeichnet. Die Notwendigkeit der Dematerialisierung wurde in den achtziger Jahren bewusst, als nach den Mikrogrammen der toxischen Stoffe auch die Megatonnen der regulären Massenströme in den Blick des Umweltschutzes kamen: „Considering the fact that for every person in the United States we mobilize 10 tons of materials and create a few tons of waste per year, it is clearly important to gain a better understanding of the potential forces for dematerialization. Such understanding is essential for devising strategies to maintain and enhance environmental quality, especially in a nation and a world where population and the desire for economic growth are ever increasing“ (Herman et al., 1990, S. 346).

Seit Mitte der neunziger Jahre werden in der Nachhaltigkeitsdiskussion Schätzungen diskutiert, nach denen die Materialintensität pro Wertschöpfungseinheit um einen Faktor 4 bis 10 verringert werden müsste, soll der Lebensstil des reichen Nordens auf den ganzen Globus übertragbar sein. Die Vereinbarkeit der beiden Kernpostulate der Nachhaltigen Entwicklung, inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit, hat also Dematerialisierung als *notwendige Voraussetzung*.¹⁴ Die technische Realisierbarkeit dieses Ziels wird in der Regel nicht bezweifelt (von Weizsäcker et al., 1995).

¹² Zum Rebound-Effekt siehe auch Kapitel 6.

¹³ Soziale Aspekte der ICT bzw. der Informatik sind schon seit den siebziger Jahren Gegenstand der Forschung und dominieren den Diskurs über Ethik und ICT (vgl. Abschnitt 2.5 und Hilty, 2002c).

¹⁴ Jedoch ist es keine hinreichende Voraussetzung. Das bedeutet: Ohne Dematerialisierung wird es keine Nachhaltige Entwicklung geben, aber es müssen noch andere Voraussetzungen erfüllt sein. Dazu gehört insbesondere die Überwindung zu großer sozialer Ungleichheit sowohl in einzelnen Ländern als auch global. Siehe zu diesem Punkt auch Radermacher (2002).

Eine solche Dematerialisierung kann durch ICT wesentlich unterstützt oder ermöglicht werden durch (Heiskanen et al., 2001; Hilty/Ruddy, 2002):

- Optimierung von Prozessen und Produkten hinsichtlich Material- und Energieeffizienz
- Organisation innovativer Dienstleistungen und wachsender Anteil von Informationsdienstleistungen an der Wertschöpfung
- Vermeidung von Verkehr durch Telekommunikation

Gerade die Idee, anstelle von Sachgütern nur deren Nutzung, also Dienstleistungen zu verkaufen („pay per use“) wird durch PvC in vielen Fällen erst praktikabel (Bohn et al., 2002).

Diese Ziele werden aber nicht durch das Vorhandensein der bloßen technischen Möglichkeit erreicht; es handelt sich lediglich um Potenziale. Damit sie sich realisieren, müssen eine Reihe von nicht-technischen Voraussetzungen erfüllt sein. Dazu gehören z.B. eine menschengerechte Gestaltung der Technik und die Grobsteuerung der Entwicklung über die Rahmenbedingungen durch die Politik.

Als Schlussfolgerung ist festzuhalten: Interpretiert man das Nachhaltigkeitsprinzip im Kontext der Informationsgesellschaft, lässt sich daraus eine „Maxime der Dematerialisierung“ ableiten: *Informations- und Kommunikationstechnologien sollen so eingesetzt werden, dass ihr Potenzial zur Dematerialisierung (Verringerung der Material- und Energieumwandlungen bei gleichem Nutzen) sich realisiert.*

Diese Maxime bleibt heute weitgehend unbeachtet oder unwirksam. Das Dematerialisierungspotenzial der ICT realisiert sich nicht; der Weg der Industrieländer in die Informationsgesellschaft ist immer noch ein Weg steigenden Material- und Energieumsatzes pro Kopf der Bevölkerung. Wir kommen auf diesen Punkt in Kapitel 7 zurück.

2.5 Weitere ethische Aspekte der Informationsgesellschaft

Neben der oben diskutierten Frage, wie das Nachhaltigkeitsprinzip im Kontext der Informationsgesellschaft zu interpretieren ist, gibt es eine Reihe von Problemfeldern der Informationsgesellschaft, die seit längerem diskutiert werden. Dabei geht es vor allem um die Prinzipien der traditionellen Ethik, die durch bestimmte Anwendungen von ICT tangiert sind: Achtung der Menschenwürde, Fürsorge, soziale Gerechtigkeit.

Die ICT-relevanten Berufsverbände (v.a. Informatikorganisationen) haben in den siebziger Jahren den Diskurs über "Ethical Aspects of Computing" eröffnet. Unter dem Einfluss des Internet hat dieser Ableger gebildet wie "Cyberethics" (Spinello/Taviani, 2001), aber auch zu umfassenderen Ansätzen geführt wie "Information Ethics" (Floridi, 1998; Nethics 2001; Kuhlen, 2002).

Die "International Federation for Information Processing" (IFIP), der globale Dachverband der Informatikorganisationen, hat 1976 ein Technical Committee zum Thema "The Relationship between Computers and Society" (IFIP TC 9) gegründet, das den vielen nationalen Organisationen den Anstoß gab, die soziale Verantwortung von ICT-Berufen zu diskutieren und ethische Leitlinien für ihre Mitglieder zu entwickeln. Ein Meilenstein war die Verabschiedung des "ACM Code of Ethics and Professional Conduct" durch die "Association for Computing Machinery" (ACM) im Jahr 1992.

"Since our way of communication and information handling is **the** outstanding characteristic distinguishing us from other beings, significant changes in the apparatus (viz. organs) and the mechanisms of perception, thinking, feeling, memory and communication are bound to have a profound impact on our civilization and culture."

Albert Kündig (Kündig, 2002).

Die IFIP Ethics Task Group hat 30 "Codes of ethics" oder "Codes of conduct" analysiert und einen Rahmen für die Entwicklung solcher Ethikrichtlinien durch Berufsverbände entwickelt. Die Idee, einen einheitlichen, weltweit gültigen Code anzustreben, wurde bewusst nicht verfolgt (Berleur/Brumstein, 1996).¹⁵ Nachdem das Internet neue ethische Fragen aufgeworfen hatte, erarbeitete die IFIP den Report "Ethics and the Governance of the Internet" (Berleur et al., 1999).¹⁶

Es sind fünf Themen, die aufgrund ihrer ethischen Implikationen und Konflikte in diesen Diskussionen immer wiederkehren:

1. Datenschutz (Privacy): Wo endet die Freiheit des Einzelnen, Daten zu sammeln, im Konflikt mit dem Recht auf informationelle Selbstbestimmung (das sich aus dem Autonomieprinzip ableitet)?
2. Sicherheit (Security): Welches Niveau an Sicherheit eines Informatiksystems muss garantiert werden können, damit es verantwortbar ist, das System einzusetzen? Wer ist für Sicherheitsmängel verantwortlich? Ist es ein krimineller Akt oder ein Dienst an der Gesellschaft, Sicherheitsmängel aufzuspüren und publik zu machen?
3. Unbeherrschte Komplexität (Unmastered Complexity):¹⁷ Bei komplexen, insbesondere bei verteilten Informatik-Systemen ist es in der Regel nicht möglich, bestimmte Eigenschaften dieser Systeme formal zu garantieren. Resultiert aus der zunehmenden Abhängigkeit von solchen Systemen ein Verlust der Verantwortbarkeit von Entscheidungen („Inkontinenzproblem“¹⁸)?
4. Freie Meinungsäußerung (Free Speech): Wo stößt das Recht auf freie Meinungsäußerung bei der Nutzung elektronischer Medien an Grenzen, weil es mit anderen Grundrechten in Konflikt kommt? Darf oder soll es eine Zensur von Inhalten des Internet geben?
5. Geistiges Eigentum (Intellectual Property): Wo verläuft die Grenze zwischen Information als öffentlichem Gut, das aus Gründen der sozialen Gerechtigkeit

¹⁵ Die "Codes" und Zusatzinformationen sind über eine Website zugänglich (Lee, 1995).

¹⁶ Die Schweizer Informatikorganisationen haben keine ethischen Leitlinien entwickelt, es gibt jedoch eine Fachgruppe „Informatik und Gesellschaft“ in der SI. Die deutsche Informatik-Organisation „Gesellschaft für Informatik“ (GI), die im gesamten deutschsprachigen Raum 25 000 Mitglieder vertritt, überarbeitet zur Zeit ihre Ethik-Leitlinien mit dem Ziel, neben individualethischen auch kollektivethische Implikationen einzubeziehen.

¹⁷ Der Ausdruck "unmastered complexity" wurde von Dijkstra (1982) geprägt.

¹⁸ Dieser Ausdruck geht auf Mitcham (1986) zurück.

jedem zugänglich sein muss, und geistigem Eigentum, über das ein Eigentümer autonom verfügen kann?

Weitere Probleme der Informationsgesellschaft mit ethischen Implikationen werden erst seit wenigen Jahren oder noch nicht in vergleichbarer Breite diskutiert (siehe auch Kündig, 2002, und Hilty, 2002c):

6. Digitale Spaltung (Digital Divide): Die Gefährdung der sozialen Gerechtigkeit durch die Spaltung der Gesellschaft in Personen, die Zugang zur Informationsgesellschaft haben, und Ausgeschlossene, z.B. Haushalte mit niedrigem Einkommen, ältere Menschen, Behinderte (auch als "Global Digital Divide" als Gefälle zwischen Nord und Süd).
7. Ausbildung (Education): Die Veränderung des Ausbildungsprozesses durch ICT-Einsatz und deren Folgen für die soziale Gerechtigkeit.
8. Gleichstellung der Geschlechter (Gender Issues).¹⁹ Wie verändert die Anwendung von ICT am Arbeitsplatz und im Privatleben die soziale Gerechtigkeit zwischen den Geschlechtern?
9. Kulturelle Diversität (Cultural Diversity): Wie wirkt sich ICT auf die soziale Gerechtigkeit zwischen verschiedenen Kulturen aus (z.B. Dominanz der englischen Sprache), wird die kulturelle Diversität für zukünftige Generationen erhalten bleiben?
10. Kulturelles Erbe (Cultural Heritage): Können zukünftige Generationen noch an unserem Wissen teilhaben, wenn heutige digitale Speichermedien in Zukunft nicht mehr lesbar sein werden?
11. Abhängigkeit und Vertrauen (Dependability and Trust): Bedroht die zunehmende Abhängigkeit von ICT-Infrastrukturen die Autonomie des Individuums? Werden wir aufgrund der Komplexität der Strukturen gezwungen, zu vertrauen, ohne ausreichende Möglichkeiten der Nachprüfung zu haben?²⁰
12. Nachhaltigkeit in der Informationsgesellschaft (Sustainability in the Information Society): wie oben in Abschnitt 2.4. gesondert behandelt.

Diese 12 Problemfelder sind in der Entwicklung der Informatik zwischen der Zeit der Mainframe-Computer und der heutigen, von PC und Internet dominierten ICT ins Bewusstsein der (Fach-)Öffentlichkeit getreten. Es stellt sich daher die Frage, was sich durch PvC spezifisch verändern wird. Tabelle 2-3 zeigt die Einschätzung der Projektgruppe in Bezug auf diese Frage. Ohne die Relevanz dieser 12 Probleme an sich in Frage zu stellen, werden in dieser Studie nur diejenigen weiterverfolgt, bei denen von PvC eine spezifische Veränderung zu erwarten ist. Dies ergibt sich aus der Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes. Sie werden in die Gesamtschau der Chancen und Risiken im Kapitel 8 einbezogen und dort weiterbehandelt.

Obwohl bei den Themen „geistiges Eigentum“ und „Kulturelle Diversität“ eine spezifische Veränderung der Situation durch PvC zu erwarten ist, werden sie nicht weiterbehandelt; dies würde den Rahmen dieser Studie weit überschreiten.

¹⁹ Das IFIP TC 9 hat im Jahr 2000 eine Arbeitsgruppe "Women and Computer" gegründet.

²⁰ Siehe auch das Zitat von K. Brunnstein im Abschnitt 8.5

Tabelle 2-3: Abschätzung des Veränderungspotenzials von Pervasive Computing im Vergleich zur heutigen Anwendungsform von ICT in den ethisch relevanten Problemfeldern.

Problemfeld	Veränderungspotenzial PvC	Gründe
Datenschutz	sehr hoch	Höherer Vernetzungsgrad, Allgegenwart, Unsichtbarkeit, Kontextsensitivität (Sensoren)
Sicherheit	sehr hoch	Höhere Abhängigkeit, höherer Vernetzungsgrad (Verletzlichkeit der Netze), Komplexität
Unbeherrschte Komplexität	sehr hoch	Höherer Vernetzungsgrad, neue Funktionen, dezentrale Strukturen
Freie Meinungsäußerung (Free Speech)	gering	Der Schritt zum Internet war entscheidend, PvC fügt dem nichts Wesentliches hinzu
Geistiges Eigentum (Intellectual Property)	mittel	Der Schritt zu Digitalisierung und Internet/WWW war entscheidend, PvC weitet das Problem auf „smarte“ Gegenstände aus
Digitale Spaltung (Digital Divide)	hoch	Benutzerschnittstellen und Verbreitung von ICT werden sich durch PvC verändern
Ausbildung (Education)	gering	Es stellen sich die gleichen Fragen wie heute bei der Rolle von PC und Internet als Lernmittel
Gleichstellung der Geschlechter (Gender Equality)	mittel	Höhere Ortsunabhängigkeit von Aktivitäten erleichtert Verbindung von Beruf und Familie
Kulturelle Diversität (Cultural Diversity)	mittel	Der Schritt zum Internet/WWW war entscheidend, PvC setzt den Trend fort ²¹
Kulturelles Erbe (Cultural Heritage)	gering	Der Schritt zur Digitalisierung war entscheidend, PvC fügt dem nichts Wesentliches hinzu
Abhängigkeit & Vertrauen (Dependability & Trust)	sehr hoch	Höhere Durchdringung des Alltags, höhere Komplexität, Nachprüfbarkeit nimmt stark ab
Nachhaltigkeit in der Informationsgesellschaft	hoch	Hohes Dematerialisierungspotenzial (siehe Abschnitt 2.4 und weiterführend Kap. 7)

²¹ Zwar werden Alltagsgegenstände zu Medien, was sicherlich weitreichende und schwer vorauszusehende kulturelle Auswirkungen haben kann. (Eine Frage, deren Untersuchung eine eigene Studie erfordern würde.) Die Bedrohung der kulturellen Diversität ergibt sich jedoch primär aus der globalen Vernetzung, einem Schritt, der mit dem Internet bereits vollzogen ist.

2.6 Fazit: Ein normativer Rahmen für diese TA-Studie

Aus den vorstehenden Überlegungen ergibt sich der folgende normative Rahmen für die Abschätzung der Folgen von PvC als zukünftige Anwendungsform von ICT:

1. Vorsorgeprinzip: Entsprechend dem Vorsorgeprinzip werden auch Risiken in Betracht gezogen, die nach dem Stand des Wissens nicht nachgewiesen sind. Bei der Charakterisierung der Risiken und Ableitung von Maßnahmen wird auch die "sozioökonomische Irreversibilität" der Ausbreitung der Technologie berücksichtigt, d.h. der betrachtete Abschnitt der Kausalkette beginnt nicht erst am technischen Produkt.
2. Nachhaltigkeit: Mögliche Auswirkungen werden an ihrem positiven oder negativen Beitrag zum Ziel der Nachhaltigen Entwicklung gemessen. Konkret orientiert sich die Studie hier an den Leitlinien der Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002 des Bundesrates und an der Maxime der Dematerialisierung.
3. Besondere Problemfelder: Einige als besonders relevant identifizierten Problemfelder aus dem Ethikdiskurs der Informatik werden in die weiteren Überlegungen miteinbezogen, auch wenn sie nicht im engeren Sinne Gesundheits- oder Umweltwirkungen betreffen. Es handelt sich um soziale oder übergeordnete Aspekte: Datenschutz, Sicherheit, Unbeherrschte Komplexität, Digitale Spaltung, Gleichstellung der Geschlechter, Abhängigkeit und Vertrauen.

3 Technologische Entwicklungen

Siegfried Behrendt, Lorenz Erdmann, Felix Würtenberger

Die Triebkräfte hinter dem Trend zum Pervasive Computing (PvC) liegen in technologischen Entwicklungen. Zu den wesentlichen Einflussfaktoren, die im folgenden dargestellt werden, gehört die stetige Leistungssteigerung der Mikroelektronik. Fortschritte der Mikrosystemtechnik und zunehmend auch der Nanotechnologie schaffen technologische Voraussetzungen speziell für die Kontextsensitivität, die als eines der fünf Merkmale von PvC eingeführt wurde (siehe auch Abschnitt 1.1). In der Kommunikationstechnik zeichnen sich Entwicklungen ab, die zukünftig die Vernetzung von Alltagsgegenständen ermöglichen. Wichtig sind neben Festnetzen die drahtlosen Netze, sowohl lokal als auch großräumig. Hinzu kommen Netzwerkprotokolle für verteilte Systeme oder für ad-hoc-Netze, die eine spontane Vernetzung von Objekten in räumlicher Nähe ermöglichen. Wichtig sind auch neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion, die ohne Bildschirm, Tastatur oder Maus den Umgang mit immer kleinerer Computertechnik ermöglichen.

3.1 Mikroelektronik: leistungsfähiger, kleiner und billiger

Die Fortschritte in der Mikroelektronik führen zu einem permanenten Leistungszuwachs bei gleichzeitigem Preisverfall der ICT. Nach dem "Moore'schen Gesetz" vervierfacht sich die Speicherkapazität der Chips alle drei Jahre. Miniaturisierung und Verbilligung elektronischer Schaltkreise führen dazu, dass Mikroprozessoren zunehmend "unsichtbar" in andere Produkte integriert werden können. Auch einfache Hausgeräte werden dadurch "intelligent" und durch Vernetzung mit anderen Geräten "kommunikationsfähig".

Neben der Leistungssteigerung sind Fortschritte beim Prozessordesign zu verzeichnen, die speziell für mobile Anwendungen benötigt werden. Dazu gehört ein effizientes Power-Management, das die Taktfrequenz und die Kernspannung²² der Situation anpasst. Neuere Konzepte ermöglichen es, Teile der Zentraleinheit (CPU) abhängig von den ausgeführten Operationen ein- und auszuschalten.

Heute wird bereits mit drahtlos vernetzten Kleinstcomputern im Format 4 x 4 x 2 mm so genannten E-Grains, experimentiert (etwas übertrieben bereits als „elektronische Staubkörner“ oder „Smart Dust“ bezeichnet). Die Energieversorgung soll zukünftig über Infrarot-Strahlung oder durch Nutzung von Temperaturgradienten erfolgen. Ein Sensor-Aktor-System sowie eine HF-Antenne sind die externen Schnittstellen der E-Grains, die sich zu ad-hoc-Netzwerken formieren. Es wird daran gedacht, sie als "intelligente Wandfarbe" einzusetzen, die alle Gegenstände im Raum miteinander vernetzt (Reichl, 2001).

Diese Vision zeigt, wie eng im Denken der Entwickler die Miniaturisierung mit der Anwendung großer Stückzahlen der Mikrochips verbunden ist. Dies ergibt sich zwingend aus der Tatsache, dass der Entwicklungsaufwand mit der Miniaturisierung

²² Versorgungsspannung des CPU-Kerns. Pentium III-Prozessoren arbeiten z.B. mit 1,65 Volt.

ansteigt. Damit würden bei gleich bleibenden Stückzahlen die Stückkosten ansteigen, was dazu führen würde, dass der Markt sie nicht aufnimmt. Die Miniaturisierung schreitet daher nur unter der Voraussetzung voran, dass der Absatzmarkt sich entsprechend ausweitet, sei es geographisch oder durch neue Anwendungsformen, für die die Vision der „intelligenten Wandfarbe“ vielleicht ein Extrembeispiel darstellt.

In ungefähr zehn Jahren dürfte die Siliziumtechnologie an ihre Grenzen stoßen. Während 1995 die Strukturgröße von Mikrochips bei rund 35 Mikrometern (μm) lag, wird sie etwa im Jahr 2011 bei 50 Nanometern (nm) liegen (SIA, 2002). Dies entspricht einer Verkleinerung um den Faktor 700 in 16 Jahren.

Bei diesen immer feiner werdenden Strukturen in der Mikroelektronik versagt unterhalb von 50 nm die klassische Beschreibung der Elektronenbewegung, die Welleneigenschaft von Elektronen macht sich zunehmend bemerkbar. Wenn die Entwicklung elektronischer Komponenten diesen Bereich erschließt, müssen auch quantenmechanische Effekte berücksichtigt werden. Dies stellt einerseits ein Problem für die eingeführte Siliziumtechnologie dar, bietet andererseits aber zukünftig die Möglichkeit des Aufbaus grundlegend neuer Funktionselemente. Mit dem „Quantencomputer“ sollen Quanteneffekte für künftige Rechnermodelle nutzbar gemacht werden.

Für das Pervasive Computing sind vor allem Speicherbausteine erforderlich, die als Kostenfaktor kaum noch eine Rolle spielen. Wichtige Impulse sind dazu von der Polymerelektronik zu erwarten. Seit mehreren Jahren werden Technologien zum Aufbringen und Strukturieren von Polymeren erprobt, um Bauelemente herzustellen und zu verkapseln. Ein Schwerpunkt bildet dabei die Herstellung kostengünstiger Plastikchips. Der Vorteil von Polymer-Speicherchips ist der wesentlich einfachere Herstellungsprozess im Vergleich zu Speicherchips auf Siliziumbasis. Wiederbeschreibbare Speicherbausteine in dieser Technik haben den weiteren Vorteil, dass der Speicherinhalt auch ohne Versorgungsspannung erhalten bleibt.

Neben großer Entwicklungsaufgaben auf dem Gebiet der Materialforschung und der Optimierung von Fertigungsverfahren wird an vollpolymeren Transpondern in Rolle-Zu-Rolle-Fertigungstechnologie geforscht. Diese Transponder können als universelle Informationsträger (Smart Labels) aufgedruckt werden. Tendenziell könnte so die Polymertechnik "intelligente Verpackungen" zu sehr geringen Kosten möglich machen (siehe auch Abschnitt 4.7).

Kunststoffchips werden nur in geringem Maße mit Siliziumchips konkurrieren, vielmehr werden Synergieeffekte erwartet: „Die Kombination von dünnen Silizium-Chips, Sensoren und Aktoren mit polymerbasierter Aufbau- und Verbindungstechnik und der Polymerelektronik auf verschiedenen Substraten ermöglicht die Einbettung elektronischer Systeme in fast alle denkbaren Gegenstände.“²³

²³ Polytronic: Chips von der Rolle, ohne Autorenangabe, 2001 in Fraunhofer Magazin 4/2001

3.2 Vernetzung von Geräten und Gegenständen

Ein Merkmal von PvC ist die Vernetzung einer großen Zahl von Komponenten. Unter den Netzen wird das Internet auch in der "PvC-Ära" eine wichtige Rolle spielen, da es sich zu einer globalen Informations- und Kommunikationsinfrastruktur entwickelt hat. Für die Zukunft ist zu erwarten, dass das Internet mehr und mehr Anwendungen umfassen wird und bis in Alltagsgegenstände hinein "verlängert" wird.

An der ubiquitären Vernetzung kann grundsätzlich das ganze Spektrum der Kommunikationsinfrastruktur beteiligt sein, von satellitengestützten Netzen über Fest- und Mobilfunknetze bis hin zu drahtlosen Netzen im Nahbereich (siehe Abbildung 3-1).

Eine zentrale Rolle spielen dabei drahtlose Technologien, insbesondere wenn nicht ortsfeste Gegenstände vernetzt werden.

In Abhängigkeit von der zu überbrückenden Distanz ist zu unterscheiden zwischen:

- WANs (Wide Area Networks), Distanz bis 100 km.
Im drahtlosen Bereich sind dies vor allem die Mobilfunknetze.
- W-LANs (Wireless Local Area Networks)
Die drahtlosen lokalen Netze dienen vor allem der Vernetzung in Bürogebäuden, Wohnhäusern oder so genannten Hot Spots wie Flughäfen und Hotels und haben typische Reichweiten von 100 m.
- W-PANs (Wireless Personal Area Networks)
Hierunter fallen Anwendungen wie die Vernetzung von portablen Geräten, Wearable Computers, „intelligenten Gegenständen“ usw. im Bereich von 10 m.
- BANs (Body Area Networks), teilweise ebenfalls als (W-)PANs bezeichnet.
Vernetzung von am Körper getragenen Komponenten (Wearables) über Funk oder durch Ausnutzung der Leitfähigkeit des Körpers, im Bereich von 1 m.

Viele dieser Funknetze sind zellular aufgebaut, das heißt es besteht eine Unterscheidung zwischen den mobilen Endgeräten und den ortsfesten Zugangspunkten (oder Basisstationen), die die Kommunikation zwischen den Endgeräten vermitteln und weiterleiten und auch den Zugang zu übergeordneten Netzen ermöglichen. Eine direkte Kommunikation zwischen den Endgeräten („peer-to-peer“) ist in solchen Infrastrukturen nicht möglich.

In jüngerer Zeit gewinnen so genannte ad-hoc-Netze an Bedeutung. So unterstützt beispielsweise der Bluetooth-Standard ad-hoc-Verbindungen. Im Gegensatz zu zellulären Systemen gibt es in ad-hoc-Netzen keinen Unterschied zwischen Basisstationen und Endgeräten. Zwei oder mehr Geräte, die auf den selben Kanal zugreifen, bilden ein so genanntes Pikonet, das heißt ein nur für diese konkrete Kommunikations-situation gebildetes Netz. In diesem Pikonet können die beteiligten Endgeräte kommunizieren, ohne eine ortsfeste Basisstation zu benötigen. Ein ähnliches Prinzip liegt nicht-zellulären Mobilfunkkonzepten zugrunde.²⁴ Dabei sollen spezielle Mobilfunktelefone gleichzeitig als Endgeräte und Basisstationen fungieren und so ein peer-to-peer-basiertes Mobilfunknetz ohne ortsfeste Sendemasten bilden. Die Datenpakete werden von Endgerät zu Endgerät "weitergereicht", bis sie Ihren Empfänger erreichen. Solche ad-hoc-Verbindungen können allerdings nur dann zustande kommen, wenn die räumliche Dichte eingeschalteter Geräte einen kritischen Wert überschreitet.

²⁴ Ein Beispiel ist das Konzept DIRC (Digital Interrelay Communication).

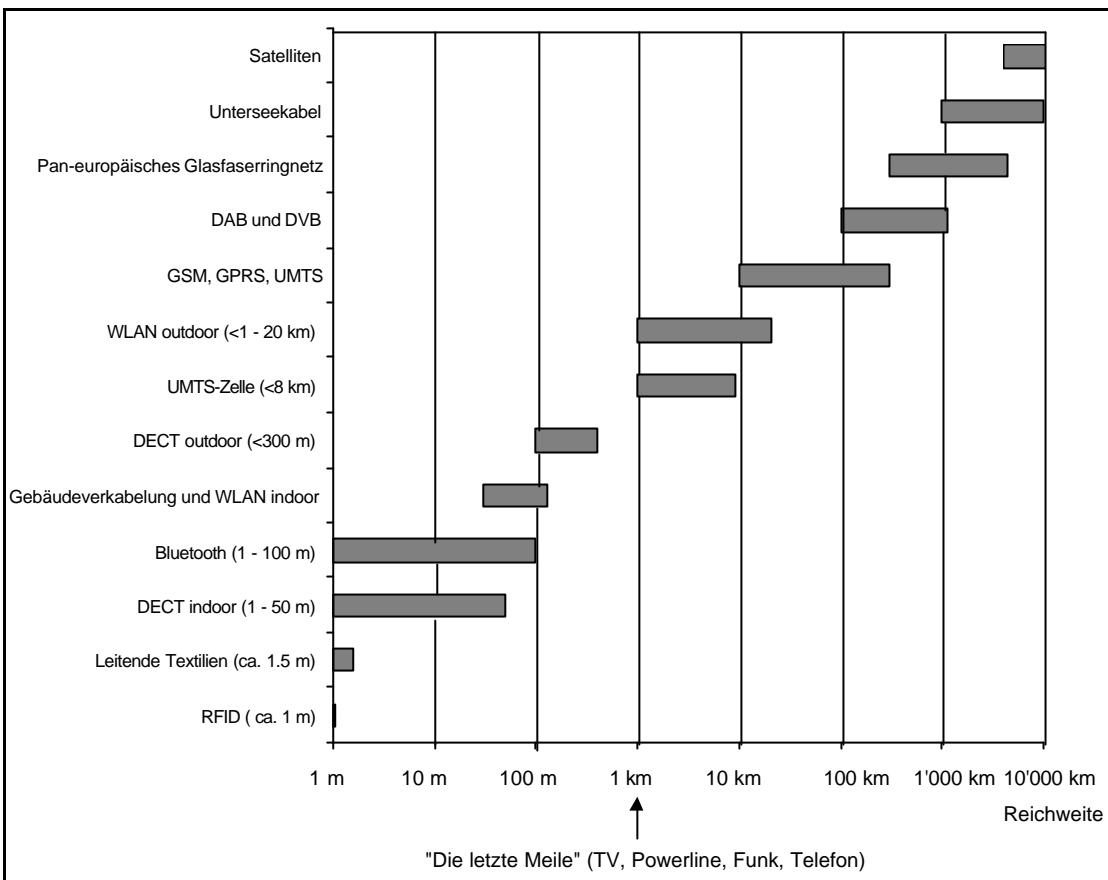


Abbildung 3-1: Überblick über die Netzebenen und Reichweiten der kabel- und funkbasierten Übertragungsinfrastruktur (Abkürzungen siehe Glossar)

Eine Prognose darüber, welche drahtlosen Standards beim Pervasive Computing (PvC) dominieren werden, ist aus mehreren Gründen unsicher:

- Viele Komponenten des PvC existieren noch nicht, deshalb sind noch keine klaren Anforderungsprofile bezüglich Datenübertragung zu erkennen.
- Neue Funktechnologien wie UMTS, IEEE 802.11 oder Bluetooth beginnen gerade erst den Markt zu erobern. Eine Aussage über ihre Bedeutung in zehn Jahren ist schwierig.
- Zusätzlich werden laufend neue Standards entwickelt.

Die Erschließung des Vernetzungspotenzials von Geräten und Gegenständen hängt auch von der weiteren Standardisierung von Netzprotokollen ab. Viele Geräte des PvC werden vermutlich zwar das Internetprotokoll (Ipv6) unterstützen. Für Anwendungen, in denen miteinander verbundene Geräte oder Gegenstände ein Netzwerk bilden, sind aber Netzwerkprotokolle für verteilte Architekturen erforderlich. Hierzu gibt es eine Vielzahl ausgereifter oder in Entwicklung befindliche Systeme wie z.B. Ini, HAVI²⁵, UpnP²⁶ und im weiteren Sinne auch CORBA²⁷. Bisher sind diese Systeme aber noch proprietär und nicht interoperabel. Die Entwicklung von generell akzeptierten, herstellerübergreifenden Standards steht noch aus und verhindert bisher den Durchbruch entsprechender Systeme (Huhn, 2002). Beispielhaft ist der Bereich der Haus-

²⁵ Home Audio Video interoperability

²⁶ Universal Plug'N'Play

²⁷ Common Object Request Broker Architecture

vernetzung zu nennen („Smart Home“), wo zahlreiche verschiedene Netzzugänge existieren. Sobald allgemein akzeptierte Standards gegeben sind, werden netzwerk-fähige Komponenten für einen Massenmarkt in Frage kommen.

Es wird im folgenden versucht, diese Unsicherheiten einzugrenzen und zu plausiblen Annahmen und Abschätzungen zu gelangen.

WANs

Für viele Anwendungen des Pervasive Computing ist der Zugriff auf übergeordnete Netze (für Mobiltelefonie, Internet-Zugang usw.) unverzichtbar. Dieser kann entweder vermittelt über ein lokales Netzwerk (W-LAN Access Point usw., siehe nachfolgenden Abschnitt) oder über Mobilfunknetze erfolgen. Im Mobilfunk dominieren derzeit in Europa noch klar die GSM-Netze²⁸. Mittelfristig werden aber auch UMTS-Netze²⁹ und langfristig die Technologien der vierten Mobilfunkgeneration (4G) eine Rolle spielen.

Üblicherweise sind im Mobilfunknetz Funkdistanzen von wenigen 100 Metern bis mehreren Kilometern zur nächsten Basisstation zu überbrücken. Tabelle 3-1 gibt einen Vergleich zwischen charakteristischen Eigenschaften von GSM- und UMTS-Technologien.

Tabelle 3-1: Eigenschaften von GSM- und UMTS-Netzen

	Trägerfrequenz	Pulsfrequenz	Kanalzugriff	Maximale Reichweite	Maximale Sendeleistung
GSM	0,9 – 1,8 GHz	217 Hz	TDMA (gepulst)	35 km	2000 mW
UMTS	2 GHz	100 Hz ³⁰	CDMA	8 km	125 – 250 mW

Im folgenden werden einige technische Daten von GSM und UMTS dargestellt, die für spätere Abschätzungen im Zusammenhang mit nichtionisierender Strahlung (NIS) wesentlich sind.

GSM

GSM verwendet das Kanalzugriffsverfahren TDMA. Dabei tauschen Basisstation und Mobilfunkgerät Datenpakete auf einer bestimmten Trägerfrequenz aus, wobei mehrere Gespräche über eine Trägerfrequenz übermittelt werden können. Die Trennung der Daten erfolgt durch "Time Division", d.h. durch die Aufteilung in Zeitschlüsse, die sich periodisch wiederholen. Das einzelne Handy erhält genau alle 4,615 ms ein neues Datenpaket. Dies führt zu einer Pulsfrequenz von $1 / 4,615 \text{ ms} = 217 \text{ Hz}$.

Die maximale Sendeleistung eines GSM-Handys beträgt 2 W im 900 MHz-Band und 1 W im 1800 MHz-Band. Die Sendeleistung der Basisstationen liegt in der Größen-

²⁸ Global System of Mobile Communications. Es handelt sich um den ersten digitalen Standard und damit die zweite Generation (2G) für Mobiltelefonie.

²⁹ Universal Mobile Telecommunications System, die dritte Generation (3G) für Mobilfunknetze.

³⁰ Gilt nur für den TDD-Betrieb, der vorwiegend innerhalb von Gebäuden eingesetzt werden soll. Bei FDD-Betrieb ist der Sender nicht gepulst (BAKOM, 2000).

ordnung von 1 bis mehreren Hundert Watt pro Hochfrequenzträger. Üblicherweise werden mehrere Hochfrequenzträger pro Basisstation betrieben.

UMTS

UMTS verwendet das Kanalzugriffsverfahren CDMA³¹. Im Gegensatz zum TDMA³² werden die zu unterschiedlichen Gesprächen gehörenden Datenpakete nicht zeitlich, sondern durch unterschiedliche Codierung getrennt. Dieses Verfahren führt zunächst nicht zu gepulster Strahlung. Allerdings stehen für die Trennung von Hin- und Rückkanal zwei Verfahren zur Verfügung: FDD³³ und TDD³⁴. Die Verwendung von letzterem führt zu einer Pulsfrequenz von 100 Hz.

Die maximale Sendeleistung von UMTS-Handys wird typischerweise 125 bis 250 mW betragen, also ca. 8 bis 16 mal weniger als ein GSM-Handy. Simulationsrechnungen von Herstellern haben ergeben, dass die mittleren Sendeleistungen von UMTS-Geräten sogar nur bei rund 7 mW auf dem Land und rund 0,6 mW in der Stadt liegen werden (BAKOM, 2000).

Neben Internet-fähigen Mobiltelefonen der UMTS-Generation könnte in der Zukunft auch eine Vielzahl anderer Geräte und Alltagsgegenstände online-fähig gemacht werden (Kühlschränke, Waschmaschinen usw.). Damit sollen nicht nur weitere Online-Zugänge geschaffen werden, um das Internet ubiquitär verfügbar zu machen; es geht auch um den Fernzugriff auf Geräte durch deren Besitzer oder den Kundendienst zur Steuerung oder Fernwartung.

Entwicklungsperspektiven im WAN-Bereich

Der derzeitige Entwicklungskorridor für PvC auf dem Gebiet der drahtlosen Kommunikation ist durch die Mobilfunk-Standards GSM (mit den Erweiterungen HSCSD³⁵, GPRS³⁶ und EDGE³⁷ sowie UMTS) geprägt. Auch weitere Technologien wie das System "DIRC"³⁸ für ad-hoc-Funknetze oder die monodirektionalen Standards DAB³⁹ und DVB⁴⁰ könnten eine Rolle im PvC spielen. Letztere erlauben zwar nur eine Einwegkommunikation, könnten aber für die Verbreitung von Informationen eingesetzt werden, die für PvC-Komponenten ubiquitär verfügbar sein sollen, z.B. Wetterdaten.

Große Erwartungen setzen die Mobilfunkbetreiber in UMTS, die dritte Mobilfunkgeneration, die als neuer Standard höhere Datenübertragungsraten, bessere Sprachqualität und höhere Netzkapazitäten ermöglichen soll. Allerdings ist nach den bisherigen technischen und wirtschaftlichen Problemen bei der Einführung von GPRS und dem Aufbau der UMTS-Infrastruktur davon auszugehen, dass die hochgesteckten Ziele zumindest vorerst nicht erreicht werden.⁴¹ Während UMTS noch gar nicht flächen-

³¹ Code Division Multiple Access

³² Time Division Multiple Access

³³ Frequency Division Duplex

³⁴ Time Division Duplex

³⁵ High Speed Circuit Switched Data

³⁶ General Packet Radio Service

³⁷ Enhanced Data Rates for GSM Evolution

³⁸ Digital Inter Relay Communication.

³⁹ Digital Audio Broadcasting

⁴⁰ Digital Video Broadcasting

⁴¹ Dabei wird deutlich dass die hohen Investitionen für UMTS auch vor dem Hintergrund sinkender Margen im Bereich der mobilen Sprachkommunikation nicht allein durch den Mobiltelefondienst zu

deckend eingeführt ist, wird bereits die nächste Mobilfunkgeneration (4G) entwickelt. Möglich sind damit anfangs Übertragungsraten bis zehn Megabit pro Sekunde, die aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht im gesamten Netz zur Verfügung stehen werden, sondern nur in so genannten „Hot Spots“ mit vielen Nutzern auf kleinem Raum. Dazu gehören beispielsweise Flughäfen und Bürozentren in Großstädten. Außerhalb der Ballungsgebiete werden Kunden die Bandbreite einer UMTS-Basisstation teilen, oder sie können selbst ein eigenes kabelloses Netzwerk im Haus einrichten, das per TV-Kabel, Richtfunk oder DSL⁴² mit dem Provider verbunden ist. Dahinter steht die Vision einer vollständigen Integration von Mobil- und Festnetztechniken und der Standardisierung der Dienstefunktionen.

W-LANs

Entscheidend für PvC sind drahtlose Kommunikationstechniken im Nahbereich (Wireless Local Area Networks). In der für lokale Netze typischen Reichweite gibt es eine Reihe gängiger Standards wie die IEEE-802.11-Familie und HomeRF. Ihre wichtigsten Eigenschaften sind in Tabelle 3-2 zusammengestellt. Der Vollständigkeit halber und für den Vergleich von Sendeleistungen ist auch der digitale Funkstandard für Schnurlos-Telefone DECT aufgeführt.

Tabelle 3-2: Eigenschaften von Technologien im W-LAN-Bereich

	Trägerfrequenz	Pulsfrequenz	Typische Reichweite	Maximale Sendeleistung
IEEE 802.11b	2.40 - 2.48 GHz		bis 120 m	35 mW
IEEE 802.11a	5.15 - 5.35 GHz 5.72 - 5.82 GHz		50 – 300 m ⁴³	160 – 800 mW
HomeRF	2.4 - 2.5 GHz		50 m	100 mW
DECT	1,85 GHz	100 Hz	50 - 300 m.	250 mW (durchschnittlich ~ 10 mW)

Für die Vernetzung in Bürogebäuden oder für breitbandigen drahtlosen Internet-Zugriff in Hotspots wie Hotels oder Flughäfen hat sich in letzter Zeit der Standard IEEE 802.11 stark verbreitet.

Wireless-LAN-Technologie, die in Unternehmen ebenso einsetzbar ist wie in Kleinbüros und Privathaushalten, eignet sich zur Erweiterung fest verdrahteter LANs ebenso wie zum Aufbau von Internet-POPs und ermöglicht so größere Mobilität. Auf Messen oder in Konferenzräumen, auf Flughäfen, in Wartehallen oder auch in Bibliotheken sind drahtlose Netzwerke besonders interessant. Je nach Verteilung der

rechtfertigen sind: Neue Anwendungen, die auf den erweiterten Leistungsmerkmalen der Technologien aufbauen, sind der kritische Erfolgsfaktor für die Amortisierung dieser Kosten und den Erfolg zukünftiger Mobilfunkgenerationen. Auch Datensicherheit (beispielsweise beim mobilen Bezahlen) und Gesundheitsschutz („Elektrosmog“ von Basisstationen für UMTS) werden die Entwicklung beeinflussen.

⁴² Digital Subscriber Line

⁴³ In Abhängigkeit von der Datenrate.

Access Points lassen sich mit dieser Technik aber auch ganze Stadtteile versorgen. Die Reichweite beträgt in Büroumgebungen je nach System 30 bis 100 m, im Freien bis zu 1 km, in der Richtfunkvariante sogar über 20 km. Die Übertragungskapazität liegt heute großenteils noch bei 1 bis 2 Mbit/s. In den USA nutzen laut einer Untersuchung des IZT (2001) bereits 36 % aller IT-Firmen Wireless LAN.

Entwicklungsperspektiven im W-LAN-Bereich

Bisher arbeiten fast alle Wireless-LAN-Produkte im auch von Bluetooth genutzten 2,4 GHz-Bereich, wobei Bluetooth weniger störanfällig ist, da kleine Datenpakete auf unterschiedlichen Frequenzen gesendet werden. Aber auch für den 5-GHz-Bereich ist laut Frost & Sullivan ein Wachstum zu erwarten. Ein Vorteil gegenüber 2,4 GHz ist die geringere Störanfälligkeit, da dieses Frequenzband nicht durch Mikrowellenherde, Bluetooth und HomeRF überlagert wird.

Inwieweit Bluetooth und Wireless LAN eine Konkurrenz darstellen oder sich gegenseitig ergänzen, wird aktuell diskutiert. (Wir behandeln Bluetoooh aufgrund der geringeren Reichweite unter der Rubrik W-PANs im nächsten Abschnitt). Für das Jahr 2006 prognostiziert Frost & Sullivan europaweit, dass Flughäfen, Bahnhöfe und Hotels zunehmend mit drahtlosen Funknetzen mit W-LAN- oder Bluetooth-Technologie ausgestattet sein werden. Prognostiziert werden mehr als 37 000 solcher so genannter Hotspots, wobei der Anteil von Bluetooth auf 35% geschätzt wird, während auf beide Technologien 20 bis 50% der Hotspots entfallen.

Exkurs: Free Networks

Der Standard IEEE-802.11b ermöglicht auf dem Frequenzband 2,4 GHz eine lizenfreie Möglichkeit zur drahtlosen Datenübertragung, die von jedem genutzt werden kann. Die maximal zulässige Sendeleistung von 100 mW begrenzt die räumliche Reichweite einer Funkzelle auf wenige hundert Meter. Aus der im Vergleich zu GSM sehr hohen Datenübertragungsgeschwindigkeit des W-LAN mit bis zu 11 Mbit/s (künftig mit IEEE-802.11a bis 54 Mbit/s) ist es denkbar, dass eine dezentral organisierte Netzwerk-Infrastruktur entsteht. Eine vergleichbare Bedeutung könnte der Standard IEEE-802.11g gewinnen, der ähnliche Leistungsdaten aufweist.

Mit einem Peer-to-Peer-Konzept können sich die Betreiber von W-LAN-Knoten zu einem übergeordneten Netzwerk zusammenschließen, das sie selbst betreiben und kontrollieren. Solche *Free Networks* sind in einigen Städten (z.B. London, Berlin) im Entstehen und beginnen sich untereinander wiederum zu vernetzen. Visionen eines selbstorganisierten Wachstums von Netzen bekommen durch die W-LAN Technik neuen Auftrieb.

Das ermöglicht auch nicht gewinnorientierten Gruppen, sich zu vernetzen und auf dem Telekommunikationsmarkt zu agieren. Neben dem Sharing von Bandbreite und Kosten können *Free Networks* auch die heute faktisch gegebene Abhängigkeit des Nutzers von kommerziellen Providern aufheben. Grundsätzlich denkbar ist eine teilweise Substitution zentral betriebener Funknetze wie GSM oder UMTS durch dezentral organisierte Netzwerke auf W-LAN Basis. Allerdings könnten nicht-technische, z.B. haftungs- oder datenschutzrechtliche Probleme dieser Entwicklung entgegenwirken.

In Ländern mit schwacher Telekommunikationsinfrastruktur sind *Free Networks* prädestiniert, den Zugang zum Internet überhaupt erst zu ermöglichen. Sowohl das Problem fehlender oder unzuverlässiger Telekommunikationsnetze als auch die oft hohen Infrastrukturkosten lassen sich durch den Aufbau der drahtlosen *Free Networks*

umgehen. Die benötigte Technik ist einfach und lässt sich in Eigeninitiative vor Ort realisieren. In Verbindung mit Open Source Software könnten solche Netze zur Überwindung des *Global Digital Divide* beitragen (Thaler, 2002). In Non-Profit-Projekten der Entwicklungszusammenarbeit mit afrikanischen Ländern wurden positive Erfahrungen gemacht (wire.less.dk, 2003).

Nicht zufriedenstellend gelöst ist die Sicherheit solcher offenen Datennetze gegen Missbrauch durch Netz-Hacker. Werden die Netze ohne Verschlüsselung betrieben, haben die Betreiber praktisch keinen strafrechtlichen Schutz gegen Hacker-Angriffe und Datendiebstahl.

Fragen der Tarifierung beim Zugang zu anderen Diensten über ein Free Network, die Verantwortlichkeit bei Ausfällen, Regeln für die Namensgebung und Adressierung im Netz sind weitere noch zu lösende Probleme.

Außerdem stellt sich im Hinblick auf den dezentralen Betrieb von W-LAN-Basisstationen die Frage, wie das Verursacherprinzip im Falle gesundheitlicher Risiken nichtionisierender Strahlung (NIS) umgesetzt werden könnte. Im Gegensatz zu den GSM-Basisstationen des heutigen Mobilfunkes, für die eine überschaubare Anzahl von Betreibern verantwortlich ist, sind in einem Free Network sowohl die NIS-Emissionen als auch die Verantwortlichkeiten auf eine viel größere Anzahl von kleinen W-LAN Zellen mit geringeren Sendeleistungen bzw. deren Betreiber verteilt.

W-PANs

Die wichtigsten Standards für die drahtlose Vernetzung im Bereich weniger Meter (Wireless Personal Area Network) sind IrDA, Bluetooth, und so genannte high-rate W-PANs nach IEEE 802.15.3. Ihre wichtigsten Eigenschaften sind in Tabelle 3-3 zusammengestellt.

Tabelle 3-3: Eigenschaften von Technologien im W-PAN-Bereich

	Trägerfrequenz	Pulsfrequenz	Typische Reichweite	Maximale Sendeleistung
IrDA	Infrarot	–	< 5 m	–
Bluetooth	2.402 - 2.480 GHz	1600 Hz	10 /100 m	1 – 100 mW
IEEE 802.15.3	2.4 – 2.5 GHz	–	10 m	–

Die verschiedenen Technologien haben spezifische Vor- und Nachteile. So ist beispielsweise der große Nachteil von IrDA (auf dem beispielsweise Fernbedienungen von Unterhaltungselektronik basieren) die Notwendigkeit einer Sichtverbindung. Mit Bluetooth kann dagegen auch durch Wände hindurch und damit zwischen mehreren Zimmern oder Büros kommuniziert werden. Andererseits kann sich die Omnidirektonalität von Bluetooth in bestimmten Situationen nachteilig auswirken: Möchten beispielsweise zwei Teilnehmer einer Sitzung ihre elektronischen Visitenkarten austauschen, ohne die anderen am Tisch damit zu behelligen, so ist IrDA mit einem gerichteten Infrarotstrahl, der eine Punkt-zu-Punkt-Kommunikation ermöglicht, von Vorteil.

Bluetooth ist ein bereits verfügbarer, offener Standard, der mobile Geräte wie Handys, Handheld-Computer, Organizer oder andere elektronische Geräte schnurlos miteinan-

der verbindet. Bluetooth ist auf einem einzigen Chip realisierbar. Die Übertragungsleistung beträgt bis zu einem Megabit pro Sekunde, die Reichweite ist mit 10 bis 100 Metern gering.

Dieser Technologie wird eine große Zukunft vorausgesagt. Da der Preis des Chips bei Serienfertigung von derzeit 40 € auf unter 5 € sinken dürfte, könnte es zu einem häufig verwendeten Modul werden. Das Marktforschungsunternehmen Forrester prognostiziert, dass im Jahre 2006 in Europa 235 Millionen Bluetooth-fähige drahtlose Geräte im Markt sein werden. Zu diesem Zeitpunkt werden gemäß der gleichen Prognose 44% der PDAs und 73 % der Mobiltelefone in Europa Bluetooth-fähig sein.

Technologien aus dem W-LAN-Bereich (siehe oben) lassen sich theoretisch auch im W-PAN-Bereich einsetzen. Allerdings ist Bluetooth beispielsweise den IEEE 802.11 Technologien aufgrund geringerer Komplexität (und damit auch Kosten) sowie niedrigerer Leistungsaufnahme und damit höherer Batterielebensdauer überlegen.

Exkurs: Bluetooth

Da Bluetooth derzeit von Experten die besten Chancen eingeräumt werden, in den meisten Bereichen des PvC zum dominierenden Funkstandard zu werden, soll die Bluetooth-Technologie hier detaillierter betrachtet werden. Dabei werden vor allem technische Eigenschaften dargestellt, die für Abschätzungen im Zusammenhang mit nichtionisierender Strahlung (NIS) wesentlich sind.

Bluetooth wird im lizenfreien ISM-(Industrial-Scientific-Medical)-Band bei 2,45 GHz betrieben und ist daher Störquellen wie Garagentoröffnern, Baby-Phones etc. ausgesetzt. Dieses Problem wird mit einem Frequenzsprungverfahren gelöst. Die Übertragungsfrequenz springt bis zu 1600 mal pro Sekunde. Dafür stehen zwischen 2402 und 2480 MHz 79 Frequenzkanäle mit einer Kanalbreite von je 1 MHz zur Verfügung.

Je nach Reichweite gibt es bei Bluetooth zwei Leistungsklassen: Geräte mit 1 mW Leistung (im Fachjargon "Pico-Bluetooth") für eine Reichweite von 10 Metern und solche mit 100 mW Leistung ("Mega-Bluetooth") für eine Reichweite von 100 Metern. Bluetooth ist auf geringen Energieverbrauch hin optimiert und eignet sich deshalb besonders für mobile Anwendungen.

Neben dem Sendemodus sieht der Bluetooth-Standard drei stromsparende Betriebszustände vor:

- In den Zuständen "Hold" und "Sleep" beträgt der Stromverbrauch 50 µA,
- im Standby-Modus 300 µA,
- bei maximaler Sendeleistung 30 mA,

bei jeweils 2,7 V. Die Standby-Modi haben daher eine Leistungsaufnahme, die mindestens um den Faktor 100 unter der des Sendebetriebs liegt. Die Empfangsteile haben eine Empfindlichkeit von $-70 \text{ dBm} (=10^{-7} \text{ mW})$.

Als begrenzender Faktor für die Bluetooth-Verbreitung könnte sich in der Zukunft die vergleichsweise niedrige Datenrate erweisen. Insbesondere für Multimedia-Anwendungen oder Videokommunikation, die eine wachsende Rolle auch im Nahbereich spielen werden, ist Bluetooth zu langsam.

Für eine höherratige Übertragung im PAN-Bereich gibt es bereits einen neuen Standard IEEE 802.15.3 ("high-rate W-PANs"). Dieser Standard wird von Experten als aussichtsreicher Mittel- und Langfrist-Nachfolger von Bluetooth gehandelt. Da höhere

Datenraten in der Regel auch höhere Strahlungsleistungen verlangen, ist davon auszugehen, dass "high-rate W-PANs" eine höhere Sendeleistung als Bluetooth haben werden.

Entwicklungserspektiven im W-PAN-Bereich

Derzeit lässt sich nur schwer eine Prognose abgeben, welcher Standard die Nahvernetzung von Geräten oder „intelligenten Gegenständen“ prägen wird. Allgemein werden Bluetooth in vielen Bereichen die besten Chancen eingeräumt. Die Verbreitung von Bluetooth ist zwar hinter den ersten Erwartungen zurückgeblieben. Derzeit kommt jedoch eine Vielzahl mobiler Endgeräte auf den Markt, die unter anderem auch mit Bluetooth ausgerüstet sind. Nach Meinung vieler Experten kann davon ausgegangen werden, dass Bluetooth zumindest in den nächsten zwei bis drei Jahren den Bereich der W-PANs beherrschen wird. Es ist andererseits davon auszugehen, dass die unterschiedlichen Funktechnologien nur teilweise in Wettbewerb treten werden und sich in einigen Bereichen sinnvoll ergänzen können.

Für *stationäre* Geräte im Haus oder Büro bieten sich verschiedene kabelgebundene Varianten für Vernetzung und Internet-Zugriff an: DSL über Telefonkabel, Powerline (Internet aus der Steckdose), Ethernet etc. Bei Haushaltgeräten, die häufig ihren Ort wechseln oder bei „intelligenten Gegenständen“ und „intelligenten Möbeln“ ist dagegen eine drahtlose Vernetzung notwendig. Hierfür kommen insbesondere Bluetooth, aber auch WLANs in Frage. Für spezielle Anwendungen, z.B. den Austausch virtueller Visitenkarten, ist aber auch IrDA eine attraktive Option.

Für die Vernetzung im *Auto* müssen keine großen Distanzen überwunden werden. Daher ist Bluetooth hier besonders gut geeignet. Andererseits gibt es Bestrebungen, vorhandene stromführende Kabel im Auto auch für die Datenkommunikation zu nutzen. Dazu haben Infineon, BMW und Audi 2001 das *DC-BUS*-Konsortium gegründet.

Auch im Bereich der *Wearables* basieren bereits existierende Technologien meist auf Bluetooth. So gibt es bereits drahtlose Headsets, die mithilfe von Bluetooth mit einem Computer in der Hosentasche Daten austauschen.

BANs

Body Area Networks werden zum Teil auch als Personal Area Networks (eine zweite Bedeutung des oben verwendeten Ausdrucks) bezeichnet. Sie dienen zur drahtlosen Vernetzung von am Körper getragenen Komponenten (*Wearables*).

Durch die Miniaturisierung eignen sich immer mehr Geräte dazu, am Körper getragen zu werden, sei es als Accessoire oder in die Kleidung eingebettet. Die Hersteller arbeiten (vorerst in Designstudien) an Geräten, bei denen das Display in eine Brille sowie Mikrofon und Ohrhörer in Schmuckstücke integriert sind und mit gesprochener Sprache gesteuert werden können. Die drahtlos kommunizierenden Einzelteile bilden das BAN (oder PAN), das seinen Träger wie eine "Aura" immer und überall umgeben soll.

Entwicklungserspektiven im BAN-Bereich

Für den medizinischen Bereich hat das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen eine drahtlose Übertragungstechnologie im Bereich von 400 MHz entwickelt. Damit können mehrere Sensoren am Körper ihre Messwerte an einen Empfänger am Gürtel

funkten. Aufgrund der kurzen benötigten Reichweite reichen mittlere Sendeleistungen von 0,4 mW aus.

Der japanische Telekommunikations-Konzern NTT und seine Mobilfunk-Tochter NTT DoCoMo arbeiten daran, die Leitfähigkeit des Körpers des Wearable-Trägers für ein BAN zu nutzen. Die aktiven Komponenten, die direkt am Körper getragen werden, senden schwache Ströme (im Bereich von Nanoampere) im Frequenzbereich unter 1 MHz über den Körper aus. Diese eignen sich grundsätzlich auch zur Übermittlung von Informationen von Körper zu Körper. Auf diese Weise könnten künftig zwei Träger eines BAN durch einen Händedruck automatisch ihre elektronischen Visitenkarten austauschen.

3.3 Benutzerschnittstellen

Die heutige Benutzerschnittstelle der Computerhardware besteht im wesentlichen aus Tastatur und Maus für die Eingabe und Bildschirm für die visuelle Ausgabe. Soll die Vision „Pervasive Computing“ Realität werden, so sind hier grundlegende Veränderungen notwendig. Zum einen werden die verbreiteten Ein- und Ausgabegeräte weiterentwickelt werden, zum anderen ist aber auch die Verbreitung neuer Formen der Mensch-Computer-Interaktion zu erwarten.

Die Miniaturisierung von Endgeräten führt schon heute dazu, dass die Tasten mancher Geräte nicht mehr mit den Fingern, sondern nur noch mit einem Stift bedient werden können. Ein hohes Marktpotenzial haben Touch-Screens, die zugleich Ein- und Ausgabegerät sind. Hier gibt es einen der Miniaturisierung entgegengesetzten Trend: Prototypen für wandgroße berührungssensitive Bildschirme (so genannte Roomware) existieren bereits.

Flexible Displays sind in weniger als einem Jahrzehnt zu erwarten. Dazu zählt das "elektronische Papier", das derzeit von Xerox entwickelt wird und das Konzept der "elektronische Tinte" („E-Ink“) von IBM. Als wegweisend wird insbesondere die OLED⁴⁴-Technologie angesehen. Da diese organischen Leuchtdioden im Gegensatz zur LCD⁴⁵-Technologie selbst Licht emittieren und deshalb keine Hintergrundbeleuchtung benötigen, lassen sich äußerst dünne Displays mit geringem Gewicht und Energieverbrauch produzieren. Des Weiteren prädestinieren die hohen erzielbaren Helligkeiten den Einsatz dieser Technologie bei Tageslicht, wo andere Displaytechnologien aufgrund der Reflexion nachteilig sind. Diese Vorteile gegenüber anderen Displayvarianten machen OLED vor allem für portable Anwendungen interessant. Infolge der Integration neuer Mikrodisplay-Generationen werden Head Mounted Displays kleiner und leichter. Die Auflösung der Displays wird zunehmen, um die komplexeren Benutzerschnittstellen darstellen zu können. Noch im Forschungsstadium befinden sich so genannte "Retina-Displays", die Bilder auf die Netzhaut des Auges projizieren.

Räumliche Bilder (3D) für die mobile Anwendung sind ebenfalls in den nächsten Jahren auf dem Markt zu erwarten. Auf der CeBIT 2002 stellte Siemens ein Handy mit Shutter-Brille vor, auf dem man interaktive Spiele mit mehreren Teilnehmern in 3D

⁴⁴ Organic Light Emitting Diode

⁴⁵ Liquid Crystal Display, die Technologie der heute üblichen Flachbildschirme.

spielen kann. 3D-Displays eignen sich für Anwendungen in der Medizin oder Architektur⁴⁶.

In Verbindung mit Handbewegungen öffnen 3D-Brillen völlig neue Möglichkeiten. Die Erkennung von Handbewegungen, die sich auf einen virtuellen Gegenstand beziehen (der Benutzer sieht mittels 3D-Brille z.B. einen Gegenstand im Raum schweben und versucht ihn anzufassen und zu verformen) ist relativ weit fortgeschritten. Das freihändige Manipulieren von Objekten in einer erweiterten Realität (Augmented Reality) könnte somit zu einer neuen Interaktionsform werden. Beispielsweise können beliebige Bedienungselemente für Geräte ins Sichtfeld des Benutzers eingeblendet werden, die dieser dann wie bei realen Geräten benutzt, z.B. Knöpfe antippt, ohne dass das Gerät real vorhanden ist.⁴⁷

Weitere Gebiete, deren mögliche Fortschritte für die Benutzerschnittstellen des PvC relevant sein werden, sind die Verarbeitung gesprochener Sprache und die biometrischen Authentifizierung.

Verarbeitung gesprochener Sprache

Mit zunehmender Rechenleistung der Mikroprozessoren wird die Spracheingabe von Daten einfacher. Bisher haben sich allerdings nur solche Spracherkennungssysteme bewährt, die auf die Erkennung einzelner Wörter beschränkt sind, damit der Benutzer beispielsweise den Status eines Bankkontos per Telefon abfragen kann.

Die Erkennung eines kontinuierlich gesprochenen Textes stößt auf zum Teil prinzipielle Schwierigkeiten. So bereitet schon die Zerlegung in Phoneme große Probleme. Schwierigkeiten gibt es ferner beim Herausfiltern von Hintergrundgeräuschen und bei der Unterscheidung, welche Lautäußerungen des Benutzers an das Spracherkennungssystem gerichtet ist und welche nicht.

Konzepte der akustischen Ein- und Ausgabe bergen grundsätzlich hohe Potenziale für die zukünftige Gestaltung von Benutzerschnittstellen. Die Entwicklung verläuft wegen nach wie vor ungelöster Probleme auf der Eingabeseite aber langsamer als erwartet.

Biometrische Systeme

Die Authentifizierung des Benutzers, d.h. die Feststellung seiner Identität, ist eine wichtige Voraussetzung für die Sicherheit der zukünftigen Systeme. Die klassischen Verfahren beruhen auf der Eingabe eines Benutzernamens und eines Kennwortes (wie bei Internetanwendungen oder Betriebssystemen) oder einem Subscriber Identification Module (SIM), bestehend aus Chipkarte und einer persönlichen Identifikationsnummer (wie bei Mobiltelefonen). Diese Verfahren werden für die zahlreichen kleinen Komponenten des PvC nicht mehr praktikabel sein.

Damit diese drahtlos vernetzten Komponenten autorisierte Benutzer oder auch andere Objekte erkennen, erscheint nur die (allerdings sicherheitskritische) Übertragung eines Funk- oder Infrarotsignals praktikabel. Der Benutzer würde eine bestimmte Komponente als elektronischen Schlüssel mit sich führen, ähnlich wie man dies heute von Autoschlüsseln oder Alarmanlagen kennt. Hierfür müssten noch auf das PvC zugeschnittene Verfahren und Datenstrukturen entwickelt und normiert werden. Mit

⁴⁶ <http://www.w4.siemens.de/Ful/en/archiv/pof/>

⁴⁷ Das Vordringen des Virtuellen. Ohne Autorenangabe. Fraunhofer Magazin 1.2003, S.8-12

den heutigen Smart Labels (RFID-Labels) lässt sich das Problem nicht lösen, weil sie eine relativ aufwändige Lesestation benötigen.

Es ist denkbar, dass biometrische Identifikationsmethoden in Zukunft eine größere Rolle spielen. Sie beruhen auf der Erkennung von persönlichen Kennzeichen (wie z.B. Fingerabdruck, Gesichtszüge, Stimme, Handgeometrie oder Irismuster). Mittelfristig könnte die Authentifizierung mittels Fingerabdruck, Stimme und eventuell auch Unterschrift anwendbar sein. Derzeit erreichen diese Systeme keine genügende Zuverlässigkeit. Systeme, die Personen auf der Basis von Irismuster, Gesichtszügen oder Gestik zuverlässig identifizieren können, sind noch in weiter Ferne (Burkhardt, 2001). PvC könnte bei einer verteilten Verarbeitung visueller Signale, die von Sensornetzen aufgenommen werden, grundsätzlich weitere Schritte in diese Richtung ermöglichen.

Biometrische Systeme sind jedoch anfällig gegen Betrug, wenn sie nicht sicher gekapselt sind und nicht ausschließlich über sichere Kanäle kommunizieren. Ein weiteres Risiko liegt in Störungen beim Vergleich der mittels Sensoren erfassten Merkmale eines Benutzers mit den gespeicherten Referenzwerten. Erfahrungen mit den existierenden Systemen zeigen auch, dass hohe Schäden entstehen können, wenn einer autorisierten Person irrtümlich der Zugang verweigert wird. Beispielsweise kann ein Sprecher-Erkennungssystem versagen, weil der Sprecher heiser ist, oder eine Fingerabdruck-Identifikation, weil der Finger verschmutzt oder verletzt ist. Die Nutzung biometrischer Systeme ist deshalb begrenzt auf Anwendungen, die eine geeigneten Umgang mit derartigen Fehlern erlaubt (Burkhardt, 2001).

Neben den beschriebenen optischen und akustischen Möglichkeiten wird es in Zukunft haptische Benutzerschnittstellen geben. Ein Beispiel ist der Datenhandschuh, der Druck auf der Handoberfläche aufbaut und so ein Tastgefühl erzeugt. Systeme, die einen haptischen Eindruck von Oberflächen, z.B. Textilien, vermitteln können, sind noch nicht ausgereift. Die hierzu notwendigen Akteure befinden sich noch in einem frühen Versuchsstadium.

Kopplung von Mensch und Maschine

Mit dem Erkenntnisfortschritt in der Neurologie rückt die direkte Verbindung von Mensch und Maschine in den Bereich des Möglichen. Eine Möglichkeit ist, Muskelkontraktionen mittels EMG (ElektroMyoGramm) in Steuerbefehle zu übersetzen. Mit dieser Methode wurden bereits erste Erfolge erzielt, beispielsweise erlaubt sie gelähmten Personen, einen Rollstuhl zu steuern.

Das Verständnis der Funktion von Nervensignalen ermöglicht die Entwicklung von Schnittstellen, die biologische Nervensignale direkt abgreifen und in technische Systeme weiterleiten. Implantierbare biokompatible Mikrochips, auf denen Nervenenden aufwachsen und Signale ableiten können, befinden sich in Entwicklung. Erste wichtige Einsatzgebiete werden vor allem in der Prothetik (Neuroprothesen) liegen.

Die weitestgehende Vision sind gehirnwellenbasierte Schnittstellensysteme (Brain-Computer Interface – BCI). Diese wandeln bestimmte Muster in EEG-Signalen in Steuersignale für den Computer um. Bisher ist es möglich, auf diese Weise ein Cursor auf einem Computerbildschirm nach links oder rechts zu verschieben. Obwohl sich diese Technologie noch in einem frühen Forschungsstadium befindet, konnten erste erfolgreiche Anwendungen im medizinischen Bereich realisiert werden (Felzer, 2002).

Schnittstellen, die technische Signale in Biosignale konvertieren und direkt in das Nervensystem einspeisen, gehören (wenn überhaupt) eher zur Fernperspektive des

PvC. Im Medizinalbereich wurden aber bereits Erfolge erzielt, etwa mit der künstlichen Retina oder dem Cochlea-Implantat, dem ersten routinemäßig eingesetzten Sinnes-implantat. Es handelt sich dabei um ein implantierbares Hörgerät, dass akustische Signale umwandelt und den Hörnerv direkt stimuliert.

3.4 Identifikation, Lokalisierung und Kontextsensitivität

Die Interaktion von mikroelektronischen Komponenten mit ihrer lokalen Umgebung ist ein Merkmal des Pervasive Computing. Grundsätzlich gibt es drei mögliche Zwecke dieser Interaktion:

- Ein Objekt soll von seiner Umgebung erkannt werden (Identifikation)
- Der exakte Aufenthaltsort eines Objekts soll ermittelt werden (Lokalisierung)
- Ein Objekt soll Merkmale seiner Umgebung erkennen (Kontextsensitivität)

Die Lokalisierung durch das Objekt selbst kann auch als Spezialfall der Kontextsensitivität aufgefasst werden, wenn man die Koordinaten als grundlegende Merkmale des lokalen Kontextes auffasst.

Identifikation

Eine einfache Möglichkeit, ein Objekt zu identifizieren, bieten Smart Labels (RFID⁴⁸-Labels). Es handelt sich dabei um sehr dünne (300-400 µm) Transponder, die sich z.B. für das Aufkleben oder Einlaminieren zwischen zwei Deckschichten z.B. aus Papier oder Kunststoff eignen. Ein Transponder ist ein mikroelektronischer Schaltkreis, bestehend aus einer Sende- und Empfangsantenne, einer Steuerlogik und einem Datenspeicher.

Es gibt Transponder, die sich nur einmal beschreiben lassen (fest programmierte Transponder), und solche, die ein Überschreiben der gespeicherten Informationen erlauben (programmierbare Transponder).

Aktive Transponder erhalten die benötigte Energie für die Informationsübertragung und den Datenerhalt aus einer Batterie. Passive Transponder entnehmen die benötigte Energie vollständig dem elektromagnetischen Feld, das die Schreib-/Lesestation aussendet. In Smart Labels werden in der Regel passive Transponder verwendet.

Für Selbstklebeetiketten beträgt der Preis derzeit zwischen 0,2 und 1 €. Bei weiter fallenden Preisen für Smart Labels haben sie das Potenzial, in verschiedenen Bereichen die herkömmlichen 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), dass einzelne Produkte und nicht nur ganze Produktgruppen unterschieden werden können und dass ein elektronisches Etikett mehrfach verwendet werden kann, indem es mit unterschiedlicher Information beschrieben wird" (Mattern, 2002, S. 7).

Fernabfragbare elektronische Marker bieten über die Identifikation von Objekten hinaus die Möglichkeit zur Vernetzung mit dem Internet in Echtzeit, wodurch "letztendlich beliebigen Dingen spezifische Informationen und Methoden zur Informationsverar-

⁴⁸ Radio Frequency Identification. Das Label sendet Funkwellen mit kleiner Reichweite aus und überträgt auf diese Weise eine kleine Datenmenge (Größenordnung 1 kBit).

beitung zugeordnet werden können. Lassen sich Gegenstände aus der Ferne eindeutig identifizieren und mit Information behaften, eröffnet dies aber weit über den ursprünglichen Zweck der automatisierten Lagerhaltung oder des kassenlosen Supermarktes hinausgehende Anwendungsmöglichkeiten." (Mattern, 2002, S. 8)

Lokalisierung

Verbreitet sind Navigationshilfen auf der Basis von GPS-Daten. Insbesondere im Automobilbereich kommen solche Systeme zum Einsatz und versorgen die Insassen während der Fahrt mit ortsbezogenen Informationen. Viele solcher *Location-Based Services* sind denkbar: Hotels, Sehenswürdigkeiten, Werbung usw.

Bei der Lokalisierung von Handy-Nutzern versprechen sich die Anbieter weitere Fortschritte durch Nutzung der Laufzeitunterschiede der Signale zwischen z.B. einem Handy und unterschiedlichen Basisstationen bzw. durch Kombination mit GPS. Es wird erwartet, dass künftige GPS-Empfänger einschließlich Antenne nur noch die Größe einer Kreditkarte haben werden (Huhn, 2002).

Viele mögliche Anwendungen sind noch im Entwicklungsstadium. Das Spektrum reicht von Cyberguides, die als Touristenführer eingesetzt werden über Gedächtnishilfen bis zum "intelligenten Schreibstift", der auf normalem Papier schreibt, aber gleichzeitig das Geschriebene digitalisiert.

Kontextsensitivität

Als "Context Sensitivity" oder "Context Awareness" wird die Eigenschaft technischer Systeme bezeichnet, aktiv Daten aus der Umgebung zu gewinnen und zu verarbeiten, z.B. über Standort, Ausrichtung, Temperatur, Lichtverhältnisse oder verfügbare Netzwerkressourcen. Die Technik soll mit höherer Selbstständigkeit Inhalte und Dienste bereitstellen, die der Benutzer (wahrscheinlich) in der aktuellen Situation wünscht. Darunter fallen z.B. vordefinierte Aktionen bei Betreten eines Raumes. Ein einfacheres Beispiel ist automatische Anpassung der Lautstärke eines Klingeltons an den Geräuschpegel der Umgebung.

Zur Miniaturisierung und Mikrointegration von Sensoren und Aktoren werden neue Werkstoffe wie piezoelektrische Keramik, spezialisierte Halbleiter und biologische Materialien weiterentwickelt und erprobt.

Die Idee der so genannten "Emotion Awareness" zeigt, wie weit die Visionen der Entwickler gehen. Die Systeme sollen die Gefühlslage des Benutzers anhand einiger äußerlicher Indikatoren erfassen und ihm dann "angepasst" gegenübertreten (Huhn, 2002).

Kontextabhängig aus Datenbanken abgerufene Information kann dem Benutzer zur Anreicherung seiner unmittelbaren Wahrnehmung zugespielt werden, z.B. durch Einblendung in sein Sichtfeld über eine Cyberbrille (Augmented Reality). Dabei werden Kopf- und Blickbewegungen des Benutzers ausgewertet. Die Industrie sieht Anwendungsfelder im Bereich der Computerspiele über die Chirurgie bis hin zu Simulationen im Rahmen von Computer Aided Design (CAD). Beispielsweise kann eine neue Zimmereinrichtung durch Augmented Reality in das reale Zimmer „eingebettet“ werden, bevor sie realisiert wird. Ein weiteres Anwendungsfeld von Augmented Reality könnte die Wartung und Reparatur sein. So kann z.B. ein Automechaniker visuell mit Zusatzinformationen zu den Autoteilen versorgt werden, die er gerade betrachtet.

3.5 Software-Agenten

Software-Agenten sind Programme, die eine vordefinierte Aufgabe relativ selbstständig ausführen, insbesondere im Austausch mit anderen Agenten oder Benutzern über das Internet. Solche Agenten sollen künftig die Wünsche und Präferenzen ihres Benutzers kennen und ihn bei Entscheidungen unterstützen.

Der Unterschied zwischen herkömmlichen Computerprogrammen und Software-Agenten ist, dass diese ein Benutzerprofil oder vom Benutzer definierte Verhaltensregeln aufnehmen können, von sich aus aktiv werden und sich teilweise autonom an sich ändernde Bedingungen anpassen. Ziel ist, dass die Agenten ohne ständige Detailanweisungen ihres Benutzers komplexere Aufgaben ausführen können, z.B. Reisen planen oder an Auktionen teilnehmen. "Einkaufs-Agenten" sollen Angebote verschiedener Anbieter im Internet gemäß vordefinierten Qualitätsanforderungen vergleichen können.

Die Verwendung einer großen Anzahl von vernetzten und kontextsensitiven PvC-Komponenten ist nur sinnvoll, wenn diese „autonomer“ agieren als ein heutiger PC oder PDA. Könnten sie sich nicht auf die aus dem Netz oder über Sensoren gewonnenen Informationen einstellen und in gewissen Grenzen ohne Bestätigung des Benutzers reagieren, bliebe ihr Nutzen eng begrenzt. Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass Agentensysteme als Softwaretechnologie für PvC von zentraler Bedeutung sein werden.

Nach Bohn et al. (2002) wird PvC die Verwirklichung eines *perfekten Marktes* ermöglichen, eine Entwicklung, die mit dem Internet schon ansatzweise begonnen hat. Das bedeutet u.a., dass die Marktteilnehmer vollständige Informationen über Angebot und Nachfrage besitzen und Preise sich dynamisch bilden. Im Extremfall würden alle Güter so gehandelt wie heute nur Wertpapiere an den Börsen. Wird beispielsweise die Milch am Samstag vor Ladenschluss im Supermarkt knapp, wird sie entsprechend teurer.

Selbst wenn nur kleine Schritte in Richtung auf das Ideal eines perfekten Marktes gegangen werden sollten, so ist offensichtlich, dass aufgrund der dynamischen Preisbildung der Konsument wesentlich mehr Informationen verarbeiten und laufend neue Entscheidungen treffen muss. Dies kann ohne die Delegation von Entscheidungen an Agenten gar nicht praktikabel sein,⁴⁹ sowohl auf Käufer- als auch auf Verkäuferseite. Im einfachsten Fall gibt man den Agenten einfach nur Höchst- bzw. Mindestpreise mit auf den Weg, zu denen sie kaufen oder verkaufen sollen, aber natürlich ist es denkbar, sie wesentlich detaillierter über die eigenen Präferenzen zu informieren und dann selbstständiger am Markt agieren zu lassen.

Die Vielfalt von Systemplattformen bremst heute die kommerzielle Umsetzung von Software-Agenten. An der Standardisierung arbeiten mehrere internationale Gremien, darunter die von Industrie und Forschung gegründete "Foundation for Intelligent Physical Agents" und die "Object Management Group" (OMG), die den Interoperabilitäts-Standard CORBA entwickelt hat.

Darüber hinaus wirft die Einführung von „intelligenten“, autonomen Agenten neue Fragen nach Sicherheit, Datenschutz und Verantwortlichkeit auf. Ein über die bekannten Sicherheitsprobleme im Internet hinausgehendes Problem entsteht dadurch, dass Benutzer einem Agenten persönliche Daten anvertrauen, die dieser im

⁴⁹ Schon heute ist es für Kunden sehr aufwändig, sich in den nur mäßig dynamischen Preisen der Telekommunikations-Anbieter oder der Schweizer Krankenkassen zurechtzufinden.

Interesse seines „Herrn“ in gewissen Situationen preisgeben, in anderen aber geheim halten soll. Bei autonom agierenden Agenten stellt sich die Frage, ob und wieweit der Benutzer, nachdem er eine Aufgabe an einen Agenten delegiert hat, dessen Handlungen rückgängig machen kann und wer für allfällige Schäden haftbar ist.

Diese Probleme berühren technische Rahmenbedingungen wie sichere Übertragungsprotokolle und kryptografische Anforderungen, aber auch grundsätzliche Fragen nach Datenschutz und der Verantwortung für Handlungen und Entscheidungen, die an technische Systeme "delegiert" werden.

3.6 Konzepte der Energieversorgung

Die Entwicklung neuer Möglichkeiten zur Energieversorgung für mobile Geräte ist eine der wichtigsten Randbedingungen für die Realisierung der PvC-Vision.

Zur Energieversorgung von Mikroelektronik existieren prinzipiell die folgenden (teils bestehenden, teils neue entwickelten) Möglichkeiten:

Permanente Stromversorgung über das Stromnetz.

Diese Möglichkeit kommt für stationäre Geräte zur Anwendung, z.B. Personal Computer oder Server, die in die PvC-Netzwerkumgebung integriert sind. Der elektrische Leistungsbedarf dieser Geräte hat keinen begrenzenden Einfluss auf ihre Verfügbarkeit und ist oft höher als technisch machbar.

Stromversorgung über externe Netzteile

Häufig auch als Alternative zum Batteriebetrieb. Bei kleineren stationären Geräten wie z.B. Modems sehr verbreitet. Die Netzteile haben häufig einen schlechten Wirkungsgrad und bleiben aus Bequemlichkeitsgründen auch bei abgeschaltetem Gerät häufig am Stromnetz.

Stromversorgung mit Batterien

Aufladbare Batterien (Akkus) oder Batterien, die periodisch ausgewechselt werden müssen, sind geeignet für mobile Geräte, z.B. Mobiltelefone und PDAs (Personal Digital Assistants). Maßgeblich für die Benutzbarkeit dieser Geräte ist die Periode von Batteriewechsel oder Aufladen. Ist das Intervall zu kurz, leidet die Benutzbarkeit, deshalb ist bis auf weiteres keine beliebige Verkleinerung der Batteriemasse möglich. Für das Laden der Akkus ist als zusätzlicher Bestandteil ein spezielles Ladegerät oder zumindest ein Netzteil erforderlich.

Akkutypen, die prinzipiell für Komponenten des PvC in Frage kommen:

- Nickel-Cadmium: bisher am weitesten verbreiteter Akkutyp für elektronische Geräte, enthält das Schwermetall Cadmium, Energiedichte 45 – 80 Wh/kg (zum Vergleich: Bleiakku bis 40 Wh/kg) bei einer Zellspannung von 1,2 Volt, Standzeit bis zu 1000 Ladezyklen, Memory-Effekt kann die Lebensdauer erheblich verkürzen.
- Nickel-Metallhydrid: vergleichsweise hohe Energiedichte 60 – 120 Wh/kg bei einer Zellspannung von 1,2 Volt, und gutes Preis-Leistungsverhältnis, cadmiumfrei, relativ hoher Ladekontrollaufwand.
- Lithium-Ionen: sehr hohe Energiedichte bei geringem Gewicht (110 - 160 Wh/kg und einer Zellenspannung von 3,6 bis 3,8 Volt, lassen sich jederzeit aufladen, insgesamt etwa 1000 Ladezyklen, empfindlich gegen Über- oder Unterspannung, deshalb ist eine aufwändige Schutzschaltung erforderlich, schlechtes Preis-/Leistungsverhältnis.
- Lithium-Polymer: Im Gegensatz zu elektrolytbasierten Akkus kann dieses plastikähnliche Material in beliebige Formen gebracht werden und ermöglicht extrem flache Bauformen. Energiedichte etwa 150 Wh/kg bei einer Zellspannung 4,2 Volt. Der Festkörper-Elektrolyt ist ungiftig, somit ist dieser Akku umweltfreundlich. Nachteil: Solche Akkus müssen in regelmäßigen Abständen kalibriert werden.

- Chinon-Hochleistungsakku: Dieser noch im Entwicklungsstadium befindliche Akku mit einer Energiedichte von etwa 300 Wh/kg und Zellspannungen von 1 bzw. 2,4 Volt basiert auf organischem Material (Chinon). Der Vorteil dieser Akkus liegt gemäß Entwicklerangaben in seiner Anpassungsfähigkeit. Dies ermöglicht flexible Bauformen z.B. Folienakkus. Durch den Wegfall von Schwermetallen vereinfacht sich Entsorgungsproblematik, gleichwohl muss eine Freisetzung des gewässer-toxischen Chinons in die Umwelt unterbunden werden. (Grote, 2001)
- Natrium-Schwefel-Akku: Solche Akkus arbeiten nur im Hochtemperaturbereich von 300-350°C und sind für mobile Anwendungen schlecht geeignet.

Stromversorgung mit Batterien, die innerhalb der vorgesehenen Lebensdauer des Geräts nicht ersetzt werden

Kommt bei Komponenten mit minimalem Energiebedarf in Betracht, heute z.B. bei Armbanduhren. Könnte sich in Ermangelung besserer technischer Lösungen bei PvC stärker verbreiten und einen Trend zur Wegwerf-Elektronik fördern.

Stromversorgung aus regenerativen Energien

Dazu gehört die Stromerzeugung durch Photovoltaik, aus mechanischer Energie (wie beim „Aufziehradio“) oder aus Temperaturgradienten. In der Regel ist zur Anwendung dieser Energiequellen ein Energiespeicher notwendig (Akku).

Energieversorgung durch äußere Energiequellen

Die Energie wird aus einem elektromagnetischen Feld (Versorgungsfeld) gewonnen. Beispiel hierfür sind Smart Labels und die RF-Tags, die in berührungslos ausgelenzen Chipkarten zum Einsatz kommen.

Stromversorgung aus Niedrigtemperaturbrennstoffzellen

Brennstoffzellen gelten aufgrund ihres hohen elektrischen Wirkungsgrads als Zukunftstechnologie, befinden sich aber noch im Entwicklungsstadium. Erste Prototypen im Leistungsbereich von 10 W zum Einsatz in Camcordern wurden vom Fraunhofer ISE entwickelt (Fraunhofer ISE, 2002).

Technische Optionen sehen eine Energieversorgung aus Wasserstoff oder Methanol vor, das dem Gerät in Brennstoffkartuschen zugeführt wird. Gegenwärtig stehen einer breiten Markteinführung vor allem die noch hohen Kosten im Wege. Brennstoffzellen versprechen eine höhere Leistungsfähigkeit pro Masse bzw. Volumen und ermöglichen kompaktere und leichtere Gerätetypen. Zudem weisen sie einen höheren energetischen Wirkungsgrad (bis zu 60% bei AFC⁵⁰ und PEMFC-Zellen⁵¹) auf als die meisten Batterien und könnten mit Brennstoffen aus regenerativen Quellen versorgt werden. Positiv für die ökologische Bilanz ist auch, dass Brennstoffzellen keine oder nur geringe Mengen problematischer Stoffe enthalten und daher einfach zu entsorgen sind.

⁵⁰ Alkalische Brennstoffzelle

⁵¹ Protonenaustausch-Membran-Brennstoffzelle

Fazit zu Energieversorgungskonzepten

Die aufgeführten Punkte zeigen, dass der Miniaturisierung mobiler Geräte durch den Energiebedarf Grenzen gesetzt sind. Im Gegensatz zur Halbleitertechnologie, wo das Moore'sche Gesetz zu einer erheblichen Miniaturisierung geführt hat, erhöhte sich die Energiekapazität von Batterien in den letzten 20 Jahren lediglich um 20%. Somit steht heute vor allem die Stromversorgungseinheit einer weiteren Miniaturisierung im Wege. Dies könnte die Realisierung der PvC-Vision bremsen.

3.7 Fazit: Was ist neu am Pervasive Computing?

Kapitel 3 hat eine Reihe von Entwicklungen in den Bereichen Mikroelektronik, Vernetzung und Software dargestellt, die für die Realisierung der Vision „Pervasive Computing“ relevant sind. Fragen der Energieversorgung wurden zusätzlich behandelt, weil sie zum Engpass für diese Entwicklung werden könnten, die stark auf kleinste tragbare Komponenten setzt.

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 3-2 dargestellt sind (vgl. Mattern, 2003).

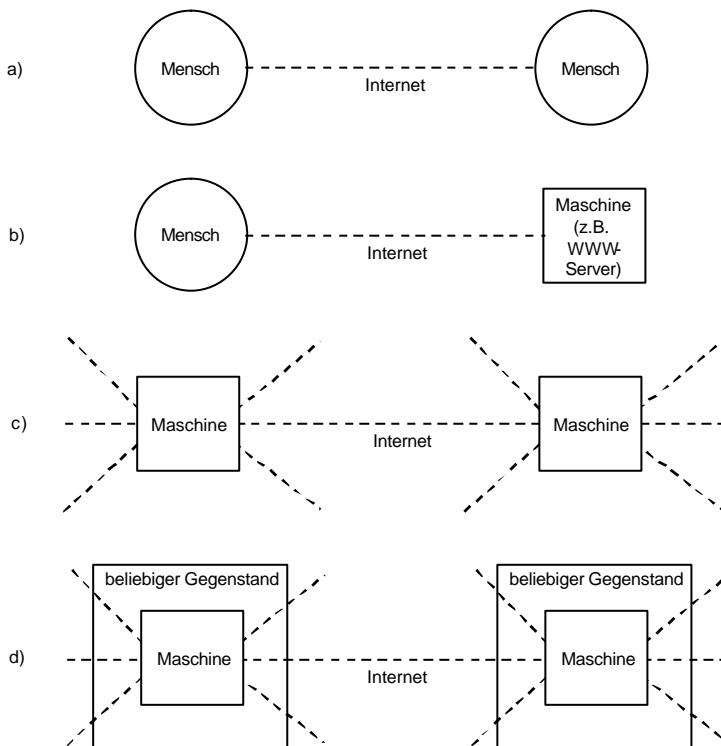


Abbildung 3-2: Vier Entwicklungsstufen der technischen Kommunikation vom Aufkommen des Internet bis Pervasive Computing.

In den 70er Jahren wurde das Internet hauptsächlich von Forschern genutzt, um auf entfernte Computerressourcen zuzugreifen (Remote Login und Dateitransfer). In diesem Stadium war der Datentransfer über das Internet praktisch zu vernachlässigen. Erst mit dem Aufkommen von *E-Mail* in den 80er Jahren kam der

Durchbruch. Das Internet wurde nun primär als Kommunikationsmedium von *Mensch zu Mensch* benutzt. Dies entspricht Fall (a) in der Abbildung.

Die 90er Jahre brachten mit dem 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, S. 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.

4 Entwicklungen in ausgewählten Anwendungs- und Technologiefeldern

Siegfried Behrendt, Lorenz Erdmann, Felix Würtenberger

Nicht alles, was im ICT-Bereich technisch machbar ist, wird sich am Markt durchsetzen. Neben der Einschätzung einer sich ankündigenden "zweiten Welle der Internetökonomie" (Fichter, 2001) gibt es auch skeptische Stimmen, die darauf hinweisen, dass im Bereich Pervasive Computing (PvC) bisher nur Visionen beschrieben und einzelne Projekte durchgeführt werden, aber viele Probleme nach wie vor ungelöst sind.⁵²

Dieses Kapitel entwickelt deshalb Szenarien des Vordringens der ICT in verschiedene Bereiche des Alltags, die für einen Zeithorizont von 10 Jahren in unterschiedliche Grade der Realisierung der PvC-Vision münden.

Es erweist sich als schwierig, in einer TA-Studie die Realisierungschancen und Auswirkungen einer Technologievision zu untersuchen, die erklärtermaßen *alle Lebensbereiche* betreffen soll. Die Ubiquität, das Eindringen von ICT in alle Bereiche des Alltagslebens ist der Kerngedanke der PvC-Vision.

Dennoch können wir aufgrund begrenzter Mittel für diese Studie nur exemplarisch vorgehen und ausgewählte Anwendungsfelder näher untersuchen, in denen möglicherweise verallgemeinerbare Entwicklungen stattfinden. Zusätzlich betrachten wir die Zukunftsaussichten einiger Technologiefelder, die für PvC voraussichtlich eine Rolle spielen und sich quer durch mehrere Anwendungsfelder auswirken werden.

Abbildung 4-1 zeigt diese Untersuchungsschwerpunkte. Von den 9 Anwendungsfeldern (Wohnen bis Freizeit) wählen wir 4 aus (vertikale graue Balken):

- Wohnen
- Verkehr
- Gesundheit
- Arbeit

Zusätzlich betrachten wir 3 querschnittsorientierte Technologiefelder

- Wearables (am Körper getragene ICT-Produkte)
- digitale Informations- und Unterhaltungsmedien (ohne Spiele)
- Smart Labels (elektronische Etiketten)

⁵² "[Es] hat sich gezeigt, dass das Thema ‚Pervasive Computing‘ oder das [...] sehr verwandte Thema ‚Ubiquitous Computing‘ Einzug in die großen Unternehmen, darunter u.a. Sun, Hewlett Packard und Microsoft, sowie in kleinere Unternehmen gehalten hat und sehr viele konkrete Projekte bereits am laufen sind. Doch sind die Ergebnisse zurzeit eher noch spärlich. Des öfteren wurden nur Visionen oder die Probleme als erkannt und noch nicht gelöst genannt, wie z.B. Sicherheit in Pervasive Computing. Sollten nach der Euphorie keine Resultate folgen, besteht die Gefahr, dass die Begriffe ‚Pervasive Computing‘ und ‚Ubiquitous Computing‘ eine kurzzeitige Modeerscheinung darstellen und danach zumindest in der Breite keinen Zuspruch mehr finden" (Schoch, 2001).

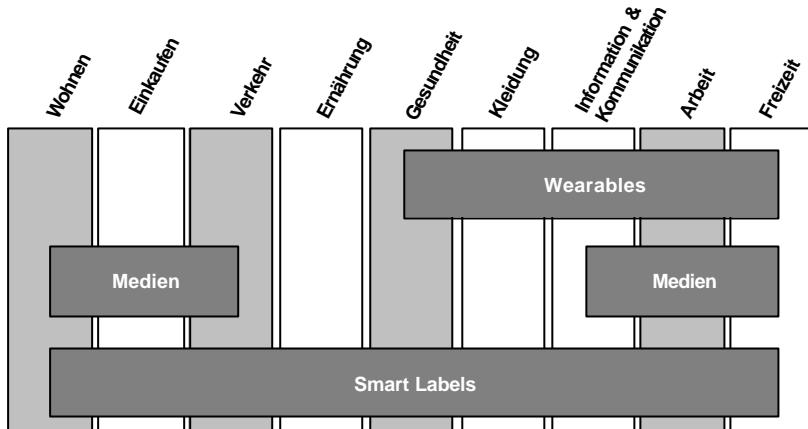


Abbildung 4-1: Untersuchungsschwerpunkte

Diese sieben Untersuchungsschwerpunkte wurden ausgewählt, weil sie

- Entwicklungsschwerpunkte der Industrie sind *oder*
- unter dem Aspekt von Gesundheits- oder Umweltrisiken von Bedeutung sind.

Im folgenden werden die Gründe im einzelnen erläutert.

Wohnen

Der Wohnbereich ist der wichtigste Aufenthaltsort und deshalb unter dem Blickwinkel der Strahlungsexposition von herausragender Bedeutung. Die meiste Zeit verbringen wir im Wohnbereich. Ansatzpunkte sind das "intelligentes Haus", "intelligente Hausräume" und "Home Area Networks", die unterschiedliche Kommunikationstechniken integrieren.

Verkehr

Das "intelligente Auto" ist heute schon in weiten Teilen Realität bzw. steht kurz vor der Markteinführung. Der Verkehr, speziell der motorisierte Individualverkehr, kann daher als "Testgebiet" für die Akzeptanz und die Grenzen des PvC gesehen werden. Erkenntnisse aus diesem Anwendungsfeld können die Abschätzung der Entwicklung auf anderen Gebieten unterstützen.

Arbeit

Informations- und Kommunikationstechnologien verändern zunehmend die Arbeitswelt. Zentrale Ansätze sind u.a. das "intelligente Büro", mobiles Arbeiten und computergestützte kooperative Arbeit. Die Bedeutung des gewerblichen Bereiches liegt in seiner Vorreiterrolle gegenüber dem Konsumbereich. Von dort aus werden sich Impulse für die Durchdringung des privaten Alltags mit Computertechnik ergeben.

Gesundheit

Pervasive Computing wird mit einer Vielzahl von Anwendungen die Erhaltung der Gesundheit und die Medizin unterstützen.

Wearables

Am Körper getragene, drahtlos vernetzte ICT-Produkte sind Strahlungsquellen in nächster Nähe zum Körpergewebe.

Digitale Informations- und Unterhaltungsmedien

Die technische Entwicklung führt zu einer fortschreitenden Medienkonvergenz. Neue Technologien wie wiederbeschreibbare Foliendisplays mit papierähnlichen Eigenschaften wie Papier (E-Paper) sind in Entwicklung. Die Darstellung von Medieninhalten wird eine der wichtigsten Funktionen des PvC sein.

Smart Labels

Elektronische Etiketten könnten bald vielen Gegenständen eine elektronische Identität geben. Das Spektrum der Anwendungen reicht von der Unterstützung der Logistik über die elektronische Waschanleitung in Textilien bis zum kassenlosen Supermarkt.

4.1 Wohnen

Die Vision vom "intelligenten Haus" ist seit einigen Jahren in den Medien präsent. Die Vernetzung der Haustechnik, ein zentraler Web-Server und die Vernetzung von Alltagsgegenständen stehen im Zentrum von Modellprojekten in Hünenberg (CH) und Duisburg (D).

4.1.1 Einsatzbereiche

Tabelle 4-1 zeigt die Einsatzbereiche von ICT im Anwendungsfeld Wohnen, wobei sich die heutigen Technologien durch zunehmenden Durchdringungs- und Vernetzungsgrad und einige Neuerungen schrittweise der Vision des PvC – hier speziell: des „intelligenten Hauses“ – annähern.

Die Verkabelung von ICT-Geräten macht sich heute bei Neubau und Modernisierung an einem steigenden Bedarf an Steckdosen, Telefon- und Fernsehbuchsen bemerkbar. Im gewerblichen Bereich wird der Verkabelung schon häufig mit W-LANs Einhalt geboten, aber auch im Privathaushalt ersetzen und ergänzen drahtlose Netze den „Kabelsalat“. Für die Vernetzung im Nahbereich wird auch der Bluetooth-Standard verwendet. Noch sind die ICT-Anwendungen im privaten Haushalt nur partiell miteinander vernetzt.

Seit wenigen Jahren wird in Experimentalhäusern mit unterschiedlichem Fokus an der Vernetzung von Haustechnik (Heizung, Klima, Licht, Sicherheitstechnik), ICT-Geräten und „intelligenten“ Gegenständen gearbeitet. Am Beispiel dieser Häuser lassen sich die Möglichkeiten und Grenzen des PvC im Haushalt gut illustrieren.

Die Experimentalhäuser als Illustrationsbeispiele

Im Rahmen des Projektes „Futurelife“ in Hünenberg (CH) ist ein Haus mit verschiedenen Zukunftstechnologien realisiert worden. Wesentliche Merkmale sind die Integration unterschiedlicher Kommunikationstechniken, die Verfügbarkeit von Steuerfunktionen über ein einziges Bedienungsfeld sowie der Einsatz von neuen Produkten, welche den Bewohnern mehr Komfort und Sicherheit bringen sollen. 60 Firmen – von kleinen Start-up-Unternehmen bis zu großen Konzernen wie Siemens – haben ihre Produkte in das Projekt eingebracht. Das Haus dient als Testlabor, in dem eine reale Familie lebt und an dessen Entwicklung die breite Öffentlichkeit teilnehmen kann.⁵³ Zu den technischen Einrichtungen zählen u.a.

- Sicherheitssystem mit Einbruchsmeldung, Raumüberwachung, drahtlosem Notrufsystem, sprachgeführter Bedienung, Fernalarmierung, Brandmeldung und Zutrittskontrolle per Fingerabdruck;
- Kühlsystem „SkyBox“ mit 3 Stufen, elektronisch gesichertem Zugang für Lieferanten von außen und Mitteilung über die Lieferung der Ware per E-Mail;
- Gerätesteuerung durch fest installierte Monitore wie den großen Touch Screen in der Küche und den schnurlosen „Simpad“ im DIN-A4-Format mit Internet-Zugang, virtueller Tastatur auf dem Bildschirm und Handschrifterkennung.

⁵³ www.futurelife.ch; 03.07.2002

Tabelle 4-1: Entwicklung zum Pervasive Computing im Anwendungsfeld Wohnen

	Gebäudetechnik	Information & Kommunikation	Smart Objects
Vision 2012	Digitalisierte Ver- und Entsorgung: Wasser und Abwasser, Wärme, Licht, dezentrale Stromerzeugung	<i>E-Grains oder ähnliche Technologie:</i> "intelligente Tapete"	Vollständige Vernetzung: Management aller "intelligenten Gegenstände" im Haushalt durch einen zentralen Server
serienreif bis 2007	Kontextsensitive Licht- und Klimatechnik für Wohngebäude Fernsteuerung über Internet	Universal-Großdisplay für PC, Fernsehen und Spiele Digitales Radio und digitales Fernsehen als Stand der Technik	"Intelligente Gegenstände": z.B. Kugelschreiber Vernetzte Geräte: z.B. Wecker und Kaffeemaschine
heute am Markt	<i>Mikrochip-gesteuerte Haustechnik:</i> Klima: Heizung, Klimaanlage Licht: Automatik für Rollladen und Beleuchtung Sicherheitstechnik: Bewegungsmelder, Alarmanlagen	Schnurloses Telefonieren zu Hause Internetfähiger PC: Home Office und "Infotainment" Digitales Fernsehen: Set-Top-Boxen und erste digitale Fernseher LAN und W-LAN	Kaffeemaschine mit Zeitautomatik Programmierbare Waschmaschine: optimierter Betriebsmitteleinsatz, Displays, Memory-Funktion

Alle Haushaltgeräte sind untereinander vernetzt und an das Internet angeschlossen. Dadurch können die Geräte auch von außerhalb überwacht, programmiert und gesteuert werden. Alle Sensoren, Schalter und Gerätesteuerungen beruhen auf dem Europäischen Installationsbus (EIB), der Anlagen wie Heizung, Klima, Lüftung, Beleuchtung, Jalousien oder Wind- und Wetterschutz einheitlich ansteuerbar macht. Die übrigen Geräte kommunizieren untereinander über die Stromleitung (Powerline-Technik). In Zukunft soll das Haus auch mit dem Auto vernetzt und eine Sprachsteuerung installiert werden (Wippermann, 2000).

Das Duisburger Innovationszentrum Intelligentes Haus, kurz „inHaus-Projekt“ (Miller 2001) hat zum Ziel, innerhalb von fünf Jahren die Serienreife von Smart Homes (vernetzter, teilweise automatisierter und ferngesteuerter Haushalt) zu ermöglichen. Die „Smart Haus“-Technik soll zu Energieeinsparungen führen, und zudem die Sicherheit und den Komfort erhöhen. Die neu erforschten Anwendungen sollen auch das Nachrüsten bestehender Häuser ermöglichen (Scherer 2003). Das Anwesen gliedert sich in die vier Bereiche „Wohn-Labor“, „Home Office“, „Auto“ und "intelligenter Garten". In einem Werkstatthaus wird außerdem an Bad, Küche und Heimwerkerkeller der Zukunft geforscht. Die Technik soll sich am Menschen orientieren und unsichtbar im Hintergrund, unter Putz und in Geräten versteckt bleiben. Dabei werden leitungsgebundene und drahtlose Netze getestet. Fernseher, Telefon und Computer sind über ein Multimedia-Kabelnetz in jedem Raum nutzbar. Alle elektrischen Elemente und die Heizung sind sowohl automatisch als auch per Knopfdruck am Gerät, Fernbedienung, Telefon oder via Internet steuerbar. Die äußeren und inneren Netze werden über ein so genanntes Residential Gateway verknüpft.

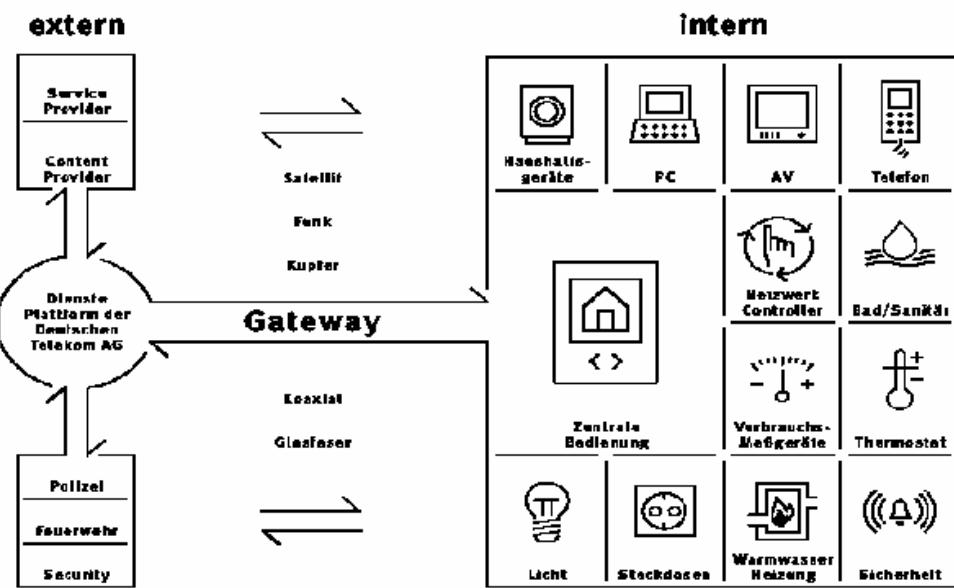


Abbildung 4-2: Netzstruktur des Duisburger inHaus-Projektes

Gartenbewässerung, Beleuchtung und vor allem die Raumwärme werden zentral geregelt. Durch Sensoren für Temperatur, Feuchtigkeit und Luftqualität werden die Fenster automatisch gesteuert. Auch beim Verlassen des Hauses reduziert sich die Heizleistung automatisch. Heizung und Warmwasser machen über 80% des häuslichen Energieverbrauchs aus, durch das hier ein großes Energiesparpotential gegeben ist. Ob die Automatisierungsmaßnahmen im Duisburger Experimentalhaus zu Einsparungen geführt haben, ist bisher nicht dokumentiert (Scherer 2003). Durch aktive Laststeuerung wie z.B. nächtliches Einschalten der Waschmaschine sollen Energiekosten gespart werden. Die Verbrauchswerte werden ständig kontrolliert und bieten somit Anhaltspunkte für Verhaltensänderungen. Vordefinierte Szenarien wie „Frühstück“ stellen Jalousien und Beleuchtung ein und spielen die passende Musik ab. Abbildung 4-2 zeigt die Netzstruktur des Projekts.

In einem weiteren Projekt „Das intelligente Haus – multimediales Wohnen in der Plattenbausiedlung“ soll geklärt werden, ob die multimediale Ausstattung von Großsiedlungen eine "Durchbruchsinnovation" für die Märkte der Zukunft werden kann. Zu den Diensten zählen Infotainment-Center, Haus-Teledienste (Wartung, Steuerung, E-Government) sowie Sicherheitsdienste.⁵⁴

⁵⁴ Das Projekt wird vom deutschen Ministerium für Bildung und Forschung BMBF im Programm „Interregionale Allianzen für die Zukunftsmärkte von morgen“ gefördert.

4.1.2 Marktentwicklung

Nach Auffassung zahlreicher Experten ist die Vernetzung im Haushalt „Internet-driven“, d.h. erst die Vernetzung nach außen bringt dem Kunden den gewünschten Mehrwert. Zu den aussichtsreichen Anwendungen zählen E-Commerce und Telearbeit. 1998 verfügten 51,1 % der Schweizer Haushalte über mindestens einen PC. Der engere Internet-Nutzerkreis⁵⁵ betrug 2001 37,4 %, der weitere Nutzerkreis 52,1 % (Bundesamt für Statistik, 2001).

Die Computerisierung der eigentlichen Haustechnik verzeichnet ein stetiges, aber langsames Wachstum, während die Vernetzung der "weißen Ware"⁵⁶ noch kein Thema ist.

Ein Nischenprodukt ist der *internetfähige Kühlschrank* von LG Electronics. Als Schnittstellen dienen ein 15 Zoll LCD-Bildschirm, ein Modem und ein LAN-Port. Bedient wird der Kühlschrank über Touchscreens oder Sprachkommandos. Der Kühlschrank vereint traditionelle Informations- und Kommunikationsfunktionen wie Fernsehen und E-Mail mit küchenspezifischen Diensten. Zu den letzteren zählen der Preisvergleich von Produkten verschiedener Supermärkte, Empfehlungen für eine gesunde Ernährung und Kochrezepte für die Nahrungsmittel, die im Kühlschrank lagern.

Bauherren, die in die Home-Automation investiert haben, nennen als Motivation Technikbegeisterung, Ästhetik, Komfort und Prestige sowie neue Dienstleistungen wie Überwachung, Kontrolle und Regulierung (Aebischer/Huser, 2000). Die mögliche Zeitersparnis im Zuge des Zusammenrückens von Arbeits- und Lebenswelt könnte die Marktdiffusion beschleunigen. Auch die Testbewohner des Futurelife-Hauses stellen die Zeitersparnis und Funktionalität als Vorteile heraus. Einrichtungen wie die Großleinwand steigern das Wohlbefinden. "Das vernetzte Zuhause wird zur Minifabrik, von der aus man arbeiten kann, wann man will, aber zum Beispiel auch Lebensmittel online bestellen." (Wippermann, 2000).

Marktprognosen für das "intelligente Haus", selbst nur für Teilbereiche wie die Gebäudetechnik, liegen nur spärlich vor. The Yankee Group (1999) ging für die USA für 2003 von über 4 Mio. über Telefonkabel, 1,5 Mio. drahtlos vernetzten und weniger als 300 000 über Powerline vernetzten Haushalten aus. Das Marktforschungsinstitut Strategy Analytics sagt für 2005 voraus, dass 15 % der europäischen Haushalte über private Funknetze verfügen, die insgesamt 88 Mio. Geräte miteinander verknüpfen, im Durchschnitt 2,5 Geräte pro Haushalt.⁵⁷ Einer Prognose von Datamonitor zufolge sollen zwischen 2001 und 2005 über 20 Millionen europäische Haushalte mit "Smart Home"-Technik ausgerüstet werden (Miller, 2001).

In der Schweiz wird die Entwicklung insgesamt langsamer verlaufen. Als Gründe werden die langlebige Bausubstanz (längere Renovierungs- und Neubauzyklen als z.B. in den USA), der hohe Mietwohnungsanteil und der hohe Anteil von institutionellen Anlegern im Liegenschaftsmarkt genannt (Aebischer/Huser, 2000).

⁵⁵ Personen, die das Internet häufiger zu Hause als am Arbeitsplatz nutzen.

⁵⁶ Haushaltgeräte wie Kühlschrank, Waschmaschine, Herd.

⁵⁷ zit. nach Aebischer (2000)

4.1.3 Aussichten

Ob sich die mehr oder weniger futuristisch anmutenden Anwendungen im Wohnbereich von Nischen- zu Massenprodukten entwickeln, hängt vor allem von folgenden Faktoren ab:

1. gesundheitliche Risiken nichtionisierender Strahlung (NIS)
2. Akzeptanz für eine technische Wohnumgebung
3. Kompatibilität von Netzen und Endgeräten
4. Kosten-/Nutzen-Relation für Besitzer und Bewohner

Wie sich im Futurelife-Projekt herausgestellt hat, muss das Leben in einer technisierten Wohnung neu erlernt werden. Soll das „intelligente Haus“ auch für die alternden westeuropäischen Gesellschaften die Vorteile der Zeitersparnis und ggf. der Vermeidung des Altersheims ermöglichen, so müssen die Systemanbieter insbesondere auf Senioren-adäquate Benutzerschnittstellen Wert legen.

Herausforderungen für die Entwicklung des „intelligenten Hauses“ sind die Verknüpfung verschiedener Geräte, Komponenten und Infrastrukturen zu einem Gesamtsystem und eine benutzergerechte, ergonomische Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion. Zu den Standardisierungsbemühungen zählen die "Open Service Gateway Initiative" (OSGi)⁵⁸ der Telekommunikations-, Computer, Unterhaltungselektronik- und Haushaltgeräteindustrie, die "Home Phoneline Networking Alliance" von Hardware-Herstellern wie Hewlett Packard und Telekommunikationsdienstleistern wie AT&T, das "European Telecommunications Standard Institute" (ETSI), das "DECT Multimedia Consortium" mit Firmen wie Ericsson Mobile Networks und Canon, die "Bluetooth Promoter Group" mit u.a. IBM, Toshiba und Microsoft sowie die "Infrared Data Association" (IrDA), der über 160 Firmen der Computer-, Halbleiter- und Kommunikationsindustrie angehören (Aebischer/Huser, 2000).

⁵⁸ Die Industrie hat die „Open Service Gateway Initiative“ gegründet, die einen offenen Standard für die Anbindung internetfähiger Geräte vertritt. Beruhend auf Java- und Jini-Technologie ist OSGi kompatibel zu Kommunikationssystemen wie Bluetooth, USB und WAP. Das OSGi-Gateway soll den Zugriff auf die gesamte Fahrzeugelektronik und Sensorik ermöglichen und kommuniziert die Daten an ein Back-End-System, das wiederum den Fahrer z.B. über kritische Bedingungen informiert. Auch Telefonate und Internetzugriff sollen über das OSGi Gateway laufen.

4.2 Verkehr

4.2.1 Einsatzbereiche

Verkehr ist ein informations- und kommunikationsintensiver Prozess. Heutige ICT hat bereits nahezu alle Verkehrsmittel erreicht:

- Im Straßenverkehr zielen Leitsysteme auf die Verbesserung der Verkehrsvorher-sage und -regelung. Weitere Schwerpunkte des ICT-Einsatzes sind die flächen-deckende Erfassung aktueller Verkehrsdaten, Navigationsysteme, Optimierung der Verkehrssicherheit durch Fahrerassistenzsysteme und Verringerung von Energie-verbrauch und Schadstoffemissionen durch adaptives Antriebsmanagement.
- Im Schienenverkehr geht es insbesondere um die weitere Automatisierung des Zugbetriebes. Zum Einsatz kommen hier Verfahren zur elektronischen Positions-bestimmung bis hin zur Fernüberwachung und Ferndiagnose von Fahrzeug und Strecke.
- Für den öffentlichen Verkehr insgesamt werden neuartige Zahlungskonzepte, etwa auf der Basis kontaktloser Smart Cards entwickelt und getestet. Andere Konzepte zielen auf den energiesparenden oder automatischen Betrieb von Fahrzeugen, beispielsweise bei Straßen- und Untergrundbahnen.
- In der Luftfahrt ist die Entwicklung weit vorangeschritten: Dazu zählen automati-sierte Landeverfahren mit GPS-Ortung, zustandsbezogene Fernwartung, Dispo-sitionssysteme zur Flugsicherung usw.
- In der See- und Binnenschifffahrt werden ICT-Systeme z. B. für das Tracking von gefährlichen Gütern, Schiffsidentifikation, Hafenlogistik und Verkehrsleitung mit Hilfe von Radarinformationen eingesetzt.

Personen und Güter, welche sich im Verkehr bewegen, können durch Pervasive Computing (PvC) zu lokalisierbaren Objekten werden, deren Route auf der Basis aktueller Information Verkehrsträger-übergreifend und dynamisch⁵⁹ geplant werden kann. Dies kann die Kooperation der verschiedenen Verkehrsträger fördern und insgesamt zu einer Optimierung der Auslastung des Verkehrssystems beitragen.

Im Bereich Gütertransporte lassen sich PvC-Technologien für die Verkehrstelematik einsetzen: Durch eine Logistik ohne Medienbrüche (z.B. Formular -> Datenbank) ermöglichen eine sie Optimierung der betrieblichen Prozessabläufe und sparen Zeit. Zu erwarten sind vor allem folgende Anwendungsformen:

- Mobile Kommunikation und Datenaustausch zwischen Dispatcher und Fahrer bzw. Fahrzeug oder Ladung, ermöglicht zeitnahe Information über aktuelle Verkehrs-situation sowie Routenänderungen.
- GPS zur Ortung und Fernabfrage des aktuellen Aufenthaltsorts und des Bewegungsstatus` von Fahrzeugen oder Frachtcontainern.
- Objektidentifikation mittels Smart Labels und Datenscanner zur berührungslosen individuellen Kennzeichnung und Identifikation von Transportgut und Gebinden.
- Sensoren ermöglichen laufende Überwachung des Frachtzustands bei verder-blichen Gütern (Temperatur, Luftfeuchte, Erschütterungen etc).

⁵⁹ D.h. es ist jederzeit möglich, die vorgesehene Route umzuplanen, wenn sich die Auslastungs-situation der Verkehrswege oder -mittel oder auch das Ziel ändert.

- Wearable Computers - Ihr Funktionsspektrum umfasst Erfassung, Speicherung und Visualisierung der Frachtdaten sowie die drahtlose Kommunikation zu Datenbanken via Internet. Augmented Reality erleichtert die operative Verlade-logistik durch Visualisierung von objektbezogenen Fracht- und Ladeinformationen.
- Internet: Austausch elektronischer Frachtpapiere (Zollformulare, Begleitscheine, Rechnungen etc.).

Der Vorteil dieser neuen Technologien entsteht durch die Kombination der einzelnen Komponenten zu einem Gesamtsystem, welches durchaus auf bereits existierenden ICT-Lösungen aufsetzen kann.

Die heutigen und in 5 bzw. 10 Jahren zu erwartenden Einsatzbereiche von ICT sind in Tabelle 4-2 skizziert, wobei nicht alle Anwendungen dem PvC zuzuordnen sind. Ein Gesamtrend ist die Unterstützung verkehrsträgerübergreifender (intermodaler) Dienstleistungen durch ICT. Das Spektrum reicht hier von Personal Travel Assistants (PTA) bis hin zu Mobilitätsagenturen, die Mobilitätsdienstleistungen unter Einschluss aller Verkehrsträger anbieten.

Tabelle 4-2: Entwicklung zum Pervasive Computing im Anwendungsfeld Verkehr

	Individualverkehr	Öffentlicher Verkehr	Intermodaler Verkehr
Vision 2012	Drive-By-Wire	Fahrerlose Verkehrsmittel	Umfassende Echtzeit-Mobilitätsdienstleistungen durch Mobilitätsagenturen
serienreif bis 2007	Bluetooth ersetzt Datenkabel im Auto virtueller Sicherheitsgurtel Chip-gesteuerte Autobatterie Fernwartung	Elektronisches Abrechnungssystem auf Basis von Smartcard oder Handy Echtzeit-Ankunftszeiten abrufbar	Personal Travel Assistant (PTA)
heute am Markt	<i>Steuerung von Aggregaten:</i> digitale Motorelektronik <i>Sicherheit:</i> ABS, ESP, Airbag, Service-Intervallanzeige <i>Navigation und Telematik:</i> Navigationssysteme, Verkehrsleitsysteme <i>Komfort:</i> Automatikgetriebe <i>Information des Fahrers:</i> z.B. Bordcomputer <i>Unterhaltung:</i> digitales Radio, erste TV-Bordmonitore	Verkehrslage-gesteuerte Leitsysteme Elektronische Fahrplanauskunft Elektronische Tickets ÖV-Anschluss-Informationssystem SMS/WAP-Auskunft	Straßenverkehrs-Management-Systeme WAP-gestützte Verkehrsinformationen, Fahrpläne, Parkplatz-Empfehlungen Verkehrsmittel-übergreifende Reise-Dienstleistungen

Im folgenden wird der gegenwärtige und zukünftige Einsatz von ICT im Auto näher betrachtet, weil sich das Auto für die Hersteller zu einer Testplattform für PvC zu entwickeln scheint.

Exkurs: Das Auto als Testplattform für Pervasive Computing

Die Digitalisierung der Bordelektronik im Auto ist heute für jeden Autofahrer an den elektronischen Displays am Armaturenbrett erkennbar. Ein Wagen der gehobenen Klasse enthält mehr als 30 über ein Bus-System miteinander verbundene Mikroprozessoren (Burkhardt, et al., 2001). In Zukunft sollen sie nicht nur untereinander, sondern auch mit der Umgebung kommunizieren können.

Der virtuelle Sicherheitsgürtel

Die vielleicht weitestgehende Vision ist der virtuelle Sicherheitsgürtel des Autos. Mit Hilfe von *Short Range Radar (SRR)* und Videosensoren soll ein virtueller Sicherheitsgürtel im Umkreis von 0,2 bis 20 Metern um das Auto gelegt werden. Die Videokameras erfassen in größerer Entfernung liegende Verkehrszeichen sowie andere Verkehrsteilnehmer. Ein Display im Armaturenbrett warnt vor Gefahren.

Interne Vernetzung

Die Vision vom "intelligenten Auto" als einer in sich vernetzten Computer-Plattform ist bereits weit vorangeschritten. Die früheren "Spinnennetze" der Bordelektronik werden heute durch Bussysteme ersetzt, die Vorteile bei der Montage, Gewicht, Standardisierung und Upgrading bieten (Knausenberger, 2001). Das „Infotainment“-Konzept *Mobile GT* von Motorola integriert digitales Autoradio, Mobilfunk, GPS und weitere Komponenten wie z.B. Smart-Card-Lesegeräte.

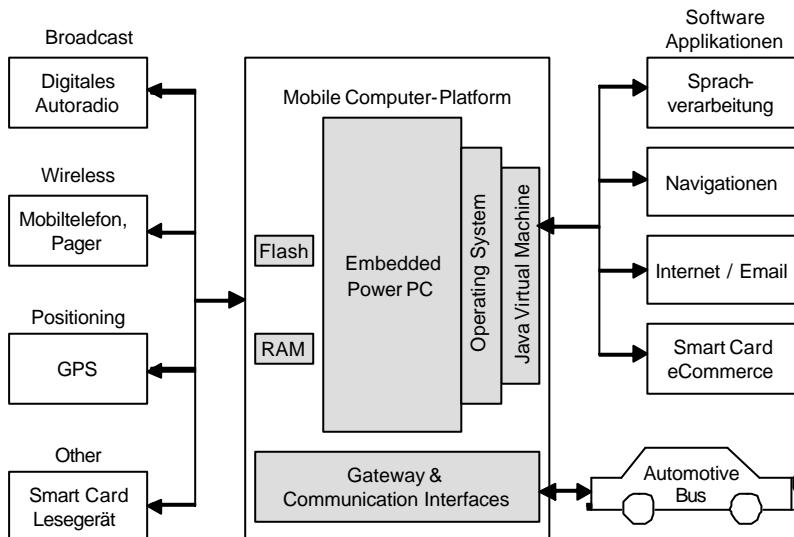


Abbildung 4-3: Mögliche Netzarchitektur für Autos (Quelle: Motorola)

Externe Vernetzung

Seit einigen Jahren schon wandelt sich das Auto von einem isolierten Fortbewegungsmittel zu einem mobilen Netzwerknoten mit Satelliten-Navigation und Mobilfunkanbindung.

Der Hersteller kann kritische Parameter wie die Öltemperatur überwachen, Software aktualisieren oder Rückrufinformationen aussenden. Auch Fehlerdiagnosen, Kommunikation mit Serviceeinrichtungen und automatischer Notruf sind zukunftsträchtige ICT-Anwendungen.

Die Voraussetzungen zum Einzug von Internet, digitalem Radio und Fernsehen ins Auto werden derzeit geschaffen. Ein Ziel dieser Entwicklung ist es, für Mitreisende einen vollwertigen mobilen Arbeitsplatz zu schaffen. Erste Marktangebote für In-Car-PCs umfassen auch DVD-Laufwerk und eine Schnittstelle mittels Bluetooth. Die Displays sind entweder in die Nackenstützen der Vordersitze oder in die Mittelkonsole integriert, oder sie werden an der Sonnenblende oder am Dachhimmel befestigt. Um auch den Fahrer zu erreichen, ohne ihn vom Verkehr abzulenken, werden Systeme zur Ein- und Ausgabe über gesprochene Sprache weiterentwickelt.

Navigationssysteme

Navigationssysteme verknüpfen die Informationen digitaler Karten mit Positionsangaben. Die Ortsbestimmung erfolgt mit Hilfe des Global Positioning System (GPS). Verkehrsinformationen werden über SMS oder WAP zum Fahrzeug übermittelt. Durch den Traffic Message Channel (TMC) können ebenfalls Daten an das Navigationssystem übertragen werden; die Rundfunkanstalten senden Angaben zu Staulängen und Verkehrsfluss zusammen mit möglichen Geschwindigkeiten auf Alternativrouten, die in die Routenplanung einfließen können.

Über die reine Navigation hinaus können künftig auch ortsabhängige touristische, kulturelle und gastronomische Ziele sowie Infrastruktureinrichtungen verschiedenster Art abgerufen und weitere Dienstleistungen wie z.B. die Ortung bei Pannen in Anspruch genommen werden (Location-Based Services).

Fazit

Am Auto lässt sich exemplarisch verfolgen, wie sich in kleinen Schritten eine Annäherung an die Vision des Pervasive Computing vollzieht: Die Anzahl *eingebetteter*, für den Benutzer unsichtbarer Komponenten nimmt zu, deren *Vernetzung* nach innen und außen wird ausgebaut, Lokalisierung und Sensoren kommen hinzu und ermöglichen über die Navigation hinaus *kontextsensitive* Funktionen (wie ortsabhängige Informations- und Dienstleistungsangebote und den virtuellen Sicherheitsgürtel). Neue Formen von Benutzerschnittstellen werden ausprobiert.

4.2.2 Marktentwicklung

Der Markt für PvC im Verkehr wird vom Auto dominiert werden. Der Einsatz von ICT im Auto befindet sich in einer rasanten Entwicklung. Nach Schätzungen könnten im Jahre 2010 ein Achtel des Fahrzeugwertes allein auf Computerprogramme entfallen.⁶⁰ Großes Wachstum wird aber auch für Technologien und Dienste prognostiziert, die den *intermodalen Verkehr* unterstützen.

Während verkehrstelematische Systeme, die auf gewerbliche Nutzer zielen, schon große Verbreitung gefunden haben, ist die Nachfrage der privaten Endbenutzer, insbesondere im Bereich der Verkehrsinformation und Routenführung für den Individualverkehr, bisher eher gering.⁶¹

⁶⁰ Studie im Auftrag der HypoVereinsbank, zitiert nach Schöne (2002).

⁶¹ In einer Studie für das TA-Swiss hat die Arbeitsgemeinschaft ASIT/econcept/ETH Zürich/TA-Akademie Szenarien für die Verkehrstelematik entwickelt (Mühlethaler 2002). Sie wurden auf einem Expertenworkshop u.a. unter dem Gesichtspunkt der Einflüsse und Determinanten auf die Diffusion diskutiert.

Gemäß einer Roland-Berger-Studie bietet sich durch satellitengesteuerte Navigation (GPS), Mobilfunkanbindung (GSM, GRPS, UMTS) und Internet im Verkehr (Auto, Bus und Bahn, Flugzeug) weltweit im Jahre 2010 ein Marktpotenzial für Dienstleistungen in Höhe von 25 Mrd. €, davon etwa 2 Mrd. € in Deutschland.⁶² Marktpotenzialstudien deuten an, dass bis zum Jahr 2006 nahezu 50 % aller Neufahrzeuge (und 90 % aller Luxusklasse-Wagen) über Internetanbindung verfügen werden (Burkhardt et al., 2001). Die jährlichen Wachstumsraten für die Abnahme von Flachdisplays durch die Automobilindustrie wird mit über 30 % prognostiziert.⁶³

Der Markt für Autonavigationsgeräte gliedert sich in die Erstausstattung und die Nachrüstung. Er soll in Europa von 1,6 Mio. im Jahre 2001 auf 2,9 Mio. Stück im Jahr 2003 mit einem Marktvolumen von 3,5 Mrd. € wachsen. Zum Vergleich: Im Jahr 2003 sollen in Japan etwa 2,6 Mio. Stück und in den USA etwa 1,5 Mio. Stück abgesetzt werden (Grab, 2000).

Der Anteil von Deutschland in Europa, wo bereits jedes zehnte Automobil mit Navigationsgerät ausgeliefert wird, liegt bei etwa 60 %. „In fünf bis sechs Jahren werden so ziemlich alle Autos der Mittel- und Oberklasse in Deutschland mit einem Navigationssystem ausgerüstet sein“⁶⁴. Ähnliches ist aufgrund des vergleichbaren Kaufverhaltens auch für die Schweiz zu erwarten.

4.2.3 Aussichten

Große Potenziale für den zukünftigen Einsatz von ICT im Verkehr werden vor allem in den nachfolgend aufgeführten Bereichen gesehen.⁶⁵ Dabei dürften der Trend zu PvC und diese Anwendungen sich gegenseitig verstärken, weil PvC aufgrund der Portabilität der Komponenten, der drahtlosen Vernetzung und der Kontextsensitivität eine hohe Affinität zum Verkehrssektor hat. Die Anwendungen sind:

- die Reduktion von Verkehrswegen (z.B. durch Teledienste);
- die Erhöhung des Kundenkomforts im öffentlichen Verkehr;
- die Verbesserung der Verkehrssicherheit, z.B. durch eine verstärkte Erfassung der Fahrzeugumgebung mittels Sensoren oder durch den vermehrten Einsatz von Streckenüberwachungssystemen;
- der Aufbau intermodal wirksam vernetzter Verkehrsinfrastrukturen;
- die "intelligentere" dynamische Verkehrslenkung für Straße, Schiene und Wasserwege (bereits weiter fortgeschritten im Luftverkehr) mit dem Ziel der Verminderung von Kapazitätsengpässen;
- Anwendungen der satellitengestützten Positionsbestimmung;
- die fahrzeugseitige Sammlung von Verkehrsdaten;
- der Einsatz von Netz-Agenten für eine optimale Planung und Organisation des Reiseablaufs vor und/oder nach Reiseantritt;

⁶² http://www.deutsche-leasing.de/zukunft/body_analyse.html

⁶³ Deutsches Flachdisplay-Forum: Strategie zum Ausbau der Deutschen Position auf dem Flachdisplay-Weltmarkt, Frankfurt M. o.J.

⁶⁴ Klaus Meier (Noritel), zitiert in (Grab, 2000)

⁶⁵ Laut einer prospektiven Analyse von DLR und TÜV Rheinland (1999).

- mobile Informationsdienstleistungen für Verkehrsteilnehmer, wobei Datenschutzprobleme zu beachten sind;
- Kommunikationsplattformen und Endgeräte, wobei europaweit einheitliche Standards anzustreben sind.

Öffentlicher und intermodaler Verkehr

Hohe Erwartungen werden heute in die Vernetzung verschiedener Verkehrsträger durch ICT gesetzt. Im Vordergrund stehen Aufgabenstellungen wie Optimierung des öffentlichen Verkehrs, die Erhöhung der Sicherheit und die Kooperation der Verkehrsträger untereinander.

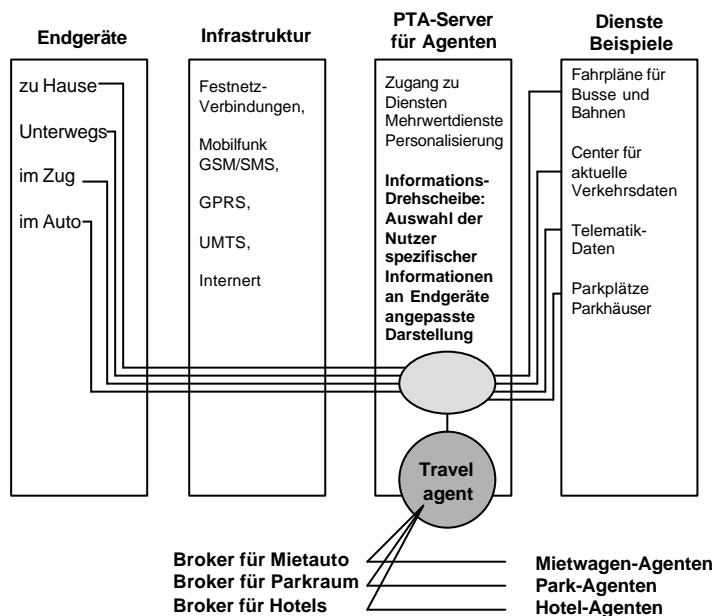


Abbildung 4-4 Personal Travel Assistant (Quelle: Tsakiridou, 2001, S. 53)

Ein Beispiel, das die intermodale Vernetzung für den Personenverkehr illustriert, ist das Konzept des *Personal Travel Assistant (PTA)*, eines portablen elektronischen Reiseassistenten. Über verschiedene Agenten und Dienste werden Informationen über zur Verfügung stehende Verkehrsmittel sowie Daten über Hotels, Parkmöglichkeiten usw. gekoppelt, so dass der Benutzer auf dem gemäß seinen Präferenzen optimalen Weg von A nach B geleitet werden soll (Tsakiridou, 2001).

Trotz technischer Machbarkeit verläuft die Entwicklung intermodaler Anwendungen bisher langsam. Hemmend wirkt sich insbesondere der noch hohe Kooperationsaufwand zwischen den beteiligten Akteuren für die Entwicklung leistungsfähiger Dienste aus. Darüber hinaus sind die Zugriffsmöglichkeiten auf erforderliche Daten zum Teil noch begrenzt.

Privatkunden werden Mobilitätsdienstleistungen voraussichtlich dann akzeptieren, wenn integrierte Systeme zur Verfügung stehen, die über die Verkehrsinformation hinaus in Echtzeit weitere Dienste bieten und in hohem Maße individuelle Nutzeranforderungen berücksichtigen (Steinicke/Meissner, 2000).

Exkurs: Das Auto als Indikator für Nebenfolgen und die Akzeptanz von Pervasive Computing

Aufgrund seiner Vorreiterrolle kann das Auto auch zum Indikator für unerwünschte Nebenfolgen und für die Akzeptanz von PvC werden. Aus heutiger Sicht kommen vor allem drei Aspekte in Betracht, die die Entwicklung erheblich bremsen könnten:

1. Zielkonflikt zwischen umfassender Information und Aufmerksamkeit des Fahrers
2. Technische Unzulänglichkeiten und andere Gründe für eine begrenzte Akzeptanz

Aufmerksamkeit und Sicherheit

An den Fahrer werden immer höhere Aufmerksamkeitsanforderungen gestellt, z.B. durch höhere Geschwindigkeiten, höhere Verkehrsdichte und den „Schilderwald“. Digitale Hilfsmittel sollen ihn entlasten. Dazu gehören z.B. Abstandssensoren, Tempomat oder der oben erwähnte „virtuelle Sicherheitsgürtel“. Aber auch die Aufnahmefähigkeit des Menschen für Informationen über Displays und Sprachausgabe ist begrenzt. Eine zu große Informationsdichte (örtlich und zeitlich) ist deshalb ein Sicherheitsrisiko. Zudem stellt sich die Akzeptanzfrage vor dem Hintergrund, dass die elektronischen Hilfsmittel dem Fahrer Aufgaben abnehmen, die er vielleicht gerne selbst ausführt.

Forschungsabteilungen der Automobilindustrie experimentieren mit Techniken, die sicherheitsrelevante Informationen auf die Windschutzscheibe projizieren. Die Problematik der toten Winkel beim Rückspiegel und der erforderliche Schulterblick beim Fahrbahnwechsel haben außerdem zu Überlegungen geführt, statt Spiegeln rückwärts gerichtete Weitwinkelkameras einzusetzen. Aus heutiger Sicht ist ungeklärt, wie sich solche Technologien auf die Verkehrssicherheit auswirken werden.

Technische Unzulänglichkeiten und Akzeptanzfragen

Bereits jetzt stößt die Computerisierung des Automobils an technische Grenzen. Die ersten „In-Car-PCs“ müssen aufwändig gekapselt werden, damit die empfindliche Fahrzeugelektronik nicht gestört wird. Generell ist die Störanfälligkeit von Autos durch Mikroelektronik stark gestiegen. Die Fahrzeugelektronik ist aufgrund ihrer Komplexität vom Wartungspersonal immer weniger durchschaubar.

Grundsätzlich besteht bei dem Gros der Automobilkunden in Mitteleuropa eine hohe Zahlungsbereitschaft für ein hochwertiges Fahrzeug. In einigen Teilbereichen jedoch begrenzen einzelne Technologien die Entfaltung der Möglichkeiten anderer. So steigt die Zahl batteriebedingter Pannen, da die Batterieentwicklung mit den steigenden Anforderungen elektronischer Verbraucher nicht schritthalten konnte.

Unzulänglich sind bisher auch Verfahren der Sprachsteuerung, die es dem Fahrer erlauben sollen, während der Fahrt Geräte zu steuern (Radio, Telefon, Navigation, Online-Dienste). Dialekte, Störgeräusche und die generellen Probleme der Spracherkennung haben bisher ausreichend komfortable Lösungen verhindert.

Die bisher geringen Bandbreiten und die hohen Kosten der Mobilfunknetze der zweiten Generation bremsen die Verbreitung von Multimedia im Auto.

Im wachsenden "Sports and Utilities Vehicles"-Segment ist eine Gegenbewegung zu beobachten, wo analoge Rundinstrumente das Armaturenbrett zieren und auf manuelle Fünf-Gang-Getriebe gesetzt wird.

Die Strahlenexposition (NIS) im Auto kann bislang nur schwer abgeschätzt werden. Die Vielzahl der Strahlenquellen in einem intern und extern drahtlos vernetzen Auto und die Strahlungsreflexion im Innenraum schaffen eine schwer zu beurteilende Situation. Auch Befürchtungen hinsichtlich „Elektrosmog“ könnten die Akzeptanz für das „intelligente Auto“ begrenzen.

Fazit

Die Annäherung an die Vision des Pervasive Computing, die sich im Auto exemplarisch vollzieht, zeigt eine Reihe von Problemen auf, die möglicherweise auch in anderen Anwendungsfeldern relevant sind.

Aufgrund des hohen Vernetzungsgrades entsteht eine Informationsverfügbarkeit, die den Benutzer (Fahrer) und dessen begrenzte Kapazität zur aufmerksamen Informationsverarbeitung als Engpass des Systems erscheinen lässt. Die Ablenkung seiner Aufmerksamkeit durch die Technik wird zum Sicherheitsrisiko. In der Folge werden dem Fahrer von der Technik Aufgaben abgenommen, die er früher selbst ausgeführt hat, wobei die Konsequenzen für die Sicherheit und die Akzeptanz vorläufig unklar bleiben.

Es bilden sich gegenläufige Trends wie hier z.B. die Rückkehr zu analogen Anzeigegeräten und manueller Schaltung.

Diese Entwicklung kann als Zeichen gewertet werden, dass ähnliche Gegentrends auch auf anderen Gebieten entstehen könnten.

4.3 Arbeit

Die vielfältigen Veränderungen der Arbeitswelt, die sich teilweise schon heute auswirken, teilweise erst abzeichnen, werden meist unter dem Begriff der Flexibilisierung zusammengefasst. Sie sind zu einem großen Teil durch ICT ermöglicht:

- Arbeitsort: wechselnde Einsatzorte, non-territoriales Büro, Telearbeit, mobiles Arbeiten auf Geschäftsreisen
- Arbeitszeit: flexible Arbeitszeiten, ständige Erreichbarkeit
- Arbeitsinhalte: Projektarbeit, häufig wechselnde Teams
- Arbeitsverhältnis: Rückgang der Normalarbeitsverhältnisse, häufiger Wechsel des Arbeitgebers, neue Selbstständigkeit

Ursachen für diesen Wandel liegen in erster Linie in der wirtschaftlichen Entwicklung: Globalisierung, Outsourcing, Innovationsdynamik und verschärfter Wettbewerb sind entscheidende Triebkräfte. Die heutige ICT, insbesondere das Internet, haben jedoch notwendige Voraussetzungen für diese Veränderungen geschaffen.

4.3.1 Einsatzbereiche

Bei den Einsatzbereichen von ICT sind aus heutiger Sicht drei Zielrichtungen zu erkennen, die mit Pervasive Computing im Zusammenhang stehen:

- die Rationalisierung der herkömmlichen Büroarbeit einer Person an einem Arbeitsplatz ("intelligentes Büro")
- die Unterstützung der Arbeit in Gruppen
- die zunehmende Ortsunabhängigkeit von Arbeit (mobiles Arbeiten⁶⁶)

Das "intelligente Büro"

Die Vision des "intelligenten Büros" zielt darauf, den Benutzer von Routinetätigkeiten zu entlasten, damit er sich mehr auf die Tätigkeiten konzentrieren kann, die seine spezielle Qualifikation erfordern.

IBM hat in Zusammenarbeit mit dem US-Büroausstatter Steelcase einen Prototypen des Büros der Zukunft entwickelt, "BlueSpace" genannt. Dieses System erkennt den Mitarbeiter beim Betreten des Raums und teilt seinen Kollegen mit, dass er wieder im Büro anzutreffen ist. Gleichzeitig stellt die Klimaanlage das individuell bevorzugte Büroklima her, die Kaffeemaschine wird automatisch aktiviert und neu eingetroffene E-Mails werden an die Wand projiziert.

⁶⁶ Dies schließt den Fall von Telearbeit in den eigenen vier Wänden (home-based telework) ein, ist aber nicht darauf beschränkt. Telearbeit ist ohne Pervasive Computing durch Einrichtung eines „Home Office“ mit Internetanschluss heute realisierbar. Der neue Aspekt von PvC ist die Portabilität und drahtlose Vernetzung der Komponenten und damit die verbesserte Möglichkeit, an nahezu beliebigen Orten und unterwegs zu arbeiten.

Tabelle 4-3: Entwicklung zum Pervasive Computing im Anwendungsfeld Arbeit

	„Intelligentes Büro“	Teamarbeit	Mobiles Arbeiten
Vision 2012	Interaktive Räume: Vollvernetzte Bürotechnik reagiert auf Sprache und Gestik Augmented Reality: in Medizin und Wartung	Wearables mit Übersetzungs-Software für direkte Kommunikation mit fremdsprachigen Kollegen	Mobile Videokonferenzen über Wearable Computers und Augmented Reality
serienreif bis 2007	Dokumenten-Management mit Barcodes / Smart Labels Virtual Secretary: Softwareagenten für viele Sekretariatsaktivitäten Ausgereifte Sprachtechnologien	Interaktive Möbel: vernetzte Stühle, Tische, Wände und Türen mit interaktiven Displays Virtual Conferencing: Avatare in virtuellen Besprechungsräumen etc.	Funkanbindung über UMTS, DVB, DAB etc. Mobile Plattformen auf der Basis mobiler Agenten Wearables in Spezialberufen mit ausgereifter Spracherkennung
heute am Markt	PCs, Netzwerkdrucker Firmennetzwerke und Intranets E-Mail Einfache Spracherkennung Softwareagenten: Suchagenten im Netz	LANs oder W-LANs bei Arbeitssitzungen: Vernetzung der Laptops der Teilnehmer Tele-Conferencing: Video- und Telefonkonferenzen Virtuelle Workspaces für verteilte Projektteams	Mobile Endgeräte: Laptops, PDAs, Organizer, Handhelds, Smartphones Funkanbindung über GSM, GPRS und W-LANs

Neben solchen umfassenden Visionen gibt es Ansätze, einzelne praktische Probleme des Büroalltags zu lösen:

- Mithilfe einer elektronischen Identifikation sollen analoge Arbeitsmaterialien, also herkömmliche Dokumente, einer *digitalen Verwaltung* zugänglich werden. In einem vernetzten Büro könnten sich mit Smart Labels versehene Dokumente und Ablagesysteme beim Benutzer melden, wenn dieser ein Dokument sucht.
- Die Idee einer tastatur- und bildschirmfreien Mensch-Maschine-Interaktion stützt sich auf die Hoffnung, dass die Eingabe mit Spracherkennung und die Ausgabe mit elektronischem Papier erfolgt. Man könnte die Büroarbeit erledigen, in dem man zu den Papieren „spricht“.

Bei der Spracherkennung muss allerdings zwischen der Erkennung von wenigen einfachen Steuerbefehlen (z.B. „Absatz löschen!“) oder gespeicherten Namen („Herrn Müller anrufen“) und dem Diktieren von freiem Text unterschieden werden. Letzteres funktioniert heute nur unzureichend und stößt teilweise auf ungelöste prinzipielle Probleme.

Spracherkennung könnte Teil eines umfassenderen Konzepts eines interaktiven Raums sein, der nicht nur auf verbale Sprache, sondern auch auf nonverbale Äußerungen wie z.B. Zeigegesten reagiert, die mit Kameras oder Sensoren erfasst werden. Bei der Gestenerkennung sind in jüngerer Zeit Fortschritte zu verzeichnen (siehe Abschnitt 3.3).

Die Bewältigung der Informationsflut und die damit einhergehende Dokumentenverwaltung werden – nicht zuletzt durch E-Mail – immer zeitaufwändiger. Bei der Entlastung der Mitarbeiter von solchen Tätigkeiten wird von *Software-Agenten* (siehe Abschnitt 3.5) Hilfe erhofft. Sie sollen hereinkommende Informationen (E-Mails, Telefonate etc.) filtern, sortieren und verwalten und ihnen Prioritäten zuordnen.

Neuere Entwicklungen zielen darauf, klassische Sekretariats-Tätigkeiten an „virtuelle Assistenten“ zu delegieren. So wird am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung an einem „Virtual Secretary“ gearbeitet, der selbsttätig Telefonate annehmen, Termine verwalten und Dokumente nach vordefinierten Kriterien suchen und zusammenstellen soll. Dabei wird auch versucht, auf der Ausgabeseite non-verbale Äußerungen zu simulieren. Der virtuelle Sekretär wird durch einen Avatar (ein visuell simuliertes Wesen) auf dem Bildschirm dargestellt, der je nach Terminlage einen „besorgten“ oder „entspannten“ Gesichtsausdruck annimmt.

Computergestützte Gruppenarbeit

Der heutige PC ist auf die Arbeit eines Individuums ausgerichtet. Für die Bearbeitung digitaler Unterlagen im Team ist er kaum geeignet. Daher führt die Kooperation mit Kollegen regelmäßig zu *Medienbrüchen*: Dokumente werden für eine Besprechung ausgedruckt, FlipCharts und handschriftliche Notizen müssen nach einer Besprechung mühsam eingetippt werden, Pinwände werden mit der Digitalkamera fotografiert und als riesige E-Mail-Attachments verschickt und dann vergessen, weil sie nicht weiterverarbeitet werden können.

Es gibt verschiedene Ansätze und Produkte, die besser an herkömmliche Interaktionsformen im Team angepasst sind.

- Bereits heute bieten lokale Netze, insbesondere W-LANs, Möglichkeiten der Vernetzung und bequemen Datenübertragung zwischen den Laptops von Sitzungsteilnehmern. Diese Option wird allerdings bisher noch kaum genutzt, weil durch die Vernetzung allein die eigentlich benötigten Funktionen wie z.B. Co-Editing (gemeinsames Editieren eines Dokuments) noch nicht gegeben sind.
- Interaktive Möbel weisen ganz neue Wege in Richtung papierloser Arbeitssitzungen und Besprechungen. Das deutsche Forschungs- und Entwicklungskonsortium "Future Office Dynamics" arbeitet seit Jahren an so genannter Roomware[®]. Es handelt sich um interaktive Tischen, Stühle und Wände, darunter der "CommChair", ein Büro-Sessel mit TFT-Bildschirm und stift-basierter Dateneingabe, die "DynaWall", eine interaktive elektronische Tafel mit berührungsempfindlicher Oberfläche, und der "InteracTable", ein Stehtisch mit einem horizontalen, interaktiven PDP-Bildschirm⁶⁷ als gemeinsame Arbeitsfläche. Diese Möbel existieren bisher als Prototypen.

Wesentlich für diese Entwicklung sind neue Displaytechnologien mit druckempfindlichen Oberflächen. So basiert die DynaWall auf einem Plasma-Display mit einer darüberliegenden berührungsempfindlichen Folie. Beschrieben wird die interaktive Wand statt mit Kreide oder Stift direkt mit dem Finger. Mit entsprechender Software können Daten von einem der „intelligenten Möbel“ zum nächsten weitergereicht werden. Die Befehle dafür basieren auf einem Gestenalphabet. Alle Geräte des Future Office Dynamics verfügen über eine drahtlose Internet- und Fax-Anbindung und sind an ein LAN angeschlossen.

⁶⁷ plasma display panel

Drahtlose Vernetzung und Stromversorgung durch Akkus ermöglichen die freie Anordnung der "intelligenten Möbel" im Raum.

Angesichts der wachsenden Bedeutung virtueller Organisationen und räumlich verteilter Projektteams werden neben der optimalen elektronischen Unterstützung von Arbeitssitzungen vor Ort auch Technologien für die Telekooperation immer wichtiger. Schon seit langem besteht die Möglichkeit, Videokonferenzen abzuhalten. Die Entwicklung preiswerter Wanddisplays könnte eine realistischere Konferenzsituation schaffen als die bisherigen Systeme auf TV/Video-Basis, und interaktive Möbel könnten die gemeinsame Besprechung und Bearbeitung von Dokumenten ermöglichen.

An einer ganz neuen Form der virtuellen Konferenz wird im EU-Forschungsprojekt "Avatar Conference" unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation in Stuttgart gearbeitet. Eine virtuelle Konferenzumgebung soll multimediale Meetings, Konferenzen und Präsentationen via Internet ermöglichen. Die Teilnehmer können sich in einem virtuellen Raum einfinden, diskutieren, Informationen austauschen und gemeinsam Entscheidungen treffen.

Mobile Computing

Aus den zunehmenden Mobilitätsanforderungen in der Arbeitswelt sowie der wachsenden Bedeutung ICT-gestützter Tätigkeiten in fast allen Berufen ergibt sich fast zwangsläufig der Trend zum Mobile Computing.

Das betrifft sowohl die ICT-Unterstützung mobiler Tätigkeiten in speziellen Berufen mit hohem Außendienstanteil als auch die Erledigung beliebiger Büroarbeiten auf Geschäftsreisen („white-collar mobile computing“). Dabei spielen neben offline-Tätigkeiten wie Textverarbeitung oder Tabellenkalkulation online-Anwendungen wie Datenaustausch mit dem Unternehmen oder die Recherche im WWW eine wachsende Rolle.

In den letzten Jahren hat die Vielfalt *möbiler Endgeräte* stark zugenommen. Neben das „klassische“ mobile Endgerät Laptop oder Notebook treten zunehmend kompaktere Geräte wie Handhelds und Smartphones (Handys, die auch als Computer benutzt werden können). Ihre funktionale Vielfalt und Rechenleistung verbessern sich mit jeder Produktgeneration. "Ultraportable" Notebooks mit einem Gewicht von rund einem Kilogramm und einer Bauhöhe von 15 Millimetern kommen auf den Markt.

Berufe, die im Freien ausgeübt werden, stellen höhere Mobilitätsanforderungen an die Geräte. Im Baugewerbe werden vereinzelt schon Wearables (z.B. Helme) eingesetzt, insbesondere dort, wo ICT-gestütztes Arbeiten ohne Zuhilfenahme der Hände nötig ist, etwa bei der Inspektion von Brücken.

Bei Berufen mit hohem Außendienstanteil wie beispielsweise in der Versicherungsbranche und vielen technischen Berufen finden mobile ICT-Lösungen auf der Basis von PDAs und Handhelds wachsende Verbreitung.

Für die mobile Büroarbeit ist in der Regel ein schnelle Datenverbindung zum Internet und zum Backend im Unternehmen notwendig, damit der Zugang zu den gleichen Dokumenten ohne lange Wartezeiten möglich ist. Hier kommen je nach Aufenthaltsort und Ausstattung neben UMTS und GPRS auch Netze mit kurzen Reichweiten wie Bluetooth und W-LAN in Frage. Neben der Datenrate spielen Sicherheitsaspekte für die mobile Arbeit eine entscheidende Rolle.

4.3.2 Marktentwicklung

Nach einem Bericht des Handelsblatts⁶⁸ würde die technische Ausstattung des "Bluespace"-Büros heute etwa 25 000 Euro kosten. Solche aufwändigen Gesamtkonzepte für „intelligente“ Büros werden sich kaum am Markt durchsetzen, zumal der kurzfristige betriebswirtschaftliche Nutzen unklar ist.

Anders sieht es für einzelne Anwendungen aus. So werden Spracherkennungs-technologien trotz der beschriebenen Schwierigkeiten von Marktforschern große Potenziale vorhergesagt. 1998 wurden in diesem Sektor weltweit 155 Millionen Dollar umgesetzt, seither hat sich der Umsatz verdoppelt. Für 2005 erwartet das US-Marktforschungsunternehmen Frost & Sullivan 1,7 Milliarden US-Dollar Umsatz.⁶⁹ Die Gartner Group ist skeptischer und warnt vor übertriebenen Erwartungen für die nahe Zukunft. In einer aktuellen Studie wird bei der Spracherkennung mit einem Marktdurchbruch in zwei bis fünf Jahren gerechnet (Grass, 2002).

Software-Agenten gehören zu einem der am schnellsten wachsenden Softwaremärkte. Nach einer Studie der IDC-Marktforschung betrug das Marktvolumen vor zwei Jahren 112,3 Millionen US-Dollar, bis 2004 soll es auf 873,2 Millionen US-Dollar ansteigen (Hoffmann, 2002).

Der Markt für Endgeräte des Mobile Computing gilt nach wie vor als stark wachsend. Nach Einschätzung des Marktforschungsinstitut Dataquest ist der weltweite PDA-Markt 2002 um etwa 18 % gewachsen. Während 2001 etwa 13 Millionen Geräte verkauft wurden, sollen es in 2002 rund 15,5 Millionen sein.⁷⁰ In der Schweiz hatte der PDA-Markt im letzten Jahr ein Marktvolumen von rund 125 Millionen Franken (Weiss, 2002). Dies entspricht einem Wachstum von 14.7 % im Vergleich zum Vorjahr. Dieses Wachstum stellte sich trotz rückläufiger Stückzahlen ein. Der Grund liegt in den höheren Stückpreisen der verstärkt nachgefragten Farbgeräte.

4.3.3 Aussichten

Die Flexibilisierung von Arbeitsprozessen und die wachsenden Informationsmengen, die im Arbeitsalltag zu verarbeiten sind, erfordern neue technische Lösungen. In Zukunft werden mobile Endgeräte im Außendienst unverzichtbar sein, weil Arbeitsunterlagen voraussichtlich nur noch digital vorliegen werden.

Dem „intelligenten“ Büro der Zukunft, sei es mobil oder ortsfest, liegt die Vision zugrunde, dass Arbeitsformen trotz der Allgegenwart von ICT wieder so intuitiv und natürlich und Arbeitsunterlagen wieder so anfassbar werden wie vor dem Einzug des PC: Alles ist vernetzt und mit Rechenkapazität ausgestattet, aber der Benutzer schreibt wieder mit der Hand (auf einem interaktiven Tisch oder mit einem „intelligenten Stift“) und erteilt seinem Computer mit Sprache und Gestik Anweisungen. Der Computer verschwindet und macht „intelligenten Gegenständen“ Platz.

In bestimmten Arbeitsplatz besteht ein akuter Bedarf nach neuen technischen Lösungen. So werden beispielsweise in medizinischen Berufen große Hoffnungen in funktionierende Spracherkennungs-technologien gesetzt, um den wachsenden Aufwand für Arbeiten am Computer zu verringern. Generell dürfte sich die klare

⁶⁸ Hohensee, M.: Energische Sekretärin. In: Handelsblatt, 08.05.2002

⁶⁹ innovation-aktuell.de, 2001

⁷⁰ Noch vor kurzem wurde mit 30 Prozent Wachstum für 2002 gerechnet.

Erkennbarkeit von Arbeitserleichterungen als wesentliche Erfolgsbedingung für die Einführung „intelligenter“ Technologien am Arbeitsplatz erweisen.

Die Unterstützung mobiler Tätigkeiten mit einer geeigneten mobilen Plattform wird den Benutzer nur dann überzeugen, wenn die ergonomische Qualität und die Schnittstellen zur gewohnten Datenumgebung gewährleisten, dass die Einarbeitung in die neue Technologie nicht mehr Zeit erfordert, als sie nachher einsparen hilft. Im Gegensatz zum Privatbereich, wo für einen Teil Benutzer die Beschäftigung mit komplizierter und anfälliger Technik anscheinend zum Selbstzweck werden kann, drängen in der Arbeitswelt betriebswirtschaftliche Zwänge auf Zeiteffizienz. So werden bei interaktiven Büromöbeln die betriebswirtschaftlichen Vorteile vielfach zu unsicher sein, um die hohen Kosten zu rechtfertigen. Auf absehbare Zeit wird der Griff zu Stift und Notizblock noch schneller sein als die Bedienung interaktiver Touchscreens.

Der Durchbruch des Mobile Computing in Unternehmen und damit auch die Zukunft des PvC sind durch die mangelnde Datensicherheit der Übertragungsnetze in Frage gestellt. Gerade bei W-LANs wird heftig über Sicherheitslücken diskutiert und an Lösungen gearbeitet. In diesem Zusammenhang könnte die Bedeutung von „Virtual Private Networks“ zunehmen. Das sind geschützte Netze, die auf der Grundlage eines beliebig ungeschützten Netzes wie z.B. dem Internet realisiert werden. Die Übertragung geschieht mit so genannten Tunnel-Techniken, d.h. die eigentlichen Datenpakete (die des virtuellen Netzes) werden verschlüsselt in die Datenpakete des Transportnetzes (des realen Netzes) eingebaut und am Empfangsort wieder ausgepackt und entschlüsselt.

Ein weiterer hemmender Faktor könnte die Unzulänglichkeit der Technologien sein, die häufig mit großen Übertreibungen angekündigt werden. Nach einer aktuellen Studie (Grass, 2002) der Gartner Group enttäuschten in jüngerer Zeit viele Entwicklungen die hohen Erwartungen, die in sie gesetzt wurden. Insbesondere bei biometrischer Authentifizierung, Spracherkennung und Voice-over-IP (Telefonieren über Internet) ist eine spürbare Ernüchterung eingetreten.

4.4 Gesundheit

4.4.1 Einsatzbereiche

Im Gesundheitsbereich ist die ICT heute vielfältig im Einsatz. Wichtige Bereiche sind das Internetconsulting, die Senkung der Gesundheits-Kosten durch ICT-unterstützte Präventivmaßnahmen sowie Sport und Wellness.

Immer mehr Patienten informieren sich bezüglich Krankheiten mit Hilfe des Internet. Im Jahr 2000 haben sich weltweit 84 Millionen Nutzer per Internet Gesundheitsinformationen beschafft. Dominierende Themen sind Diäten⁷¹ und chronische Erkrankungen. Viele Menschen suchen im Internet nach einer zweiten Meinung oder nach dem Experten für ihre Krankheit. Dieser Boom zeigt, dass „Laien“ ihre Gesundheit ernst nehmen und die Verantwortung darüber selber wahrnehmen möchten. Die Qualität der von den Laien getroffenen Entscheidungen hängt damit von der Qualität der verfügbaren Informationen ab.

Andere Einsatzgebiete liegen im Bereich der Medizintechnik. Hier geht es zum Beispiel um eine Verbesserung des Zugriffes zu den Patientenakten durch digital vernetzte Krankenhäuser und Ärzte, und um Bildverarbeitungsverfahren bis hin zu spezieller Analyse-Software bei der Diagnose. Weitere Einsatzgebiete sind die Überwachung von Körperfunktionen von Patienten, die Unterstützung von Pflegebedürftigen und die Implantattechnik. (Diese Aspekte werden in Kapitel 6 näher behandelt.)

Ein weiteres Gebiet ist die Ausbildung des medizinischen Personals mit Simulationsprogrammen. Beispiele sind: Übungen von Operationen am virtuellen Patienten⁷² oder die Simulation der Wirkung von Pharmaka⁷³. Anderseits können Simulationsprogramme Chirurgen bei der Planung von Operationen unterstützen. Ein Beispiel ist die Operationsplanung und die virtuelle Simulation einer Gehirnoperation zunächst ohne Patient auf einem Bildschirm anhand der 3-dimensional vorliegenden Bilddaten⁷⁴.

Tabelle 44 zeigt die zu erwartende Entwicklung in den Einsatzbereichen Patient, Medizintechnik und Kommunikation. Der Übergang zu Pervasive Computing ist dabei fließend und vor allem durch die zunehmende Miniaturisierung und drahtlose Vernetzung gekennzeichnet.

⁷¹ Beispiele virtueller Ernährungsberatung: www.ediets.com, www.cyberdiet.com, www.dietsmart.com, Sport und Wellness wie zum Beispiel virtuelle Trainingsberatung unter www.rvffel.ch oder Erkrankungen z. B. unter: www.medgate.ch, www.netdoktor.ch.

⁷² www.bbw.admin.ch/pressemitteilungen/2002-04-18/d/projekte/xitact-d.pdf

⁷³ archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z1999/0440/diss_77.html

⁷⁴ www.uniklinik-freiburg.de/k/nch/aanc/de/pub/schwer.xml

Tabelle 4-4: Entwicklung zum Pervasive Computing im Anwendungsfeld Gesundheit

	Patient	Medizintechnik	Kommunikation
Vision 2012	Therapie geschädigter Sinnesorgane oder Nervenbahnen durch Implantate	Augmented Reality in der Chirurgie Ferndiagnostik	–
Serien- reif bis 2007	Navigationssystem für Sehbehinderte Home Care (Überwachung von Vitalfunktionen) Unterstützung Pflegebedürftiger Computergesteuerte Prothesen	Sprachsteuerung im Operationssaal Mikroroboter in der Chirurgie Implantatroboter in der Zahnmedizin	Digitale Krankenhäuser Elektronische Patientenakte
Heute am Markt	Körperfunktionsüberwachung (Personal Health Monitoring) Trainingsprogramme Einfache elektronische Implantate	medizinische Bildverarbeitung Computergestützte Diagnose Minimalinvasive Operationen	Multimedia Smart Card

4.4.2 Marktentwicklung

Neben gebräuchlicher ICT finden sich in der Medizin eine Vielzahl von Spezialanwendungen, die meist nur in kleinen Stückzahlen hergestellt werden. Nur dort, wo der Patient selbst Nutzer ist (z.B. Smart Cards für die Versicherungsführung oder häufig benötigte Implantate wie Herzschrittmacher), werden sehr große Stückzahlen erreicht. Entwicklungsschwerpunkte der Industrie sind (Siemens Webzine, 2001):

- "Digitales Krankenhaus" und "elektronische Patientenakte": Ziel ist es, alle Abteilungen in Krankenhäusern miteinander zu vernetzen. Dazu gehören auch elektronische Patientenakten, die jederzeit von Berechtigten abrufbar sind. Aufwand und Qualität sollen von der Diagnose über die Therapie bis zur Nachsorge optimiert und die Kosten gesenkt werden.
- Bildgebende Verfahren: Die in Entwicklung befindlichen Verfahren gestatten eine noch bessere Bilddauflösung des Körperinneren, lassen sich am Computer miteinander koppeln und verbessern die Qualität von Simulationen zur Vorbereitung auf spätere chirurgische Eingriffe.
- Computergestützte Diagnose: Datenbanken und Expertensysteme werden eingesetzt, um die ärztliche Diagnose zu unterstützen (Computer Aided Diagnosis).
- Augmented Reality in der Chirurgie: Verfahren der "Augmented Reality" erlauben es, Realbilder mit Zusatzinformationen anzureichern. So kann z.B. der Chirurg den Gehirntumor eines Patienten auf dessen Kopf projiziert wahrnehmen und während der Operation den Bewegungsverlauf der Behandlungssonde visualisieren.

- Operationsroboter: Roboter unterstützen bereits routinemäßig Operationen, so beispielsweise bei Hüftoperationen und die Implantation künstlicher Kniegelenke. Vorteile dieser Technik liegen in der präoperativen Planung am dreidimensionalen Modell und in deren Umsetzung mit großer Präzision.
- Haptische Ausgabegeräte: Ein wichtiges Forschungsfeld widmet sich haptischen Ausgabegeräten, die für verschiedene Schneidegeräte und Arthroskope die Widerstände des Gewebes und der Knochen spürbar machen.
- Überwachung des Gesundheitszustandes: Sowohl in der Prävention als auch in der Intensivmedizin und der Rehabilitation werden schon seit längerem mikroelektronische Überwachungssysteme für Körperfunktionen eingesetzt. Neu ist die automatische Datenübertragung zum Krankenhaus oder zum Hausarzt. Dies ermöglicht in vielen Fällen statt einer stationären eine Überwachung des Gesundheitszustandes zu Hause (siehe auch Kapitel 6.1).
- ICT-gestützte Rehabilitationsprogramme: Für die Rehabilitation wird spezielle Software für Training und Überwachung entwickelt⁷⁵.
- Prothetik: In Entwicklung sind z.B. computergesteuerte Prothesen für Beine und Füße. Das Kniegelenk wird von einem Mikroprozessor gesteuert. Dazu wird über eine Sensorik die Schrittfolge festgestellt, mikroelektronisch verarbeitet und in hydraulische Bewegungen während des Gehens umgesetzt. In die gleiche Richtung zielt ein Ansatz, mittels Gehirnströmen Computer zu steuern. Erste Versuche mit paralysierten Patienten wurden schon durchgeführt.⁷⁶ Ein anderes Beispiel stellt die Entwicklung von Retina-Implantaten dar, welche einen bestimmten Teil der Blinden zum Sehen verhelfen könnten.⁷⁷
- Schrittmacher: Neben dem Herzschrittmacher, der bezüglich Herzpuls für ein korrektes Funktionieren des Herzen sorgt, werden zur Zeit in verschiedenen Laboratorien auch Hirnschrittmacher entwickelt. Es handelt sich dabei um Elektroden, die in betreffenden Hirnregionen des Patienten implantiert und über einen Schrittmacher stimuliert werden. Bei bestimmten Schrittmachern blockieren elektrische Impulse die überaktiven Regionen im Gehirn, bei anderen stimulieren sie zu wenig aktive Regionen. Auf dieser Art konnte schon einige Parkinson-Patienten, aber auch Patienten mit sonst unbehandelbaren Zwangserkrankungen oder depressiven Patienten geholfen werden⁷⁸.
- Implantierte Transponder: Mikroelektronische Elemente halten Einzug bei Implantaten. Weit verbreitet sind Transponder in der Tiermedizin und bei der Nahrungsmittelüberwachung. Ein Beispiel ist die Überwachung und gegebenenfalls die Zurückverfolgung der Herkunft von Rindern. In der Lachsziicht werden Transponder zur Überprüfung des Schlachtgewichtes eingesetzt.⁷⁹ Nicht nur bei Tieren, auch bei Menschen könnte in Zukunft solche Implantate Anwendung finden. Als Vorteile werden u.a. Möglichkeiten zur Personen-Identifikation zu Hause und außerhalb (Körperintegrierter Schlüssel) genannt. Es gibt erste Versuche in dieser Richtung.⁸⁰

⁷⁵ <http://www.cc.ethz.ch/bulletin/>

⁷⁶ www.emory.edu/WHSC/HSNEWS/scico/brain.html

⁷⁷ www.rwth-aachen.de/zentral/dez3_pm2002_pmretina.htm

⁷⁸ <http://www.hempelbs.de/article.php?sid=269>; <http://de.news.yahoo.com/020921/3/2yync.html>

⁷⁹ www.datamars.com/animal.htm

⁸⁰ www.cnn.com/TECH/computing/9809/02/chipotent.html

- Nanorobotik. Es gibt bereits „Mikro-U-boote“ in der Größe von 4 mm mit einem Durchmesser von 0,65 mm. Es wird spekuliert, dass in Zukunft noch kleinere Mikro- oder Nanomaschinen in die Blutbahn ausgesetzt werden können, wo sie therapeutische Aufgaben verrichten.⁸¹

Exkurs: Anwendungen ohne therapeutische Notwendigkeit

Die gleichen „pervasiven“ Technologien, die Patienten von schweren Leiden befreien, können grundsätzlich eingesetzt werden, um physische Grenzen gesunder Menschen technisch zu erweitern. Dieser Punkt soll hier vertieft werden, weil er ein häufiger Bestandteil von Technologievisionen ist und für die Hersteller wahrscheinlich ein größeres Marktpotenzial verspricht als die Behandlung relativ seltener Erkrankungen.

Visionen zielen insbesondere auf die Entwicklung künstlicher Sinnesorgane und die Verknüpfung mikroelektronischer Elemente mit dem Zentralnervensystem. Schreitet die Kopplung zwischen Elektronik und Gehirn weiter voran, so wird auch die Ansteuerung externer Geräte durch Nervenimpulse denkbar. Schon jetzt gibt es hierzu Ansätze.⁸² Dadurch rückt der direkte Zugriff auf technologische Informationsspeicher in den Bereich des Möglichen – das „externe Gedächtnis“ würde realisierbar.

Solche Entwicklungen könnten letztlich dazu führen, dass in manchen Bereichen die künstlichen Organe den natürlichen (biologischen) überlegen sein werden. Es ist denkbar, dass dann Transplantationen nicht mehr allein aus medizinischen Gründen (nach Unfall, Krankheit etc.) durchgeführt werden, sondern weil die Menschen durch künstliche Organe ihre Leistungsfähigkeit (und damit ihr Leben) verbessern wollen.

In der Neurochirurgie werden Chips zur Erweiterung von Gedächtnis und Bewusstsein für prinzipiell möglich gehalten. Wenn heutige Trends sich fortsetzen, sei der Durchbruch bereits 2029 erreichbar, behauptet der Computerwissenschaftler Ray Kurzweil in seinem Buch "Homo s@piens". Dann würden die Implantate so ausgereift sein, dass sie Kommunikation von Mensch zu Maschine und umgekehrt ganz zwanglos erlauben. Durch direkte Kopplung mit dem Nervensystem würden Mikroprozessoren dann Töne, Bilder, Gerüche und Gefühle ins Gehirn einspielen können.

Die Möglichkeiten des Missbrauchs und die ethischen Implikationen solcher Technologien sind kaum absehbar, wie das folgende Beispiel illustriert: Eine Forschungsgruppe der State University von New York implantierte Ratten je drei mit einem Mikroprozessor verbundenen Elektroden im Gehirn. Es gelang den Forschern, die Ratten mittels Fernbedienung an Orte dirigieren, die sie normalerweise meiden (Clarke, 2001).

⁸¹ <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/lis/4319/1.html>;

http://www.heise.de/bin/tp/issue/dl-artikel.cgi?artikelnr=4319&rub_ordner=inhalt&mode=html

⁸² www.emory.edu/WHSC/HSNEWS/scico/brain.html

4.4.3 Aussichten

Die Medizin bietet vielfältige Potenziale für den Einsatz von Computertechnologien. Es ist davon auszugehen, dass der Einzug der Computertechnik weiter voranschreitet. Impulse erhält diese Entwicklung aus verschiedenen Richtungen:

- Pervasive Informations- und Kommunikationstechnik verbessern Arbeitsprozesse und tragen zur Qualitätssteigerung bei, nicht zuletzt wird von ihnen eine Senkung der Kosten erwartet. Durch eine elektronische Patientenakte ließen sich – so die Hoffnung – unnötige Doppeluntersuchungen und unzweckmäßige Behandlungen vermeiden.
- In den Industriestaaten wächst der Anteil älterer Menschen an der Bevölkerung. Dadurch erhöht sich insgesamt der Pflegebedarf. Pervasive Informationstechnik kann hier die Betreuung und Pflege von Patienten in ihren eigenen vier Wänden unterstützen, so zum Beispiel durch die automatische Überwachung von Körperfunktionen und die Übertragung zum Arzt, wodurch sich möglicherweise Kosten senken lassen.
- Impulse erhält die Entwicklung auch dadurch, dass Aspekte des wichtiger werdenden Körperbewusstseins, der Vorsorgemedizin und des "Care Management" unterstützt werden.

Schließlich ist zu vermuten, dass der Gesundheitsbereich schon deshalb ein breites Anwendungsfeld für Pervasive Computing sein wird, weil alle Möglichkeiten, die die Sicherung und Verbesserung der Gesundheit in Aussicht stellen, auf eine im Grundsatz hohe Akzeptanz stossen. Die Grenzen sind dort zu sehen, wo grundlegende ethische Fragen berührt werden.

Pervasive Computing wird durch ein neues Freizeit-Verhalten Richtung *Wellness* und Sport (*Bodyshaping* aber auch in Richtung Extrem-Sportarten) eine zunehmende Bedeutung erhalten. Es ist dabei nicht auszuschließen, dass auf Grund der immer besser werdenden Möglichkeiten die eigenen Körperfunktionen *on-line* zu verfolgen, der Körper zu „optimal“ ausgenützt (ausgereizt) wird und als Folge Spätschäden auftreten. Zudem könnten die verbesserten therapeutischen Möglichkeiten zu einer größeren Risikobereitschaft im Sport führen. Beide Faktoren könnten sich negativ auf die Gesundheitskosten auswirken.

4.5 Wearables

Wearables sind (elektronische) Geräte, die am Körper getragen werden oder in die Kleidung integriert sind. Entsprechende Kleidung wird auch als „i-Wear“ oder „intelligente Kleidung“ bezeichnet. Das Funktionsspektrum der Wearables umfasst die Erfassung und Verarbeitung von Körper- und Umgebungsdaten sowie die Kommunikation über das Internet oder lokale Netze.

Abbildung 4-5 zeigt die wichtigsten Meilensteine der Entwicklung von Wearables im 20. Jahrhundert. Wir betrachten Wearables als ein Teilgebiet von Pervasive Computing, da die wesentlichen Merkmale von PvC erfüllt sind.

Handfreie Interaktion, Multifunktionalität und Kontextsensitivität sind heute die wichtigsten Entwicklungsziele.⁸³

Der entscheidende Unterschied zu heutiger ICT besteht darin, dass mit Wearables ein enger Zusammenschluss von Prozessen und Informationen aus der realen und der virtuellen Welt erreicht werden kann. Der Zugang zur virtuellen Welt wird selbstverständlicher, weil die Mittel dazu am Körper getragen werden.

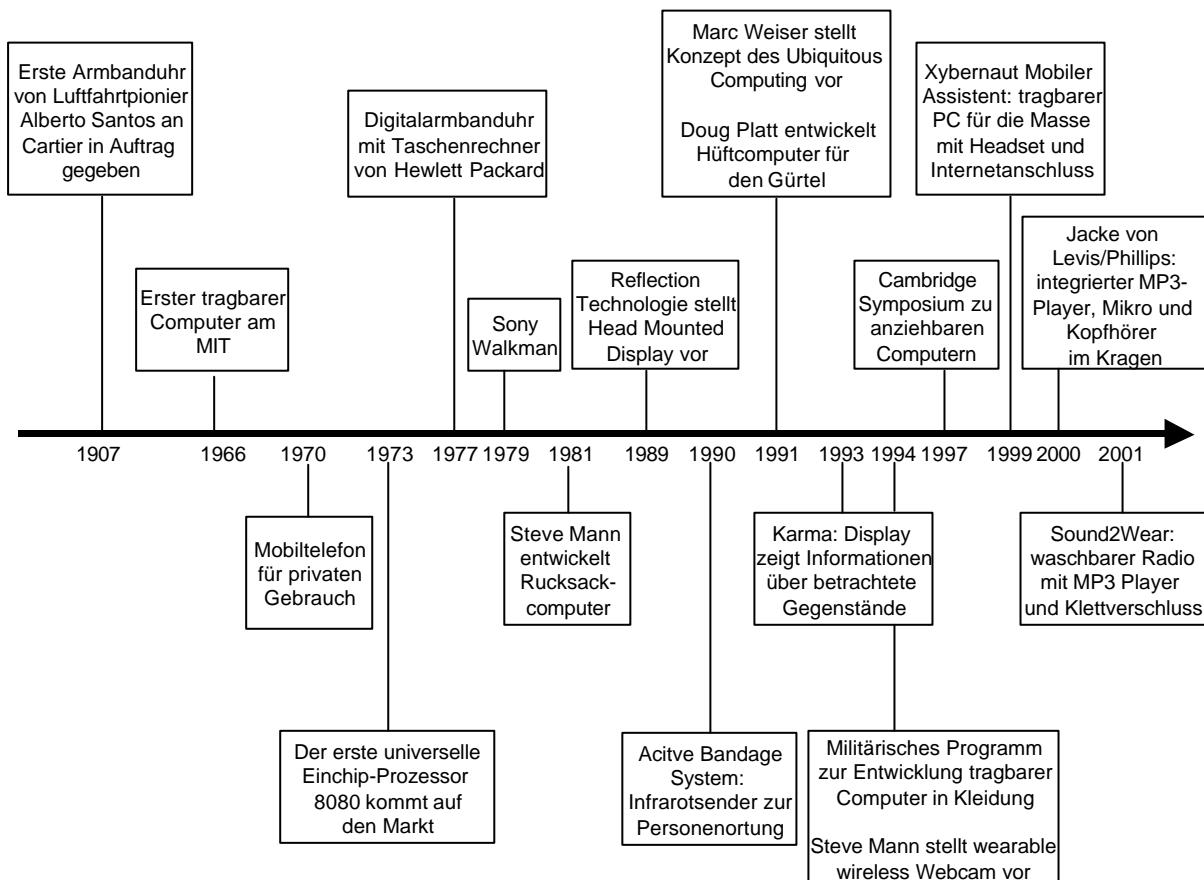


Abbildung 4-5: Meilensteine der Entwicklung von Wearables im 20. Jahrhundert

⁸³ vgl. International Symposium Wearable Computer (2001)

Tabelle 4-5: Entwicklung der Wearables in verschiedenen Einsatzbereichen.

	Freizeit	Arbeit	Überwachung und Adaption
Vision 2012	Personal Area Network: Leben hinter dem virtuellen Schild	Data Glove: Mit der Hand werden Vorgänge in einer simulierten Welt oder an einem entfernten Standort gesteuert	E-vision: Brille passt sich der Sehstärke und Blickdistanz kontinuierlich an
serien-reif bis 2007	i-wear: Tascheninventur, Alarm und kontext-sensitives Musikprogramm Memory-Weste: integriertes Diktiergerät	Hochleistungs-Wearable PCs für berufliche Anwendungen, z.B. für Live-Berichterstattung Cyber-Brillen: gewohnte Arbeitsumgebung ortsunabhängig verfügbar	Gesundheitskontrolle: Messung, Anzeige und Kontrolle für Blutdruck, Hautbräunung usw. Lokalisierung: Überwachung von Kindern und Haustieren
heute am Markt	multifunktionale Armbanduhren: z.B. mit MP3-Player Industrial Clothing Design: mit MP3-Player, Handy, Kopfhörer und Mikrofon Memory-Brille: Brille mit Kamera, Mikrofon und integriertem Display	multifunktionale Armbanduhren: z.B. Organizer Erste Wearable PCs: Headset mit Mikrofon, Spracherkennung und integriertem Display Bluetooth-Headset für Handy an der Hüfte	multifunktionale Armbanduhren: z.B. mit Datenspeicher für Zugangs-kontrolle Fitness: Sport-BH mit Pulsmesser und Anzeige, elektrische Muskel-Stimulation mit Gürtel Navigation: sprachge-steuertes Navigations-system für Sehbehinderte

4.5.1 Einsatzbereiche

Tabelle 4-5 zeigt die zu erwartende Entwicklung von Wearables in Einsatzbereichen Freizeit, Arbeit sowie Überwachung und Adaption. Aus der Vielzahl möglicher Anwendungen haben Wearables zur Kontrolle der Körperfunktionen sowie Headsets für die Kommunikation vergleichsweise hohe Realisierungs- und Diffusionspotenziale.

Zur Veranschaulichung der Einsatzmöglichkeiten werden die heute existierenden Produkte und Prototypen beschrieben.

Existierende Produkte als Illustrationsbeispiele

Die Industrial Clothing Design (ICD) Jacken von Levis und Philips haben Vorrichtungen für das Verstauen von MP3-Player und Handy. Am Kragen sind Kopfhörer und Mikrofon befestigt. Bei einem Stückpreis von umgerechnet ca. 1.200 € blieb die Auflage dieses Nischenproduktes bei lediglich 320 Stück. Die Weiterentwicklung hin zu kontext-sensitiver i-wear wird derzeit vom MIT forciert, unterstützt von den Sponsoren Adidas, Levi-Strauss, Europa, Samsonite und Seiko Epson. Die i-wear soll erkennen, welche Gegenstände man bei sich trägt und ggf. den Träger z.B. an den Schlüsselbund erinnern. Eine Alarmfunktion schützt die Gegenstände in der Jacke vor Diebstahl. Durch Interpretation der Bewegung (Joggen, Schlendern) und Ermittlung äußerer

Störfaktoren wie Straßenlärm wird automatisch ein Musikprogramm ausgewählt und die Lautstärke geregelt. Die i-wear ist in drei Schichten aufgebaut: Die Bewegungsschicht erfasst über Sensoren die Bewegungsmuster, die Soundschicht liefert via Lautsprecher die passende Musik und die Umgebungsschicht erfasst Lichtverhältnisse, Temperatur und Schall. Die Kommunikation erfolgt drahtlos via Bluetooth-Standard.

Andere Ansätze bevorzugen die Kommunikation via Textilien, in die Polymerelektronik und leitende Fasern eingewoben sind.

Der „Wearable PC“ von IBM wiegt lediglich 300 g. Durch ein Headset mit integriertem Display, Mikrofon sowie Sprachsteuerung ist ein freihändiges Arbeiten möglich.

Das Modell vom „Klaus Steilmann Institut“ und Sinn Leffers ist ein in die Weste einge-arbeiteter Computer mit 40 MB Speicher und einem Pentium 3 Prozessor, der rund 900 g wiegt. Das Produkt zielt auf professionelle Anwender wie Sportreporter bei Live-Reportagen. Die Einsatzgebiete für die Industrie liegen im Bereich der internen Kommunikation, der zeitnahen Lagerhaltung, Wartung und Reparatur. Der Systemtechniker in Fabriken oder im Flugzeugbau kann durch die im Head Mounted Display angezeigten Systempläne die Störungsstelle lokalisieren. Die gleiche Information kann in einem Team, dessen Mitglieder sich an verschiedenen Orten aufhalten, zeitgleich von allen empfangen und analysiert werden.

2001 und 2002 haben Ericsson bzw. Motorola die ersten Headsets für Handys mit Bluetooth-Funk auf den Markt gebracht. Das Handy kann dabei z.B. an der Hüfte bleiben. Dies ist ein erster Schritt in Richtung „Personal Area Network“.

Mit dem *Sport-BH*, der den Puls misst, ist der Einsatzbereich von Wearables zur Überwachung von Körperfunktionen vom Gesundheitswesen auf den Sport erweitert worden.

Geräte zur kontinuierlichen Überwachung z.B. des Blutdrucks werden zunehmend bequemer. In nicht allzu ferner Zukunft ist angesichts des wachsenden Gesundheitsbewusstseins und der Fortschritte bei Technik und Integration in die Kleidung mit umfassenderen Wellness- und Gesundheitsanwendungen zu rechnen. So sind spezialisierte und multifunktionale Geräte zur Messung, Anzeige und Kontrolle von Puls, Blutdruck, Hautbräunung und Schweiß in Entwicklung.

Die Vision der digitalen Aura

Endziel der Entwicklung ist die vollständige Vernetzung der Wearables untereinander und mit übergeordneten Netzwerken. Personal Area Networks (PANs) bzw. Body Area Networks (BANs) vernetzen alle Objekte im Nahraum und haben Zugang zu Mobilfunknetzen oder W-LANs, über die wiederum das Internet erreichbar ist.

So trägt der Benutzer eine auf seine persönliche Interessenlage zugeschnittene Informations- und Funktionsaura mit sich herum, die ihn zugleich mit der Welt verbindet. Seine natürlichen Sinne werden durch die Kontextsensitivität von Wearables und durch Augmented Reality erweitert: Was immer Sensoren über den eigenen Körper oder die unmittelbare Umgebung in Erfahrung bringen, kann unmittelbar ins Blickfeld des Benutzers eingeblendet bzw. über das Ohr oder den Tastsinn angezeigt werden. Das gilt auch für zusätzliche Informationen, die situationsabhängig aus entfernten Quellen abgefragt und bereitgestellt werden.

Die folgende Tabelle stellt die Technologien und ihre Einsatzbereiche zusammen, die in einem Personal Area Network integriert werden können.

Tabelle 4-6: Personal Area Network mit Schnittstellen (Quelle: mstnews - International Newsletter on Microsystems and MEMS, No. 2/02; eigene Zuordnungen)

Einsatzbereich	Technologie	Anwendungsbeispiele
Freizeit und Unterhaltung	Mobilfunknetze Bluetooth Transponder Ein-/Ausgabegeräte PC/PDA Display	integriertes Handy i-wear-Schichten Textilelektronik Mikrofon/Lautsprecher Headset
Gefahrenabwehr und Gesundheitsmonitoring	Transponder und GPS Sensoren Aktuatoren	Identifikation und Lokalisierung Puls Notruf
Effizienz- und Sicherheitsaspekte in Arbeitsprozessen	Mobilfunknetze Bluetooth Transponder Sensoren Headset	integrierter PDA Schnittstelle zu Bürogeräten Zugangskontrolle Gefahrstoffwarnung Virtuelle Arbeitsumgebung

4.5.2 Marktentwicklung

Der wichtigste Absatzmarkt für Wearables ist aus Sicht der Hersteller die junge unkonventionelle Konsumentengruppe. Die Geräte sollen ein Höchstmaß an Flexibilität, Mobilität, Individualität aber auch „Spaß“ garantieren. Permanente Erreichbarkeit, die Möglichkeit des Datenzugriffs unterwegs, das Abfragen persönlicher Daten und deren Verwaltung, wie Informationen über die Umgebung oder das Tagesgeschehen sind wichtige Nutzungskriterien. Taschen und Anwendungen für kleine tragbare Geräte sind durch den in Jugendszenen weit verbreiteten Cargo-, Utility-, Military- oder Futuristiklook möglicherweise als „Einfallstor“ für Wearables zu verstehen.

Für diese Zielgruppe steht die Befriedigung des Distinktionsbedürfnisses durch *sichtbare* Markenartikel und Technik in einem gewissen Widerspruch zur Idee des *unsichtbaren* oder zumindest unauffälligen Pervasive Computing. Es wird interessant sein, wie die Anbieter diesen Gegensatz auflösen.

Zielgruppen mit ganz anderen Bedürfnissen sind Pflegebedürftige mit großem Sicherheitsbedürfnis, Alleinerziehende und berufstätige Eltern sowie leistungsorientierte Fitnessanhänger und Extremsportler. Zum einen wird die eigene Sicherheit überwacht (medizinisch/Überfälle), zum andern können mit Hilfe von Wearables im Verbund mit Netzwerken andere Personen, z.B. Kinder überwacht werden.

Senioren, Alleinerziehende und Singles prägen mehr und mehr das Bild der Gesellschaft. Die Motivation, Wearables zu tragen, könnte in dieser potentiellen Benutzergruppe aus dem durch parallele Tätigkeiten resultierenden erhöhten Sicherheits- und Kontrollbedürfnis entstehen. Da der Fitness- und Wellnessstrend anhält und auch die Alterung der Gesellschaft voranschreitet, liegt in der Kontrolle und Überwachung von Körperfunktionen ein großes Marktpotenzial.

Wearables in der Arbeitswelt ermöglichen durch verbessertes Informationsmanagement effizientere und – wenn die Benutzerschnittstellen besser werden, was sich noch erweisen muss – auch ergonomischere Arbeitsprozesse. Der entscheidende

Unterschied zu heutiger ICT besteht darin, dass ein enger und produktiver Zusammenschluss von Prozessen und Informationen aus der realen und der virtuellen Welt erreicht werden kann.

Die Integration von Wearables versetzt ihre Träger in die Lage, einen direkten Zugriff auf die für ihre Arbeit relevanten Daten von ihrem jeweiligen Aufenthaltsort aus zu haben. Die dadurch gewonnene Flexibilität, die Zeitersparnis und der Wissensvorsprung versprechen Kosteneinsparungen und könnten daher ein nicht zu unterschätzender Motor für die Verbreitung von Wearables als Arbeitswerkzeug sein. Bell Canada hat erste Erfahrungen mit dem Einsatz von Wearables im Bereich Telekommunikationswartung gemacht. Nach Angaben dieses Unternehmens werden durch den Einsatz von Wearables täglich eine Stunde Arbeitszeit pro Techniker eingespart.

Neben der Kleidung ist Schmuck eine Möglichkeit, Wearables am Körper zu tragen. Wearables in Schmuck könnte vor allem für weibliche Träger interessant werden, da spezifisch weibliche Kleidung zumindest nach heutigem Modeverständnis meist wenig Taschen zulässt.

Die Informationen zur Marktentwicklung von Wearables sind spärlich. Die Consumer Electronics Association in den USA beziffert den Wearable Computer Markt mit 25-50 Mio. US-\$ im Jahre 2000, 2005 soll er gar 50 Mrd. US-\$ betragen.⁸⁴ Diese prognostizierte astronomische Steigerungsrate erscheint sehr spekulativ.

In welchem Maße sich Wearables durchsetzen, hängt von mehreren Faktoren ab. Wesentlich sind Kosten, Tragekomfort und Sicherheitsaspekte. Es ist denkbar, dass in 4-5 Jahren die Kosten für Wearables so weit gefallen sind und die Funktionalität der Spracherkennungssysteme und der Headsets so weit fortgeschritten sind, dass man eine hohe Marktdurchdringung erreichen könnte (Shea, 2001). In Call-Centern und anderen gewerblichen Bereichen gehören Headsets bereits heute zum Alltag, doch dies sind isolierte Anwendungen, die nicht der umfassenden Vision von Wearables bzw. PvC entsprechen.

Nach einer Umfrage des „Klaus Steilmann Instituts“ haben 95 % der Männer und 93% der Frauen Interesse an i-wear.⁸⁵ Im Gegensatz dazu schätzen die Händler die konkrete Wichtigkeit der Wearables für die Bekleidungsindustrie erstaunlich gering ein. Nur 6% der Händler sehen für Wearables in der nächsten Zukunft einen Markt, allerdings erhöht sich die Schätzung, je ferner man die Zukunft ansetzt. 88 % der Händler in der Bekleidungsindustrie stimmten in einer Umfrage zu, dass Mode mit Funktion sich besser und teurer verkaufen ließe, allerdings nur, wenn dem Kunden die Funktion verständlich gemacht werden kann⁸⁶.

4.5.3 Aussichten

Abbildung 46 gibt einen Eindruck davon, wie Hersteller die Zukunft von Wearables sehen (Siemens Forschung und Entwicklung 1997).

Die Marktdurchdringung von Wearables hängt voraussichtlich vor allem von folgenden Faktoren ab:

⁸⁴ Consumer Electronics Association <http://www.ce.org>; Stand: 3.6.2002

⁸⁵ Starlab und Klaus Steilmann Labors, 2001, unveröffentlicht

⁸⁶ Händlerbefragung der Textilwirtschaft, in TextilWirtschaft-Zeitung 29.11.2001, Nr. 48

- gesundheitliche Risiken nichtionisierender Strahlung (NIS)
- Datenschutz
- Weitere Akzeptanzfragen und technologische Defizite

NIS-Exposition

Besondere Relevanz für die Strahlungsexposition haben Wearables zum einen dadurch, dass sie zumindest tagsüber *durchgehend* getragen werden und evtl. auch durchgehend in Betrieb sind, zum anderen durch die *Nähe der Strahlungsquellen zum Körper*. Die Kombination von Dauerbetrieb und Nähe zum Körpergewebe kann auch bei geringen Sendeleistungen zu hohen Expositionen führen (siehe auch Anhang).

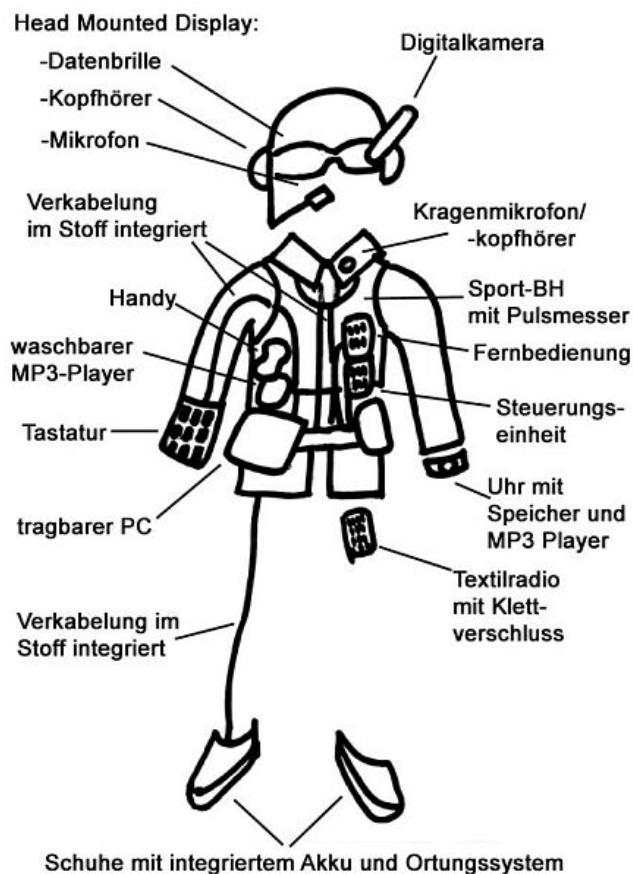


Abbildung 4-6: Eine Vision von Wearable Computing

Datenschutz

Die durch Wearables erzeugte Datenflut könnte ihren Träger noch mehr als heute zum „gläsernen Kunden“ für den Handel, zum „gläsernen Patienten“ für die Krankenkassen oder auch zum „gläsernen Bürger“ für Polizei und andere Kontrollorgane machen. Die damit verbundenen Bedenken könnten die Entwicklung bremsen.

Technische Unzulänglichkeiten und Akzeptanzfragen

Einige Hersteller versprechen sich einen Durchbruch in der Akzeptanz von Wearables durch „Emotion Awareness“, einem System, das die Gefühlslage des Benutzers erfassen und darauf angemessen reagieren soll. Solche kontextsensitiven Systeme können aber als penetrant empfunden werden, wenn sie vorgeben zu wissen, was für den Nutzer am besten ist.⁸⁷

Bei der Überwachung von Körperfunktionen geht auch die Bewertung von „gesund“, „normal“, „richtig“ auf die Technik über. Es ist zweifelhaft, ob viele Menschen das akzeptieren werden.

Des weiteren ist nicht gewährleistet, ob der Benutzer mit korrekten Informationen versorgt wird. Durch Gewöhnung könnte mit der Zeit die Überprüfung der erhaltenen Informationen entfallen.

Bezüglich †Wear ist bislang nicht klar, welche Vorteile sie im Vergleich zu einem konventionellen Textil z.B. mit einem separaten PDA haben soll.

Technisch ungelöste Probleme liegen im Bereich der Energieversorgung.⁸⁸ Ferner werden Netzwerkprotokolle zur spontanen Vernetzung von mobilen Geräten benötigt.⁸⁹

⁸⁷ Bereits recht einfache Hilfesysteme für Software (z.B. Microsoft Office) verärgern die Benutzer, indem sie Verständnis vortäuschen, ohne zu verstehen.

⁸⁸ Als Energieversorgungssysteme denkbar sind Solarzellen, Minibatterien oder in die Kleidung integrierte Ladegeräte, die durch Bewegung aufgeladen werden. Compaq hat ein Patent auf das Wiederaufladen von Laptops durch die Tastatur⁸⁸. Auch die Nutzung von Körperwärme oder Brennstoffzellen auf Methanolbasis kommen in Betracht.

⁸⁹ Ein möglicher Ansatz ist JINI. Daneben gibt es noch andere Ansätze im Bereich der Gerätekommunikation. UPnP, HAVI und CORBA sind Möglichkeiten, aber bis jetzt sind sie noch nicht interoperabel. Herstellerübergreifende Standards wurden noch nicht entwickelt. Das verhindert den Durchbruch entsprechender Systeme.

4.6 Digitale Informations- und Unterhaltungsmedien

Die Medien Buch, Zeitung, Katalog, Musiktitel und Video werden heute von ihren herkömmlichen Trägermedien⁹⁰ (Papier, Videokassette usw.) entkoppelt und in digitaler Form verbreitet, vor allem über das Internet. Bisher ist der PC das dominierende Endgerät für den Internet-Zugang und damit für die Nutzung digitaler Informations- und Unterhaltungsprodukte. PCs stoßen aber für diesen Zweck auf wenig Akzeptanz. Deshalb werden auch spezielle Endgeräte wie z.B. E-Books entwickelt. Computerspiele und deren Konsolen werden im folgenden nicht betrachtet.

4.6.1 Einsatzbereiche

Tabelle 4-7 zeigt die erwartete Entwicklung in den Einsatzbereichen Text und Bild, Ton und Video. Wie auf anderen Gebieten ist auch hier der Übergang von herkömmlichen Anwendungsformen der ICT zu Pervasive Computing fließend. Entscheidend ist dabei die Zunahme der Portabilität und Vernetzung, die in diesem Fall den mobilen Online-Zugang zu Informations- und Unterhaltungsprodukten ermöglichen.

Seit einigen Jahren gibt es *elektronische Bücher*, so genannte *E-Books*. Es handelt sich dabei um Lesegeräte für digitalisierte Buchinhalte. Zu den ersten zählt das "Rocket ebook" von Nuovomedia, ein buchgroßes Gerät, das 50 digitale Bücher speichern kann. Das Nachfolgemodell, der ebookMan, hat die Form eines leichten PDAs. Das Lesen ist dabei eine Funktion unter mehreren wie Terminverwaltung und Musikhören. Dazu gibt es eine spezielle E-Book-Software, die das Lesen digitaler Bücher erst ermöglicht. Diese Bücher gibt es mehreren Datenformate. Die gebräuchlichsten sind PDF (Adobe Acrobat Reader, Acrobat ebook Reader), die Rocket Edition für das "Rocket eBook" sowie Microsoft-spezifische Formate. Es gibt auch Bücher in kompakter Form als ausführbare Datei. Mit dem "NeoBook Professional" können auch Ton- und Videosequenzen integriert werden.

In der Zeitungs- und Zeitschriftenbranche besteht neben der herkömmlichen Verbreitung von Informationen durch Printmedien alternativ die Option der elektronischen Publikation über das Internet. Verlagshäuser von Massenprintmedien bedienen sich verstärkt dieses neuen Mediums. Weltweit existieren mehrere tausend *elektronische Zeitungen und Zeitschriften*, von kleinen Regionalzeitungen bis hin zu internationalen Tageszeitungen. In der Schweiz sind 102 Zeitungen und 66 Zeitschriften online. Zumeist werden jedoch noch keine vollständigen Tagesausgaben, sondern nur ausgewählte Artikel angeboten. Reine Internet-Zeitungen sind z.B. der amerikanische *Salon* oder die seit 2000 erscheinende "netzeitung.de". Einige überregionale Tageszeitungen, wie z.B. die *Financial Times Deutschland*, und Zeitschriften sind über mobile Geräte wie WAP-Handys, PDAs, Smartphones oder E-Books zu empfangen.

⁹⁰ Medien bilden immer Hierarchien, wobei das Medium der nächst tieferen Ebene (oder Schicht) als Trägermedium des gerade betrachteten Medium bezeichnet wird. Beispiel: Das Medium Sprache hat als mögliche Trägermedien Schrift, Ton usw., mögliche Trägermedien von Schrift sind Papier, digitale Daten usw., mögliche Trägermedien für digitale Daten sind Harddisk, Diskette, CD-ROM usw.

Tabelle 4-7: Entwicklung des Pervasive Computing bei der Mediennutzung

	Text und Bild	Ton	Video
Vision 2012	E-Paper ersetzt Papier Digitaler Kiosk zum Ausdrucken einzelner Artikel	PAN ⁹¹ mit Ein- und Ausgabe gesprochener Sprache	Cyberbrille als Headset E-Paper für Video
serien- reif bis 2007	E-Paper in Handys und Handhelds Steuerung des PDA über Spracheingabe OLED-Handy mit Shutter-Brille	Digitales Radio PDA mit Sprachsteuerung	Digitales TV Handy mit digitaler Videokamera Projektionsdisplays Digitales TV
heute am Markt	Online-Zeitung ebook Handy mit Kamerafunktion Webpad	E-Book mit Musikfunktion MP3-Download MP3-Player	Digitale Videokamera Webpad DVD-Player Video-On-Demand

Der Versandhandel setzt neben dem gedruckten Katalog als neues Vertriebsmedium *Online-Kataloge* im Internet zur Produktpräsentation ein. Der Online-Katalog bietet die zusätzliche Möglichkeit, externe Zusatzinformationen mit Produktinformationen zu verknüpfen und kann jederzeit aktualisiert werden. Ein Teil der Versandhäuser bietet bisher nur einen Ausschnitt aus ihrem Angebot über Internet an. Das Lesen der Online-Kataloge ist auf den PC als Endgerät ausgerichtet. Spezielle WAP- oder UMTS-Anwendungen sind in der Entwicklung. Online-Kataloge werden als *zusätzliches* Vertriebsmittel eingesetzt, Print-Kataloge werden weiterhin parallel dazu mit der Post verschickt.

Musikdownloads sind heute dank der Daten-Kompressionstechnik MP3, aber auch durch die parallele Entwicklung und Verbreitung entsprechender portabler Endgeräte (MP3-Player) und Software-Player für PCs weit verbreitet. Dazu haben Online-Musiktauschbörsen beigetragen, deren bekannteste "Napster" ist. 2001 nutzten über 70 Mio. Personen die Tauschbörse, wobei allein im Monat Februar 2001 über 2,8 Mrd. Musikdateien austauscht wurden. Die Musikindustrie reagierte mit Klagen wegen der Missachtung des Urheberrechts. Seither wird versucht, ein Vermarktungsmodell für den kostenpflichtigen Vertrieb von Audioprodukten über das Internet zu entwickeln. Neben Bertelsmann versuchen auch andere Unternehmen kostenpflichtige Vertriebsplattformen aufzubauen, darunter "Musicnet", "RealNetworks" und "Pressplay".

Im Gegensatz zu digitalen Zeitungen und Audioprodukten ist die Distribution *digitaler Videofilme* über das Internet wenig etabliert. Das sog genannte Video-on-Demand hat sich nicht wie erwartet durchgesetzt. Verschiedene US-amerikanische Filmstudios versuchen sich im Internet mit Download-Möglichkeiten ihrer Filme zu positionieren. Betreiber von Kabel- und Mobilfunknetzen kaufen Videoinhalte ein und bieten diese zur Attraktivitätssteigerung und Kostendeckung ihrer Netze auf ihren Websites an (Orwat, 2002). Mobilfunk eignet sich jedoch nicht zur Distribution von Videos, was sich mit UMTS ändern könnte.

⁹¹ Personal Area Network

4.6.2 Marktentwicklung

In einem tief greifenden Wandel befinden sich die *Fernseh- und Rundfunkmärkte* infolge der Digitalisierung von Produktions-, Speicher- und Distributionstechnologien. Mit der Digitalisierung wird zunächst nur eine andere Kodierung der gleichen Inhalte erreicht. Durch Komprimierung ist allerdings eine Erhöhung der Übertragungskapazitäten möglich, so dass künftig ein Hundertfaches an Programmen übertragen werden kann. Gleichzeitig bietet die Digitalisierung das Potenzial, dass sich der Fernseher zu einer interaktiven, digitalen und multimedialen Plattform entwickelt. Auf ihr können nicht nur die herkömmlichen Fernsehdienste, sondern eine Vielzahl neuer Inhalte und Dienste angeboten werden.

Kennzeichnend für die Marktentwicklung ist generell das Zusammenwachsen (Konvergenz) bisher getrennter Gerätefunktionen. Mobiltelefone gleichen immer mehr PDAs, während PDAs sicherlich bald als Telefon nutzbar sein werden. Nokias „Communicator 9110“ ist ein Beispiel hierfür: Das Gerät bietet sowohl herkömmliche Mobilfunk-Funktionen, WWW-Zugang und E-Mail als auch alle Funktionen eines PDAs. Auch "Smartphones" ermöglichen mit Hilfe der WAP-Technologie den Zugriff auf das WWW. Auch das Nokia „R380“ eine breite Palette von Anwendungen: SMS, E-Mail, Adressbuch, Terminkalender, Diktiergerät und Notizblock. Eine Vielzahl ähnlich multifunktionaler Geräte wird bald auf dem Markt sein. Sony Ericsson bietet ein Handy an, mit dem digital fotografiert werden kann. Vodafone verkauft Telefone und Fotomodule in Kombination und berichtet über eine große Nachfrage.

Der Markt für elektronische Bücher entwickelt sich sehr langsam. Heute werden weltweit zwischen 10 000 und 50 000 Lesegeräte benutzt. Thomson Multimedia hat bereits im Jahr 2000 angekündigt, unter dem Markennamen RCA bald mehrere Millionen E-Book-Reader auf den Markt zu bringen⁹², allerdings konnten sich diese Geräte nicht durchsetzen.

Die Entwicklung besserer und leichterer Displays für das Lesen von textintensiven Inhalten wird den Markt für digitale Informationsprodukte wesentlich beeinflussen. Der technologische Durchbruch bei der Entwicklung eines komfortablen elektronischen Abbilds der Printmedien ist für die nahe Zukunft vorhersehbar.

Gerade für mobile Anwendungen erwarten die Hersteller für OLED⁹³-Bildschirme eine große Zukunft. Sie bieten bei geringerem Energiebedarf höhere Leuchtdichten als die hinterleuchteten LCD-Monitore und einen deutlich besseren Kontrast als nicht-hinterleuchtete LCD-Monitore. Ein Vorteil der OLED ist auch der weite Betrachtungswinkel von 170°. Erste Abschätzungen gehen von einem Marktpotenzial von 5 Milliarden Dollar für OLED-Displays für das Jahr 2005 aus⁹⁴.

Folien-Displays, die einen vergleichbaren Lesekomfort wie herkömmliche Zeitungen bieten, werden in den nächsten Jahren auf den Markt kommen. IBM und Rank Xerox haben erste Prototypen vorgestellt. Noch ist die Auflösung nicht ausreichend, um genügend Schärfe für eine hohe Lesbarkeit zu erreichen. In zehn Jahren könnte das elektronische Papier zu einer ernsthaften Konkurrenz des herkömmlichen Papiers werden.

⁹² c't 23/2000, S. 78

⁹³ Organic Light Emitting Diodes

⁹⁴ Handelsblatt 27.02.2001

Beispiel: Die Elektronische Zeitung von IBM

Die von IBM konzipierte „Elektronische Zeitung“ verfügt über einige Eigenschaften einer herkömmlichen Zeitung: Sie kann gefaltet und getragen werden. Der Leser schließt seine Zeitung an das Internet an, lädt den Inhalt in den Zwischenspeicher und kann ihn anschließend auf 16 beidseitig bedruckten Blättern lesen. Die Elektronische Zeitung soll zugleich das "alte Zeitungsgefühl" erhalten und neue Funktionen zur Verfügung stellen. Beispielsweise lassen sich Artikel sofort online versenden oder archivieren.

Die Elektronische Zeitung umfaßt 16 Blätter aus glasfaserverstärktem Papier, das aufgrund seiner Haltbarkeit und Biegsamkeit gewählt wurde. Die Seiten werden mit "elektronischer Tinte" bedruckt, die zur Zeit im Media Lab des MIT erprobt wird. Es handelt sich um eine bistabile Verbindung, deren Moleküle durch elektrische Ladung entweder weiß oder schwarz erscheinen.

Das Format der Elektronischen Zeitung entspricht ungefähr DIN-A4. Sie kann auch gerollt oder gefaltet werden. Über Tasten werden die Funktionen "neue Abschnitte zeigen", "Artikel ausschneiden" und "Ausgabe aktualisieren" gesteuert (Deider, 1999).

4.6.3 Aussichten

Viele frühere Prognosen zu möglichen Umsätzen mit digitalen Informationsprodukten haben sich als übertrieben erwiesen. Allgemein wird heute von einem weiteren, allerdings langsamen Wachstum ausgegangen.

Verschiedene fördernde und hemmende Faktoren beeinflussen die Zukunft der ubiquitären Versorgung mit Informationsprodukten.

Fördernde Faktoren sind:

- Eine selektive, personalisierte Nutzung von Massenmedien wird möglich.
- UMTS wird einen komfortableren mobilen Zugriff ermöglichen.
- Endgeräte werden weiterhin leistungsfähiger und billiger werden.

Hemmende Faktoren sind:

- das Fehlen überzeugender Angebote, die die Vorteile gegenüber konventionellen Trägermedien deutlich machen,
- das Fehlen praktikabler Zahlungssysteme,
- die geringe Zahlungsbereitschaft der Kunden für Online-Angebote,
- schlechte Ergonomie und schlechte Kompatibilität der ICT-Produkte,
- zu geringe Betriebsdauer mobiler Endgeräte (wenige Stunden) mit heutiger Batterietechnologie,
- unsichere Datenübertragung,
- Unsicherheiten im Bereich der Urheberrechte,
- mögliche Verschuldung von jugendlichen Benutzern.

Die Richtung der technischen Entwicklung bei mobilen Endgeräten ist vergleichsweise klar absehbar: Höhere Auflösung, geringeres Gewicht bei flacher Bauweise, höhere

Zuverlässigkeit, höhere Geschwindigkeit, geringere Leistungsaufnahme und breiterer Einblickwinkel bei Displays.

Unklar ist, ob die voraussichtliche Marktsegmentierung der Endgeräte in mindestens drei Gruppen sich stabilisieren wird, wie Siemens vermutet:⁹⁵

- Geräte, die wie die heutigen Handys eher der Sprachkommunikation dienen
- Geräte für die mobile Büroarbeit
- Geräte, die sich auf Unterhaltung (Spiele, Videos) konzentrieren

Auch die Akzeptanz für digitale Medienangebote ist schwierig abzuschätzen. Große Kundenzahlen sind nur mit überzeugenden Inhaltsangeboten zu erreichen. Umgekehrt kann das Ausbleiben hoher Kundenzahlen die Anbieter daran hindern, in neue Angebote zu investieren.

Als Hemmnis bei der Umsetzung neuer Geschäftsmodelle im Medienbereich ist auch die bisherige „Zahlungsunwilligkeit“ der Kunden zu sehen (Oertel, 2001). Da das Internet vom seinem Selbstverständnis der ersten Jahre her den freien Zugang zu Informationen gewährleistet, betrachten die Konsumenten seine Inhalte als öffentliche Güter. Es ist daher schwierig, eine Zahlungsbereitschaft für digitale Mediendienste zu etablieren. Versuche, den Leser von digitalen Zeitungen zur Kasse zu bitten, sind z.B. bei der New York Times gescheitert. Die Abonnements-Gebühren für Online-Nutzer wurden nach kurzer Zeit wieder abgeschafft.

Bislang können lediglich spezielle Informationsdienste etwa für Mediziner oder geschäftlich genutzte Produkte wie das „Wall Street Journal“ oder der „Economist“ mit Online-Abonnementen Gewinne erwirtschaften. Diese werden in erster Linie von Unternehmen in Anspruch genommen und kaum von Privatpersonen bezahlt. Hauptfinanzierungsquelle ist bei Salon (140 000 Leser⁹⁶), dem Wall Street Journal (150 000 Leser⁹⁷) und auch der Financial Times Deutschland die Werbefinanzierung. Es ist zu vermuten, dass die Online-Angebote außerdem durch die Erlöse aus Printmedien – zumindest phasenweise – quersubventioniert werden (Fichter, 2001).

Nicht zu unterschätzen ist die Bedeutung von transparenten Abrechnungsverfahren für die Kunden (Microbilling), die Geschäfts- und Kooperationsmodelle für die Betreiber erst tragbar machen. Einerseits gibt es gegenüber dem festnetzbasierten Internet beim Mobilfunk besser akzeptierte Zahlungssysteme, anderseits bereitet das Microbilling, also das Abrechnen kleiner Zahlungsbeträge, große Schwierigkeiten und stellt bisher die Wirtschaftlichkeit von multimedialen Diensten im Medienbereich in Frage.

Wenn es gelingt, die verschiedenen Hemmnisse zu überwinden, dürften in zehn Jahren kleine portable Geräte für die Nutzung digitaler Medien zum Alltag gehören. Aufgrund bisheriger Erfahrungen werden die neuen Medien die alten aber nicht substituieren, wahrscheinlicher ist eine parallele Entwicklung verschiedener Medientypen: Die konventionellen Medien werden weiter wachsen, allerdings in geringerem Maße als die digitalen Medien.

⁹⁵ <http://www.w4.siemens.de/Ful/en/archiv/pof/>

⁹⁶ Stand 1999, vgl. Zerdick (1999, S. 171)

⁹⁷ ebd.

4.7 Smart Labels und andere automatische Identifikationssysteme

Smart Labels ("intelligente Etiketten") dienen wie herkömmliche Etiketten dazu, Objekte zu identifizieren und über sie zu informieren. Zu den automatischen Identifikationssystemen gehören vier breit genutzte Techniken: Barcode, Optical Character Recognition (OCR), Smart Cards und Smart Labels.

4.7.1 Einsatzbereiche

Smart Labels haben die höchste Affinität zur Vision des Pervasive Computing. Um die Einsatzbereiche für automatische Identifikationssysteme zu verdeutlichen, werden dennoch alle vier Systeme vorgestellt. Es ist wahrscheinlich, dass alle vier Systeme in 10 Jahren noch im Einsatz sein werden.

Das *Barcode-System* beruht auf einem Strichcode, der von einem Laserstrahl abgetastet wird.

Optical Character Recognition (OCR), die Buchstabenerkennung, wird besonders in Verbindung mit einem speziellen Schrifttyp – wie auf der untersten Zeile von Schecks – verwendet.

Smart Cards (wie z.B. Telefonkarten) werden von einem Lesegerät mit galvanischen Kontaktflächen für den Daten- und Energietransport gelesen. Sie enthalten einen relativ leistungsfähigen Mikrochip.

Tabelle 4-8: Vor- und Nachteile verschiedener automatischer Identifikationssysteme

Barcode	Optical Character Recognition (OCR)	Smart Cards (Chipkarten)	RFID-Transponder (Smart Labels)
+ weltweite Standards + viele Hersteller + Zuverlässigkeit + geringe Kosten	+ hohe Informationsdichte + (zusätzlich) visuelle Datenerfassung	+ optional Schutz vor unbefugtem Zugriff	+ als Option Schutz vor unbefugtem Zugriff + kontaktloses Lesen und Schreiben + Reichweite im Meterbereich + keine Verschmutzungsanfälligkeit - Bulklesung
- Verschmutzungsanfälligkeit - Sichtkontakt erforderlich - nicht wiederbeschreibbar	- teure Lesegeräte - Verschmutzungsanfälligkeit - Sichtkontakt erforderlich - nicht wiederbeschreibbar	- Verschmutzungs- und Verschleißanfälligkeit	- Kostennachteile gegenüber Barcode - fehlende Anwendungen

Quelle: Bättig (2000), leicht modifiziert

Tabelle 4-9: Entwicklung von automatischen Identifikationssystemen

	Barcode	Smart Label	Smart Card
Vision 2012	Barcode auf nahezu allen Alltagsgegenständen: Verpackungen, Geschirr, Kleidung	Smart Label auf nahezu allen Alltagsgegenständen: Verpackungen, Geschirr, Kleidung	Eine einzige personalisierte multifunktionale Smart Card mit Transponder
serienreif bis 2007	Kopplung mit Internetdiensten: Barcode- Scanner mit Browser	"Product Identification Unit": mit Recycling-Informationen Produktionsüberwachung: prozesskettenübergreifendes Tracking z.B. Nahrungsmittel Zugangskontrolle: ÖPNV	Ausweitung auf neue Anwendungsgebiete: Sozial- und Personalausweise, Führerschein Erweiterung der Funktionalität: biometrische Authentifizierung, kontaktlose Lesbarkeit, Abbuchung
heute am Markt	Preisauszeichnung: in Supermärkten Leihsysteme: Biblio- und Videotheken Warenlogistik: in Produktionsprozessen und der Distribution	Leihsysteme: Bibliotheken und Videotheken Warenlogistik: in Produktionsprozessen und der Distribution Zugangskontrolle: Skilifte; Personen- und Zeiterfassung	Personalisierte Karten: Geldkarte, Krankenkassenkarte, Kundenkarten, Abonnemente Personenunabhängige Karten: Telefonkarte

Smart Labels enthalten flexible, papierdünne RFID-Transponder (vgl. Abschnitt 3.4) und können mit einem Lesegerät berührungslos und ohne Sichtkontakt abgelesen werden. Bei aktiven Systemen erfolgt die Energieversorgung durch eine Batterie, bei passiven Systemen laden elektromagnetische Felder zunächst einen Energiespeicher auf. Die Reichweite beträgt typischerweise 1 m (Bättig, 2000).

Die vier automatischen Identifikationssysteme haben spezifische Vor- und Nachteile (siehe Tabelle 4-8).

Barcodes werden bei der Preisauszeichnung z.B. in Supermärkten und in der Warenlogistik seit langem eingesetzt. Durch zweidimensionale Barcodes lässt sich die Informationsdichte gegenüber eindimensionalen Barcodes von 15-50 Zeichen auf rund 2000 Zeichen erhöhen. In den USA finden Barcode-Scanner mit Web-Browser, die den Zugriff auf zusätzliche Produktinformationen ermöglichen, zunehmend Verbreitung.

Smart Labels konkurrieren seit kurzem mit Barcode-Systemen. Das Nachverfolgen von Gegenständen (Tracking), die automatische Sortierung und Leihsysteme lassen sich damit wesentlich effizienter, d.h. mit höherem Automatisierungsgrad, realisieren.

Das Tracking von Gepäck findet im Flugverkehr zunehmend Anwendung. Das Gepäckstück erhält beim Check-In (z.B. am San Francisco International Airport), einen ausschließlich ablesbaren 2,45 GHz Transponder, der in den Gepäcklogistik-Bereichen von Scanner-Arrays gelesen wird.

Dies ist auch für Postgüter möglich. Die italienische Post benutzt Smart Labels mit 13,56 MHz für die automatische Sortierung, wobei viele Poststücke auf einmal abgelesen werden können.

In Bibliotheken und Videotheken verfügen die Bücher und Videokassetten über bei 13,56 MHz wiederbeschreibbare Smart Labels.

Auch bei der Zugangskontrolle und Zeiterfassung haben sich Transponder-basierte Systeme etabliert. Kontaktlose Chipkarten können bei großer Spulenfläche so große Entfernung überbrücken, dass sie z.B. immer häufiger in Skiliften sowie zur Personenerkennung am Arbeitsplatz eingesetzt werden.

Anwendungen von RFID in naher Zukunft liegen im Produktionsbereich. Wiederbeschreibbare Transponder ermöglichen die Produktionsüberwachung an Kontrollpunkten, die Qualitätssicherung durch Beschreiben des Transponders nach jedem Fertigungsschritt und unterstützen die Fertigungssteuerung und Materialüberwachung.

Das Recycling von Produkten wie z.B. Fahrzeugen, Elektrogeräten und Möbeln könnte durch Smart Labels mit Informationen über die Zusammensetzung, Service- und Garantieleistungen und Recyclingempfehlungen gefördert werden.

Der Unterschied zwischen Barcode und Smart Labels hinsichtlich Pervasive Computing wird an folgendem Beispiel deutlich: Verpackungen mit Barcode im Supermarkt sind an der Kasse oder mit Handscannern im Regal ablesbar. Im „intelligenten Kühlschrank“ sind jedoch nur Etiketten von Nutzen, die vollautomatisch abgelesen werden können, was nur bei RFID-Labels der Fall ist.

Smart Cards sind aus dem Leben des mitteleuropäischen Durchschnittsbürgers nicht mehr wegzudenken. Über die häufigsten Anwendungen Telefon- und Geldkarte hinaus addieren sich die Smart Cards in der Brieftasche nicht selten auf ein Dutzend. Neue Funktionen wie die biometrische Authentifizierung des Benutzers und kontaktlose Lesbarkeit werden voraussichtlich neue Anwendungen wie die Führerschein-Smart Card ermöglichen. Eine personalisierte und multifunktionale Smart Card mit RFID-Transponder ist technisch machbar.⁹⁸

4.7.2 Marktentwicklung

Die Verbreitung von Identifikationssystemen auf Basis von RFID-Transpondern (v.a. Smart Labels) hängt entscheidend von weiteren Durchbrüchen bei der Kostenreduktion ab.

Ähnlich wie bei den Barcodes ist abzusehen, dass sich die RFID-Technik zunächst im gewerblichen Bereich durchsetzen wird. Den überschaubaren Investitionen stehen in vielen Anwendungen wie z.B. der Postsortierung und der Produktionslogistik große Effizienzverbesserungen und damit Kosteneinsparungen gegenüber.

Große Marktpotenziale werden im öffentlichen Verkehr gesehen. Durch RFID-Transponder mit Abbuchungsfunktion könnten Fahrgäste und Personal Zeit sparen, und Schwarzfahren wird erschwert.

Sollten die Kosten für Smart Labels weiter drastisch reduziert werden können (z.B. durch Polymerelektronik, siehe Abschnitt 3.4), so dürfte die Anwendung auf billigen Massenprodukten wie Verpackungen zur Bereitstellung auch produktindividueller Informationen und zur automatischen Abrechnung in Supermärkten große Marktpotenziale haben.

⁹⁸ Smart Card – eine für alles, ohne Autorenangabe; Fraunhofer Magazin 1.2002

Verpackungen mit Smart Labels sind eine Voraussetzung für den „intelligenten Kühl-schrank“, der z.B. zu seinem Inhalt passende Rezepte aus dem Internet abruft oder Nachbestellungen auslöst.

Tabelle 4-10 illustriert, wie sich der Einsatz von Smart Labels auf die gesamte Verpackungsentwicklung und das Marketing auswirkt:

Tabelle 4-10: Zunahme der Funktionalität von Verpackungen (Quelle: Pfaff, 2002)

Produktpolitik: Verpackung	Zielsetzung
Traditionelles Marketing	- Design steht im Vordergrund
Marketing im E-Business	- Design - Track-and-Trace
Marketing im Ubiquitous Computing	- Track-and-Trace - Inhaltsbestimmung - Produkteigenschaften - Ablauf-/Verfallsdatum - Quellennachweis - Technische Dokumentation

In den USA wurden bis Ende 2000 etwa 10 Mio. Barcode-Scanner kostenlos verteilt, 2001 sollten es bereits 50 Mio. sein. Diese so genannten CueCats kosten zwischen 5 und 10 US-\$, so dass insgesamt mindestens 500 000 Mio. US-\$ ausgegeben wurden (Mattern, 2001). Angaben zu Europa oder zur Schweiz liegen nicht vor.

Der globale Markt für RFID-Systeme (Lokalisierung und Verfolgung) belief sich nach Frost & Sullivan im Jahre 2000 auf rund 27 Mio. US-\$, im Jahr 2004 sollen es etwa 278 Mio. US-\$ sein. Europa hat derzeit einen Marktanteil von 28,1 %.⁹⁹ Gemäß einer Studie der Venture Development Corporation brachte der weltweite Markt für RFID-Technologien im Jahr 2000 knapp 900 Mio. US-\$ ein, wobei Hard- und Software sowie Dienstleistungen im Bereich der Warenverwaltung und –verfolgung in Logistiksystemen und Sicherheitsanwendungen berücksichtigt wurden. RF-ICs trugen 76,3 Mio. US-\$ zum Umsatz bei. Der gesamte Umsatz soll bis 2005 jährlich um 24 % wachsen, wobei der IC-Umsatz mit 34 % jährlicher Wachstumsrate überproportional ausfallen soll.

Laut Frost & Sullivan lag der Umsatz mit Smart Cards in Europa 1999 bei 1,2 Mrd. US-\$ (knapp 800 Mio. Smart Cards), was 60 % des weltweiten Umsatzes entspricht. Allein 472 Mio. entfallen auf Telefonkarten. Im Jahre 2006 sollen in Europa ca. 2 Mrd. verkaufte Smart Cards zu einem Umsatz von 4,1 Mrd. US-\$ führen.¹⁰⁰

Der Weltmarkt für Kurzstreckenfunk-Chips betrug 2000 1,34 Mrd. US-\$, im Jahr 2006 sollen es 4,8 Mrd. US-\$ sein. Den größten Anteil am Wachstum soll Bluetooth haben.¹⁰¹

⁹⁹ Der globale Markt für RF-Lokalisierungs- und Verfolgungssysteme; verfügbar unter: www.idlocis.de/infozine; 09.07.2002, Stand: 15.12.2005

¹⁰⁰ Der europäische Markt für Smart Cards, ohne Autorenangabe; <http://www.idlocis.de/infozine>; 09.07.2002: Diese Zahl bezieht sich auf Deutschland.

¹⁰¹ Der globale Markt für Kurzstreckenfunk-Chips, ohne Autorenangabe; verfügbar unter: <http://www.idlocis.de/infozine>; 09.07.2002, Stand: 15.12.2002

4.7.3 Aussichten

Die Diffusion von RFID-Transpondern hängt von folgenden Faktoren ab:

- Preisentwicklung bei Transpondern
- Kompatibilität der Transponder und Stabilität der ad-hoc-Netze
- Strahlungsrisiken
- Sicherheitsfragen

Sollen „intelligente“ Etiketten auch für Gegenstände mit geringem Wert eingesetzt werden, wie z.B. Lebensmittelverpackungen, so müssen die Preise von derzeit ca. 0,2-1 € auf wenige Cents und darunter sinken. Mit der herkömmlichen Siliziumtechnik scheint dies nicht machbar zu sein, vielleicht aber mit Polymerelektronik (siehe Abschnitt 3.4).

Bislang sind Transponder noch nicht sehr weit verbreitet. Dies liegt auch an fehlenden integrierten Lösungen und vielleicht an mangelnder Information über die Möglichkeiten der RFID-Technik.

Mit dem RFID-Standard ist 1999 eine wichtige Grundlage für den drahtlosen Datenaustausch zwischen Chips geschaffen worden. Durch die Veräußerung der Frequenzfenster für Smart Cards und neue Java-Plattformen sind weitere Impulse für neue Anwendungen zu erwarten. Die SIMalliance beabsichtigt, offene Standards zu erarbeiten, durch die mit neuen Anwendungen und Diensten auf SIM-Basis Massenmärkte erschlossen werden sollen. Neben der Integration und Interoperabilität mit komplementären Technologien ist die kontinuierliche Informationslieferung in Echtzeit eine wichtige Herausforderung für die Entwicklung massenmarktfähiger Anwendungen im gewerblichen Bereich. Die Stabilität der Ad-hoc-Netzwerke wird durch die Standardisierung gefördert. Um Datenkollisionen bei vielen Smart Labels und Smart Cards in elektromagnetischen Feldern zu vermeiden werden Antikollisionsprotokolle entwickelt (Zeitmultiplexverfahren und Auswahlalgorithmen), die ein gezieltes Auswählen und Ansprechen einer kontaktlosen Chipkarte aus mehreren erlauben.

Strahlungsrisiken im Zusammenhang mit Smart Labels wurden bisher nicht thematisiert. Auf dem Gebiet der Zugangskontrolle besteht möglicherweise geometrischer Optimierungsbedarf im Hinblick auf die elektromagnetische Strahlung: Je genauer der Transponder fixiert ist, desto kleiner kann das bestrahlte Feld sein.

Forschungsbedarf besteht bezüglich der Strahlenexposition in einer mit ubiquitären Smart Labels durchsetzten Welt. Dies gilt besonders dann, wenn aktive Labels mit eigener Energieversorgung eingesetzt werden.

Bei Smart Cards mit Geldwert gibt es erhebliche Gefahren des Zugriffs Unbefugter auf die Lese- und Schreibfunktion des Transponders.

Auf dem Weg zur multifunktionalen Smart Card sind Minidisplays und -tastaturen, Folienbatterien, integrierte Sensoren sowie sichere Authentifizierungssysteme zu entwickeln. Software-Lösungen als Schutz gegen Hacker stellen keinen ausreichenden Schutz dar. Derzeitige Fingerabdruck-Erkennungssysteme für Smart Cards sind noch zu teuer. Die Überwachungsmöglichkeiten durch ubiquitäre Smart Labels treffen teilweise auf Ablehnung in der Bevölkerung.

Auch Datenschutzfragen könnten die Verbreitung bremsen. Denn Smart Labels auf Verpackungen können nicht nur in Supermärkten individuelle Konsumgewohnheiten

offenbaren, sondern könnten auch zu Datenschutzproblemen auf der Abfallseite führen. Beispielhaft sei hier der französische Ort Ribeauville im Elsass erwähnt, wo bereits die Chip-basierte Müllveriegung zu Bürgerprotesten geführt hat, während dieses System aber in Deutschland weithin akzeptiert wurde (Sattler, 2002).

4.8 Zwischenbilanz: Der Trend zum Pervasive Computing

Das Vordringen drahtlos vernetzter Geräte und Gegenstände in das Alltagsleben ist offensichtlich. An der Vision des Pervasive Computing arbeiten nahezu alle großen ICT-Hersteller und setzen hier einen Entwicklungsschwerpunkt¹⁰². In einigen Bereichen wie zum Beispiel dem „intelligenten Auto“ schreitet die Entwicklung in Richtung PvC rasch voran. Das Auto kann daher als „Testlabor“ für Potenziale und Grenzen des Pervasive Computing gesehen werden. In anderen Bereichen werden erste Anwendungsmöglichkeiten erprobt. Dazu gehört beispielsweise „intelligente Kleidung“ oder das „intelligente Haus“.

Ein Indikator für die Entwicklung in Richtung PvC ist die Ausbreitung mobiler Endgeräte wie PDAs, Handhelds und Handys. Ein weiterer Indikator ist die Anzahl der Geräte mit Internetanschluss. Für den Haushaltsbereich beziffert Jupiter Communications im Jahr 1998 die Anzahl weltweit auf 769.000 und für 2002 auf 11,4 Millionen¹⁰³. IBM rechnet in den nächsten fünf bis zehn Jahren mit weltweit über einer Milliarde Menschen, die über eine Billion vernetzter Gegenstände benutzen werden.

Mit Ausbreitung des Pervasive Computing, die etwa dem heutigen Mobiltelefon-Gebrauch entspricht, ist in rund 10 Jahren zu rechnen. Für diese Einschätzung sprechen vor allem die folgenden technologischen Trends:

- Die wichtigste technologische Triebkraft für Pervasive Computing ist die fortschreitende *Miniaturisierung* mikroelektronischer Komponenten. Der Trend zur Leistungssteigerung bei Mikroprozessoren und Speicherchips ist gegenwärtig (und voraussichtlich bis 2012) ungebrochen.
- Für die Ausstattung von (teilweise kurzlebigen) Alltagsgegenständen mit Rechtleistung und Kontextsensitivität ist der *Preisverfall* elektronischer Komponenten entscheidend. Hier werden neue Impulse unter anderem von der Polymerelektronik und der OLED-Technologie erwartet. Ab 2010 könnten Foliendisplays (E-paper etc.) technologisch so ausgereift sein, dass sie Lesequalitäten herkömmlicher Zeitungen aufweisen.
- Die *Kommunikationstechnik* unterliegt wie die Entwicklung bei Mikroprozessoren und Speicherchips einem Preisverfall. Nach der „Regel von Gilder“ verdreifacht sich die Bandbreite und damit die Leistungsfähigkeit von Kommunikationsnetzwerken alle zwölf Monate.
- Die *Kontextsensitivität* kann durch winzige GPS-Empfänger und Sensoren erreicht werden. Die Entwicklung entsprechender Sensoren wird durch Fortschritte in der Nanotechnologie begünstigt.

Die Einschätzung muss jedoch relativiert werden, weil die weitere Entwicklung auf folgenden Gebieten schwer einzuschätzen ist. Im Extremfall kann jedes einzelne dieser Gebiete für Pervasive Computing entscheidend werden:

- Die Serienreife neuer *Energieversorgungssysteme* (Körperwärme, mechanische Energie, miniaturisierte Brennstoffzellen) ist notwendig, wenn eine Vielzahl drahtlos vernetzter Komponenten auf praktikable Weise betrieben werden soll.

¹⁰² Zum Beispiel: IBM, HP, Rank Xerox

¹⁰³ Zit. nach: <http://www.wi-flensburg.de/wi/fendt/referate/pervasive/konzept.htmh>

- Im Bereich der *Mensch-Maschine-Interaktion* muss sich noch erweisen, ob die diskutierten Alternativen zu Tastatur und Maus (z.B. gesprochene Sprache) zu benutzergerechten, ergonomischen Lösungen führen.
- Die *Marktfähigkeit* ist in den verschiedenen Anwendungsfeldern unterschiedlich und hängt letztlich von Geschäftsmodellen mit akzeptabler Preisgestaltung und attraktiven Dienstleistungen ab, die auf Basis dieser Technologie realisiert werden.
- Die fortschreitende Durchdringung des Alltags könnte an die Grenzen der menschlichen Verarbeitungsfähigkeit oder -bereitschaft stoßen. Schon heute ist *Aufmerksamkeit* eine knappe Ressource, die (z.B. von der Werbung) hart umkämpft wird.
- Der *Datenschutz* wird durch PvC in Frage gestellt. Grundsätzlich vervielfacht die zunehmende Vernetzung und Ubiquität die Möglichkeiten, Daten über das Verhalten der Benutzer ohne deren Wissen und Zustimmung zu sammeln und auszuwerten.
- Die *Zuverlässigkeit und Sicherheit* komplexer vernetzter Informatiksysteme ist aus prinzipiellen Gründen begrenzt, jeder Hersteller wird die Haftung für Schäden, die aus der Anwendung solcher Systeme resultieren, ablehnen.
- Bei den *Bezahlverfahren* gibt es sowohl auf Anbieterseite als auch auf Nachfrageseite eine spürbare Zurückhaltung. Das Abrechnen kleiner Beträge ("Micro-Billing") stellt eine Herausforderung für die Provider dar. Bei den Kunden stoßen Online-Bezahlverfahren auf Skepsis.
- Die Kontroverse um *Gesundheitsgefahren elektromagnetischer Strahlung* durch Mobilfunk könnte sich generell auf den Bereich des Pervasive Computing ausweiten. Sollten sich Risikovermutungen bestätigen, würde dies die Entwicklung des Pervasive Computing entscheidend bremsen.

Aus diesem Grund entwerfen wir drei Szenarien, die das Spektrum möglicher Entwicklungen abdecken.

4.9 Drei Szenarien des Pervasive Computing

Mögliche Ausprägungen des oben genannten Trends im Zeitraum von 10 Jahren werden hier in Form von drei Szenarien beschrieben, die sich hauptsächlich im erreichten Durchdringungs- und Vernetzungsgrad unterscheiden:

- Zurückhaltendes Szenario: Die Hemmnisse dominieren. Eine nennenswerte Entwicklung in Richtung PvC findet nur dort statt, wo sie praktisch nicht mehr aufzuhalten oder von den Hemmnissen nicht stark betroffen ist.
- Mittleres Szenario: Der Markt entwickelt sich differenziert. Heute erkennbare Trends setzen sich ohne starke positive oder negative Einflüsse fort.
- Hightech-Szenario: Computing überall und jederzeit wird Realität.

Zurückhaltend	Mittel	Hightech
Hemmnisse überwiegen (z.B. zur Wahrung des Datenschutzes) Hoher Durchdringungsgrad in wenigen Bereichen (z.B. Auto) Niedriger Durchdringungsgrad in anderen Bereichen des täglichen Lebens wie z.B. Wearables, Smart Home Schwache Medienkonvergenz	Durchdringung des Alltags mit "smartem" Gegenständen Drahtlose Local Area Networks (W-LANs) Smart Home beginnt sich langsam durchzusetzen Breiter Einsatz elektronischer Etiketten (Smart Labels) Weitgehende Medienkonvergenz	Hoher Durchdringungsgrad in allen Bereichen des täglichen Lebens (z.B. breiter Einsatz von Wearables) Computertechnik wird allgegenwärtig und weitgehend unsichtbar Heute visionäre Techniken setzen sich durch Weitgehende Substitution von Printmedien durch digitale Medien

→
Durchdringungs- und Vernetzungsgrad

Abbildung 4-7: Grobe Charakterisierung der drei Szenarien.

Szenario 1: Zurückhaltendes Szenario

In diesem Szenario überwiegen die hemmenden Einflussfaktoren. Zwar werden technische Voraussetzungen für einen ortsunabhängigen Zugang zu Informationen geschaffen, der Markt für Inhalte und Dienste entwickelt sich aber nur langsam.

Ausschlaggebend ist die schlechte Benutzbarkeit der Technologie: schlecht lesbare Displays, umständliche Handhabung, lange Wartezeiten beim Datendownload und komplizierte Sicherheitsabfragen (Vergessen der vielen Kennwörter).

Sicherheitsaspekte und Datenschutzfragen gewinnen an Brisanz. Die Verbreitung der Funktechnologien verschärft die Diskussion um den "Elektrosmog" und bremst die Entwicklung.

Angesichts dieser Hemmnisse bleibt der Versuch, das Internet in alltägliche Geräte und Gegenstände hinein zu verlängern und hausinterne Netze zu einem Massenmarkt zu entwickeln, erfolglos.

Viele Technologieanwendungen werden vom Nutzer kaum akzeptiert, da diese keine echte Entlastung mit sich bringen, sondern wie beim "Smart Home" eher den alltäglichen Koordinationsaufwand für eine auch 2012 nicht autonom funktionierende Technik vergrößern.

Ein Massenmarkt für Pervasive Computing entwickelt sich nur in wenigen Bereichen, so im Automobilbereich.

Während der gewerbliche Bereich, einhergehend mit dem Trend zu flexibleren Arbeitsformen, einige Möglichkeiten des Pervasive Computing gezielt nutzt, bleibt der Durchdringungs- und Vernetzungsgrad im privaten Alltag gering.

Eckpunkte zum zurückhaltenden Szenario

- ▶ Der PC bleibt bis 2005 das wichtigste Endgerät für den Internet-Zugang. Ab 2005 gibt es mehr Internet-Zugänge über multifunktionale mobile Endgeräte
- ▶ Handys, PDAs und Organizer mutieren zu multifunktionalen Geräten. In fünf Jahren sind sie hinsichtlich Funktionalität kaum mehr auseinander zu halten, Lokalisierung und Personalisierung ermöglichen dabei neue Dienstleistungen.
- ▶ Bei häufig mobilen Arbeitnehmern setzt sich Mobile computing (mit PDA und leichtem Notebook) durch. Head-Mounted Displays und andere Wearables bleiben in der Arbeitswelt auf wenige Anwendungen in Spezialberufen (z.B. im Bausektor) beschränkt.
- ▶ Die Büroarbeit verändert sich nur geringfügig: leicht verbesserte Spracherkennungssysteme und einfache Software-Agenten kommen 2005 auf den Markt und erzielen eine hohe Verbreitung. Eine „intelligente“ interaktive Büroeinrichtung bleibt auf die Manageretagen in Hightech-Firmen beschränkt.
- ▶ In den Haushalten gehört neben dem Handy zu Hause ein Cordless-Telefon mit Festnetzanschluss zur Grundausstattung. Die Vernetzung von Hausgeräten bleibt aber die Ausnahme. Kühlschränke mit einem einfachen Touchscreen setzen sich dennoch durch. Ihr Vorteil ist, dass sie Online-Bestellungen direkt in der Küche ermöglichen.
- ▶ Von den zahlreichen Anwendungen im Auto setzen sich Navigationssysteme und die Internetanbindung relativ schnell und breit durch. In einigen Jahren sind in der Schweiz nahezu alle Autos der Mittel- und Oberklasse mit Navigationssystemen ausgestattet.
- ▶ Neben dem Auto wird Computertechnik zunehmend zur Entwicklung leistungsfähigerer Verkehrssysteme eingesetzt. Für das Funktionieren intermodaler Dienstleistungen (z.B. Mobilitätsmanagement) stehen portable Zugangs- und Informationssysteme zur Verfügung.
- ▶ Body Area Networks und Wearable Computing sind zwar technisch fortgeschritten, bleiben aber auf kleine Nutzerkreise beschränkt. Größere Verbreitung finden Einzelgeräte wie „intelligente Uhren“, Pulsmesser etc.
- ▶ In der Medizin bedeutet Pervasive Computing u.a. Vernetzung der Ärzteschaft in Krankenhäusern. Computergestützte Diagnosen sind alltäglich, der Computer dient auch zur Operationsplanung und Unterstützung während der Operation. Elektronische Implantate sind Spezialanwendungen vorbehalten.

Szenario 2: Mittleres Szenario

Mit diesem Szenario versuchen wir auf Basis von Marktabschätzungen und Expertenmeinungen eine möglichst wahrscheinliche Entwicklung des Pervasive Computing zu beschreiben.

Handys werden als Vorboten und Indikatoren des Vordringens mobiler Computer-technik in viele Alltagsbereiche betrachtet. Die Marktsegmentierung orientiert sich an drei Gruppen von mobilen Endgeräten:

- Geräte, die wie die heutigen Handys eher der Sprachkommunikation dienen,
- Geräte, die als "mobile Büros" im wesentlichen den Umgang mit Dokumenten unterstützen,
- Geräte, die in erster Linie für Spiele und Videos genutzt werden.

Zwar gibt es auch multifunktionale Geräte, die alles können, aber sie bleiben in ihrer Qualität hinter den zielgruppenorientierten Geräten zurück.

Parallel zur Durchdringung des Marktes mit *mobilen Endgeräten* findet eine Durchdringung mit *smartem Gegenständen* statt. Diese kommunizieren zum Beispiel mit dem Internet oder mit W-LANs und sollen das Alltagshandeln des Nutzers unterstützen.

Vor allem junge Erwachsene eignen sich diese neuen Technologien als Pioniere an ("early adopters"). Multimedia wird für sie zum Lifestyle-Element, das nahtlos in eine "Always on"-Kommunikationskultur einfließt.

Neben dem Verkehrssektor, wo PvC stark vordringt, von sicherheitsbezogenen Anwendungen bis hin zu intermodalen Mobilitätsdiensten, sind insbesondere Geschäftsverbindungen, die Arbeitswelt, die Mediennutzung oder die Medizin von Umwälzungen betroffen.

Erhebliche Veränderungen sind auch durch die Verbilligung elektronischer Etiketten (Smart Labels) zu erwarten. Haupteinsatzbereiche liegen zunächst in der Automatisierung der Lagerhaltung und Optimierung von Wertschöpfungsketten, wodurch Kosten erheblich reduziert werden.

Langsam setzen sich dann kassenlose Supermärkte durch. Die Zugangskontrolle zum öffentlichen Verkehr mit RFID-Transpondern ersetzt ab ca. 2005 die herkömmlichen Fahrscheinsysteme, der Leihverkehr in Bibliotheken und Videotheken wird großflächig auf Smart Labels umgestellt.

In Teilbereichen werden Transponder auch zur Lokalisierung von Menschen (Kinder, Pflegebedürftige) und Gegenständen (z.B. Ortung von Fahrrädern bei Diebstahl) eingesetzt.

Eckpunkte zum mittleren Szenario

- ▶ Der Computer in seiner heutigen Form verliert seine Dominanz. An seine Stelle treten neuartige, mobile Geräte ebenso wie stationäre Internetanschlüsse in Haushaltgeräten.
- ▶ Neben der Konvergenz verschiedener Technologien der Telekommunikation, Informationsverarbeitung und der Medien findet eine Weiterentwicklung des Internets statt. Spezielle Gateways ermöglichen eine Vernetzung der Haushaltgeräte über das Internet.
- ▶ Im Medienbereich wird das Printvolumen weiter wachsen, allerdings in geringerem Maße als bei digitalen Medien. Dabei bildet sich in den verschiedenen Bereichen (Zeitung, Zeitschrift, Buch, Katalog, Werbeflyer, etc.) jeweils ein spezifischer Medien-Mix aus elektronischen und herkömmlichen Vertriebskanälen heraus. Digitales TV wird sich aufgrund der Qualitätsvorteile bei Video-Anwendungen (Video-on-Demand, Video-Downloads) etablieren.
- ▶ Beim Automobil gehören ab ca. 2006 virtuelle Sicherheitsgürtel zur Serienausstattung. Das Auto kann automatisch seine Geschwindigkeit den Verkehrsbedingungen anpassen. Unterschrittene Sicherheitsabstände und Gefahrensituationen bei schlechten Sichtverhältnissen werden per Sprachausgabe an den Fahrer kommuniziert. Drahtloser Funk im Nahbereich ersetzt Datenkabel (z.B. vom Sensor am Rad).
- ▶ Location-Based Services werden flächendeckend und kostengünstig angeboten. Über Agentensysteme, die auf großes Interesse stoßen, werden verschiedene Verkehrsdienste, Informationen und Transportträger so gekoppelt, dass eine effizientere Nutzung der Verkehrsangebote möglich ist.
- ▶ Kontextsensitive Licht- und Klimatechnik gehören ab 2006 zum Standard beim Neubau von gewerblich genutzten Gebäuden. PC, digitaler Fernseher, Haustechnik und Telefon werden zu LANs vernetzt. Ausgewählte Alltagsgegenstände erhalten einen Chip und werden „intelligent“, z.B. der digitale Kugelschreiber, der zugleich ein Eingabegerät ist.
- ▶ Gesprochene Sprache dominiert trotz gewisser Unzulänglichkeiten ab ca. 2012 gegenüber manuellen Eingabegeräten. Interaktive Möbel etablieren sich in großen Unternehmen.
- ▶ Smart Labels verbilligen sich in einigen Jahren von derzeit 50 Cent auf wenige Cent. Damit sind sie über die gewerbliche Logistik hinaus für Massenprodukte interessant: von Verpackungen über das Recycling bis hin zu verderblichen Lebensmitteln oder Blutkonserven, die per Funk selbst Alarm auslösen, wenn eine Temperaturgrenze erreicht wird.
- ▶ Die Massenmarktfähigkeit „intelligenter“ Kleidung bleibt gering. Nischenanwendungen mit klarem Kundenmehrwert (für Extremsportler, Pflegebedürftige und bestimmte Arbeitssituationen) stehen Massenanwendungen gegenüber, deren Markt bleibt aber recht volatil, da er modeabhängig ist. Im Gesundheitsbereich finden Wearables breite Anwendung.
- ▶ Die Medizintechnik nutzt hochauflösende bildgebende Verfahren und Augmented Reality. Die Patientendaten sind in einer elektronischen Patientenakte archiviert und jederzeit von Berechtigten über WLAN oder Internet einsehbar. Telemedizin unterstützt die Betreuung und Pflege zu Hause. Operationen werden im Medizin-Studium routinemäßig und bei schwierigen komplizierten Fällen auch in der Praxis virtuell ausgeführt, bevor am Patienten operiert wird. Mobile mikroelektronische Überwachungssysteme für Körperfunktionen sind Standard. Elektronische Prothesen und Hirnschrittmacher werden eingesetzt.

Szenario 3: Hightech-Szenario

In diesem Szenario dringen autonome elektronische Systeme in alle Lebensbereiche vor. Hemmnisse werden nahezu vollständig überwunden. Computertechnik wird allgegenwärtig und zugleich unsichtbar.

Die heute in den Entwicklungsabteilungen und Forschungslabors der Industrie angekündigten Technologien werden bis 2012 Wirklichkeit. „Always on“, „Anytime“ und „Anywhere Wireless“ sind die Kennzeichen dieses Entwicklungspfades. Er steht nicht nur für eine technische Entwicklung, sondern für eine neue Erfahrungswelt, die von einer weitgehenden Verschmelzung von realem und virtuellem Raum geprägt ist.

Die „digitale Aura“ umgibt und begleitet den Benutzer im Alltag. Der Computer verschmilzt mit der Kleidung zum Wearable, einem individuell auf den Träger ausgerichteten System.

Mobile Berufe sind hier eine erste Zielgruppe. Sie übernehmen die Vorreiterrolle. Von hier aus werden die breiteren Zielgruppen langsam erschlossen.

Miniaturisierung und Preisverfall der Mikroelektronik sind so weit fortgeschritten, dass sich in nahezu jedem Alltagsgegenstand, vom Sessel über die Verpackung bis zum Salzstreuer ein Chip befindet.

Ein Server vernetzt und organisiert alle „intelligenten“ Geräte und Gegenstände im Haushalt: Heizung, PC, Waschmaschine, Kleidungsstücke, Kaffeemaschine, Kaffeetassen usw.

Ermöglicht wird dies durch Funktechnologien wie Bluetooth, W-LAN und UMTS und/oder neue Funktechnologien, die sich derzeit in Entwicklung befinden. Die nächste Mobilfunkgeneration 4G lässt noch höhere Übertragungsgeschwindigkeiten zu.

Smart Labels erlauben eine Identifikation praktisch aller Produkte. Diese zeichnen außerdem ihre Historie im Smart Label auf. Dadurch wird die Wirtschaft revolutioniert: *Pay-per-use-Konzepte* werden möglich, so dass viele Produkte nicht mehr gekauft, sondern auf der Basis von Mietkonzepten abgerechnet werden.

Smart Labels ermöglichen einen durchgängigen Informationsfluss vom Rohstofflieferanten über den Handel bis hin zum Entsorger. „Intelligente“ Produkte liefern den Herstellern wichtige Informationen über deren Nutzungszustand.

Versicherer müssen nicht mehr fürchten, dass versicherte Güter (z.B. Kunstwerke) verloren gehen. Sie können jederzeit identifiziert und lokalisiert werden. Um Kindesentführungen vorzubeugen, werden Kindern Transponder unter die Haut implantiert.

Viele Anwendungen sind kontextsensitiv und stellen sich auf den jeweiligen Nutzer ein. „Intelligente“ Agenten helfen die Vielfalt multimedialer Daten im Alltag zu verarbeiten. Über Netze werden viele Dienste zur passiven oder aktiven Unterstützung der Benutzer automatisch bereitgestellt. *Der Benutzer wird zunehmend als Entscheidungsträger umgangen.*

Begleitet wird dieser Prozess vom Verschwinden kommunikationsfreier Räume. Offline sein ist die Ausnahme.

Eckpunkte zum Hightech-Szenario

- ▶ Mobile ICT-Geräte haben mit heutigen Handys nicht mehr viel gemeinsam. Sie bestehen aus einem Display mit Brille und können über gesprochene Sprache gesteuert werden. Andere Varianten bestehen aus einer Folie, über die Informationen eingetippt oder abgelesen werden können. Nach Gebrauch werden sie eingerollt und in der Kleidung verstaut. Mikrofone und Ohrhörer sind in Kleidungs- oder Schmuckstücke integriert.
- ▶ Jeder in Verkehr gebrachte Gegenstand wird mit einem Smart Label zur Identifikation und Lokalisierung ausgestattet. Biometrische Authentifizierung und automatische Abbuchungssysteme revolutionieren den Zahlungsverkehr mit Smart Cards. Die Fernwartung von größeren Haushaltgeräten ist normal, wobei sich hier Leasingkonzepte etablieren. Bezahl wird nur die Nutzung (pay-per-use).
- ▶ Produktion und Vertrieb von Informations- und Unterhaltungsmedien finden weitgehend digital statt. Foliendisplays dienen als Allzweckcomputer mit Papiereigenschaften. OLED-Cyberbrillen mit Headset sind alltäglich und bieten Videoqualität.
- ▶ Statt wie bisher verschiedene portable Geräte zu transportieren, trägt der Benutzer leichte, untereinander vernetzte Einzelkomponenten mit sich, die am Körper und in der Kleidung verteilt sind.
- ▶ „Steer by wire“ und „Brake by wire“ revolutionieren die Fahrzeugsteuerung. Telediagnose und –wartung für Autos sind allgemein üblich. Bord-Monitore mit digitalem Fernsehen und Internet erobern die Rücksitze.
- ▶ Die Miniaturisierung und der Preisverfall bei der Mikroelektronik ist so weit fortgeschritten, dass sich in jedem Alltagsgegenstand, vom Sessel über die Verpackung bis zum Salzstreuer, ein Chip befindet. Ein Server vernetzt alle „intelligenten“ Geräte und Gegenstände im Haushalt.
- ▶ Das mobile ICT-unterstützte Arbeiten setzt sich bis 2004 in allen Bereichen durch, die es prinzipiell zulassen. Neben PDAs und Handhelds verbreiten sich etwas verzögert auch Head-Mounted Displays zur Unterstützung virtueller Konferenzen zwischen „mobilen Arbeitern“.
- ▶ Büroräume werden „intelligent“ und interagieren mit ihren Insassen via Smart Labels, Sprache und Gestik. Bis 2008 haben alle Großunternehmen Sitzungsräume mit voll vernetzten interaktiven Möbeln.
- ▶ Elektronische Implantate werden in der Medizin bei Risikogruppen zur Routine. Mikrochips unter der Haut speichern Informationen. Mikrochips für Gelähmte zur Überbrückung von verletzten Stellen des Nervensystems und computergesteuerte Prothesen kommen auf den Markt. Erste Kliniken setzen Nanochirurgie ein.

Basierend auf diesen drei Szenarien werden in den nachfolgenden Kapiteln Auswirkungen von Pervasive Computing auf die Gesundheit (Kapitel 6) und die Umwelt (Kapitel 7) diskutiert. Zuvor wird eine grundlegende Auswirkung von PvC, die Steigerung der Effizienz von Prozessen, mit ihren Nebenfolgen diskutiert (Kapitel 5).

Wo nichts anderes angegeben ist, beziehen sich die Überlegungen auf das mittlere Szenario. In diesen Fällen wird bei der späteren Diskussion der Unsicherheit der Aussagen (Kapitel 8) das Spektrum der drei Szenarien wieder berücksichtigt.

5 Effizienz und Rebound-Effekte

Mathias Binswanger, Lorenz Hilty

Der Einsatz einer Technologie ist in der Regel nicht Selbstzweck, sondern geschieht in einer bestimmten Absicht. Die Absicht kann grundsätzlich darauf abzielen,

- a) etwas Neues zu ermöglichen, das vorher nicht machbar war, oder
- b) einen altbekannten Vorgang effizienter durchzuführen.

Dieses Kapitel behandelt die effizienzsteigernde Wirkung von ICT – die in der neuen Anwendungsform Pervasive Computing (PvC) ihre Fortsetzung finden wird – und deren Konsequenzen. Ziel ist es, die so genannten Rebound-Effekte abzuschätzen, die als Folge von Effizienzsteigerungen seit längerem bekannt sind. Die Existenz von Rebound-Effekten ist aus ökonomischer Sicht ein grundlegender Aspekt der Auswirkungen von Technologien, der andere Auswirkungen (z.B. auf die Gesundheit, die Umwelt oder die wirtschaftliche Entwicklung) beeinflusst.

5.1 Information, Kommunikation und Effizienz

Die elektronischen Informations- und Kommunikationstechnologien waren noch bis vor einem Vierteljahrhundert völlig getrennte Systeme. Die Computertechnik diente der automatisierten Informationsverarbeitung, und die Nachrichtentechnik schuf Systeme zur Telekommunikation.

Historisch betrachtet hat der *Computer* sehr viel mehr mit Intention b) als mit a) zu tun. Computer wurden stets in der Absicht eingesetzt, Vorgänge effizienter zu gestalten, zunächst durch Automatisierung der industriellen Produktion und später ebenso im Dienstleistungssektor.¹⁰⁴

Theoretisch ist ein Computer zu nichts anderem in der Lage, als Abläufe zu beschleunigen: Er ist dazu konstruiert, *Algorithmen* auszuführen.¹⁰⁵ Einen Computer setzt man folglich deshalb ein, weil er den gleichen Vorgang schneller ausführt – ohne Computer würde es „nur“ länger dauern, nach heutigem Stand der Technik etwa eine Milliarde mal länger.

Stellen wir die gleiche Frage an die Technologie der *Telekommunikation*, fällt die Antwort nicht wesentlich anders aus. Historisch ging es auch hier immer um Beschleunigung, sogar schon im vorelektronischen Zeitalter: Ein organisiertes

¹⁰⁴ Mit „effizienter“ ist hier gemeint, dass das gleiche Ergebnis in kürzerer Zeit erreicht werden kann. Effizienz kann allgemein definiert werden als das Verhältnis zwischen dem Output eines Prozesses und dem benötigten Input. Vorerst betrachten wir nur den Zeitaufwand als Input und damit die Zeiteffizienz als Spezialfall von Effizienz.

¹⁰⁵ „Algorithmus“ ist ein Grundbegriff der Informatik. Die anschaulichste (wenngleich nicht ganz exakte) Definition stammt von Donald E. Knuth: Ein Algorithmus ein exakt festgelegtes Verfahren, das ein Mensch prinzipiell mit Papier und Bleistift ausführen kann (wie z.B. schriftlich Rechnen oder algebraische Ausdrücke umformen). Die exakte Definition nimmt Bezug auf die Berechenbarkeitstheorie, worauf wir hier nicht näher eingehen können.

Postwesen war schneller als ein einzelner berittener Bote, das Telegramm schneller als der Brief, E-Mail kommt schneller an als ein Telegramm. Würde man eine Nachricht, statt sie per E-Mail nach Neuseeland zu schicken, persönlich überbringen, würde dies „nur“ länger dauern. Mit heutiger Technologie (Internet vs. Flugzeug) rund eine Million mal länger.

Die Entwicklung der ICT hat diese millionen- und milliardenfache Beschleunigung in vielen kleinen Schritten erreicht. Es ist mit Sicherheit der folgenreichste Effekt von ICT überhaupt, der eigentliche Kern ihres gesellschaftlichen Veränderungspotenzials.

Die Verschmelzung von Informations- und Kommunikationstechnologien, die durch die Digitalisierung der Telekommunikation möglich wurde, und der bevorstehende Schritt zur ubiquitären Verfügbarkeit und die zukünftige Dominanz der Kommunikation von *Maschine zu Maschine* (siehe Abschnitt 3.7) im Pervasive Computing werden diese Entwicklung fortsetzen.

Heutige und zukünftige ICT dient also im wesentlichen der Beschleunigung von im Prinzip bekannten Vorgängen. Wir betonen dies deshalb so nachdrücklich, weil ICT von den Medien häufig als ein Feld *revolutionärer Neuerungen* (ähnlich der Gentechnologie) dargestellt wird. Demgegenüber tritt der wichtigsten Effekt der ICT in den Hintergrund: die schrittweise Steigerung der Zeiteffizienz.¹⁰⁶

Natürlich führt der quantitative Fortschritt auch zu Qualitätssprüngen. So ist es erst durch hohe Verarbeitungs- und Übertragungsgeschwindigkeiten möglich geworden, Ton und Video zu digitalisieren, was wiederum CD, DVD, und GSM-Handys ermöglichte. In der Medizin könnte man in Bezug auf die bildgebenden Verfahren, die die Diagnostik revolutionierten, ebenso argumentieren. Dennoch wollen wir in diesem Kapitel die Aufmerksamkeit auf den rein quantitativen Beschleunigungseffekt richten, also auf den Grundtrend der Entwicklung, weil dieser gegenüber den qualitativen Sprüngen oft vernachlässigt wird.

5.2 Effizienz und Produktivität

Effizienz im weitesten Sinn ist das Verhältnis von Ergebnis (Output) zu benötigten Ressourcen (Input). Verdoppelt sich die Effizienz eines Vorgangs, so kann doppelt soviel Output mit gleich viel Input erzeugt werden wie zuvor, oder auch der gleiche Output mit der Hälfte des Inputs. Die Effizienz gibt lediglich das Verhältnis an. Im Gegensatz zu Effektivität ist Effizienz immer eine Verhältniszahl.

Abhängig davon, welche Ressourcen man auf der Inputseite betrachtet, kann man verschiedene Arten von Effizienz definieren. Betrachten wir die nur die Ressource „Zeitaufwand“ wie im vorausgegangenen Abschnitt, so kann man von „Zeiteffizienz“ sprechen. Hier sind allerdings noch zwei Fälle zu unterscheiden: Zeit als Arbeitszeit (gemessen z.B. in Personenstunden) oder Zeit als Kalenderzeit (Intervall auf der absoluten Zeitachse).

Für Unternehmen hat im heutigen Wettbewerb der zweite Fall oft noch größere Bedeutung als der erste. Ein Beispiel soll den Unterschied illustrieren: Drei Teams in verschiedenen Erdteilen bearbeiten ein Projekt. Wenn ein Team seinen Arbeitstag

¹⁰⁶ Die interessante These, dass der Fortschritt im ICT-Bereich seit geraumer Zeit nichts mehr zum Effizienzfortschritt beitrage (auch bekannt als das „IT Productivity Paradox“, Macdonald, 2002), blenden wir hier aus, weil es sich wahrscheinlich um eine vorübergehende Erscheinung handelt.

beendet, übergibt es sein Zwischenergebnis per Internet an das nächste Team, das gerade aufgestanden ist. Dieser "virtuelle Schichtbetrieb" spart zwar in der Summe keine Arbeitszeit, ermöglicht es aber, das Projekt in kürzerer Zeit zu beenden, d.h. zu einem früheren Datum im Kalender.

Andere Arten von Effizienz ergeben sich, wenn man statt Zeit z.B. den Input an Energie betrachtet (Energieeffizienz), oder den Materialinput (Materialeffizienz). Diese Arten von Effizienz sind gemeint, wenn im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung von „Effizienzstrategie“ oder „Effizienzrevolution“ die Rede ist (Weizsäcker et al., 1995).

Die Begriffe Effizienz und Produktivität sind nicht weit voneinander entfernt. Betrachtet man den in Frage stehenden Vorgang als *Produktion* im ökonomischen Sinne (was prinzipiell immer möglich ist), so fallen Effizienz und Produktivität zusammen. Produktivität ist definiert als Output pro Einsatz von Produktionsfaktoren. Betrachtet man nur einen einzelnen Produktionsfaktor, z.B. Arbeit, so spricht man von Faktorproduktivität, im Falle des Faktors Arbeit von *Arbeitsproduktivität*. Dann wird die Effizienzsteigerung zur Rationalisierung.

Auch wenn die Natur in der gängigen Produktionsfunktion nicht als Produktionsfaktor vorkommt, so kann man eine Produktivität bezüglich der eingesetzten natürlichen Ressourcen definieren, in der Umweltökonomie *Ressourcenproduktivität* genannt. Eine (einschneidende) Verbesserung der Ressourcenproduktivität ist wiederum gleichbedeutend mit *Dematerialisierung* (siehe Abschnitt 2.4 sowie Hilty/Ruddy 2002) und wird auch „Rationalisierung der zweiten Art“ genannt: Nicht Menschen, sondern die überstrapazierten Naturressourcen sollen durch diese Form der Rationalisierung „arbeitslos“ gemacht werden.

5.3 Effizienz vs. Suffizienz

Effizienz bzw. Produktivität sind Verhältniszahlen, sie sagen also nichts über *absolute* Mengen von Input oder Output aus. Eine Produktivitätssteigerung bedeutet lediglich, dass der Quotient *Output / Input* (also *Output / Arbeitsstunde* für Arbeitsproduktivität oder *Output / „Tonne Natur“* für Ressourcenproduktivität¹⁰⁷) größer wird.

Wird ein neuer Mikroprozessor beispielsweise kleiner und schneller, so braucht er pro Rechenoperation weniger Material (in der Herstellung) und weniger Energie (im Betrieb). Dennoch ist die elektrische Leistung höher, die er im Betrieb aufnimmt, weil sein Output sozusagen im PC verpufft. Weil viele Benutzer diese schnelleren Prozessoren haben wollen, werden ausserdem die Vorgänger frühzeitig ausrangiert (Obsoleszenz), was unter dem Strich zu mehr Materialaufwand in der Herstellung führt.

Höhere Effizienz ist also keine hinreichende Voraussetzung für die Einsparung von Ressourcen. Diese Aussage gilt unabhängig von den betrachteten Ressourcen (Natur, Zeit, Einkommen...). Will man Ressourcen sparen, ist zusätzlich eine *mengenmäßige Begrenzung* auf der Input- oder Outputseite notwendig. Beispielsweise muss man CO2-Emissionen absolut begrenzen, wenn man erreichen will, dass zunehmende Energieeffizienz tatsächlich zu einem Rückgang der Emissionen führt.

¹⁰⁷ Diese Vereinfachung würde grob dem MIPS-Konzept des Wuppertal-Instituts entsprechen (Material Input Per Service Unit) (vgl. Weizsäcker et al., 1995).

Allgemein ausgedrückt, muss eine Effizienzstrategie immer von einer Suffizienzstrategie begleitet sein, sonst können gut gemeinte Maßnahmen sich in ihr Gegenteil verkehren. Dieser Effekt ist als Rebound-Effekt bekannt.

5.4 Der Rebound-Effekt

Wenn sich aufgrund der Effizienzsteigerung der Output verbilligt und dies zu einer Ausweitung der nachgefragten Menge führt, spricht man von einem Rebound-Effekt. Damit fällt dann die Reduktion Input-Flusses geringer aus als prinzipiell möglich, eventuell tritt gar keine Reduktion oder sogar ein Zuwachs ein. Im letztgenannten Fall spricht man von einem Rebound von größer 100 %.

Normalerweise wird der Rebound-Effekt im Zusammenhang mit der *Absicht* oder *Erwartung* gesehen, den Input zu reduzieren. Dass diese nicht erfüllt wird, erklärt die Bezeichnung „Rebound“ („Zurückprallen“). Wir betrachten deshalb speziell diesen Fall (Rebound-Effekt i.e.S.). Außerdem erläutern wir der Einfachheit halber den Fall eines Rebound-Effekts von mindestens 100%, bei dem die prinzipiell mögliche Reduktion auf der Inputseite kompensiert oder überkompensiert wird.

Abbildung 5-1 zeigt die vier Fälle, die als Kombinationen von Absicht und Ergebnis einer Effizienzsteigerung (in Bezug auf *einen* Inputfaktor) auftreten können.

		erwartete Wirkung einer Effizienzsteigerung	
		Input senken	Output erhöhen
tatsächlich eingetretene Wirkung	Input sinkt nicht	Rebound-Effekt i.e.S.	beabsichtigtes Wachstum
		Rebound-Effekt i.w.S.	
	Output steigt nicht	Einsparung der Input-Ressource	(unbeabsichtigte) Stagnation

Abbildung 5-1: Der Rebound-Effekt als Wirkung einer Effizienzsteigerung. Der Einfachheit halber ist nur der Fall eines Rebound-Effekts = 100 % gezeigt. Bei einem Rebound-Effekt R mit $0 < R < 100\%$ sinkt der Input zwar, aber nicht im erwarteten Ausmaß.

- Der *Rebound-Effekt* i.e.S. liegt dann vor, wenn eine Effizienzverbesserung mit der Absicht vorgenommen wird, den Input zu senken, und diese Wirkung dann nicht eintritt. Stattdessen wächst der Output.
- Wächst der Output trotz Effizienzsteigerung nicht, so bedeutet dies, dass die Einsparungsbemühungen erfolgreich sind (Einparung ovn Input-Ressourcen).
- Wird eine Effizienzverbesserung dagegen mit der Absicht vorgenommen, den Output zu steigern und gelingt dies auch, ist dies beabsichtigtes Wachstum.
- Lässt sich jedoch der Output trotz Effizienzsteigerung nicht wie erwartet steigern, ist dies eine unbeabsichtigte Stagnation.

Wir betrachten dies nun konkreter aus Sicht der drei Akteursgruppen des Wirtschaftssystems:

- Privathaushalte
- Unternehmen
- der Staat

Ein *Privathaushalt* kann von Fall zu Fall sowohl an Einsparungen als auch an Wachstum interessiert sein. Beispielsweise kann ein sparsameres Auto angeschafft werden in der Absicht, Energie zu sparen und nicht weiter zu fahren als vorher. Besteht die Absicht jedoch darin, für das gleiche Benzingeld weitere Strecken zurücklegen zu können, ist dies beabsichtigtes Wachstum. Der Rebound-Effekt tritt ein, wenn zwar die Absicht zum Energiesparen bestand, aber dann in der Realität – z.B. wegen des entlasteten Geldbeutels oder Gewissens – trotzdem mehr gefahren wird.

Ein *Unternehmen* ist in der Regel an Wachstum interessiert, so dass man aus dieser Perspektive selten von Rebound-Effekten i.e.S. sprechen kann. Wird beispielsweise ein Produkt nur noch mit 80 % des Materials hergestellt, der Preis gesenkt und in der Folge die doppelte Menge produziert und verkauft, so wird der Unternehmer dies kaum als Rebound-Effekt sehen, obwohl er absolut gesehen mehr Material verbraucht.

Der *Staat* dagegen trifft zahlreiche Maßnahmen in der Absicht, Input (der Volkswirtschaft) zu begrenzen, beispielsweise den Energieverbrauch oder CO₂-Emissionen.¹⁰⁸ Untersuchungen zum Rebound-Effekt sind deshalb auf der volkswirtschaftlichen Ebene besonders sinnvoll und sind auch in diesem Bereich entstanden. Beispielsweise wurde in den 50er Jahren festgestellt, dass trotz steigender Energieeffizienz von Geräten die Energieverbrauch der Volkswirtschaft nicht abnahm.

Rebound-Effekte in Bezug auf beabsichtigte Zeiteinsparungen

Kehren wir nun zu unserer Feststellung aus Abschnitt 5.1 zurück, dass ICT im wesentlichen dazu dient, die Zeiteffizienz von Prozessen zu verbessern.

Um ökonomische Modelle des Rebound-Effekts *in Bezug auf Zeit* anwenden zu können, ist es notwendig, die betrachteten Prozesse als *Produktionsprozesse* aufzufassen. Damit scheinen nun auf den ersten Blick die Privathaushalte aus den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen zu sein. Gerade diese sind aber als die wichtigsten Anwender von Pervasive Computing zu sehen. Es handelt sich um eine Technologie für den Endverbraucher.

¹⁰⁸ Auch ein unerwünschter materieller Output (Abfälle, Emissionen usw.) ist im ökonomischen Sinn Input; es ist die Entsorgungsleistung der Natur, die hier als Produktionsfaktor beansprucht wird.

Es ist jedoch ohne weiteres möglich und – wie wir noch erläutern werden – sogar naheliegend, einen Privathaushalt nicht nur als *Ort des Konsums*, sondern auch als *Ort der Produktion* zu sehen. Der Haushalt kann als „kleine Fabrik“ betrachtet werden, in der die Mitglieder mit Hilfe technischer Güter sogenannte Zielgüter für den Eigenbedarf produzieren. Diese Sichtweise wird in den folgenden zwei Abschnitten eingeführt.

Damit wird die Grundlage geschaffen, um Rebound-Effekte durch PvC auch im Privatbereich abzuschätzen, der besonders in den Anwendungsfeldern Wohnen und Verkehr¹⁰⁹ angesprochen ist.

5.5 Zum Begriff des Nutzens

Die Konsumenten fragen neue Produkte und Dienstleistungen nur dann nach, wenn sie sich davon einen zusätzlichen *Nutzen* versprechen. Nutzen ist grundsätzlich subjektiv. Kunstwerke, Modekleidung, Musikstücke oder Urlaubsreisen haben für jedes Individuum einen anderen Nutzen. Es soll hier deshalb keinesfalls versucht werden, Nutzen zu objektivieren.

Die genannten Fälle sind Beispiele für *unmittelbaren* oder *direkten* Nutzen, also das, was man durch Konsum „eigentlich“ erreichen will.

Viele Produkte werden jedoch nicht wegen ihres unmittelbaren Nutzens gekauft, sondern weil sie einen *mittelbaren* oder *indirekten* Nutzen stiften. Dieser besteht darin, dass sie helfen, Güter mit einem unmittelbaren Nutzen zu produzieren, so genannte Zielgüter. Haushaltgeräte aller Art haben typischerweise einen indirekten Nutzen, aber auch viele Dienstleistungen.

Das Auto ist ein typisches Beispiel. Sein Nutzen ergibt sich nicht aus dessen Besitz (wenn wir einmal vom Nutzen als Statussymbol absehen), sondern durch die Produktion des Zielgutes „Mobilität“, die durch das Auto ermöglicht wird. Die Mobilität ist das Zielgut, welches dem Haushalt den unmittelbaren, Nutzen stiftet.

In der ökonomischen Theorie ist im allgemeinen nicht von Konsumenten, sondern von Haushalten als wirtschaftlichen Akteuren die Rede, wobei ein Haushalt aus einer oder mehreren Personen bestehen kann. Jedem Haushalt wird dann eine Nutzenfunktion zugeordnet, aus der sich die Nachfrage nach den einzelnen Gütern ableiten lässt. Diese lässt sich in groben Zügen aus Statistiken über das tatsächliche Kaufverhalten bzw. Zeitallokationsverhalten von Haushalten ermitteln und zeigt dann einen „durchschnittlichen Haushalt“ (den es in Wirklichkeit so nicht geben muss).

Wollen wir die Auswirkungen des PvC auf Haushalte abschätzen, so müssen wir uns deshalb primär überlegen, wie sich PvC auf den Produktionsvorgang im Privathaushalt auswirkt. Dies wird es dann auch erlauben, Rebound-Effekte abzuschätzen.

Dazu ziehen wir das von Gary Becker (1965) entwickelte Konzept der *Haushaltsproduktionsfunktion*, heran, welches im folgenden kurz vorgestellt wird.

¹⁰⁹ Der grösste Teil des Personenverkehrs ist Freizeitverkehr.

5.6 Das Konzept der Haushaltsproduktionsfunktion

Der Ökonom und Nobelpreisträger Gary Becker hat das Konzept der Haushaltsproduktionsfunktion im Zusammenhang mit seinen Arbeiten zu einer ökonomischen Theorie der Familie entwickelt (Becker, 1965; Michael/Becker, 1973). Die traditionelle ökonomische Theorie der Wahlhandlungen betrachtet Akteure als passive Konsumenten von Gütern und Dienstleistungen. Es wird vorausgesetzt, dass jeder Akteur bestrebt ist, den Nutzen (U) durch direkt aus dem Markt erworbene Güter (X) zu maximieren:

$$U = U(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Der Erwerb der Marktgüter unterliegt dabei lediglich der Restriktion des monetären Einkommens. Man ging also davon aus, auf Grundlage der drei Faktoren *Einkommen*, *Preise* und *Präferenzen* eine vollständige Erklärung des Konsumentenverhaltens liefern zu können.

Doch die traditionelle Theorie hat große Schwächen: Ökonomen standen in vielen empirischen Untersuchungen vor dem Problem, dass sie das Konsumentenverhalten mit Variablen wie Alter, Familienstand, Bildung, Beruf u.ä. erklären mussten, letztlich also mit verschiedenen Präferenzen verschiedener Personengruppen. Auch die Änderung von Präferenzen innerhalb eines Zeitraumes (z.B. ist die Nachfrage nach Heizöl abhängig von der Jahreszeit) oder einer Lebensspanne wurden zwar als intuitiv einleuchtend interpretiert, waren aber schwer in die Theorie zu integrieren.

Um diesem Zustand abzuheften, führt Becker eine „neue“ Art von Gütern ein: die Commodities oder Zielgüter. Sie sind die eigentlichen Dinge, die den Menschen wertvoll sind, wie z.B. Gesundheit, Anerkennung und Sinnesfreuden, wobei deren Nutzen subjektiv unterschiedlich bewertet wird. Diese Güter können nun aber nicht direkt auf einem Markt gekauft werden, sondern müssen selbst „produziert“ werden, wobei der einzelne Haushalt die Rolle einer „kleinen Fabrik“ einnimmt. Der Nutzen ist somit eine Funktion der Zielgüter (Z)

$$U = U(Z_1, Z_2, \dots, Z_m),$$

und nur noch indirekt eine Funktion der am Markt erworbenen Güter.

Die Zielgüter werden von den Haushalten mit den Produktionsfaktoren Marktgüter (X), Zeit (T) und Humankapital (H) „produziert“, wobei das Humankapital *das technische Niveau des Produktionsprozesses* widerspiegelt. Die Haushaltsproduktionsfunktion für ein Zielgut (Z_i) lässt sich dann formulieren als:

$$Z_i = f_i(X_i, T_i, H_i)$$

Die Zielgüter (Z_i) haben keine Marktpreise, weil sie nur für den Eigenbedarf produziert und daher nicht direkt gekauft werden können, sondern so genannte Schattenpreise oder Opportunitätskosten. Sie hängen von den – individuell verschiedenen – Kosten ihrer Produktion ab. Der Schattenpreis einer Tätigkeit entspricht dem Einkommen, das man erhalten würde, wenn man in diesem Zeitraum einer Erwerbstätigkeit nachginge

(entgangenes Einkommen). Daraus folgt, dass bei Personen mit einem hohem Einkommen auch die Schattenpreise von zeitaufwändigen Tätigkeiten hoch sind.

Besondere Bedeutung kommt im Konzept der Haushaltproduktionsfunktion der Zeit als knapper Ressource zu. Konsumenten verkaufen ihre Zeit auf dem Arbeitsmarkt und kaufen Zeit in Form von Dienstleistungen (z.B. Restaurants, Steuerberater, Kinderbetreuung). Sind die Opportunitätskosten der Zeit hoch, wie dies in Industrieländern heute der Fall ist, dann besitzen zeitsparende Innovationen ein erhebliches Nutzenpotenzial für die Haushalte. Becker erwähnte aus der Perspektive des Jahres 1965 folgende Beispiele für zeitsparende Innovationen: Der Supermarkt (Zeitersparnisse beim Einkaufen), das Auto (Zeitersparnisse beim Transport), das Telefon (man kann sich Wege ersparen).

Wie eingangs dargelegt, ist auch vom Einzug von *ICT* in die Privathaushalte im wesentlichen eine Steigerung der Zeiteffizienz zu erwarten. *Der gemeinsame Nenner aller ICT-Anwendungen ist ihr indirekter Nutzen, die Zeiteffizienz zu steigern.*

5.7 Beobachtungen zum Rebound-Effekt

Der Rebound-Effekt kommt dadurch zustande, dass Menschen im allgemeinen auf Effizienzerhöhungen mit einer Verbrauchsänderung reagieren (siehe Binswanger, 2001; Energy Policy, 2000).

Quantitativ gibt der Rebound-Effekt an, wie viel Prozent des technisch gebenen Einsparpotenzials dadurch verloren gehen, dass sich die Nachfrage aufgrund der Effizienzerhöhung ausdehnt. Ein Reboundeffekt von 50 % bedeutet somit, dass aus einem Faktor 4 (der einem Einsparpotenzial von 75% entspricht) ein Faktor von 1.6 wird:

$$1 / ((1 - 0.75) + 0.75 \times 0.5) = 1.6$$

Es ist möglich, dass der Rebound-Effekt mehr als 100 % beträgt. Das bedeutet, dass eine Erhöhung der Effizienz sogar zu einer Zunahme des Verbrauchs führen kann. Der Rebound-Effekt führt gerade bei zeitsparenden Innovationen oftmals dazu, dass letztlich mehr Zeit mit der jeweiligen Tätigkeit verbracht wird (Binswanger, 2001; Lindner, 1970).

Ein aktuelles Beispiel ist der Ersatz herkömmlicher Briefkorrespondenz durch E-Mail. E-Mail ist offensichtlich eine wesentlich zeiteffizientere Kommunikationsmethode, weil das Ausdrucken eines Bogens, das Kopieren von Beilagen, das Hantieren mit dem Briefumschlag usw. entfällt. Auch ist die Adresse in der Regel schon im System gespeichert. Dennoch zeigt die Alltagserfahrung, dass wir heute mehr Zeit mit E-Mails verbringen als früher mit dem Lesen und Schreiben von Briefen, weil die Anzahl der Nachrichten pro Zeiteinheit stark angewachsen ist.

Dies liegt zum einen an der Versuchung, mit gleichem Zeitaufwand mehr Kontakte zu unterhalten, zum anderen daran, dass andere auch auf diese Idee kommen und die Beantwortung ihrer E-Mails erwarten. Drittens schließlich spielt hier auch die Kalenderzeit hinein: Allein die Tatsache, dass man innerhalb von Minuten reagieren bzw. eine Antwort erhalten kann, während Briefe erst am nächsten Tag ankommen,

sorgt für eine Beschleunigung und damit für mehr Austausch pro Zeiteinheit. Diese Effekte summieren sich offensichtlich zu einem Rebound von über 100%.

Nehmen wir wieder den Verkehr als weiteres Beispiel. Seine Entwicklung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Verkehrsträger in den letzten 200 Jahren immer schneller geworden sind: Eine bestimmte Distanz kann in immer kürzerer Zeit zurückgelegt werden. Die Zeiteffizienz wurde somit stark erhöht.

Das hat jedoch empirisch zu keinen zeitlichen Entlastungen geführt, denn jede Effizienzerhöhung wurde sofort durch weitere oder häufigere Reisen kompensiert. Der Reboundeffekt beträgt hier ungefähr 100 % und ist auch als „Constant Travel Time Hypothesis“ bekannt.

Weltweit reisen die Menschen ungefähr 70 Minuten pro Tag und zwar sowohl in Tansania als auch in den USA (siehe Abbildung 5-2). Das einzige, was sich mit dem technischen Fortschritt und den damit verbundenen Effizienzsteigerungen ändert, ist die zurückgelegte Distanz, die in den USA um ein Vielfaches höher ist als in Tansania. Der hier geschilderte Rebound-Effekt führt im übrigen dazu, dass der Energieverbrauch des Verkehrs ständig zunimmt, da dank schnelleren Transportmitteln in der gleichen Zeit immer mehr und immer weiter gereist werden kann.

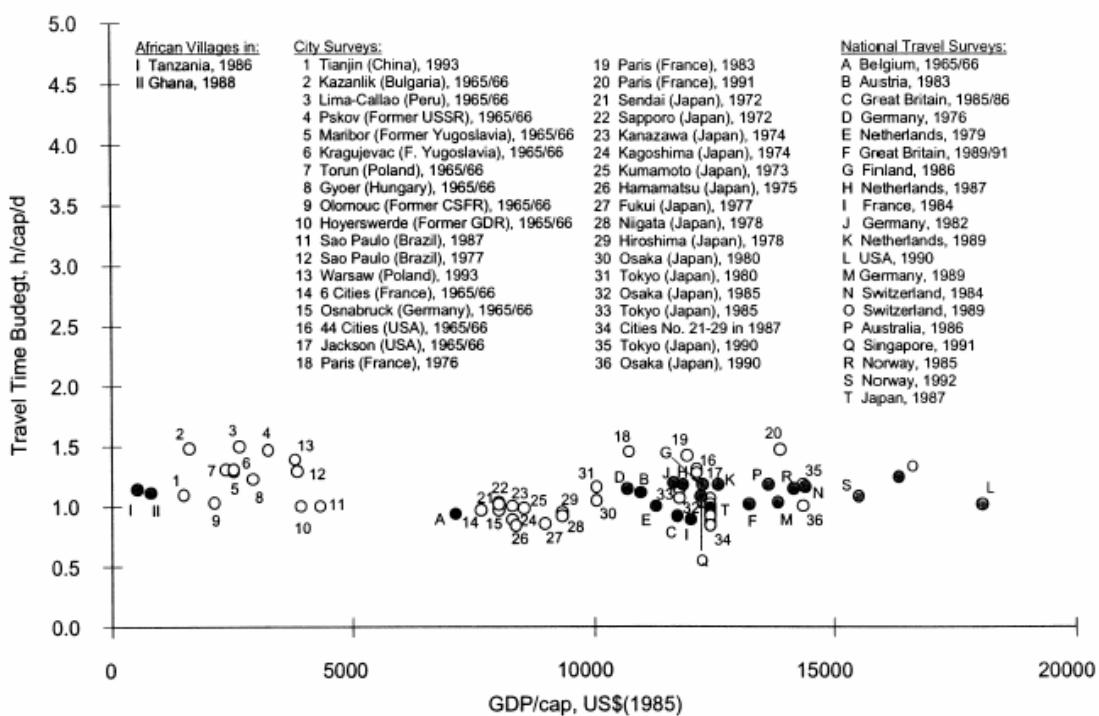


Abbildung 5-2: Empirischer Beleg der "Constant Travel Time Hypothesis".

Die Abbildung setzt das Reisezeitbudget verschiedener Städte und Länder zum Bruttosozialprodukt pro Kopf in Beziehung. Es zeigt sich, dass auch bei höherem Pro-Kopf-Bruttosozialprodukt das Reisezeitbudget trotz Anwendung schnellerer Technik nicht abnimmt, sondern etwa gleich bleibt.

5.8 Daten zum ökonomischen Verhalten der Privathaushalte

Im folgenden diskutieren wir einige grundlegende Daten zum ökonomischen Verhalten der Haushalte. Erstens sind dies Zahlen zur Einkommensverwendung der Haushalte und damit zur Struktur der Haushaltsausgaben. Diese sind in der Schweiz statistisch gut erfasst und lassen sich auch in ihrer zeitlichen Entwicklung verfolgen.

Zweitens betrachten wir Zahlen zur Zeitverwendung der Haushalte. Hier ist die Datenlage ziemlich unzureichend, und systematisch über einen längeren Zeitraum erhobene Daten liegen nur für Großbritannien vor. Punktuelle Vergleiche mit anderen Ländern lassen jedoch darauf schließen, dass diese Zahlen repräsentativ sind für industrialisierte Länder, und dass sich in den Ländern dieselben Trends abzeichnen.

Sowohl die Daten zur Struktur der Haushaltsausgaben als auch die Daten zur Zeitverwendung geben indirekt Aufschluss über den jeweiligen Nutzen für die Haushalte.

5.8.1 Konsumausgaben

Die *Konsumausgaben* machten im Jahre 1998 63 % der Ausgaben eines Haushalts in der Schweiz aus, während sie im Jahre 1990 erst 31 % betragen. Die restlichen 37 % sind *Transferausgaben* (Steuern, Versicherungen). Wie Abbildung 5-3 zeigt, gibt es bei *Wohnen und Energie* sowie bei *Unterhaltung, Erholung, Kultur* und *Nachrichtenübermittlung* einen Trend zur einer Erhöhung des Anteils an den Ausgaben.

Beim *Verkehr* ist zu berücksichtigen, dass der Anteil der Verkehrs- an den Gesamtausgaben zwar sinkt, die Verkehrsausgaben absolut aber ansteigen. Ferner sind die Treibstoffpreise und Motorfahrzeugsteuern wesentlich weniger angestiegen als die Konsumausgaben der Haushalte.

Betrachten wir die Veränderungen in den Ausgaben der Haushalte aus einer Langfristperspektive, dann sind die oben erwähnten Trends noch deutlicher zu erkennen:

- Der Anteil der Nahrungs- und Genussmittel an den Ausgaben sank seit 1920 von 40 % auf 8 % und der Anteil der Ausgaben für Bekleidung und Schuhe verringerte sich von 13 % auf 4 %.
- Gleichzeitig stiegen die Anteile für Tourismus, Verkehr und Freizeit von 6 % auf 20 % und der Anteil der Transferausgaben erhöhte sich von 3 % auf 37 %.
- Ungefähr konstant blieben die Ausgaben für das Wohnen, die sowohl 1920 wie im Jahr 2000 etwa 20 % der Gesamtausgaben eines Haushalts ausmachten.

Struktur der Konsumausgaben (Güter und Dienstleistungen): Vergleich 1990 - 1998

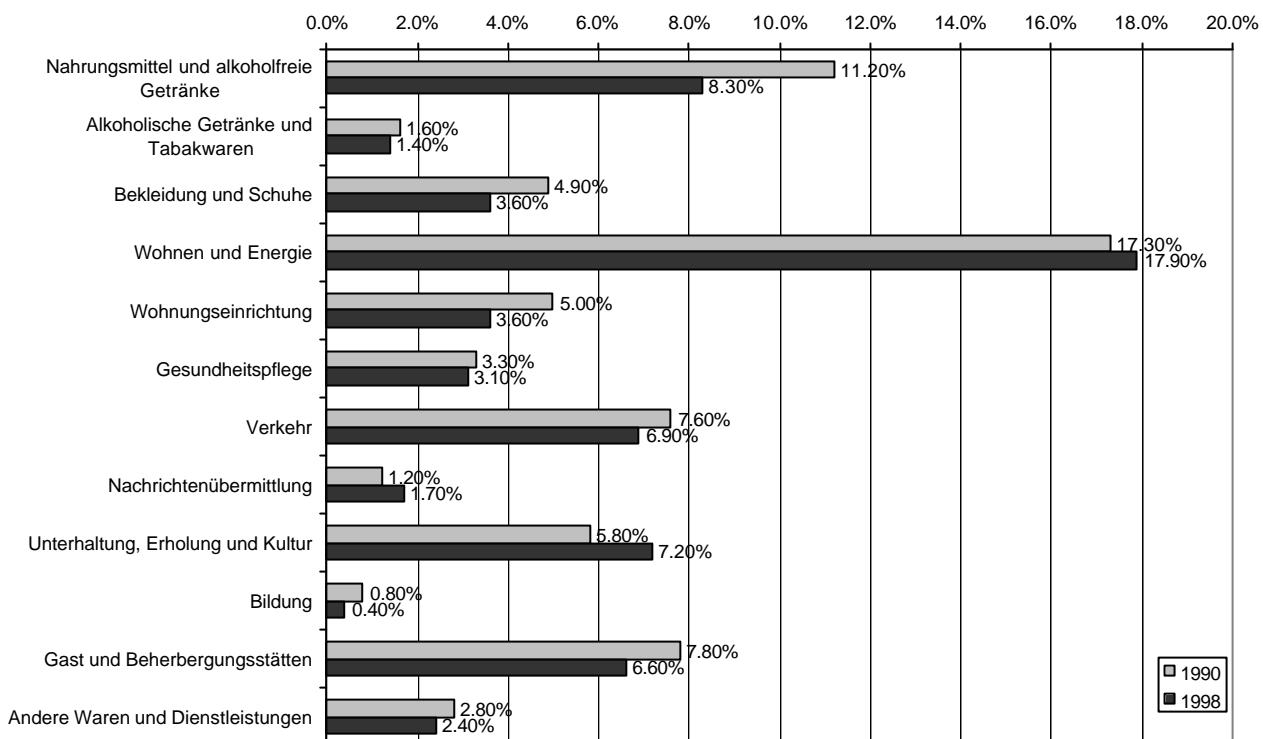


Abbildung 5-3: Struktur der Konsumausgaben in der Schweiz (Quelle: Bundesamt für Statistik)

Der Bereich Wohnen und Energie (ohne Energie für Verkehr) stellt heute mit knapp 18 % den größten Anteil an den Konsumausgaben dar. Der Anteil ist zudem trotz bereits hohem Niveau gegenüber 1990 leicht steigend.

Insgesamt geben diese Trends Hinweise darauf, dass in Bereichen mit steigenden Ausgaben die Haushalte einen großen Nutzen sehen, weshalb sie Ausgaben aus anderen Bereichen in diese Bereiche verlagern.

Wo das Niveau der Ausgaben hoch ist, lohnt sich außerdem der Einsatz von Technologien, die die Kosteneffizienz verbessern.

Interessant ist es, die Trends in der Aufteilung des *Einkommens* mit den Trends zur Aufteilung der *Zeit* gemeinsam zu betrachten. Daraus ergeben sich Hinweise auf mögliche Bedürfnisse zur Effizienzsteigerung (insbesondere durch Pervasive Computing) und zu erwartende Rebound-Effekte.

5.8.2 Zeitbudgetstudien

Tabelle 5-1 zeigt Ergebnisse von britischen Zeitbudgetstudien (Gershuny/Miles, 2001), die in den wesentlichen Trends auch auf anderen westlichen Industriestaaten wie die Schweiz übertragbar sein sollten.

Es zeigt sich, dass gegenüber 1961 die mit bezahlter Arbeit verbrachte Zeit leicht zurückgegangen ist.

Tabelle 5-1: Haushaltsdaten für Großbritannien (in Minuten pro Tag und Person):

Aktivität	1961	1975	1985	1995
Bezahlte Arbeit	296	271	250	246
Kochen	63	59	56	48
Putzen, Wäsche	55	47	44	47
Andere Hausarbeit	35	31	39	35
Kinderhüten	13	15	25	39
Einkaufen, regionale Fahrten	25	35	46	49
Gesamt (Arbeit)	487	458	460	464
Essengehen, Kino, Pubs etc.	28	47	42	61
Gesellschaftliche Aktivitäten	35	42	35	40
Sport, Spazierengehen	9	10	14	10
TV und Radio	139	128	135	129
Andere Freizeit zu Hause	74	79	84	65
Gesamt (spezifische Freizeit)	285	306	310	305
Essen zu Hause	96	79	69	52
Schlafen, persönl. Pflege etc.	572	597	601	619
Gesamt (regenerierende Zeit)	668	676	670	671
Total	1440	1440	1440	1440

Quelle: BBC

Freizeitaktivitäten *außerhalb* der eigenen vier Wände nehmen zu: Mit *Essengehen, Kino, Pubs* wird immer mehr Zeit verbracht. Dafür wird seltener zuhause gegessen. Bemerkenswert konstant ist der Zeitanteil von *TV und Radio*. Es ist davon auszugehen, dass dieser auch in Zukunft konstant bei ca. 2 Stunden liegen wird. Innerhalb der Hausarbeit findet eine deutliche Verlagerung vom *Kochen* zum *Kinderhüten* und *Einkaufen* statt.

Die beobachteten Verlagerungstrends geben Hinweise darauf, in welchen Bereichen ein großer direkter Nutzen gesehen wird. Dies ist anscheinend bei *Ausgehen, Kinderhüten und Einkaufen* der Fall. Das *Kochen* dagegen scheint mehr und mehr „wegrationalisiert“ zu werden, was darauf hindeutet, dass hier der indirekte Nutzen, also der Nutzen des Zielgutes „Mahlzeit“ im Vordergrund steht.

Es ist deshalb damit zu rechnen, dass Privathaushalte im Gesamttrend danach streben, den Zeitaufwand für die Hausarbeiten Putzen, Waschen und insbesondere Kochen durch technische Maßnahmen zu reduzieren, um mehr Zeit für Ausgehen, Kinderbetreuung und Einkaufen zur Verfügung zu haben. Hier liegt ein Anwendungsbereich für PvC, in dem auf mögliche Rebound-Effekte zu achten ist.

Der Trend zur Orientierung der Freizeitaktivitäten nach außen, der übrigens auch durch die allgemeinen Zunahme des *Freizeitverkehrs* belegt ist, bestätigt unsere Annahme aus Kapitel 4, dass PvC sich *eher im Auto als im Wohnbereich* durchsetzen wird. In eine ähnliche Richtung weist der zunehmende Zeitanteil für das Einkaufen.

5.9 Abschätzung der Rebound-Effekte in den vier Anwendungsfeldern

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen betrachten wir nun die Auswirkungen von PvC in den verschiedenen Anwendungsfeldern und versuchen den zu erwartenden Rebound-Effekt grob abzuschätzen. Tabelle 5-2 zeigt die Ergebnisse im Überblick.

Zusätzlich zu diesen Ergebnissen werden wir auch in den weiteren Kapiteln, insbesondere im Zusammenhang mit Auswirkungen auf die Umwelt (Kapitel 7) Rebound-Effekte berücksichtigen.

5.9.1 Wohnen

Beobachtete Trends

Auf den Wohnbereich entfällt ein großer, aber nur noch langsam wachsender Teil der Ausgaben der Haushalte. Freizeitaktivitäten, für die ein stark zunehmender Teil des Einkommens und der Zeit aufgewendet wird, sind mehr *nach außen orientiert*. Mit einer Zunahme der im Wohnbereich verbrachten Freizeit ist deshalb eher nicht zu rechnen.

Wenn es überzeugende Lösungen gibt, durch PvC Putzen, Waschen und Kochen zeiteffizienter zu gestalten, werden diese sicher nachgefragt werden, zumal die entsprechenden Investitionen in Relation zum gesamten Ausgabenblock für Wohnen und Energie wahrscheinlich nicht groß erscheinen werden. Die entsprechenden technischen Produkte werden hauptsächlich wegen ihres *indirekten Nutzens* gekauft, d.h. es geht hier weniger um Technikbegeisterung, Prestige oder ähnliche direkte Nutzen als vielmehr um die effiziente Produktion von Sauberkeit, Hygiene und Mahlzeiten.

Rebound-Effekte

Ein Rebound-Effekt beim effizienteren Reinigen könnte durch steigende Sauberkeitsanforderungen entstehen. Das würde z.B. bedeuten: Weil das Waschen mit der „intelligenten Waschmaschine“ bequemer ist, wird die Wäsche öfter gewechselt. Putzen und Waschen haben laufend von effizienteren Technologien profitiert, und dies hat bisher auch zu einem höheren Sauberkeitsbedürfnis geführt. Dieser Rebound-Effekt scheint andererseits nicht 100 % zu erreichen, weil doch ein leichter Rückgang des Zeitaufwandes stattgefunden hat (siehe Tabelle 5-1).

Beim Kochen erscheint ein Rebound-Effekt eher nicht plausibel, weil man kaum mehr essen wird, weil man schneller kochen kann. Hier steht die dank effizienterer Technik gesparte Zeit tatsächlich für andere Aktivitäten zur Verfügung.

5.9.2 Verkehr

Beobachtete Trends

Durch die Zunahme der Freizeitmobilität wird eine effiziente Navigation im Markt der Freizeitangebote (logisch und räumlich) einen großen indirekten Nutzen stiften. *Location-Based Services*, sei es im „intelligenten Auto“ oder über Wearables auch für Fußgänger, Fahrradfahrer und Fahrgäste des öffentlichen Verkehrs, werden entscheidend zu einer zielgerichteten, effizienten Nutzung von Freizeitangeboten beitragen.

Man wird nicht mehr in Kinoprogrammen, Stadtmagazinen, Branchentelefonbüchern oder Reiseführern blättern, sondern sich unterwegs für Ziele entscheiden und sich von elektronischen Helfern zu diesen direkt hinführen lassen, einschließlich Reservierungen, Abrechnung, Hintergrundinformationen, Tipps von Vorgängern, Kontaktaufnahme mit Gleichgesinnten und vielen weiteren Möglichkeiten.

Durch die zunehmende Ortsunabhängigkeit von Aktivitäten wie Büroarbeit, Besprechungen und Informationszugriff werden viele beruflich notwendige Wege entfallen. Der bisherige Trend zeigt jedoch ein entsprechendes Wachstum der Entfernung und auch des Freizeitverkehrs, so dass die im Verkehr verbrachte Zeit insgesamt konstant bleibt. Auch nehmen mit den Möglichkeiten der Mobilität auch die entsprechenden Erwartungen und Anforderungen zu, sowohl beruflich wie privat.

Rebound-Effekte

Ein Rebound-Effekt resultiert bei einer solchen auf den lokalen Kontext hin optimierten, hocheffizienten Information und Kommunikation durch die mögliche Überflutung mit Informationen, hinter denen schwer einzuschätzende Interessenlagen stehen. Die höhere Zeiteffizienz durch besser fokussierte Information für den Empfänger wird also durch ein Wachstum der Informationsmenge und höheren Aufwand für die Bewertung dieser Information (hinsichtlich Glaubwürdigkeit, verdeckter Motive usw.) kompensiert oder überkompensiert werden. Ansätze hierzu zeigen sich heute schon im WWW und E-Mail-Verkehr.

Im Extremfall könnten Navigationssysteme „bestechlich“ werden, indem sie den Benutzer an Verkaufspunkten vorbeiführen, die dafür bezahlen. Der Benutzer werden diese Penetranz in Kauf nehmen, solange noch ein gewisses Gleichgewicht mit dem Nutzen gegeben ist oder solche Systeme wesentlich billiger angeboten werden als neutrale.

Das bisher ungefähr konstante Zeitbudget für Verkehrsaktivitäten wird sich durch die zunehmende Ortsunabhängigkeit von Aktivitäten kaum verringern. Im Gegen teil könnte sogar ein zusätzlicher Anreiz entstehen, häufig unterwegs zu sein, weil die Vorteile bestimmter Standorte an Bedeutung verlieren.

5.9.3 Arbeit

Beobachtete Trends

ICT wurde schon immer hauptsächlich in der Absicht eingesetzt, die Produktivität zu steigern. Nur ein kleiner Teil des Produktivitätsfortschritts der vergangenen Jahrzehnte wurde in eine Verkürzung der Arbeitzeiten übersetzt. Allerdings gibt es einen Trend zu flexibleren Arbeitszeitmodellen.

Am Arbeitsplatz sind die Perspektiven des Arbeitgebers und des Arbeitnehmers zu unterscheiden. Der Arbeitgeber beabsichtigt mit dem Einsatz einer effizienzsteigernden Technologie normalerweise, mit dem gleichen Input an Arbeitszeit der Arbeitnehmer mehr Output zu produzieren. Die Absichten des Arbeitnehmers können sich damit decken, z.B. aus intrinsischer Motivation oder weil sein Erfolg im Unternehmen oder auf dem Arbeitsmarkt belohnt wird.

Rebound-Effekte

Es ist aber auch möglich, dass der Arbeitnehmer sich durch Effizienzverbesserungen eine Entlastung erhofft. Teilzeitarbeit und weniger Stress könnten Erwartungen sein, die man an PvC knüpft. In diesem Fall ist ein Rebound-Effekt sehr plausibel, sobald die Technologie einen hohen Diffusionsgrad erreicht. Durch die Konkurrenz unter den Benutzern von PvC werden die Anforderungen an den Output entsprechend steigen, so dass insgesamt keine Entlastung eintritt.

Ein Beispiel aus der bisherigen Entwicklung der ICT-Anwendung im Arbeitsumfeld soll dies verdeutlichen: Präsentationen sind durch die Möglichkeiten von PC und Beamer sehr viel effizienter vorzubereiten als früher, als z.B. Overhead-Folien von Hand beschrieben wurden. Grundsätzlich besteht hier ein großes Entlastungspotenzial. Mit den technischen Möglichkeiten sind jedoch über mehrere Stufen auch die Ansprüche an die visuelle Qualität von Präsentationen stark gewachsen: von Text zu Multimedia, von Schwarzweiss zu Farbe, von Standbild zu Animation. Ergebnis ist, dass heute der Vorbereitungsaufwand einer professionellen Präsentation um ein Vielfaches höher liegt als früher. Ähnliches gilt für das Erscheinungsbild von Publikationen, Lehrmaterialien, Offerten, Websites usw.

Der Effizienzfortschritt durch ICT für visuelle Gestaltungsaufgaben ist nur ein Beispiel für einen Reboundeffekt im Arbeitsumfeld, der höher als 100% zu sein scheint.

5.9.4 Gesundheit

Beobachtete Trends

Wenn Diagnose und Therapie effizienter werden, so hat dies zunächst positive Auswirkungen auf das Gesundheitswesen und seine Patienten. Kosten können gesenkt oder stabilisiert werden, und eine schnellere Diagnose kann Vorteile für die Therapie bringen. (Die nicht direkt auf Zeiteffizienz zurückzuführenden Vorteile von PvC für die Gesundheit werden an anderer Stelle in dieser Studie behandelt; siehe Abschnitte 4.4 und 6.1).

Rebound-Effekte

Die Perspektiven des medizinischen Personals und der Patienten sind zu unterscheiden. Für das Personal in Arztpraxen und Krankenhäusern gilt das unter Arbeit Gesagte. Für den Patienten kann die höhere Effizienz des Behandlungssystems (z.B. Anwendungen der Telemedizin) einerseits die Schwelle für Konsultationen senken. Dies resultiert in einem gewissen Mehraufwand für Bagatellkonsultationen, den man als Rebound-Effekt verstehen kann. Jedoch stehen dem die Vorteile einer frühzeitigen Diagnose und Behandlung gegenüber.

Das insgesamt effizientere Gesundheitssystem kann dem Patienten einen stärkeren Eindruck von technischer Machbarkeit vermitteln, was grundsätzlich die Risikobereitschaft erhöhen kann.

5.10 Fazit: Rebound-Effekte in den Bereichen Verkehr und Arbeit

Zusammenfassend ist festzustellen, sich die Effizienzsteigerungen durch Pervasive Computing besonders in den Bereichen Verkehr und Arbeit voraussichtlich nicht als Entlastung auswirken werden. Es ist sogar damit zu rechnen, dass die Anforderungen an die Mobilität und Arbeitsleistung in einem höheren Ausmaß zunehmen, so dass die erwarteten Entlastungen überkompensiert werden.

Tabelle 5-2: Grobe Abschätzung der Rebound-Effekte von PvC in den Anwendungsfeldern

Anwendungs-feld	Auswirkung	geschätzter Rebound-Effekt qualitativ	geschätzter Rebound-Effekt quantitativ	Begründung
Wohnen	Erleichterung der Hausarbeit: Putzen/Waschen	Für Putzen und Waschen aufgewendete Zeit reduziert sich nicht im erwarteten Ausmaß	20 bis 60 %	Wie bisher werden höhere Sauberkeitsanforderungen den Effizienzfortschritt teilweise kompensieren
	Erleichterung der Hausarbeit: Kochen	gering	< 10 %	Effizienteres Kochen führt kaum zu Mehrkonsum oder höheren Qualitätsansprüchen
Verkehr	Effizienz durch ortss- und kontextabhängige Information über Freizeitangebote	Nutzen der Information wird teilweise durch die Schwierigkeit ihrer Bewertung gemindert	10 bis >100 %	Erfahrungen mit WWW-Suchmaschinen auf Suche im geografischen Raum übertragen
	Effizienz durch Ortsunabhängigkeit von Aktivitäten und bessere Verkehrslenkung	Im Verkehr verbrachte Zeit geht nicht zurück oder nimmt zu, weil Mobilitätsanforderungen und -bedürfnisse zunehmen	>= 100 %	Bisher nicht widerlegte Constant Travel Time Hypothesis und bisherige Erfahrungen zu ICT und Verkehr
Arbeit	Höhere Produktivität am Arbeitsplatz	Arbeitszeit und -belastung nimmt nicht ab aufgrund steigender Anforderungen	>= 100 %	Konkurrenz im Unternehmen, zwischen Unternehmen und im Arbeitsmarkt
Gesundheit	effizientere Diagnose und Therapie	Schwelle für medizinische Konsultationen geringer, höhere Risikobereitschaft	10 bis 50 %	Effizienz steigt vor allem für medizinisches Personal (siehe Abschnitt 4.3.3), Rebound-Effekt auf Patientenseite zeigt gemischtes Bild

6 Auswirkungen auf die Gesundheit

Felix Würtenberger, Andreas Köhler, Arie Bruinink, Jürg Fröhlich

Dieses Kapitel beschreibt die Auswirkungen von Pervasive Computing (PvC) auf die körperliche Gesundheit.¹¹⁰ Den Chancen, die sich durch Anwendung von PvC im Gesundheitswesen ergeben (Abschnitt 6.1) stehen Risiken des direkten Kontakts mit Elektronik-Komponenten (Abschnitt 6.2) und Risiken durch nichtionisierende Strahlung (NIS) ¹¹¹ gegenüber. Weil die Gesundheitsrisiken von NIS kontrovers diskutiert werden und weil bei der Verwirklichung von PvC mit zusätzlichen NIS-Quellen zu rechnen ist, behandeln wir diese Thematik besonders ausführlich:

- Abschnitt 6.3 führt die entsprechenden physikalischen Grundlagen ein.
- Abschnitt 6.4 gibt einen Überblick über die Diskussion der biologischen Wirkungen.
- Abschnitt 6.5 beschreibt die wichtigsten Einflussfaktoren und Gestaltungsspielräume für die künftige Entwicklung der Strahlungsbelastung.
- Im *Anhang* dieser Studie werden die durch Pervasive Computing zu erwartenden Strahlungsexpositionen abgeschätzt.

Abschnitt 6.6 stellt die wichtigsten Schlussfolgerungen dieses Kapitels zusammen.

Der eilige Leser und die eilige Leserin seien außerdem auf Abschnitt 8.3 hingewiesen, der die wichtigsten Schlussfolgerungen aus allen die Gesundheit betreffenden Teilen dieser Studie zusammenfasst.

¹¹⁰ Bei einem umfassenderen Verständnis von Gesundheit wären auch psychosoziale Aspekte einzubeziehen, was jedoch nicht Ziel dieses Kapitels ist. Hingegen werden in Kapitel 8 zusätzlich auch gesundheitsrelevante Einflussfaktoren und soziale Aspekte diskutiert.

¹¹¹ Nichtionisierende Strahlung (NIS) umfasst alle Formen von elektromagnetischer Strahlung, deren Intensität nicht hoch genug ist, um ionisierend zu wirken. Bei *ionisierender* Strahlung werden Moleküle verändert; in diesem Fall ist eine schädliche Wirkung auf biologische Organismen unstrittig.

6.1 Chancen des Pervasive Computing für die Gesundheit

Für das Gesundheitswesen und die Sozialpflege bietet PvC vielfältige Einsatzmöglichkeiten, die zur Verbesserung des Behandlungserfolgs und der Lebensqualität von Patienten beitragen können.

6.1.1 Gesundheitsüberwachung und Präventivdiagnostik

Durch "Personal Health Monitoring" (persönliche Gesundheitsüberwachung) ist die kontinuierliche Messung gesundheitsrelevanter Parameter am Körper möglich, ohne dass Kabel die Bewegungsfreiheit der Patienten einschränken. Die Daten können aufgezeichnet oder direkt zum Krankenhaus übertragen werden. Dadurch wird es möglich, wichtige Parameter lückenlos zu überwachen und nicht nur kurzzeitig beim Arztbesuch oder während des Krankenhausaufenthalts.¹¹²

Das Monitoring ist besonders vor allem für Risikopatienten und für chronisch Kranke vorteilhaft, weil die Datengrundlage für die Diagnose verbessert wird und bei einer akuten Verschlechterung des Gesundheitszustandes automatisch der Arzt benachrichtigt werden kann. Für die Patienten entfallen einige Wege zum Arzt, lange Wartezeiten und ein Teil der stationären Diagnostik.

Erfahrungen mit bereits heute verfügbaren Technologien sind positiv:

- „Die kontinuierliche Überwachung wird bereits in der Praxis für Typ-1-Diabetiker erprobt. Die wissenschaftliche Auswertung des Projekts zeigt, daß die geschulten Diabetes-Patienten in der Folgezeit erheblich weniger Krankenhausaufenthalte haben.“ (Gerlof, 2001).
- Astmatikern hilft die kontinuierliche Analyse der Atemgeräusche, drohende Asthmaanfälle möglichst frühzeitig zu erkennen und auf diese Weise das Risiko von Notfällen verringern (Mediendienst Forschung, 2002).
- Bei Personen mit hohem Herzinfarkt-Risiko können MiniaturSENSoren, die auf dem Körper getragen werden, kontinuierlich das EKG erfassen. Die Daten werden auf einen PDA¹¹³ übertragen, der die Werte visualisiert. Das System enthält eine Alarmfunktion, die im Notfall mittels Handy auch automatisch den Rettungsdienst verständigt (Hey, 2002).

Der Trend zum PvC wird zur Weiterentwicklung solcher Ansätze beitragen und einen breiten und kostengünstigen Einsatz ermöglichen.

Im Personal Health Monitoring werden insgesamt große Kostensenkungspotenziale gesehen, weil sich stationäre Klinikaufenthalte oder die Betreuung in Pflegeheimen deutlich reduzieren lassen (Grote, 2001b).

¹¹² Ein Beispiel ist der diagnostische Fingerring, den Mitsubishi entwickelt (www.mitsubishi.co.jp/En/index_top.html).

¹¹³ Personal Digital Assistant, ein tragbarer Kleinstcomputer.

6.1.2 Nutzen für die Unfallrettung

Für Notfall-Ärzte ermöglicht ein medizinischer Informationsdienst auf der Basis von WAP¹¹⁴ (MedicWAP) heute schon den mobilen Zugriff auf Arzneimittelverzeichnisse, Tabellen zur Notfallversorgung von Kindern, Giftnotrufnummern oder spezielle Informationen wie alters- und körperfrequenzabhängige Medikamentendosierungen. Auch die Suche nach Kliniken, Arztpraxen und Apotheken ist mittels WAP via Handy möglich und ermöglicht noch am Unfallort, die Spitaleinweisung zu organisieren.

Allerdings ist WAP keine ideale Basis für Benutzerschnittstellen, die den hohen Anforderungen eines Notfalldienstes gerecht werden müssen. Zumindest wären signifikante Verbesserungen der Antwortzeiten notwendig. Es ist zu erwarten, dass diese Probleme durch neue Interaktionsformen und höhere Übertragungsraten im Pervasive Computing überwunden werden.

Zum Einsatz im Notarztwagen eignen sich Pen-PCs, die medizinische Befunde während des Einsatzes protokollieren und diese behandlungsrelevanten Daten per Funk in das Spital senden. Anhand der übermittelten Daten kann eine effektive Weiterversorgung in der Notfallaufnahme schon vorbereitet werden, bevor der Rettungswagen eingetroffen ist.

Die Begrenzung der gegenwärtigen WAP-Anwendung (geringe Bandbreite) wird mit den zukünftig verfügbaren Funkstandards (z.B. GPRS) aufgehoben, so dass Rettungsärzte in Notfällen das gesamte im Internet und Datenbanken verfügbare Spektrum an medizinischen Informationen mobil abrufen können. Hinzu kommt, dass in diesem Fall hochauflösende Bilder übertragen werden können, was einen zusätzlichen Vorteil für die notfallmedizinische Erstversorgung darstellt. Bilddaten in hochauflösender Qualität unterstützen eine korrekte Diagnose. Schon während des Transports kann der Notfallarzt vom Rettungswagen aus per Videokonferenz Kontakt zu Spezialisten aufnehmen und mit ihrer Unterstützung zeitkritische Behandlungsmaßnahmen einleiten.

In Fällen, in denen kein medizinisch geschultes Personal vor Ort ist, kann mobile Medizintechnik und Videoconferencing mit Fachärzten die Rettungsaussichten für Patienten erhöhen. Ein schon existierendes Beispiel ist der automatische externe Defibrillator (AED), der in Flugzeugen und öffentlichen Gebäuden stationiert werden kann. Mit dieser Technik- und Expertenunterstützung wäre es auch Nichtexperten möglich, die lebensrettende Defibrillation in kürzester Zeit durchzuführen.

6.1.3 Medizinroboter in der Chirurgie

In Kombination mit hochauflösenden bildgebenden Verfahren (z.B. PET scan) ermöglichen Medizinroboter mikroinvasive Operationen mit Genauigkeiten von wenigen hundertstel Millimetern. Da die Wundöffnungen sehr klein sind und die Manipulationen an Organen sehr präzise ausgeführt werden können, verkürzt sich die Rehabilitationsphase. Gerade in der Neurochirurgie ermöglichen mikroinvasive Medizinroboter Behandlungen, die früher nicht oder nur unter hohen Risiken für den Patienten möglich waren (Redmann, 2001). Die Weiterentwicklung dieser Roboter wird vom allgemeinen Trend in Richtung PvC profitieren (Spektrum der Wissenschaft, 2001).

¹¹⁴ Wireless Application Protocol. Protokoll für (eingeschränkten) Zugang zum WWW über Mobiltelefone.

6.1.4 Intensivpflege und Rehabilitation

Bei intensiv zu betreuenden Patienten können durch drahtlose Datenübertragung in Zukunft die meisten Kabelverbindungen zu medizinischen Apparaturen entfallen. Dadurch erhalten die Patienten mehr Bewegungsspielraum, was die Körperpflege und Hygiene erleichtert und besteht die Gefahr des Wundliegens (Dekubitus) verringert.

Während der Nachbetreuung verkürzen sich die Spitalaufenthaltszeiten um bis zu mehrere Wochen, da die Überwachung der Gesundheitsdaten nicht mehr stationär erfolgt (siehe auch Abschnitt 6.1.1), sondern beispielsweise mit Sensoren oder mobilen Webcams. Patienten können sich in der eigenen Wohnung aufhalten und haben ein Gewinn an Lebensqualität sowie ein geringeres Risiko der Krankenhausinfektion. Voraussetzung für mobile telemedizinische Anwendungen ist jedoch ein hoher Abdeckungsgrad der Mobilfunktechnologie. Träger dieser Technik sind gefährdet, wenn sie sich unwillentlich in Funklöcher begeben.

Mit heutiger Technologie wurde für Patienten mit Störungen der Gedächtnis- und Exekutivfunktion an der Universität Leipzig das Projekt MOBTEL (Mobiltechnik in der Telemedizin) entwickelt. Es beruht auf einem Handheld-Computer, der über das Mobilfunknetz mit einem verteilten Betreuungssystem verbunden ist. Die Patienten stehen damit unter Fernbetreuung eines Fachspezialisten oder von Familienangehörigen und können gleichzeitig ein selbstbestimmtes Leben führen. Diese Lösung ermöglicht eine bessere medizinische Betreuung des Patienten und verbessert die Lebensqualität.

Auch im allgemeinen Sozialdienst ist ICT-Unterstützung möglich. Der dezentrale Computereinsatz kann die Versorgung des Pflegepersonals mit Informationen verbessern und ihnen im Einsatz eine qualifiziertere Behandlung ermöglichen. Als Beispiel wird ein ‘intelligentes Handbuch’ genannt, das mobil auf ein zentrales Informationssystem zugreift (Weiler, 1998).

ICT-Unterstützung könnte im allgemeinen Sozialdienst eine Verbesserung der Pflegequalität, Kompetenzerweiterung des Pflegepersonals und auch eine Kosteneinsparung durch effizienteres Handeln mit sich bringen.

Diesen Vorteilen stehen die Risiken einer menschlichen Abschottung des Patienten gegenüber. Anstelle einer ganzheitlichen Betreuung und Beobachtung könnte eine Reduktion auf die wenigen datenmäßig abgebildeten Aspekte der Person stattfinden. Auch kann ein zu hohes Vertrauen des Personals in die Technologie dazu führen, dass in gefährlichen Situationen zu spät ein Arzt herbeigezogen wird.

6.2 Gesundheitliche Risiken des direkten Kontakts mit Elektronik-Komponenten

Gemäß der Vision der Pervasive Computing sollen mikroelektronische Komponenten teilweise direkt auf der Haut getragen (Armband, Fingerring, Brille, Kleidung) oder in den Körper implantiert werden. Besonders im Falle der Implantation stellt sich die Frage nach möglichen Risiken durch stoffliche Unverträglichkeit. Mit der Implantation nicht körpereigener Materialien besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dass eine *Fremdkörperreaktion* im weitesten Sinne ausgelöst wird.

Eine Fremdkörperreaktion kann zum einen von Substanzen verursacht werden, die sich unter dem Einfluss der - für viele Materialien aggressiven - biologischen Umgebung aus der Implantatoberfläche herauslösen. Zum anderen bestimmen die Oberflächenstrukturierung und die atomare/molekulare Zusammensetzung der Implantat-Oberflächen die Funktionalität und das Verhalten der Zellen, die mit dem Implantat in Kontakt treten. Diese Effekte beruhen auf Proteinadsorption und Denaturierung an der Implantatoberfläche. Auch der mechanische Stress des Gewebes in der direkt angrenzenden Umgebung beeinflusst die Akzeptanz des Implantates. Ein weiterer Effekt auf die biologische Umgebung kann auftreten, wenn aktive Implantate zusätzlich eine Strahlung abgeben oder Energie aufnehmen. Die Summe der Faktoren kann dazu führen, dass in der direkten Umgebung des Implantates Zellen sterben, sich die Funktionalität der Zellen ändert, die Zellzusammensetzung sich in eine falsche Richtung verschiebt, eine Entzündungs- oder eine allergische Reaktion hervorgerufen wird.

Die genannten Probleme können grundsätzlich bei allen Implantaten auftreten. Spezifisch für PvC ist jedoch

- die zu erwartende Zunahme der Anwendung von Implantaten (voraussichtlich wird die Schwelle zum Einsatz aktiver Implantate sinken),
- die Möglichkeit, dass neue Materialien zum Einsatz kommen und besonders
- die Tatsache, dass PvC-Implantate nicht-ionisierende Strahlung in nächster Nähe zum Gewebe aussenden, um Daten zu Installationen außerhalb des Körpers zu übertragen (siehe auch Abschnitte 6.3, 6.4 und den Anhang).

Akute Effekte von einzelnen Faktoren können mittels laufend verbesserten, genormten Prüfungen (siehe OECD und ISO Richtlinien) bestimmt werden. Diese Tests können die Risiken dieser Effekte mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit vorbeugen.

Bei *Langzeit-Effekten* gestaltet sich dies schwieriger. Zum Teil können negative Auswirkungen bei 24 Monate dauernden Tierstudien, wie sie z.B. in OECD Test-Richtlinie Nr. 452 (Chronic Toxicity Studies) beschrieben sind, erfasst werden. Die Aussagekraft dieser Tests ist aber durch die teilweise sehr großen Unterschiede zwischen Tier und Mensch bezüglich Elimination und Detoxifizierung/Bioaktivierung limitiert.¹¹⁵ Zudem kann das Auftreten von multifaktoriellen, synergistischen Effekten mit den bestehenden Tests und wahrscheinlich auch in Zukunft nicht ausgeschlossen werden.

Ein Weg, der immer häufiger eingeschlagen wird, ist das Aufbringen von Isolierschichten (z.B. aC:H; Meng, 2001) oder Umhüllungen aus biologisch verträglichen Material (z.B. Glas), um damit potentiell heikle - z.B. nickelhaltige - Materialien vom

¹¹⁵ Es ist zu beachten, dass sogar innerhalb der menschlichen Population Unterschiede festzustellen sind.

biologischen System abzuschirmen. Auch werden laufend neue Materialien entwickelt, die hinsichtlich ihrer biokompatiblen und funktionellen Eigenschaften ausgewählt und optimiert werden.

Im Falle von aktiven Implantaten sollten im Sinne des Vorsorgeprinzips die Grenzen des heutigen Wissens über die Kommunikation zwischen Zellen berücksichtigt werden: Zellen kommunizieren

- bei direktem Kontakt mittels zellgebundener Moleküle, Kräfte, elektrischer Signale sowie
- ohne direkten Kontakt mittels der Abgabe von löslichen Substanzen und möglicherweise auch mittels Lichtquanten (BION, 2000; Popp, 1999).

Das bedeutet, dass elektrisch oder optisch aktive Implantate möglicherweise die Zell-Zell-Interaktion stören und damit langfristig die Funktionalität der biologischen Umgebung negativ modifizieren können.

6.3 Wirkungen elektromagnetische Felder: Grundlagen

Die Debatte über mögliche Wirkungen elektromagnetischer Felder auf die menschliche Gesundheit dauert seit Jahren an. Die Frage wird nicht nur in der Öffentlichkeit („Elektrosmog“), sondern auch in der Wissenschaft kontrovers diskutiert. Das Risiko schädlicher Wirkungen unterhalb der thermischen Wirkungsschwelle muss heute als *weitgehend ungeklärt* bezeichnet werden. Da mit Pervasive Computing die Anzahl der EMF-Quellen stark zunehmen wird (siehe auch die Szenarien in Abschnitt 4.9), ist somit aus Sicht des Vorsorgeprinzips eine vertiefte Auseinandersetzung mit diesem Aspekt geboten. Dieser Abschnitt führt zunächst die hierfür benötigten Grundlagen ein.

6.3.1 Physikalische Grundlagen

Statische Felder

Ruhende elektrische Ladungen erzeugen ein statisches (zeitlich unveränderliches) *elektrisches Feld*. So ist beispielsweise eine negativ geladene Metallkugel von einem kugelsymmetrischen elektrischen Feld umgeben, das positiv geladene Objekte anzieht und negativ geladene Objekte abstößt. Die Stärke eines elektrischen Feldes an einem bestimmten Punkt, d.h. seine Kraftwirkung auf einen geladenen Gegenstand an dieser Stelle, wird durch seine *elektrische Feldstärke E* beschrieben. E ist eine gerichtete Größe, d.h. ein Vektor. Ein solcher Feldstärkevektor lässt sich am besten durch einen Pfeil veranschaulichen, dessen Länge die Stärke des Feldes angibt und dessen Richtung anzeigt, in welcher Richtung das Feld auf geladene Teilchen wirkt.

Magnetische Felder werden durch bewegte elektrische Ladungen verursacht. In einem Elektromagneten bewegen sich die felderzeugenden Ladungen in der stromdurchflossenen Spule, bei einem Permanentmagneten (z.B. einer Kompassnadel) wird das Feld durch mikroskopische Ströme in den Atomen des Magneten erzeugt. Ein Permanentmagnet oder eine Spule mit konstantem Strom erzeugen ein statisches Magnetfeld. Ähnlich wie beim elektrischen Feld definiert man eine *magnetische Feldstärke B*, die ebenfalls eine gerichtete, d.h. vektorielle Größe ist.

Dynamische Felder und Strahlung

Die oben beschriebenen statischen Felder werden durch ruhende Ladungen oder konstante Ladungsströme verursacht. Wird dagegen ein geladenes Teilchen beschleunigt, so erzeugt es laufend andere Feldzustände, d.h. es ist von einem dynamischen (veränderlichen) Feld umgeben. In dynamischen Feldern können elektrisches und magnetisches Feld nicht mehr separat betrachtet werden; sie sind gekoppelt, d.h. sie beeinflussen sich gegenseitig. Dynamische Felder können sich auch von ihrer Quelle (d.h. den sie erzeugenden Ladungen) „ablösen“ und unabhängig durch den Raum propagieren. In diesem Fall spricht man von einer elektromagnetischen Welle oder auch von *elektromagnetischer Strahlung*.

Ein Beispiel für die Erzeugung elektromagnetischer Strahlung ist der Hertz'sche Dipol: in einem elektrischen Leiter schwingt Ladung hin und her und strahlt dabei elektromagnetische Wellen aus. Der Hertz'sche Dipolstrahler ist gleichzeitig ein einfaches Modell einer *Antenne* und soll daher im folgenden etwas genauer betrachtet werden.

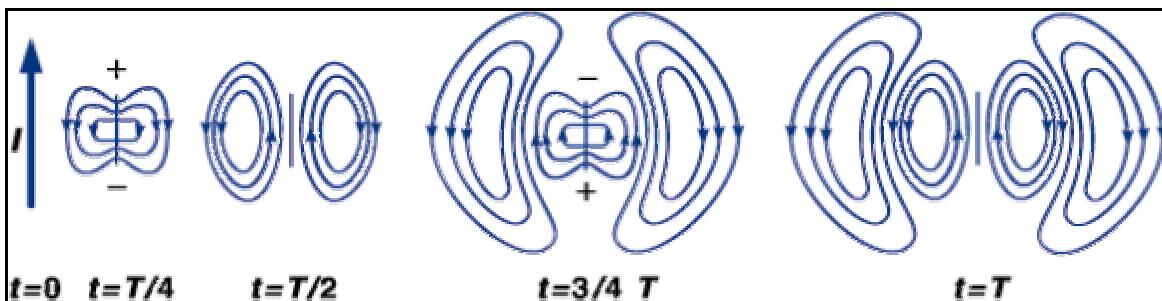


Abbildung 6-1: Feld eines Dipolstrahlers. Das Ablösen des Feldes von der Quelle ist gut zu erkennen
(Quelle: http://geochron.geologie.univie.ac.at/physics/daten/kap_14/node90.htm)

Da die Ladungen im Antennenstab hin- und herschwingen, wechseln seine beiden Enden bei jeder Schwingung das Ladungsvorzeichen. Bei jedem dieser Vorzeichenwechsel lösen sich die erzeugten Felder von der Antenne ab und breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit im Raum aus (Abbildung 6-1). In einer solchen elektromagnetischen Welle schwingen die Vektoren der elektrischen und magnetischen Feldstärke E und B permanent um die Nulllage. Die beiden Feldvektoren stehen senkrecht aufeinander und ebenfalls senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle.

Einige wichtige physikalische Größen

Die *Frequenz* der Ladungsschwingung in der Antenne bestimmt auch die Frequenz der erzeugten elektromagnetischen Welle. Dabei gibt die Frequenz der Welle an, wie oft der E -Vektor (oder der B -Vektor) an einem Punkt der Welle hin- und herschwingt. Frequenzen werden in Hertz (Hz), d.h. in „Schwingungen pro Sekunde“ angegeben.

Die *Wellenlänge* einer Welle gibt den räumlichen Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenbergen wieder.

Zwischen der Frequenz und der Wellenlänge besteht ein einfacher Zusammenhang: Das Produkt der beiden Größen ist konstant und gleich der Freiraum-Lichtgeschwindigkeit (300 000 km/s). Die Wellenlänge ist um so geringer, je höher die Frequenz ist.

Die *Amplitude* einer elektromagnetischen Welle gibt ihre maximale (elektrische oder magnetische) Feldstärke während einer Schwingung an.

Eine elektromagnetische Welle transportiert Energie. Ein Maß für die *Intensität* einer elektromagnetischen Welle ist die so genannte Strahlungsleistungsdichte. Sie gibt den Energietransport pro Zeit und Fläche an und wird in Watt pro Quadratmeter angegeben. Dabei bedeutet ein W/m^2 , dass eine Energie von einem Joule pro Sekunde durch eine Fläche von einem Quadratmeter fließt. Bei einer Welle im Fernfeld ist die Strahlungsleistungsdichte gleich dem Produkt der elektrischen und magnetischen Feldstärke und steht damit in direktem Zusammenhang mit der Amplitude der Welle.

Das elektromagnetische Spektrum und hochfrequente Strahlung

Da die Eigenschaften einer elektromagnetischen Welle weitgehend durch ihre Frequenz bestimmt sind, werden die unterschiedlichen Strahlungsarten (Radiowellen, sichtbares Licht, Röntgenstrahlen etc.) üblicherweise nach Frequenzen in einem elektromagnetischen Spektrum zusammengestellt. Abbildung 6-2 zeigt ein solches Spektrum unter Hervorhebung der für diese Studie relevanten Frequenzen.

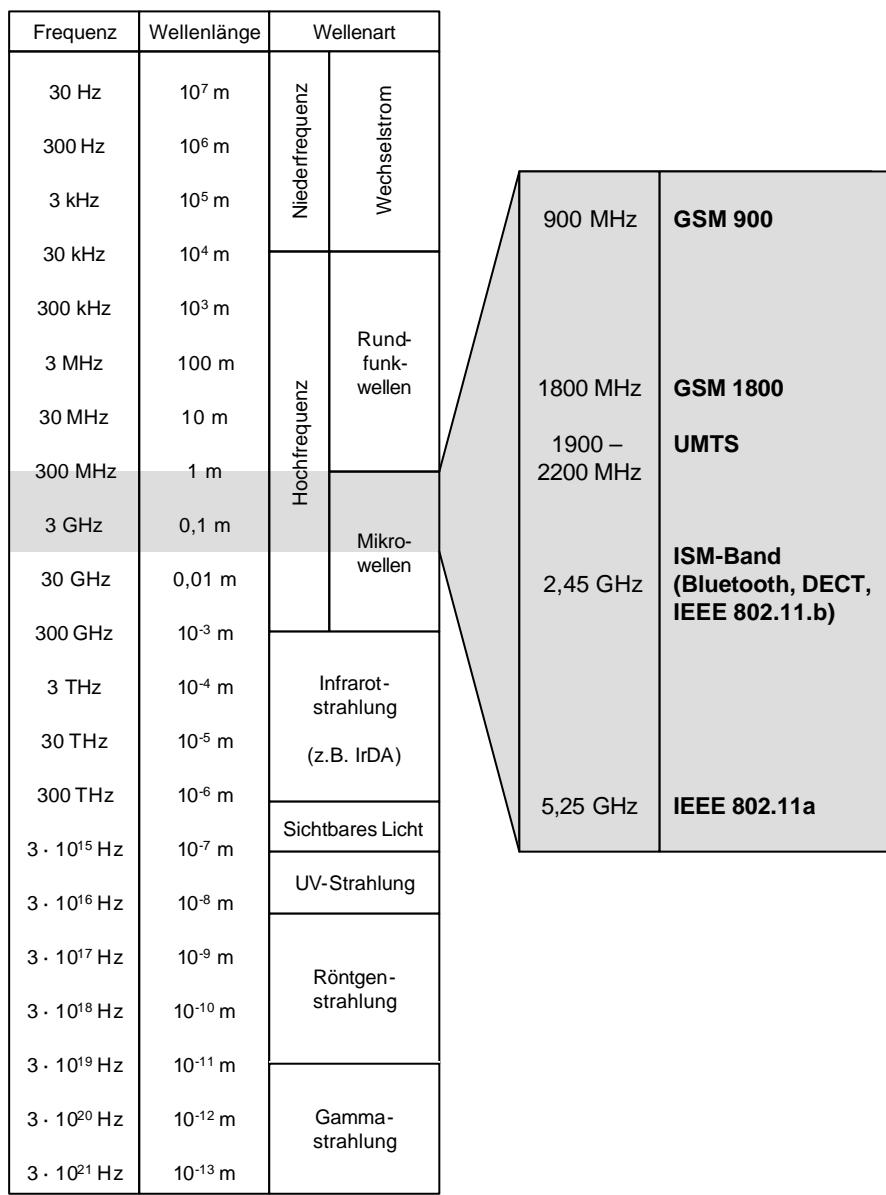


Abbildung 6-2: Elektromagnetisches Spektrum. Die für die vorliegende Studie besonders relevanten Bereiche sind grau hervorgehoben (Quelle: IZT)

Modulierte Wellen

Um eine elektromagnetische Welle als Träger von Information zu verwenden, wird sie "moduliert". Bei der Modulation wird der Trägerwelle ein Signal überlagert, das ihre Amplitude (oder einen anderen Wellenparameter) modifiziert (Abbildung 6-3).

Die Modulation elektromagnetischer Strahlung ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung, da jede Modulation der Trägerwelle automatisch (nach der Fourier-Zerlegung) Feldanteile anderer Frequenzen hinzufügt.

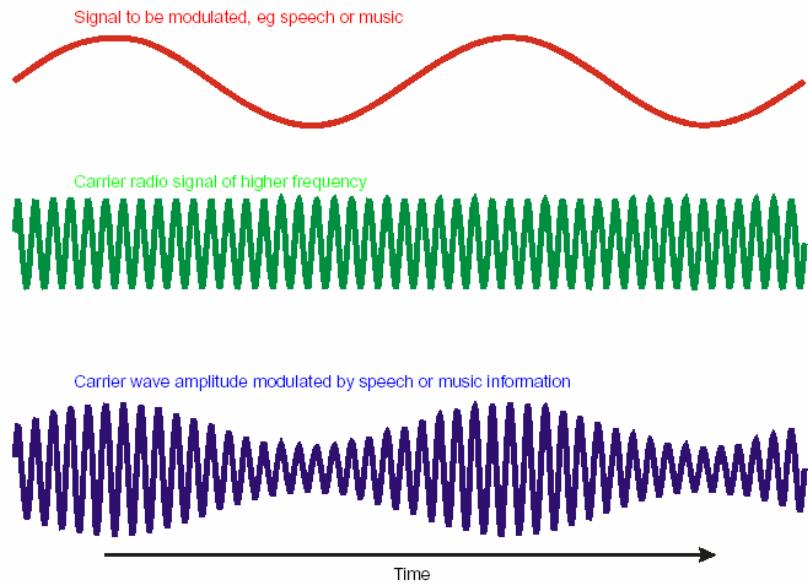


Abbildung 6-3: Amplitudenmodulation für den Fall eines Analogsignals. Oben ist das Signal dargestellt darunter die unmodulierte Trägerwelle und unten die resultierende modulierte Welle (Quelle: Stewart Report)

Ein Spezialfall modulierter Wellen ist die Pulsmodulation. Sie ist bei vielen Funkstandards im Rahmen des so genannten Kanalzugriffsverfahren erforderlich.¹¹⁶ So wird in GSM-Mobilfunknetzen beispielsweise das TDMA-Verfahren verwendet. Dabei tauschen Basisstation und Mobilfunkgerät Datenpakete auf einer bestimmten Trägerfrequenz aus, wobei mehrere Gespräche über eine Trägerfrequenz übermittelt werden können. Die Trennung der Daten erfolgt durch "Time Division", d.h. durch die Aufteilung in Zeitschlüsse, die sich periodisch wiederholen. Das einzelne Handy erhält genau alle 4,615 ms ein neues Datenpaket. Dies führt zu einer Pulsfrequenz von $1 / 4,615 \text{ ms} = 217 \text{ Hz}$.

6.3.2 Strahlenbelastung durch eine Einzelquelle

Naive Abschätzung

Um die aus einer Quelle resultierende Strahlenbelastung abzuschätzen, muss ermittelt werden, wie sich die Intensität (Strahlungsleistungsdichte) im Raum verteilt. Besonders einfach ist die Berechnung der Strahlungsleistungsdichte in der Umgebung eines Strahlers für folgenden idealisierten Fall:

- *Isotrope Quelle*: die Abstrahlung erfolgt in alle Raumrichtungen gleichermaßen, die resultierende Feldverteilung ist kugelsymmetrisch.
- *Quelle im leeren Raum*: keine Hindernisse (Möbel, Wände, Boden) stören die Wellenausbreitung.
- *Betrachtung des Fernfeldes*: Es wird nur die Feldverteilung weit entfernt (mehr als eine Wellenlänge) von der Quelle betrachtet.

¹¹⁶ Siehe beispielsweise Schiller, 2000.

In diesem Fall beträgt die Strahlungsleistungsdichte S im Abstand r bei einer Sendeleistung P :

$$S = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Es stellt sich allerdings schnell heraus, dass diese naive Näherung zu grob ist, um die Strahlungsniveaus in Innenräumen abzuschätzen. Die Gründe dafür sollen im folgenden kurz dargestellt werden.

Einfluss der Antennencharakteristik

Antennen sind keine isotropen (d.h. kugelsymmetrischen) Strahler, wie schon aus Abbildung 6-1 unmittelbar erkennbar ist. In Wahrheit strahlen sie in verschiedene Richtungen unterschiedlich stark und können daher in einzelnen Richtungen wesentlich höhere Leistungsflussdichten erzeugen, als nach obiger Formel zu erwarten wäre. Dieses Phänomen wird durch den so genannten Antennengewinn, d.h. den Grad der Abweichung von der isotropen Abstrahlung, beschrieben.

Nahfeldeffekte

Die oben angegebene Formel gilt nur für das so genannte *Fernfeld* einer Strahlungsquelle, d.h. in dem Raumbereich, der deutlich mehr als eine Wellenlänge von der Quelle entfernt ist. Im Nahbereich liegen die Verhältnisse wesentlich komplizierter. So hängt das *Nahfeld* stark von der Geometrie der Quelle ab. Magnetisches und elektrisches Feld stehen in keinem einfachen Zusammenhang mehr und sind insbesondere nicht mehr in Phase. Daher ist das Nahfeld auch deutlich schwerer zu messen als das Fernfeld, bei dem bereits die Kenntnis der Stärke eines Feldes (E oder B) genügt, um die Intensität zu berechnen. Oft ist eine zuverlässige Messung im Nahfeld gar nicht möglich. Eine ungefähre Vorstellung von den Energieflüssen im Nahfeld gibt Abbildung 6-4. Man erkennt, dass weit von der Quelle entfernt alle Energie nach außen fließt, während im Nahbereich der Hauptteil der Energie parallel zur Antenne hin- und herfließt. Diese Energieflüsse können im Körper ebenso wirksam werden (d.h. absorbiert werden) wie die Strahlungsleistungsdichte im Fernfeld.

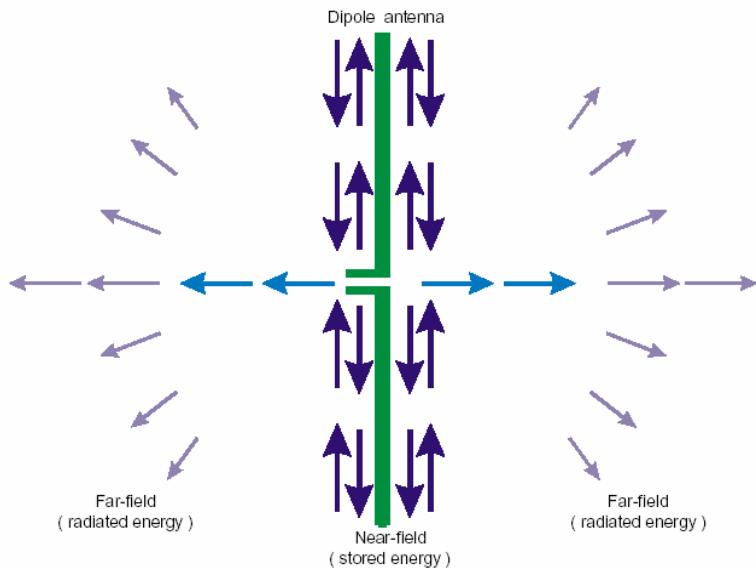


Abbildung 6-4: Nah- und Fernfeld einer Dipolantenne. Angezeigt sind die Hauptrichtungen des elektromagnetischen Energiefusses (Quelle: Stewart-Report)

Dass das Nahfeld für diese Untersuchung jedoch durchaus nicht vernachlässigt werden kann, zeigt folgende Überlegung. Die meisten Kommunikationstechnologien (GSM, UMTS, Bluetooth, IEEE 802.11, DECT etc.) verwenden Frequenzen im einstelligen GHz-Bereich. Dies entspricht Wellenlängen im Zentimeterbereich. In vielen Fällen - insbesondere bei am Körper getragenen oder implantierten Komponenten - wird sich der menschliche Körper folglich im Nahfeld der Strahlungsquelle befinden.

Einfluss der Raumgeometrie und Innenraumreflexionen

In einer realistischen Situation befinden sich in der Umgebung eines Strahlers stets verschiedene Gegenstände wie Wände oder Möbel, die die Strahlung reflektieren, absorbieren oder einfach ungestört durchlassen. Diese Effekte sind stark material- und frequenzabhängig. Beispielsweise ist Fensterglas für sichtbares Licht durchsichtig, nicht aber für UV-Strahlung (weswegen die Sonne durchs Fenster keine bräunende Wirkung hat).

Reflexionseffekte könnten insbesondere in metallischen Innenräumen (z.B. Autos oder Eisenbahnwaggons) zu einer deutlichen Erhöhung der Strahlenbelastung gegenüber einem Strahler im leeren Raum führen. Eine neuere Studie aus Japan (Hondou, 2002), die ein sehr starkes Anwachsen der Belastung in metallischen Innenräumen ableitet, wurde allerdings von der Fachwelt mit großer Skepsis aufgenommen. So betonen beispielsweise Wissenschaftler der ETH Zürich, dass im Gegensatz zu den Aussagen von Hondou die direkten Felder einer am Körper befindlichen Quelle selbst in einem Verkehrsmittel mit metallischen Außenwänden wesentlich größer sind als die reflektierten Felder (vgl. Kramer et al., 2002).

6.3.3 Gleichzeitige Strahlenbelastung durch mehrere Quellen

Wenn die Strahlung aus mehreren Quellen sich überlagert, könnte man annehmen, dass die Amplituden addiert werden müssen, was zu einem quadratischen Anstieg der Strahlungsleistungsdichte mit der Amplitudensumme führen würde. Dies ist jedoch im *Fernfeld* nicht der Fall, vielmehr sind nur die Strahlungsleistungsdichten S_i zu addieren:

$$S_{tot} = \sum_i S_i = \frac{1}{4 \cdot p} \sum_i \frac{P_i}{r_i^2} \quad [\text{W/m}^2]$$

Die Amplituden addieren sich nicht, weil die Signale verschiedener Quellen im allgemeinen verschiedene Frequenzen oder mindestens unterschiedlich fluktuierende Phasen haben.

Im *Nahfeld* erfolgt eine lokale Addition der Strahlungsleistungsdichte, d.h. hier kann nicht mehr die Formel aus 6.3.2 benutzt werden.

Wenn verschiene Quellen in verschiedenen Frequenzbändern senden, so muss ferner die biologisch unterschiedliche Wirkung der Frequenzbereiche berücksichtigt werden.

6.3.4 Wechselwirkung mit Materie und biologischen Systemen

Wechselwirkung mit freien Ladungsträgern und elektrischen Dipolen

Elektromagnetische Felder üben Kräfte auf geladene Teilchen aus. Frei bewegliche Ladungsträger werden in Feldern beschleunigt und elektrische (oder magnetische) Dipole nach der Feldrichtung ausgerichtet. In biologischem Gewebe gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Ladungsträger (insbesondere Ionen) und Dipole (beispielsweise das Wassermolekül). In Feldern führen sie Bewegungen aus, die allerdings durch die umgebende Gewebeflüssigkeit gedämpft sind. Diese Dämpfung erzeugt wie jeder Reibungsvorgang Wärme. Bei dieser Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung mit Materie wird also Feldenergie in Wärmeenergie umgewandelt (Dissipation). Die Energie elektromagnetischer Wellen kann nur in Energiequanten absorbiert werden, und zwar in Portionen der Größe $E = h \cdot v$, wobei v die Frequenz der Welle und h das Plancksche Wirkungsquantum ist.

Thermische Wirkungen

Wie oben beschrieben erwärmt sich biologisches Gewebe unter dem Einfluss elektromagnetischer Strahlung. Diese lokale Temperaturerhöhung wächst mit der Strahlungsintensität und kann unter bestimmten Bedingungen das betroffene Gewebe oder den ganzen Organismus schädigen.

Athermische Wirkungen

Als athermische Wirkungen bezeichnet man alle Wirkungen, die nicht über den thermischen Wirkungsweg erklärbar sind. Hierunter wird eine Vielzahl unterschiedlichster Effekte zusammengefasst. Es gibt in verschiedenen Bereichen Hinweise auf die Existenz athermischer Effekte. Welche Wirkungszusammenhänge ihnen zugrunde

liegen, ist noch weitgehend ungeklärt. Es existieren verschiedene Erklärungsansätze, die allerdings sehr umstritten sind (siehe dazu auch Abschnitt 6.4.2).

Die Wirkung modulierter Wellen

Unterschiedliche Studien deuten darauf hin, dass bestimmte biologische Effekte nur bei modulierten bzw. pulsmodulierten Wellen, nicht aber bei unmodulierten Wellen gleicher Trägerfrequenz auftreten. Dies wird als Hinweis auf die Existenz athermischer Effekte gedeutet, da ein Einfluss der Modulation über den thermischen Wirkungsmechanismus nicht erklärt werden kann. Hinweise in diese Richtung hat in jüngerer Zeit beispielsweise eine Studie des Instituts für Pharmakologie und Toxikologie der Universität Zürich gegeben (Huber et al., 2000).

Absorptionsmechanismen und Messgrößen

Elektromagnetischer Felder dringen in den Organismus ein, wo ein Teil ihrer Energie vom Gewebe absorbiert wird. Dieser Prozess lässt sich nicht direkt messen und aufgrund der heterogenen äußeren und inneren Struktur der betroffenen Gewebe auch nur näherungsweise beschreiben.

Die spezifische Absorptionsrate (SAR) gibt an, wie viel Energie der Körper pro Zeit und Körpermasse aufnimmt, und wird in Watt pro Kilogramm gemessen. Sie gilt als die eigentlich biologisch relevante Größe, die die Belastung des Organismus (oder eines Körperteils) angibt. Allerdings ist das SAR-Konzept klar an den thermischen Effekten orientiert, und es ist zweifelhaft, ob es den Belastungsgrad auch bei möglichen athermischen Effekten korrekt beschreibt. Dennoch ist die spezifische Absorptionsrate das übliche Maß für die Immission hochfrequenter elektromagnetischer Felder.

Je nachdem, ob die Absorption nur für eine räumlich begrenzte Region des Körpers betrachtet oder über den ganzen Körper gemittelt wird, unterscheidet man zwischen Ganzkörper-SAR und lokaler SAR.

Die Absorptionsrate ist stark frequenzabhängig, was mit Resonanzeffekten im und am menschlichen Körper zusammenhängt.¹¹⁷ Unterschieden wird zwischen folgenden Frequenzbereichen¹¹⁸

- *Subresonanzbereich:* Die Wellenlänge ist größer als die Ausdehnung des Körpers. Beim Menschen erstreckt sich der Subresonanzbereich unterhalb ca. 30 MHz. In diesem Bereich nimmt die Ganzkörper-SAR mit der Frequenz ungefähr quadratisch zu.
- *Resonanzbereich:* Der absorbierende Körper ist etwa halb so groß wie die Wellenlänge. Beim Menschen kann es sich beim absorbierenden Körper sowohl um den gesamten Körper handeln als auch um Körperteile oder Organe. Dieser Bereich liegt zwischen 20 und 400 MHz. In diesem Frequenzbereich ist die Ganzkörper-SAR am höchsten.
- *Hot Spot Bereich:* Fokussierungseffekte können hier zu lokal erhöhten SAR führen. Beim Menschen treten Hot Spots zwischen 400 MHz und 3 GHz auf. Dieser Bereich ist für die Technologien des Pervasive Computing besonders relevant.

¹¹⁷ Ein Körper in einem Strahlungsfeld verhält sich in der Regel dann resonant, wenn seine Ausdehnung gerade der halben Wellenlänge entspricht.

¹¹⁸ Vgl. BUWAL(1990), S. 8 f.

- *Bereich der Oberflächenabsorption:* Oberhalb 3 GHz dominiert (wie bei Infrarot oder Licht) die Absorption an der Oberfläche des betroffenen Körpers. In diesen Bereich fallen einige neuere Funkstandards wie die 5 GHz-Variante des IEEE 802.11 Standards.

Aufgrund ihrer schwierigen Messbarkeit versucht man die SAR aus den einer Messung besser zugänglichen Feldstärken bzw. der Strahlungsleistungsdichte außerhalb des Körpers abzuleiten. Diese Größen sagen allerdings *a priori* nichts darüber aus, welcher Anteil der eintreffenden Energie tatsächlich im Körper absorbiert wird und welcher Anteil einfach wirkungslos durch ihn hindurchtritt. In bestimmten Situationen ist aber eine Maximalabschätzung möglich, das heißt es lassen sich Aussagen der Form machen: „Wenn die Strahlungsleistungsdichte einen Wert $X \text{ W/m}^2$ nicht überschreitet, liegt die SAR unter $Y \text{ W/kg}$.“

Dabei ist zwischen Fernfeld- und Nahfeldexposition zu unterscheiden:

Das Feld einer fernen Quelle (beispielsweise einer entfernten Basisstation) lässt sich gut durch frei propagierende Wellenfronten beschreiben. Durch Reflexion an Hauswänden oder anderen Flächen können Interferenzmuster und stehende Wellen auftreten. Im Fernfeld ist die Strahlungsleistungsdichte gut definiert und lässt Rückschlüsse auf die maximale SAR im Körper zu.

Im Nahfeld (beispielsweise bei der Verwendung eines Gerätes direkt am Körper) liegen die Verhältnisse wesentlich komplizierter. Numerische Simulationen (Kuster/ Balzano, 1992) zeigen, dass die spezifische Absorptionsrate bei Nahfeldeinwirkung im wesentlichen mit der magnetischen Feldstärke korreliert und daher vom Antennenstrom abhängt und nicht von der durch die Antenne aufgenommenen Leistung. Zur Bestimmung der Wirkung einer Nahfeldexposition werden vielfach Experimente an Nachbildungen einzelner Körperteile (so genannten Phantomen) durchgeführt.

6.4 Gesundheitsrisiken durch hochfrequente Strahlung

6.4.1 Diskussionsstand und Datenlage

Die "Elektrosmog"-Kontroverse

Die Debatte über schädliche Wirkungen von „Elektrosmog“ auf die menschliche Gesundheit dauert seit Jahren an. Die Befürchtung, dass von Stromleitungen oder Sendeanlagen abgestrahlte elektromagnetische Felder sich negativ auf Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen auswirken, richtet sich heute insbesondere auf die Mobilfunknetze. Im Hinblick auf den Aufbau der UMTS-Netze haben die Ängste vor wachsender Strahlenbelastung im Alltag neue Nahrung bekommen.

Während Mobilfunkgegner die gesundheitlichen Risiken (insbesondere ein erhöhtes Krebsrisiko) als erwiesen ansehen und vor den unabsehbaren Langzeitfolgen einer zunehmenden Alltagsstrahlendosis warnen, hält die Gegenseite die Strahlungsniveaus heutiger Technologien für unbedenklich und sieht sich in dieser Einschätzung ebenfalls durch zahlreiche wissenschaftliche Studien bestätigt. Es gibt heute kaum eine gesellschaftliche Diskussion über die Folgen einer Technologie, bei der schon die Uneinigkeit über die wissenschaftlichen Erkenntnisse so groß wäre wie in der Mobilfunk-Debatte.

Unterschiedliche Einschätzungen der Gesundheitsrisiken finden sich nicht nur zwischen verschiedenen Interessengruppen der Gesellschaft, sondern auch unter Wissenschaftlern. Diesbezüglich aufschlussreich ist ein Unterfangen der deutschen T-Mobil, die von vier Wissenschaftlern ein Gutachten zu den möglichen Gesundheitsrisiken von Mobilfunkstrahlung einholte. Die vier Experten kamen, gestützt auf dieselbe öffentlich zugängliche wissenschaftliche Primärliteratur, zu erstaunlich unterschiedlichen Schlussfolgerungen. Der Grund dafür ist darin zu sehen, dass die wissenschaftlichen Ergebnisse bewertet werden müssen, und dass derzeit kein Konsens über die anzuwendenden Bewertungskriterien besteht. Auch der Versuch eines moderierten, wissenschaftlichen Risikodialogs unter den vier Gutachtern brachte kaum eine Annäherung der Standpunkte (Wiedemann et al., 2003).

Dabei klaffen die Einschätzungen bei den athermischen Wirkungen deutlich weiter auseinander als bei den thermischen Wirkungen.

Thermische Wirkungen

Über die Existenz thermischer Wirkungen herrscht weitgehende Einigkeit. Sie sind eingehend erforscht und bilden die wissenschaftliche Basis der meisten Grenzwerte. Nachgewiesene negative gesundheitliche Folgen einer starken strahleninduzierten Gewebeerwärmung haben auch dazu geführt, dass die Strahlungsleistung von Handys heute deutlich niedriger ist als noch vor wenigen Jahren. Von Industrieseite (aber auch von zahlreichen neutralen Wissenschaftlern) wird daher die Auffassung vertreten, dass sich gesundheitliche Folgen durch thermische Effekte bei modernen Mobilfunktechnologien definitiv ausschließen lassen. Die Gegenseite wendet ein, dass die Abwesenheit eines Nachweises gesundheitlicher Folgen nicht als Nachweis der Unbedenklichkeit missverstanden werden dürfte („Absence of Evidence is not Evidence for Absence“).

Athermische Wirkungen

Bei den *athermischen Wirkungen* verläuft die Diskussion weit polemischer. Die Ursache hierfür liegt vor allem darin, dass bei dieser Gruppe von Effekten schon die wissenschaftlichen Befunde äußerst widersprüchlich und umstritten sind. Zahlreichen Studien, die Effekte elektromagnetischer Strahlung bei nicht-thermischen Intensitäten nachweisen, stehen mindestens ebenso viele gegenüber, die einen solchen Zusammenhang nicht bestätigen. Die Skeptiker werfen daher den Studien mit positiven Ergebnissen Unwissenschaftlichkeit vor oder weisen mindestens auf die Nicht-Reproduzierbarkeit der experimentellen Ergebnisse hin. Die Gegenseite wiederum erklärt diese Nicht-Reproduzierbarkeit aus einer möglichen Nicht-Linearität athermischer Effekte: die experimentellen Ergebnisse sollen nach dieser Hypothese extrem sensibel gegenüber geringsten Schwankungen in den experimentellen Bedingungen sein. Diese Nicht-Linearität macht auch gerade die Brisanz möglicher athermischer Effekte aus. Wenn nämlich kein linearer Zusammenhang zwischen Intensität und Wirkung besteht bzw. wenn sich Effekte in engen Frequenzfenstern abspielen, die noch dazu von Individuum zu Individuum schwanken, dann ist der Gefahr auch mit schärferen Grenzwerten oder noch strahlungsärmeren Technologien nicht ohne weiteres beizukommen.

Allgemein lässt sich sagen, dass viele der durchgeführten Studien Expositionseinrichtungen verwendet haben, die sowohl experimentell wie numerisch unzureichend charakterisiert waren und daher keine eindeutigen Schlüsse aus den Resultaten zulassen. Laufende Studien beinhalten Replikationen solcher Studien und sollen durch eine sorgfältige Charakterisierung offene Fragen klären.

Trotz der Begrenztheit des heutigen Wissens über athermische Wirkungen wird im Rahmen der vorliegenden Studie, welche sich explizit mit der Anwendung des Vorsorgeprinzips auf Zukunftstechnologien befasst, auch vorläufigen Hinweisen Beachtung geschenkt. Erfahrungsgemäß dauert es Jahre, wenn nicht Jahrzehnte, bis allfällige Gesundheitsrisiken neuer Technologien nach wissenschaftlichen Maßstäben gesichert nachgewiesen oder ausgeschlossen werden können. Im Rahmen einer prospektiven Analyse von Chancen und Risiken ist es deshalb notwendig, sich auf vorläufige Evidenz zu stützen.

Datenlage

Die Zahl der wissenschaftlichen Studien zur Wirkung elektromagnetischer Felder auf den Organismus geht in die Tausende, manche Experten gehen von rund 20 000 Veröffentlichungen aus. Obgleich sich nur ein Teil dieser umfangreichen Literatur mit hochfrequenter Strahlung im niedrigen GHz-Bereich beschäftigt, der bei der vorliegenden Untersuchung im Mittelpunkt steht, so dürfte dennoch klar sein, dass hier eine kritische Rezeption und Bewertung aller relevanten Studien kaum möglich ist.

Andererseits existieren bereits fundierte Reviews, d.h. Studien, die die vorhandene wissenschaftliche Datenlage und Literatur sichten, bewerten und daraus Aussagen zu möglichen Gesundheitsrisiken ableiten. Ferner liegen von nationalen und internationalen Strahlenschutz-Institutionen umfassende Stellungnahmen zur wissenschaftlichen Diskussion über Gesundheitsrisiken durch EMF vor. Für die vorliegende Studie wurde neben ausgewählten Primärstudien vor allem auf einschlägige Reviews und Stellungnahmen wichtiger Institutionen zurückgegriffen. Zusätzlich wird – im Sinne einer wissenschaftlichen Minderheitsmeinung – auch die Bewertung des deutschen Ecolog-Instituts (Neitzke et al., 2000; Depner et al., 2001) wiedergegeben, welches

eine wissenschaftliche Einschätzung des Risikopotenzials von Mobilfunkstrahlung speziell unter dem Aspekt der Vorsorge vorgenommen hat.

Im nachfolgenden Abschnitt 6.4.2 werden die biologischen Effekte, die in der wissenschaftlichen Diskussion stehen, systematisch dargestellt. Dabei wird die jeweilige Einschätzung folgender fünf Reviews und Berichten von Expertenkommissionen angefügt:

- Bericht des Instituts für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel im Auftrag des BUWAL (Röösli/Rapp, 2003).

Im Frühling 2003 publizierte das BUWAL eine Zusammenstellung und Bewertung der neueren wissenschaftlichen Humanstudien, in denen Einflüsse von hochfrequenter Strahlung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen untersucht worden waren. Es werden auf einer differenzierten Skala die Evidenz für das Vorhandensein eines biologischen Effekts sowie seine Bedeutung für die Gesundheit bewertet und die Schwelle angegeben, oberhalb der er beobachtet wurde. Bezuglich der Evidenz werden die untersuchten Effekte in fünf Gruppen klassiert:

- „gesichert“
- „wahrscheinlich“
- „möglich“
- „unwahrscheinlich“
- „nicht beurteilbar“

Bezuglich der Gesundheitsrelevanz werden drei Gruppen unterschieden:

- „gesundheitlich gravierend“,
- „Einschränkung des Wohlbefindens“
- „nicht beurteilbar“

- Ausschuss CSTEE der Europäischen Kommission

Der "Wissenschaftliche Ausschuss für Toxizität, Ökotoxizität und Umwelt (CSTEE)" bei der Generaldirektion "Gesundheit und Verbraucherschutz" verfasste im Oktober 2001 ein Gutachten über mögliche Auswirkungen hochfrequenter Felder auf die menschliche Gesundheit.

- Deutsche Strahlenschutzkommision (SSK)

Die deutsche Strahlenschutzkommision verabschiedete 2001 eine Empfehlung mit dem Titel "Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern". Darin werden biologische Effekte durch niedrfrequente und hochfrequente Felder sowie die Frage diskutiert, ob bestehende Grenzwerte ausreichend sind.

- Bericht des Ecolog-Instituts im Auftrag der deutschen T-Mobil (Neitzke et al., 2000; Depner et al., 2001).

Im Jahr 2000 erstellte das Ecolog-Institut Hannover im Auftrag der deutschen T-Mobil zum Thema Mobilfunk und Gesundheit eine "Bewertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes" (Neitzke et al., 2000). Diese Studie war eines von vier Gutachten, welche die T-Mobil bei vier verschiedenen Experten eingeholt hatte. Die vier Bewertungen und die daraus resultierenden Empfehlungen wichen stark

voneinander ab, was den Auftraggeber veranlasste, unter den vier Gutachtern einen moderierten, wissenschaftlichen Risikodialog zu veranstalten (Depner et al., 2001). Im Rahmen dieser strukturierten wissenschaftlichen Auseinandersetzung wurde kaum eine Angleichung der Standpunkte erreicht. Die Bewertung des Ecolog-Instituts wird hier aufgenommen, weil es die einzige ist, die explizit unter dem Gesichtspunkt der Vorsorge steht. Von den vier Gutachten ist es dasjenige, welches das größte Risikopotenzial geltend macht. Es steht damit gleichzeitig für eine Minderheit von kritischen Wissenschaftlern, welche vor unabsehbaren Folgen von Mobilfunkstrahlung warnen. Das Ecolog-Institut hat gestützt auf seinen ausführlichen Bericht eine Kurzfassung erstellt und dort die untersuchten biologischen Effekte nachträglich in fünf Gruppen klassiert (Wiedemann et al., 2003). Es sind dies, nach schwächer werdender Evidenz:

- „Nachweis“
 - „konsistente Hinweise“
 - „starke Hinweise“
 - „Hinweise“
 - „schwache Hinweise“
- Stewart Report

Die britische Strahlenschutzkommision "National Radiological Protection Board (NRPB)" setzte 1999 eine unabhängige interdisziplinär besetzte "Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP)" unter Vorsitz von Professor Sir William Stewart ein. Ergebnis ihrer Arbeit ist der im Jahr 2000 veröffentlichte so genannte Stewart-Report, der sich auf der Basis einer Vielzahl von Studien sehr detailliert mit den unterschiedlichen Gesundheitsrisiken durch Mobilfunkstrahlung auseinandersetzt.

Zusätzlich zu den erwähnten Reviews und Berichten von Expertenkommissionen sind im Anhang eine Auswahl neuester Resultate diskutiert.

6.4.2 Wirkungen auf den menschlichen Organismus

Im folgenden wird eine Übersicht über biologische Wirkungen hochfrequenter Strahlung einschließlich ihrer Bewertung durch die wichtigsten Reviews und Expertenkommissionen gegeben. Vielfach fehlt die Stellungnahme einer oder mehrerer dieser Quellen. Dies hat seinen Grund darin, dass sich die angeführten Quellen in ihrer Ausführlichkeit unterscheiden oder abweichende Systematiken verwenden.

Wechselwirkung mit Zellen und subzellulären Strukturen

Moleküle und Membranen

Eine Ionisierung von Atomen und Molekülen durch hochfrequente Felder lässt sich aus physikalischen Gründen ausschließen. Die Quantenenergien in dem für das Pervasive Computing relevanten Frequenzbereich (~0,5 - 10 GHz) liegen im ein- bis zweistelligen μ eV-Bereich und sind damit etwa 100.000 mal geringer als die Energien (einige eV), die zur Ionisierung von Atomen oder zur Zerstörung von DNA-Molekülen aufgebracht werden müssen. Es wird daher auch von nichtionisierender Strahlung gesprochen. Eine direkte Schädigung der DNA (mit entsprechender karzinogener Wirkung) kann also mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Ein weiteres Ausschlusskriterium für biologische Wirkungen ist im thermischen Rauschen zu sehen. Die strahlungsinduzierten Bewegungsenergien können in der Regel nur biologische Wirkung zeigen, wenn sie oberhalb des thermischen Rauschens liegen. Bei typischen Gewebetemperaturen liegt diese Schwelle bei etwa 26 meV. Damit lassen sich beispielsweise Wirkungen durch bewegte Ionen ausschließen. Allerdings muss hier eingeschränkt werden, dass diese Überlegungen nur für Systeme gelten, die sich im thermischen Gleichgewicht befinden. Diese Voraussetzung wird gerade von lebenden Organismen nicht erfüllt. Einflüsse auf Ungleichgewichtssituationen, wie z.B. biochemische Reaktionen, können mittels dieser Argumentation nicht ausgeschlossen werden. Es werden daher auch verschiedene nichtlineare Mechanismen postuliert, die für das Auftreten von Effekten unterhalb der genannten Schwelle verantwortlich sein könnten (z.B. Resonanzeffekte, kohärente Anregungen von Makromolekülen).

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
SSK (D) 2001	Physikalische Hypothesen wie kooperative Effekte, nicht-lineare Interaktionen in thermodynamische Prozessen bei niedrigen Expositionsintensitäten oder Resonanzphänomene wurden bisher nicht bestätigt. Zur Wirkung auf Membranen sind weitere Untersuchungen unter gut kontrollierten Bedingungen erforderlich.
Stewart-Report (GB) 2000	Es gibt wenig Anhaltspunkte für Resonanzeffekte, dennoch besteht hier weiterer Forschungsbedarf. Dagegen gibt es Hinweise auf die Beeinflussung von Zellmembranen und den Ionenfluss durch Membranen. Gesundheitliche Folgen sind allerdings ungewiss. Außerdem fehlt bisher eine unabhängige Bestätigung der Effekte.

Auf der zellulären Ebene werden ferner Veränderungen in Zellmembranen diskutiert. So zeigen Untersuchungen an künstlichen Membranen, dass elektromagnetische

Felder (bei 900 MHz) einen Stromfluss durch Membranen auslösen können. An lebenden Zellen haben sich diese Befunde jedoch nicht bestätigt.

Kalzium

Kalziumionen spielen eine herausragende Rolle für Neuronen und andere Zellen. Sie sind insbesondere an der Weiterleitung von Information in Form von Aktionspotenzialen maßgeblich beteiligt.

Ein Einfluss hochfrequenter EMF auf den Kalziumionentransport durch Membranen von Nerven- und anderen Zellen wurde in den 80er Jahren nachgewiesen. Jüngere Untersuchungen (mit anderer Frequenzwahl) konnten einen solchen Zusammenhang bisher nicht feststellen.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
CSTEE (EU)	Hinweise aus Studien zu Kalziumfluss durch Neuronenmembranen inkonsistent und nicht überzeugend.
SSK (D) 2001	Ältere signifikante Ergebnisse wurden mit modernen Analysetechniken weder bestätigt noch widerlegt.
Ecolog-Institut (D) 2001	Die Befunde über eine veränderte Calcium-Homöostase bei nicht-thermischen Intensitäten von Hochfrequenzstrahlung werden als „konsistente Hinweise“ bewertet.
Stewart-Report (GB) 2000	Die Hinweise auf einen erhöhten Kalziumausfluss aus Hirngewebe bei nicht-thermischen Werten sind trotz widersprüchlicher Ergebnisse ernst zu nehmen. Die Korrelation mit der Modulationsfrequenz ist interessant aber schwer zu interpretieren. Ein Risiko für die Gesundheit ist nicht ohne weiteres abzuleiten. Als Vorsichtmaßnahme sollte dennoch 16 Hz als Modulationsfrequenz bei zukünftigen technologischen Entwicklungen vermieden werden.

Nervensystem und Gehirn

Elektroenzephalogramm (EEG)

Mithilfe von Elektroenzephalogrammen können mögliche direkte Einflüsse elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität untersucht werden. Es ist zu unterscheiden zwischen dem spontanen EEG (Gehirnaktivität bei geschlossenen Augen und ohne äußere Reize) und dem evozierten EEG (Gehirnaktivität bei visuellen, akustischen oder anderen Reizen).

Hierzu existiert eine Vielzahl von Studien, von denen einige auf einen Zusammenhang zwischen Strahlenexposition und EEG hinweisen. Dabei muss allerdings betont werden, dass eine expositionsbedingte Veränderung des EEG durchaus keine gesundheitliche Beeinträchtigung bedeuten muss.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Es wird als „wahrscheinlich“ erachtet, dass die Exposition gegenüber Mobiltelefonen die Hirnströme verändert. Am konsistentesten wurde eine Amplitudenerhöhung im Alpha-Band der Hirnströme beobachtet. Die Gesundheitsrelevanz ist unklar.
CSTEE (EU) 2001	Hinweise nicht reproduzierbar.
SSK (D) 2001	Ergebnisse teilweise widersprüchlich, aber als Hinweis auf expositionsbedingte Änderungen neurophysiologischer Prozesse zu werten.
Ecolog-Institut (D) 2001	Die vorliegenden Ergebnisse sind als „konsistente Hinweise“ auf Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Zentrale Nervensystem zu werten.
Stewart-Report (GB) 2000	Die Studien liefern Belege für nicht-thermische Wirkungen hochfrequenter Felder auf die Hirnaktivität.

Schlaf

Zur Frage, ob hochfrequente Felder zu Schlafstörungen führen können, wurden sowohl Laborexperimente als auch Querschnittsstudien in der Bevölkerung durchgeführt. Die Untersuchungen stellten eine Korrelation zwischen EMF-Exposition und Schlafstörungen fest.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Es liegen plausible Einzelbefunde zu Schlafstörungen in der Umgebung von Rundfunksendeanlagen vor. Eine Beeinträchtigung der Schlafqualität wird als „möglich“ klassiert. Sie stellt eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens dar.
SSK (D) 2001	Studien weisen teilweise erhebliche Mängel auf und sind allenfalls als unbestätigte Hinweise zu bewerten

In den letzten Jahren hat sich jedoch die Datenlage bezüglich Beeinflussung des Schlafes stark verbessert, so dass heute davon ausgegangen werden muss, dass sich das Schlaf-EEG nach einer Exposition verändert. Die gesundheitliche Relevanz der beobachteten Effekte bleibt aber unklar (für Details siehe Anhang).

Kognitive Funktionen

Mithilfe von Verhaltensexperimenten kann untersucht werden, ob elektromagnetische Felder einen Einfluss auf die kognitive Leistung, das heißt die aktive intellektuelle Informationsverarbeitung, haben. Insbesondere die Reaktionszeit unter dem Einfluss von Mobilfunkstrahlung wurde mithilfe von Aufmerksamkeitstests in verschiedenen Studien gemessen. Verschiedentlich wurde eine Verkürzung der Reaktionszeit beobachtet, was auf eine lokale Erwärmung und damit eine verbesserte Durchblutung der relevanten Hirnareale zurückzuführen sein könnte.

Auch zum Lern- und Erinnerungsverhalten wurden zahlreiche Tests, vor allem an Tieren durchgeführt.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Es wird als „wahrscheinlich“ erachtet, dass die Exposition gegenüber einem Mobiltelefon die Reaktionszeiten tendenziell verkürzt. Die gesundheitliche Relevanz ist unklar.
SSK (D) 2001	Studien ergeben kein einheitliches Bild, können aber als erste Hinweise auf einen Zusammenhang verstanden werden
Ecolog-Institut (D) 2001	Die vorliegenden Ergebnisse aus Tier- und Humanexperimenten über Beeinflussungen kognitiver Funktionen und des Verhaltens sind als“ konsistente Hinweise“ zu werten.
Stewart-Report (GB) 2000	Es existieren keine konsistenten experimentellen Belege für ein verändertes Lern- und Erinnerungsverhalten bei Tieren im Intensitätsbereich des Mobilfunks. Weitere Forschung ist dennoch angezeigt, insbesondere auch zu Veränderungen des Lern- und Erinnerungsverhaltens beim Menschen.

Blut-Hirn-Schranke

Die Blut-Hirn-Schranke regelt unter anderem die Aufnahme verschiedener Substanzen ins Gehirn. Eine Erwärmung des Gehirns kann diese Funktion beeinträchtigen. Die dafür nötige Energie wird durch die Strahlung von Mobiltelefonen nicht übertragen. Allerdings gehen verschiedene Studien der Frage nach, ob die gepulsten hochfrequenten EMF des Mobilfunks *dennnoch* einen Einfluss auf die Integrität der Blut-Hirn-Schranke ausüben können. Neueste Studien zu diesem Thema berichten von einer Zunahme der Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke und eine dadurch eintretende Schädigung von Neuronen durch entsprechende Stoffe, die unter normalen Bedingungen nicht ins Gehirn gelangen (Salford et al., 2003).

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
CSTEE (EU) 2001	Hinweise auf Wirkungen bei nicht-thermischen Werten inkonsistent und nicht überzeugend.
SSK (D) 2001	Die vorliegenden Ergebnisse sind nicht konsistent und können allenfalls als Hinweis anerkannt werden.
Ecolog-Institut (D) 2001	Eine Vergrößerung der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Fremdstoffe unter dem Einfluss hochfrequenter Felder wurde in mehreren Experimenten festgestellt. Die Befunde werden als „starke Hinweise“ gewertet.
Stewart-Report (GB) 2000	Die existierenden Studien sind widersprüchlich. Jüngere, einwandfrei durchgeführte Studien konnten keine Effekte feststellen.

Krebsrisiko

Wie bereits ausgeführt, haben hochfrequente EMF zu geringe Quantenenergien, um Strangbrüche in der DNA auszulösen, und haben daher kein mutagenes Potenzial. Sie können höchstens Prozesse der Krebspromotion oder -progression beeinflussen.

ODC

Mehrere Untersuchungen an Zellkulturen haben gezeigt, dass die Aktivität des krebsrelevanten Enzyms Ornithindecarboxylase (ODC) durch modulierte Felder im hochfrequenten Bereich erhöht werden kann.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
Ecolog-Institut (D) 2001	Die ODC-Aktivität kann einigen Experimenten zufolge nicht nur durch bekannte chemische Tumorpromotoren gesteigert werden. Es wurde gezeigt, dass diese Wirkung auch durch niederfrequent amplitudenmodulierte Hochfrequenzfelder hervorgerufen werden kann. Die Ergebnisse werden als „Hinweise“ gewertet.
Stewart-Report (GB) 2000	Gepulste hochfrequente Handy-Strahlung verursacht möglicherweise auch bei nicht-thermischen Intensitäten einen leichten Anstieg der ODC-Konzentration und -Aktivität. Eine tumorfördernde Wirkung ist jedoch sehr unwahrscheinlich, genauso wie synergistische Effekte mit anderen Umweltfaktoren.

Genexpression

Ein ebenfalls diskutierter Zusammenhang zwischen hochfrequenten EMF und Krebs könnte in der Genexpression liegen, das heißt der Aktivierung einzelner Gene und ihre Übersetzung in Proteine. So können Stressphänomene bei der Zelle die Aktivierung bestimmter Gene auslösen. Veränderungen in der Genexpression können die Zelldifferenzierung sowie das Zellwachstum stören oder zum Zelltod führen.

Der Hypothese, dass hochfrequente EMF die Genexpression beeinflussen könnten, wurde in zahlreichen Studien sowohl *in vitro* als auch *in vivo* nachgegangen.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
Ecolog-Institut (D) 2001	Die Befunde zu den Auswirkungen hochfrequenter Strahlung auf die Gen-Expression, Gen-Transkription und Gen-Translation werden als „konsistente Hinweise“ für einen Effekt bewertet.
Stewart-Report (GB) 2000	Obgleich derzeit wenig dafür spricht, dass Mobilfunkstrahlung zu Stressreaktion in Säugetierzellen führt, geben die Befunde an Nematoden Hinweise auf einen prinzipiellen Zusammenhang zwischen nicht-thermischer EMF-Exposition und Genexpression.

DNA-Einzelstrangbrüche

Mit der so genannten Comet-Assay-Methode wurden in einer Studie (Lai und Singh, 1995) DNA-Einzelstrangbrüche in den Hirnzellen von Ratten nach EMF-Exposition nachgewiesen. Spätere Experimente konnten die Ergebnisse jedoch nicht reproduzieren.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
Ecolog-Institut (D) 2001	In Untersuchungen an Zellkulturen wurden Veränderungen am Erbgut, wie Einzel- und Doppelstrangbrüche sowie Schäden an den Chromosomen festgestellt. Die vorliegenden Untersuchungen werden in ihrer Gesamtheit als „konsistente Hinweise“ auf Veränderungen des Erbmaterials unter der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder unterhalb der Schwellen für makrothermische Effekte gewertet.
Stewart-Report (GB) 2000	Dieses Thema verdient weitere Forschungsanstrengungen, obgleich zahlreiche in vivo- und in-vitro-Studien frühere Positivbefunde zu DNA-Brüchen bei Mäusen nicht bestätigen.

Melatonin

Dem Hormon Melatonin wird eine Schutzfunktion gegenüber Krebs zugesprochen, da es freie Radikale abfangen kann, die sonst zum Zelltod führen könnten. Seit langem werden Wirkungen niederfrequenter Felder auf den Melatoninhaushalt diskutiert. Auch zur Wirkung hochfrequenter Felder existieren einige Untersuchungen.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Die wissenschaftliche Basis reicht für die Beurteilung einer allfälligen Beeinflussung des Melatonins und anderer Hormone nicht aus. Sollte ein Einfluss vorhanden sein, wäre dessen Gesundheitsrelevanz unklar.
CSTEE (EU) 2001	Melatoninhypothese bisher nicht bestätigt. Relevanz für langfristige Auswirkungen erscheint nicht nennenswert.
SSK (D) 2001	Aktueller Forschungsstand stützt Melatoninhypothese nicht.
Ecolog-Institut (D) 2001	Ergebnisse aus dem Tierversuch werden als „Hinweise“, solche aus Humanstudien als „schwache Hinweise“ gewertet.
Stewart-Report (GB) 2000	Aktueller Forschungsstand stützt Melatoninhypothese nicht. Selbst wenn bei Tieren eine Veränderung des Melatoninhaushalts nachgewiesen würde, wäre die Übertragbarkeit auf den Menschen aufgrund eines größeren Abstands der relevanten Drüsen zur Körperoberfläche und anderer Unterschiede fraglich.

Genotoxizität

Verschiedene Studien gehen der Frage nach, ob hochfrequente EMF genotoxische Wirkung haben, d.h. ob sie zu DNA-Schäden und Mutationen führen können. Indikatoren einer solchen Schädigung des Erbgutes sind neben der Mutationsrate insbesondere so genannte indirekte Indikatoren wie

- Chromosomenaberrationen: Verformungen von Chromosomen treten häufig bei DNA-Schädigung oder abnormalen Wechselwirkungen zwischen DNA und Proteinen auf und korrelieren oft mit Krebs oder Fehlgeburten.
- Mikrokernbildung: Das Auftreten von Zellen mit ungewöhnlich kleinem Zellkern gilt ebenfalls als Hinweis auf geschädigte DNA.

- Schwesterchromatidaustausch (SCE): Genotoxische Substanzen führen oftmals zu einem Austausch von DNA zwischen zwei Chromosomen.

Jeder dieser Indikatoren wurde im Zusammenhang mit EMF-Exposition in einer Vielzahl von Studien untersucht. Während die meisten Untersuchungen zu Chromosomenaberrationen und SCE zu negativen Ergebnissen führten, geben mehrere Studien Hinweise auf eine EMF-induzierte Zunahme der Mikrokernbildung. Die gesundheitlichen Auswirkungen dieses Befunds sind allerdings umstritten.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Die wenigen Untersuchungen am Menschen erlauben keine Aussage, ob hochfrequente Strahlung genotoxische Wirkungen haben kann. Sollten solche Wirkungen vorhanden sein, wären sie als gesundheitlich gravierend einzustufen.
CSTEE (EU) 2001	Trotz geringfügiger Widersprüche in der Literatur ist festzustellen, dass In-vivo- und In-vitro-Experimente zur Induktion von Mikrokernen, Chromosomenaberrationen und SCE keinen Wirkungszusammenhang nachweisen konnten.
SSK (D) 2001	Verschiedene Untersuchungen haben keinen eindeutigen Beweis erbracht, dass hochfrequente Felder unterhalb der Grenzwerte genotoxisch wirksam werden können.
Ecolog-Institut (D) 2001	In Untersuchungen an Zellkulturen wurden Veränderungen am Erbgut, wie Einzel- und Doppelstrangbrüche sowie Schäden an den Chromosomen festgestellt. Die vorliegenden Untersuchungen werden in ihrer Gesamtheit als „konsistente Hinweise“ auf Veränderungen des Erbmaterials unter der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder unterhalb der Schwellen für makrothermische Effekte gewertet.
Stewart-Report (GB) 2000	Die zahlreichen Untersuchungen konnten keinen klaren Beweis für die Genotoxizität hochfrequenter Strahlung bei nicht-thermischer Exposition erbringen. Die konsistentesten Hinweise kommen von der Beobachtung von Mikrokernbildung. Gesundheitsgefahren sind hier allerdings ungewiss.

Spontane und initiierte Tumorbildung

Zur Tumorbildung und Tumorpromotion bei Tieren liegen zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen vor. Die Ergebnisse lassen keine eindeutigen Schlüsse zu.

Diskutiert wird auch, ob Hochfrequenz-EMF die Wirkung genotoxischer Stoffe synergistisch verstärken können. Auch eine Überhitzung kann die Kanzerogenität von Substanzen erhöhen.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
CSTEE (EU) 2001	Synergistische Effekte zwischen EMF und physischen oder chemischen karzinogenen Einwirkungen ist noch nicht hinreichend untersucht, stellt aber eine interessante Hypothese dar.
SSK (D) 2001	Weitere Studien zur Tumorentwicklung sollten durchgeführt werden.
Ecolog-Institut (D) 2001	Tierexperimentelle Untersuchungen ergeben „Hinweise“ auf eine Erhöhung des Risikos für Krebs insgesamt sowie für Lymphdrüsengeschwüre, sowie „schwache Hinweise“ bezüglich Hirntumoren, Brustkrebs, Hautkrebs und anderen Krebsformen.
Stewart-Report (GB) 2000	Eine tumorinitiiierende Wirkung hochfrequenter Felder im nicht-thermischen Bereich ist unwahrscheinlich. Hinweise auf synergistische Effekte könnten über thermische Wirkungen erkläbar sein. Dennoch besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

Epidemiologische Studien

Es gibt eine gewisse Anzahl epidemiologischer Studien, die einen statistischen Zusammenhang zwischen Exposition mit hochfrequenten Feldern und bestimmten Erkrankungen, insbesondere der Tumorbildung, untersuchen.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Es gibt einige Studien, die in der Umgebung von TV- und Rundfunksendern (RF) höhere Leukämie- und/oder Lymphomraten beobachteten als erwartet. Die Studienresultate sind jedoch nicht einheitlich, und manche Studien haben methodische Mängel. Eine Erhöhung des Risikos für die genannten Krebsarten wird daher nur als „möglich“, nicht als „wahrscheinlich“ erachtet. Ebenfalls „möglich“ erscheint ein erhöhtes Hirntumorrisiko im Zusammenhang mit dem Gebrauch von Mobiltelefonen. Keine Aussage ist bezüglich Brustkrebs, Augentumoren und Hodentumoren möglich. Eine Risikoerhöhung für andere als die genannten Tumorarten wird als unwahrscheinlich betrachtet.
CSTEE (EU) 2001	Im allgemeinen lassen die epidemiologischen Ergebnisse bei RF nicht auf einen dauerhaften Anstieg der Krebsinzidenz schließen und geben daher zunächst keinen Anlass zur Absenkung bestehender Expositionsgrenzen. Dennoch deuten einige Einschränkungen der verfügbaren Studien auf die Notwendigkeit weiterer epidemiologischer Überwachung hin: <ol style="list-style-type: none"> die relativ kurze Beobachtungsdauer im Vergleich zu der möglichen Latenzzeit langfristiger Auswirkungen; die Verwendung von Proxies (d.h. Abstand zu mutmaßlichen Quellen, Ausmaß der Nutzung des Mobiltelefons, usw.) bei der Schätzung der Exposition der einzelnen Personen, die unzuverlässig sein und das geschätzte Risiko künstlich senken könnte, sowie geringe statistische Schärfe der Analysen, was auf mangelnde Assoziation hindeutet.

SSK (D) 2001	Studien geben keinen Hinweis darauf, dass der Gebrauch von Mobiltelefonen das Hirntumorrisko erhöht. Grundsätzliche Probleme bestehen in Expositionsschätzungen in den Studien und viel zu kurzen Beobachtungszeiträumen.
Ecolog-Institut (D) 2001	Als „Hinweise“ werden die Befunde beim Menschen zu Krebs insgesamt, zu Leukämien, Hirntumoren und Hodenkrebs bewertet, als „schwache Hinweise“ diejenigen zu Lymphdrüsenkrebs, Brustkrebs, Augenkrebs, Hautkrebs und anderen Krebsformen.
Stewart-Report (GB) 2000	Die Gesamtbilanz epidemiologischer Studien (sowohl, was die Benutzung von Mobiltelefonen als auch was berufsspezifische Exposition betrifft) geben keine Hinweise darauf, dass hochfrequente Strahlung das Krebsrisiko erhöht. Allerdings ist zu betonen, dass die untersuchten Zeiträume und der Untersuchungsumfang bisheriger Studien nicht ausreichen, um ein signifikantes Krebsrisiko definitiv auszuschließen.

Wirkungen auf das Auge

Der Temperaturausgleich im Auge ist, im Gegensatz zum Gehirn, nur schwach durch Blutfluss unterstützt. Daher wird das Auge als durch EMF potentiell gefährdetes Organ diskutiert.

Von den zahlreichen Studien, die an Versuchstieren durchgeführt wurden, stellten einige grauen Star nach Exposition mit sehr hohen Frequenzen fest. Es ist jedoch unklar, ob es sich um einen thermischen Effekt handelt.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
CSTEE (EU) 2001	Die Experimentalkonzepte der existierenden Studien sind schwer reproduzierbar und die Ergebnisse umstritten. Daher Relevanz der derzeitigen Erkenntnisse – abgesehen von thermischen Wirkungen – sehr gering.
Stewart-Report (GB) 2000	Obgleich die Intensitäten der eingesetzten gepulsten Felder deutlich über der durch Handystrahlung im Auge induzierbaren Absorptionsraten lagen, geben die bisherigen Studien doch Anlass zur Sorge über mögliche gesundheitliche Schädigungen des Auges durch gepulste Felder mit hohen Leistungsspitzen.

Fortpflanzung und Entwicklung

Diskutierte Auswirkungen einer EMF-Exposition auf Fortpflanzung und Entwicklung bei Tieren reichen von der Zahl der Nachkommen bis hin zu neurophysiologischen Veränderungen und Missbildungen bei den Nachkommen.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Insgesamt kann mit den vorliegenden Studien nicht beurteilt werden, ob das Fehlgeburtenrisiko durch Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung erhöht ist. Auch die einzige Studie zur Spermienqualität ist zu wenig aussagekräftig.
SSK (D) 2001	Studien sehr mangelhaft und können nicht als Hinweis gewertet werden.
Ecolog-Institut (D) 2001	Die Befunde zu Infertilität und Teratogenität aus human-epidemiologischen Studien und Tierversuchen werden als „Hinweise“ oder „schwache Hinweise“ klassiert.
Stewart-Report (GB) 2000	Die Hinweise zu einer Gefährdung des Fötus oder der männlichen Fruchtbarkeit bei Mobilfunkintensitäten sind nicht überzeugend. Auch die Ergebnisse der Studie von Magras and Xenos (1997) zur Beeinträchtigung der weiblichen Fertilität sind anzuzweifeln. Allerdings sollte hier weitergeforscht werden.

Blut und Immunsystem

Es existieren diverse Untersuchungen zum Einfluss hochfrequenter EMF auf das blutbildende System bei Ratten. Die Ergebnisse fallen recht unterschiedlich aus: während die einen zu einem negativen Resultat (kein Zusammenhang) kommen, berichten andere über eine Verringerung der Monozyten. Untersuchungen an Mäusen belegen einen Einfluss hochfrequenter EMF auf das Immunsystem (erhöhte Makrophagen-Aktivität).

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Die wenigen zur Zeit vorliegenden in vivo-Studien über eine Beeinflussung des Immunsystems beim Menschen sind zu dürfsig, um das Vorhandensein eines Effektes beurteilen zu können. Falls ein Einfluss vorhanden wäre, ist dessen Gesundheitsrelevanz unklar.
CSTEE (EU) 2001	Wirkungen auf das Immunsystem bei thermischen Werten vorübergehender Natur. Bleibende Folgen schwacher RF-Exposition auf blutbildende und zirkulierende Blutzellen oder auf Immunreaktionen sind nicht bekannt.
SSK (D) 2001	Hinweise auf Auswirkungen auf das Immunsystem von Mäusen bei sehr hohen Frequenzen (8,5 – 18 GHz). Übertragbarkeit auf den Menschen noch zu klären.
Stewart-Report (GB) 2000	Ergebnisse zu angeblichen Wirkungen auf das blutbildende System sind nicht konsistent. Das gleiche gilt für Effekte beim Immunsystem, wenigstens bei nicht-thermischer Exposition.

Kardiovaskuläres System

Verschiedene potenzielle Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Herz und Kreislauf sind untersucht worden. Dazu gehören neben einer direkten Beeinflussung der Gefäße auch indirekte Wirkungen über eine Beeinträchtigung des Hirnstammes oder des Hormonhaushalts.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Insgesamt ist auf der Basis der bisherigen Studien nicht beurteilbar, ob das Herz-Kreislaufsystem bei Expositionen unterhalb der ICNIRP-Grenzwerte beeinträchtigt wird. Eine Studie gibt einen Hinweis, dass hohe Feldstärken auf das autonome Nervensystem wirken, und sich dadurch Parameter des Herz-Kreislaufsysteums verändern. Diese Veränderungen wurden als nicht pathologisch klassifiziert. Die Gesundheitsrelevanz von Einflüssen auf das Herz-Kreislaufsystem lässt sich nicht generell klassifizieren. In Anbetracht der Tatsache, dass Herz-Kreislauferkrankungen in den industrialisierten Ländern zu den häufigsten Krankheiten und Todesursachen gehören, sind Veränderungen potenziell gravierend. Bereits eine geringe Risikoerhöhung würde eine große Anzahl von Fällen bedeuten. Individuell stellen kleine Veränderungen von Herz-Kreislaufparametern (z.B. Pulsrate) jedoch nicht unbedingt ein Gesundheitsrisiko dar.
CSTEE (EU) 2001	Mit Ausnahme einer (noch anderweitig zu bestätigenden) Studie, die auf einen veränderten Blutdruck durch kopfnahe Handy-Exposition deutet, enthalten die vorhandenen Ergebnisse keine gleich bleibenden Hinweise auf Auswirkungen von Mobiltelefonen auf Herz und Kreislauf.
Ecolog-Institut (D) 2001	Befunde über eine Beeinflussung des Herz-Kreislaufsystems werden als „schwache Hinweise“ klassiert.
Stewart-Report (GB) 2000	Tierversuche geben keinen Anlass zu der Vermutung, dass EMF bei Mobilfunkintensitäten das kardiovaskuläre System beeinflussen. Beobachtete Effekte bei hohen Intensitäten scheinen auf Körper erwärmung zurückzuführen zu sein.

Elektrosensibilität

Unter der Bezeichnung „Elektrosensibilität“ wird eine Reihe neurovegetativer Symptome zusammengefasst, über die ein geringer Prozentsatz der Bevölkerung im Zusammenhang mit EMF-Exposition klagt. Dazu gehören insbesondere Schlaf störungen, Nervosität, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Beklommenheit und Schwindel gefühl. Gemäß verschiedener Quellen ist davon auszugehen, dass der betroffene Anteil der Bevölkerung deutlich unter 10 % liegt.

Einschätzung wichtiger Reviews und Expertenkommissionen	
BUWAL (CH) 2003	Mehrfach nachgewiesen wurde eine Zunahme von unspezifischen Symptomen bei häufiger Nutzung des Mobiltelefons. Dazu gehören Kopfschmerzen, Schmerzempfinden, Unbehagen, Müdigkeit, Schwindel und Brennen auf der Haut. Das Vorhandensein dieser Symptome wird als „wahrscheinlich“ bewertet. Ob und inwiefern auch andere Einflüsse als die Strahlung zu diesen Befunden beigetragen haben, kann mit den vorliegenden Studien nicht beurteilt werden. Möglich wäre, dass mobiles Telefonieren infolge schlechter Verbindungsqualität häufig als anstrengend erlebt wird, oder dass Mobiltelefonbenutzer unspezifische Symptome (insbesondere Kopfschmerzen) nach dem Telefongebrauch selektiv anders wahrnehmen als Personen, die keine Mobiltelefone benutzen. Allenfalls sind die Symptome stressbedingt, und der häufige Mobiltelefongebrauch ist lediglich ein Indikator für das erhöhte Stressniveau einer Person. Plausible Einzelbefunde gibt es ferner zur elektromagnetischen Hypersensibilität gegenüber hochfrequenter Strahlung und zu Schlafstörungen in der Umgebung von Sendeanlagen. Die Existenz der Symptome unter diesen Expositionsbedingungen wird als „möglich“ bewertet. Alle genannten Symptome stellen eine Einschränkung des Wohlbefindens dar.
CSTEE (EU) 2001	Berichte über das Phänomen sind unklar in Bezug auf Expositionsbedingungen und Häufigkeit des Auftretens. Es ist daher derzeit schwierig zu beurteilen, ob es sich um echte Strahlungswirkungen handelt.
Stewart-Report (GB) 2000	Ein Wirkungszusammenhang zwischen hochfrequenter Strahlung und dem Auftreten der beschriebenen Beschwerden ist nicht nachgewiesen. Weitere Forschung ist aber angezeigt.

Zusammenfassende Bewertung der diskutierten Wirkungen

Angesichts der Vielfalt der diskutierten biologischen Wirkungen wird im folgenden eine vorläufige Bewertung der Gesundheitsrisiken vorgenommen.

Wirkungen auf Zellen und subzelluläre Strukturen

Keiner der vorgeschlagenen Wirkungsmechanismen athermischer Effekte konnte bisher nachgewiesen werden. Hinweise auf einen erhöhten Kalziumausfluss aus Hirngewebe bei nicht-thermischen Werten werden sehr unterschiedlich bewertet, sollten aber ernst genommen werden. Ein Gesundheitsrisiko ist hier jedoch auch bei einer Bestätigung der Funde nicht ohne weiteres abzuleiten.

Nervensystem und Gehirn

Es existieren ernst zu nehmende Hinweise auf eine Beeinflussung der neuronalen Erregbarkeit, der Neurotransmitter-Funktion, sowie diverser Verhaltensmuster bei Intensitäten, die eine deutliche Erwärmung (~ 1° C) des Gewebes verursachen können. Zunehmend erhärtet sich die Datenlage, dass bereits eine schwache Exposition im Elektroenzephalogramm eine nachweisbare Wirkungen auf neurophysio-

logische Prozesse haben kann. Ob sich daraus gesundheitliche Konsequenzen ergeben könnten, ist nicht geklärt.

Krebsrisiko

Die wissenschaftliche Datenlage bezüglich einem erhöhten Krebsrisiko durch hochfrequente Strahlung bei athermischen Intensitäten ist widersprüchlich und lässt ein erhöhtes Krebsrisiko als möglich erscheinen. Die Unsicherheit bezieht sich hauptsächlich auf synergetische Effekte. Epidemiologische Studien decken zu kurze Zeiträume ab, um ein Krebsrisiko mit Sicherheit ausschließen zu können. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf.

Insbesondere allfällige Tumorrisiken im Zusammenhang mit dem Gebrauch von Mobiltelefonen hätten angesichts der beträchtlichen Latenzzeiten wohl noch gar nicht nachgewiesen werden können. Auf internationaler Ebene ist unter der Leitung der Weltgesundheitsorganisation eine große epidemiologische Studie (die so genannte Interphone-Studie) im Gang, die Effekte von längeren Benutzungsduern von Mobiltelefonen auf das Hirntumorrisiko untersucht. Ergebnisse sind frühestens 2004/05 zu erwarten.

Wirkungen auf das Auge

Bei den im Mobilfunk eingesetzten Intensitäten ist eine Schädigung der Augen beim derzeitigen Forschungsstand unwahrscheinlich. Allerdings ist nicht mit Sicherheit auszuschließen, dass gepulste Felder mit hohen Leistungsspitzen in einzelnen Fällen zu einer kritischen Belastung der Augen führen könnten.

Fortpflanzung und Entwicklung

Die Studien, die auf negative Einflüsse hochfrequenter Felder auf die Fruchtbarkeit oder auf die pränatale Entwicklung hinweisen, sind insgesamt nicht überzeugend, unterstreichen aber die Notwendigkeit weiterer Forschung in diesem Bereich.

Blut und Immunsystem

Eine nachhaltige Beeinträchtigung des blutbildenden oder des Immunsystems bei nicht-thermischer Exposition ist bisher nicht nachgewiesen. Hinweise auf entsprechende Wirkungen bei sehr hohen Frequenzen ($> 8 \text{ GHz}$) sollte weiter nachgegangen werden.

Kardiovaskuläres System

Der derzeitige Stand der Forschung lässt keine sicheren Rückschlüsse auf eine Beeinflussung des kardiovaskulären Systems unterhalb thermischer Intensitäten zu.

Elektrosensibilität

Ein Wirkungszusammenhang zwischen hochfrequenter Strahlung und dem Auftreten der in Zusammenhang mit Elektrosensibilität stehenden Symptome ist nicht nachgewiesen. Weitere Forschung ist aber angezeigt.

6.5 Einflussgrößen der Strahlungsbelastung durch Pervasive Computing

Für die drahtlose Vernetzung einer großen Zahl von mobilen Komponenten werden durch Pervasive Computing (PvC) Strahlungsquellen mit unterschiedlichen technischen Eigenschaften und Nutzungsformen zum Einsatz kommen.

Die Unterschiede in den Expositionsstärken und den niederfrequenten Komponenten in der Amplitudenmodulation für die verschiedenen Technologien werden im Anhang abgehandelt. Diskutiert werden die Expositionsszenarien für die unterschiedlichen Mobilfunksysteme, Wireless Local Area Networks (WLAN), Body Area Networks (BAN), Ultra Wide Band (UWB), Bluetooth und RF-passive sowie RF-aktive Implantate.

Die zu erwartende zusätzliche Strahlenbelastung durch PvC ist insgesamt von verschiedenen, auch nicht-technischen Einflussgrößen abhängig, die gemeinsam den prinzipiellen *Gestaltungsspielraum* für PvC bezüglich NIS aufspannen. In Tabelle 6-1 sind die wichtigsten Größen und ihre Determinanten dargestellt.

Tabelle 6-1: Einflussgrößen der Strahlenbelastung und ihre Determinanten

Einflussgrößen	Determinanten
Zahl der Strahlungsquellen	Durchdringungsgrad
Strahlungsleistung	Funkabstände Funkstandards Verwendete Hardware und Software Übertragungsraten Netzinfrastruktur (ad-hoc vs. zellular)
Frequenzcharakteristik (Trägerfrequenz, Modulationsfrequenz, Stand-By-Signale)	Funkstandards Always-on-Anwendungen und Stand-by-Modi
Zeitliches Strahlungsmuster	Always-on-Anwendungen und Stand-by-Modi Nutzerverhalten
Abstand des Körpers von der Strahlungsquelle	Anwendungen (Wearables, Endgeräte etc.) Netzinfrastruktur (ad-hoc vs. zellular) Nutzerverhalten

Im folgenden werden die wichtigsten Einflussfaktoren und technologischen Entwicklungsmöglichkeiten dargestellt.

6.5.1 Zahl der Strahlungsquellen, Durchdringungsgrad

Mit der fortschreitenden Durchdringung des Alltags mit ICT geht fast zwangsläufig eine Zunahme der elektromagnetischen Strahlungsquellen einher. Zwei Trends, die im PvC eine zentrale Rolle spielen werden, treten hier als Treiber auf:

- Wachsende Bedeutung mobiler Internet-Zugänge
- Drahtlose lokale Vernetzung (vorwiegend mobiler) Geräte und „intelligenter“ Gegenstände

Für die Geschwindigkeit und Ausprägung dieser Ausbreitung sind aber ganz unterschiedliche Szenarien denkbar. In Kapitel 4 wurden drei Szenarien ("zurückhaltend",

"mittel", "Hightech") entwickelt, deren unterschiedliche Durchdringungsgrade sich auch in einem moderaten bis sehr starken Zuwachs der Anzahl der Strahlungsquellen im Alltag niederschlagen. So wäre im Hightech-Szenario mit einer 10-100 mal höheren Zahl von (allerdings zum Teil schwächeren) Strahlungsquellen zu rechnen. Aus der Anzahl der Quellen kann jedoch nicht direkt auf eine entsprechende Zunahme der Strahlungsexposition geschlossen werden, da die Zusammenhänge komplexer sind (siehe auch Anhang).

6.5.2 Strahlungsleistung der Quellen

Bei der Strahlungsleistung sind verschiedene Entwicklungen zu beobachten:

- Sinkender Leistungsbedarf aufgrund kürzerer Funkstrecken
- Steigender Leistungsbedarf aufgrund wachsender Übertragungsraten
- Sinkender Leistungsbedarf aufgrund technologischer Entwicklungen

Kürzere Funkstrecken

Es besteht ein annähernd quadratischer Zusammenhang zwischen Sendeleistung und Reichweite, d.h. halbiert sich die erforderliche Reichweite, genügt ein Viertel der Sendeleistung. Da die Funkabstände bei den meisten Technologien des Pervasive Computing weit geringer sind als bei herkömmlichen Mobilfunktechnologien, kommen die Geräte mit weniger Leistung aus. Während GSM-Endgeräte in manchen Gegenden über 30 Kilometer Funkstrecke überwinden müssen, sind es bei Bluetooth-Anwendungen meist nur wenige Meter. In der Folge sind die maximalen Strahlungsleistungen der meisten Bluetooth-Geräte um Größenordnungen geringer als die von Mobiltelefonen. Auch beim Übergang von GSM zu UMTS verringert sich die erforderliche Sendeleistung, da UMTS-Netze kleinere Funkzellen haben.

Wachsende Übertragungsraten

Der Trend zu immer höheren Übertragungsraten zieht einen wachsenden Leistungsbedarf nach sich, da ein Zusammenhang zwischen der Signalstärke und der Bitfehlerrate und damit letztendlich auch der übertragbaren Datenrate besteht. Dies könnte die Verringerung der Strahlungsleistung teilweise wieder kompensieren.

Technologische Korridore für die weitere Verringerung der Sendeleistung

Die Strahlungsleistung vieler Geräte und eingebetteter Technologien, die im Zusammenhang mit Pervasive Computing diskutiert werden, haben schon auf dem heutigen Stand der Technik eine deutlich niedrigere Strahlungsleistung als herkömmliche Mobiltelefone. Darüber hinaus bestehen technologische Potenziale zur weiteren Absenkung des Strahlungsniveaus bei konstanter Reichweite und Übertragungsrate. Der Ausschöpfung dieser Potenziale sind allerdings gewisse ökonomische Grenzen gesetzt, da die entsprechenden Technologien mit höheren Preisen verbunden sind. Andererseits zeigt die Erfahrung, dass gerade bei innovativen Elektronikkomponenten schnell Skaleneffekte wirksam werden. Die Ausschöpfung dieser technologischen Potenziale könnte ganz wesentlich auch von technologieexternen Faktoren wie der weiteren Entwicklung der Elektrosmog-Debatte abhängen. Im folgenden sollen einige wichtige Entwicklungslinien kurz aufgeführt werden:

Softwareseitig:

- *Optimierung der Algorithmen zur Signalverarbeitung:* Im Empfangsgerät werden eintreffende Signale mit komplexen Algorithmen ausgewertet und verarbeitet. Diese Algorithmen können optimiert werden, um auch aus schwächerem Signalen dieselbe Information extrahieren zu können.
- *Verringerung des Kontrolldatenanteils:* Einzelne Protokollsichten können derart modifiziert werden, dass der Kontrolldatenanteil (der Daten-“Overhead”) gegenüber dem Nutzdatenanteil zurückgeht. Das verringert das zu übertragende Datenvolumen und damit die erforderliche Sendeleistung.
- *Bedarfsgesteuerte Leistungsregelung:* Moderne Handys verfügen bereits über eine Leistungsregelung, die die abgestrahlte Leistung je nach Sendesituation (Abstand von der Basisstation, Empfangsqualität etc.) auf das geringstmögliche Niveau herunterregelt. Auch der Bluetooth-Standard fordert eine solche „intelligente“ Steuerung bei der 100 mW-Version. Die Geräte, die für Pico-Bluetooth ausgelegt sind, senden dagegen konstant mit 1 mW. Hier wäre beispielsweise noch Potenzial für eine entsprechende Anpassung.

Hardwareseitig:

- *Entwicklung rauscharmer Verstärker:* Die Empfindlichkeit von Empfängern ist (unter anderem) durch das im Verstärker erzeugte Rauschen begrenzt. Mit der Entwicklung rauscharmer Verstärker (LNA - low-noise amplifiers) soll dieses Problem minimiert werden.
- *MIMO-Systeme (Multiple Input Multiple Output):* Durch Verwendung von Antennenfeldern sowohl sende- als auch empfangsseitig kann die Datenrate deutlich gesteigert, bzw. die gleiche Datenrate bei verringriger Sendeleistung erzielt werden.
- *Abstrahlcharakteristik der Antennen:* Innerhalb gewisser Grenzen lässt sich die Abstrahlcharakteristik von Antennen (beispielsweise bei Handys) dahingehend verändern, dass mehr Leistung vom Körper weg als zum Körper hin abgegeben wird (vergleiche hierzu die Studie von Haider, Garn, Neubauer, Schmid). Dies ist auch im technischen Interesse, da die im Körper absorbierte Energie für die Informationsübertragung verloren geht.

6.5.3 Lokale versus flächendeckende Netze

Neben der lokalen Vernetzung gewinnt auch der mobile Zugriff auf übergeordnete Netze bzw. Dienste (Internet, Mobiltelefonie etc.) an Bedeutung. Für die Frage der Strahlenbelastung der Nutzer ist es dabei ganz entscheidend, ob die "letzte Funkmeile" zum mobilen Endgerät über ein lokales Netz (beispielsweise ein W-LAN) oder über die Funkschnittstelle eines Mobilfunknetzes (GSM bzw. in der Zukunft UMTS) realisiert wird. Im ersten Fall ist nur eine kurze Entfernung bis zum lokalen Zugangspunkt (meist unter 100 Meter) zu überwinden. Von dort erfolgt die Anbindung an das Internet oder andere Netze dann meist kabelgebunden. Dagegen muss im Fall des direkten Zugriffs auf ein Mobilfunknetz die Entfernung bis zur nächsten Basisstation (in der Größenordnung einiger Kilometer) per Funk überbrückt werden. Entsprechend sind die notwendigen Sendeleistungen bei Nutzung lokaler Netze theoretisch deutlich geringer.

Allerdings zeigt ein Vergleich zwischen der maximalen Sendeleistung eines UMTS- und eines IEEE 802.11-Gerätes, dass lokale Netze nicht notwendig strahlungs-

ärmer operieren als Mobilfunknetze. Für einen abschließenden Vergleich der beiden Standards wäre natürlich die durchschnittliche anstatt der maximalen Sendeleistung zu betrachten. Hierzu sind allerdings keine belastbaren Daten verfügbar.

Richtig bleibt aber, dass das Potenzial zur Verringerung der Sendeleistung in lokalen Netzen wesentlich höher ist als im Mobilfunk. Für die Strahlenbelastung könnte es daher einen entscheidenden Einfluss haben, welche Rolle lokale Netze in Zukunft haben werden und mit welchen Funkstandards sie realisiert sein werden. Es wäre denkbar, dass in einer hochgradig vernetzten Welt, an vielen Orten Funkdeckung durch unterschiedliche Netze vorhanden ist und die mobilen Endgeräte sich jeweils in dem Netz anmelden, das die Übertragung bei der niedrigsten Leistung anbietet. Der Zugriff auf Sprach- oder Datendienste würde nur dann über Mobilfunk erfolgen, wenn keine lokalen Netze vorhanden sind. Dies würde freilich Endgeräte voraussetzen, die ein unbeschränktes "Roaming" zwischen den Netzen unterstützen.

6.5.4 Ad-hoc-Netze

Insbesondere im Bereich der Nahvernetzung werden Ad-hoc-Architekturen eine zunehmende Bedeutung erlangen, da sie eine Vielzahl von Vorteilen, beispielsweise hinsichtlich der Netzstabilität und -redundanz, aufweisen. Es liegt daher nahe zu fragen, ob ad-hoc-Netze hinsichtlich der NIS-Belastung ihrer Nutzer zellularen Netzen vorzuziehen sind. Hierzu liegen bisher keine systematischen Studien vor. In einer ersten Annäherung an das Problem müssen zwei Effekte unterschieden werden:

- Da in ad-hoc-Netzen keine Basisstationen auftreten, fallen diese (häufig sehr starken) Strahlungsquellen weg.
- Andererseits müssen die Vermittlungs- und Übertragungsfunktion der Basisstationen und der übergeordneten (meist kabelgebundenen) Netzebenen komplett von den Endgeräten übernommen werden. Dies führt dazu, dass diese in Ad-hoc-Netzen einen wesentlich höheren Datenverkehr abwickeln als in konventionellen, zellularen Netzen. So sendet beispielsweise ein Mobilfunktelefon in einem DIRC-Netz nicht nur dann, wenn sein Nutzer selber ein Gespräch führt oder Daten austauscht, sondern auch dann, wenn sein Gerät für die Weiterleitung eines anderen Gesprächs benötigt wird.

Der Wegfall der Basisstationen wird in ad-hoc-Netzen also mit einer höheren Sendeaktivität der Endgeräte erkauft. Eine allgemeine Bilanz ist hier kaum möglich. Klar ist jedoch, dass bestehende Hoffnungen, ad-hoc-Netze könnten die NIS-Belastung durch Mobilkommunikation deutlich verringern, mit Skepsis zu betrachten sind.

6.5.5 Abstand der Strahlungsquellen vom Körper

Viele der im Zusammenhang mit Pervasive Computing diskutierten Technologien befinden sich direkt am Körper oder in seiner unmittelbaren Umgebung, so dass ein großer Teil der abgestrahlten Leistung im Körper absorbiert wird. Daher können auch schon relativ geringe Strahlungsleistungen zu einer vergleichsweise hohen lokalen Gewebebelastung führen. Diese Problematik ist bereits von den Mobiltelefonen bekannt, bekommt aber angesichts des Trends zum Pervasive Computing eine neue Dimension. So stellen beispielsweise Wearables, die mit Bluetooth-Technologie ausgestattet sind, eine NIS-Quelle direkt auf der Haut dar.

Im Falle lokaler Netze steht zu vermuten, dass die Strahlung im Raum verteilter Endgeräte gegenüber der direkt in Körpernähe befindlichen Geräte zu vernachlässigen ist. Dies folgt unmittelbar aus dem grob quadratischen Intensitätsabfall in der Umgebung der Geräte, gilt aber nur, wenn die Anzahl der körperfernen Quellen den entfernungsbedingten Strahlungsabfall nicht überkompensiert.

Schwieriger stellt sich die Lage bei den Basis-Stationen und Access-Points dar. Allerdings ist die maximale Strahlungsintensität einer Basis-Station in den durchschnittlichen Distanzen (ein Meter oder mehr) meist wesentlich geringer als die der Endgeräte.¹¹⁹ Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Basisstationen in vielen Kommunikationsnetzen permanent ein Stand-By-Signal aussenden. Diese Dauerbelastung der Nutzer auf niedrigem Niveau könnte letztlich gesundheitsrelevanter sein als kurze Phasen hoher Belastung (vgl. Abschnitt 6.5.7).

6.5.6 Verwendete Trägerfrequenzen

Gegenüber herkömmlichen Mobilfunkfrequenzen (~ 1 – 2 GHz) weichen neuere Standards im Nahbereich in höhere Frequenzbänder aus (Bluetooth bei 2,5 GHz, IEEE 802.11 bis zu 5,3 GHz). Zu klären ist daher, ob sich daraus beim heutigen Kenntnisstand über die gesundheitlichen Risiken hochfrequenter Strahlung (frequenz-) spezifische Risiken ableiten lassen. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die geringere Eindringtiefe höherfrequenter Strahlung zu beachten ("Bereich der Oberflächenabsorption" vgl. Abschnitt 6.3.4).

6.5.7 Pulsmodulation und niederfrequente Strahlungskomponenten

Da sich die Hinweise¹²⁰ mehren, dass niederfrequente Anteile hochfrequenter Strahlung von besonderer Relevanz für biologische Effekte sind, sollte diesem Punkt gerade vor dem Hintergrund des Pervasive Computing Beachtung geschenkt werden.

Im diesem Zusammenhang sind insbesondere die Pulsmodulation sowie die Stand-by-Signale vieler drahtloser Technologien zu nennen. Gepulste Strahlung entsteht bei bestimmten Kanalzugriffsverfahren (siehe Abschnitt 6.3.1). Sie wird bereits beim derzeitigen Mobilfunkstandard GSM genutzt und ist kein Spezifikum der Technologien des Pervasive Computing. Typische Puls-Frequenzen liegen in der Größenordnung von 100 Hz (TDD-Modus bei UMTS) bis 1600 Hz (Bluetooth).

Wesentlich niedrigere Frequenzen treten typischerweise im Form von Stand-by-Signalen bei vielen Drahtlosen Technologien auf. In diesem Zusammenhang sind so genannte "always on"-Anwendungen zu nennen, bei denen die Geräte permanent in einem aktiven oder Standby-Modus sind und permanent entsprechende Signale bei niedrigen Frequenzen (wenige Hertz) aussenden. Hier wirkt der Trend zum Pervasive Computing mit seinem Ideal der Kommunikation "anywhere, anytime" verstärkend.

¹¹⁹ Vergleiche beispielsweise das Gutachten des nova-Instituts für Ökologie und Innovation (nova-Institut 2001)

¹²⁰ Vergleiche hierzu beispielsweise Huber et al. (2000).

6.5.8 Vergleich künftige vs. derzeitige Belastungssituation

Die derzeitige Diskussion über mögliche gesundheitliche Wirkungen der mobilen Kommunikation konzentriert sich auf drei Arten von Quellen hochfrequenter Felder (Joss, 2002):

- Quellen vom Typ "Handy": Hierbei handelt es sich um Endgeräte, die sich in geringem Abstand vom Nutzer befinden oder direkt am Körper getragen werden. Es kann sich dabei z.B. um ein Mobilfunktelefon, ein PDA mit W-LAN-Karte oder ein auf dem Bluetooth-Standard basierendes Headset handeln.
- Quellen vom Typ "Sendemast": Diesem Typ gehören die Basisstationen in Mobilfunknetzen an. Sie haben eine hohe durchschnittliche Sendeleistung, aber auch einen hohen Durchschnittsabstand zum Nutzer oder Nichtnutzer.
- Quellen vom Typ "lokale Basisstation": Hier handelt es sich um Basisstationen lokaler Netze wie beispielsweise die ortsfeste Station einer schnurlosen Telefonanlage (DECT etc.) oder den Access Point eines W-LANs.

Die wesentlichen Charakteristika dieser Typen sind in Abbildung 6-5 zusammengestellt.

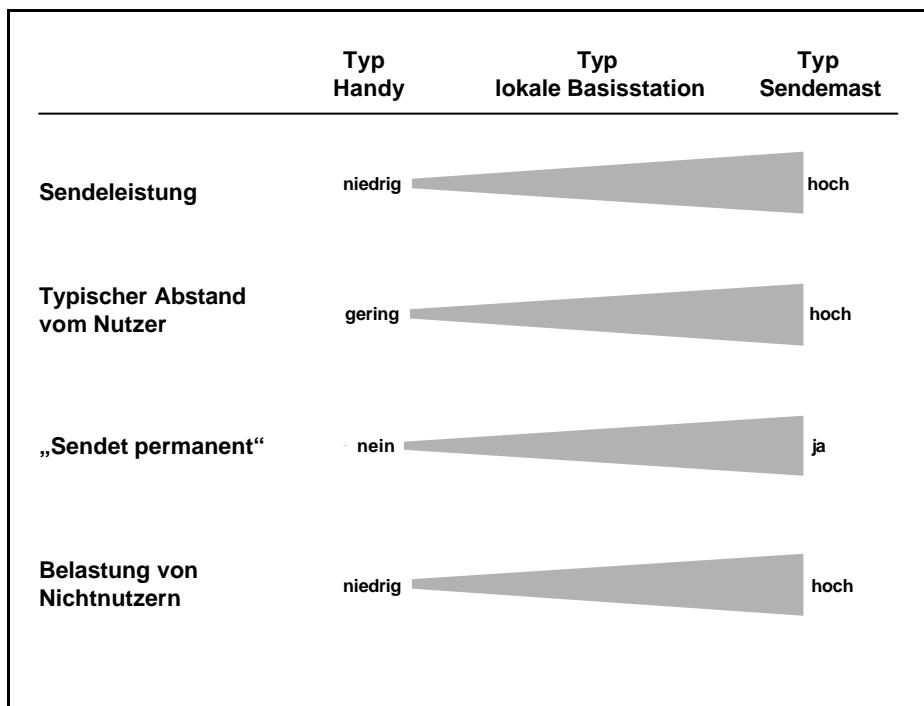
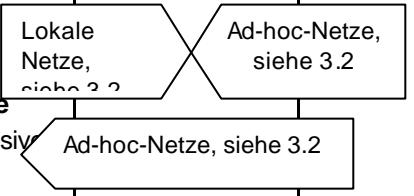


Abbildung 6-5: Typologie der Quellen hochfrequenter Felder (Quelle: IZT)

Diese Quellen-Typologie erscheint geeignet, um die neue Belastungssituation durch Pervasive Computing zu strukturieren und abzuschätzen. Alle Typen werden auch im Pervasive Computing eine Rolle spielen. Zusätzlich kommt ein neuer Typ von Strahlungsquelle hinzu, der bisher fast keine Rolle spielt: "intelligente Gegenstände", die untereinander drahtlos vernetzt sind. Diese Smart Objects kommunizieren autonom und befinden sich dabei nicht unbedingt in der Nähe des menschlichen Körpers. Tabelle 6-2 gibt einen Überblick.

Tabelle 6-2: Effekte des Pervasive Computing nach Quellentypen

	Typ "Handy"	Typ "Sendemast"	Typ "lokale Basisstation"	Typ "intelligenter Gegenstand"
Derzeitige Geräte	Mobiltelefone, Notebooks mit W-LAN-Karte, DECT-Schnurlosetelefone	Basisstationen von Mobilfunknetzen	DECT-Basisstationen, Access Points von W-LAN-Netzen	-
Zu erwartende Zuwachs-effekte durch Pervasive Computing	Stark Starker Zuwachs, da alle mobilen Endgeräte darunter fallen (Smart Phones, Wearables etc.)	Moderat Zuwachs durch zunehmende Bedeutung mobiler Internet-Zugänge. Partielle Substitution durch W-LANs (s.u.).	Stark Zuwachs durch wachsende Bedeutung von W-LANs. Partielle Substitution durch ad-hoc-Netze (s.u.).	Stark Starker Zuwachs aufgrund des Trends zu "Smart Objects" and "ambient intelligence"
Mögliche Substitutionseffekte durch Pervasive Computing	Lokale Netze, siehe 3.2  Ad-hoc-Netze, siehe 3.2	Ad-hoc-Netze, siehe 3.2		

Quelle: IZT

Wie in Tabelle dargestellt, werden sich im Rahmen des Pervasive Computing vor allem Quellen vom "Typ Handy", vom "Typ Smart Object" und vom "Typ lokale Basisstation" einen starken Zuwachs erfahren. Haupttreiber sind hier die Trends der lokalen Drahtlos-Kommunikation sowohl in ad-hoc- als auch in zellulären Netzen und des Vordringens von ICT in Alltagsgegenstände. Allerdings dürfte sich auch die Problematik der Sendemasten etwas verschärfen, da mit der wachsenden Bedeutung mobiler Internet-Zugänge der Datenverkehr in Mobilfunknetzen deutlich zunehmen wird. Dieser Zuwachs wird sich nur teilweise durch W-LANs auffangen lassen.

6.6 Schlussfolgerungen

6.6.1 Schlussfolgerungen zu den 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 geeigneter Materialien entwickelt. Das Risiko einer Fehleinschätzung des toxischen Potentials der verwendeten Materialien wird abnehmen.
- 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.

6.6.2 Schlussfolgerungen zu 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, die im Kapitel 4 dargestellt wurden. Im Folgenden werden daraus Schlussfolgerungen abgeleitet.

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. Die Diffusion dürfte ganz wesentlich auch von technologieexternen Faktoren wie der weiteren Entwicklung der Elektrosmog-Debatte abhängen.

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 zellulären 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.

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 Stand-by-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 Belistungsniveaus erweist als der tatsächliche Durchdringungsgrad des Alltags mit Strahlungsquellen, wie er in den drei Szenarien ("zurückhaltend", "mittel", "Hightech") jeweils zum Ausdruck kommt.

7 Auswirkungen auf die Umwelt

Lorenz Erdmann, Andreas Köhler

Nach einem verbreiteten Schema (vgl. z.B. EITO, 2002; Fichter, 2001; Türk et al., 2002) werden drei Arten von Auswirkungen der ICT auf die Umwelt unterschieden:

- Primäre Effekte: Die Hardware verursacht auf ihrem *Lebensweg* von der Produktion über die Distribution und Nutzung bis zur Entsorgung Umweltbelastungen (auch als "direkte Effekte" bezeichnet).
- Sekundäre Effekte: Die Anwendung von ICT hat Folgen für *andere Prozesse* (z.B. Verkehr), deren Auswirkungen auf die Umwelt sich dadurch positiv oder negativ verändern ("indirekte Effekte").
- Tertiäre Effekte: Verhaltensweisen und Strukturen passen sich an die durch ICT veränderten Bedingungen an (Veränderungen der Konsummuster, neue Formen der Arbeitsorganisation, ökonomischer Strukturwandel, ebenfalls als "indirekte Effekte" oder als "Folgeeffekte" bezeichnet).

Der Rebound-Effekt (vgl. Kapitel 5) gehört zu den tertiären Effekten.

Die primären Umwelteffekte der ICT sind seit einigen Jahren Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (Behrendt, 1998). Wir greifen auf diese Ergebnisse zurück und übertragen sie auf die Szenarien zum Pervasive Computing (PvC), soweit dies möglich ist (Abschnitt 7.1).

Die sekundären Effekte der ICT sind bisher nur punktuell behandelt worden. Dabei ergibt sich ein vielfältiges Bild positiver, neutraler und negativer Umweltwirkungen. Auch über Tertiäreffekte empirische Erkenntnisse nur punktuell vor, etwa über Rebound-Effekte im Verkehrsbereich. Weil Sekundär- und Tertiäreffekte sich bei näherer Betrachtung schwer gegeneinander abgrenzen lassen, behandeln wir sie gemeinsam und strukturieren sie nach Anwendungsbereichen (Abschnitt 7.2).

7.1 Primäreffekte

Die primären Umwelteffekte von Prozessen, Produkten und Dienstleistungen werden in der Regel mit der Methode der Ökobilanzen abgeschätzt (Life Cycle Assessment, LCA). Eine LCA gliedert sich in die Teile *Zieldefinition und Systemgrenzen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Bewertung*.

Die Erstellung einer LCA für Pervasive Computing (PvC) kommt jedoch aus folgenden Gründen nicht in Betracht:

- Die *Querschnittstechnologie ICT* und damit auch ihre zukünftige Anwendungsform PvC umfasst ein breites und dynamisches Spektrum von Technologien und Anwendungen, so dass eine enge Systemabgrenzung, wie sie für eine LCA erforderlich wäre, nicht denkbar ist.
- Die Sachbilanzierung der *Mikrochip-Produktion* mit über 400 Prozessschritten, unterschiedlichen Fertigungstiefen und wechselnden Zulieferern aus aller Welt ist nicht praktikabel und kann nur für sehr genau bestimmte, heute existierende Produkte und unter großem Aufwand vorgenommen werden.
- Die Unsicherheiten des *Nutzungsverhaltens*¹²¹ in der Gebrauchsphase überwiegen aus der Erfahrung mit LCAs zu ICT-Produkten häufig noch die Fehler aus der ungenauen Abbildung der Herstellungsprozesse. Deshalb werden im Elektronikbereich in der Regel nur stark vereinfachte LCAs erstellt (vgl. Stutz, 2000; ZVEI, 2000).

Die primären Umwelteffekte des PvC können deshalb aus praktischen und methodischen Gründen nicht quantitativ abgebildet werden. Durch stark vereinfachte Abschätzungen lassen sich jedoch "Hotspots" der Umweltbelastungen identifizieren.

Grundlage unserer Beurteilung sind vorhandene Ökobilanzen zu einzelnen ICT-Produkten und -Anwendungen. Wir werden im Einzelfall diskutieren, inwieweit die Ergebnisse auf das PvC übertragbar sind.

Im Zentrum der Untersuchung stehen dabei zu erwartende Umweltwirkungen des PvC in der Schweiz und die Gestaltungspotenziale im Sinne des Vorsorgeprinzips.

Abbildung 7-1 zeigt das prinzipielle Schema zur Analyse der primären Umwelteffekte des PvC. Sie resultieren aus Produktion, Distribution, Nutzung und Entsorgung der benötigten Hardware. Zur Hardware zählen insbesondere:

- alle mikroelektronischen Komponenten,
- Weitere Bestandteile der Geräte (Displays, Kabel, Stecker, Gehäuse usw.) und Batterien,
- Infrastruktur (alle zum Betrieb der drahtgebundenen und drahtlosen Netzwerke erforderlichen zusätzlichen Komponenten, einschließlich besonderer Einrichtungen zur Stromversorgung und Kühlung)

¹²¹ Z.B. wie lange Geräte in welchem Betriebszustand genutzt werden, ob Steckernetzteile bei Nichtgebrauch aus der Steckdose gezogen werden usw. Dies sind Aspekte des Nutzungsverhaltens, die die ökologische Lebenswegbilanz eines ICT-Produkts beeinflussen. Hier geht es also um den Einfluss des Verhaltens der Nutzer auf die Technologie und deren Umweltbelastung. Dies ist nicht zu verwechseln mit dem Einfluss der Technologie auf das Verhalten der Benutzer, der zu sekundären und tertiären Umwelteffekten führen kann.

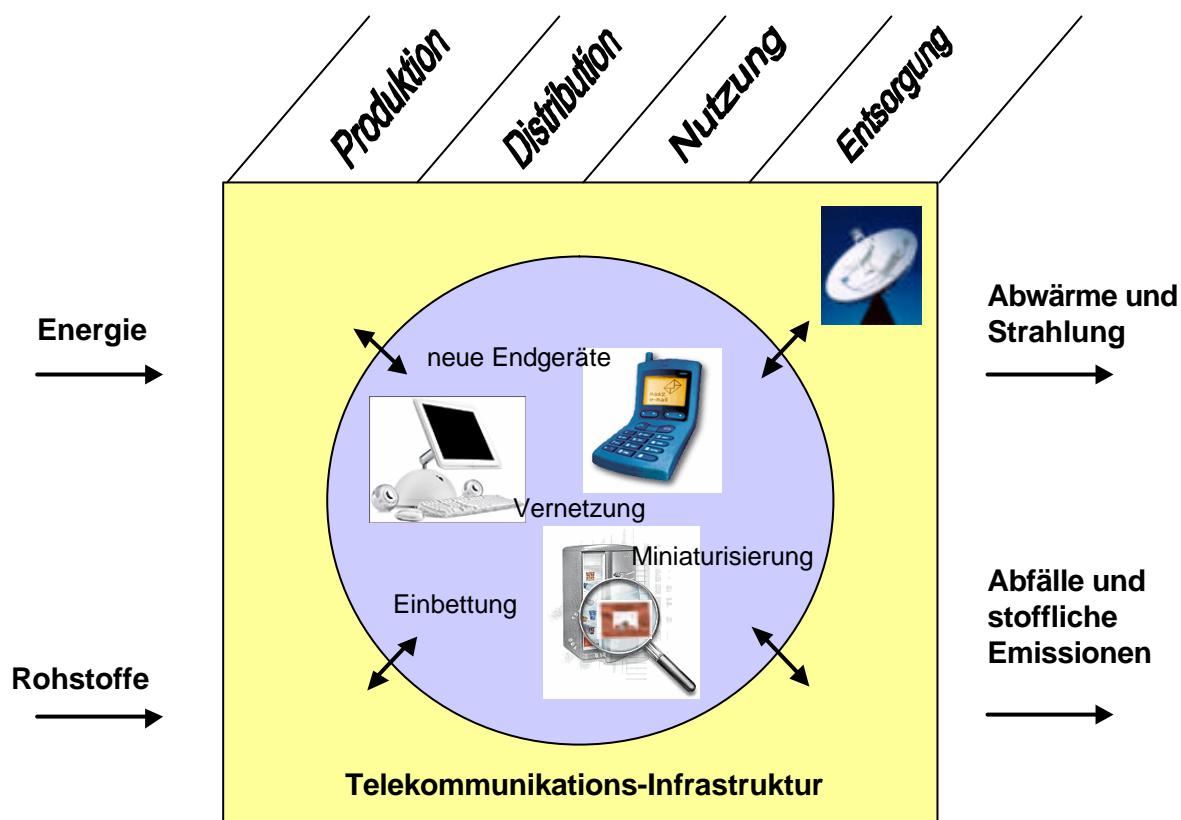


Abbildung 7-1: Schema für die Analyse primärer Umwelteffekte des Pervasive Computing

Die Vision „Pervasive Computing“ bedeutet zunächst einmal eine Ausweitung des ICT-Gebrauchs, so dass mit einer generellen Zunahme der produzierten, genutzten und zu entsorgenden ICT-Komponenten zu rechnen ist. Dem steht die weitere Miniaturisierung gegenüber, die grundsätzlich dazu beitragen könnte, die spezifische Umweltbelastung, also die Belastung pro Leistungseinheit, zu reduzieren. Auch wird die zunehmende Portabilität von Komponenten Anreize zur Minimierung des Energieverbrauchs geben. Aus Gründen, die noch im einzelnen zu erläutern sind, gehen wir jedoch davon aus, dass unter dem Strich eine absolute Zunahme der bekannten primären Umwelteffekte von ICT eintreten wird.

Das bedeutet, dass der Input an Energie und Rohstoffen in das in Abbildung 7-1 gezeigte System zunehmen wird, was einen entsprechenden Zuwachs auf der Outputseite bedeutet (Abwärme, Strahlung, Abfälle und stoffliche Emissionen).

Abwärme ist nur in den Fällen relevant, in denen sie eine aktive Abführung und Kühlung erfordert. Diese trägt zum Energiebedarf bei und wird deshalb unter Energieverbrauch behandelt.

Die Emission elektromagnetischer Strahlung wird in dieser Studie vorwiegend unter dem Aspekt der menschlichen Gesundheit diskutiert (siehe Kapitel 6), Auswirkungen auf die belebte Umwelt (Tiere und Pflanzen) treten demgegenüber in den Hintergrund und werden deshalb hier nicht behandelt.

Die Produktion von ICT-Bauteilen und -Geräten findet ebenso wie die dafür benötigte Rohstoffgewinnung nur in sehr geringem Ausmaß in der Schweiz statt. Da der

Schwerpunkt dieser Untersuchung auf den Handlungsmöglichkeiten in der Schweiz liegt, konzentrieren wir uns daher auf die Nutzungs- und Entsorgungsphase.

Die Distribution spielt im Lebensweg von ICT-Produkten gegenüber den Umweltbelastungen aus Herstellung und Nutzung erfahrungsgemäß eine untergeordnete Rolle (vgl. Behrendt, 1998). Die distributionsbedingten Umweltbelastungen beim PvC dürften ebenso wie die durch Herstellung und Nutzung steigen, allerdings ist zu vermuten, dass sich diese Relationen nicht grundlegend verschieben.

Im Folgenden identifizieren wir die *Hotspots* der primären Umwelteffekte des PvC in drei Schritten:

1. Erstes Screening der ausgewählten Anwendungs- und Technologiefelder (siehe Kapitel 4) im Hinblick auf Materialbedarf, Abfälle, Schadstoffe und Energiebedarf.
2. Abschätzung der Konsequenzen der Miniaturisierung aufgrund bisheriger Erfahrungen der Miniaturisierungstrends im ICT-Bereich.
3. Nähere Analyse der Konsequenzen von PvC für die Bereiche Entsorgung und Energiebedarf durch vertiefte Analysen und exemplarische Modellrechnungen.

Die quantitativen Abschätzungen der nachfolgenden Abschnitte stützen sich auf die Annahmen in den drei Szenarien, die in Kapitel 4 definiert wurden. In Bezug auf die Diffusion des Pervasive Computing wurden für drei Szenarien mit zusätzlichen Annahmen spezifiziert, die in Abschnitt 7.1.7. zusammengestellt sind.

7.1.1 Screening der primären Umwelteffekte von Pervasive Computing

Für die Schweiz steht die Frage nach neuen Aufgaben für die Abfall- und Energiepolitik im Vordergrund. Abfallpolitische Fragen werden durch die Veränderung der Menge und Zusammensetzung des Aufkommens an Elektro- und Elektronik-Altgeräten, der Altautos und der Siedlungsabfälle (Verpackungen, Hausmüll) infolge zunehmender ICT-Einbettung aufgeworfen. In qualitativer Hinsicht ist die Integration von Mikroelektronik und Displays in vormals nicht elektrisch betriebene Gegenstände wie Möbel und Kleidung hervorzuheben. Im Bereich der Etikettierung ist mit einem jährlichen Aufkommen von Milliarden von Smart Labels zu rechnen, wenn sie sich im Lebensmittelbereich durchsetzen.

Energiepolitische Fragen stellen sich angesichts des Strommehrverbrauchs infolge der Vernetzung im Haushalt und intensivierter Gerätenutzung.

In Tabelle 7-1 sind für die einzelnen Anwendungsfelder vermutete Hotspots der primären Umwelteffekte zusammengestellt. Unter Hotspots verstehen wir in diesem Zusammenhang jene Felder, die ein hohes Schadenspotenzial aufweisen und deshalb im Sinne des Vorsorgeprinzips besondere Beobachtung verdienen.

Tabelle 7-1: Screening der primären Umwelteffekte des Pervasive Computing, vermutete Hotspots sind grau hinterlegt.

Anwendungs- oder Technologie-feld (s. Kapitel 4)	Materialbedarf, Abfälle und Schadstoffe	Energiebedarf
Wohnen	zunehmende Einbettung von Mikroelektronik in Elektrohaushaltgeräte und wachsender Bestand von Elektronikgeräten im Haushalt, Entsorgungsprobleme beherrschbar	wachsender Strombedarf durch zunehmende (insbesondere drahtlose) Vernetzung im Haushalt mit weitgehend dauerbetriebener Infrastruktur, nach Verbreitung nur noch geringe Gestaltungsmöglichkeiten
Verkehr	Eintrag von Mikroelektronik und Displays in die Shredder-Leichtfraktion beim Autorecycling, grundsätzlich lösbares Problem	zusätzlicher Strombedarf im Auto, im Vergleich zu Antriebsenergie und Strombedarf von Heizung und Klimaanlage zu vernachlässigen
Arbeit	zunehmende ICT-bedingte Materialströme durch den breiten Einsatz von ICT in völlig neuen Bereichen, z.B. Einbettung in Büromöbel	aufgrund Ubiquität von drahtlos vernetzen Komponenten steigende Anforderungen an die Verfügbarkeit der Infrastruktur, infogedessen Dauerbetrieb und Maßnahmen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung
Medizin	geringe Relevanz im Vergleich zu Gesundheitseffekten	geringe Relevanz im Vergleich zu Gesundheitseffekten
Wearables	Entsorgungsprobleme durch Mikroelektronik und Batterien in Textilien, Schmuckstücken, Kleinstgeräten usw.	geringe Relevanz im Vergleich zum Strombedarf der stationären Infrastruktur (behandelt unter Wohnen und Arbeit)
Medien	wachsende Massenströme durch den breiten Einsatz von ICT in völlig neuen Bereichen, z.B. elektronische Bücher und Zeitungen, allenfalls teilweise durch einen Rückgang des Papierverbrauchs kompensiert	aufgrund Ubiquität von drahtlos vernetzen Komponenten steigende Anforderungen an die Verfügbarkeit der Infrastruktur, infogedessen Dauerbetrieb und Maßnahmen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung
Smart Labels	Eintrag von Mikroelektronik in alle Abfallfraktionen; im Falle von toxischen Inhaltsstoffen sind bestehende Entsorgungskonzepte gefährdet	zunehmender Energieverbrauch durch Lesegeräte, falls diese sich stark ausbreiten und im Dauerbetrieb eingesetzt werden, Relevanz im Vergleich anderen Infrastrukturen des PvC eher gering

Wir werden diese Hotspots in den folgenden Abschnitten näher analysieren. Zuvor folgt jedoch ein Exkurs zu den Folgen der Miniaturisierung für die primären Umwelteffekte.

7.1.2 Exkurs: Entlastet die Miniaturisierung von ICT die Umwelt?

Für die Herstellung eines 32-MB-Speicherchips werden ca. 1.6 Kilogramm Erdöl, 72 Gramm Chemikalien und 27 Kubikmeter Wasser benötigt. Zudem ist ein Energieaufwand von total 41 Megajoule pro Chip erforderlich. Zum Vergleich: während seiner gesamten Gebrauchsphase verbraucht der Chip typischerweise 15 Megajoule Energie. (Williams et al, 2002)

Mit ansteigender Datenübertragungskapazität der Netzwerke bekommt auch die Netzinfrastruktur einschließlich ihrer Hilfseinrichtungen (z.B. Abwärmekühlung) wachsende Bedeutung für die Umweltrelevanz der ICT. Um den Ansprüchen der Funktionssicherheit und Komfort für eine Vielzahl von Anwendungsfällen zu gewährleisten, sind die meisten Geräte mit erheblichen Speicher- und Rechenkapazitäten ausgestattet, die sie im Normalbetrieb allenfalls kurzzeitig benötigen. Da diese brachliegenden Kapazitätsreserven ihren Herstellungsaufwand sehr schlecht amortisieren, tragen Konzepte zu ihrer besseren Auslastung zum Ressourcenschutz bei.

Grundsätzlich könnte man erwarten, dass die Miniaturisierung der ICT – die gleiche Leistung kann mit immer weniger Raum, Material- und Energiebedarf erbracht werden – zu einer Verringerung der ICT-bedingten primären Umweltentlastungen führt. Das so genannte Moore'sche Gesetz (siehe Kapitel 3.1) führt geradezu zu einer Dematerialisierung von integrierten Schaltungen, zu einer Verdoppelung der Effizienz hinsichtlich Raum, Material, Energie und durch die Erhöhung der Schaltgeschwindigkeit auch hinsichtlich Zeit alle 12 Jahre. Auch wenn die Entwicklung nicht hinsichtlich aller genannten Ressourcen gleich schnell voranschreitet und andere Komponenten (wie Sender, Empfänger und Batterien) nicht Schritt halten, so ist dies doch ein rasantes Effizienzwachstum, wie es auf anderen Gebieten kaum vorstellbar wäre.

Die Miniaturisierung in der Mikroelektronik wird vor allem durch die Verkleinerung der Strukturen auf IC-Ebene (Moore's Law) sowie der IC-Gehäuse, Bauelemente und Strukturen im Leiterplattenaufbau angetrieben. Sie ermöglicht eine Verkleinerung elektronischer Produkte, wodurch die Voraussetzungen für leistungsfähige mobile Geräte sowie für die Integration von Mikroelektronik in andere Geräte und Gegenstände geschaffen werden.

In einigen Bereichen liegen Abmessungen aber fest, so dass die Miniaturisierung nicht zu einer absoluten Verkleinerung, sondern eher zur Integration weiterer Funktionen führt, so z.B. beim Fernseher. Bei einigen Produkten führt die Miniaturisierung teilweise zu einer Verkleinerung des Produktes und teilweise zu einer Zunahme der Funktionalität, so bei Notebooks oder Mobiltelefonen.

Insgesamt zeigen die bisherigen Erfahrungen, dass die durch ICT-Produktion, -Nutzung und -Entsorgung verursachten Massen- und Energieströme trotz Miniaturisierung insgesamt nicht abnehmen. Am Ende des Lebensweges, beim Elektronikabfall, ist heute in den Industriestaaten sogar ein steiler Anstieg zu verzeichnen.

Es scheint also einen *Rebound-Effekt* der Miniaturisierung zu geben. Die aufgrund der Miniaturisierung erwartete Reduktion der ICT-bedingten Massen- und Energieströme tritt nicht ein.

Mehrere Gründe tragen dazu bei, dass diese Erwartung sich nicht oder nur in Teilbereichen realisiert:

- Die Umweltbelastung durch die Produktion nimmt mit den Abmessungen der Produkte nicht proportional ab.

- Es werden für neue, „dematerialisierte“ Produkte neue Anwendungsbereiche erschlossen, um immer höhere Stückzahlen zu erreichen; anderenfalls würden sich die hohen Fixkosten der Produktion nicht amortisieren. Die Vision des Pervasive Computing kann insgesamt unter diesem Aspekt gesehen werden.
- Wie sich in 20 Jahren PC-Entwicklung gezeigt hat, führen Effizienzsteigerungen zu höheren Leistungsanforderungen, so dass sich nicht der Ressourcen-Input pro PC reduziert, sondern der Leistungs-Output erhöht. Dies ist ein typischer Rebound-Effekt im oben eingeführten Sinne (Kapitel 5).

Anhand des Technologiewechsels von CRT- zu LCD-Bildschirmen, der Entwicklung des Gewichts von Mobiltelefonen einer Modellrechnung zur Vision der „E-Grains“ werden diese Aussagen illustriert. Anschließend folgt ein Fazit zu diesem Exkurs.

Entwicklung des Massenstroms von Mobiltelefonen

In Abbildung 7-2 ist die mit *Mobiltelefonen* verkauften Materialmasse in der Schweiz dargestellt, basierend auf der amtlichen Fernmeldestatistik des BAKOM und der Gewichtsentwicklung¹²² einer häufigen Mobiltelefon-Marke.

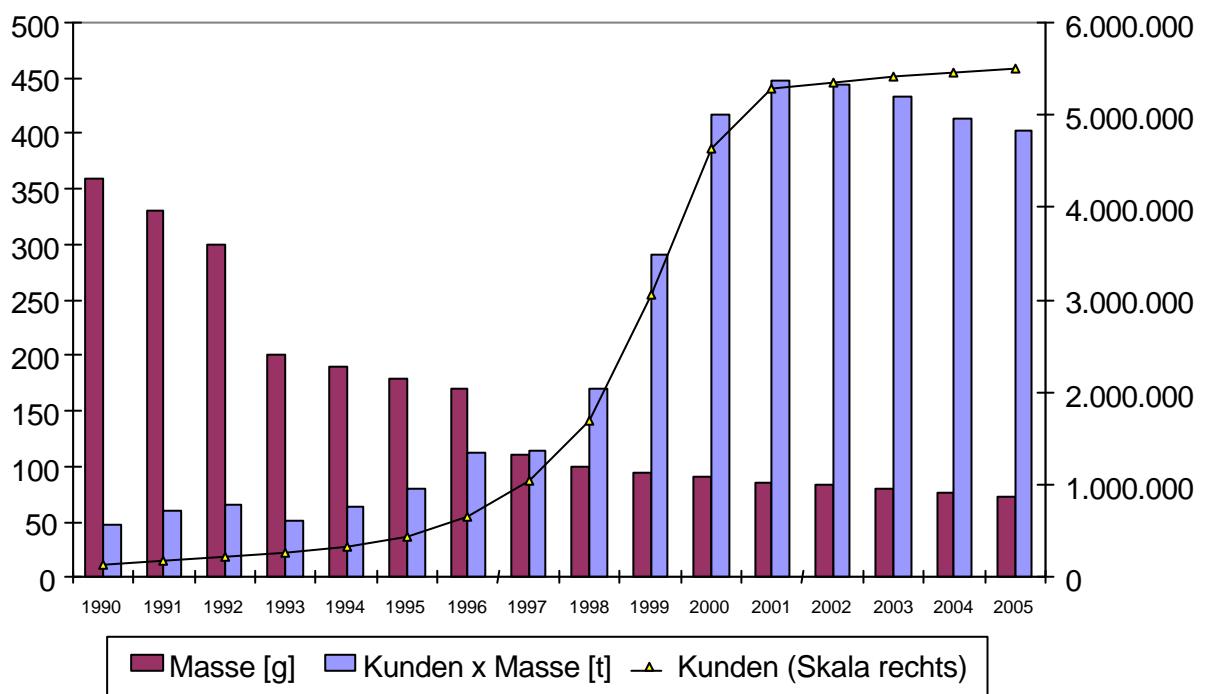


Abbildung 7-2: Entwicklung der in der Schweiz verkauften Mobiltelefone in Anzahl Kunden und physikalischer Masse. Quellen: Kunden: BAKOM (2001a), Mobiltelefongewicht bis 1999: Federico (2001), Mobiltelefongewicht ab 2000 und Kunden ab 2002: eigene Schätzungen

Bei Mobiltelefonen konnte zwischen 1994 und 2000 in der Schweiz ein deutlicher Rebound-Effekt festgestellt werden. Sank das durchschnittliche Stückgewicht etwa um einen Faktor 2, so stieg die gesamte Masse aller verkauften Geräte aufgrund des

¹²² Wir sprechen – physikalisch etwas ungenau – teils von Masse und teils von Gewicht. Eine konsequente Verwendung des Begriffs Masse könnte jedoch zu Missverständnissen wegen Mehrdeutigkeiten führen (z.B. „Massenentwicklung“)

großen Marktwachstums um mehr als einen Faktor 5. Angesichts sich sättigender Märkte und abnehmender Miniaturisierungspotenziale ist für die nähere Zukunft keine große Veränderung mehr zu erwarten, d.h. der Gesamtmassenstrom wird sich auf sehr hohem Niveau stabilisieren (400 – 500 t/a). Es ist zu beachten, dass dieses Niveau um ein Vielfaches höher ist als noch bis Mitte der 90er Jahre, als die Mobiltelefone noch größer und schwerer waren.

Die Stabilisierung auf hohem Niveau gilt jedoch nur für die eingeschränkte Perspektive der Mobiltelefonie. Sobald durch Pervasive Computing neue Endgeräte der Mobilfunknetze in den Markt eintreten, wird ein zusätzlicher Massenstrom entstehen. Wenn sich die Grenzen zwischen den verschiedenen heute gebräuchlichen ICT-Grenzen auflösen und Geräte mit neuen Funktionsbündeln auf den Markt kommen, ist die Entwicklung jedoch schwer vorhersehbar.

Entwicklung des Massenstroms von Computermonitoren

Beim Verkauf von *Desktop-Bildschirmen* ist in der Schweiz eine Sättigung zu beobachten. LCD-Bildschirme ersetzen aber zunehmend die alten CRT-Bildschirme. Laptops bzw. Notebooks sind mit LCD-Displays bestückt. Der Anteil der LCD-Flachbildschirme an der Gesamtmenge der in der Schweiz verkauften Desktop-Bildschirme lag im Jahr 1999 noch bei knapp 21 %, 2001 aber bereits bei 49 % (Suter, 2001). Die Auswirkungen des Technologiewechsels von CRT zu LCD auf die zu entsorgenden Mengen an Bildschirmglas für die Schweiz sind in folgendem Szenario abgeschätzt worden:

Szenario für die Abschätzung des Massenstroms von Computer-Bildschirmen in der Schweiz

- ▶ In einem 15"-LCD-Desktopbildschirm von 6 kg Gewicht befinden sich rund 850 g LCD-Paneel,¹²³ in einem 13,3"-Laptop mit 3 kg Gewicht sind es geschätzte 500 g. Ein 15"-CRT-Desktopbildschirm wiegt rund 10 kg mit einem Glasgehalt von rund 56 % (Eenhorn , 2000).
- ▶ Der Laptop-Markt wächst bis 2012 um 30 000 Stück/a, der Desktop-Bildschirmmarkt um 10 000 Stück/a.
- ▶ Der Anteil von LCD-Flachbildschirmen am gesamten Desktop-Markt wird von den heutigen knapp 50 % im Jahre 2001 bis auf rund 90 % im Jahr 2012 steigen.

¹²³ Sichtfeld wie ein 17" CRT-Bildschirm (Socolof 2001).

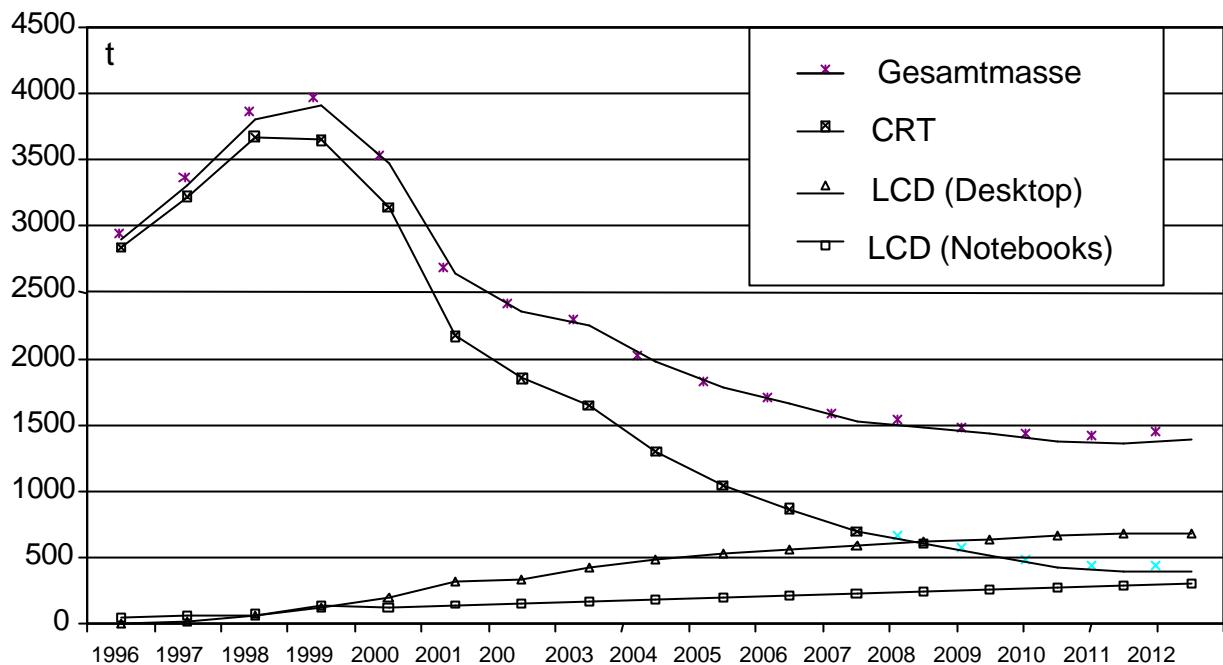


Abbildung 7-3: Entwicklung des Massenstroms der in der Schweiz verkauften Computer-Bildschirmen
(Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Weiss (2002) und Socolof et al. (2002)).

Wie Abbildung 7-3 zeigt, wird trotz der angenommenen hohen Wachstumsraten für LCD-Desktop-Bildschirme die Masse des Bildröhrenglasses für CRT-Bildschirme die der LCD-Bildschirme noch lange übersteigen. Angesichts einer Gebrauchsduer von 3-5 Jahren für Laptops und Desktop-Bildschirme ist um das Jahr 2010 mit einem nennenswerten LCD-Rückfluss in der Größenordnung von 1000 t/a zu rechnen.

Die Vorteile von LCD- gegenüber CRT-Bildschirmen hinsichtlich des Stromverbrauchs und des Abfallaufkommens sind so ausgeprägt, dass in diesem Fall kein Rebound-Effekt zu erwarten ist (Behrendt, 2002). Das bedeutet: Die Effizienzsteigerung bei Bildschirmen hinsichtlich Masse und Energie wird voraussichtlich nicht dazu führen, dass die Nachfrage nach Bildschirmen so stark ansteigt, dass die Umweltentlastung kompensiert wird. Dies liegt zum einen an der Preisrelation zwischen LCD- und CRT-Bildschirmen und daran, dass der Markt für Computerbildschirme schon einigermaßen gesättigt ist, so dass nur eine Substitution stattfindet.

Diese Überlegung gilt wiederum nur die eingeschränkte Perspektive, die diesem Beispiel zugrunde liegt. Es ist bekannt, dass die Hersteller von LCD-Displays in großem Tempo andere Märkte eindringen, z.B. die Kleindisplays in Navigationsgeräten, PDAs, Haushaltgeräte usw., was hier wiederum eine Zuwachs schafft.

Der nächste Entwicklungsschritt dürfte ähnlich verlaufen. Stehen eines Tages OLED-Displays für große Bildschirmdiagonalen zur Verfügung, so sind weitere Effizienzfortschritte, auch im Vergleich zu LCDs, möglich. Die hohen Fixkosten bei kapitalintensiver Produktion zwingen die Hersteller zu einem hohen Produktausstoß. Es werden dann also erneut neue Märkte erschlossen werden, die die abgesetzten Mengen insgesamt ausweiten.

Ein Szenario zur Vision der E-Grains

E-Grains sollen laut einer sehr weitgehenden Vision als "intelligente Wandfarbe" dienen (siehe Abschnitt 3.1). Wir wollen im folgenden Gedankenexperiment zeigen, welche materiellen Konsequenzen diese Vision hätte, wenn man sie wörtlich nimmt.

Szenario E-Grains: ein Gedankenexperiment

- ▶ Hypothetische Annahmen, auf die Schweiz bezogen: 140 000 E-Grains pro Raum (4m * 4m * 2,5m mit 25 E-Grains pro 100 cm²), Speicherkapazität des Raums 18 GBit, maximale Übertragungsleistung 140 W; maximale Leistung im Raum: 2800 W, Gewicht des „Computers“: 10,5 kg, 15 Mio. Räume in der Schweiz (mit 7,5 Mio. Einwohnern und durchschnittlich 2 Räumen pro Person)
- ▶ Für die Sperrsicht in E-Grains gibt es derzeit keine bessere Alternative als Nickel.
- ▶ Daraus ergibt sich eine E-Grain-Masse von 146 000 t mit einem Nickelgehalt von 5500 t. Zum Vergleich: Jährlich fallen in der Schweiz rund 110 000 t Elektronikschrott an. Die Menge würde sich also mehr als verdoppeln.

Das Rechenbeispiel illustriert, dass eine Miniaturisierung bei hoher Mengenausweitung nicht zu einer Materialeinsparung führen muss. Selbst wenn die E-Grains alle Funktionen anderer Elektronikgeräte übernehmen könnten, was sicher nicht der Fall ist, würde sich das Elektronikschrott-Aufkommen mehr als verdoppeln. E-Grains als „Farbe“ könnten außerdem zur einer erheblichen Belastung des Bauschutts führen. Nickel als Allergen und kanzerogener Stoff würde durch diese dissipative Verwendung vermutlich zu einer deutlichen Expositionserhöhung der Menschen führen.

An diesem Beispiel lassen sich außerdem globale Aspekte illustrieren. Die Weltproduktion an Nickel betrug im Jahr 2000 rund 1,2 Mio. Tonnen (U.S. Department of the Interior, 2000). Würden E-Grains zum Standard in den entwickelten Regionen der Erde gehören (Nordamerika, Europäische Union, Japan), so ergäbe sich ein zusätzlicher Nickelbedarf von weit über 500 000 Tonnen. Die Rohstoffversorgung mit exotischen Materialien könnte ein begrenzender Faktor für Pvc werden, wie schon das Beispiel Tantal in den Jahren 1999-2001 gezeigt hat: Nur zwei Konzerne gewinnen in der DR Kongo und Australien das Tantal aus dem Mineral Coltan. Die Knappheit verlangsamte das Wachstum der ICT-Branche z.B. in den Segmenten Mobilfunk und Spielkonsolen erheblich (Horvath 2002).

Übersicht und Fazit: Rebound-Effekte durch Miniaturisierung

Über unsere exemplarischen Abschätzungen hinaus gibt es weitere Aussagen zu Rebound-Effekten durch Miniaturisierung von ICT in der Literatur. Tabelle 7-2 zeigt einen Überblick.

Es wird ersichtlich, dass Miniaturisierung und Systemintegration bei isolierter Betrachtung einzelner Produktgruppen in einigen Fällen zu einer Material- oder Energieeinsparung führen können. Die Miniaturisierungsfortschritte und die Produktionsmengen von Zwischen- und Endprodukten unterliegen einem komplexen Wirkungsgefücht, weshalb eine Angabe von Rebound-Effekten nur für einen bestimmten Zeitraum und ein geografisches Gebiet Sinn macht. Wie am Beispiel der LCD-Displays zu ersehen, kann eine produktsspezifische absolute Materialeinsparung bei

Desktop-Bildschirmen durch andere Anwendungen kompensiert werden. Am Beispiel der Vision E-Grains wurde gezeigt, dass gerade auch extreme Miniaturisierung und Systemintegration nicht zu einer Verringerung der primären Umwelteffekte führen muss.

Tabelle 7-2: Primäre Umwelteffekte durch Miniaturisierung und Systemintegration

	betrachtete Umwelteffekte	Trend infolge Miniaturisierung	Zeit und Ort	Quelle
IC	Umweltbelastung durch Produktion	↗ Zunahme	invariant	Nissen (2001)
Packaging	Toxizität, Energiebedarf für Materialproduktion	↗ Zunahme	1997-2002, global	Nissen (2001)
Bauelemente/ Baugruppen	Toxizität, Energiebedarf für Materialproduktion	spezifische Belastung nimmt ab ¹²⁴	k.A.	Stutz et al. (2000); Nissen (2001)
Computer- Bildschirme	Massenstrom durch Bildschirme mit Bildröhrenglas als Spezialproblem	↗ Zunahme	1996-1999, CH	eigene Berechnung
		↘ Abnahme	2000-2012, CH	
Mobiltelefone	Massenstrom durch Mobiltelefone	↗ Zunahme	1994-2000, CH	eigene Berechnung
		↘ Abnahme	2001-2005, CH	
Vision E-Grain	Massenstrom durch Elektronik mit Nickel als Spezialproblem	↗ Zunahme	> 2012, CH	eigene Berechnung basierend auf Reichl (2001)

7.1.3 Entsorgung von ICT-Abfall

Pervasive Computing wird zu einer Verschärfung der bestehenden ICT-Abfallproblematik in zweierlei Hinsicht führen:

- Steigende ICT-Schrottströme: PC, Mobiltelefon, PDA usw.
- mehr Leiterplatten und Displays aus elektrischen und elektronischen Geräten und Kraftfahrzeugen

Darüber hinaus wirkt sich PvC auch auf andere Abfallströme aus:

- Bisher elektronikfreie Abfallströme erhalten den Charakter von ICT-Abfallströmen.
- Der Eintrag von ICT in Recycling-Verfahren kann Qualitätsprobleme hervorrufen.

¹²⁴ sinkende spezifische Umweltbelastungen der untersuchten Baugruppen, keine absoluten Mengenangaben verfügbar.

Zur Minimierung des Ressourceneinsatzes und des Abfalls gibt es drei produktbezogene Hauptstrategien: Ecodesign, Ökologische Nutzungskonzepte und Recycling. Diese Strategien müssen für PvC neu interpretiert werden. Aufbauend auf den drei Szenarien werden im folgenden Möglichkeiten und Grenzen dieser drei Strategien beleuchtet.

Verschärfung der bestehenden ICT-Abfallprobleme

Durch Zunahme der Anzahl von ICT-Geräten im Bestand und Verringerung der Nutzungsdauer ist mit wachsenden ICT-Abfallströmen zu rechnen. Gestützt auf die Überlegungen des vorausgegangenen Abschnitts 7.1.2 vernachlässigen wir den gegenläufigen Effekt einer Gewichtsreduktion pro Gerät durch die fortschreitende Miniaturisierung. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass im Gesamtrend eine Kompensation dieses Effekts stattfindet, sei es durch Funktionsausweitung oder Erschließung zusätzlicher Anwendungsgebiete (die wir in den folgenden eher konservativen Schätzungen aus diesem Grund nicht berücksichtigen).

Im zurückhaltenden Szenario betrage das Bestandswachstum 10 %, im realistischen Szenario 50 % und im Hightech-Szenario 100 % über den gesamten Zeitraum von 10 Jahren. Zur Abschätzung der Abfallströme wird zudem die Nutzungsdauer in den Szenarien für die einzelnen Produktgruppen variiert.

Tabelle 7-3: Abfallströme infolge wachsenden ICT-Bestandes (ausgewählte Produkte)

Quellen: Bestand 1999: Brunner et al. (2001); Gewicht: Behrendt et al. (1998)
eigene Abschätzungen; Nutzungsdauer: eigene Abschätzungen

	Bestand 1999/2001 [Stück]	Gewicht [kg/Stück]	Nutzungs- dauer [a]	Abfallstrom [t/a]		
				zurück- haltend	mittel	Hightech
PCs (stationär)	3 850 000	11,60	3/2,5/2	14 887	19 650	33 495
Notebooks	850 000	3,00	3/2/1,5	850	1403	2550
Netzteil/-geräte	2 713 300	0,14	5/3/2	76	139	285
CRT/LCD-Display	3 850 000	6,40	5/4/3	4928	6776	12 320
Drucker	2 925 800	7,00	5/4/3	4096	5632	10 240
Fax, Scanner, Multifunktionsgerät	285 000	7,00	5/4/3	399	549	998
Kopierer	220 930	72,00	7/5/3	2272	3500	7953
Mobiltelefone	2 900 000	0,80	3/2/1	773	1276	3480
Cordless Phones	632 900	0,35	5/2/1	44	122	332
Handhelds, PDAs	500 000	0,40	3/2/1,5	67	110	200
Gesamt	19 153 240			28 392	39 157	71 853

Die Abnahme der Nutzungsdauer streckt die Differenzen der Bestände zwischen den Szenarien bei der Abbildung der Abfallströme deutlich, woraus die zentrale Bedeutung der Nutzungsdauer ersichtlich wird. Häufig schließt sich an die erste Nutzungsphase noch eine zweite oder dritte (im Kinderzimmer, Warenlager etc.) an, die zu einem zeitlich verzögerten Rückfluss in die Entsorgungsphase führt.

Die Nutzungsdauer von ICT-Produkten hat bisher vor allem deshalb abgenommen, weil steigende, oft schwer nachzuvollziehende Anforderungen der Software an die Hardware (z.B. MS Windows; MS Office) und neue Speichermedien (z.B. CDs statt Diskette, DVD statt VHS) neue Hardware-Komponenten erfordern. Angesichts des Preisverfalls bei Neugeräten, die zudem leistungsfähiger sind, ziehen es viele Kunden vor, ein Neugerät anzuschaffen statt das Alte aufzurüsten. Der Trend zur Low-Cost-Elektronik hat in einigen Produktgruppen bereits zu geringwertigen und zu Einwegprodukten (Fotokameras, Handys) geführt. PvC wird diesen Trend weiter verstärken.

Potenzielle zur Senkung der Geräteanzahl liegen in der Standardisierung von Schnittstellen (z.B. zu Ladegeräten) und der Unterstützung mehrerer Funkstandards durch ein Endgerät (z.B. UMTS, Bluetooth, W-LAN). Auch durch Multifunktionalität können unter Umständen Neugeräte eingespart werden, z.B. wenn das Handy auch als PDA, Türöffner und TV-Fernbedienung nutzbar ist. Entscheidend ist jedoch, ob die zu ersetzenen Produkte tatsächlich *nicht produziert* werden. Aufgrund der Akteurskonstellation bestehen hier Zweifel, da nicht ein Systemanbieter, sondern mehrere konkurrierende Anbieter optimierte Einzellösungen auf den Markt bringen. Dies dürfte eher zu einer Vielzahl spezialisierter Einzelgeräte (z.B. auch Wearables) führen.

Durch *Sharing* kann die Anzahl in Betrieb befindlicher Geräte reduziert oder – wie beim dezentralisierten Voice Mail Service – "virtualisiert" werden. Die weltweit installierten Computer sind nur in geringem Maße ausgelastet. In ersten Projekten wie z.B. der Primzahlenforschung haben 130 000 Benutzer ihre Computer-Kapazität freiwillig zur Verfügung gestellt (Jain/Wullert, 2002).

Die *Einbettung von ICT-Produkten mit elektrischen Aggregaten Elektrogeräte und Fahrzeuge* führt zu einer Veränderung von deren Entsorgungseigenschaften. Displays halten mit Navigationsgeräten und Bildschirmen für Mitfahrer Einzug in die Automobile der Ober- und Mittelklasse. Gleiches gilt für Bedienungselemente von Haushaltgeräten wie Waschmaschinen, Kühlschränken und Kaffeemaschinen. Die Annahmen zu den Diffusionsgraden in den einzelnen Szenarien sind Abschnitt 7.1.7 zu entnehmen.

Tabelle 7-4: Abfallströme infolge zunehmender Einbettung von ICT in Fahrzeuge und Haushaltgeräte.

	Bestand	Displays [t/a]			Leiterplatten [t/a]		
	Stück	zurück-haltend	realistisch	Hightech	zurück-haltend	realistisch	High-tech
Kraftfahrzeuge							
PKW	3 629 713	14	54	142	166	197	302
Bus	41 342	0	1	3	1	1	2
LKW	285 246	1	1	1	8	9	14
Haushaltgeräte							
Kühl-/Gefriergeräte	4 880 000	2	24	44	98	117	146
Kochherd/Backofen, Mikrowelle	3 120 000	2	16	28	62	75	94
Geschirrspüler	1 210 000	1	6	11	24	29	36
Waschmaschine	1 370 000	1	7	12	27	33	41
Wäschetrockner	720 000	0	4	6	14	17	22
Gesamt		21	113	247	400	478	657

Annahmen über die Integration von Displays in Kraftfahrzeuge und große Haushaltgeräte

- ▶ In einem Navigationsgerät befinden sich 100 g Display, das gleiche Gewicht wird auch für Displays in Haushaltsgroßgeräten angenommen. Bildschirme für Mitfahrer in Pkw werden mit 250g/Bildschirm angesetzt. In Bussen sollen sich je zwei große Bildschirme mit 750 g Display-Gewicht befinden.
- ▶ In einem typischen Kraftfahrzeug befinden sich etwa 500 g Leiterplatten und in Haushaltsgroßgeräten sind es 200 g.
- ▶ Die Nutzungsdauer von Pkws ist mit 12 Jahren, die von Bussen und Lkws mit 20 Jahren und die der Haushaltgeräte mit 10 Jahren angesetzt worden.

Ausgehend vom mittleren und Hightech-Szenario wird die zu entsorgende LCD-/OLED-Menge durch Bildschirme in Kfz sowie Integration von Displays in Haushaltsgroßgeräte um 100-250 t/a steigen. Auch bei Berücksichtigung weiterer Geräte ist in Anbetracht der prognostizierten LCD-Menge aus Computern (rund 1000 t/a) eine eher moderate Verschärfung der Entsorgungsprobleme zu erwarten. Haushaltsgroßgeräte und Kraftfahrzeuge werden in der Regel geshreddert, wobei das LCD- oder OLED-Panel in die Shredder-Leichtfraktion gehen wird. Angesichts der großen Kunststoff-, Glas- und Gummimengen in Kfz dürften diese Displays nicht zu großen zusätzlichen Mengen führen. In qualitativer Hinsicht ist die quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtung von LCDs relevant. Allerdings gibt es hier Bestrebungen, den Quecksilbergehalt zu reduzieren und die Bauteile für die Demontage zu kennzeichnen (Behrendt et al., 2002).

Von den rund zwei Millionen Tonnen Elektronikschrott, die 1998 in Deutschland anfielen, sind 150 000 Tonnen Leiterplatten. Umgerechnet auf die EE-Schrottmenge der Schweiz (110 000 t) beträgt der Leiterplattenanteil rund 8 000 t. Gemäß der Szenarien wird die Leiterplattenmenge aus Haushaltsgroßgeräten und Kraftfahrzeugen

in der Schweiz rund 400-700 t/a – entsprechend rund 0,5 % des Elektronikschrotts – betragen. Eine Demontage von Leiterplatten ist aufwändig. Platinen können bis zu 400 unterschiedliche Werkstoffe enthalten. Dabei sind Wert- und Schadstoffe eng gepackt und vermischt, was eine werkstoffliche Verwertung erschwert.

Aus der Analyse der Mengenströme folgt, dass die größten Aufgaben für die Entsorgung aus der Mengenausweitung von ICT-Produkten und der Nutzungsdauer bestimmt werden. Die Einbettung informationstechnischer Komponenten in langlebige Produkte wie Haushaltsgroßgeräte und Kraftfahrzeuge bewirkt nur dann eine erhebliche Verschärfung der bestehenden Probleme, wenn sie von einer deutlichen Verringerung der Nutzungsdauer begleitet wird. Die geringen absoluten Mengen in der Schweiz erfordern bei einer separaten Sammlung eine effiziente Logistik. Entweder sind Sammel- und Verwertungskonzepte für eine Vielzahl von Geräten in der Schweiz zu bündeln, oder die Schweiz erwägt, an einem europäischen Sammel- und Verwertungsverbund teilzunehmen.

Auswirkungen auf die Siedlungsabfallströme

Durch das PvC wird sich die Zusammensetzung der Siedlungsabfälle verändern. Dies betrifft sowohl den Restmüll (Kehrichtsack) als auch die Bereiche der Getrenntsammlung (Verpackungen, Textilien, Sperrmüll).

Elektronik im Kehrichtsack

Derzeit dürfen elektrische und elektronische Kleingeräte mit weniger als 100 g Gewicht – entspricht in etwa dem Gewicht eines Mobiltelefons – in den *Kehrichtsack* gegeben werden, größere elektrische und elektronische Geräte werden getrennt gesammelt. Im Jahr 2001 wurden rund 88 % Siedlungsabfälle in der Schweiz in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) verbracht, die restlichen 12 % gelangten auf Deponien. Ein weiterer Ausbau der Verbrennungskapazitäten ist zu erwarten. Die Informatisierung von Alltagsgegenständen im Zuge des PvC wird zu einem vermehrten Eintrag von ICT-Komponenten in den Restmüll führen. In qualitativer Hinsicht sind folgende Auswirkungen zu erwarten:

- Die Hintergrundbeleuchtung von LCD-Displays bewirkt u.U. eine Erhöhung der Emissionen an Quecksilber aus KVAs, da es nur unzureichend zurückgehalten wird.
- Der Einsatz halogenhaltiger Flammhemmer kann in Verbindung mit erhöhtem Kupfereintrag (katalytische Wirkung) und chlorhaltigen Kunststoffen zu vermehrter PCDD- und PCDF-Bildung führen, was u.U. eine aufwändige Rauchgasreinigung erforderlich machen könnte.
- Einerseits werden mehr Schwermetalle wie Kupfer, Nickel und Zink in die Schlacke eingetragen, andererseits auch Glas aus LCDs und silikatisches Leiterplattenmaterial. Der Nettoeffekt auf die Zusammensetzung der in der Regel deponierten Schlacke und das Auslaugverhalten lässt sich nicht abschätzen.

Die vergleichsweise geringen additiven Stoffströme durch den Eintrag von ICT im Zuge des PvC lassen nicht erwarten, dass die Kehrichtverbrennung vor grundsätzlich neuen Aufgaben steht. Allerdings sind bei Abschätzungen der Zusammensetzung von Restmüll zukünftig ggf. Korrekturen bezüglich des Elektronikschrottgehaltes vorzunehmen, da ICT zunehmend in Alltagsgegenstände eingebettet ist. Ungeachtet der wahrscheinlich handhabbaren Abfall- und Toxizitätsaufgaben führt der Austrag von

Kupfer und anderen hochwertigen Metallen aus dem Wertstoffkreislauf zu einem Rohstoffverlust, der immer wieder durch Neumaterial ausgeglichen werden muss.

Elektronik in der Getrenntsammlung von Textilien

Durch die Einbettung von ICT in Alltagsgegenstände können sich im Zuge der *Getrenntsammlung* wichtige Auswirkungen ergeben.

- Durch den Eintrag von ICT in das Verpackungs-Recycling (Hohlglas, Papier/Karton/ Verbund, Kunststoffe, z.B. PET, Aluminium und Weißblech) sind bei der stofflichen Verwertung Kollisionen mit Qualitätsanforderungen möglich. (Dieser Aspekt wird im nachfolgenden Abschnitt über Smart Labels behandelt).
- Die Einbettung von Elektronik-Komponenten in andere Gegenstände kann Einschränkungen bei der Wiederverwendung führen. Im folgenden wird anhand des Fallbeispiels i-Wear abgeschätzt, welche neuen Herausforderungen für die Abfallpolitik zu erwarten sind.

In der Schweiz werden jährlich ca. 18 kg Textilien pro Einwohner verkauft, wovon rund 10 kg pro Einwohner auf Kleidung entfallen. Mit 4,4 kg/Person gelangen jährlich 32.000 t Textilien in die Altkleidersammlung und 7 kg/Person werden zusammen mit dem Restmüll entsorgt (BUWAL, 2002). Die Lücke in Höhe von geschätzten 6-7 kg/Person dürfte vor allem auf die Akkumulation im Kleiderschrank und die lange Nutzungsdauer von Textilien wie Gardinen und Teppiche zurückzuführen sein.

Welche Konsequenzen ergeben sich für diese Abfallströme, wenn der Kunde in Zukunft zu i-Wear greift? Derzeit wird ein Drei-Schichten-Konzept für i-Wear entwickelt. Eine Bewegungsschicht erfasst über Sensoren die Bewegungsmuster, eine Akustikschicht liefert über Lautsprecher Informationen und Musik und eine Umgebungsschicht erfasst Lichtverhältnisse, Temperatur und Schall. Die Informationsübertragung erfolgt via Bluetooth, aber auch an Elektroniktextilien, in die Polymerelektronik und leitende Fasern eingewoben sind wird geforscht. An Energieversorgungskonzepten sind Batterien (inkl. Akkus), Solarzelle/Brennstoffzelle bzw. Körperwärme/Bewegungsenergie möglich. Nehmen wir an, dass ein typischer Kunde von i-Wear alle zwei Jahre eine zwei Kilogramm schwere Jacke erwirbt, die Nutzungsdauer der Energieversorgungseinheit betrage ebenfalls zwei Jahre. Bei einer Bevölkerung von 7,3 Mio. Schweizern ergeben sich für die Szenarien die in Tabelle 7-5 aufgeführten Mengenströme:

Tabelle 7-5: Spezifizierung der Szenarien für i-Wear

	zurückhaltend	mittel	Hightech
Diffusionsgrad	1 %	20 %	80 %
Abfall (i-Wear)	73 t 0,01 kg/EW*a	1 500 t 0,21 kg/EW*a	6 000 t 0,82 kg/EW*a
Abfall (Energieversorgung)	36 500 Batterien	730 000 Batterien (max. 25 t), Fotovoltaik, Brennstoffzellen	3 Mio. Batterien (max. 100 t), Fotovoltaik, Brennstoffzellen, Körperenergiewandler

Die 10 g i-Wear-Abfall pro Einwohner und Jahr fallen im zurückhaltenden Szenario im Vergleich zu den 4,4 kg, die in die Altkleidersammlung wandern und den 7 kg, die zusammen mit dem Restmüll entsorgt werden, nicht ins Gewicht. Im mittleren und im

Hightech-Szenario werden allerdings relevante Größenordnungen erreicht. Besonderheiten für die Entsorgung von iWear sind der Hightech-orientierte Nutzerkreis, die vermutlich geringe Nutzungsdauer und die Schadstoffe in der Mikroelektronik.

Ist der Grund für die Ausmusterung der iWear, dass die Elektronik ausfällt oder neuere leistungsfähigere i-Wear angeschafft werden soll, so stellt sich in der Altkleidersammlung die Frage, ob die iWear noch wieder zu verwenden ist. Altkleider werden vorwiegend in Second-Hand-Kaufhäusern verkauft, an sozial Bedürftige ausgegeben oder in Entwicklungsländer exportiert. Es ist äußerst fraglich, ob ausgemusterte iWear vom Kunden oder Empfänger auf Akzeptanz stoßen wird, da die älteren Kunden gegenüber moderner Technik weniger aufgeschlossen sind und jüngere Kunden ein Hightech-Produkt – gemäß ihres Lebensstils – lieber neu erstehen. Eine Aufarbeitung zur Wiederherstellung der Funktionalität scheint aus diesen Gründen wenig plausibel und eine Trennung der „intelligenten“ Komponenten von den anderen Textilien ist mit hohem personellen Aufwand verbunden und dürfte das Kleidungsstück in den meisten Fällen zerstören. Ein Export in Entwicklungsländer wird – abgesehen von anderen Hemmnissen wie z.B. Akzeptanzfragen – die Entsorgungsprobleme lediglich räumlich verlagern.

Der Eintrag von i-Wear in den Restmüll stellt eine zusätzliche Quelle für Schadstoffe in Verbrennungsanlagen und auf Deponien dar. Im Sinne des Vorsorgeprinzips ist ggf. darauf hinzuwirken, dass die elektronischen Bauteile (z.B. Batterien und Lautsprecher) aus i-Wear separiert und bei Werkstoffverbunden massenstromtaugliche Materialien wie ggf. Polytronik verwendet werden. Für die Abfallpolitik stellt sich die Frage, ob i-Wear ein elektronisches Produkt ist oder wie bisher zusammen mit dem Restmüll entsorgt werden kann. Zum Vergleich: Das derzeitige jährliche Elektronikschratt-aufkommen in der Schweiz beträgt rund 110 000 t, entsprechend 15 kg/EW*a. Weniger im mittleren Szenario mit 0,21 kg/EW*a, als vielmehr im Hightech-Szenario mit 0,82 kg/EW*a würde iWear signifikant zum Anwachsen der Elektronikschrattströme beitragen.

Derzeit werden in der Schweiz mit 2332 t rund 67 % des mit dem Batterieabsatz verbundenen Gewichtes separat erfasst und dem Recycling zugeführt. Für Deutschland wird eine Gerätebatteriemenge (inkl. Akkus) in Höhe von einer Milliarde pro Jahr bei einem Gewicht von rund 30 000 t angegeben (Umweltbundesamt, 2001), was einem durchschnittlichen Stückgewicht von 30 g entspricht. Werden ähnliche Verhältnisse in der Schweiz angenommen, ergibt sich durch iWear im mittleren Szenario eine zusätzlich zu entsorgende Batteriemenge in Höhe von knapp 25 t und im Hightech-Szenario in Höhe von etwas weniger als 100 t. Im Vergleich zur gesamten Batteriemenge sind dies keine großen Stoffströme, wohl aber tragen sie im Verbund mit der zunehmenden Verbreitung portabler Endgeräte zum Anwachsen der zu entsorgenden Batteriemenge bei.

Gelingt es nicht, die Energieversorgung von Wearables auf Solarzellen/Brennstoffzellen bzw. Körperwärme/Bewegungsenergie umzustellen, so ist mit einem Anwachsen der Altbatterieströme zu rechnen. Im mittleren Szenario sind dies bis zu 730 000 Batterien/Akkus pro Jahr zusätzlich, im Hightech-Szenario wären es im ungünstigsten Fall fast 3 Millionen. Sollte ähnlich wie bei den Ladegeräten für Mobiltelefone keine Standardisierung gelingen, so wäre mit einer Verschärfung der Abfallprobleme durch Ladegeräte zu rechnen. Neben den Auswirkungen auf die Kapazitäten für das Batterie-Recycling wird hier vor allem der Bedarf signalisiert, regenerative oder körpereigene Energieversorgungskonzepte auch aus abfallpolitischer Motivation zu entwickeln.

Das Fallbeispiel i-Wear verdeutlicht, dass die Einbettung von ICT in zuvor nicht elektrisch betriebene Gegenstände zu einer Veränderung der Abfallströme führen kann. Zwar sind die Abfallmengen im Falle von i-Wear nicht dramatisch, berücksichtigt man die ganze Produktgruppe der Wearables und weitere Produktgruppen wie „intelligente Möbel“, digitale Kugelschreiber und elektronisches Papier, so können sie zusammen zu signifikanten qualitativen Veränderungen der Siedlungsabfallwirtschaft führen.

Sollte sich die Innovationsdynamik der ICT auch auf langlebige Güter wie Büromöbel übertragen, so würden auch die "intelligenten Büromöbel" in die Verbrennung gelangen, wobei eine Entfernung der Elektronik und ein Recycling zu prüfen ist.

Insgesamt ist zu prüfen, für welche Abfallströme eine separate Behandlung sinnvoll ist und ggf. müssen Logistik- und Trennkapazitäten angepasst bzw. aufgebaut werden.

Smart Labels in anderen Wertstoffkreisläufen

Werden Smart Labels auf Produkte aufgebracht, so kann sich dies je nach Produkt und verwendeter Technologie unterschiedlich auf die weiteren Abschnitte des Lebenswegs auswirken.

Smart Labels (RFID-Transponder) basieren i.d.R. auf flexiblen Substratmaterialien wie Polyimid oder Polyester. Die Antennen bestehen aus Kupfer oder Aluminium. Das Standardleiterplattenmaterial FR4 wird meist für die gehäusten Komponenten verwendet. Die Verdünnung des Substrates ist so weit gelungen, dass FR4 als flexibler Werkstoff mit Kupferantenne oder leitfähigen Dickschichtpasten aufgetragen werden kann.

Die kommerziell verfügbaren Chips beruhen vorwiegend auf Siliziumtechnologie. Allerdings gibt es Fortschritte in der Polymerelektronik, wobei die Elektronik wie Farbe direkt auf eine Verpackung gedruckt werden könnte. Derzeit ist noch unklar, ob polymerelektronische Smart Labels ohne Kupferkaschierung realisiert werden. Die elektrische Kontaktierung des Chips erfolgt meist mit Nickel-Bumps, bei flexiblen Low-Cost-Chips sind Klebetechnologien (Ni/Au) vorherrschend. Die Smart Labels der Firma Gemplus (eingesetzt für Einzelhandel, Transport/Logistik, Bibliotheken, Paketdienste und Fluggepäck) haben Abmessungen von rund 50*50 mm und wiegen etwa 0,1 g/Stück. Ein Smart Label für Wäschereien wiegt rund 0,5 g (GEMPLUS, 2002). Der Miniaturisierung sind durch die erforderlichen Sendeleistungen der Antenne Grenzen gesetzt.

Tabelle 7-6 zeigt die Aussagen der Szenarien Smart Labels im Überblick.

Tabelle 7-6: Annahmen zu Smart Labels in den Szenarien

	zurückhaltend	mittel	Hightech
Logistik und Verkehr	Produktion und Distribution Personen- und Zeiterfassung	ÖV-Zahlung Bibliotheken, Videotheken Lokalisierung von Menschen und Gegenständen (Teilbereiche)	Lokalisierung von Menschen und Gegenständen (weite Bereiche)
Verpackungen	Diffusionsgrad 1 %	Diffusionsgrad 20 %	Diffusionsgrad 100 %
Haushalt	Organisation von Tonträgern (~ 200 Stück/ Haushalt)	Informationsträger und Wäschestücke (~ 1000 Stück/ Haushalt)	alle Gegenstände (einige 10 000 Stück/ Haushalt)

Für eine Vielzahl an Einsatzbereichen von Smart Labels (z.B. Produktion und Distribution, Bibliotheken, Videotheken) sind keine sinnvollen Abschätzungen über Stückzahlen möglich. Da es keine generellen Daten über die Anzahl von Gegenständen in der Schweiz gibt, sollen die folgenden Zahlen lediglich illustrieren, dass es mehrere Milliarden für Smart Labels geeignete Gegenstände gibt:

- Jährlich befördert die Schweizerische Post fast 5 Mrd. Sendungen und liefert jedes Jahr rund 500 Millionen Briefmarken aus (Die Schweizerische Post, 2002).
- Nach Angaben des Schweizerischen Verbandes öffentlicher Verkehr (2002) wurden 2001 in der Schweiz über 1,65 Mrd. Personen im öffentlichen Verkehr transportiert (Verband öffentlicher Verkehr, 2001).
- Im mittleren Szenario beläuft sich der Smart Label-Bestand auf Informationsträgern (CDs, MP3, DVD, Video, Bücher) und Wäschestücken auf rund 1000 Stück/Person, wobei pro Jahr etwa 200 Stück mit alten Informationsträgern und Altkleidern ausgemustert werden. Für alle Einwohner der Schweiz beläuft sich dann das Abfallaufkommen an Smart Labels auf rund 1,1 Mrd. Stück/a.
- Im Jahr 2001 wurden in der Schweiz 320 265 t Hohlglas verbraucht und 293 700 t Hohlglas gesammelt (BUWAL, 2002b). Nimmt man pro Glas oder Flasche ein Gewicht von 200 g an, so ergibt sich daraus eine verkaufte Stückzahl in Höhe von 1,6 Mrd. Stück und eine Sammelmenge von 1,46 Mrd. Stück.
- Insgesamt entfällt auf Getränkedosen, Tuben und Tierfutterschalen aus Aluminium eine in Verkehr gebrachte Menge von rund 300 Mio. Stück. Die Rücklaufquoten liegen bei 93 %, 30 % bzw. 65 % (BUWAL, 2002a).
- Von 756 Mio. PET-Flaschen kamen 622 Mio. zurück (Jahr 2000) (BUWAL, 2002e).
- 2001 wurden 17 200 t Weißblech für Konservendosen verbraucht und 12 000 t eingesammelt. Beim typischen Gewicht einer Weißblechdose von 55 g betragen die Stückzahlen 312 Mio. bzw. 218 Mio (BUWAL, 2002d).

Diese rudimentäre Abschätzung ergibt rund 10 Mrd. Einheiten. Unter Berücksichtigung eines Smart-Label-Gewichts von 0,1 g/Stück entspricht dies im Hightech-Szenario einer Masse von 1000 t. Allerdings können Smart Labels auch auf eine Anzahl von Gegenständen gebracht werden, die eine Größenordnung darüber liegt (inkl. Papierverpackungen, Industrie, ...). Dann ergäbe sich eine jährliche Masse von 100 t im zurückhaltenden Szenario, 2000 t im mittleren Szenario und 10 000 t im Hightech-

Szenario. Diese weit auseinander klaffenden Zahlen weisen auf die Notwendigkeit eines Monitoring hin, das auch qualitative Aspekte einbezieht.

Anhand des Fallbeispiels Lebensmittelverpackungen sollen im folgenden etwaige Aufgaben für die Abfallpolitik identifiziert werden.

Fallbeispiel: Smart Labels für Lebensmittelverpackungen

Die häufig zitierte Vision des „intelligenten Kühlschranks“ erfordert den Datenaustausch zwischen Kühlschrank und Lebensmittelverpackungen. Dabei können auch ergänzende Produktinformationen, die auf klassischen Papieretiketten keinen Platz finden, übertragen werden. Darüber hinaus ermöglichen Smart Labels auf Lebensmittelverpackungen einen vollautomatischen Zahlungsverkehr im Supermarkt (kassenloser Supermarkt).

Lebensmittelverpackungen haben eine geringe Nutzungsdauer und werden teilweise nicht über den Hausmüll entsorgt, sondern separat erfasst und recycelt. Hinsichtlich ihres Materials werden die Fraktionen Hohlglas, Papier/Karton/Verbund, Kunststoffe (z.B. PET), Aluminium und Weißblech unterschieden. Wird ein hoher Anteil der Lebensmittelverpackungen mit einem Smart Label versehen, so stellt sich vor allem die Frage nach der Werkstoffverträglichkeit der eingetragenen Stoffe beim Recycling und der Dissipation von Schadstoffen. Je nach Smart-Label-Technologie und etikettiertem Produkt ist diese Frage unterschiedlich zu beantworten.

Es besteht noch wenig Bewusstsein für diese potenziellen Probleme. Das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration hat im Auftrag industrieller Partner erste Abschätzungen zu den Auswirkungen des Eintrags von Smart Labels in Recycling-Kreisläufe gemacht. Diese Ergebnisse sind allerdings der Öffentlichkeit nicht zugänglich.¹²⁵ Die im folgenden getroffenen Einschätzungen sind als erste Hinweise auf möglichen Forschungs- und Handlungsbedarf zu sehen, ohne dass der Anspruch einer validen Beurteilungsgrundlage besteht.

- Glas-Recycling:
Im Jahr 2001 wurden in der Schweiz 320 265 t Hohlglas verbraucht und 293 700 t Hohlglas gesammelt, wovon 34% im Inland zur Produktion von neuen Glasbehältern eingesetzt wurden. Das restliche Altglas in Höhe von 191 000 t wurde entweder exportiert, bei der Herstellung von Baustoffen verwendet oder gemahlen und als Sand- und Kiesersatz in der Bauindustrie eingesetzt. Bestehende Papieretiketten müssen vor dem Eintrag in die Schmelze nicht entfernt werden, da sie bei 1500°C vollständig verbrennen.
- Der in Deutschland zugelassene Wert für Verunreinigungen in Altglas beträgt für Keramik, Steingut, Porzellan 25 g/t und für Nichteisen-Metalle 5 g/t. Bei einem Smart-Label-Gewicht von 0,1 g auf einem 200g-Hohlglas beträgt der Gewichtsanteil 500 g/t. Sollten alle Hohegläser – wie im Hightech-Szenario – mit Smart Labels versehen werden, sind Kollisionen mit derartigen Qualitätsanforderungen nicht auszuschließen, auch beim mittleren Szenario betrüge der Gewichtsanteil rund 100g/t. In Bezug auf die Aufbereitung müsste gewährleistet sein, dass die Smart Labels entfernt werden. Bestehen Chip und Substrat aus organischen Materialien, dürften sie problemlos verbrennen, allerdings besteht die Gefahr des Kupfereintrags in das Glas.

¹²⁵ mündliche Mitteilung Herr Middendorf (FHG-IZM) am 25.10.2002

- Papier-Recycling:

Über die Anzahl an Papier- und Kartonverpackungen können aufgrund der Vielzahl von Papier- und Kartonanwendungen und -größen keine sinnvollen Abschätzungen gemacht werden. Die Sortierung stellt die Qualitätssicherung vor Abgabe des gebrauchten Papiers an den Produzenten dar. Bei der Sortierung von Altpapier und Pappe werden papierfremde Bestandteile sowie unerwünschte Papiere und Pappen abgetrennt. Weitere Fremdstoffe werden im Pulper getrennt und abgeschieden. Der Eintrag von Kupfer durch Büroklammern und Heftzwecken in das Papier-Recycling ist ein bekanntes Problem. Durch die Verwendung von Smart Labels sind bezüglich des Kupfers keine größeren Probleme zu erwarten. Auch das Silizium- oder Polymersubstrat kann im Pulper abgeschieden werden, so dass die Etikettierung von Papier und Karton mit Smart Labels in geringen Mengen voraussichtlich keine neuen Probleme aufwerfen wird.

- Weissblech-Recycling:

Nach Angaben des Informations-Zentrums Weißblech e.V. treten durch Lacke, Compounds und Restanhaltungen, z. B. Reste von Etiketten, keine Probleme beim Recycling auf, wenn die Qualitätsanforderungen der Stahlwerke an den Schrott erfüllt werden.¹²⁶ Dies liegt u. a. daran, dass der Recycling-Prozess bei Temperaturen von rund 1600 °C stattfindet, bei denen Farben und Lacke vollständig verbrennen.

Bei einer Etikettierung mit Smart Labels auf Polymerbasis würden diese weitgehend verbrennen, bei Siliziumsubstrat ist mit einem weitgehenden Eintrag in die Schlacke zu rechnen. Problematisch ist dagegen der Eintrag von Kupfer in das Stahl-Recycling. Die Akkumulation von Kupfer im Stahl durch Altprodukt-Recycling ist allerdings kein Spezifikum des PvC. Angesichts der deutlich höheren Recycling-Menge und Kupfereinträge durch Shredder-Schrott ist zu vermuten, dass sich an der Dominanz dieses Eintragsweges wenig ändern wird.

- Aluminium-Recycling:

Die Trennung von Fremdmaterial beim Aluminium-Recycling erfolgt durch Magnetscheider, Wirbelstromverfahren oder Schwimm-Sink-Prozesse. Beschichtungen werden entweder durch separate Prozesse oder im Schmelzprozess entfernt. Gewöhnliche Papieretiketten verbrennen im Schmelzprozess. Besonders kritisch für das Aluminium-Recycling sind Cu-Anteile im Schrott, jedoch auch Fe, Pb, Sn und Zn dürfen max. 1 % nicht übersteigen. Für das Recycling der Legierungsgruppen ist der unterschiedliche Siliziumanteil ausschlaggebend. Der Siliziumanteil von Knetwerkstoffen liegt zwischen 0,001 % und 0,7 %.

Werden Smart Label auf Silizumbasis eingesetzt, so sind Kollisionen mit den Qualitätsanforderungen möglich. Eine Aluminiumverpackung mit 50 g Gewicht und einem Smart Label von 0,1 g hat einen Fremdstoffgehalt von rund 0,2 %. Auch der Kupferanteil kann zu einer langfristigen Akkumulation im Aluminiumkreislauf beitragen, ohne allerdings für sich gesehen in naher Zukunft problematisch zu sein.

- Kunststoff-Recycling:

Thermoplaste wie PET-Verpackungen werden beim Recycling in einem Temperaturbereich von 150-300°C aufgeschmolzen. Fremdstoffe werden dabei abgesiebt. Bei Smart Labels auf Polymerbasis könnten werkstoffliche Unverträglichkeiten auftreten, bei Siliziumsubstrat ist mit einer Absiebung zu rechnen. Problematisch könnte sich das Aufschmelzen der Lötlösung erweisen, sofern z.B. das

¹²⁶ Mind. 93 % Weißblechverpackungen; andere, für die gleiche Verwertung geeignete Fe-Anteile werden auf die Quote von 93 % bis zu 5 % angerechnet (Informations-Zentrums Weißblech e.V.: Zum Thema: (Informations-Zentrums Weißblech e.V., 2002)

Blei in den Kunststoff gelangt und ggf. mit Metallhöchstmengen (u.a. EU-Verpackungsrichtlinie) kollidiert.

Das Fallbeispiel der Smart Labels auf Lebensmittelverpackungen verdeutlicht die Komplexität stofflicher Wirkungen von Smart Labels in verschiedenen Wertstoffkreisläufen. Je nach Smart-Label-Inhaltsstoffen und Verwertungskreislauf ist die Werkstoffverträglichkeit differenziert einzuschätzen. Als problematisch könnte sich der ubiquitäre Einsatz von Smart Labels dadurch erweisen, dass durch die hohe Entropie die Einträge in Abfallströme quasi irreversibel sind. Angesichts der Kupferakkumulation im Stahl-Recycling sind die Schrottspezifikationen verschärft worden, was zu teilweise aufwändiger vorheriger Trennung kupferhaltiger Bestandteile geführt hat. Angesichts der geringen fein verteilten Mengen an Smart Labels ist eine Abscheidung in einzelnen Verfahren erheblich erschwert.

Fazit zur Entsorgung von ICT-Abfall

Gegenwärtig wird an die möglichen Auswirkungen des Pervasive Computing auf die Abfallwirtschaft noch zu wenig gedacht. Die Effekte lassen sich in Mengenprobleme sowie Erfassungs- und Recycling-Probleme einteilen.

Die Mengenprobleme resultieren aus dem generell wachsendem Computer-Bestand, steigenden Verkaufszahlen von Mobiltelefonen, PDAs und anderen Kleingeräten, der Integration von ICT in zahlreiche Alltagsgegenstände und sinkender Nutzungsdauer einzelner Produktgruppen.

Bedingt durch die Durchdringung potenziell aller Dinge mit stark miniaturisierten Elektronik-Komponenten ist beim PvC die Erfassung der Produkte erschwert. Die Separierung der miniaturisierten Elektronik wird in zahlreichen Fällen auf ökonomische und ökologische Grenzen stoßen, was zwangsläufig zum Eintrag in andere Abfallströme und Wertstoffkreisläufe führen wird. Die Miniaturisierung geht mit geringem Wertstoffgehalt einher, so dass sich ein Recycling kaum lohnt, und die hohe Stoffvielfalt und die Verschmelzung elektronischer Komponenten erschweren ein Recycling auf hoher Wertschöpfungsstufe zusätzlich.

Da die Vision des PvC jedoch noch nicht realisiert ist, bieten sich umfangreiche Gestaltungspotenziale, die durch Berücksichtigung der Umwelteffekte in der Designphase, durch Maßnahmen zur Verlängerung der Nutzungsdauer und durch Anpassung von Recycling-Konzepten proaktiv genutzt werden sollten.

7.1.4 Strombedarf von Endgeräten und "intelligenten Gegenständen"

Für die erwartete große Zahl von Endgeräten und „intelligenten Gegenständen“ in der Vision des PvC stellt sich die Frage nach der Energieversorgung. Dabei können folgende Kategorien unterschieden werden:

- Geräte, die nicht wesentlich anders als heutige digitale Endgeräte (PCs, PDA, Mobiltelefone usw.) betrieben und mit Energie versorgt werden.
- Geräte, die stationär betrieben und sich durch zunehmende Vernetzung zu Endgeräten wandeln („intelligente Haushaltgeräte“), was Konsequenzen für den Energieverbrauch hat (Stand-By-Verluste)
- Wearables und Portables, die im Gegensatz zu heutigen Portables kleiner, leichter und zahlreicher sind und deshalb neue Energieversorgungskonzepte erfordern.
- Komponenten mit geringstem Energiebedarf, die mit passiven Versorgungseinheiten betrieben werden können, wie sie heute bei Smart Labels dominieren.

Einen Spezialfall bilden digitaler Komponenten in *Verkehrsmitteln*. Deren Energiebedarf stellt sich weitgehend unproblematisch dar, da er im Vergleich zur Antriebsenergie und auch zu anderen Stromverbrauchern (Heizung, Kühlung) kaum ins Gewicht fällt und die Komponenten in der Regel über Kabel angeschlossen werden können.¹²⁷

Ein weiterer Spezialfall sind *Implantate*. Sie werden teilweise passiv mit Körperenergie, oder – bei höherem Energiebedarf – mit Spezialbatterien versorgt. Auch Implantate werden hinsichtlich ihres Energiebedarfs nicht ins Gewicht fallen.

Die beiden Spezialfälle werden im folgenden nicht weiter betrachtet.

Strombedarf heutiger digitaler Endgeräte

Beim Betrieb und in der Bereitschaftshaltung digitaler Endgeräte müssen die Rechen- und Speichereinheiten mit Energie versorgt werden. Die entstehende Abwärme kann entweder durch konstruktive Maßnahmen passiv oder durch ebenfalls Strom benötigende Lüftungsräder aktiv abgeführt werden. Wesentliche Einflussgrößen für den Strombedarf sind zudem das werkseitig eingebaute Powermanagement und die tatsächlichen Nutzungsmuster.

Zu den heute auf dem Markt erhältlichen Endgeräten für den Netzzugriff gehören:

- PC in Verbindung mit Modems oder Netzwerkkarten
- Portables: Mobiltelefon und Handheld
- Einbettung von ICT: digitales Fernsehen, Haushaltgeräte und Verkehrsmittel

Bei Desktop-PCs mit CRT-Bildschirm ist in der Regel der Bildschirm der größte Stromverbraucher. Energieeffizientere LCD-Displays und der Einsatz von Energiesparmodi zum einen und steigender Stromverbrauch von Haupt- und Grafikprozessor zum anderen haben die Akzente verschoben. Ein Intel-80486-Prozessor hat eine Leistungsaufnahme von 3 W, ein heutiger Pentium 4-Prozessor dagegen verbraucht rund 65 Watt (Türk et al., 2002).

¹²⁷ Allerdings sind die Anforderungen an eine unterbrechungsfreie Versorgung hier schwerer zu erfüllen als bei stationären Einrichtungen, so dass hier eher die Betriebssicherheit und Verfügbarkeit als der Energieverbrauch problematisch sein könnten.

Ein 19“ IBM G96 CRT-Bildschirm verbraucht im Betrieb 110 W (in Ruhe 11 W), ein äquivalenter 17“ IBM T750 LCD-Bildschirm im Betrieb dagegen nur 45 W (in Ruhe 3 W).

Beträchtliche Stromverluste treten auf, wenn Ladegeräte für Mobiltelefone oder PDAs in der Steckdose verharren. So verbraucht ein Mobiltelefon etwa 6 kJ/Tag durch die Batterie und 110 kJ/Tag, wenn das Ladegerät eingeschaltet ist (Jain/Wullert, 2002). Diese Verbrauchsgröße kann durch geeignete Konstruktion von Akkus und Stecker- netzteilen reduziert werden.

In der öffentlichen Diskussion wird der hohe Energiebedarf für die Kühlung von ICT noch wenig beachtet. Zum einen verbrauchen die Geräte Strom zur Wärmeabfuhr, zum anderen muss bei größeren Geräten die entstandene Wärme in klimatisierten Räumen weiter abgeführt werden. Die Industrie arbeitet an Konzepten für ihre Geräte, die eine erzwungene Kühlung vermindern (z.B. durch Frischluft) bzw. eine Aufstellung dort ermöglichen, wo bestehende Kühleffekte genutzt werden können (z.B. geeignete Stockwerke, Luftströmungen).

Große Einsparpotenziale bestehen in der Wahl der Datenübertragung für ICT-Geräte. So verbraucht ein Bluetooth-fähiges Endgerät deutlich weniger Strom als ein funktionell äquivalentes, das den W-LAN-Standard unterstützt. Ein ökologischer Vergleich der Komponenten eines USB- und eines Bluetooth-Systems auf LCA-Basis hat bezüglich der CO₂-, NO_x-, SO_x- und Methanemissionen zu annähernd gleichen Ergebnissen geführt (Andersson et al., 2000).

Der Trend zu hybriden Netzstrukturen lässt erwarten, dass die Geräte mehrere Standards unterstützen und situativ in W-LANs und Bluetooth-Netzen agieren. Diese vielschichtigen Umwelteffekte werden sich angesichts der hohen Innovationsdynamik und Konkurrenz nur schwer durch staatliches Handeln beeinflussen lassen.

Wie das Internet genutzt wird, hängt stark von den Internet-Zugängen und der Preisgestaltung ab. Nimmt der Kunde Flatrates bei Breitbandanschlüssen in Anspruch, so entfallen Anreize zu energiebewusster Internet-Nutzung. Die Versuchung ist hoch, die zugehörigen Endgeräte dauerhaft eingeschaltet zu lassen, um permanent online zu sein.

Zu den Breitbandanschlüssen zählen all diejenigen Anschlusstechnologien, die eine höhere Datenübertragungsrate als ein Modem über Telefon oder ISDN-Anschluss haben. Sie zeichnen sich durch ständige Bereitschaft aus, ohne dass explizit eine Verbindung zum Internet aufgebaut werden muss. Zu den festnetzgebundenen Breitbandübertragungstechnologien zählen vor allem ADSL und CATV, wohingegen Powerline (Datenübertragung über die Stromleitung) noch ein Nischenmarkt ist und wahrscheinlich auch bleiben wird, da diese Technologie kaum mehr gegen W-LAN und Bluetooth konkurrenzfähig ist.¹²⁸ Breitbandanschlüsse über Glasfaser und Mietleitungen zielen auf Geschäftskunden.

Im drahtlosen Bereich wird UMTS eine flächendeckende Breitbandinfrastruktur bereitstellen, wohingegen mit W-LANs Breitbandinseln gebaut werden können.

Die Zahl der ADSL-Anschlüsse in der Schweiz ist von 5000 (2000) über 80 000 (Ende 2001) auf 95 000 (Mai 2002) gestiegen. Bei CATV-Internet-Kunden erfolgte ein Wachstum von 38 000 (2000) über 100 000 (Ende 2001) bis zu 155 000 (Mai 2002).

¹²⁸ Entgegen einer verbreiteten Auffassung stellt sich auch bei Powerline – nicht nur bei den Funktechnologien – die Frage nach unerwünschter Strahlung, da die nicht abgeschirmten Stromleitungen Hochfrequenzsignale abstrahlen.

Gemäß einer Studie der BAKOM werden sich Breitbanddienste marktgetrieben durchsetzen, es bestehe kein staatlicher Handlungsbedarf (BAKOM2002).

Insgesamt ist angesichts leistungsfähigerer Endgeräte, ihrer Nutzungsintensivierung und ständiger Bereitschaft mit einem Anwachsen des Stromverbrauchs durch Laptops, PCs, Mobiltelefone und Handhelds zu rechnen. Da in der Schweiz diese Geräte nicht produziert werden, liegen politische Gestaltungsmöglichkeiten überwiegend bei der Diffusion energieeffizienter Endgeräte und in der Beeinflussung des Nutzungsverhaltens.

Stand-By-Verluste von Haushaltgeräten

Durch die Vielzahl „intelligenter Haushaltgeräte“ ist in der Summe mit einem signifikanten Mehrverbrauch durch Stand-By-Verluste zu rechnen. Heute verbraucht eine Internet-Schnittstelle in einem Haushaltgerät rund 3 W, durch „switch mode“-Technik können jedoch auch Leistungsaufnahmen von 1 W realisiert werden.

Bindet man z.B. Herd, Kühlschrank, Tiefkühltruhe, Geschirrspülmaschine, Waschmaschine, Wäschetrockner, Dunstabzugshaube, Mikrowelle, Beleuchtung und Umlämppe an das Internet an, so ergibt sich zu heutigen Bedingungen eine zusätzliche konstante Leistungsaufnahme in Höhe von 30 W.

Zwar haben die meisten neuen elektrischen und elektronischen Geräte eine geringere Leistungsaufnahme als der Durchschnitt im Bestand, allerdings gibt es einen gegenläufigen Trend zur höheren Gerätbereitschaft (always on, anytime) und wachsendem Gerätbestand (z.B. durch Zunahme der Haushalte und Ausstattungsgrade).

Der Anteil der Computerisierung an der Energieeffizienz ist nicht feststellbar: Einerseits ermöglicht sie z.B. einen energetisch optimierten Waschvorgang, andererseits kann sie durch Internet-Anbindung zusätzlichen Stromverbrauch verursachen. Eine generelle Aussage zu allen Gerätegruppen ist daher nicht möglich.

In den meisten Gerätelassen gibt es große Spannbreiten bei den Leerlaufverlusten, allerdings treten beim Kauf meist andere Gesichtspunkte wie Preis, Funktionalität, und Design in den Vordergrund. Die Beeinflussung des Nutzungsverhaltens von elektrischen und elektronischen Geräten hat sich als schwierig herausgestellt, weshalb (teil-)automatischen technischen Lösungen der Vorzug zu geben ist.

Zwar gibt es nach wie vor beträchtliche Energieeinsparpotenziale (z.B. bei Stecker-Netzteilen), die Frage der Energieeffizienz kann aber auch weniger als Innovations-, sondern vielmehr als Diffusionsaufgabe verstanden werden (Brunner, 2001).

Insgesamt ist zu befürchten, dass durch das PvC die Standby-Probleme insgesamt verschärft werden.

Spezialfall digitales Fernsehen

Es ist zu erwarten, dass die *Einführung des digitalen Fernsehens* zu einer deutlichen Erhöhung der Standby-Verluste im Haushalt führen wird. In den USA wurden folgende Standby-Leistungen verschiedener Komponenten ermittelt:

Tabelle 7-7: Standby-Leistungen ausgewählter Komponenten im Haushalt.

Quelle: (Meier, 1999) zitiert nach Aebischer/Huser (2000)

Komponenten	Spanne Standby [W]	Mittelwert Standby [W]
Sicherheitssysteme	4-22	14
Digitales Modem	10-14	12
TV-Empfangsbox (analog)	2-18	10,5
TV-Empfangsbox (digital)	19-24	23
Satellitenempfänger	10-19	13
Schnurloses Telefon	1-5	2,5

Die Bandbreite des Stromverbrauchs digitaler TV-Plattformen wird in einer Studie des Wuppertal-Instituts mit 40 W (Business as Usual) und 9 W (Optimierung) angegeben (Langrock et al., 2001). Die Einsparpotenziale können insbesondere durch ein intelligenteres Powermanagement für den Standby- und „Aus“-Zustand erschlossen werden (0-1 W). Dies erfordert jedoch ein gemeinsames und koordiniertes Vorgehen der Industrie und Politik in Europa und weltweit.

Stromversorgung für Wearables und Portables

Reichl (2000) gibt an, dass rund 50 % aller elektronischen Geräte batteriebetrieben sind. Den in den letzten Jahrzehnten exponentiell wachsenden Leistungsfortschritten steht allerdings eine nur lineare Zunahme der Leistungsdichte konventioneller Batterien gegenüber.

Die Forschung steht vor der Aufgabe, autonome Energieversorgungssysteme für Portables und Wearables zu entwickeln, die gleichzeitig hohe Rechenleistung und geringen Energieverbrauch gewährleisten. Entwicklungsziele der Batterieindustrie sind u.a. eine Steigerung der Leistungsdichte um den Faktor 3-5 und die Verringerung der Selbstentladung. Mit Chip-gesteuerten "intelligenten Batterien" können die Lebensdauer verlängert und die Restkapazität exakter bestimmt werden.

Insbesondere bei Lithium-Polymer-Batterien sind große Fortschritte zu verzeichnen. Neben ihrer hohen Energiedichte ermöglichen sie durch ihre Flexibilität auch Folienbatterien für Smart Labels und Smart Cards. Das Potenzial von batteriebetriebenen Smart Cards wird von den Herstellern auf 10-20 % aller Chip-Karten – im Jahr 2000 waren es 3,8 Mrd. Stück weltweit - geschätzt (Reichl, 2000). Auch in Uhren und Gürtel könnten diese flexiblen Batterien integriert werden.

Da herkömmliche Batterien immanente Grenzen haben, wird auch an alternativen Energieversorgungskonzepten geforscht: Solarzellen, Brennstoffzellen, Körperenergie. Ob Photovoltaik und Körperenergie als Energiequellen ausreichen, hängt in hohem Maße von der Reduzierung des Energiebedarfs bei Wearables und Portables ab. Es wird erwartet, dass Mobiltelefone in wenigen Jahren ihren Energiebedarf mit Solarzellen decken können (Reichl, 2000).

Potenziale zur Reduktion des Energiebedarfs von Wearables und Portables liegen auch in der Systemarchitektur und in der Formulierung von Algorithmen für Protokolle (z.B. für Datenindexierung oder drahtlose Datenübertragung).¹²⁹

¹²⁹ Durch Half-duplex-Multiparty-Call kann der Stromverbrauch bei einem Telefongespräch halbiert werden.

Zuverlässige Brennstoffzellen könnten auch hohen Energiebedarf decken, allerdings entfiele dadurch ein wesentlicher Anreiz zur Reduktion des Energieverbrauchs. Forschungsbedarf besteht hier bezüglich der Flexibilität und Kapazitätserhöhung.

Speziell für Wearables könnte die Energie auch durch den menschlichen Körper bereitgestellt werden, wofür vor allem die Bewegungsenergie der Beine und die Körperwärme in Frage kommen. Zur Nutzung der Energie beim Laufen wird an Piezo-Folien gearbeitet und Thermo-Generatoren für kleine Temperaturdifferenzen werden entwickelt. Der Durchbruch von technisch und ökonomisch realisierbaren Varianten steht allerdings – abgesehen von Nischenbeispielen wie die Fernbedienung für das Verschließen von Kraftfahrzeugen – noch bevor (Timmers et al., 2000).

Große Umweltentlastungspotenziale könnten dann erschlossen werden, wenn es gelingt, den Strombedarf zukünftiger Wearables und Portables so weit zu reduzieren, dass eine Stromversorgung durch Wärme- oder Bewegungsenergie des Körpers oder durch Licht erfolgen kann. Auch dann werden sie in vielen Fällen jedoch noch wiederaufladbare Batterien (Akkus) als Energiepuffer benötigen.

Die Verwendung wiederaufladbarer Batterien aus umweltfreundlicheren Materialien wird deshalb ein zentraler Umweltaspekt des PvC sein.

Das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) hat verschiedene Batteriekonzepte für Wearables und Portables anhand des Toxic Potential Indicator (TPI) ihrer Materialien beurteilt (FHG-IZM, 2000). Bei den Primärbatterien schneiden die aufkommenden Lithiumbatterien (Li-MnO_2) insbesondere aufgrund ihres Nickelgehaltes schlechter ab als herkömmliche Zink/Kohle-, Alkali/Mangan- oder Zink/Luft-Batterien. Bei den Sekundärbatterien haben Li-MnO_2 -Batterien deutliche Vorteile bezüglich des TPI im Vergleich zu Nickel/Cadmium- oder Nickel/Wasserstoff-Batterien. Langfristig könnten Brennstoffzellen auf Polymer-Elektrolyt-Membran-Basis eine Alternative zu den bestehenden Batteriekonzepten sein.

7.1.5 Wachsender Strombedarf durch Vernetzung

Das Paradigma „Always on – Anywhere & Anytime“ lässt angesichts des wachsenden Bestands „intelligenter“ Geräte und Produkte und der Ausweitung hybrider Netzstrukturen (UMTS, W-LAN, Bluetooth usw.) steigenden Stromverbrauch im allen Betriebszuständen erwarten.

Abbildung 7-4 zeigt den jährlichen Stromverbrauch von ICT-Geräten in der Schweiz im Jahr 2000. Der Sektor Büro- und Kommunikationsgeräte trägt mit insgesamt 1840 GWh (3,59 %) zum gesamten Elektrizitätsverbrauch in der Schweiz bei. Bezogen auf den Elektrizitätsverbrauch aller EE-Geräte in Höhe von 51 213 GWh (entsprechend 54,42 %) sind dies 6,6 %.

Welche dieser Geräte heute der Vernetzung zuzurechnen sind, ist teilweise eine Frage der Definition. Ein PC kann je nach Nutzung als Internet-Endgerät oder als reines Schreibgerät betrachtet werden. Eindeutig ist die Situation jedoch beim Verbrauch durch Computernetzwerke/Server, der etwa gleich hoch ist wie der Verbrauch durch stationäre PCs. Der Verbrauch durch Netzwerke und Server ist von PvC in der Weise betroffen ist, als der Datendurchsatz stark zunehmen wird. Es ist daher zu vermuten, dass die Netzwerk-Infrastruktur und die Bereitstellung der Inhalte durch Server zu einem großen Posten im Energiebedarf des PvC werden.

Um die Frage des Energiebedarfs näher zu untersuchen, orientieren wir uns an einer Studie über die Vernetzung der Privathaushalte von Aebischer und Huser (2000) und übertragen die Ergebnisse anschließend auf unsere Szenarien.

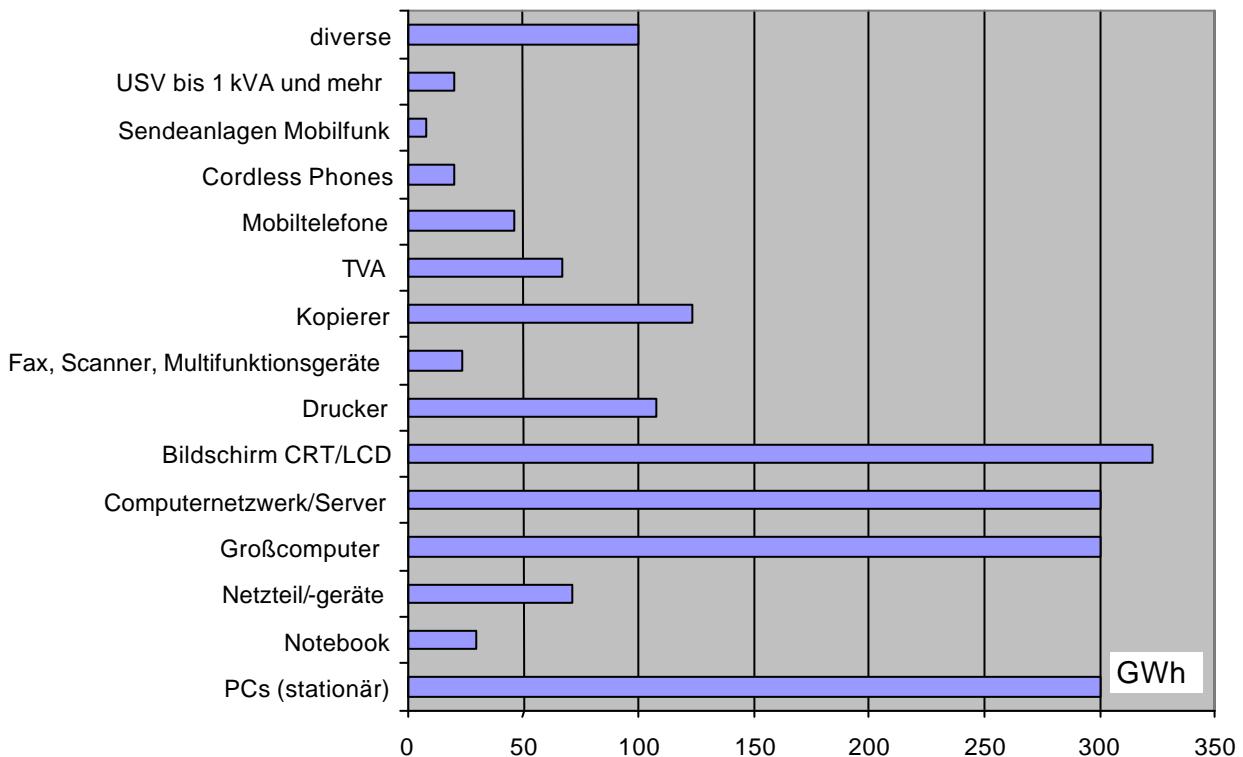


Abbildung 7-4: Jährlicher Stromverbrauch durch ICT-Geräte in der Schweiz für das Jahr 2000.

Quelle: Brunner et al. (2001)

Vernetzung in privaten Haushalten

Die Auswirkungen der Vernetzung im Haushalt auf den Stromverbrauch in der Schweiz sind in einer Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie untersucht worden (Aebischer/Huser, 2000).

Die Vernetzung wird nach Einschätzung der Autoren in den Industrieländern der größte Wachstumsposten beim Stromverbrauch im Haushaltssektor werden. Es wurden drei Varianten der Hausvernetzung untersucht (siehe Tabelle 7-8).

Bei Vernetzung mit dem EIB trägt die Lichtsteuerung den größten Anteil zur Standby-Leistung in Höhe von 20-30 W bei. Multimediadaten können nicht über den EIB übertragen werden, sondern erfordern Ethernet, Koaxialkabel oder Funk. Wird eine Ethernet-Architektur gewählt, so ist pro angeschlossenem Gerät mit zusätzlich 4 W Standby-Leistung zu rechnen. Auch bei der Wahl der Verkabelung gibt es große Unterschiede zwischen einzelnen Varianten. So hat ein Vergleich von Koaxial- und Twisted Pair Kabel zur LAN-Verkabelung ergeben, dass das Twisted Pair Kabel zu um einen Faktor 55 geringeren Umweltbelastungen führt (Brandström, 2000).

In zwei Szenarien ist die *Bandbreite möglicher Entwicklungen* beim Strommehrverbrauch bis 2020 skizziert worden: Die Vision eines vollständig vernetzten Haushaltes als obere Grenze und eine Minimalvariante. Die Simulation ist getrennt für die Anwendungsbereiche Multimedia, Haushaltgroßgeräte und Lichtsteuerung berechnet worden. Der Einsatz zusätzlicher Geräte und vermehrte Geräte- und Anlagen Nutzung wurden berücksichtigt. Es wurde angenommen, dass die Leistungsreduktion durch Zunahme der Dienstleistungen kompensiert wird.

Nicht berücksichtigt wurden die Vernetzung von Haushaltkleingeräten, Sicherheits- und weitere andere Haustechnik, Vernetzung über Powerline und Funk, Strommehrverbrauch durch den Einsatz mobiler Endgeräte. Weil einige dieser Punkte aber gerade bei PvC eine Rolle spielen werden, kann die Studie von Aebischer und Huser (2000) in Bezug auf PvC als *vorsichtige Schätzung* interpretiert werden.

Tabelle 7-8: Standby-Leistung durch die Vernetzung von Haushalten (Quelle: Aebischer/Huser, 2000)

Variante	Eckpunkte	Standby-Leistung
Neues Einfamilien- haus mit EIB	neueste ICT, zwei Geschosse und 6 Zimmer, EIB für Haustechnik, Ethernet für Datenübertragung, Koaxialkabel für Videosignalübertragung, Telefon und Satellitenempfänger	20 W für EIB (Gebäudetechnik) 55 W für Multimedia (Ethernet: 42 W, Fernsehsignalverteilung 13 W)
Ethernet in älterem Haus	Sanierung eines alten Bauernhauses, Twisted Pair Cat.5-Verkabelung, Internet in 9 Zimmern mit 15 Anschlusspunkten,	75 W für Multimedia (PC 30 W, Hub 23 W, ISDN NT 1 W, ISDN Gigaset 3 W, 3 Netzanschlusskarten 6 W, 3 Web-Kameras 6 W, 3 dezentrale Steuerungsgeräte 6 W)
Modellhaushalt EIB-Bus	14 Räume, Haus und Haushaltgeräte vollständig vernetzt über EIB	30 W für EIB (Gebäudetechnik (Licht, Stores, Sicherheit))

Tabelle 7-9: Strommehrverbrauch pro vernetztem Haushalt und Jahr infolge Vernetzung
 Quelle: Aebischer/Huser (2000)

	Stromverbrauch pro Haushalt (2000)	Stromverbrauch pro Haushalt (2012)	Stromverbrauch pro Haushalt (2020)
Multimedia ¹³⁰	323-727 kWh	605-1127 kWh	811-1393 kWh
Haushaltgroßgeräte ¹³¹	489-708 kWh	564-783 kWh	615-834 kWh
Lichtsteuerung ¹³²	57-328 kWh	57-328 kWh	57-328 kWh
Gesamt (Durchschnitt) ¹³³	926 kWh	1680 kWh	2175 kWh

Die Obergrenze des Stromverbrauchs für die Vernetzung im Haushalt für das Jahr 2000 beträgt mit fast 1000 kWh zwischen 20-25 % des heutigen Verbrauchs. Bis 2020 steigt dieser Wert um mehr als das Doppelte.

Anschließend wurden die Auswirkungen auf den Stromverbrauch in der Schweiz, spezifiziert nach Einfamilien- und Mehrfamilienhaus, sowie nach Diffusionsraten, Sättigungsgraden und Diffusionszeit, abgeschätzt. Demnach sind im Jahr 2020 alle Haushalte in Ein- und Zweifamilienhäusern multimedial vollständig vernetzt, bei Haushaltgroßgeräten ist der Sättigungsgrad von 100 % (EFH) bzw. 80 % (MFH) aufgrund der längeren Nutzungsdauer erst um 2040 erreicht. Für die Lichtsteuerung wird von deutlich geringerer Sättigung ausgegangen (Aebischer/Huser, 2000). Im Jahr 2020 soll der Mehrverbrauch nach dieser Modellrechnung 5000 GWh/a – also über 30 % mehr als der derzeitige Stromverbrauch in Höhe von rund 15 000 GWh – betragen. Die durchschnittliche jährliche Zuwachsrate liegt bei 1,3 %, wobei der Anteil des Stromverbrauches im Standby- und „Aus“-Zustand rund $\frac{1}{4}$ beträgt.

Übertragung der Ergebnisse von Aebischer/Huser auf die drei Szenarien des Pervasive Computing

Da der Diffusionsgrad der oberen Variante (voll vernetztes Haus) linear von 0 % auf 100 % gesteigert worden ist, lässt sich für die drei Szenarien des PvC für 2012 der Strommehrverbrauch grob abschätzen, wenn man annimmt, dass nicht die zeitliche Dynamik, sondern die Induktionseffekte (neue Geräte, Änderung des Nutzungsverhaltens) ausschlaggebend für das Gesamtergebnis sind. Durch die Transformation der zeitlichen Perspektive in Diffusionsgrade lassen sich für das zurückhaltende, das realistische und das Hightech-Szenario die Strommehrverbräuche berechnen: Im zurückhaltenden Szenario (Diffusionsgrad EFH/MFH ca. 10 %) beträgt der Strommehrverbrauch jährlich rund 250 GWh, im mittleren Szenario (Diffusionsgrad EFH/MFH ca. 30 %) rund 1000 GWh. Sollte sich das Smart Home gemäß Hightech-Szenario breit durchsetzen (Diffusionsgrad EFH 90 %, MFH 70 %), so sind bis zu rund 3000 GWh Erhöhung des jährlichen Stromverbrauches der Schweizer Privathaushalte zu erwarten.

¹³⁰ Die Bandbreiten resultieren aus unterschiedlichen Annahmen über Zusatzausstattungen, Standby-, „Aus“- und Betriebsleistung sowie Nutzungsdauer

¹³¹ Die Bandbreiten röhren vorwiegend von der Variante leistungsfähiger Breitband-Gateway her.

¹³² Die Bandbreiten sind in der Ausstattung der Räume und der Standby-Leistung begründet.

¹³³ Gewisse Komponenten werden für die drei Anwendungen gemeinsam genutzt, deshalb liegt der Gesamtverbrauch unter der Summe der Teilverbräuche.

Gestaltungspotenziale

Die wichtigsten technischen Maßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauches sind (Aebischer/Huser, 2000):

- Minimierung des Einsatzes von Netzteilen durch zentrale Stromversorgung über den Kommunikationsbus (EIB, USB)
- Verwendung separater und angepasster Netzteile für zusätzliche Kommunikationskomponenten in Haushaltsgroßgeräten und Unterhaltungselektronik
- Einsatz hochfrequenter Schaltnetzteile mit hohem Wirkungsgrad und geringen Standby-Verlusten (unter 0,25 W)

Die Auswirkungen auf den Energieverbrauch außerhalb des Hauses (Sekundäreffekte) sind für die Beispiele E-Commerce und Telearbeit ebenfalls abgeschätzt worden. Die erwarteten Einsparungen liegen jedoch um mindestens eine Größenordnung unter dem maximalen Strommehrverbrauch im Haushalt.

Fazit

Die lokale Vernetzung im Haushalt, wie sie für Pervasive Computing benötigt wird, kann in der Schweiz zu einem jährlichen Mehrverbrauch an elektrischer Energie in der Größenordnung von 1000 GWh führen (mittleres Szenario).

Ein wesentlicher Einflussfaktor ist, ob die PvC-Komponenten ständig „online“ sind, oder ob sie nur unter bestimmten Nutzungsanforderungen zeitlich begrenzt aktiv werden. Während bei mobilen Komponenten ein Anreiz zu höchster Energieeffizienz gegeben ist und sich möglicherweise auch alternative Versorgungskonzepte etablieren werden, besteht bei der stationären Infrastruktur und vernetzen Haushaltgeräten das Risiko, dass sich ineffiziente Konzepte der Energienutzung weiterhin ausbreiten.

7.1.6 Das Backbone im Pervasive Computing

Die lokalen Netze des PvC sind in die schweizerischen, europäischen und weltumspannenden Informations- und Kommunikationsnetze eingebunden. Es ist zu erwarten, dass sich das Internet als Leitmedium herausbildet und neue Geräte so konstruiert werden, dass sie die Internet-Standards unterstützen. In Bezug auf die primären Umwelteffekte des PvC sind insbesondere die intensivierte Nutzung des Internet-Backbones und der Aufbau neuer Mobilfunknetze und Internet-Infrastrukturen von Interesse.

Gestaltungspotenziale im Sinne des Vorsorgeprinzips sind deshalb vorwiegend bei der Internet- und Mobilfunkinfrastruktur zu vermuten. Grundsätzlich könnten auch das Digitale Radio (DAB) und Fernsehen (DVB-T) im PvC eine Rolle spielen. Die bestehende Infrastruktur kann jedoch mit vergleichsweise geringem materiellen Zusatzaufwand weiter genutzt werden.

Nach Angaben des BAKOM (2003b) eröffnet DVB-T nicht nur die Möglichkeit für bessere Empfangsqualität und -komfort, sondern auch für neue Dienste, wie vertiefende programmbegleitende Zusatzinformationen oder interaktive Dienste, Spiele etc. Das Content-Angebot beim digitalen Radio DAB umfasst neben dem Audio auch programmbezogene Daten (z.B. sichtbare Programmteile in Form von Text), programmunabhängige Datendienste (z.B. Verkehrsleitsysteme, elektronische Zeitungen, Tourismusinformationen oder Wetterberichte) sowie Interaktion. DAB ist allerdings

nicht rückkanaltauglich (BAKOM, 2003c). Über andere Telekommunikationsnetze (Telefon-Festnetz, GSM- und UMTS-Netze, CATV usw.) kann die Interaktivität jedoch leicht hergestellt werden, wenn die Empfangsgeräte entsprechend ausgerüstet sind.

In den USA, Japan und zunehmend auch in Deutschland wird der Anteil des Internets und anderer Kommunikationsnetze am volkswirtschaftlichen Stromverbrauch intensiv und kontrovers diskutiert. Ein relevanter Verbrauch entfällt auf die Desktop-PCs mit ihren Bildschirmen sowie den Betrieb des Fest- und Mobilfunknetzes. Auch Call Center und „Internet Hotels“ sind signifikante Energieverbraucher, wenn der Energieverbrauch von Klimaanlagen mit berücksichtigt wird.

- Gemäß einer Studie von Arthur D. Little wird der Stromverbrauch aller kommerziellen Büro- und Telekommunikationsausrüstung in den USA von knapp 3 % des Stromverbrauchs im Jahr 2001 bis 2010 auf nicht mehr als 4% steigen. Wenn sich „grüne“ Praxis durchsetzt, ist bis 2010 sogar eine Reduktion auf 2 % möglich (Little, 2001).
- Für Deutschland reichen die Schätzungen und Prognosen von knapp 1 % des gesamten Stromverbrauchs bis hin zu rund 6 % im Jahre 2010. Bei Mobilisierung der Einsparpotenziale könnte dieser Wert jedoch auf 13 % reduziert werden (Langrock et al., 2001).

Eine Variation der Backbone-bedingten Umweltbelastungen in den Szenarien unterbleibt angesichts der unzureichenden Datenbasis. Auch ohne auf valide Daten zurückgreifen zu können, bietet das Backbone im PvC einige Ansatzpunkte für die Minimierung primärer Umwelteffekte.

Ausbau und Nutzungsintensivierung der Internet-Infrastruktur

Die intensivierte Nutzung internetfähiger Endgeräte im Zuge des PvC lässt einen erhöhten Datendurchsatz durch das Internet-Backbone erwarten. Zwar gibt es bei den weltumspannenden Glasfaserkabeln Überkapazitäten, aber die ehrgeizigen Pläne der Schweiz auf dem Weg zur Informationsgesellschaft werden den weiteren Ausbau infrastruktureller Einrichtungen in der Schweiz erfordern. Zur Versorgung der im vorigen Kapitel erwähnten internetfähigen Endgeräte sind folgende infrastrukturellen Einrichtungen erforderlich (vgl. Türk et al., 2002):

- **Server:** WWW-, File-Transfer-, Mail- und andere Server können entweder als einzelne Geräte oder als Partitionen auf größeren Rechnern realisiert werden. Zum Betrieb von Serverfarmen sind aufwändige Klimatisierungseinrichtungen und Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (z.B. Back-up Akkumulatoren) erforderlich.
- **Vermittlungsgeräte:** Über Router, Gateways, Repeaters und Switches werden Client und Server miteinander verbunden. Da sich die Vermittlungsgeräte an den Knotenpunkten des weltumspannenden Internets befinden, gibt es davon deutlich weniger als Server und Endgeräte.
- **Datenübertragung:** Die Daten werden leitungsgebunden oder per Funk zwischen den Verteilungszentren (Hubs) übertragen. Aufgrund ihrer hohen Übertragungsraten im Vergleich zu Kupferkabeln dominieren im Fernbereich Glasfaserkabel. Auch per Richtfunk oder Satellit können beträchtliche Datenmengen übertragen werden.

Server und Vermittlungsgeräte sind häufig in so genannten Telehäusern bzw. Colocation-Centers untergebracht. Der hohe Strombedarf hat zum Bau neuer Kraftwerks-

kapazitäten geführt (vgl. Amsterdam, Frankfurt). Zum anderen können durch aktive Standortpolitik auch bestehende Anschluss- und Kraftwerkskapazitäten besser ausgelastet werden. Gemäß des Prinzips „Bring the Fiber to the Power“ siedelt sich die New Economy teilweise dort an, wo die Old Economy gewichen ist (Knolmayer/Scheidegger, 2001). Große Einsparpotenziale beim Energieverbrauch von Telehäusern gibt es im Bereich der Kühltechnik und der Standortwahl (Minimierung von Übertragungsverlusten und Wahl von Standorten in kälteren Regionen).

In der Infrastruktur des Internets sind große Materialmengen gebunden. Bei Übertragungssatelliten stehen Fragen des Weltraummülls (Kollisionen, Plutonium-Antriebe) im Vordergrund. Parallel zu GPS soll mit Galileo ein weiteres Ortungssystem aufgebaut werden. Die 30 Satelliten sollen 2008 ihren Dienst vollständig aufgenommen haben (Roth, 2002).

Im letzten Jahrhundert ist der Materialgehalt für Fernkabel um einen Faktor 10 pro Dekade gesunken. Glasfaserkabel benötigen bei deutlich höheren Übertragungsraten eine geringere Materialmenge. Bei Schaltsystemen soll die Größe bei gleicher Funktionalität durch Nanotechnologie und mikroelektromechanische Systeme um einen Faktor 4 gesenkt werden (GeSI, 2002).

Aufbau neuer Mobilfunknetze

Die Zahl der Mobilfunkteilnehmer hat in der Schweiz in den Jahren 1998-2000 nahezu exponentiell zugenommen. Seither ist eine gewisse Sättigung zu beobachten. Parallel zu den Standards GSM und GRPS werden derzeit Mobilfunknetze der 3. Generation aufgebaut. Diese vorübergehende Koexistenz zeigt sich beispielsweise an der gemeinsamen Nutzung von Basisstationen.

Die mobilen Endgeräte können teilweise aber auch in ad-hoc-Netzwerken genutzt werden. Eine wachsende Anzahl neuer Handys unterstützt auch die Standards Bluetooth, W-LAN und USB. Die Nutzung dieser freien Frequenzbänder konkurriert teilweise mit den Diensten der Mobilfunkanbieter, die auf die hierarchische Netzstruktur der UMTS-Netzwerke zurückgreifen.

Der Aufbau der UMTS-Netze induziert beträchtliche Stoffströme in Form von Basisstationen und Antennen. Erste LCA-ähnliche Abschätzungen werden in laufenden Forschungsvorhaben unternommen, valide Ergebnisse stehen allerdings noch aus (Malmodin et al., 2002; Frischknecht, 2000).

Die Materialintensität der Mobilfunkinfrastruktur des GSM-Netzes in Italien beläuft sich auf 133,85 kg/Benutzer, wohingegen der ökologische Rucksack eines T28 Ericsson Mobiltelefons bei 75,5 kg liegt (Federico, 2001).

Der Energiebedarf des Mobilfunks der ersten Generation setzte sich zu 90 Anteilen aus dem Betrieb der Infrastruktur und 10 Anteilen aus dem Betrieb der Endgeräte zusammen (Schaefer/Weber, 2000).

Allein der Stromverbrauch der Deutschen Telekom beträgt mit 2,4 TWh etwa 0,5 % des nationalen Stromverbrauchs. Das Unternehmen hat u.a. Energieeinsparziele als Kostenposten ihrer „Management Score Card“ eingeführt. UMTS-Basisstationen haben durch reduzierte Sendeleistung zwar im Vergleich zu den bestehenden GSM-Basisstationen einen um 35 % verminderten Strombedarf, der Aufbau einer erweiterten Infrastruktur und die aufgrund von PvC ansteigenden Datenübertragungsmengen lassen den Nettoeffekt jedoch im Dunkeln.

Eine der Schlüsselstrategien zur Umweltentlastung durch das PvC ist das Ecodesign. Da die UMTS-Netzwerke noch aufgebaut werden, bieten sich hier – auch ohne detaillierte Ökobilanzdaten – Potenziale für die Anwendung des Vorsorgeprinzips.

Die im Juni 2001 konstituierte „Global e-Sustainability Initiative“ vereinigt Mitglieder aus den Bereichen Telekommunikationsinfrastruktur (u.a. Cable & Wireless), -endgeräte (u.a. Ericsson) und –dienstleistungen (u.a. Deutsche Telekom) als auch die unterstützenden Organisationen United Nations Environmental Programme (UNEP) und die International Telecommunication Union (ITU). Zentrale Ziele sind laut Satzung u.a. die schrittweise Annahme einer Sozialverantwortlichkeits-Agenda für Unternehmen, beginnend mit Umweltfragen sowie die Verbesserung von Umweltmanagement und -entwicklung und das Teilen von „Best Practices“.

Als vordringliche Aufgaben für das Arbeitsprogramm werden die Ausweitung der Reichweite (innerhalb der Unternehmen, Beteiligung anderer Großunternehmen der Branche, Entwicklungsländer), die Verknüpfung mit bestehenden regionalen Arbeiten und die Gründung einer „Working Group on IT and the Environment“ genannt. Auf dem Weltgipfel zur nachhaltigen Entwicklung 2002 in Johannesburg wurde ein Report vorgelegt, der den Beitrag der Branche zur Umsetzung der Agenda 21 darstellt (GeSI, 2002).

Im Rahmen des Projektes „Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik“ der Deutschen Bundesregierung ist eine Roadmap für das Thema *Mobilfunk der 3. Generation* entworfen worden, die wichtige Gestaltungsspielräume in Form von Zielen und Maßnahmen für die Systemtechnik und Endgeräte auszuschöpfen versucht. Aufbauend auf Analysen der Ist-Situation und von Trends sowie normativen Szenarien sind die Gestaltungsspielräume identifiziert worden.

Beteilt sind an diesem Projekt die Firmen T-Mobile, Siemens AG, Alcatel SEL AG, Lucent Technologies, Motorola und Nokia, die Nichtregierungsorganisation Deutsche Umwelthilfe und das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (Griese et al., 2002).

Die in Abbildung 7-5 dargestellten Gestaltungsziele sind mit Maßnahmen untersetzt worden. Dazu gehören insbesondere Maßnahmen zu bedarfsgerechter Kühlung (u.a. Erhöhung der Schwellentemperatur auf 27 °C, Temperaturregelung optimiert nach Zuverlässigkeitsanforderungen, neue Wärmeabführungskonzepte) und zum bedarfsgerechten Betrieb (u.a. Bedarfsgerechte Abschaltung zur Reduzierung der Standby-Verluste, Online-Energie-Management, Personalschulung) der Basisstationen versprechen für Deutschland Energieeinsparpotenziale in Höhe von 400 GWh pro Jahr, die u.a. durch ein Benchmarking identifiziert worden sind:

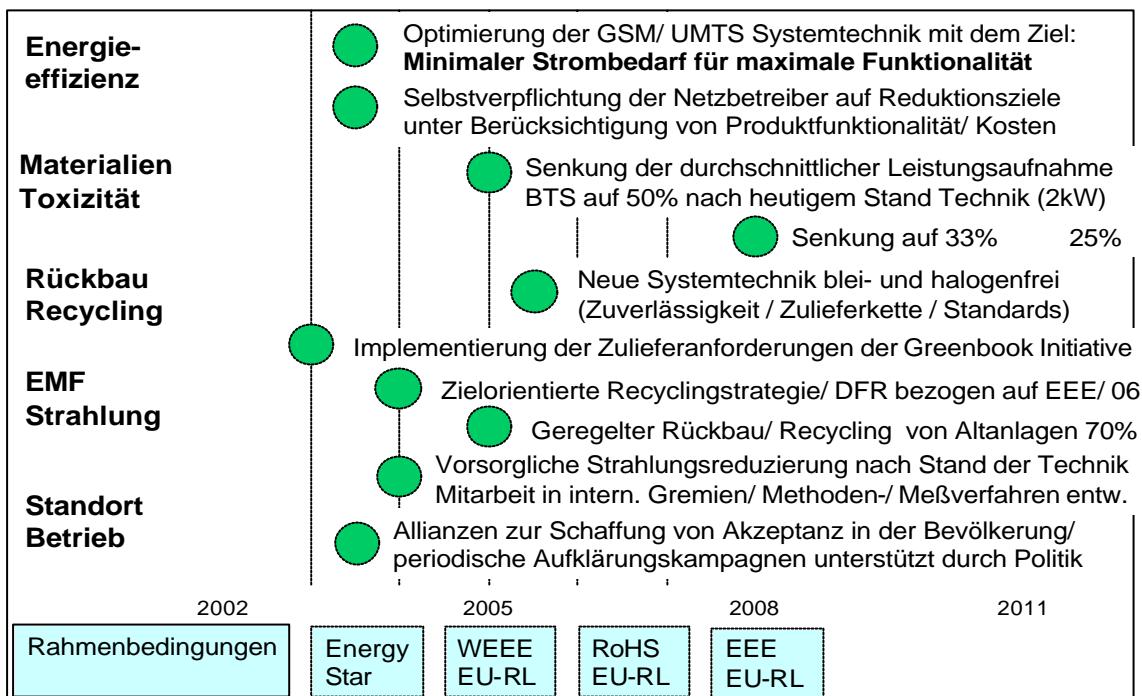


Abbildung 7-5: Gestaltungsziele für die UMTS-Systemtechnik im Rahmen der Roadmap für eine nachhaltige Informations- und Kommunikationstechnik Quelle: (Griese et al., 2002)

7.1.7 Schlussfolgerungen

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.

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 Down-

cycling 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.

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. (2003) 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 2000 GWh.

Diese Schätzung verdreifacht sich, wenn man unser Hightech-Szenario zugrundelegt. In diesem Fall würden jährlich 6000 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.

Um Schlussfolgerungen für energiepolitischen Handlungsbedarf abzuleiten, sind aber auch die im nachfolgenden Abschnitt 7.2 besprochenen Sekundär- und Tertiäreffekte zu berücksichtigen. Wenn beispielsweise durch die Vernetzung im Haushalt Heizenergie gespart werden kann (sekundärer Effekt), so kann sich der zusätzliche Stromverbrauch energetisch auszahlen. Sollte dies wiederum dazu führen, dass bedenkenloser mit Wärme im Haushalt umgegangen wird (tertiärer Effekt), kann der Nettoeffekt wiederum negativ werden.

Die komplexe Dynamik von Effekten aller drei Stufen ist kaum im Detail durch Maßnahmen zu steuern. Sie wird voraussichtlich dann zu einer Reduktion des Energieverbrauchs führen, wenn durch die Rahmenbedingungen mittel- und langfristig Anreize gesetzt sind, Energie rationell zu nutzen. Sie wird dann zu weiterem Verbrauchswachstum führen, wenn diese Anreize fehlen.

Ein wesentlicher Einflussfaktor ist, ob die PvC-Komponenten ständig „online“ sind, oder ob sie nur unter bestimmten Nutzungsanforderungen zeitlich begrenzt aktiv werden. Während bei mobilen Komponenten ein Anreiz zu höchster Energieeffizienz gegeben ist und sich möglicherweise auch alternative Versorgungskonzepte etablieren werden, besteht bei der stationären Infrastruktur und vernetzen Haushaltgeräten das Risiko, dass sich ineffiziente Konzepte der Energienutzung weiterhin ausbreiten. Als Hotspot ist vor allem das digitale Fernsehen zu erwähnen.

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.

Unsicherheit der Entwicklung primärer Umwelteffekte

Die primären Umwelteffekte einer sich entwickelnden Technologie sind nur schwer zu quantifizieren, deshalb ist die Bandbreite möglicher Entwicklungen in drei Szenarien gefasst worden (siehe Tabelle 7-10).

Im zurückhaltenden Szenario ist insgesamt nur mit einer moderaten Verschärfung der bestehenden Energie-, Abfall- und Schadstoffprobleme zu rechnen. Im mittleren Szenario setzen sich in einzelnen Bereichen Applikationen des PvC auf breiter Front durch. Dadurch aufkeimende abfall- und energiepolitische Aufgaben werden jedoch erkannt und ihnen wird im Sinne des Vorsorgeprinzips angemessen begegnet. Im Hightech-Szenario durchdringt PvC alle Lebensbereiche. Stromverbrauch und Behandlungsprobleme bei einzelnen Abfallströmen steigen aufgrund der Feinverteilung drastisch an.

Tabelle 7-10: Tendenzen der primären Umwelteffekte in den drei Szenarien

	<i>zurückhaltendes Szenario</i>	<i>mittleres Szenario</i>	<i>Hightech-Szenario</i>
ICT-Abfallaufkommen	moderer Anstieg	merklicher Anstieg	drastischer Anstieg
Auswirkungen auf Entsorgungsprozesse	weitere Verschärfung der Schadstoff- und Recycling-Problematik	Hohe Recycling-Quoten auf hoher Wertschöpfungsstufe in Teilsegmenten	Veränderung von Abfallströmen durch Eintrag von ICT-Bauteilen
Nutzungsdauer	weitere Verringerung	Stabilisierung durch bessere Upgrade-fähigkeit	steile Abnahme durch Trend zur Wegwerf-elektronik
Stromverbrauch	Effizienzfortschritte kompensieren den Bedarf für die Digitalisierung und Vernetzung	Effizienzfortschritte begrenzen den Anstieg für die Digitalisierung u. Vernetzung	Bestandsausweitung und „always on“ dominieren gegenüber Effizienzfortschritten
Stromversorgung von Wearables und Portables	leistungsfähigere Batterien	Mix mit Batterien, Photovoltaik und Brennstoffzellen	zusätzlich Nutzung von Körperenergie

Die Bandbreite der Entwicklung in den Szenarien signalisiert Gestaltungsspielraum und politischen Handlungsbedarf, wo die Entwicklung mit umweltpolitischen Zielen kollidiert.

Die *energiepolitischen Ziele* der Schweiz sind durch die Bundesverfassung, das Energie- und CO₂-Gesetz sowie Verpflichtungen im Rahmen der internationalen Klimakonvention vorgegeben und werden insbesondere durch das Programm „Energie Schweiz“ umgesetzt. Der Verbrauch fossiler Energieträger und der CO₂-Ausstoß sollen bis 2010 bezogen auf das Jahr 2000 um jeweils 10 Prozent sinken. Der Stromverbrauch darf im gleichen Zeitraum um höchstens 5 % wachsen (Bundesamt für Energie, 2002).

Gemäß der *abfallpolitischen Grundsätze* der Schweiz sollen Abfälle „im Sinne des Vorsorgeprinzips eine möglichst geringe Umweltbelastung verursachen [...]“ (BUWAL, 2002). Zu den Zielen gehört, das hohe Niveau der Separatsammlungen und Verwertung zu halten. Maßnahmen sind u.a. die Vermeidung von Abfällen durch langlebige Güter, die Verminderung von Schadstoffen in Gütern und die Verminderung der zu behandelnden Restabfallmenge durch Verwertung.

Angesichts der Unsicherheiten ist das *Monitoring* eine wichtige Strategie, um den energie- und abfallpolitischen Handlungsbedarf näher einzugrenzen.

Monitoring

Stromverbrauch sowie Menge und Zusammensetzung von Abfallströmen hängen in hohem Maße von tatsächlich eingeschlagenen Technologiepfaden und deren Diffusion ab. Die Vision E-Grain signalisiert den Bedarf nach „Technologiemonitoring“ sowie Konzepten zur möglichst frühzeitigen Schadstoffentfrachtung.

Durch PvC werden sich auch einzelne Abfallströme in ihrer Menge und Qualität ändern. Ein Monitoring ist auch hier die Voraussetzung für proaktive und angemessene Reaktionen auf die abfallpolitischen Aufgaben, z.B. zur Identifizierung von Stoffströmen, für die eine separate Erfassung der Mikroelektronik ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist.

Der Stromverbrauch im PvC ist bislang nur exemplarisch – z.B. für die Vernetzung im Haushalt – mit Hilfe von Szenarien abgeschätzt worden. Empirische Studien oder ein systematisches Monitoring als „Frühwarnsystem“, das technische Entwicklungen und Nutzungsverhalten einschließt, stehen noch aus.

Abfallpolitische Aufgaben

Im Rahmen der integrierten Produktpolitik ist das Ecodesign unter Berücksichtigung von LCA und LCC¹³⁴ eine Schlüsselstrategie zur Minimierung der primären Umwelteffekte des PvC. Durch die in den EU-Richtlinien-Entwürfen WEEE und EEE definierte Produktverantwortung über den gesamten Lebensweg einschließlich des Recyclings und der recyclinggerechten Konstruktion könnten in den nächsten Jahren wichtige Impulse ausgelöst werden, die sich auch auf die Schweiz auswirken. Für die Designphase von Gegenständen des PvC bedeutet dies insbesondere, massenstromtaugliche Mikroelektronikkonzepte zu entwickeln, die andere Recycling-Kreisläufe nicht stören, bzw. die Voraussetzungen zu einer leichten Trennung der Elektronik zu schaffen, aber auch regenerative Energieversorgungskonzepte zu entwickeln.

Die durch PvC verursachte Abfallmenge kann durch das Hinwirken auf die Verlängerung der Nutzungsphase verringert werden. So können bei Verwendung offener Software-Standards neue Applikationen heruntergeladen werden, um sowohl die

¹³⁴ Life Cycle Costing

Funktionalität als auch die Nutzungsdauer zu erweitern. Für PDAs und Wearables sollten entsprechende Schnittstellen vorgesehen werden. Auch modularer Hardware-Aufbau und „innovative packaging“-Konzepte können zur Nutzungsdauerverlängerung beitragen.

Die Informatisierung bislang rein mechanischer Gegenstände wie Möbel und Kleidung erfordert gegebenenfalls Anpassungen beim Recycling. Ein Eintrag in den Restmüll scheint unter Schadstoffaspekten beherrschbar zu sein, jedoch gehen bedeutsame Ressourcen verloren. In Zukunft muss aus kreislaufwirtschaftlicher Sicht vergrößertes Augenmerk auf die Wiederverwendung einzelner elektronischer Baugruppen und -elemente gelenkt werden, da aufgrund der Komplexität der Zusammensetzung eine Wiedergewinnung aller wertvollen Stoffe nahezu ausgeschlossen ist. Voraussetzung für die Wiederverwendung auf hoher Wertschöpfungsstufe sind lebensweg-übergreifende Produktinformationen, geeignete Demontage- und Prüfverfahren sowie Märkte für gebrauchte Mikroelektronik. Darüber hinaus stellt sie die Frage nach der Ausweitung von Sammel- (z.B. Co-Sammlung von mülltonnengängigen Kleingeräten) und Verwertungskapazitäten (z.B. proaktives LCD-Recycling). Die verwendeten Batterietypen und das Funktionieren einer geregelten Entsorgung von Batterien (einschließlich ausgedienter Akkus) sind für die Umweltbilanz des PvC von zentraler Bedeutung.

Diese ersten Einschätzungen der Auswirkungen des Eintrags von Smart Labels in das Verpackungsrecycling signalisieren den Bedarf nach einer Beobachtung der Smart-Label-Technologie. Sollten Unverträglichkeiten – vermutlich insbesondere beim Hohlglas- und Aluminiumrecycling – identifiziert werden, so ist eine systematische Abschätzung der Umweltfolgen von Smart Labels und ihre Anwendungen zu prüfen. Mögliche Reaktionsmuster sind u.a. das Ecodesign (z.B. Entfrachtung von Problemstoffen), die Anpassung von Aufbereitungs- und Recyclingprozessen an die veränderten Eigenschaften der Verpackungen durch Smart Labels (z.B. Neueinstellung von Zerkleinerungswerkzeugen infolge veränderter Härte) sowie eine Überarbeitung der Annahmekriterien von gebrauchten Verpackungen (z.B. Anforderungen an den maximalen Kupfergehalt).

Energiepolitische Aufgaben

Grundsätzlich erweist sich die gesamte heterogene Schar an Geräten im PvC als energiepolitisch schwer beeinflussbar, weshalb eine Konzentration auf wenige Hotspots pragmatisch erscheint.

Handlungsspielräume im Sinne des Vorsorgeprinzips liegen vor allem in der Diffusion energieeffizienter Geräte, der Beeinflussung des Nutzungsverhaltens und der Ausschöpfung der Potenziale zur Energieeinsparung *beim Aufbau neuer Infrastrukturen*. Da in der Schweiz nur in geringem Umfang Gegenstände des PvC hergestellt werden, ist die Beeinflussung der Konstruktion nur mittelbar möglich.

Sowohl beim Kunden als auch bei Netzwerkanbietern existiert bislang nur ein geringes Bewusstsein über die Energieeinsparpotenziale durch Zurückgreifen auf energieeffiziente ICT-Geräte und Verkabelungslösungen. Auch zum Zwecke der Sensibilisierung für ein energiesparendes Nutzerverhalten sind entsprechende Informations- und Ausbildungsinitsiativen erwägenswert. Die technische Potenziale zur Reduzierung der Standby-Verluste sind beträchtlich und könnten durch Kennzeichnungssysteme wie z.B. Energieeffizienzklassen, Informationskampagnen und das öffentliche Beschaffungswesen eine hohe Verbreitung finden.

Die Infrastruktur für das Backbone des PvC (Internet inkl. Server, Mobilfunknetze) trägt zunehmend zum Umweltverbrauch bei. Über die Beeinflussung des Energiebedarfs für die Klimatisierung durch geeignete Standortwahl für größerer Rechenzentren (z.B. Telecenter, Serverfarmen) wird bislang wenig diskutiert. Beim Aufbau neuer Infrastrukturen wie UMTS gibt es ferner erhebliche Umweltentlastungspotenziale in Bezug auf bedarfsgerechte Kühlung und Betrieb von Basisstationen.

7.1.8 Anhang zu primären Umwelteffekten des Pervasive Computing

Die folgenden Annahmen zur Entwicklung abfall- und energierelevanter Parameter der Diffusion von Pervasive Computing in der Schweiz wurden, über die Eckwerte der Szenarien in Kapitel 4 hinaus, den Abschätzungen in den Abschnitten 7.1.1-7.1.6 zugrunde gelegt.

Prozentzahlen mit Vorzeichen bedeuten Veränderung im Zeitraum 2002-2012, Prozentzahlen ohne Vorzeichen den Diffusionsgrad im Jahr 2012. Beispiel: Im Hightech-Szenario wird angenommen, dass 2012 rund 90 % aller großen Haushaltgeräte mit einem Display ausgestattet sind.

Tabelle 7-11: Spezifizierung der Szenarien aus Kapitel 4 hinsichtlich der für Abfallaufkommen und Energiebedarf des Pervasive Computing wichtigsten Parameter.

	zurückhaltendes Szenario	mittleres Szenario	Hightech-Szenario
Abfall			
Anwachsen des ICT-Gerätebestandes	+ 10 %	+ 50 %	+ 100 %
Integration von Displays in Haushaltgroßgeräte	5 %	50 %	90 %
Anwachsen der Chips pro Kfz	+ 10 %	+ 30 %	+ 100 %
Navigationsgeräte	40 %	80 %	95 %
Bildschirme für Mitfahrer im Auto	1 %	20 %	75 %
Einbettung von ICT in bisher nicht elektrisch betriebene Produkte (z.B. i-Wear): Lebensmittelverpackungen mit Smart Labels	1 % 1 %	20 % 20 %	80 % 100 %
Energie			
Smart Home	2 %	10 %	80 %
Wearables und Portables	überwiegend Batteriebetrieb	überwiegend Photovoltaik oder Brennstoffzellen, da Batterien nicht mehr praktikabel	neue Energieversorgungskonzepte wie Körperenergie (Temperaturgradienten, Bewegung) setzen sich durch

7.2 Sekundär- und Tertiäreffekte

Die Anwendung von ICT bedingt eine Reihe von indirekten Umwelteffekten (sekundäre und tertiäre Effekte, wie in der Einleitung zu Kapitel 7 erläutert), die im Gegensatz zu den primären auch positiv sein können, d.h. zu einer Entlastung der Umwelt beitragen können. Im vorliegenden Abschnitt 7.2 werden bisherige Erfahrungen mit indirekten Umwelteffekten von ICT zusammengestellt, und es wird diskutiert, welche Veränderungen in Bezug auf den jeweiligen Effekt durch Pervasive Computing (PvC) zu erwarten sind.

Eine generelle, an den Einsatz von ICT geknüpfte Erwartung ist, dass diese Technologie zu einer *Dematerialisierung* von Prozessen beiträgt, d.h. zu einer einschneidenden Verbesserung der Ressourcenproduktivität. Diese ist wiederum eine notwendige Voraussetzung für nachhaltige Entwicklung, wie wir in Abschnitt 2.4 erläutert haben.

Ein wichtiger Aspekt der Dematerialisierung ist der Ersatz von Sachgütern durch Dienstleistungen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass auch Dienstleistungen nicht frei von Umwelteffekten sind (vgl. Köhler, 2001).

Der erwarteten Umweltentlastung durch Dematerialisierung wirken Rebound-Effekte entgegen (siehe Kapitel 5), die als tertiäre Effekte im Einzelfall zu berücksichtigen sind.

7.2.1 Dematerialisierungspotenziale und Rebound-Effekte im Verkehrssektor

Umweltrelevanz

Transportvorgänge zählen zu den ökologisch relevantesten Wirtschaftsprozessen: Sowohl Güter- als auch Personenverkehr belasten die Umwelt durch:

- Energieverbrauch (Treibstoffe, Elektrizität)
- Emissionen (Treibhausgase, Luftschadstoffe, Lärm)
- Flächenverbrauch (Verkehrsflächen, Parkraum, Flughäfen usw.)
- Ressourcenverbrauch für Bau und Unterhalt der Infrastruktur

Besonders die klimarelevanten CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs steigen kontinuierlich an. Der Verkehr verursacht mit 15.6 Millionen Tonnen pro Jahr ca. 34 % der gesamten anthropogenen CO₂-Emissionen der Schweiz (BUWAL, 2002).

Die verschiedenen Verkehrsmittel haben in Bezug auf diese Umwelteffekte unterschiedliche Effizienz (Verkehrsleistung je Umweltbelastungseinheit). Es ist festzustellen, dass fast alle Verkehrssysteme, in denen ICT zum Einsatz kommen kann, einen deutlichen Wachstumstrend aufweisen. Die höchsten Wachstumsraten weisen dabei Flugverkehr und Straßengütertransporte auf. Flug- und Straßenverkehr verursachen gleichzeitig den größten Anteil der Emissionen.

Heutige und zukünftige ICT beeinflusst den Verkehrssektor auf folgende Weise:

- Substitution: mögliche Substitution von Verkehrsvorgängen durch Telekommunikation
- Induktion: Anreize zu zusätzlichen Verkehrsvorgängen durch die Möglichkeit der Koordination von Aktivitäten über größere Entfernungen

- Effizienz: Optimierung durch Wegeplanung und bessere Auslastung von Fahrzeugen und Infrastruktur
- Modal Split: Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl über die Verfügbarkeit von verkehrsrelevanten Informationen

Bisherige Erfahrungen mit indirekten Umwelteffekten von ICT im Verkehrssektor

Im Folgenden wird anhand von Falluntersuchungen aufgezeigt, welchen Einfluss die bisherige ICT-Anwendung auf Verkehrssysteme hat und welche Umwelteffekte daraus resultieren. Die integrierte Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien im Verkehrsbereich wird auch als Verkehrstelematik bezeichnet.

Auswirkungen der ICT auf den Personenverkehr

Fortschritte in der Telekommunikation werden seit langem als Chance gesehen, Reisen zu substituieren. Zugleich induziert Telekommunikation aber auch zusätzlichen Verkehr. In diesem Spannungsfeld sind zwei Fragen relevant:

1. Wie verhalten sich die Umwelteffekte von Telekommunikation quantitativ zu denen des Personenverkehrs, d.h. welches Dematerialisierungspotenzial liegt in der Substitution?
2. Wie weit werden Substitutions- durch Induktionseffekte kompensiert?

Im Folgenden werden diese Fragen am Beispiel von virtuellen Konferenzen (z.B. Videokonferenzen) untersucht. Videoconferencing ist eine audiovisuelle Form der Zusammenarbeit räumlich verteilter Gruppen als Ersatz oder Ergänzung von Geschäftsreisen (Rangosch, 2000).

Das Dematerialisierungspotenzial wurde exemplarisch in einer LCA-Studie über das 15th International Environmental Informatics Symposium bestimmt, das im Jahr 2001 mit 500 Teilnehmern in Zürich stattfand. Dabei wurden die Umwelteffekte der Konferenzvorbereitung und Durchführung mit den Umwelteffekten einer hypothetischen virtuellen Alternative verglichen (Hischier/Hilty, 2002)

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtumweltbelastung dieser internationalen Konferenz mit 4650 EIP¹³⁵ zu Buche schlägt. Als größter Umweltbelastungsfaktor dominieren mit 4207 EIP die Flugreisen der Konferenzteilnehmer, obwohl nur 35 % mit dem Flugzeug anreisten. Im Vergleich dazu ist die Umweltbelastung der Konferenzdrucksachen einschließlich eines zweibändigen Buches (aufgrund des Verbrauchs von Papier und Karton) mit zusammen 172 EIP von untergeordneter Bedeutung.

Eine mit heutiger ICT vollständig virtuell veranstaltete Konferenz würde eine Umweltbelastung von lediglich 10 EIP verursachen. Dabei wurde der Energieverbrauch für Internet, Endgeräte usw. berücksichtigt. Da dieses vollständig dematerialisierte Szenario eher wenig praxisrelevant ist, wurde auch ein Szenario mit drei virtuell verbundenen Konferenzorten (Zürich/Dallas/Tokio) untersucht. In diesem Fall ergäbe sich aufgrund der eingesparten Flugreisen immer noch ein ökologischer Vorteil von annähernd 50 % gegenüber einem zentralen Konferenzort. Auch in diesem Szenario bewirken die physischen Reisen der Konferenzteilnehmenden noch die höchste Umweltbelastung.

¹³⁵ Eco-Indicator Points. Die Methode Eco-indicator 99 dient zur Aggregation verschiedener Umwelteffekte in eine einzige Bewertungsskala mit der Einheit EIP.

Der Haupteinsatzbereich von Videokonferenzen liegt Rangosch zufolge aber in der unternehmensinternen Kommunikation, hier insbesondere bei regelmäßigen Besprechungen, sofern der Gegenstand des Kontakts keine physische Präsenz erfordert. Dies ist häufig dann der Fall, wenn die persönliche Kommunikation zwischen den Gesprächsbeteiligten nur eine untergeordnete Rolle spielt: bei Arbeitsbesprechungen, Erteilung von Arbeitsaufträgen, Diskussion und Berichterstattung. Videokonferenzen werden von den befragten Unternehmen nicht in erster Linie als Ersatz, sondern als Ergänzung zu persönlichen Kontakten eingesetzt. Nicht durch Videoconferencing ersetzen lassen sich Initialkontakte zu Kunden und anderen Geschäftspartnern. In diesen Fällen gilt der persönliche Kontakt zum Aufbau einer Vertrauensbasis zwischen den beteiligten Personen als unabdingbar (Rangosch, 2000).

Vor dem Hintergrund eines verschärften internationalen Wettbewerbs ist es für Unternehmen, die in diesem Umfeld aktiv sind, unabdingbar, die Geschwindigkeit ihrer Abstimmungs- und Entscheidungsprozesse zu beschleunigen. Die Vorteile der ICT werden demnach vorrangig im Zeitvorteil gegenüber physischen Geschäftsreisen gesehen.

Das Substitutionspotenzial für Geschäftsreisen wird in früheren Untersuchungen mit 40% der Besprechungsanlässe beziffert. Eine von Rangosch in schweizerischen Unternehmen durchgeführte Umfrage ergab bei den Befragten eine Spannbreite der Einschätzungen von gering bis 25% der Geschäftsreisen.

Die von Rangosch befragten Unternehmen gaben jedoch an, das Gesamtvolume an Geschäftsreisen habe sich seit Einführung des Videoconferencing *nicht reduziert*. Als Ursache wird ein genereller Anstieg der Geschäftsbeziehungen genannt, die u.a. durch die Möglichkeiten moderner Telekommunikation erst ermöglicht wurden. Es wird darauf hingewiesen, dass die durch Videoconferencing ermöglichte Kommunikationsfrequenz eine absolute Zunahme der Geschäftsbeziehungen fördert. Zudem wird es den einzelnen Akteuren erleichtert, die gleichzeitige Anzahl dieser Art von Geschäftsbeziehungen zu erhöhen. In der Regel ist damit auch eine Zunahme der physischen Reisetätigkeit verbunden, weil persönliche Kontakte zu Geschäftspartnern nach wie vor als unverzichtbar angesehen werden. Die Dematerialisierungspotenziale des Videoconferencing liegen also häufig in Geschäftsreisen, die ohne den Einsatz der modernen ICT gar nicht zustande kommen würden (Rangosch, 1997).

Mit solchen Rebound-Effekten ist insbesondere dann zu rechnen, wenn das Bedürfnis nach persönlichen Treffen mit virtuell geknüpften Bekanntschaften entsteht. Untersuchungen zur Nutzung bisheriger ICT zeigen, dass Internet-Chats im Freizeitbereich tendenziell physische Mobilität induzieren. Hauptsächlich Chat-Partner aus der näheren räumlichen Umgebung (bis 20 km) neigen zu persönlichen Treffen, etwa ein Fünftel der Chatter überwinden zu persönlichen Treffen mit Internet-Bekanntschaften früher oder später auch Distanzen über 500 km. Mehr als drei Viertel dieser virtuell geknüpften Kontakte führen zu wiederholten persönlichen Treffen und ziehen demzufolge auch wiederholte Reisetätigkeit der beteiligten Personen nach sich (Zoche, Kimpeler et al., 2002).

Auswirkungen der ICT auf Güterverkehr und Transportlogistik

Die Auswirkungen der neuen Kommunikationsmedien auf den Güterverkehr wurden im Rahmen des NFP 41 untersucht. Demnach bietet die Verkehrstelematik im Speditions gewerbe ein hohes Optimierungs- und Substitutionspotenzial. Trotzdem überwiegen in der Bilanz die Induktionseffekte.

Bisher wird die computergestützte Verkehrstelematik in Unternehmen aber eher zögerlich eingesetzt. Bemerkenswert ist die fast vollständige Ablösung des bisher üblichen CB-Funks zwischen Fahrer und Disponent durch das Mobiltelefon innerhalb weniger Jahre. Als Grund für diese Technologiesubstitution geben die interviewten Unternehmen höhere Flexibilität und geringere Kosten an (Rangosch, 2000).

Im Rahmen des Projekts „Informatik-Gesamtlösung für das Transportgewerbe“ wurde ein Software-Konzept entwickelt, mit der dem eine dynamische Tourenplanung im Speditions gewerbe möglich wird (Rogger et al., 2001; Hartmann et al., 2003). Das System wird durch Bordcomputer, GPS und Datenhandys unterstützt. Ziel ist es, LKW-Fahrten von Speditionsunternehmen nicht nur im Voraus, sondern auch für Fahrzeuge, die schon unterwegs sind, bei kurzfristig eingehenden Aufträgen oder Störungen im Ablauf zu optimieren.

Das Optimierungspotenzial dieses Systems hinsichtlich Kosten und Umwelt wurde durch Simulationsrechnungen abgeschätzt. Wirkungen sind eine Optimierung der Streckenführung der LKWs und eine bessere Auslastung der Ladekapazität der Fahrzeugflotte. Im Ergebnis wird mit einer höheren Effizienz im Straßengütertransport gerechnet, wodurch sich infolge sinkender Fahrleistung (gefahrene Fahrzeugkilometer) pro Frachttonne auch Vorteile für die Umwelt ergeben.

Die Simulationsergebnisse prognostizieren eine mögliche Streckenoptimierung durch den Einsatz der Verkehrstelematik. Allerdings weisen die Autoren auch auf einen voraussichtlichen Rebound-Effekte hin: Höhere Konkurrenzfähigkeit des Straßengütertransports im Vergleich zum Schienentransport aufgrund höherer Flexibilität. Infolge dessen kann es zu einer weiteren Verlagerung von Gütertransporten von der Schiene auf die Straße kommen.

Ergebnisse von Mühlenthaler (2002, S. 70) weisen in eine ähnliche Richtung: „Wahrscheinlich ist, dass die gewonnene Kapazitätsreserve durch die höhere Nachfrage früher oder später aufgebraucht wird“, weil Effizienzsteigerungen zu einer Senkung der Transportkosten führen.

Zu erwartende Veränderungen durch Pervasive Computing

Personenverkehr

Beim Personenverkehr liegt der Schwerpunkt der Entwicklungsdynamik des PvC gegenwärtig beim Auto. Wie in Abschnitt 4.2 aufgezeigt wurde, bietet das Auto eine mit Basistechnologien bereits gut ausgestattete Plattform zur Aufnahme verschiedenster neuer Komponenten, die dem PvC zuzuordnen sind.

Das Auto wird demzufolge zu einem Vorreiter neuer PvC-Technologien – eine Eigenschaft, die auch von einer breiten Käuferschicht zumindest potenziell honoriert wird. Infolge dessen wird das Auto an Attraktivität gewinnen. Dies könnten den Modal Split in Richtung des motorisierten Individualverkehrs beeinflussen.

Im Extremfall droht, vor allem im Anwendungsfeld Arbeit, für bestimmte Berufsgruppen eine Alternativlosigkeit zum Auto. Dies kann auch Berufsgruppen betreffen, die heute ohne persönliches Auto auskommen oder ausschließlich den öffentlichen Verkehrs (ÖV) benutzen.

Möglichkeiten, diesem Trend entgegenzuwirken bietet die PvC-unterstützte Verkehrstelematik: Wearable Computers bieten durch mobile Verfügbarkeit von Verkehrs informationen (Fahrpläne etc.) eine individuelle Mobilitätslogistik (Personal Travel

Assistant). Der Benutzer kann damit jederzeit und spontan eine individuelle logistische Unterstützung für seinen Mobilitätswunsch anfordern. Da die Notwendigkeit zur Vorausplanung de facto einer der Konkurrenzvorteile öffentlicher Verkehrsmittel gegenüber dem Auto ist, würde eine solche individuelle Logistikunterstützung zu einer Stärkung der Attraktivität von Bus und Bahn beitragen.

Um öffentliche Transportmittel für einen breiten Kundenkreis attraktiver zu gestalten, könnten diese ähnlich wie das „intelligente Auto“ (siehe Abschnitt 4.2.1) über eine Ausstattung mit der für PvC benötigten Netzwerk-Infrastruktur verfügen, z.B. W-LAN. Im Gegensatz zum PKW kann die Reisezeit in der Bahn zum Arbeiten produktiv genutzt werden. Darin liegt aus Benutzersicht ein wesentlicher Konkurrenzvorteil der Bahn gegenüber dem Auto, den sie in Zukunft stärker ausspielen könnte.

In Konkurrenz zum „intelligenten Auto“ könnten langfristig Wearable Computers treten. Mit weiter fortschreitender Miniaturisierung der PvC-Hardware und der ubiquitären Möglichkeit Netzwerkzugang zu realisieren, entfällt langfristig der Vorteil des Autos als Trägerplattform. Könnte ein voll ausgestattetes persönliches Kommunikationssystem soweit miniaturisiert werden, dass ein bequemes Tragen am Körper möglich ist, würde die Bindung an das Auto obsolet und sogar hinderlich. Entwicklungsmöglichkeiten hierzu liegen vor allem in einer Minimierung des Energieverbrauchs der Elektronik und der Verkleinerung der Stromversorgung durch Niedrigtemperaturbrennstoffzellen.

Durch kostengünstige und ortsunabhängige audiovisuelle Benutzerschnittstellen könnte PvC grundsätzlich stärker als die bisherige ICT dazu beitragen, dass Personenverkehr durch Telekommunikation substituiert wird. Mittels audiovisuellem Mobiltelefon könnten virtuelle Zusammenkünfte zu einer Kommunikationsform für breite Bevölkerungsschichten werden. Insbesondere Berufsgruppen mit hohem logistischen Arbeitsanteil würden von dieser Technik profitieren. Allerdings ist auch hier mit den gleichen Rebound-Effekten zu rechnen, die schon bisherige Substitutionspotenziale der ICT im Personenverkehr kompensiert haben.

Es ist denkbar, dass mobiles Videoconferencing via Handy zum Bestandteil eines neuen Lebensstils und damit zu einem Massenmarkt ähnlich SMS wird. Möglicherweise wird damit die mobile Teilnahme an multimedialen Chatrooms zu einer neuen Kommunikationsform. Je nach Ausprägung kann sich damit ähnlich wie bei bisherigen Formen mobiler Telekommunikation eine Massenanwendung entwickeln. Im Massenmarkt würden die Kosten für mobiles Videoconferencing stark fallen und potenzielle Anwender zum Gebrauch motivieren, bis hin zu Suchterscheinungen, wie sie heute bereits bei Chat-Funktionen Internet oder SMS zu beobachten sind (Hahn et al., 2000).

Güterverkehr

Durch Anwendung von PvC im Güterverkehr ergeben sich sowohl bei Straßen-, wie auch bei Schienentransporten Optimierungsmöglichkeiten. Ähnlich den Erfahrungen, die man bisher schon mit dem ICT-Einsatz im Transportgewerbe gemacht hat, können die neuen Funktionalitäten des PvC dazu beitragen, Verkehrsmittel besser auszulasten und Transportwege zu optimieren. Allerdings wird sich das Optimierungspotenzial vor allem im LKW-Speditions gewerbe erschließen, da hier jederzeit flexible Änderungen der betrieblichen Prozesse möglich sind. Im Gegensatz zum LKW bleibt der grundsätzliche Flexibilitätsnachteil des Schienentransports auch bei Nutzung des PvC bestehen, wenn nicht gleichzeitig grundlegende Innovationen des gesamten schienengebundenen Verkehrssystems angegangen werden. Ansätze dafür bietet das

zukünftige European Train Control System. Aufgrund des hohen Kosten- und Zeitaufwands zur Umstellung des Schienensystems ist dennoch mit einem wachsenden Konkurrenznachteil des Güterverkehrs auf der Schiene gegenüber dem LKW zu rechnen.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass das zusätzliche Optimierungspotenzial durch den PvC-Einsatz die Umweltbelastung des Güterverkehrs auf Makroebene nicht nennenswert verbessern kann, solange wesentliche Rahmenbedingungen (niedrige Energiepreise und Externalisierbarkeit von Umweltkosten) unverändert bleiben.

7.2.2 Dematerialisierungspotenziale digitaler Medien

Umweltrelevanz

Bei konventionellen Medien (Print-Medien) entstehen Umweltbelastungen vor allem durch die Herstellung und den Transport. Elektronische Medien können in bestimmten Fällen gegenüber Print-Medien ökologische Vorteile aufzuweisen.

Bisherige Erfahrungen mit indirekten Umwelteffekten elektronischer Medien

Printmedien vs. elektronische Medien

Exemplarisch wurden die Umweltwirkungen typischer Anwendungsfälle elektronischer Medien im Vergleich zu Print-Medien in einer LCA-Studie der EMPA untersucht (Reichart/Hischier, 2001).

Als Vergleichsbasis dienten folgende Fälle:

- Suchen einer Telefonnummer
- Rezeption einer typischen Nachrichtenmeldung

Demnach sind elektronische Medien nur unter bestimmten Bedingungen ökologisch günstiger als Print-Medien:

- bei selektiver, zielgerichteter Nutzung, nicht aber bei unspezifischer Unterhaltungsnutzung,
- wenn digital übertragene Informationen nicht auf Papier ausgedruckt werden,
- wenn zum Betrieb der elektronischen Infrastruktur Strom mit hohem regenerativen Anteil genutzt wird (schweizerischer Strommix).

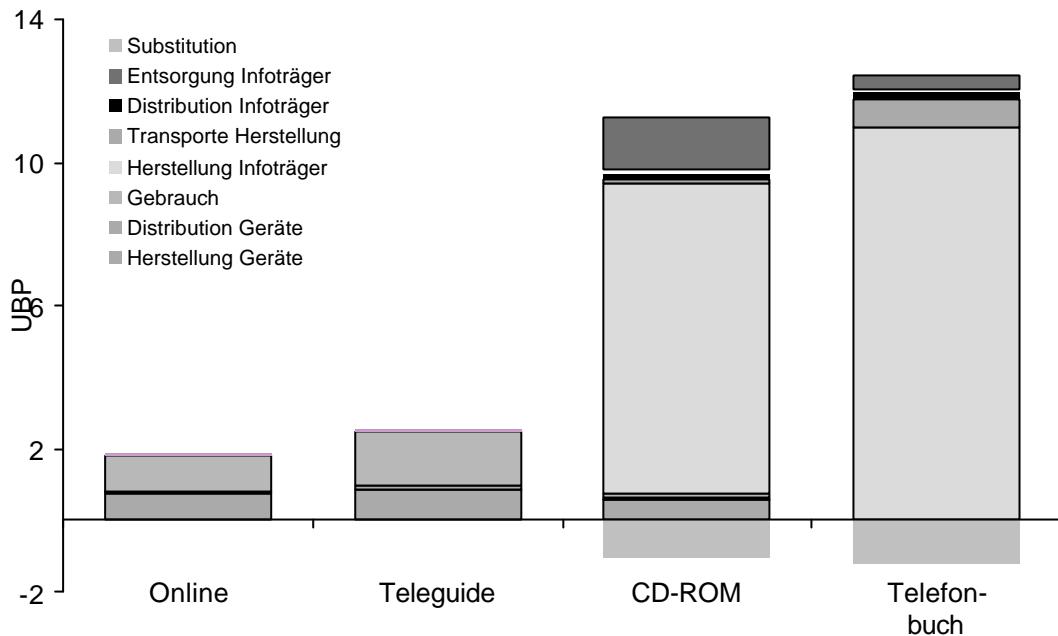


Abbildung 7-6: Vergleich der Umweltbelastung verschiedener Vorstufen einer Telefonnummern-Recherche ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten (UBP). Die in den negativen Bereich fallenden Teile der Balken sind Gutschriften für das Papier-Recycling des Handbuchs zur CD-ROM bzw. des Telefonbuchs. Quelle: Reichart, Hischier (2001).

Abbildung 7-6 zeigt, dass die Online-Recherche über das Internet und die Abfrage über Teleguide (ein in Telefonzellen installiertes Gerät) bei durchschnittlicher Nutzung günstiger abschneiden als das Telefonbuch, auch wenn dieses nur in der CD-ROM-Version gekauft wird. Bei der CD-ROM entfällt jedoch der größte Teil auf die Kartonverpackung und das mitgelieferte Handbuch.

Weil PC und Infrastruktur neben der Online-Recherche auch für andere Zwecke genutzt werden, wurde nur ein kleiner Anteil der lebenszyklusweiten Belastung der Telefonnummern-Suche zugerechnet, entsprechend dem Zeitanteil dieser Tätigkeit an der gesamten Nutzungsdauer. Sobald der PC länger eingeschaltet bleibt als nötig, erhöht sich die Belastung sowohl aufgrund des zugerechneten Anteils als auch durch zusätzlichen Stromverbrauch.

Bei sehr häufiger Recherche nach Telefonnummern verringert sich der Vorteil der elektronischen Medien. Bereits nach 8 Recherchen pro Woche liegen elektronische und Printmedien bezüglich ihrer aggregierten Umweltbelastung etwa gleichauf.

Beim Konsum von Nachrichten zeigte sich ein ähnliches Bild: elektronische Medien sind nur dann ökologisch vorteilhaft, wenn sie zu gezieltem Nachrichtenempfang benutzt werden. Das Lesen einer Online-Zeitung ist bis zu einer Dauer von 20 Minuten ökologisch günstiger als der Kauf einer Tageszeitung, bei Fernsehnachrichten beträgt dieser Wert etwa eine Stunde. Bei länger dauernder Benutzung ist das Print-Medium ökologisch vorteilhafter.

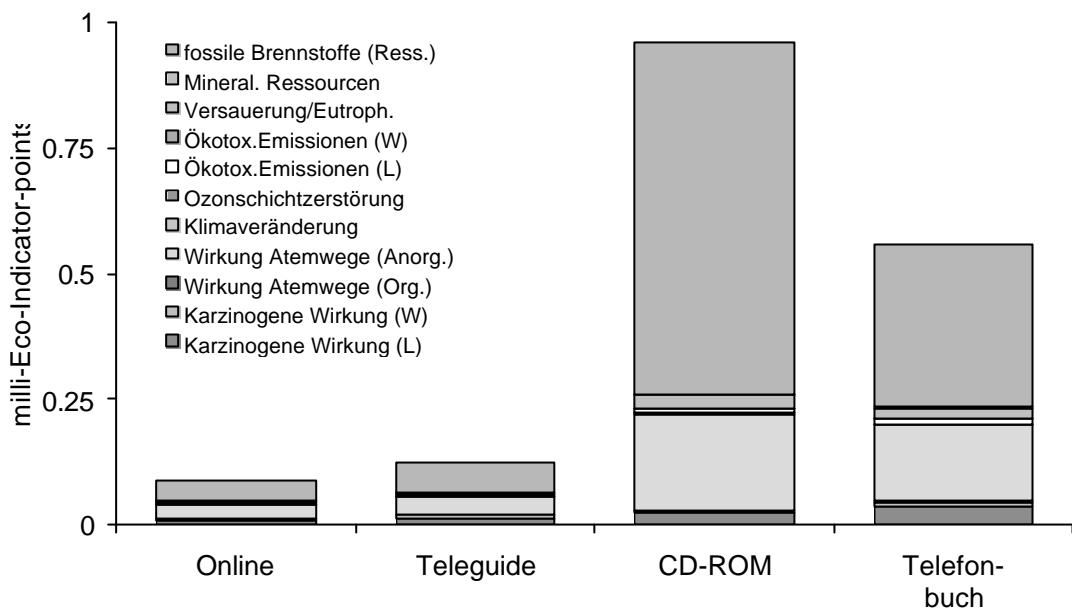


Abbildung 7-7: Umweltbelastung einer Telefonnummern-Recherche ausgedrückt in milli-Eco-Indicator-points. Diese Aggregationsmethode zeigt die Kategorien der Umweltwirkungen und gewichtet sie etwas anders als die UBP-Methode, die in Abbildung 7-6 verwendet wurde. Quelle der Abbildung: Reichart, Hischier (2001)

Dematerialisierungspotenziale elektronischer Medien treten also nur dann auf, wenn diese kurzzeitig und zielgerichtet eingesetzt und die Informationen nicht ausgedruckt werden. Hingegen ist eine lang andauernde Benutzung zur Unterhaltung und Berieselung mit Informationen ökologisch ungünstiger, da in diesem Fall die Umweltbelastungen des Stromverbrauchs im Online-Modus dominieren.

Auch ein LCA-Vergleich von Print- und Online-Zeitungen von Plätzer (1998) verdeutlicht die starke Abhängigkeit der ermittelten Umweltbelastung von den gewählten Bilanzgrenzen und funktionellen Vergleichsgrößen (hier Lesen eines Referenzartikels). Der für die Umweltbelastung maßgebliche (primäre) Energieverbrauch wird für die Print-Zeitung aus Sekundärfaserzellstoff mit 14,7 kJ, für das Lesen des Online-Artikels hingegen mit 141 kJ angegeben.

Wiederum wird der ökologisch negativ wirkende „Rematerialisierungseffekt“ durch das Ausdrucken von Online-Inhalten auf Laserdruckern deutlich: gegenüber dem online gelesenen Artikel steigt die Umweltbelastung durch den Ausdruck auf Papier um 76% auf 257 kJ. Den Haupteffekt dieser zusätzlichen Umweltbelastung macht der Energieverbrauch (201 kJ) bei Herstellung des Druckerpapiers aus. Plätzer ermittelt in der Wirkungsabschätzung für die Online-Zeitung eine deutliche Mehrbelastung der Umwelt durch die Emission von Luftschatdstoffen bei der Energieerzeugung, hingegen schneidet die Print-Zeitung hinsichtlich Emission in Gewässer schlechter ab. Der Umweltaspekt ‘Abfälle zur Beseitigung’ widerspiegelt mit einem etwa fünfmal höheren Abfallaufkommen im Falle des Online-Artikels die Entsorgungsproblematik für Elektronikschrott (Plätzer, 1998).

Digitalfotografie

Kostensenkungen im Bereich der Digitalfotografie veranlassen immer mehr Konsumenten zum Kauf einer Digitalkamera. Erste Handycenerationen sind bereits

mit integrierter Digitalkamera ausgestattet. Nach Angaben des IDC wurden im Jahre 2001 weltweit ca. 12,4 Milliarden digitale Fotos aufgenommen. Eine Studie im Auftrag des Druckerherstellers Lexmark kommt zum Ergebnis, dass trotz wachsender Anzahl an Fotos weniger Bilder auf Papier entwickelt werden. Nur ein viertel der aufgenommenen digitalen Bilder werden ausgedruckt (Lexmark, 2002).

In Hinblick auf die Erfahrungen zum Nutzerverhalten der Online-Medien in der Vergangenheit ist damit zu rechnen, dass Rebound-Effekte zu einem Anstieg des Verbrauchs an Papier und Fotochemikalien bzw. Druckertinte führen. Schätzungen für das Jahr 2005 gehen von einem Zuwachs auf etwa 30 Milliarden digitaler Fotos pro Jahr aus. Die fotografische Industrie reagiert auf den Nachfragerückgang gegenwärtig mit einer Vielfalt kostengünstiger Angebote, die die Kunden zum Ausdrucken ihrer Digitalfotos animieren sollen. So hat Lexmark eine mit "Print-Foto.com" europaweite Plattform zum Promoting der Digitalfotografie geschaffen, natürlich mit vielen Anregungen zum Ausdrucken der Bilder.

Zu erwartende Veränderungen durch Pervasive Computing

Durch PvC setzen sich die Trends der bisherigen neuen Medien fort: Konsum von Information und Unterhaltung bedient sich zunehmend digitaler Übertragungssysteme, die nun vermehrt auch ortsunabhängig (mobil) zur Verfügung stehen.

Energieverbrauch

Es ist zu erwarten, dass sich die Charakteristik der Umwelteffekte elektronischer Medien auf Basis des PvC nicht wesentlich von heutigen Online-Medien unterscheidet, da sich der Bereitstellungsprozess für Online-Inhalte nicht einschneidend verändern wird. Neue Elemente in diesem Prozess sind breitbandigere Datenübertragungsstrecken, die Mechanismen der Datenhaltung/-bereitstellung (Dezentralisierung durch verteiltes Rechnen) und natürlich das mobile Endgerät beim Online-Kunden.

Mobiler Medienkonsum verursacht stark anwachsende Datenmengen auf Servern und Übertragungskanälen, insbesondere wenn künftig vermehrt audiovisuelle Medieninhalte aus dem Internet heruntergeladen werden. Zwar wird die Übertragungskapazität der Netze mit steigender Bandbreite und besseren Kompressionsverfahren weiter anwachsen, allerdings zeigt die Erfahrung, dass jeder Kapazitätszuwachs sehr schnell bis zur Grenze ausgelastet wird. Elektronische Medien mit datenintensiven Inhalten tragen wesentlich dazu bei, dass die elektronische Infrastruktur (Internet / Mobilfunk) stark ausgebaut wird.

Verkehrswirksamkeit

Die durch PvC veränderten Gewohnheiten des Medienkonsums können die individuelle Mobilität beeinflussen. Wearable Computers und andere tragbare PvC-Komponenten (Webpads, E-Paper) werden Konsum von Nachrichten- und Unterhaltungsmedien in einer ortsunabhängigen Form ermöglichen. Gegenwärtige Internet-Nutzer verbringen durchschnittlich bis zu 17 Stunden pro Woche am Internet (Hahn et al., 2000), halten sich also während dieser Zeit an einem Ort auf. Im Vergleich zu anderen Freizeitaktivitäten ist stationärer Online-Medienkonsum relativ umweltfreundlich.

Werden Mediendienste durch PvC auch mobil nutzbar, entfällt die Fixierung des Nutzers an den Ort des Internet-Anschlusses während der Online-Zeit. Dies wird dazu beitragen, dass zumindest ein Teil der wöchentlichen Online-Zeit für mobile Nebenaktivitäten genutzt wird, z.B. bei Fahrten im „intelligenten Auto“ (siehe Abschnitt 4.2).

Gleichzeitig wird sich auch der für elektronischen Medienkonsum verfügbare Zeitanteil ausdehnen, wodurch wiederum die nachgefragten und übertragenen Datenmengen anwachsen.

7.2.3 Wärmeschutz an Gebäuden

Umweltrelevanz

Wärmeschutz an Gebäuden ist einer der wichtigsten Handlungsfelder zum Schutz energetischer Ressourcen. Rund 39% des Energieverbrauchs der Schweiz wird durch den Betrieb von Gebäuden verursacht (Heizung und Kühlung) (BFS, 2002).

In der Schweiz ist der Minergie-Standard als Label für energieeffizientes Bauen etabliert (Minergie, 2002). Die Hauptaufmerksamkeit des Wärmeschutz gilt beim gegenwärtigen Minergie-Konzept der Gebäudeausrüstung mit passiver Wärmeschutztechnologie (Wärmedämmung der Gebäudeaußenhülle), Wärmespeicherung sowie energieeffizienten Heizungssystemen.

Gleichwohl ist der Einsatz elektronischer Systeme wie z.B. aktiver Mess-, Steuer- und Regelsysteme (MSR) eine sinnvolle Ergänzung zum passiven Wärmeschutz. Insbesondere die aktive Belüftung von Minergie-Gebäuden erfolgt mit elektronischen Steuerungseinheiten. Bedarfsgerechte Temperatur- und Lüftungssteuerung ermöglicht eine Einsparung von Wärmeenergie.

Bisherige Erfahrungen mit MSR-Systemen im Wärmeschutz

Im Bereich der Gebäudetechnik wurden Energiesparsysteme in einem breiten Spektrum entwickelt und stehen heute als ausgereifte Produkte zur Verfügung. Neben passiven Gebäudeisolationen existieren bereits aktive Systeme, welche direkt am Ort des Bedarfs eingreifen und damit den Wärmeenergieverbrauch reduzieren. Ein solches System ist die Einzelraumregelung, durch Vernetzung von mikroprozessor-gesteuerten Automationseinheiten ermöglicht es eine bedarfsgerechte Steuerung des Wärmeverbrauchs und reduziert Verluste. Integrierte Gebäudetechnik basiert auf dem Konzept einer weitgehenden Vernetzung der verschiedenen Komponenten. Fernsteuerung der Heizungsanlage mittels Telefon ist bereits seit längerer Zeit Realität, hinzu kam in den letzten Jahren die Option zur Fernsteuerung über das Internet. Die Einbindung der Heizungssteuerung in digitale Datennetzwerke erlaubt darüber hinausgehende Funktionen wie Wärmebedarfsplanung entsprechend aktueller Wetterprognosen und dem Nutzungsprofil der Bewohner. Trotz technischer Realisierbarkeit haben sich diese Zusatzfunktionen bislang noch nicht durchgesetzt.

Erfolgversprechender erscheint die Einbindung von Anlagen zur Gewinnung regenerativer Energie, z.B. Solaranlagen oder Wärmepumpen in das Heizungssystem. Diese Energiequellen erfordern eine bedarfsangepasste Steuerung und Regelung, insbesondere, wenn sie zusammen mit konventionellen Heizungsanlagen eingesetzt werden. Entsprechende MSR-Systeme werden heute üblicherweise mit programmierbaren elektronischen Steuerungseinheiten realisiert, die neuerdings auch mit Schnittstellen für eine Netzwerkeinbindung ausgestattet sind. Mittels dieser Technologien wird die Nutzung regenerativer Wärmeenergiequellen unterstützt und damit attraktiver. Moderne Gebäudeleitsysteme verfügen über eigene Sensoren zur Erfassung aktueller Werte wie Temperatur, Sonneneinstrahlung und Windstärke im Innen- und Außenbereich. In Kombination mit Aktoren zur Steuerung von Belüftungseinrichtungen oder Außenstoren kann ein Gebäudeleitcomputer den jeweils optimalen Betriebspunkt der

Klimaanlage bestimmen. Die energetische Wirksamkeit dieser Maßnahmen wurde bisher nicht systematisch erforscht.

Zu erwartende Veränderungen durch Pervasive Computing

Sind diese Funktionen gegenwärtig zumeist als Insellösung realisiert, wird die elektronische Gebäudetechnik zukünftig vernetzt sein (siehe Abschnitt 4.1) und auch mit übergeordneten Netzwerken verbunden sein. Mit PvC können weitere kosten-günstige Komponenten (Sensoren, Aktoren) in die Gebäudetechnik eingebunden werden, die Funktionen der Einzelraumregelung unterstützen und erweitern. Im mittleren Technologieszenario „Smart Home“ wird für die kommenden Generationen von Neubauten im Wohnbereich mit einer weitgehenden Vernetzung aller Haushaltgeräte und der Gebäudetechnik gerechnet, dieses Szenario ist auch auf andere Gebäude-kategorien übertragbar. Ein derart ausgestattetes Gebäude wird über ein automati-siertes Energiemanagement verfügen, welches je nach gewähltem Energieprogramm die energetisch optimale Betriebsweise bestimmt. Mit dieser Technologie lassen sich Gebäude energieeffizient bewirtschaften:

- Anpassung des Energieverbrauchs zur Gebäudeklimatisierung an den aktuellen Bedarf
- Vermeidung von Wärmeverlusten durch manuelle Fehlbedienung oder Unacht-samkeit, z.B. können Fachleute die Heizung per Internet optimal einstellen.

Selbstverständlich kann die Anwendung von PvC nicht als Ersatz, sondern nur als Ergänzung zu bewährten Wärmeschutzmechanismen eingesetzt werden.

Die oben angedeutete Variante energiesparender Gebäudeausrüstung mittels „smarter“ Technologien muss allerdings auch kritisch betrachtet werden: Energie-effizientes Bauen ist auch ohne Anwendung „smarter“ Gebäudetechnik bereits heute möglich und ökonomisch attraktiv. Der im Vergleich zum Minergie-Standard strengere Passivhausstandard (in der Schweiz als Label „Minergie-P“ (Minergie, 2002)) verzichtet völlig auf konventionelle Heizungssysteme. Das Konzept basiert auf regene-rativen Wärmequellen (z.B. Solarkollektoren) bei gleichzeitig optimalem baulichen Wärmeschutz. Oberste Prämisse dieses Ansatzes ist: `einfach und kostengünstig` durch weitgehenden Verzicht auf teure und störungsanfällige MSR-Technik. Statt dessen setzt dieser Ansatz auf die intelligente Nutzung der selbstregulierenden Eigenschaften des Baumaterials (thermoaktive Bauteilsysteme (tabs)) und auf durchdachte Gebäudeplanung. Dem Ziel einer 2000 Watt-Gesellschaft in der Strategie Nachhaltigkeit (Bundesrat, 2002) wird diese Technologie eher gerecht, da passive Wärmeschutzkonzepte im Gegensatz zu elektronischen Steuerungselementen keine elektrische Energiezufuhr benötigen und außerdem wartungsarm und langlebig sind. Zudem entfällt mit dem Passivhausstandard eine wesentliche NIS-Quelle: die drahtlose Datenübertragung „smarter“ MSR-Elemente (Koschenz, 2002).

Nachteilig am Passivhausstandard ist die schwierige Umsetzbarkeit im Altbaubereich und bei Mietwohnungen. Hier könnten PvC-gestützte MSR-Systeme sinnvoll zum Einsatz kommen, da sie leichter nachinstalliert werden können und vergleichsweise geringe bauliche Veränderungen erfordern. So sind Wärmeschutzmaßnahmen kurzfristiger und kostengünstiger realisierbar als der Einbau passiver Wärmeschutz-einrichtungen, die zumeist eine Totalsanierung der Altbausubstanz erforderlich macht.

Quantitative Schätzungen zu Einspareffekten, die durch die automatische Heizungs-steuerung in einem vernetzten Haus erreicht werden können, liegen zwischen 15 und 35%. Damit ist durchaus ein Nettoeffekt im Sinne einer Energieeinsparung zu

erreichen, auch wenn dieser bei Berücksichtigung der Primärenergie für die Stromerzeugung nicht mehr ganz so ausgeprägt ausfällt (Cremer et al., 2003).

7.2.4 "Virtueller Verschleiß": Lebensdauerverkürzung durch eingebettete ICT

Umweltrelevanz

Die Nutzungsdauer von Sachgütern ist ein wesentlicher Parameter für den Material- und Energieverbrauch. Eine Halbierung der Nutzungsdauer bedeutet doppelten Resourcenaufwand für die Produktion und doppelten Entsorgungsaufwand. Die Nutzungsdauer kann unter der technischen Lebensdauer liegen.

Im ICT-Bereich zeigt die Erfahrung, dass Geräte ausgemustert und durch neue ersetzt werden, wenn sie erst 10-50% ihrer technischen Lebensdauer hinter sich haben. Beispielsweise kann ein PC aus technischer Sicht ca. 20 Jahre funktionieren, wird aber nur 2-5 Jahre genutzt. Ähnliches gilt für die Unterhaltungselektronik.

Technische Neuerungen treiben diesen raschen Wechsel an. Meist durch Veränderungen des technischen Umfelds, die zu Kompatibilitätsproblemen führen, werden Produkte lange vor Ende ihres technischen Lebens unbrauchbar.

Es besteht das Risiko, dass diese Entwicklung sich nun auf Gegenstände ausdehnt, in die ICT-Komponenten eingebettet sind. Beispielsweise könnte ein vernetzter Kühlschrank ersetzt werden, weil das alte Modell ein neues Netzwerkprotokoll nicht beherrscht. Wir haben für diesen denkbaren Effekt die Bezeichnung "virtueller Verschleiß" eingeführt.

Bisherige Erfahrungen mit der Nutzungsdauer von ICT

Ein typisches – wenn auch nicht spezifisches – Merkmal der ICT ist die hohe technologiegetriebene Innovationsdynamik. Diese führt zu rascher Weiterentwicklung im jeweiligen High-End-Sektor: Nach wie vor entwickelt sich die Mikroelektronik entsprechend dem 1965 postulierten `Mooreschen Gesetz` (Moore, 1965), nach dem sich die Packungsdichte von Transistoren je Chipfläche alle 18 Monate etwa verdoppelt. Dies führt in Verbindung mit höheren Taktfrequenzen und höheren Datenübertragungsraten in der Telekommunikation zu einem exponentiellen Wachstum der Leistungsfähigkeit von ICT.

Die hohe Innovationsdynamik führt zu einem schnellen Wertverlust der Geräte und auch der Software. Dieser würde auch dann eintreten, wenn der technische Verschleiß nahe null wäre (im Falle der Nichtbenutzung). Durch Auf- oder Nachrüstung kann der Abstand bei einzelnen Komponenten periodisch verringert, aber nicht grundsätzlich aufgehoben werden.

Der Wertverlust hat folgende Ursachen:

- Relative Leistungseinbussen: Bei gleich bleibender Performance wächst der Abstand zur steigenden Performance der Umgebung. Beispiel: Die Rechengeschwindigkeit eines PC-Systems mit Pentium-1-Prozessor ist nicht mehr ausreichend, um animierte Websites anzuzeigen.
- Zunehmende Inkompatibilität zur Umgebung, weil mit neuen Softwareversionen, die die höhere Leistungsfähigkeit der Hardware ausnutzen, häufig auch neue Datenformate eingeführt werden. Beispiel: Austausch von Textformaten verschiedener

Versionen eines Textverarbeitungsprogramms (z.B. WinWord) ist nicht möglich oder mit zusätzlichem Aufwand verbunden.

- Relatives Veralten der Datenträger. Beispiel: Nur 10 Jahre alte Daten, die auf 5 ¼“ Disketten gespeichert sind, können heute nicht mehr eingelesen werden, weil die entsprechenden Laufwerkstypen nicht mehr unterstützt werden. Das gleiche Problem wird demnächst 3 ½ Zoll Disketten betreffen und in nicht allzu ferner Zukunft auch CD-ROMs.
- Modetrends bestimmen insbesondere im Marktsegment der so genannten Lifestyle-Produkte die subjektive Bewertung der Produkte. Beispiel: subjektives Veralten von Handys infolge rasch wechselnder Designmerkmale.

Zu erwartende Veränderungen durch Pervasive Computing

Ein Merkmal von PvC ist die Einbettung von ICT-Komponenten in andere Objekte, die dadurch „smart“ oder „intelligent“ werden.

Bei Objekten mit einer relativ langen Lebensdauer wie Möbeln oder Haushaltgeräten könnte nun die beschriebene Innovationsdynamik von ICT dazu führen, dass diese ebenfalls einen vorzeitigen Wertverlust erleiden, wenn die ICT-Komponenten nicht austauschbar sind bzw. der Austausch sich nicht lohnt.

Die Umwelteffekte einer solchen Entwicklung sind aus heutiger Sicht schwer zu quantifizieren, das Schadenspotenzial ist aber sehr hoch, denn die Nutzungsdauer von Sachgütern ist ein zentraler Parameter für den Durchfluss von Masse und Energie durch das ökonomische System. Verkürzt sich die Nutzungsdauer, werden in der gleichen Zeit mehr natürliche Ressourcen verbraucht und mehr Abfälle und Emissionen erzeugt.

Ein gegenläufiger Effekt kommt jedoch ins Spiel, wenn neuere Produkte sich in der Nutzungsphase hinsichtlich Umwelteffekten günstiger verhalten als ihre Vorgänger. Beispielsweise kann eine neue Waschmaschine durch bessere Steuerung und Regelung sparsamer im Energie- und Wasserverbrauch sein als die alte, so dass der Ersatz von einem bestimmten Zeitpunkt an sich auch ökologisch lohnt. Auch ist es heute ökologisch sinnvoll, intensiv genutzte CRT-Monitore durch LCD-Monitore zu ersetzen, weil dies den Stromverbrauch reduziert (Behrendt et al., 2002).

Es ist aber schwer vorstellbar, dass PvC in der Nettobilanz hier einen positiven Effekt haben kann. Dies ergibt sich allein schon aus der Tatsache, dass viele Gegenstände, die zuvor ohne jede Energiezufuhr auskamen, durch PvC permanent an das Stromnetz angeschlossen bzw. regelmäßig aufgeladen werden müssen.

Der eigentliche virtuelle Verschleiß tritt ein, wenn die relative Leistungsfähigkeit des eingebetteten Chips nicht mehr dem allgemeinen Stand der Technik entspricht oder wenn neue Protokolle und Datenformate sich durchsetzen, so dass der „intelligente Gegenstand“ in Netzwerken zu einem Fremdkörper wird.

Maßnahmen gegen den virtuellen Verschleiß sollten vor allem auf der Ebene der Standardisierung ansetzen, damit ein Höchstmaß an Kompatibilität zwischen Anwendungen verschiedener Hersteller und zwischen verschiedenen Gerätegenerationen erreicht werden kann.

Auch auf Konstruktionsebene sollte dem Rechnung getragen werden, indem z.B. die Möglichkeit zum Upgrade oder Austausch der „smarten“ Komponente vorgesehen wird. Auf Verbraucherseite könnten Maßnahmen darin bestehen, dass die Motivation

zu langer Nutzungsdauer gesteigert wird, z.B. durch kommunikative Maßnahmen, die dem Vorurteil entgegenwirken, dass jeder Innovationszyklus eine tatsächliche Verbesserung des Nutzens mit sich bringt.

8 Zusammenfassung der Chancen und Risiken des Pervasive Computing

Lorenz Hilty, Andreas Köhler, Claudia Som

Dieses Kapitel fasst die wichtigsten Chancen und Risiken von Pervasive Computing (PvC) zusammen und charakterisiert die Risiken qualitativ.

PvC lässt ein breites Spektrum von Anwendungen zu. Deshalb sind auch die möglichen Auswirkungen der Einführung von PvC vielfältig und nicht vollständig beschreibbar. Einige dieser Auswirkungen als gesellschaftliche Chancen oder Risiken hervorzuheben, wie wir es im folgenden tun, setzt daher eine Bewertung im zweifachen Sinn voraus:

- eine Relevanzbewertung: Warum wird gerade diese Auswirkung ausgewählt und als Chance oder Risiko diskutiert, während andere denkbare Auswirkungen nicht näher betrachtet werden?
- eine Einteilung nach Nutzen oder Schaden: Nach welchem Kriterium wird eine Auswirkung als potenziell nützlich (und damit als Chance) oder als potenziell schädlich (und damit als Risiko) eingestuft?

Erst im Anschluss an diese zwei Schritte, deren Kriterien wir in 8.1 und 8.2 offen legen, kann die Beschreibung der Chancen und Risiken (8.3-8.6) und die eigentliche Risikobewertung erfolgen. Da eine quantitative Risikobewertung aufgrund verschiedener Ungewissheiten nicht angemessen erscheint, beschränken wir uns auf eine qualitative Charakterisierung der Risiken (8.7). Sie ist Grundlage für die in Kapitel 9 gegebenen Empfehlungen.

Wir betrachten in diesem Kapitel nur Auswirkungen des PvC, die eine gesellschaftliche Bedeutung haben, also über die Beziehung zwischen Produzent und Konsument eines PvC-Produktes¹³⁶ hinaus von Bedeutung sind. Insbesondere wird der *subjektive Nutzen*, den der Käufer eines PvC-Produktes ins Kalkül zieht, wenn er sich frei für den Kauf entscheidet, hier nicht als Chance behandelt. Die Tatsache, dass man mit einem Hemdkragen Musik hören kann, ist also keine Chance im Sinne der folgenden Überlegungen. Entsprechend wird ein möglicherweise in Kauf genommener *subjektiver Schaden* (z.B. dass man das Hemd beim Sicherheits-Check am Flughafen ausziehen muss) nicht als Risiko betrachtet. Solche Auswirkungen regelt ein funktionierender Markt.

Wir konzentrieren uns hier auf Auswirkungen, die der Markt nicht "sieht". Die Ursache kann darin liegen, dass die Auswirkungen dem Käufer *nicht bekannt* oder *generell ungeklärt* sind, dass sie *schleichend auftreten* oder *Dritte betreffen* (externe Effekte). Das gilt z.B. für unerwartete Gesundheitsfolgen oder für Umweltbelastungen, die unbeteiligte Personen und nachfolgende Generationen betreffen können. Auch die Kostenentwicklung im Gesundheitswesen ist ein Aspekt von gesellschaftlicher Bedeutung.

¹³⁶ Es kann sich hier und in allen weiteren Fällen, wo von "PvC-Produkten" die Rede ist, auch um PvC-Dienstleistungen handeln.

8.1 Relevanzkriterien

Die Auswahl der nachfolgend diskutierten Chancen und Risiken basiert auf folgenden Relevanzkriterien, die gleichzeitig erfüllt sein müssen:

- Die Auswirkung ist nach Einschätzung der befragten Expertinnen und Experten¹³⁷ relevant.
- Die Auswirkung ist spezifisch für PvC, d.h. sie ist bei anderen aktuellen Technologien nicht oder nicht in diesem Ausmaß zu erwarten.
- Die Auswirkung fällt in einen der beiden Bereiche, die im Rahmen dieses Projekts untersucht werden (Gesundheit und Umwelt).

Wir haben diese Kriterien nicht sehr streng ausgelegt, um die Gefahr zu verringern, dass wir eventuell wichtige Aspekte zu früh aussondern.

In den durchgeführten Expertenworkshops zeigte sich großes Interesse an Auswirkungen, die auch außerhalb der Themen

- Gesundheit und
- Umwelt

im engeren Sinne liegen. Insbesondere wurde sozialen Risiken und zum Teil auch wirtschaftlichen Chancen hohe Relevanz zugeschrieben. Aus diesem Grund fügen wir zwei Abschnitte hinzu, die sich mit

- sozialen und
- wirtschaftlichen

Auswirkungen befassen. Diese Abschnitte (8.5 und 8.6) sind jedoch schwächer in den Überlegungen der vorausgegangenen Kapitel verankert als die Ausführungen zu den beiden Kernthemen, da sie nicht im ursprünglichen Fokus dieser Studie liegen. Sie bilden einen Ansatzpunkt für weitere, mehr auf soziale und ökonomische Aspekten fokussierte Studien.

8.2 Zur Einteilung der Auswirkungen in Chancen und Risiken

Wir haben im Abschnitt 2.6 einen normativen Rahmen eingeführt, der für die Unterscheidung von Chancen und Risiken eine Zielrichtung vorgibt. Z.B. ergibt sich aus dem Ziel der Nachhaltigkeit relativ klar, dass die Auswirkung "Weniger Materialverbrauch durch ICT" als Chance zu werten ist, "Mehr Materialverbrauch durch ICT" dagegen als Risiko.

Schwieriger als die Bewertung solcher Auswirkungen ist die Abschätzung, in welche Richtung die Entwicklung faktisch laufen wird. Viele Eigenschaften bzw. Trends der ICT sind in ihren Auswirkungen *ambivalent* (vgl. Kündig, 2002). Beispielsweise führt die weitere Miniaturisierung zu einer großen Materialeinsparung, wenn die Anzahl der hergestellten Komponenten langsamer wächst als der spezifische Materialaufwand sinkt. Wächst sie jedoch schneller – wofür einige in Abschnitt 7.1.2 angeführte Gründe sprechen – führt dies zu einem Anwachsen der Materialströme (und damit auch des

¹³⁷ Zur Befragung von Expertinnen und Experten wurden zwei Workshops durchgeführt (siehe 1.2). Außerdem wurden Einschätzungen der Mitglieder der Begleitgruppe des Projekts berücksichtigt.

Ressourcenverbrauchs). Die Unsicherheit bei der Abschätzung eines solchen Risikos (oder einer Chance) beruht hier nicht auf einem Mangel an Wissen (wie bei den Wirkungen von NIS), sondern auf der Nichtvorhersagbarkeit gesellschaftlicher Prozesse (Akzeptanz, Nutzerverhalten) bzw. darauf, dass die Entwicklung noch objektiv offen ist.

Wir bezeichnen diese Art von Auswirkungen als "Januskopf-Risiken".¹³⁸ Abhängig vom angenommenen Szenario (Abschnitt 4.9) und weiteren Randbedingungen kann ihr Vorzeichen positiv oder negativ werden. Sie sind unter dem Vorsorgeaspekt besonders interessant, weil hier ein Gestaltungspotenzial besteht.

Exkurs: Der Begriff des ungeklärten Risikos

Ein Risiko ist klassischerweise durch das Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Ausmaß eines Schadens gekennzeichnet. Ein Risiko ist also ein möglicher oder potenzieller Schaden. Obwohl der Eintritt des Schadens *im Einzelfall* nicht vorhersagbar ist, kann Gewissheit über einen generellen Kausalzusammenhang bestehen, wie z.B. über den Zusammenhang von Rauchen und der Erkrankung an Lungenkrebs.

Wenn aber der Zusammenhang zwischen einer gegebenen Ursache und einer (vermuteten) Wirkung an sich unklar ist und möglicherweise erst nach längerer Zeit festgestellt werden kann, liegt eine völlig andere Situation vor. In diesen Fällen – und um diese geht es beim Vorsorgeprinzip, vgl. Abschnitt 2.1 – sprechen wir von einem *ungeklärten Risiko*.¹³⁹

Es gibt *verschiedene Arten von Ungewissheit*, die dafür verantwortlich sein können, dass ein Risiko als ungeklärt gilt. In den Fällen, die wir in dieser Studie betrachten, ist die Unterscheidung der folgenden zwei Arten von Ungewissheit relevant:

1. Die Ungewissheit aufgrund unvollständigen Wissens über einen gegebenen Sachverhalt (unzureichender Wissensstand).
2. Die Ungewissheit über über einen *noch nicht* gegebenen Sachverhalt (Offenheit einer Entwicklung).

Ein Beispiel für den ersten Fall ist die Ungewissheit, ob nichtionisierende Strahlung (NIS) unterhalb der thermischen Schwelle gesundheitliche Schäden verursachen kann. Der Sachverhalt ist an sich gegeben, aber der Wissensstand ist noch unzureichend.

Der zweite Fall kommt insbesondere bei gesellschaftlichen Entwicklungen vor. Dazu gehören die oben erwähnten "Januskopf-Risiken", also jene Fälle, in denen die Art der Ausbreitung und Anwendung der Technologie entscheidend sind für ihre Auswirkung, so dass nicht mit Sicherheit ausgesagt werden kann, ob die Chancen oder die Risiken überwiegen werden. Lediglich über die Potenziale in beiden Richtungen lassen sich einigermaßen gesicherte Aussagen treffen.

¹³⁸ Man könnte mit gleichem Recht von "Januskopf-Chancen" sprechen.

¹³⁹ Es handelt sich genau genommen nur um ein mögliches Risiko, also einen "möglichen möglichen Schaden". Da es aber zweifelhaft ist, ob aus der Sicht der Logik die "Möglichkeit einer Möglichkeit" von einer einfachen Möglichkeit verschieden sein kann, vermeiden wir die Formulierung "mögliches Risiko" oder "potenzielles Risiko" und sprechen von ungeklärtem Risiko.

8.3 Gesundheit

In den folgenden Abschnitten werden zwei Arten von Auswirkungen des PvC auf die Gesundheit behandelt:

1. direkte Auswirkungen (Abschnitt 8.3.1)
2. Auswirkungen auf gesundheitsrelevante Einflussfaktoren (Abschnitt 8.3.2)

Das Thema nichtionisierende Strahlung (NIS) ist insofern ein Spezialfall, als es an beiden Stellen behandelt wird. Zwei Fragen zum Thema NIS sind zu untersuchen

1. Welchen Einfluss hat eine gegebene NIS-Exposition auf die Gesundheit?
2. Welchen Einfluss hat die Entwicklung in Richtung Pervasive Computing auf die NIS-Exposition?

Unabhängig von der Antwort auf die erste Frage gehört die NIS-Exposition zu den gesundheitsrelevanten Einflussfaktoren, die hier zu betrachten sind. Selbst unter der Annahme, dass NIS als Ursache für Gesundheitsschäden ausgeschlossen werden könnte, wäre eine subjektiv empfundene Beeinträchtigung oder Belastung durch NIS-Exposition gesundheitlich relevant.¹⁴⁰ Bei näherer Betrachtung stellen sich die Kausalzusammenhänge wie in Abbildung 8-1 dar.

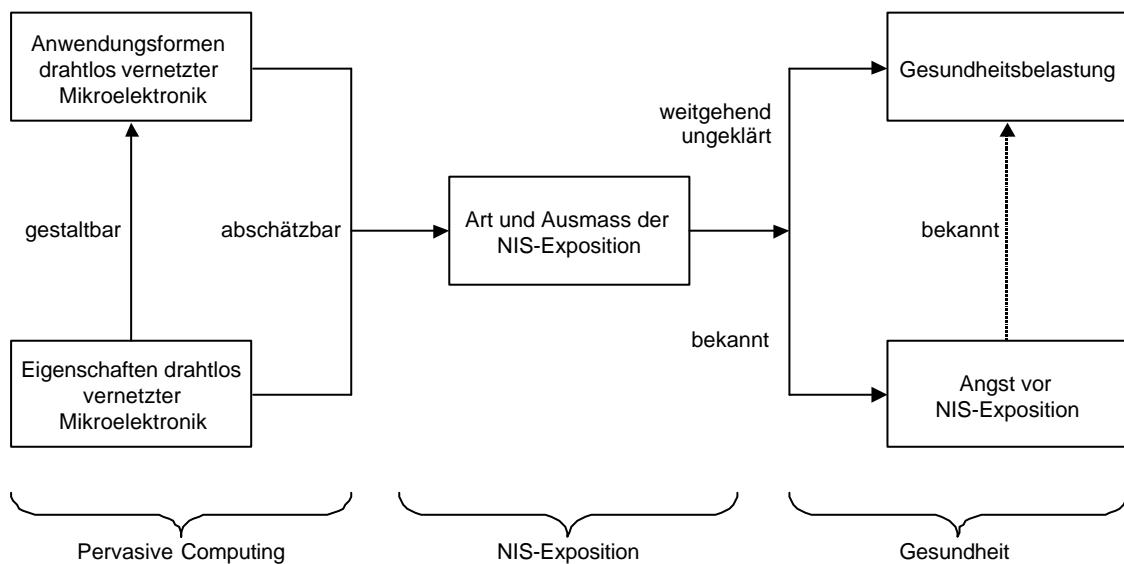


Abbildung 8-1: Kausalzusammenhänge zwischen PvC, NIS-Exposition und Gesundheit mit Grobcharakterisierung der Unsicherheit.

¹⁴⁰ "Die Angst vor einer subjektiv wahrgenommenen Bedrohung kann objektiv messbare Symptome auslösen, z.B. Schlafstörungen und deren gesundheitliche Folgen." (Gutscher, 2002).

8.3.1 Auswirkungen auf die Gesundheit

Tabelle 8-1 fasst die Chancen und Risiken des PvC für die menschliche Gesundheit zusammen, die sich als Konsequenz aus Kapitel 6 und dem Anhang dieser Studie ergeben.

Wenn in einer Zeile sowohl eine Chance als auch ein Risiko angegeben ist, so gehört es zur oben eingeführten Klasse der "Januskopf-Risiken": Abhängig vom weiteren Entwicklungsverlauf kann ein und dieselbe Ursache sich positiv oder negativ auf den betrachteten Aspekt auswirken.

In der Spalte "Wissensstand" wird angegeben, ob ein Risiko heute als geklärt gilt bzw. wie groß der Grad der Unsicherheit (Ungewissheit) ist. Da für unsere Zielsetzung der Wissensstand nur bei Risiken interessant ist, machen wir bei Chancen keine Angabe.

Jede Zeile der Tabelle wird auf den folgenden Seite näher erläutert.

Tabelle 8-1: Auswirkungen des PvC auf die Gesundheit

Nr.	Anwendungsfeld	Ursache	Chance	Risiko	Wissensstand
G-1	alle	NIS-Exposition durch PvC	-	Gesundheits-schäden durch NIS	weitgehend ungeklärt
G-2	alle	stofflicher Kontakt mit PvC-Komponenten	-	Allergien und chronische Vergiftungen	teilweise ungeklärt
G-3	Gesundheit	Überwachung des Gesundheitszustandes durch PvC	mehr Sicherheit und Lebensqualität für chronisch Kranke	-	-
G-4	Gesundheit	Überwachung des Gesundheitszustandes durch PvC	schnellere und besser informierte Hilfe bei Notfällen	-	-
G-5	Gesundheit	PvC-gestützte Operations-techniken	größere Behandlungserfolge in der Chiurgie	-	-
G-6	Gesundheit	Verwendung aktiver Implantate	bessere Therapiemöglichkeiten	unerwartete Nebenwirkungen aktiver Implantate	Nebenwirkungen teilweise ungeklärt

G-1. Gesundheitsschäden durch NIS

Nichtionisierende Strahlung (NIS) umfasst alle Formen von (elektromagnetischer) Strahlung, deren Intensität nicht hoch genug ist, um ionisierend zu wirken.¹⁴¹ Dazu gehören insbesondere Funkwellen, die für Radio, Fernsehen, Mobiltelefonie und zur drahtlosen Datenübertragung genutzt werden.

Als Maß für die NIS-Exposition von Körpergewebe gilt die spezifische Absorptionsrate (SAR-Wert), die in Watt pro Kilogramm Gewebe (W/kg) angegeben wird. Unumstritten ist, dass bei entsprechend hoher Exposition Gesundheitsschäden durch *thermische Effekte* entstehen:

- Bei einem Wert ab 100 W/kg tritt sicher eine Gewebeschädigung ein.
- Grenzwerte für thermische Effekte werden mit einem Sicherheitsfaktor 50 beaufschlagt, liegen also bei 2 W/kg.

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 (2G), also 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 (3G), also UMTS, und nicht für PvC (siehe auch Anhang).

Aus den bisherigen Studien, insbesondere aus neueren Untersuchungen der Gruppe von P. Achermann am Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Universität Zürich, ist bekannt (siehe auch Abschnitt 6.4 und Anhang)

- Es gibt athermische biologische Effekte von NIS, insbesondere auf die Hirntätigkeit (EEG) während des Schlafs;
- Diese Effekte sind von der Modulation des Signals abhängig, d.h. sie treten bei einem unmodulierten Trägersignal nicht auf.

Unbekannt ist dagegen,

- der kausale Mechanismus, der den nachgewiesenen biologischen Effekten zugrunde liegt;
- ob diese Effekte zu einer Gesundheitsschädigung führen;
- ob es schwerwiegende Langzeiteffekte der NIS-Exposition gibt.

¹⁴¹ Im Falle einer ionisierenden Wirkung würden Moleküle verändert.

Indizien gibt es für Effekte auf die Aktivität des Enzyms Ornithindecarboxylase (ODC), auf die Ausschüttung des Hormons Melatonin bei Versuchstieren, auf den Kalzium-ionentransport durch Membranen von Nerven- und anderen Zellen; auf kognitive Funktionen (Verkürzung der Reaktionszeit), auf die Blut-Hirn-Schranke, auf die Genexpression in Säugetierzellen sowie auf eine Beeinträchtigung des blutbildenden oder des Immunsystems. Als weiteres Indiz für biologische Wirkungen können auch Schlafstörungen und Elektrosensibilität betrachtet werden.

Zusätzlich zu den biologischen Wirkungen sind die psychosomatischen Wirkungen der NIS-Exposition zu beachten. Personen mit Tendenz zur Somatisierung können reale Symptome entwickeln, wenn sie an eine gesundheitliche Beeinträchtigung glauben, und es wird vermutet, dass dies auch als Gruppenphänomen auftritt ("Mass Sociogenic Illness", MSI). Ferner ist bekannt, dass das Gefühl der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch NIS bei Personen mit Somatisierungstendenz abnimmt, wenn sie das zur Diskussion stehende Risiko mit anderen Risikoszenarien vergleichen (so genannte "Kontrast-Effekte", Frick et al., 2002).

Ungeklärt ist, ob die beobachtete Elektrosensibilität auf biologischen Wirkungsmechanismen beruht.

G-2. Allergien und chronische Vergiftungen

Mit der Anzahl von Mikroelektronik-Komponenten, die körpernah eingesetzt werden, nehmen der Hautkontakt mit den Oberflächen dieser Produkte (Polymere mit Zusatzstoffen), das Einatmen von Abrieb und Ausdünstungen oder das Risiko versehentlichen Verschluckens (speziell bei E-Grains, die wenige Kubikmillimeter groß sind) entsprechend zu. Mit wachsender Materialvielfalt kann das Risiko allergischer Reaktionen (wie es sich in der Vergangenheit z.B. bei Nickel gezeigt hat) oder chronischer Vergiftungen zunehmen. Wegen der Nähe der Mikroelektronik zur Nanotechnologie kommen in Zukunft auch Stoffe mit neuen Oberflächen-Eigenschaften und Nanopartikel als Risikoquellen in Betracht.

Die Höhe des Risikos ist abhängig von der Palette der eingesetzten Stoffe, von der Art der Umhüllung der Komponenten und von konstruktiven Maßnahmen, die Abrieb oder Ausdünstungen vermeiden.

G-3. Mehr Sicherheit und Lebensqualität für chronisch Kranke

Bei chronischen Erkrankungen kann die Überwachung physiologischer Parameter (z.B. Herzschlag, Blutdruck, Blutzucker) einen Gewinn an Sicherheit bedeuten. Sowohl eine Fernüberwachung (Telemetrie) als auch eine lokale Auswertung der gemessenen Daten für den Träger selbst ist möglich. Siehe aber auch die unter "Psychische Nebenwirkungen der Apparatemedizin" erwähnten Risiken (Abschnitt 8.3.2).

G-4. Schnellere und besser informierte Hilfe bei Notfällen

Die Reaktion auf das Eintreten eines medizinischen Notfalls kann durch Überwachung des Gesundheitszustandes, automatisches Absenden eines Notrufs, schnellere Lokalisierung des Notfallopfers durch den Rettungsdienst und automatisierte Bereitstellung von Informationen (z.B. einer elektronischen Krankenakte) beschleunigt und verbessert werden. Damit steigen Überlebenswahrscheinlichkeit und Heilungschancen der Betroffenen.

G-5. Größere Behandlungserfolge in der Chirurgie

Die Anwendung von Mikro- und Nanorobotik und -sensorik in der Chirurgie bietet große Chancen für minimal invasive Operationstechniken und wird vom Trend zum PvC profitieren. Augmented Reality kann außerdem die Präzision der Eingriffe und die Informationsverfügbarkeit während der Operation verbessern.

G-6. Bessere Therapiemöglichkeiten / unerwartete Nebenwirkungen aktiver Implantate

Aktive Implantate, d.h. in den Körper eingesetzte mikroelektronische Komponenten, bieten z.B. als Bestandteil computergesteuerter Prothesen, als Hirnschittmacher oder als künstliche Sinnesorgane (Sinnesprothesen) große therapeutische Chancen. Sollte der Einsatz aktiver Implantate ohne die systematische Abklärung möglicher Nebenwirkungen erfolgen, könnten die Risiken überwiegen. Mögliche Nebenwirkungen sind:

- Reaktionen auf Substanzen, die sich unter dem Einfluss biologischen Umgebung aus der Implantatoberfläche herauslösen.
- Beeinflussung von Funktionalität und Verhalten der Zellen, die mit dem Implantat in Kontakt treten, durch Proteinadsorption und Denaturierung an der Implantatoberfläche.
- Mechanischer Stress des Gewebes in der direkt angrenzenden Umgebung.
- Störung der Zell-Zell-Interaktion durch elektrische oder optische Aktivität.
- Abstrahlung elektromagnetischer Felder durch Implantate, die zu hohen lokalen NIS-Expositionen führen kann.

Diese Risiken sind beeinflussbar durch die vorgenommen Tests, durch die Umhüllung von Implantaten und durch die weitere Erforschung noch ungeklärter Effekte.

Soweit aktive Implantate drahtlos kommunizieren, ist zu beachten, dass auch bei - im Vergleich zur Mobilkommunikation - sehr niedrigen Sendeleistungen im umgebenden Gewebe lokale Expositionen in der Größenordnung von 100 W/kg entstehen könnten. Dies ist auf die größere Nähe zum Gewebe und die kleinen Abmessungen der Implantate zurückzuführen (siehe Anhang).

8.3.2 Auswirkungen auf gesundheitsrelevante Einflussfaktoren

Zusätzlich zu den möglichen *direkten* Auswirkungen von PvC auf die Gesundheit gibt es *indirekte* Auswirkungen, d.h. Auswirkungen auf gesundheitsrelevante Einflussfaktoren wie z.B. Stress oder körperliche Mobilität. Tabelle 8-2 zeigt die entsprechenden Chancen und Risiken. Diese indirekten Auswirkungen sind ebenso relevant (siehe Abschnitt 8.1) wie die direkten Auswirkungen.

Die Ungewissheit bei der Abschätzung der Risiken liegt hier weniger im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnis, sondern vielmehr in der Schwierigkeit, den gesellschaftlichen Umgang mit den technischen Möglichkeiten zu prognostizieren, zumal dieser ja gestaltbar ist.

Anstelle des Wissensstandes ist deshalb in der vierten Spalte der *Einfluss der drei Szenarien* aufgeführt. Die drei Szenarien wurden in Kapitel 4 eingeführt, um mögliche Entwicklungspfade des PvC aufzuzeigen.

Tabelle 8-2: Auswirkungen des PvC auf gesundheitsrelevante Einflussfaktoren

Nr.	Anwendungsfeld	Ursache	Chance	Risiko	Einfluss der Szenarien
E-1	alle	Verändertes ICT-Umfeld durch PvC	NIS-Exposition nimmt ab	NIS-Exposition nimmt zu	Abnahme nur bei mittlerem Szenario unter zusätzlichen Annahmen
E-2	alle	neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion	weniger Stress durch bessere Ergonomie ¹⁴²	mehr Stress durch schlechtere Ergonomie	Chance besteht immer, im Hightech-Szenario notwendig
E-3	alle	Abhängigkeit von wachsender Zahl vernetzter PvC-Komponenten	-	Stress durch subjektiv unkalkulierbares Verhalten der Technik	Risiko wächst mit Durchdringungs- und Vernetzungsgrad
E-4	alle	größere Zahl von Objekten, die mit dem Menschen interagieren	-	Stress durch Reizüberflutung und Ablenkung der Aufmerksamkeit	hoch im mittleren Szenario, unklar im Hightech-Szenario
E-5	Gesundheit, Arbeit	ICT wird am Körper getragen	mehr körperliche Bewegungsfreiheit	-	wächst mit Durchdringungs- und Vernetzungsgrad
E-6	Gesundheit	Überwachung physiologischer Parameter durch PvC	gesündere Lebensführung	E-Doping	Chance und Risiko im mittleren und im Hightech-Szenario gegeben
E-7	Gesundheit	mehr Technikeinsatz für Diagnose, Behandlung und Pflege	mehr Autonomie für Patienten	psychische Nebenwirkungen der "Apparatemedizin"	Risiko überwiegt im Hightech-Szenario
E-8	Gesundheit	Veränderte Kostenstruktur im Gesundheitswesen durch PvC	Beitrag zur Kostenstabilisierung im Gesundheitswesen	Kostenschub im Gesundheitswesen	Chance und Risiko gering im zurückhaltenden Szenario
E-9	Verkehr	Systeme zur Unterstützung des Fahrzeuglenkers	höhere Verkehrssicherheit	höhere Unfallrisiken	Risiko hoch im Hightech-Szenario

E-1. NIS-Exposition nimmt ab / NIS-Exposition nimmt zu

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:

¹⁴² Ergonomie im hier verwendeten Sinne hat das Ziel, die Arbeitsbedingungen bei der Interaktion zwischen Mensch und Maschine optimal an den Menschen anzupassen. Das Kriterium "ergonomisch" ist also umfassender und weitergehend als "benutzbare" (usable) oder "benutzerfreundlich", "zuverlässig" usw. Siehe auch Stichwort "Software-Ergonomie" im Glossar.

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 drahtloser 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 Körernähe lokal um ein Vielfaches höher sein (siehe auch Anhang).

E-2. Weniger Stress durch bessere Ergonomie / mehr Stress durch schlechtere Ergonomie

Neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion sind notwendig, wenn Tastatur, Maus und Monitor nicht zur Bremse für die Realisierung kleiner mobiler ICT-Anwendungen werden sollen (Beispiele: Eingabe durch gesprochene Sprache, Gestik, Mimik, Blickrichtung, über neuartige Tastaturen, Datenhandschuhe oder einfach durch Benutzung gewöhnlicher Gegenstände; Ausgabe durch Retina-Displays usw.). Die optimale Anpassung einer Technologie an den Menschen geschieht aber nicht von selbst, sondern ist die vielleicht größte Herausforderung für die Entwickler.

Es besteht die Chance, dass PvC besser an den Menschen angepasst sein wird als heutige ICT wie z.B. Notebooks und Mobiltelefone. Die bisherige Erfahrung zeigt allerdings, dass die Anpassungsbereitschaft des Menschen an ICT so groß ist, dass er auch schlechte Lösungen mit hohem Stresspotenzial akzeptiert. Beispielsweise gibt es heute immer noch ICT-Produkte, die das Kriterium "Plug and Play" nicht erfüllen, also nach dem Anschließen und Einschalten nicht funktionieren, und dennoch gekauft werden. In vielen Fällen haben sie sogar einen höheren Marktanteil als Konkurrenzprodukte, die das Kriterium besser erfüllen.

Es ist aus heutiger Sicht deshalb schwer vorherzusagen, ob PvC eine höhere Stufe der Anpassung der Technik an den Menschen erreichen wird, oder ob umgekehrt der Druck auf die Menschen zunehmen wird, sich an eine (möglicherweise unzulängliche) Technik anzupassen.

E-3. Stress durch subjektiv unkalkulierbares Verhalten der Technik

Aufgrund der Komplexität programmierten Systems kann der Benutzer sich häufig nicht darauf verlassen, dass sie sich erwartungsgemäß verhalten.¹⁴³

Dies gilt in verschärfter Form, wenn mehrere Systeme vernetzt werden, was heute der Normalfall ist. Auf diese Weise entstehen so genannte verteilte Systeme, deren Verhalten besonders schwer vorherzusehen ist. Auch die Möglichkeiten einer formalen Verifikation, die objektiv garantieren würde, dass unerwünschte Systemzustände nicht eintreten können, stoßen hier an Grenzen.

In dem Maße, in dem die Abhängigkeit von solchen Systemen zunimmt, wachsen auch die potenziellen Schäden, die aus einer Fehleinschätzung ihres Verhaltens resultieren können. Wo mehr auf dem Spiel steht als die Ergebnisse einiger Arbeitsstunden (wie heute bei der üblichen PC-Benutzung), wird auch der Stress für die Benutzer entsprechend zunehmen.

E-4. Stress durch Reizüberflutung und Ablenkung der Aufmerksamkeit

Heute fühlen sich viele Menschen durch das Klingeln von Mobiltelefonen oder das unfreiwillige Mithören von Gesprächen gestört. Deshalb sind Handys in bestimmten Zonen (Theater, Ruheabteile im Zug, Restaurants) nicht erlaubt oder unerwünscht.

Trotz der angestrebten Unauffälligkeit oder sogar Unsichtbarkeit der PvC-Komponenten werden diese in vielen Fällen die Aufmerksamkeit des Benutzers auf sich ziehen müssen. Durch welche Signale dies geschehen wird und wieweit sich die Belästigung Dritter vermeiden lässt, ist eine Frage der Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion und heute noch offen.

Es besteht das Risiko einer generellen Zunahme von Störungen und Unterbrechungen (bei Gesprächen, konzentrierter Arbeit, Entspannung usw.) durch technikbedingte Ablenkung der Aufmerksamkeit, was zu erhöhtem Stress führen kann.

E-5. Mehr körperliche Bewegungsfreiheit

Die ortsunabhängigen Einsatzmöglichkeiten von ICT, die sich gemäß der Vision von PvC vervollkommen werden, bieten die Chance zu höherer Bewegungsfreiheit. Mehr und mehr Gründe entfallen, aus denen man an einen Schreibtisch, an ein Krankenbett oder andere Orte "gefesselt" ist. Sportliche Betätigung lässt sich leichter mit anderen Aktivitäten, z.B. Medienkonsum, kombinieren.

Dies kann zu mehr körperlicher Bewegung führen und sich positiv auf die Gesundheit auswirken, sowohl bei der Rehabilitation als auch als genereller Beitrag zu einer gesünderen Lebensführung.

¹⁴³ Ein digitaler Computer ist zwar ein deterministischer Automat, d.h. sein Verhalten ist objektiv vorhersehbar. Dennoch kann das Verhalten eines Computersystems - bei durchaus korrekter Funktion der Hardware - aufgrund der Komplexität der Software eine Stufe erreichen, auf der es einem Menschen (auch dem Entwickler selbst) nicht mehr gelingt, ein adäquates mentales Modell des Systems aufzubauen. Das Verhalten des Systems, obwohl durch den Anfangszustand und die Eingabedaten vollständig determiniert, erscheint *subjektiv* unkalkulierbar. Die Durchschaubarkeit von Software oder gar ihre formale Verifizierbarkeit gilt in der Informatik als Ausnahmefall.

E-6. Gesündere Lebensführung / E-Doping

Die Überwachung physiologischer Parameter durch PvC kann für gesundheitsbewusste und/oder sich in Rehabilitation befindende Menschen nützliche Informationen liefern, bis hin zu einer systematischen Optimierung der Lebensführung. Ernährung, Sport, Erholung usw. werden sozusagen in einem geschlossenen Regelkreis optimiert.

Was Überlastungen vermeiden hilft, kann aber auch benutzt werden, um möglichst nahe an die Grenzen der Belastbarkeit zu gehen oder diese kurzzeitig bei kalkuliertem Risiko zu überschreiten. Es ist daher nicht auszuschließen, dass PvC Formen des "E-Doping" entstehen lässt.

E-7. Mehr Autonomie für Patienten / psychische Nebenwirkungen der "Apparatemedizin"

PvC kann die Abhängigkeit von Patienten von Hilfs- und Pflegepersonen verringern, Spitalaufenthalte verkürzen und den Informationsgrad der Patienten verbessern. Dies alles bietet die Chance, dass die Autonomie des Patienten im Behandlungsablauf besser gewahrt wird.

Mehr Technikeinsatz bedeutet in der Regel auch Einsparung von Personal. Ein weiterer Schritt in Richtung "Apparatemedizin" könnte psychische Nebenwirkungen auslösen wie das Gefühl, überwacht und ausgeliefert zu sein, oder Angst vor technischem Versagen. Dies ist besonders dann zu erwarten, wenn die Überwachung unfreiwillig oder nur teilfreiwillig geschieht, z.B. auf Druck der Krankenkasse.

E-8. Beitrag zur Kostenstabilisierung im Gesundheitswesen / Kostenschub im Gesundheitswesen

Rationalisierungseffekte, Früherkennung von Erkrankungen und andere Effekte des PvC im Gesundheitswesen können sich kostensenkend auswirken. Zugleich entstehen neue, möglicherweise kostenintensive Therapiemöglichkeiten (z.B. im Bereich der aktiven Implantate), die zu einem neuen Kostenschub führen könnten, soweit sie häufige Indikationen betreffen.

E-9. Höhere Verkehrssicherheit / höhere Unfallrisiken

Im Verkehr können zusätzliche Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungssysteme für Fahrzeug und Fahrer die Sicherheit verbessern.

Wenn die technische Komplexität der eingesetzten Systeme und ihre "Autonomie" nicht stark begrenzt bleibt, könnten die Risiken überwiegen. Diese liegen einerseits im Bereich technischen Versagens (Softwarefehler mit schwerwiegenden Folgen), andererseits bei korrekter Funktion in einer möglicherweise höheren Risikobereitschaft der Fahrer aufgrund des entstehenden Sicherheitsgefühls.¹⁴⁴

Zusätzlich sind Systeme, die die Aufmerksamkeit des Fahrers vom Verkehrsgeschehen ablenken, mit hohen Risiken verbunden.

¹⁴⁴ Entsprechende Erfahrungen wurden mit Antiblockiersystemen (ABS) gemacht (Schibalski 2002)

8.4 Umwelt

Ausgehend von den Umweltwirkungen, die in Kapitel 7 beschrieben sind, ergeben sich die wichtigsten Chancen und Risiken des PvC für die Umwelt wie in Tabelle 8-3 gezeigt.

Tabelle 8-3: Auswirkungen des PvC auf die Umwelt

Nr.	Anwendungs-feld	Ursache	Chance	Risiko	Einfluss der Szenarien
U-1	alle	PvC als dominante Anwendungsform von ICT	weniger ICT-bedingter Materialverbrauch	mehr ICT-bedingter Materialverbrauch	von Rahmenbedingungen abhängig
U-2	alle	PvC als dominante Anwendungsform von ICT	weniger ICT-bedingter Energieverbrauch	mehr ICT-bedingter Energieverbrauch	von Rahmenbedingungen abhängig
U-3	alle	Entsorgung kleiner Elektronik-komponenten	-	Entsorgungsprobleme durch Elektronik	wächst mit dem Durchdringungsgrad
U-4	alle	Messen, Steuern, Regeln wird einfach und billig	material- und energie-effizientere Prozesse	-	von Rahmenbedingungen abhängig
U-5	alle	Unterstützung der Organisation von Dienstleistungen	Trend zum Kauf von Diensten statt Sachgütern	-	relevanter Umfang im mittleren und Hightech-Sz.
U-6	alle	große Anzahl eingebetteter Systeme	-	kurzlebigere Güter durch "virtuellen Verschleiß"	Risiko im mittleren und Hightech-Szenario gegeben
U-7	Wohnen	Smart Home	Weniger Energieverbrauch im Wohnbereich	mehr Energieverbrauch im Wohnbereich	Chance und Risiko im Hightech-Szenario
U-8	Arbeiten, Medien	zunehmende Ortsunabhängigkeit von Tätigkeiten	Abnahme des motorisierten Verkehrs	Zunahme des motorisierten Verkehrs	von Rahmenbedingungen abhängig
U-9	Verkehr	zunehmende Nutzung von ICT unterwegs	Konkurrenzvorteil des ÖV gegenüber MIV	Konkurrenznachteil des ÖV gegenüber MIV	Chance und Risiko in allen Szenarien

U-1. Weniger ICT-bedingter Materialverbrauch / 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. Diese 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.

U-2. Weniger ICT-bedingter Energieverbrauch / 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 (siehe oben).

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, Repeaters, Switches usw.) und der *Hilfsgeräte* wie USV-¹⁴⁵ und Klimaanlagen gegeben sind (vgl. Abschnitt 7.1 und Türk et al., 2002).

U-3. Entsorgungsprobleme durch Elektronik

Anstelle einer kleineren Zahl großer Elektronikprodukte werden sehr kleine Produkte in größerer Zahl entsorgt werden müssen, die zum Teil in andere Produkte eingebettet sind und in den meisten Fällen wiederaufladbare Batterien enthalten (die auch bei Stromversorgung über Solarzellen benötigt werden).

Damit besteht das Risiko einer unkontrollierten Entsorgung von Problemstoffen über den Hausmüll, weil das System zur Rücknahme von Elektronikprodukten nach

¹⁴⁵ Unterbrechungsfreie Stromversorgung

VREG/SWICO¹⁴⁶ für einen wachsenden Teil des Massenstroms nicht mehr praktikabel sein könnte. Dahinter steht auch ein Informationsproblem: Es wird für Konsumenten schwieriger werden, zwischen Elektronik und Nicht-Elektronik zu unterscheiden.

Einflussfaktoren sind: der Trend zur Abkehr von NiCd-Akkus¹⁴⁷, das Verbot von bleihaltigem Lot in der EU, die Eigenschaften der zukünftigen bleifreien Lote sowie die weitere Entwicklung und zukünftige Rolle der Polymerelektronik.

U-4. Material- und energieeffizientere Prozesse

Viele Prozesse in Produktion, Konsum und Entsorgung können durch eine verbesserte Überwachung, Steuerung oder Regelung optimiert werden. Das Ziel der Optimierung kann die Senkung des Material- oder Energieverbrauchs sein. Ähnlich wie sich mit dem Thermostatventil am Heizkörper die lokale Regelung der Heizung durchgesetzt hat, könnten in Zukunft auch Prozesse im Alltag optimiert werden, die eine komplexere Informationsverarbeitung erfordern. Dies kann auch eine verursachungsgerechte Abrechnung von Verbrauchsmengen beinhalten, die bisher pauschal berechnet werden ("Micro-billing"). Dieser individuelle Kostenanreiz kann durchaus Verhaltensänderungen in Richtung Ressourcenschonung bewirken (Diekmann, 1994).

PvC bietet die Chance, dass die Schwelle zum Einsatz solcher Systeme sinkt und die Amortisationszeiten sich verkürzen werden.

U-5. Trend zum Kauf von Diensten statt Sachgütern

Der Ersatz von Sachgütern durch Dienstleistungen ist ein wichtiger Bestandteil von Strategien zur Dematerialisierung der Wirtschaftsprozesse, wie sie im Kontext der Nachhaltigkeit diskutiert werden. Zur Erbringung von Dienstleistungen werden zwar auch Sachgüter (Investitionsgüter, Verbrauchsgüter usw.) benötigt, jedoch hat der Anbieter einer *Dienstleistung* ein betriebswirtschaftliches Interesse an einem effizienten Einsatz dieser Produkte, d.h. an hoher Auslastung, langer Nutzungsdauer, Reparaturfreundlichkeit und hohem Wirkungsgrad. Dagegen ist der Anbieter eines *Sachgutes* nicht an einer langen Nutzungsdauer oder an einem effizienten Betrieb seiner Produkte interessiert. Der Käufer seinerseits hat nur begrenzte Möglichkeiten, die Auslastung zu verbessern, z.B. durch Verleihen.

PvC könnte diesem Trend großen Aufschwung verleihen, weil

- der Verkauf von Dienstleistungen dadurch besser organisiert und abgerechnet werden kann(z.B. Pay-per-Use-Leasing, siehe auch Bohn et al., 2002)
- die Inanspruchnahme von ICT-Hardware, -Programmen und -Daten selbst den Charakter einer Dienstleistung annehmen kann; dies würde eine bessere Auslastung der Hardware ermöglichen und wäre bei dem zu erwartenden Vernetzungsgrad realisierbar.

Diese Chance wird davon beeinflusst, in welchen Bereichen Dienstleistungsmodelle ausreichende Akzeptanz finden (Bedeutung des Eigentums an Sachgütern für das persönliche Image).

¹⁴⁶ Schweizerischer Wirtschaftsverband der Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik

¹⁴⁷ Für NiCd-Akkus wird in der Stoffverordnung (StoV, 1986) eine Pfandpflicht angedroht.

U-6. Kurzlebigere Güter durch "virtuellen Verschleiß"

Die Nutzungsdauer von Sachgütern ist ein wesentlicher Parameter für den Material- und Energieverbrauch. Eine Halbierung der Nutzungsdauer bedeutet doppelten Ressourcenaufwand für die Produktion und doppelten Entsorgungsaufwand. Die Nutzungsdauer kann unter der technischen Lebensdauer liegen.

Im ICT-Bereich zeigt die Erfahrung, dass Geräte ausgemustert und durch neue ersetzt werden, wenn sie erst 10-50% ihrer technischen Lebensdauer hinter sich haben. Beispielsweise kann ein PC aus technischer Sicht ca. 20 Jahre funktionieren, wird aber nur 2-5 Jahre genutzt. Ähnliches gilt für die Unterhaltungselektronik.

Technische Neuerungen treiben diesen raschen Wechsel an. Meist durch Veränderungen des technischen Umfelds, die zu Kompatibilitätsproblemen führen, werden Produkte lange vor Ende ihres technischen Lebens unbrauchbar.

Es besteht das Risiko, dass diese Entwicklung sich nun auf Gegenstände ausdehnt, in die ICT-Komponenten eingebettet sind. Beispielsweise könnte ein vernetzter Kühlschrank ersetzt werden, weil das alte Modell ein neues Netzwerkprotokoll nicht beherrscht. Wir haben für diesen denkbaren Effekt die Bezeichnung "virtueller Verschleiß" eingeführt. Angesichts der Vielzahl eingebetteter Systeme, die gemäß PvC-Vision zu erwarten sind, wäre dies ein Rückschlag für Bemühungen um Nachhaltigkeit.

Als Spezialfall ist die Einführung des PvC selbst zu sehen, die zunächst zu einer Entwertung der herkömmlichen nicht "intelligenten" und nicht vernetzten Objekte führt.

U-7. Weniger Energieverbrauch im Wohnbereich / mehr Energieverbrauch im Wohnbereich

Die Vision des "Smart Home" bietet grundsätzlich die Chance einer optimalen Steuerung und Regelung der energetisch relevantesten Prozesse in einem Haus (Heizung, Lüftung, Warmwasser, evtl. Solarenergienutzung, Wärmepumpen usw.). Unnötige Verluste könnten besser vermieden werden als heute.

Solange keine massiven Anreize zur sparsamen Energienutzung gegeben sind, besteht jedoch das Risiko, dass stattdessen durch den zusätzlichen Betrieb von Basisstationen (W-LAN), Servern (Dauerbetrieb) sowie von Elektronik mit relevantem Stand-By-Verbrauch der Energieverbrauch zunimmt.

U-8. Abnahme des motorisierten Verkehrs / Zunahme des motorisierten Verkehrs

PvC bietet günstige Voraussetzungen für die Substitution von physischer Anwesenheit durch virtuelle Anwesenheit. Es besteht die Chance, dass die ortsunabhängige Zusammenarbeit in Teams zu einem natürlichen Bestandteil der Arbeitskultur wird, wenn die ergonomischen Schwächen der heutigen Groupware-Ansätze¹⁴⁸ überwunden sind. Dies könnte zahlreiche Fahrten zum Arbeitsplatz, zu Geschäftstreffen, Ausbildungsorten usw. einsparen. Dabei wird nicht vorausgesetzt, dass physische Anwesenheit vollständig ersetzt wird, aber sie würde auf Anlässe reduziert, die sie wirklich erfordern (Erstkontakt, vertrauliche Kontakte, Geschäftsabschlüsse).

¹⁴⁸ Groupware bzw. CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) dient zur Unterstützung von Gruppenarbeit.

Dem steht das Risiko eines Rebound-Effekts¹⁴⁹ gegenüber mit dem zusätzlichen Problem, dass die Ortsunabhängigkeit von Aktivitäten einen Anreiz zu größerer Mobilität schaffen kann, besonders durch Engagements in Aktivitäten und Beziehungen an weit auseinander liegenden Orten.

U-9. Konkurrenzvorteil des ÖV gegenüber MIV / Konkurreznachteil des ÖV gegenüber MIV

Wir setzen voraus, dass der öffentliche Verkehr (ÖV) eine geringere Umweltbelastung pro Personenkilometer verursacht als der motorisierte Individualverkehr, insbesondere aufgrund der höheren Raumeffizienz und Energieeffizienz.

Es besteht die Chance, dass durch PvC die Fahrgäste des ÖV noch bessere Möglichkeiten der produktiven Nutzung ihrer "Unterwegszeit" haben als mit heutiger ICT in Form von Notebook und Mobiltelefon. Die Nutzung des ÖV würde dadurch attraktiver, während im MIV zumindest der Fahrer nicht von dieser Entwicklung profitieren kann oder darf, weil seine Aufmerksamkeit gebunden ist. Außerdem kann die Transparenz des ÖV-Angebots durch PvC noch weiter verbessert werden (z.B. durch mobilen Zugriff auf eine Fahrplanauskunft mit kontextsensitiver Routenplanung).

Andererseits ist es gerade das Auto, das nach den Plänen der Hersteller zum multimedialen Kommunikationszentrum ausgebaut wird. Hauptsächlich die Mitfahrer profitieren von dieser Entwicklung, aber auch der Fahrer soll unterstützt werden (Navigation). Es besteht somit das Risiko, dass der ÖV trotz seiner grundsätzlich besseren Ausgangslage von dieser Entwicklung "abgehängt" wird. Er muss außerdem die sich widersprechenden Bedürfnisse verschiedener Kundengruppen vereinbaren (z.B. die Bahn als mobiles Büro / die Bahn als elektronikfreie Ruhezone / die Bahn als Kinderparadies / ...).

Das Risiko wird davon beeinflusst, wie weit es dem ÖV gelingt, ein zukunftsweisendes Konzept für die Zeitnutzung durch seine Fahrgäste unter den Bedingungen des PvC zu entwickeln.

¹⁴⁹ Gesparte Zeit würde für andere Reisen aufgewendet, wie es bisher im Gesamtrend der Fall ist (siehe auch Kapitel 5).

8.5 Soziale Aspekte

Soziale Auswirkungen des PvC sind im weitesten Sinne auch gesundheitsrelevant und werden deshalb ausführlich behandelt. Wir weisen jedoch darauf hin, dass die Aussagen in diesem Teil der Studie eine höhere Unsicherheit aufweisen als die Ausführungen zu Gesundheitswirkungen im engeren Sinne und zu Umweltwirkungen.

Tabelle 8-4: Soziale Auswirkungen des PvC

Nr.	Anwendungsfeld	Ursache	Chance	Risiko	Einfluss der Szenarien
S-1	alle	Durchdringung des Alltags mit ICT	Abbau der digitalen Spaltung	Einschränkung der Wahlfreiheit der Konsumenten	Chance überwiegt im zurückhaltenden Szenario
S-2	alle	allgegenwärtiger Informationszugang	effizienter Zugang zu Information und Wissen	Ökonomisierung der Aufmerksamkeit	Risiko überwiegt im Hightech-Szenario
S-3	alle	allgegenwärtiger Informationszugang	Bildung virtueller Gemeinschaften	Verlust sozialer Kontakte	unklar, da von anderen Faktoren abhängig
S-4	alle	Überwachung und Identifikation durch ICT	besserer Schutz vor kriminellen Handlungen	Datenschutz wird untergraben	Chance kann im zurückhaltenden Sz. überwiegen
S-5	alle	Allgegenwart, Einbettung, Vernetzung von ICT	-	neue Formen der Computerkriminalität	wächst mit Durchdringungs- und Vernetzungsgrad
S-6	alle	Ausweitung nicht beherrschbarer Komplexität	-	Verursacherprinzip stößt an Grenzen	wächst mit Durchdringungs- und Vernetzungsgrad
S-7	Wohnen, Arbeit	zunehmende Ortsunabhängigkeit von Aktivitäten	bessere Vereinbarkeit von Beruf und Familie	-	wächst mit Durchdringungs- und Vernetzungsgrad

S-1. Abbau der digitalen Spaltung / Einschränkung der Wahlfreiheit der Konsumenten

Die Teilung der Gesellschaft in Personen, die ICT nutzen und jene, die ICT nicht nutzen können oder wollen, wird als "digitale Spaltung" ("digital divide", "fraction numérique") der Gesellschaft bezeichnet.¹⁵⁰ Dabei ist der Zugang zum Internet heute das zentrale Kriterium.

Aufgrund der oben genannten Chancen neuer Formen der Mensch-Computer-Interaktion (siehe E-2) ist es möglich, dass die Schwelle zur Benutzung von ICT stark absinkt. Beispielsweise wird der Gebrauch einer Tastatur in immer weniger Fällen notwendig sein. Es wird auch leichter möglich sein, Anwendungen zu entwickeln, die behinderten und kranken Menschen den Zugang ermöglichen bzw. erleichtern.

¹⁵⁰ Wir beziehen uns auf die digitale Spaltung innerhalb der Schweizer Bevölkerung, nicht den "Global Digital Divide" zwischen dem globalen Norden und Süden.

Zugleich besteht das Risiko, dass die Wahlfreiheit der Konsumenten eingeschränkt wird aus folgenden Gründen:

- Personen, die ICT nicht nutzen wollen, und sei es nur für bestimmte Zwecke (z.B. Bankgeschäfte), könnten durch eine Veränderung der Angebotsstrukturen benachteiligt werden und deshalb faktisch zur ICT-Nutzung gezwungen werden.
- ICT beruht entscheidend auf technischen Standards, und dies gilt besonders bei hohem Vernetzungsgrad. Sofern wie bisher proprietäre de-facto-Standards eine wesentliche Rolle spielen, droht der Verlust des Wettbewerbs.

Im ersten Fall kann der Konsument nicht mehr frei entscheiden, *wofür* er ICT nutzt bzw. nicht nutzt. Wo konventionelle Dienstleistungen von der Regel zur Ausnahme werden, werden sie mit hohen Gebühren belastet, und/oder ihr Angebot wird ausgedünnt (z.B. Schließung von Bibliotheken, Bank- und Postfilialen), oder sie entfallen ganz. Im zweiten Fall hat der Konsument nicht mehr die Wahl, *welche* ICT-Produkte oder ICT-Dienstleistungen er nutzt, weil der ICT-Markt zur einer "Winner takes it all"-Struktur neigt. Dies gilt zunächst für die Softwareebene, könnte aber wegen der engeren Verknüpfung von Hardware und Software im PvC auch auf die Hardwareebene durchschlagen, d.h. die Anbieter werden versuchen, Softwarelizenzen im "Bundle" mit Hardwareprodukten zu verkaufen.

S-2. Effizienter Zugang zu Information und Wissen / Ökonomisierung der Aufmerksamkeit

Der Zugang zu Information und Wissen wird durch PvC noch effizienter funktionieren. Die Zugangsmöglichkeiten sind überall und jederzeit vorhanden (Allgegenwart), und dennoch von der Umgebung abhängig (Kontextsensitivität): Wer beispielsweise vor einer touristischen Attraktion steht, bekommt automatisch historische Informationen, Öffnungszeiten oder von anderen Touristen hinterlassene Nachrichten angeboten. Der effizientere Informationszugang bietet die Chance zu selbstgesteuertem Lernen ohne den Leistungsdruck einer Bildungseinrichtung.

Der Benutzer wird noch stärker als im Internet vom Informationsangebot überflutet.¹⁵¹ Da die menschliche Aufnahmefähigkeit für Informationen begrenzt ist, ist der Benutzer im so genannten Informationsparadox gefangen: Um zu entscheiden, ob er sich mit einer Information befassen will und um die Vertrauenswürdigkeit des Absenders einzuschätzen, muss er sich bereits damit befassen.

Damit wird bewusste Aufmerksamkeit zu einer knappen Ressource. Die Menschen werden es sich möglicherweise nicht mehr leisten können, Aufmerksamkeit zu "schenken", sondern werden sie sparsam auf verschiedene "Welten" aufteilen. Die physische Umgebung erscheint nur noch als Spezialfall, sozusagen als "Kanal 1" eines unüberschaubaren Angebots. Die knappe Ressource Aufmerksamkeit wird von der Werbung immer härter umkämpft, deshalb wird sie sich mit den Informationsangeboten immer enger verbinden. Die letzten Reserve nicht kommerzialisierter Aufmerksamkeit werden besetzt.

¹⁵¹ "Aus dem Internet lernen zu wollen ist dem Versuch ähnlich, aus einem Hydranten Wasser zu trinken." (Quelle unbekannt)

S-3. Bildung virtueller Gemeinschaften / Verlust sozialer Kontakte

Virtuelle Gemeinschaften sind Gruppen von Menschen mit gemeinsamen Interessen, die trotz sich großer geographischer Distanz austauschen und sich als Gemeinschaft artikulieren können. Bisher hat das Internet eine unüberschaubare Zahl solcher Gemeinschaften gestiftet, z.B. zum Erfahrungsaustausch über seltene Krankheiten, für politische oder ethnische Minderheiten, Betreiber ausgefallener Hobbies usw. Der virtuelle Raum ermöglicht die Bildung von Gemeinschaften, die im realen Raum aufgrund ihrer zu geringen "Dichte" nicht existieren könnten. PvC könnte diesen Trend fördern, weil die Zugangsschwellen geringer sein werden als beim Internet-Zugang über einen PC.

Bei extremer Hinwendung zur virtuellen Welt besteht das Risiko eines Verlusts direkter sozialer Kontakte. Der Versuch, Nächstenliebe durch "Fernstenliebe" zu ersetzen, beschäftigt bereits die Psychotherapeuten. Die Möglichkeit, jederzeit und überall Zugang zur virtuellen Welt zu haben, wird die Suchtendenzen vermutlich verstärken, die heute bereits beim Internet festzustellen sind (vgl. Schauer, 2002).

S-4. Besserer Schutz vor kriminellen Handlungen / Datenschutz wird untergraben

Es besteht die Chance, durch lückenlose und preiswerte Überwachung sowie durch neue Möglichkeiten der Personenidentifikation Gebäude und Anlagen besser vor unbefugtem Zutritt zu schützen. Der Schutz von Gegenständen gegen Diebstahl wird durch "Smart Labels" und andere Identifikationssysteme wesentlich erleichtert. Die Überwachung des Datenverkehrs von Personen (z.B. ihrer Internet-Zugriffe) kann wie das Abhören von Telefongesprächen ein Bestandteil der Verbrechensbekämpfung sein.

Die gleiche Technologie kann verwendet werden, um in die Privatsphäre von Personen einzudringen und ohne Wissen der Betroffenen Bilder und Töne aufzuzeichnen, ihre Aufenthaltsorte zu protokollieren, ihren Datenverkehr zu überwachen und die so gewonnenen Daten zu speichern und weiterzugeben. Nach dem Bundesgesetz über den Datenschutz (DSG) sind dies Persönlichkeitsverletzungen, die nur in bestimmten Ausnahmefällen zulässig sind. Jede Person hat ein Auskunftsrecht, d.h. sie kann vom Inhaber einer Datensammlung Auskunft darüber verlangen, ob und welche Daten über sie bearbeitet werden.

Es besteht das Risiko, dass das Anlegen von Datensammlungen, die Personendaten enthalten, durch PvC vom Ausnahmefall zum Regelfall wird. Damit wird die Wahrnehmung des Auskunftsrechts praktisch undurchführbar, weil man eine riesige Zahl potenzieller Inhaber von Datensammlungen befragen müsste, vom jedem Anbieter eines Netzwerkdienstes über die Nachbarn im Wohnblock, mit denen man ein gemeinsames W-LAN betreibt, bis zum Unbekannten, der im Fitnesszentrum mit dem Handy fotografiert haben könnte.

Weil in diesem Sinne das Auskunftsrecht nicht mehr praktikabel ist, bedeutet PvC zumindest im Hightech-Szenario, dass ein weitgehender Verlust der Privatsphäre in Kauf genommen wird.

"Because the systems that we use are becoming more and more complex, the user is increasingly forced to trust them blindly in order to be able to use them efficiently."

(Weil die Systeme, die wir benutzen, immer komplexer werden, ist der Benutzer zunehmend gezwungen, ihnen blind zu vertrauen, um sie effizient nutzen zu können)

Klaus Brunnstein, IFIP-Präsident (Brunnstein, 2002).

S-5. Neue Formen der Computerkriminalität

Wie das Internet neue Formen der Kriminalität hervorgebracht hat, so wird auch PvC durch die noch feinere Vernetzung, Einbettung und Allgegenwart der ICT neue Möglichkeiten des kriminellen Missbrauchs eröffnen. Dabei ist zu bedenken, dass eingebettete Systeme nicht nur Informationen verarbeiten, sondern physikalische Prozesse steuern können. Während die virtuelle Welt des Internet nur auf dem "Umweg" über den Kopf des Benutzers zur realen Welt in Kontakt steht, hat die virtuelle Welt des PvC einen direkten Draht zur Realität. Am Beispiel von Implantaten oder "Drive By Wire" wird dies deutlich. Auch im Falle des "Smart Home" werden physikalische Prozesse über ICT gesteuert.

Damit besteht ein Risiko, dass die Steuerung der Prozesse in krimineller Absicht manipuliert wird. Dies kann geschehen durch:

- Umprogrammierung von Komponenten
- direkte Beeinflussung der Komponenten durch Funkwellen
- Beeinflussung über Netzwerke
 - durch unautorisierten Zugang (Netzhacking)
 - durch Überlastung von Netzwerken
 - durch Einbringen von Computerviren
 - durch Störung von Funkstrecken und Kabelverbindungen

Die Frage, ob absolute Sicherheit *prinzipiell* möglich ist, ist dabei nicht entscheidend. Vielmehr gibt es im ICT-Bereich einen generellen Trade-off zwischen Sicherheit und Benutzbarkeit: Je sicherer ein System, desto weniger effizient kann es benutzt werden (siehe auch Kasten). Da von PvC sowohl ein höherer Vernetzungsgrad als auch ein Fortschritt in der Benutzbarkeit der Systeme erwartet wird, ist es schwer vorstellbar, wie dabei die Daten- und Netzwerksicherheit auf einem akzeptablen Niveau gehalten werden kann.

S-6. Verursacherprinzip stößt an Grenzen

Software-Lizenzerträge enthalten üblicherweise eine weitgehende Klausel zum Haftungsausschluss (Disclaimer). Softwarehersteller sind sich bewusst, dass sie die Korrektheit von Programmen nicht garantieren können.

Dahinter steht das grundlegende Problem, dass Informatiksysteme leicht eine Komplexität annehmen können, die für die Entwickler weder durchschaubar noch mit formalen Mitteln beherrschbar ist (siehe auch den Punkt E-3 in Abschnitt 8.3.2).

Durch PvC wird das Ausmaß an unbeherrschter technischer Komplexität stark zunehmen. Hierfür sprechen die folgenden Gründe:

- Das Verhalten von verteilten Systemen - und darum handelt es sich bei PvC - ist besonders schwer formal zu beschreiben und zu verifizieren.
- Durch die Mobilität vernetzter Komponenten bilden sich laufend neue verteilte Systeme, deren Eigenschaften nur begrenzt vorhersagbar sind;
- Es kommen neue Softwarekonzepte zum Einsatz wie die so genannten Agenten, die selbstständig - in Vertretung ihrer Benutzer - Handlungen vornehmen (z.B. bei Versteigerungen mitbieten).

Das Problem des drohenden Verlusts von Verantwortbarkeit, weil Entscheidungen zunehmend auf ICT abgestützt werden, ist als "Inkontinenzproblem" seit längerem bekannt (Mitcham, 1986).

Im Schadenfall dürfte sich aufgrund der Komplexität der Systeme eine Ursache im juristischen Sinn nur sehr schwer ermitteln lassen. Das Verhalten des Systems ist durch das Zusammenwirken zahlreicher Softwareprodukte, Hardwareprodukte, Benutzerinteraktionen, Netzwerkprotokolle usw. determiniert. Das Verursacherprinzip stößt angesichts der von Menschen geschaffenen, aber durch Menschen nicht mehr beherrschbaren Komplexität an Grenzen.

Angesichts der realen Schäden, die Softwarefehler verursachen können, ist es erstaunlich, dass Software aus juristischer Sicht nicht eindeutig als Produkt im Sinne des Produkthaftpflichtgesetzes bezeichnet werden kann. Software gilt nicht als Sache, weil ihr die "Körperlichkeit" fehlt (Kull, 2002, S. 6).

S-7. Bessere Vereinbarkeit von Beruf und Familie

Durch die Möglichkeit, einen immer größeren Anteil von Aktivitäten ortsunabhängig durchzuführen, ergeben sich für Personen beiderlei Geschlechts bessere Chancen, Berufstätigkeit und Familie, insbesondere Kinderbetreuung, miteinander zu verbinden.

Diese Entwicklung kann zum Fortschritt in Richtung einer Gleichberechtigung der Geschlechter in unserer Gesellschaft beitragen.

8.6 Schweizer Wirtschaft

Um die wichtigsten Chancen und Risiken der ICT für die Schweizer Wirtschaft darzustellen, verwenden wir ein Schichtenmodell der ICT als Ordnungsschema (siehe Abbildung 8-2).¹⁵² Jede Schicht setzt die Funktionen der darunter liegenden Schicht voraus und nutzt sie. Den Verbraucher interessieren die Inhalte (Content) und Dienstleistungen (Services). Diese motivieren ihn, eine entsprechende Infrastruktur im Privathaushalt aufzubauen, mobile Endgeräte und "intelligente Gegenstände" zu erwerben.

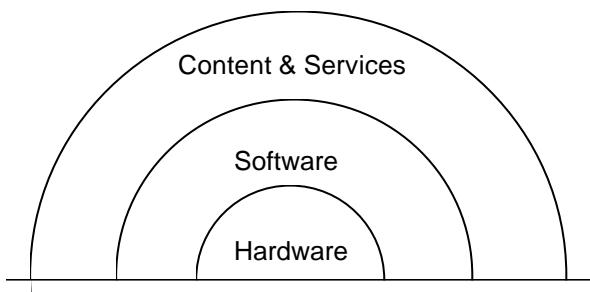


Abbildung 8-2: Vereinfachtes Schichtenmodell der ICT.

Auslandsabhängigkeit bei Hardware und Software

Die Hardware des PvC wird zum weitaus größten Teil importiert werden. Chancen bestehen hier nur für den Einzelhandel, der von der Welle mobiler Elektronikkomponenten und vom Kunden selbst installierbarer Infrastruktur profitieren wird, sowie für die Elektroinstallationsbetriebe, die den verbleibenden Teil der Infrastrukturen installieren werden.

Auf der Ebene der Software dürften ebenfalls ausländische Hersteller dominieren, so dass es unrealistisch wäre, im PvC eine Chance für die Schweizer Softwareindustrie zu sehen. Die Abhängigkeit von ausländischen Lizenzgebern wird zunehmen und stellt insofern ein Risiko dar, als die Wirtschaft und die gesamte Gesellschaft zunehmend auf die Verfügbarkeit solcher Systeme angewiesen sind.

Chancen beim Angebot von Inhalten und Dienstleistungen

Große Chancen können sich dagegen auf dritten Ebene, beim Angebot von Inhalten und Diensten eröffnen. Aufgrund der Erfahrungen mit Angeboten im Internet kann man davon ausgehen, dass eine große Nachfrage nach lokalen und regionalen Inhalten und Diensten besteht. Das bedeutet, dass die durchschnittlichen Benutzer von ICT eine hohe Präferenz haben, in ihrem realen, lokalen Umfeld unterstützt zu werden. Entsprechende Angebote müssen folglich auch lokal produziert werden.

Dies gilt um so mehr durch die Kontextsensitivität von PvC-Anwendungen, die es u.a. ermöglichen, dem Benutzer Inhalte und Dienste abhängig von seinem exakten Aufenthaltsort und anderen Situationsparametern anzubieten, und natürlich in seiner Muttersprache. Wetterberichte, Fahrpläne, Lieferdienste, Veranstaltungsinformationen, Infor-

¹⁵² Die Unterteilung nach dem so genannten "Zwiebelschalenmodell" der Informatik oder auch nach dem OSI-Referenzmodell ist differenzierter. Für unsere Zwecke genügt diese grobe Einteilung.

mationen für Touristen - um nur einige Beispiele zu nennen - können sehr stark lokalisiert und personalisiert werden. Hier entsteht ein Gegentrend zur Globalisierung durch das Internet. PvC wird zwar auch den Zugriff auf den globalen Cyberspace erleichtern, aber die lokalen Inhalte und Dienste werden dominieren. Wenn es gelingt, den in Kapitel 5 beschriebenen Rebound-Effekten vorzubeugen und entsprechende Geschäftsmodelle nicht durch Verstöße gegen den Datenschutz und unseriöse Anbieter diskreditiert werden - und dagegen sollten die Unternehmen in ihrem eigenen Interesse vorsorgen -, öffnet sich hier ein Markt mit hohem Wachstumspotenzial. Er bietet Chancen für viele Branchen, vom Kleingewerbe, das von einer höheren lokalen Angebotstransparenz profitiert, bis zu den Verlagshäusern, die völlig neue Formen von Informationsprodukten entwickeln werden.

Eine Besonderheit der Schweiz ist ihre Erfahrung im Umgang mit Mehrsprachigkeit und kleinräumigen kulturellen Unterschieden. Darin liegt ein Potenzial für die Entwicklung lokaler Inhalte und Dienste für PvC, und das entsprechende Know-how könnte möglicherweise exportiert werden.¹⁵³

Eine ausführlichere Behandlung der Chancen und Risiken von PvC für die Schweizer Wirtschaft würde eine hierauf fokussierte Studie erfordern.

¹⁵³ Schon heute besteht im Sektor der Anwendungssoftware eine große Nachfrage nach dem Know-how zur Anpassung an nationale und regionale Kontexte.

8.7 Qualitative Charakterisierung der Risiken

Ungeklärte Risiken können nicht quantitativ bewertet werden. Auch wenn sich in einigen Fällen das Schadensausmaß grob abschätzen lässt, ist die Eintrittswahrscheinlichkeit nicht bestimmbar. Dies gilt für beide Arten von Unsicherheit, die wir im Abschnitt 8.2 benannt haben.

Wir können daher die Risiken nur qualitativ charakterisieren. In der Risikoforschung wurden hierfür verschiedene Kriterien vorgeschlagen. In Anlehnung an Müller-Herold (2002) bezeichnen wird eine Auswahl solcher Kriterien als "Filter". Ziel eines Filters ist es, jene Risiken zu identifizieren, die höhere Priorität für Vorsorgemaßnahmen haben als andere, und Hinweise auf den Maßnahmentyp zu gewinnen, der dem jeweiligen Risiko angemessen ist.

Zur Definition eines Filters gehen wir zunächst von Kriterien aus, die in der Literatur häufig genannt werden. Renn, Klinke und Kastenholz (2001) haben die folgenden Kriterien vorgeschlagen:

- Ungewissheit: Stand des Wissens über das Risiko;
- Ubiquität: geographische Reichweite potentieller Schadensausmaße;
- Persistenz: zeitliche Ausdehnung potentieller Schäden;
- Reversibilität: die Möglichkeit, die Situation wiederherzustellen, die gegeben war, bevor der Schaden sich ereignete;
- Verzögerungswirkung: die Zeitspanne zwischen dem ursprünglichen Ereignis und den eigentlichen Konsequenzen;
- Mobilisierungspotential: die Verletzung individueller, sozialer oder kultureller Interessen und Werte.

Eine andere Liste von Kriterien, die stärker an der Risikowahrnehmung und Akzeptanz von Risiken orientiert ist, haben wir aus mehreren Quellen kombiniert (vgl. Brown, 1999; Mehl, 2001; Wiedemann/Brüggmann, 2001):

- Freiwilligkeit: Ein Risiko, dass freiwillig eingegangen wird, ist eher akzeptabel als ein unfreiwilliges Risiko;
- Kontrollierbarkeit: Erscheint ein Risiko kontrollierbar, wird es eher akzeptiert;
- Vertrauen: Wenn der Risikoverursacher oder die regulierenden Behörden Vertrauen genießen, so wird das Risiko eher akzeptiert.
- Fairness: Sind Nutzen und möglicher Schaden ungleich verteilt, ist das Risiko weniger zumutbar.
- Katastrophenpotential: Beispielsweise wird ein Flugzeugabsturz als gravierender wahrgenommen als die gleiche Anzahl von Todesfällen im Straßenverkehr über längere Zeiträume.

Ein Filter muss immer kontextabhängig definiert werden. Beispielsweise wäre der von Müller-Herold für Chemikalien in der Umwelt definierte Filter (mit den Kriterien Ubiquität, Bioakkumulation und Persistenz) für unseren Zweck nicht geeignet. Auch ist ein "Maximalfilter", der alle denkbaren Kriterien einbezieht, nicht sinnvoll, weil viele Kriterien in einem gegebenen Kontext nicht trennscharf sind und sich daher nicht für die Priorisierung der Risiken eignen. Außerdem sollte ein Filter klar und einfach definiert sein, damit die Ergebnisse einem Diskurs zugänglich sind.

Für die Charakterisierung der Risiken aus den Abschnitten 8.3-8.5 haben sich die folgenden Kriterien als trennscharf erwiesen:

- *Sozioökonomische Irreversibilität*: Ist die Wiederherstellung des Ausgangszustandes aus volkswirtschaftlichen oder rechtlichen Gründen praktisch unmöglich? (siehe auch Abschnitt 2.2 zur Erläuterung dieses Kriteriums)
- *Verzögerungswirkung*: Ist die Verzögerung zwischen dem Eintreten der Ursache und dem Auftreten des Schadens groß?¹⁵⁴
- *Konfliktpotenzial* mit den beiden Unterkriterien
 - Freiwilligkeit: Wird das Risiko freiwillig eingegangen?
 - Fairness: Sind Nutzen und möglicher Schaden gleich verteilt?¹⁵⁵
- *Belastung für die Nachwelt*: Verschlechtert der eingetretene Zustand die Möglichkeiten zukünftiger Generationen, ihre Bedürfnisse zu befriedigen?

Das letzte Kriterium haben wir als Variante des Persistenzkriteriums eingeführt, um einen klaren Bezug zum Nachhaltigkeitsprinzip herzustellen.

Die Kriterien sind nur aus sprachlichen Gründen teils positiv und teils negativ formuliert.

Bevor wir diesen Filter anwenden, fassen wir einige der ursprünglich 24 Risiken¹⁵⁶ zusammen, die hinsichtlich der Art des Schadens ähnlich sind:

- die beiden NIS betreffenden Risiken E-1 (NIS-Exposition) und G-1 (Gesundheitsschäden durch NIS),¹⁵⁷
- alle den Stress betreffenden Risiken: E-2 (schlechte Ergonomie), E-3 (unkalkulierbares Verhalten), E-4 (Reizüberflutung),
- alle den Lebensweg von Materialien (von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung) betreffenden Risiken: U-1 (Materialverbrauch), U-3 (Entsorgungsprobleme), U-6 (virtueller Verschleiß).
- die beiden den direkten Energieverbrauch betreffenden Risiken: U-2 (Energieverbrauch ICT generell), U-7 (Energieverbrauch ICT-Infrastruktur im Wohnbereich).

8.7.1 Anwendung des Risikofilters

Die Anwendung des Filters auf die nunmehr 18 Risiken ergibt, dass 11 davon mindestens zwei der Kriterien klar erfüllen (siehe Tabelle 8-5). Wir betrachten diese Risiken als prioritär im Vergleich zu den anderen.¹⁵⁸

¹⁵⁴ Eine Verzögerung - im Verhältnis zur Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ursache - ist ungünstig, weil dann Gegenmaßnahmen im Rahmen des Schutzprinzips (Gefahrenabwehr) erst spät einsetzen. Verzögerungswirkung ist also ein zentrales Kriterium unter dem Aspekt des Vorsorgeprinzips.

¹⁵⁵ Dies kann sowohl die lokale Verteilung also auch die globale - zwischen Nord und Süd - betreffen.

¹⁵⁶ Die "reinen" Chancen werden hier nicht weiter behandelt. Auf die wirtschaftlichen Risiken wird nicht weiter eingegangen, weil dies nicht zum Auftrag der Studie gehört.

¹⁵⁷ Die Zunahme der Exposition wird hier also nicht mehr separat betrachtet, sondern als Glied in der Kette zu möglichen Gesundheitsschäden:

¹⁵⁸ Daraus sollte jedoch nicht geschlossen werden, dass zur Minimierung der anderen Risiken keine Vorsorgemaßnahmen ergriffen werden sollen oder können.

Tabelle 8-5: 11 ungeklärte Risiken des Pervasive Computing mit hoher Priorität. Ein Strich ("-") bedeutet, dass das Kriterium nicht oder nur in geringem Ausmaß erfüllt ist.

Nr.	Risiko	sozioök. Irrever- sibilität	Verzöge- rungs- wirkung	Konfliktpotenzial		Belastung für die Nachwelt
				Unfrei- willigkeit	Unfairness	
G-1 E-1	Gesundheitsschäden durch NIS	hoch	partiell hoch ¹⁵⁹	partiell hoch	partiell hoch	—
E-2 E-3 E-4	Stress durch Technik	hoch	—	hoch	hoch	—
E-8	Kostenschub im Gesundheitswesen	hoch	mittel	mittel	—	—
U-1 U-3 U-6	Materialverbrauch und Entsorgungsprobleme	hoch	—	—	partiell hoch	partiell hoch
U-2 U-7	ICT-bedingter Energieverbrauch	hoch	—	—	partiell hoch	mittel
U-8	Zunahme energieintensiver Mobilität	sehr hoch	mittel	—	partiell hoch	hoch
U-9	Konkurrenznachteil des ÖV gegenüber MIV	sehr hoch	mittel	—	—	mittel
S-1	Einschränkung der Wahlfreiheit der Konsumenten	hoch	mittel	hoch	—	—
S-4	Datenschutz wird untergraben	hoch	mittel	hoch	hoch	—
S-5	neue Formen der Computerkriminalität	hoch	mittel	hoch	hoch	—
S-6	Verursacherprinzip stößt an Grenzen	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel

Wir diskutieren zunächst das Bild, das sich aus Sicht der einzelnen Kriterien ergibt und fassen nachher die Risiken zu *Clustern* zusammen, die gemäß diesen Kriterien ein ähnliches Profil aufweisen. Daraus ergibt sich eine weitere Komplexitätsreduktion.

Sozioökonomische Irreversibilität

Bei allen in Tabelle 8-5 aufgeführten Risiken ist dieses Kriterium erfüllt, weil die Ausbreitung der Technologie, die das Risiko verursacht, faktisch nicht rückholbar ist.

¹⁵⁹ niedrig in Bezug auf psychosomatische Effekte und Elektrosensibilität.

Bei den möglichen indirekten Auswirkungen auf die Verkehrsentwicklung gilt zusätzlich, dass auch diese nur schwer umkehrbar sind.

Verzögerungswirkung

Eine hohe Verzögerung zwischen Ursache und Wirkung ist bei möglichen Langzeitschäden von NIS (G-1) und bei den indirekten Auswirkungen auf den Verkehrsbereich gegeben (Zeitraum 5-20 Jahre).

In den anderen Fällen (mittlere Verzögerung) dürften die möglichen Auswirkungen 2-5 Jahre nach einem Marktdurchbruch der Technologie sichtbar werden.

Eine Ausnahme ist die mögliche Stressbelastung, die aufgrund ihrer Unmittelbarkeit kurzfristig evident würde.

Konfliktpotenzial

Bei diesem Kriterium zeigt sich ein sehr gemischtes Bild, es wird daher bei den einzelnen Risiko-Clustern eingehender diskutiert.

Belastung für die Nachwelt

Wenngleich alle Risiken als sozioökonomisch irreversibel eingestuft wurden, so können sie doch im Laufe der weiteren historischen Entwicklung verblassen.

Dies gilt jedoch nicht für aus naturwissenschaftlicher Sicht persistente Zustände wie die Knappheit von Ressourcen, Verlust der Artenvielfalt und Destabilisierung des Klimas. Deshalb sind die direkt oder indirekt mit Umweltbelastungen verbundenen Risiken als Belastung der Nachwelt eingestuft.

Als soziales Risiko mit möglichen Folgen auch für zukünftige Generationen wird die Problematik des Verursacherprinzips eingestuft.

8.7.2 Clusterung der prioritären Risiken

Im folgenden sind die Risikocluster beschrieben, wobei ein Cluster auch nur aus einem einzigen Risiko bestehen kann. Die Überschriften der Cluster können zugleich als kürzest mögliche Zusammenfassung der Ergebnisse dieses Kapitels gelesen werden. Wir weisen darauf hin, dass einigen dieser Risiken auch Chancen gegenüberstehen, die in den Abschnitten 8.3-8.5 ausführlich erwähnt wurden. Die hier vorgelegten Überlegungen sollen jedoch auf Vorsorgemaßnahmen hinführen (siehe Kapitel 9) und beschränken sich deshalb auf die Risikoseite.

Cluster 1 (G-1, E-1):

Nichtionisierende Strahlung - ein ungeklärtes Risiko mit weiterhin hohem Konfliktpotenzial.

Die Möglichkeit, dass sich die Belastung mit nichtionisierender Strahlung auch unterhalb der Schwelle thermischer Wirkungen als Gefahr für die Gesundheit erweisen könnte, hängt wie ein Damoklesschwert über der Entwicklung der Mobilkommunikation. Obwohl die größten Expositionen freiwillig in Kauf genommen werden

(Benutzung von Handys), geben die viel geringeren unfreiwilligen Expositionen Anlass zu Konflikten.

Pervasive Computing wird dieses Problem voraussichtlich verschärfen, weil es weitgehend auf drahtlose Vernetzung setzt. Auch hier wird die körpernahe Benutzung von Strahlungsquellen, die in aller Regel freiwillig ist, die größten Expositionen verursachen. Dennoch könnte die Hintergrundbelastung mit NIS - der auch die Nichtbenutzer ausgesetzt sind - durch PvC zunehmen. Die Zahl der Akteure, die drahtlose Netze betreiben und deshalb als Verursacher von NIS-Emissionen angesehen werden, wird mit der zu erwartenden Ausbreitung W-LANs drastisch anwachsen. Trotz sehr geringer Sendeleistungen im Vergleich zum Mobilfunk besteht ein Risiko zunehmender Konflikte.

Cluster 2 (E-2, E-3, E-4, S-4, S-5):

Stress, Besitzelung und Hightech-Verbrechen könnten die Lebensqualität bedrohen

Die Allgegenwart einer Technologie, die

- ungewohnt oder schwierig zu benutzen ist,
- subjektiv als unkalkulierbar wahrgenommen wird,
- zu häufigen Störungen der Aufmerksamkeit führt,
- die Grenzen der Privatsphäre ausdünnnt und einen unkontrollierbaren Datenfluss entstehen lässt,
- vor kriminellem Missbrauch nicht geschützt ist,

kann die Lebensqualität beeinträchtigen. Hierfür ist entscheidend, ob die erwähnten Risiken freiwillig eingegangen werden, und das bedeutet:

- ob ein Zwang oder Druck zur Benutzung von PvC besteht (Freiwilligkeit)
- wie weit die Schädigung von Nicht-Benutzern vermieden werden kann (Fairness).

Dieses Risikocluster hat also ein hohes Konfliktpotenzial, das insbesondere in Kombination mit dem Konfliktpotenzial von Cluster 1 zu schweren gesellschaftlichen Spannungen führen könnte.

Cluster 3 (S-1, E-8):

Konsumenten und Patienten tragen die Kosten einer teilweise unfreiwilligen Entwicklung

Auch wenn niemandem ein Zwang zur Benutzung von PvC auferlegt wird, so könnte doch die generelle Entwicklung über den Preismechanismus zu einer Belastung für die Nicht-Benutzer führen. Das bedeutet konkret, dass

- konventionelle Dienstleistungen für eine verbliebene Minderheit von "Technik-abstinenter" zu höheren Preisen oder gar nicht mehr angeboten werden
- eventuelle steigende Kosten im Gesundheitswesen von der Solidargemeinschaft der Krankenversicherten getragen werden.

Cluster 4 (U-1, U-2, U-3, U-6, U-7, U-8, U-9):
Mögliche Rückschläge für die ökologische Nachhaltigkeit

Mikroelektronik benötigt eine breite Palette sehr seltener Rohstoffe, die zum Teil unter großen Umweltbelastungen abgebaut werden. Bis sie als Materialien im Produktionsprozess eingesetzt werden können, haben sie schon erhebliche Mengen von "grauer Energie" in ihrem ökologischen Rucksack. Wenn aufgrund der Miniaturisierung und Einbettung der PvC-Komponenten die geordnete Entsorgung der Elektronik einen Rückschlag erleidet, sind diese wertvollen Rohstoffe verloren. Mit einem Rückgang der absolut umgesetzten Mengen ist eher nicht zu rechnen, weil die Miniaturisierung voraussichtlich durch Ausweitung der Stückzahlen kompensiert oder überkompensiert wird. Die Verteilung von Schadstoffen in der Umwelt könnte bei nicht sachgemäßer Entsorgung zu einem zusätzlichen Problem werden.

Der Energieverbrauch durch die zu betreibenden Infrastrukturen für PvC könnte relevante Größenordnungen annehmen. Die Einrichtungen zum Netzwerkbetrieb und zur Bereitstellung der Inhalte werden in großer Zahl benötigt und immer eingeschaltet sein. Allein die dafür in den Haushalten notwendigen Einrichtungen könnten in den kommenden 10 Jahren zu einem zusätzlichen jährlichen Stromverbrauch der Haushalte in der Größenordnung von 1-3% des heutigen Stromverbrauchs in der Schweiz führen, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Der Wert liegt doppelt so hoch, wenn Büroanwendungen und Infrastruktur einbezogen werden. Die obere Schranke dieser Schätzung wird nur unter der Annahme eines sehr hohen Durchdringungsgrades mit PvC erreicht (Hightech-Szenario) und ist nicht als Prognose zu verstehen. Im Sinne des Vorsorgeprinzips sollte jedoch das Risiko einer energiepolitisch so ungünstigen Entwicklung minimiert werden.

Die Auswirkungen von PvC auf den Verkehr könnten anstelle einer Substitution von Fahrten und Flügen durch Telekommunikation genau das Gegenteil bewirken: Eine Zunahme des Verkehrs, weil die Möglichkeit, immer mehr Tätigkeiten ortsunabhängig auszuführen, Anreize zu höherer Mobilität schafft. Es wird zunehmend möglich, sich in Beziehungen und Aktivitäten an weit auseinander liegenden Orten zu engagieren, was zumindest gelegentliche Reisen erforderlich oder attraktiv macht. Das Überwiegen dieses Induktionseffekts gegenüber dem Substitutionseffekt erscheint aufgrund der bisherigen Entwicklung wahrscheinlich.

Auch könnte das offensive Vorgehen der Automobilhersteller im Bereich PvC zu einem Konkurrenznachteil für die Anbieter des öffentlichen Verkehrs werden und den Modal Split ökologisch ungünstig beeinflussen.

Es besteht also ein Risiko, dass PvC den Rohstoff- und Energieverbrauch (auch im fossilen Bereich) sowie die Verteilung von Schadstoffen durch direkte und indirekte Auswirkungen erhöht und damit die nachfolgenden Generationen belastet.

Auch für die heute lebende Generation entstehen Risiken aufgrund der globalen Ungleichverteilung von Chancen durch die Technologie einerseits und den damit verbundenen Umweltbelastungen andererseits, die insbesondere durch den Ressourcenabbau und die Produktion verursacht werden. Die Standorte liegen zum überwiegenden Teil in weniger entwickelten Ländern mit schwächeren Umwelt- und Sozialstandards. Daraus können mittelfristig internationale Konflikte erwachsen.

Cluster 5 (S-6):

Mögliche Kapitulation des Verursacherprinzips vor technischer Komplexität

Es besteht ein Risiko, dass die Umsetzung des Verursacherprinzips vor der Schwierigkeit kapituliert, Ursache und Verursacher von Schäden aufzuklären, die durch vernetzte Informatiksysteme ausgelöst werden. Die Schäden können immaterielle Werte (Daten), aber auch Sachgüter oder die Gesundheit betreffen.

Die Entstehung *unbeherrschter technischer Komplexität* ist in der Informatik ein lange bekanntes Problem. Die Durchdringung des Alltags mit Systemen, deren Verhalten von komplexer Hardware und Software in einem verteilten System abhängig ist, erschwert die Ermittlung von Ursache und Verursacher im Schadensfall erheblich. Diese Situation könnte durch PvC zusätzlich verschärft werden, weil der Anreiz sehr hoch sein wird, Softwarekonzepte einzusetzen, bei denen Programme in Vertretung ihrer Benutzer handeln (Software-Agenten). Der Anreiz ergibt sich aus dem Umstand, dass die Flut von Möglichkeiten zusammen mit dem gesellschaftlichen Druck, sie auch zu nutzen, an die Grenzen der menschlichen Verarbeitungskapazität stößt.¹⁶⁰

Dahinter steht das Grundproblem, dass Maschinen im Gegensatz zu Menschen nicht zu einem "Commitment" fähig sind, aber im täglichen Umgang immer mehr als handelnde Subjekte wahrgenommen werden. Die Zusage einer Maschine - z.B. dass sie eine bestimmte Funktion erfüllen wird - ist prinzipiell wertlos, weil sie keine Verpflichtung empfindet und nicht belangt werden kann. Die Unfähigkeit von Maschinen zum "Commitment" schließt sie prinzipiell vom sozialen Geschehen aus.

Es besteht somit die Gefahr einer "Dissipation der Verantwortung": So wie im Umweltbereich durch Feinverteilung (Dissipation) von Stoffen ein faktisch irreversibler Zustand eintritt, weil man sie nicht wieder "einsammeln" kann, so könnte im sozialen Bereich eine Feinverteilung der Verursachung und Verantwortung durch die Vielschichtigkeit und Vernetztheit der digitalen ICT entstehen, die mit juristischen Mitteln nicht mehr zu beherrschen ist. Ein Nebenproblem ist dabei die totale Abhängigkeit der Gerichte von Experten, die im benötigten Ausmaß unabhängig gar nicht zur Verfügung stehen werden.

Durch PvC könnte ein wachsender Anteil des täglichen Lebens faktisch dem Gültigkeitsbereich des Verursacherprinzips entzogen werden. Bei großer Abhängigkeit von dieser Technologie kann dieses Problem auch nachfolgende Generationen noch belasten.

¹⁶⁰ Die heutige E-Mail-Flut und die Regelsysteme, die E-Mails automatisch filtern und beantworten, sind ein winziger Anfang einer wahrscheinlich weit reichenden Entwicklung.

9 Empfehlungen für Vorsorgemaßnahmen

Lorenz Hilty, Andreas Köhler, Claudia Som

Die folgenden Empfehlungen orientieren sich am Gedanken des Vorsorgeprinzips. Sie werden somit nicht in der Annahme ausgesprochen, 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. Sie sind aus Sicht der Projektgruppe geeignet, die mittel- und langfristige Entwicklung der Schweiz in Richtung einer *nachhaltigen Informationsgesellschaft* zu unterstützen.

Die Empfehlungen sind nach Akteursgruppen in Unterkapitel gegliedert (Politik, Forschung, Ausbildung, Unternehmen). Innerhalb der Unterkapitel sind die Empfehlungen grob nach Prioritäten geordnet. Insbesondere sind grundlegende, im Sinne einer „Grobsteuerung“ sehr breit wirkende Maßnahmen am Anfang jedes Unterkapitels erwähnt und spezielle, nur in begrenzten Bereichen wirkende Maßnahmen eher am Schluss.

In runden Klammern werden jeweils die Risikocluster aus Abschnitt 8.7.2 und die Einzelrisiken aus den Abschnitten 8.3 bis 8.5 mit ihrer Kennziffer der Form "G-1", "E-1" usw. angegeben, die mit der Maßnahme in Zusammenhang stehen. Dies soll der Leserin und dem Leser den Rückgriff auf die Beschreibung der Risiken erleichtern, auf die die Maßnahmen abzielen. Außerdem wird jede Empfehlung von einer kurzen Beschreibung des Problems eingeleitet, damit der Zusammenhang auch ohne Rückgriff auf die vorausgegangenen Kapitel verständlich wird.

9.1 Politik

9.1.1 Koordination der Strategien „Informationsgesellschaft“ und „Nachhaltige Entwicklung 2002“ des Bundesrates

Der Bundesrat hat 1998 seine "Strategie für eine Informationsgesellschaft in der Schweiz" verabschiedet. Die Koordinationsgruppe Informationsgesellschaft (KIG), ein interdepartementales Gremium unter dem Vorsitz des BAKOM, wurde mit der Umsetzung dieser Strategie beauftragt. Die Strategie gewinnt an politischer Bedeutung im Zusammenhang mit dem ersten UNO-Weltgipfel für Informationsgesellschaft (WSIS), der 2003/2005 in Genf und Tunis stattfindet.

Mit der „Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002“ hat der Bundesrat außerdem die Rahmenbedingungen seiner Politik der Nachhaltigen Entwicklung für die nächsten Jahre definiert, unter anderem im Hinblick auf den UNO-Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung 2002 in Johannesburg. Auch diese Strategie ist von großer nationaler und internationaler Bedeutung.

Die für die beiden Strategien maßgeblichen Dokumente nehmen keinen Bezug aufeinander. Ein gemeinsamer Nenner könnte grundsätzlich bei den Themen Menschen-

rechte, Sozialverträglichkeit der Technik, Einsatz von ICT in der Bildung und Informationsplattform für Nachhaltigkeits-Monitoring gefunden werden.

Wie die vorliegende Studie insgesamt aufzeigt, bestehen jedoch viel weitergehende Beziehungen zwischen den beiden Leitideen „Informationsgesellschaft“ und „Nachhaltige Entwicklung“. Dazu gehört einerseits die Chance, im Übergang von einer Industrie- zu einer Informationsgesellschaft *notwendige Voraussetzungen* für Nachhaltigkeit schaffen zu können. Andererseits besteht das Risiko, dass die Informationsgesellschaft ökologische und soziale Nebenwirkungen in entwickelt, die die Erfolge der Nachhaltigkeitspolitik untergraben.

Wir empfehlen daher dem Bundesrat, einen Prozess einzuleiten, der die Konsistenz der beiden Strategien prüft, Synergien identifiziert und die Weiterentwicklung und Umsetzung der beiden Strategien koordiniert.

Diese Maßnahme betrifft Risiko-Cluster 5 und im weiteren Sinne alle in der Studie besprochenen Risiken.

9.1.2 Steuersystem

Gerade im ICT-Bereich ist es heute angezeigt, durch Gestaltung der steuerlichen Rahmenbedingungen einen Lenkungseffekt in Richtung rationelle Energienutzung und schonenden Umgang mit Rohstoffen zu erzielen. Die technischen Potenziale sind vorhanden und werden ohne Anreize zur Ressourceneinsparung bzw. CO₂-Reduktion nicht ausgeschöpft werden, wie die bisherigen Erfahrungen im ICT-Bereich deutlich zeigen.

Fiskalische Lenkungseffekte könnten entscheidend sein,

- um eine Weichenstellung in Richtung Energieeffizienz bei der Netzwerk-Infrastruktur für PvC zu bewirken, die im Laufe der nächsten 10 Jahre installiert werden wird;
- um die großen, bisher nicht realisierten Substitutionspotenziale der ICT zur Entfaltung zu bringen (Ersatz von material- und energieintensiven Prozessen durch Informationsverarbeitung und Telekommunikation);
- um die drohenden Induktionspotenziale und Reboundeffekte der ICT zu vermeiden (Vermeidung von beschleunigtem Verbrauch von Material und Energie, der durch ICT angeregt werden kann).

Wir empfehlen daher dem Bundesrat und dem Parlament, die Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002 konsequent umzusetzen und fiskalische Anreize als Instrument der Energie- und Klimapolitik weiterzuverfolgen.

(Cluster 4: U-2, U-7, U-8)

9.1.3 Haftungsnormen

Die Durchdringung des Alltags mit drahtlos vernetzten mikroelektronischen Komponenten führt dazu, dass immer mehr Prozesse automatisch oder teilautomatisch ablaufen. Auf dem Benutzer lastet aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten, die ihm diese Technologien bieten, eine wachsende Verantwortung für deren Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit und andere Schutzgüter. Tritt ein Schaden ein, so ist die Frage der Verursachung jedoch sehr schwer zu entscheiden. Weil in komplexen Systemen

keine einfachen Kausalketten von einer Schadensursache zum Schaden führen, ist nicht eindeutig zu entscheiden, wer als Verursacher zu betrachten ist. Vom Hersteller der Geräte über den Hersteller von deren Komponenten über staatliche oder halbstaatliche Normungs-Instanzen bis zum Betreiber der Basisnetze und schließlich dem Benutzer kommen viele Akteure dafür in Frage.

Ein spezielles Problem bei PvC ist die Tatsache, dass die Hardware-Software-Systeme in andere Produkte (z.B. Kühlschrank, Kleidung) eingebettet und zu verteilten Systemen (z.B. Smart Home) vernetzt sind.

In den Bereichen Verkehr, Wohnen oder Medizin liegt es auf der Hand, dass großer Schaden entstehen kann, wenn die Technik sich nicht erwartungsgemäß verhält, wobei es dafür verschiedene Ursachen geben kann. Eine wichtige und vom Gesetzgeber bisher zu wenig beachtete Ursache sind Softwarefehler oder mangelnde Softwarequalität, insbesondere in Verbindung mit Netzwerken. Deshalb empfehlen wir, die Haftungsnormen bei Software einer grundlegenden Prüfung zu unterziehen.

Ein wichtiger Teilaspekt der Haftungsproblematik bei Software ist, dass der rechtliche Status von Software nach dem Gesetz über die Produkthaftpflicht (PrHG) heute ungeklärt zu sein scheint. Aus technischer Sicht ist außerdem schwer nachvollziehbar, dass das Recht einen Unterschied zwischen Hardware, Software und in Hardware eingebauter Software macht. Da die Grenze zwischen Hardware und Software grundsätzlich verschiebbar ist,¹⁶¹ erscheint es vielmehr geboten, diese drei Fälle haftungsrechtlich identisch zu behandeln.

Der Status von Software im Rahmen der existierenden Haftungsnormen (Produkthaftpflicht bzw. Obligationenrecht) ist zu klären und es ist zu prüfen, ob die Haftpflicht von Softwareherstellern gesetzlich stärker zu verankern wäre. Auch Notwendigkeit und eventuelle Folgen einer speziellen Kausalhaftpflicht (Gefährdungshaftung) für Hardware-Software-Systeme, die in Netzwerken betrieben werden, sollten geprüft werden.

(Cluster 5: S-6; zusätzlich G-6).

9.1.4 Datenschutz

Der Gesetzgeber sollte im Rahmen der Revision des Bundesgesetzes über den Datenschutz (DSG) überprüfen, ob dieses der zukünftigen Allgegenwart und Vernetzung von Informations- und Kommunikationstechnologien gerecht wird:

- Die Anzahl der Datensammlungen, die nach Personen erschließbar sind, wird stark zunehmen. Aufgrund von Vernetzung, Automatismen und komplexen Verursachungsstrukturen in verteilten Systemen könnte es nahezu unmöglich werden, festzustellen, wer im Sinne des DSG Inhaber einer Datensammlung ist.
- Aufgrund der erwünschten Kontextsensitivität des PvC fallen bei Service Providern automatisch Daten über Aufenthaltsorte der Kunden (Bewegungsprofile) und ihre Transaktionen an. Der Grundsatz nach DSG Artikel 1, Absatz 3 ("Personendaten dürfen nur zu dem Zweck bearbeitet werden, der bei der Beschaffung angegeben wurde"), dürfte zu häufigen Abgrenzungsproblemen des jeweiligen Zwecks führen.

¹⁶¹ Funktionen, die von einem Softwareprodukt erfüllt werden, können auch in die Hardware eingebaut werden. Umgekehrt kann der Funktionsumfang von Hardware auf wenige elementare Operationen reduziert werden, was bewirkt, dass mehr Funktionen durch die Software realisiert werden müssen. Für die Anwendung spielt es, bis auf Effizienzfragen, keine Rolle, ob eine Funktion durch Software oder Hardware realisiert ist.

Eine Anpassung könnte in die Richtung zielen, die Melde- und Mitwirkungspflichten, die sich auf Datensammlungen beziehen, auf den Betrieb von Einrichtungen auszudehnen, die ihrer technischen Natur nach geeignet sind, Datensammlungen im Sinne des DSG *selbsttätig* anzulegen.

Zusätzlich empfehlen wir eine Deklarationspflicht für solche Hardware- und Softwareprodukte, die Daten aus der Umgebung in der sie eingesetzt werden, *ohne explizite Zustimmung des Benutzers weitergeben* können (z.B. über Netzwerke an den Hersteller oder an Dritte).

(Cluster 2: S-4, S-5)

9.1.5 E-Government

Die Entwicklung in Richtung E-Government soll nicht dazu führen, dass die Bürgerinnen und Bürger von Grundrechten und vom "Service Public" nur noch auf elektronischem Weg Gebrauch machen können. Auch muss der Staat handlungsfähig bleiben, wenn Sicherheitsprobleme im Bereich der ICT-Infrastruktur auftreten.

Gemäß E-Government-Strategie des Bundes vom 13. Februar 2002 werden die Stimmberchtigten in Zukunft elektronisch stimmen, wählen sowie Initiativen oder Referenden unterschreiben können (E-Voting). Der elektronische Schalter (Guichet virtuel) ermöglicht den direkten Zugang zu den staatlichen Behörden aller Stufen. Neben Informationsbereitstellung für die Bürger soll auch der Behördenverkehr elektronisch erfolgen.

Das in einer früheren Fassung der E-Government-Strategie formulierte Ziel, dass die konventionellen Kommunikationswege erhalten bleiben sollen, wird mit dieser Empfehlung aus zwei Gründen unterstrichen:

- Die *Freiwilligkeit* bei der Nutzung der elektronischen Angebote soll erhalten bleiben. Niemand soll benachteiligt werden, weil er die elektronischen Kanäle nicht nutzen kann oder will, z.B. weil er den Datenschutz nicht gewährleistet sieht.
- Die *Sicherheit* der elektronischen Kommunikationswege ist begrenzt. Deshalb soll bei Sicherheitsproblemen, etwa in Fällen krimineller Manipulation, allen Beteiligten der Rückweg zu den konventionellen Kommunikationswegen offen stehen.

(Cluster 3: S-1; Cluster 2: S-4, S-5)

9.1.6 Öffentliche Beschaffung und integrierte Produktpolitik

In der Strategie „Nachhaltige Entwicklung 2002“ erwähnt der Bundesrat die Einführung einer integrierten Produktpolitik (IPP) als Umsetzungsmaßnahme. Ziel der IPP ist die „Verlagerung der Nachfrage seitens der öffentlichen Hand und der Privaten auf Produkte, die hohen wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Standards entsprechen“ (Bundesrat, 2002, S. 17). Hierbei sollen alle IPP-relevanten Politikbereiche einbezogen werden. Die öffentliche Hand kann hier auf mehreren Ebenen aktiv werden (Bund, Kantone, Gemeinden).

Bei der Beschaffung von ICT-Produkten (sowohl von Sachgütern als auch von Dienstleistungen) ist in diesem Sinne auf Energieeffizienz, Lebensdauer, Entsorgungseigenschaften und Ergonomie beim Einkauf zu achten. Im Zeitalter des Pervasive Com-

puting wird es eine hohe Herausforderung darstellen, trotz kurzer Innovationszyklen eine langfristig orientierte Beschaffungspolitik zu entwickeln.

Nicht die Eigenschaften des einzelnen Hardwareprodukts sollen dabei im Vordergrund stehen, sondern die Systeme, zu denen die beschafften Komponenten zusammen geschaltet werden. Der Lebenszyklus des *Gesamtsystems* soll nach ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Kriterien beurteilt werden. Zu diesem Zweck empfehlen wir, eine Checkliste für die Praxis zu erarbeiten und das Einkaufspersonal entsprechend zu schulen. Handlungsträger könnten auf Bundesebene das RUMBA¹⁶²-Programm und die Beschaffungskommission des Bundes sein.

Dabei ist es wichtig, neben den direkten auch indirekte Effekte der beschafften Produkte zu beachten. Im Umweltbereich sind dies die so genannten sekundären und tertiären Wirkungen (vgl. Kapitel 7). Eine Evaluation indirekter Umwelteffekte wird für größere Investitionen und für öffentliche Dienstleistungen empfohlen.

Wirtschaftlich ist vor allem die zunehmende Abhängigkeit von ausländischen Herstellern und Lizenzgebern zu beachten. Die Beschaffungspolitik der öffentlichen Hand soll mit ihrem beachtlichen Nachfragevolumen nicht die Marktdominanz einzelner, zumeist ausländischer Anbieter fördern. Langfristig wird sonst das „elektronische Nervensystem“ des Staates dem Erfolg einzelner Technologielinien, proprietären Standards und der Preispolitik der wenigen dominierenden Anbieter ausgeliefert.

Diese Risiken können minimiert werden durch die Bevorzugung offener, produkt unabhängiger Standards, weil nur diese auf Dauer einen fairen Wettbewerb im ICT-Sektor ermöglichen, und die Anwendung von „Open Source“-Software.

(Cluster 2: E-2, E-3; Cluster 3: S-1; Cluster 4: U-1, U-2, U-3, U-6)

9.1.7 Elektronische Direktwerbung

Für die Revision des Fernmeldegesetzes ist eine Bestimmung in Diskussion, die Werbe-SMS nur an jene Personen erlauben würde, die dem ausdrücklich zugestimmt haben oder mit denen der Absender schon in einer Geschäftsbeziehung steht.

Wir schlagen vor, diesen Vorschlag umzusetzen, jedoch ohne Sonderbehandlung des Mediums SMS. Eine SMS-spezifische Regelung wäre aufgrund der Medienkonvergenz und der technischen Entwicklung nicht zukunftsfähig. Vielmehr sollte das Versenden von Werbung mit elektronischen Mitteln an *persönliche Adressen* generell an die genannte Bedingung geknüpft werden. Auch Fax und insbesondere die zukünftigen „smartten“ Gegenstände und Endgeräte wie der „intelligente Kühlschrank“ oder der „Personal Travel Assistant“ wären damit eingeschlossen. Gerade durch Pervasive Computing könnte aufgrund der noch besseren Erreichbarkeit der Empfänger die elektronische Direktwerbung zum Problem werden.

Die Sonderbehandlung der elektronischen Medien gegenüber konventionellen (Brief) ist dadurch gerechtfertigt, dass nur elektronische Medien die Verteilung an eine große Zahl von Adressen mit nahezu konstantem, d. h. von der Anzahl der Empfänger unabhängigem Aufwand ermöglichen. Langfristig kann dies zu einer Verstopfung aller elektronischen Kommunikationskanäle mit Direktwerbung führen.

Gegenmaßnahmen sind im Rahmen des nationalen Rechts allerdings nur begrenzt wirksam, weil sie für E-Mail und andere Medien mit entfernungsunabhängigen Kosten -

¹⁶² Ressourcen- und Umwelt-Management in der Bundesverwaltung.

also für alle Dienste des Internet - kaum Folgen haben, da der Absender vom Ausland aus operieren kann. Die Regelung müsste also sinnvollerweise auf Kommunikationsdienste mit entfernungsabhängigen Kosten beschränkt werden und zusätzlich Provider von Gateways zwischen Internet und solchen Diensten verpflichten, zumutbare Vorkehrungen zu treffen, um keine massenhafte Direktwerbung weiterzuleiten.

(Cluster 2: E-4; zusätzlich S-2)

9.1.8 Energie-Etikette für ICT

Die "energieEtikette", die gemäß Energieverordnung bisher für konventionelle Haushaltgeräte und Lampen im Gebrauch ist, sollte auch für ICT-Geräte eingeführt werden, die am Stromnetz betrieben werden ("steckbare" und fest installierte Geräte): Das BfE sollte hierfür eine Variante der Etikette entwickeln bzw. einen entsprechenden Prozess auf EU-Ebene anstossen.

Der Fokus dieser Maßnahme liegt auf dem zu erwartenden *Dauerbetrieb*¹⁶³ einer größeren Anzahl von Geräten pro Haushalt oder Arbeitsplatz, der auch bei kleiner oder mittlerer Leistungsaufnahme zu relevanten Energieverbräuchen führen kann. Der Dauerbetrieb ist für alle zur Netzwerkinfrastruktur gehörenden Geräte (wie Modems, Hubs, Gateways, Basisstationen usw.) und für alle Server zu erwarten. Sind die Investitionen erst einmal getätigt, ist ein unnötig hoher Stromverbrauch über viele Jahre hinweg praktisch nicht mehr zu korrigieren.

Für mobile ICT-Geräte, die über ein Netzteil aufgeladen werden, kommt eine spezielle Etikette für Netzteile in Betracht.

(Cluster 4, Risiken U-2, U-7)

9.1.9 Deklarationspflicht für technische Daten von NIS-Quellen

Die Hersteller bzw. Importeure von NIS-emittierenden Elektronikprodukten sollten verpflichtet werden, die folgenden technischen Daten zu NIS-Quellen dem Benutzer offenzulegen (z.B. in der Gebrauchsanleitung):

- in welchen Betriebszuständen welche Sendeleistungen auftreten,
- bei Quellen, die zur körpernahen Nutzung vorgesehen sind, zu jeder Angabe über die Sendeleistung den zugehörigen SAR-Wert,
- bei Quellen, die zur stationären Nutzung vorgesehen sind (z.B. Basisstationen), zu jedem Betriebszustand Sendeleistung und Stromverbrauch.

Andere Studien zu NIS-Risiken kommen zu ähnlichen Maßnahmenvorschlägen (vgl. Wiedemann, 2001).

Zusätzlich sollte geprüft werden, ob ein Warnhinweis auf der Verpackung von NIS-Quellen, die zum Tragen direkt am Körper bestimmt sind, sinnvoll wäre. Der Grund hierfür ist die starke Entfernungsabhängigkeit der NIS-Exposition.

(Cluster 1, Risiko E-1)

¹⁶³ Unter "Dauerbetrieb" verstehen wir hier eine ununterbrochene Leistungsaufnahme, unabhängig vom Betriebszustand. Standby-Zeiten oder Aus-Zeiten mit einem Verbrauch von > 0 Watt sind also eingeschlossen.

9.2 Forschung

9.2.1 Kontinuierliche partizipative Technologiefolgenabschätzung (TA)

Eine kontinuierliche Technologiefolgenabschätzung (TA) für zukünftige ICT und ihre Anwendungsformen erscheint aufgrund der weit reichenden Auswirkungen der zukünftigen, pervasiven ICT dringend angezeigt. Partizipative TA, die alle gesellschaftlichen Gruppen frühzeitig in die Diskussion einbezieht, kann als „Frühwarnsystem“ zur vorsorglichen Risikominimierung beitragen.

Das TA-Swiss führt schon seit Jahren "PubliForen"¹⁶⁴ durch. Dabei diskutieren etwa 30 Bürgerinnen und Bürger mit Fachleuten über kontroverse Technologiefelder und -anwendungen und verfassen einen Bericht, der Handlungsempfehlungen zuhanden von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft enthält. Dadurch können frühzeitig gesellschaftspolitisch heikle Themen identifiziert werden und politische Entscheide für das Setzen von Leitplanken für Technikgestaltung und -einsatz unterstützt werden. Laien und Experten können Informationen und Erfahrungen austauschen; eine breite öffentliche Diskussion wird angeregt.

Auf dem Weg in die Informationsgesellschaft werden Pervasive Computing und verwandte Visionen der ICT-Anwendung immer wieder Fragen aufwerfen, die einen breiten gesellschaftlichen Diskurs erfordern und die in PubliForen behandelt werden können.

(Maßnahme betrifft alle Risiken)

9.2.2 Runder Tisch

Das Prinzip des "Runden Tisches" ist es, ein Forschungsprojekt oder -gebiet von einer repräsentativen Gruppe von Bürgerinnen und Bürgern begleiten zu lassen. Dabei kommen Bedürfnisse, Hoffnungen und Befürchtungen zur Sprache, welche in die Formulierung und Durchführung der Forschungsprojekte einfließen. Die Stiftung Science et Cité hat zusammen mit der EAWAG einen solchen Runden Tisch als Schweizer Pilotprojekt durchgeführt.¹⁶⁵

Die Durchführung von "Runden Tischen" an öffentlichen Forschungseinrichtungen (ETH-Bereich, Universitäten, Fachhochschulen) und evtl. auch an privaten Forschungslabors wie z.B. dem IBM-Labor in Rüschlikon könnte einen Beitrag leisten, die Gesellschaft stärker in die weit reichenden Entwicklungen im ICT-Bereich einzubeziehen. Ein Runder Tisch zum Pervasive Computing oder verwandten Themen könnte dazu beitragen, die Entwicklung in eine gesellschaftspolitisch gewünschte Richtung zu lenken und Konfliktpotenziale möglichst frühzeitig zu erkennen.

(Cluster 1: E-1; Cluster 2: E-2, E-4; Cluster 3: E-8)

¹⁶⁴ www.ta-swiss.ch; www.publiforum.ch

¹⁶⁵ www.science-et-cite.ch/projekte/tableronde/de.asp; www.eawag.ch/rundertisch

9.2.3 Förderrichtlinien für ICT-Forschung

Die staatliche Förderung neuer Technologien sollte in Zukunft stärker mit der Abschätzung der Technologiefolgen verknüpft werden. Gemessen an den weit reichenenden gesellschaftlichen Auswirkungen von Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT) und ihrer hohen Entwicklungsdynamik besteht in diesem Bereich ein deutliches Defizit. Aus Steuergeldern finanzierte Forschung und Entwicklung steht in der Pflicht, zukünftige Chancen und mögliche Risiken für die Gesellschaft zu thematisieren und dem Diskurs zugänglich zu machen.

Bei größeren Forschungsvorhaben im ICT-Bereich sollte eine projektbegleitende Technologiefolgenabschätzung (TA) deshalb Teil des Projekts sein und in Eigenverantwortung der Gesuchsteller durchgeführt werden. Darüber hinaus sollte ein Teil der Fördermittel auf einem Technologiefeld für projektübergreifende TA-Studien zur Früherkennung von Risiken eingesetzt werden.

Träger der staatlichen Forschungsförderung wie der Schweizerische Nationalfonds (SNF) und die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) sind aufgerufen, ihre Förderrichtlinien in dieser Hinsicht zu überprüfen. Auch den Universitäten, Fachhochschulen und weiteren Forschungseinrichtungen wird empfohlen, bei der Vergabe *innerer* Forschungsmittel entsprechend zu verfahren.

(Maßnahme betrifft alle Risiken)

9.2.4 Nationales Forschungsprogramm

Die nachgewiesenen, aber noch unerklärten biologischen Effekte von NIS bei Expositionen unterhalb der thermischen Wirkungsschwelle und das fehlende Wissen über gesundheitliche Auswirkungen lassen weitere Forschung dringend geboten erscheinen. Die Vision des Pervasive Computing ist ohne allgegenwärtige, dauerhaft betriebene NIS-Quellen nicht umsetzbar.

Die Schweiz sollte diese Forschung - eingebunden in internationale Kooperationen - in einem nationalen Programm durchführen, um ein hohes Niveau an Glaubwürdigkeit und Neutralität der Untersuchungen zu gewährleisten.

Der Vorschlag des BUWAL an das Bundesamt für Bildung und Wissenschaft für ein neues Nationales Forschungsprogramm (NFP) zum Thema "Nichtionisierende Strahlung, Umwelt und Gesundheit" ist daher zu unterstützen.

(Cluster 1: G-1, E-1)

9.3 Ausbildung

9.3.1 Allgemeinbildende Schulen

Ein selbstbewusster, kritischer und mündiger Umgang mit ICT ist der beste Schutz gegen die sozialen Risiken der Informationsgesellschaft. Durch PVC werden besonders die sozialen Risiken der ICT zunehmen.

Für die Allgemeinbildung bedeutet dies, dass nicht das orientierungslose Erlernen von Fertigkeiten im Umgang mit ICT, sondern der Erwerb von Orientierungswissen und einer kritischen Grundhaltung im Vordergrund stehen sollen.

Ähnlich wie es längst zur Allgemeinbildung gehört, "dass nicht alles wahr ist, was in der Zeitung steht", so sollten im Zeitalter der ICT Themen wie die folgenden allgemein bewusst werden:

- Möglichkeiten und Grenzen der Manipulierbarkeit digitaler Inhalte
- Das Problem, Authentizität und Vertrauenswürdigkeit des Urhebers einer Information zu beurteilen
- Grenzen der Zuverlässigkeit von Hardware-Software-Systemen, z.B. anhand der Geschichte berühmter Computerfehler
- Durch die Möglichkeiten des kriminellen Missbrauchs von ICT entstehende Risiken
- Auswirkungen von ICT auf die Gesellschaft, z.B. anhand der historischen Entwicklung seit Erfindung des Computers
- Wettbewerb und Marktkonzentrationen in den Märkten von Hardware, Software und Content
- Der Unterschied zwischen Mensch und Maschine, Möglichkeiten und Grenzen "Künstlicher Intelligenz"
- Datenschutz, Auskunftsrechte, Sicherheitsmaßnahmen (Kryptographie)
- Solange NIS ein Thema ist: Physikalische Grundlagen von NIS, Stand des Wissens über Auswirkungen, die Bedeutung von Sendeleistungen und SAR-Werten.

Diese Inhalte sollten nach Möglichkeit in *bestehende Fächer*¹⁶⁶ stufengerecht integriert werden. Der Fokus sollte auf längerfristig gültigen Prinzipien liegen, kurzlebige Phänomene¹⁶⁷ sollten nur einbezogen werden, wenn sie deutlich exemplarischen Charakter haben.

Diese Maßnahme erfordert mehrere Einzelmaßnahmen, zu denen der Einbezug dieser Themen in die Überarbeitung der Lehrpläne und die Weiterbildung der Lehrenden gehören.

(Cluster 2: E-2, E-3, E-4; S-4; Cluster 3: S-1; Cluster 5: S-6; zusätzlich S-3, S-4, S-5).

¹⁶⁶ z.B. Deutsch, Geschichte, Wirtschaft, Physik, Biologie, Philosophie.

¹⁶⁷ wie z.B. aktuelle Hardware- und Softwareprodukte

9.3.2 Hochschulen

ETH, Universitäten und Fachhochschulen sollten darauf hinwirken, dass die Ausbildungsgänge in ICT-relevanten Fächern die folgenden Inhalte integrieren:

- ICT und Gesellschaft: Auswirkungen der ICT auf die Gesellschaft
- Wissen über Technologiefolgenabschätzung (TA) oder über die in der Informatik entstandene "Wirkungs- und Gestaltungsforschung"
- Förderung eines Bewusstseins für umwelt- und gesundheitsrelevante Gestaltungspotenziale in der Entwicklungsphase neuer Technologien

Zu begrüßen wäre an sich die integrale Behandlung dieser Aspekte im Rahmen der technischen Lehreinheiten. Geeignet sind aber auch spezielle Lehrveranstaltungen, wie sie z.B. schon seit vielen Jahren an den Departementen Informationstechnologie und Elektrotechnik bzw. Informatik der ETH Zürich angeboten werden.

Die Zürcher Hochschule Winterthur (ZHW) hat ein "Kompetenzzentrum für Sicherheit und Risikoprävention" (KSR) geschaffen.¹⁶⁸

Im europäischen Ausland gehört die Integration gesellschaftlicher Aspekte in das Informatikstudium vielerorts zum Selbstverständnis dieses Faches, insbesondere im Norden (Norddeutschland und Skandinavien).

(Cluster 2: E-2, E-3, S-4; Cluster 5: S-6)

9.3.3 Energieeffizienz von ICT als Ausbildungsthema

Planerische Entscheidungen und die daraus folgenden Investitionen in Geräte und Installationen haben oft Auswirkungen auf den Energiebedarf, die nachträglich nur noch in engen Grenzen korrigiert werden können. Oft fehlen aber Fachleute, die die zukünftigen Benutzer bei solchen Entscheidungen kompetent beraten.

Die für das Pervasive Computing aufgebaute Infrastruktur (z.B. drahtlose Netzwerke, Server) bietet unter energetischen Aspekten große Gestaltungsspielräume. Heute besteht noch die Möglichkeit, diese im Sinne einer rationellen Energienutzung zu nutzen. Deshalb sollte bei jenen Berufsgruppen, die darauf konkreten Einfluss haben (Architekten, Installationsgewerbe usw.), möglichst rasch entsprechendes Wissen und Bewusstsein aufgebaut werden. Wichtige Themen wären der Energieverbrauch durch Geräte im Dauerbetrieb und die so genannten Stand-By- und Schein-Aus-Verluste, Optimierungspotenziale bei Hausinstallationen und sekundärer Energiebedarf bei professionellen Installationen, z.B. für Kühlung und unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV). Grundsätzlich sollen nicht Einzelkomponenten, sondern Systeme im Vordergrund stehen.

Zu den angesprochenen Berufsgruppen gehören Architekten, Gebäudetechniker und Elektromontiere, aber auch das Verkaufspersonal für Elektronikprodukte im Detailhandel. Diese Maßnahme ergänzt und flankiert die Maßnahme 9.1.8 (Energie-Etikette).

¹⁶⁸ "Das Ziel des Kompetenzzentrums ist, sowohl bei Innovationsprozessen (z.B. bei F&E-Projekten) als auch im wirtschaftlichen Umfeld (Produktion, Dienstleistungen) Technologien zu fördern, die innovativ, qualitativ hochwertig und auch gesellschaftlich-ethisch verantwortbar sind. Auf Grundlage dieser Praxisorientierung sollen Unterrichtsmodule im Aus- und Weiterbildungsbereich entwickelt und durchgeführt werden."

Aebischer und Huser (2000) kommen in ihrer Studie „Vernetzung im Haushalt“ zu ähnlichen Schlussfolgerungen.

Die Träger der beruflichen Aus- und Weiterbildung (Berufsschulen, Branchenverbände und Berufsverbände¹⁶⁹) sind gefordert, die entsprechenden Fachkenntnisse in die Lehrpläne der Berufslehre, insbesondere der höheren Fachausbildung zu integrieren.

Die Ausbildungsziele und Prüfungsvorschriften an Berufsschulen und für höhere Fachprüfungen (Abschluss mit Eidg. Fachausweis und Eidg. Diplom) sollten in Abstimmung mit dem Bundesamt für Ausbildung (BfA) um den Aspekt der Energieeffizienz erweitert werden.

Darüber hinaus sollte ein entsprechendes Angebot an beruflichen Fortbildungsmaßnahmen für Beschäftigte in KMUs (z.B. Elektrobranche) und die Verantwortlichen für Beschaffung (Einkäufer) in Unternehmen und öffentlichen Institutionen geschaffen werden. Die Initiative dazu könnte hier von der kantonalen Wirtschaftsförderung oder den Industrie- und Handelskammern ausgehen. Eine Zusammenarbeit mit Branchenverbänden wie dem Verband Schweizerischer Elektro-Installationsfirmen (VSEI) könnte eine möglichst praxisnahe Gestaltung der Fortbildungskonzepte gewährleisten.

(Cluster 4: U-2, U-7)

9.4 Empfehlungen an private und öffentliche Unternehmen

9.4.1 Global e-Sustainability Initiative (GeSI)

Die Global e-Sustainability Initiative (GeSI) hat sich zum Ziel gesetzt, die globale Umweltsituation zu verbessern und die Entwicklung nachhaltiger Technologien in der Kommunikationsbranche zu fördern sowie Abfälle zu minimieren. Mit ihrer Mitgliedschaft bei GeSI gehen die Unternehmen eine Selbstverpflichtung ein, die Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung zu fördern und in die konkrete Unternehmenspraxis umzusetzen, insbesondere durch:

- Mitwirkung an internationalen Aktivitäten der ICT-Industrie zur Erarbeitung von Agreements (z.B. Standards für recyclinggerechtes Design und Energieeffizienz der Produkte, Verzicht auf bestimmte Schadstoffe)
- Zusammenarbeit mit Partnern in Wirtschaft und Wissenschaft mit dem Ziel, NIS-Belastungen durch Produkte und Dienstleistungen nach dem jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik minimal zu halten (freiwilliges Minimierungsgebot)
- Verpflichtung der Zulieferer auf Einhaltung von Grundsätzen der GeSI, insbesondere Umweltmanagement und Entwicklung energiesparender Geräte.
- Transparente Unternehmenspolitik und partnerschaftliche Kommunikation mit Verbrauchern und anderen interessierten Kreisen.

Mit ihrem Beitritt zu GeSI könnten schweizerische Unternehmen der Informations-technologie- und Telekommunikationsbranche (z.B. Swisscom) ihre Bemühungen um eine nachhaltige Unternehmenspolitik verstärken und mit internationalen Aktivitäten koordinieren.

¹⁶⁹ z. B. Branchenverband der Schweizer Maschinen-, Elektro- und Metall-Industrie (SWISSMEM); Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA)

(Cluster 1: G-1, E-1; Cluster 4: U-1, U-2, U-3, U-7)

9.4.2 Öffentlicher Verkehr

Die Entwicklung in Richtung Pervasive Computing scheint vordergründig den Individualverkehr zu stärken, obwohl im öffentlichen Verkehr mindestens so große Nutzenpotenziale liegen.

Die Anbieter des Bahn- und Busverkehrs sollten deshalb eine gemeinsame, langfristig orientierte Strategie zum Einsatz von ICT durch die Unternehmen selbst und vor allem durch ihre Kunden entwickeln. Wenn PvC sich durchsetzt, werden besonders die folgenden Fragen relevant werden:

- Wie kann PvC für eine noch bessere Angebotstransparenz genutzt werden? (Beispiel: Angebot einer online-Routenplanung, die neben Fahrplaninformation auch Verspätungsinformation und andere aktuelle Abweichungen berücksichtigt und von den Kunden mobil genutzt werden kann, z.B. durch "Personal Travel Assistants")
- Welche Voraussetzungen sind zu schaffen, damit der Fahrgäst seine Zeit im Verkehr optimal nutzen kann (Zeiten im Zug, im Bus, Wartezeiten usw.), und wie sind divergierende Bedürfnisse verschiedener Kundengruppen am besten zu vereinbaren?
- Wie können die Verkehrsunternehmen selbst PvC für die effiziente Organisation ihrer Abläufe im Personen- und Güterverkehr nutzen?

(Cluster 4: U-9)

9.4.3 Telekommunikations-Provider

Die Provider von heutigen Kommunikationsdiensten - und künftigen PvC-Diensten – sind aufgerufen, eine freiwillige Selbstkontrolle zu organisieren, die ethische Mindeststandards für das Inhaltsangebot der vermittelten Dienste verlangt. Damit könnten die Provider unter anderem auch gesetzlichen Maßnahmen entgegenwirken, die sie generell für die Inhalte haftbar machen.¹⁷⁰

Ein Vorbild mit allerdings sehr eingeschränktem Aufgabenbereich ist der Verein „Freiwillige Selbstkontrolle Telefonmehrwertdienste e.V.“ in Deutschland. Dieser Verein hat das Ziel, einem Missbrauch der dortigen 0190-Nummern entgegenwirken, indem er ein Label für seriöse Anbieter vergibt.¹⁷¹

Die Mitglieder verpflichten sich auf einen Verhaltenskodex für Telefonmehrwertdienste. Darin sind die folgenden Bereiche angesprochen:

- Achtung der schutzwürdigen Interessen der Benutzer und der Allgemeinheit
- Ablehnung jeglicher Form von Zensur
- Richtlinien gegen Rassendiskriminierung und Gewaltverherrlichung

¹⁷⁰ Eine weit reichende Haftung der Anbieter von Kommunikationsdiensten für die Inhalte, die sie transportieren, gehört explizit nicht zu den Maßnahmenvorschlägen dieser Studie.

¹⁷¹ Die Gründung war eine Reaktion auf den Missbrauch der Telefonmehrwertdienste für unseriöse Angebote, der dieses Geschäftsmodell diskreditiert hat.

- Ausschluß von Kindern und Jugendlichen von der Nutzung gefährdender Dienste
- Veröffentlichung von Name und Anschrift der Anbieter von Inhalten
- Ausweis der Tarifangaben
- Grundsätze für Werbemaßnahmen
- Anbieter-Kennzeichnung in der Werbung
- Richtlinien für die Abwicklung von Chat- und Dating-Diensten

Dieser Verhaltenskodex könnte als Modell für breitere Marktsegmente zukünftiger Informations- und Kommunikationsdienste dienen.

(Cluster 2: E-4, S-5, Cluster 5: S-6, zusätzlich S-2)

9.5 Empfehlungen, die sich an mehrere Akteure richten

9.5.1 Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)

Den KVA bzw. ihren Betreibern wird empfohlen, ihr Monitoring auf eine mögliche Zunahme von kleinen Elektronikkomponenten im Hauskehricht einzustellen.

Sollte es sich abzeichnen, dass der Elektronikanteil im Hausmüll für die KVA zum Problem wird, sollten diese frühzeitig mit dem Schweizerischen Wirtschaftsverband der Informations-, Kommunikation- und Organisationstechnik (SWICO) über mögliche freiwillige Maßnahmen (z.B. Erweiterung des Geltungsbereiches der SWICO-Recyclinggarantie) beraten mit dem Ziel, die mengenmäßig wichtigsten elektronikhaltigen Fraktionen aus dem Strom des Hausmülls abzuzweigen und dem Recycling von Elektro- und Elektronikgeräten zuzuführen. Wenn es sich als notwendig erweist, sollten die KVA eine Anpassung der VREG (Verordnung für die Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte) bzw. der VeVa (Verordnung über den Verkehr mit Abfällen) hinsichtlich der Begriffsabgrenzung bei Elektronikgeräten anregen.

(Cluster 4: U-3)

9.5.2 Ombudsstelle für NIS

Es soll eine von Mobilfunkbetreibern unabhängige Ombudsstelle für Fragen von NIS-Emissionen, ihrer Minimierung und ihrer Auswirkungen eingerichtet werden, deren Auftrag sich auf *alle Arten von NIS-Quellen* erstreckt. Dies ist insbesondere aufgrund der zu erwartenden Ausbreitung von WLANs (auch z.B. in Schulen) angezeigt. Die Ombudsstelle könnte praktische Hinweise zur emissionsarmen Realisierung drahtloser Netze verbreiten und auftretende Befürchtungen oder Beobachtungen an die Wissenschaft und Politik zur weiteren Befassung weiterleiten.

Diese Maßnahme ist eventuell durch Erweiterung des Auftrags der 'Ombudsstelle Mobilkommunikation & Umwelt' umsetzbar, die heute ausschließlich für Mobilfunk-Basisstationen zuständig ist. Wenn deren Unabhängigkeit aber von Teilen der Öffentlichkeit in Zweifel gezogen wird, muss überlegt werden, in welcher Konstellation eine als unabhängig wahrgenommene Stelle eingerichtet werden könnte.

(Cluster 1: G-1, E-1)

9.5.3 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 nichtionisierender 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 Hausrrecht 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.

(Cluster 1: E-1; Cluster 2: E-4, S-4)

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

3D

dreedimensional

ABS

Antiblockiersystem. Bremstechnologie für Kraftfahrzeuge.

ad-hoc-Netz

Datennetzwerk ohne feste Struktur, zu dem sich mobilen Einheiten über drahtlose Verbindungen zusammenschließen.

ADSL

Asymmetric Digital Subscriber Line. Übertragungsverfahren, das digitalen Datenempfang bis 8 Mbit/s über eine herkömmliche zweiadrigre Telefon-Kupferleitung ermöglicht.

Agent

siehe Abschnitt 3.5

All-in-One-Utility-Geräte

Geräte, die mehrere Funktionen in einem Gerät erfüllen, die vorher von verschiedenen Geräten erbracht wurden, z.B. E-Mail, Telefonieren, Fotografieren, Adressverwaltung.

athermischer Effekt

(biologische) Wirkung elektromagnetischer Strahlung, die nicht auf der Erwärmung des Gewebes beruht, weil die Strahlung hierfür zu schwach ist.

Augmented Reality

Erweiterte Realität. Anwendungsform von ICT, bei der dem Benutzer situationsgerecht zusätzliche Informationen zum gerade betrachteten Objekt bereitgestellt werden. Beispiel: Ein Chirurg kann während der Operation durch ein virtuelles Fenster (realisiert als halbtransparenter Bildschirm) quasi in den Patienten hineinblicken. Eine integrierte Ultraschall-Bildgebung aktualisiert während des Eingriffs laufend die benötigten Daten.

Avatar

Ein visuell simuliertes Wesen, dass auf dem Bildschirm dargestellt wird.

Backbone

Zentraler, gewöhnlich großräumiger Hochgeschwindigkeitsteil eines Telekommunikationsnetzwerkes.

BAKOM

Bundesamt für Kommunikation

BAN

1. Body Area Network. Netzwerk zur Datenübertragung zwischen am Körper getragenen Elektronik-Komponenten.
2. Basel Action Network. Nichtregierungsorganisation, die sich für die Einhaltung der Basler Konvention einsetzt, insbesondere gegen den Export von Elektronikabfall in Entwicklungs- und Schwellenländer.

Basisstation

Unter "GSM-Basisstation" (engl. "base transceiver station", BTS) versteht man alle Funkanlagen (nach dem GSM-Standard), Antennen und weitere Einrichtungen die an einem bestimmten Platz fest installiert sind und eine oder mehrere Funkzellen versorgen (BAKOM). Unabhängig vom GSM-Standard können alle ortsfesten Sende- und Empfangseinrichtungen, die drahtlos mit Endgeräten kommunizieren, als Basisstationen bezeichnet werden.

Benutzerschnittstelle

Der Teil der Hard- und Software eines Computersystems, der die Interaktion zwischen Mensch und Maschine ermöglicht.

Bluetooth

Funkstandard im Ultrahochfrequenz-Bereich, mit der sich mobile Geräte untereinander drahtlos verbinden lassen. Im Gegensatz zu Infrarot-Schnittstellen ist kein Sichtkontakt erforderlich.

Brennstoffzelle

Katalytisches Verbrennungsmodul zur Stromerzeugung.

BUWAL

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft

CAD

Computer Aided Design

CATV

Community Antenna Television - Bidirektional aufgebaute Hochgeschwindigkeitsnetze für Kabelfernsehen auf Basis von Glasfaser- und Koaxialkabel.

CD

Compact Disk. Digitales Speichermedium, das ursprünglich als Träger digitaler Audiodaten entwickelt wurde und als solches die analoge Schallplatte abgelöst hat.

CDMA

Das "Code Division Multiple Access"-Verfahren erlaubt die Benutzung eines Übertragungskanals (einer bestimmten Frequenz) durch mehrere Teilnehmer. Damit lassen sich vorhandene Frequenz-Ressourcen besser nutzen und aufteilen. Prinzip: Die übertragenen Datenpakete sind mit einem Code für den jeweiligen Empfänger gekennzeichnet.

CD-ROM

Compact Disk, die als universeller Datenträger (also nicht speziell als Audiomedium) verwendet wird.

Chatroom

Virtueller „Schwatzraum“, in dem mehrere Internet-Benutzer miteinander kommunizieren können, indem sie Sätze eintippen, die gleichzeitig auf dem Bildschirm der anderen Teilnehmer erscheinen.

CO₂

Kohlenstoffdioxid

CPU

Central Processing Unit, Zentraleinheit eines Computers, die die Programme ausführt.

CRT

Cathode Ray Tube, Kathodenstrahlröhre. Die klassische Bildschirm-Technologie für Fernseher und Computer.

CSTEE

Wissenschaftlicher Ausschuss für Toxizität, Ökotoxizität und Umwelt bei der Generaldirektion "Gesundheit und Verbraucherschutz" der Europäischen Kommission.

Cyberbrille

Brille mit integrierten Displays und meist dreidimensionaler Darstellung virtueller Welten.

DECT

Digital European Cordless Telecommunication. Europäischer Standard für schnurlose Telefone, hauptsächlich im 1.88 - 1.9-GHz-Frequenzband.

Desktop (-Computer)

Ein Computer, der klein genug ist, dass er auf einem Schreibtisch betrieben werden kann.

DNA

Desoxyribonucleinsäure. Träger der Erbinformation im Zellkern.

Download

Übertragen von Daten von einer entfernten Datenquelle über ein Netzwerk (in der Regel das Internet) zum Computer des Benutzers, der den Vorgang veranlasst hat.

Drive by Wire

Lenken eines Fahrzeugs „per Draht“. Zwischen Fahrer und Getriebe, Bremsen usw. besteht keine mechanische Verbindung mehr, d.h. das Fahrzeug reagiert über eine elektronische Steuerung auf die Aktionen des Fahrers.

DSL

Digital Subscriber Line (siehe ADSL)

DVB

Digital Video Broadcasting

DVB-T

mobiles Fernsehen

DVD

Digital Video Disk. Digitales Speichermedium

EDGE

Enhanced Data Rates for GSM Evolution. Ein Standard, den die International Telecommunications Union (ITU) als offiziellen Mobilfunkstandard ratifiziert hat. EDGE nutzt Modulationsverfahren, die dem UMTS-Standard ähnlich sind, funk aber auf konventionellen GSM-Frequenzen.

EEG

Elektroenzephalogramm. Aufzeichnung der elektrischen Aktivität des Gehirns.

EE-Geräte

Elektrische und elektronische Geräte

E-Government

Sammelbegriff für die digitalisierte Verrichtung von Regierungsaufgaben.

e-Grain

Miniaturisierte „Elektronische Körner“, die sich zu Netzwerken formieren können.

EIB

Europäischer Installationsbus

EKG

Elektrokardiogramm: Aufzeichnung der elektrischen Aktivität des Herzens.

EMF

elektromagnetisches Feld

E-Paper

wiederbeschreibbares Foliendisplay

Ergonomie

hier insbesondere: Software- Ergonomie (synonym: Kognitive Ergonomie). Die Aufgabe der Software-Ergonomie ist die Anpassung der Arbeitsbedingungen bei der Mensch-Computer-Interaktion an die sensumotorischen und kognitiven Fähigkeiten und Prozesse des Menschen. Hierzu werden Untersuchungen über die menschliche Arbeitstätigkeit und kognitiven Fähigkeiten, über die Auswirkungen der Benutzerschnittstelle auf den Menschen sowie über die Wirkung von Merkmalen der Benutzerschnittstelle auf die Benutzbarkeit von Systemen durchgeführt.

EW

Einwohner

FCKW

Fluorchlorkohlenwasserstoffe Stoffgruppe, die eine Gefährdung der Ozonschicht bewirkt

FDMA

Frequency Division Multiple Access. Damit kann ein Übertragungskanal auf mehrere Teilnehmer effizient aufgeteilt werden. Dabei wird ein Frequenzbereich in mehrere Teilbänder aufgeteilt, die verschiedenen Teilnehmer zugewiesen werden. Ähnliche Techniken sind: CDMA und TDMA .

Flatrate

Pauschalpreis. Hier speziell ein von Anschlusszeit und übertragener Datenmenge unabhängiger Tarif für Telekommunikationsdienste.

Fuzzy Logic

Logik, die es erlaubt, beliebig fein abgestufte Wahrheitswerte zwischen "wahr" und "falsch" darzustellen.

GHz

Gigahertz. Maßeinheit für Frequenz. 1 GHz bedeutet eine Milliarde Schwingungen pro Sekunde.

GPRS

General Packet Radio Service: paketvermittelter Datendienst, erlaubt Übertragungsraten von bis zu 115,2 kBit/s pro Teilnehmer.

GPS

Global Positioning System. Ursprünglich für die US Army entwickeltes System, mit dem sich der eigene Standort weltweit auf wenige Meter genau bestimmen lässt.

Grid Computing

Gemeinsame Bearbeitung von aufwändigen Rechenaufgaben durch mehrere Computer, die über ein Netzwerk zusammengeschlossen sind.

GSM

Global System for Mobile Communications: Digitale zellulare Funktechnologie, die im 900 MHz-Frequenzbereich betrieben wird. Zweite Mobilfunkgeneration (G2).

Handheld (Computer)

Computer, der klein genug ist, um bei der Benutzung in der Hand gehalten zu werden.

Head Mounted Display

Auf oder am Kopf getragenes visuelles Ausgabegerät, meist in Form einer Brille (s. Cyberbrille)

Headset

Auf oder am Kopf getragene Vorrichtung zur Information und/oder Kommunikation z.B. Kombination aus Ohrhörer und integriertem Mikrofon im Kabel zum freihändigen Telefonieren.

HSCSD

High Speed Circuit Switched Data

HTML

Hypertext Markup Language. Sprache zur Beschreibung von Hypertext, die im WWW verwendet wird.

Hypertext

Text, der an beliebiger Stelle Verweise (Referenzen) auf andere Texte enthalten kann, die automatisch verfolgt werden können („Links“). Ein Hypertext hat im Gegensatz zu einem herkömmlichen Text keine lineare, sondern eine netzwerkartige Struktur.

IC

Integrated Circuit (Integrierte Schaltung)

ICD

Industrial Clothing Design

ICNIRP

International Commission on Non-Ionising Radiation Protection. Eine internationale, privatrechtliche Organisation für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung.

ICT

Informations- und Kommunikationstechnologie. Oberbegriff für alle (elektronischen) Technologien und Geräte, die zur Verarbeitung, Speicherung oder Übertragung (digitaler) Daten dienen. Beispiele: PC, Mobiltelefon, Organizer, Navigationssystem im Auto.

Induktionseffekt (der ICT)

Die indirekte Wirkung des Einsatzes von ICT-Produkten, die Nachfrage nach anderen Produkten zu stimulieren. Z.B. stimuliert der Einsatz von Druckern die Nachfrage nach Papier, weil Papier schneller beschrieben werden kann als mit Schreibmaschinen. Siehe auch: Substitutionseffekt.

Infrarot

Für das menschliche Auge unsichtbarer Spektralbereich des Lichts, der für Signalübertragung genutzt werden kann.

„Intelligente Kleidung“

Kleidung, in die ICT-Komponenten integriert sind.

Internet

Weltumspannendes Netzwerk zum Transport von Daten gemäß dem TCP/IP-Standard. Auf Basis des Internet sind z.B. E-Mail und das World Wide Web (WWW) realisiert. Weil es sich um eine universelle Infrastruktur handelt, ist es offen, welche Dienste in Zukunft mit dem Internet realisiert werden.

Internet-POP

Point of Presence: Ein Ort, an dem sich Nutzer mit dem Internet-Backbone verbinden können.

IrDA-Standard

Standard der Infrared Data Association. Ermöglicht es, Daten via Infrarot zwischen Geräten zu übertragen.

ISDN

Integrated Services Digital Network - Dienste-integrierendes digitales Fernmeldenetz

ISO

Internationale Normierungsorganisation

ISOS

Internet Scale Operating Systems

IT

Informationstechnologie. „IT“ wird heute meist synonym zu "ICT" gebraucht.

i-wear

siehe "intelligente Kleidung"

Java

Programmiersprache, die speziell für Internet-Anwendungen geeignet ist.

JINI

Java Intelligent Network Infrastructure - Ermöglicht, dass Daten und ausführbare Programme dynamisch beliebigen Netzwerkknoten zugeordnet und dort ausgeführt werden können. JINI stellt einen Service bereit, der ein Gerät aktiviert und nutzbar macht, sobald dieses ans Netzwerk angeschlossen wird.

Karzinogen

Krebserregend

„Killerapplikation“

Eine Anwendung, die der Systemplattform, auf der sie realisiert ist, zum wirtschaftlichen Durchbruch verhilft.

KMUs

Kleine und mittlere Unternehmen

Kryptografie

Datenverschlüsselung

KVA

Kehrichtverbrennungsanlage

LAN

Local Area Network. Ein lokal begrenztes Netzwerk zur Datenübertragung, meist mit dem Internet verbunden

Laptop (-Computer)

Ein Computer, der klein genug ist, um auf dem Schoss betrieben zu werden.

LCA

Life Cycle Assessment; Lebenswegübergreifende Abschätzung der Umwelteffekte bzw. Kosten

LCD-Bildschirm

Liquid Crystal Display. Flüssigkristall-Monitor. Flache Alternative zum CRT-Monitor.

LED

Light Emitting Diode (Leuchtdiode)

LKW

Lastkraftwagen

Medienkonvergenz

Das Zusammenwachsen von bisher getrennten Übertragungswegen für Dienste, Informationen und Präsentationsformen auf gemeinsamen Endgeräten.

Mensch-Computer-Schnittstelle

siehe Benutzerschnittstelle

Mensch-Maschine-Interaktion

Der Vorgang, dass Aktionen eines Menschen eine Maschine beeinflussen (steuern) und umgekehrt.

meV

Millielektronenvolt

MHz

Megahertz. Maßeinheit für Frequenz. 1 MHz bedeutet eine Million Schwingungen pro Sekunde.

Microbilling

Das Abrechnen sehr kleiner Zahlungsbeträge.

Modal Split

Aufteilung des Verkehrs auf verschiedene Verkehrsträger.

MP3

Daten-Kompressionstechnik, wird speziell zum digitalen Übertragen und Speichern von Musik verwendet.

MSR-Systeme

Mess-, Steuer- und Regelungssysteme.

Nanotechnologie

Technologie, die Eigenschaften kleinsten Materialstrukturen im Nanometerbereich nutzbar macht.

NFP

Nationales Forschungsprogramm

NIS

Nichtionisierende Strahlung

Notebook (-Computer)

Ein Computer, der klein genug ist, dass man ihn wie ein Notizbuch bei sich tragen kann.

NOx

Stickstoffoxide

OCR

Optical Character Recognition. Gebiet der Informatik, das sich mit der automatischen Erkennung von auf Papier geschriebenen Zeichen befasst.

OECD

Organisation for Economic Co-Operation and Development: Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung.

OLED

organische Leuchtdiode

OMEN

Orte mit empfindlicher Nutzung (Begriff der NIS-Verordnung). Als Orte mit empfindlicher Nutzung gelten: a. Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmäßig während längerer Zeit aufhalten; b. öffentliche oder private, raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze; c. diejenigen Flächen von unüberbauten Grundstücken, auf denen Nutzungen nach den Buchstaben a und b zugelassen sind.

OMG

Object Management Group

Open Source

Offengelegter Quelltext. Der Quelltext ist der Text, in dem ein Computerprogramm ursprünglich geschrieben wurde. Er ist für entsprechend ausgebildete Leser nachvollziehbar. „Open Source“-Produkte basieren auf einer „General Public License“ (GPL). Die GPL beinhaltet, daß jeder den Quelltext des betreffenden Programms einsehen und verändern darf; es ist jedoch nicht erlaubt, das Programm ohne Genehmigung zu vermarkten oder in einen „Closed Source“-Zustand zu überführen. Der Vorteil von „Open Source“-Software ist neben den geringeren Kosten heute vor allem der höhere Reifegrad der Software.

Organizer (Digital Organizer)

Mobiles Gerät zur Adressen- und Terminverwaltung. Eingabe erfolgt meist mit einem Stift.

OSGi Gateway

Open Services Gateway Initiative. Forum zur Entwicklung offener Spezifikationen für die Bereitstellung von Diensten über WANs zu LANs und Geräten.

ÖV

öffentlicher Verkehr

Palmtop (Computer)

Computer, der klein genug ist, um auf der Handfläche betrieben zu werden.

PAN

Personal Area Network

Pay-per-use

Nutzungsabhängige Bezahlung

PC

Personal Computer

PCB

Polychlorierte Biphenyle

PCDD und PCDF

Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane

PDA

Personal Digital Assistant. "Persönliche Digitale Assistenten" sind Computer im Westentaschenformat, so genannte Handhelds. Zu ihren Aufgaben zählen neben denen eines elektronischen Terminkalenders zunehmend auch Kommunikation und Multimedia.

Peer-to-Peer Netzwerk

Netzwerksysteme ohne zentrale Zugriffskontrolle, in denen alle Rechner gleichberechtigt agieren. Eine Datenverbindung besteht dabei immer direkt von einem Teilnehmer zum anderen, ohne Zwischenschaltung eines Netzwerk-Servers.

PKW

Personenkraftwagen

Plug and Play

Ein ergonomisches Kriterium für Geräte, das fordert, dass sie nach dem ersten Anschließen und Einschalten ohne weitere Aktionen des Benutzers funktionsfähig sind.

Polymere

Großmoleküle, die aus einer Vielzahl von Einzelmolekülen bestehen.

Portables

tragbare ICT-Geräte

Powerline-Technik

Datenübertragung über die Stromleitung.

Provider

Anbieter (von Dienstleistungen wie Telefonie oder Internet-Zugang)

PTA

Personal Travel Assistant

PvC

Pervasive Computing

PVC

Polyvinylchlorid

RAM

Random Access Memory – Arbeitsspeicher eines Computers.

Rebound-Effekt

auch: Bumerangeffekt. Ausweitung von Output anstelle einer durch Effizienzsteigerung beabsichtigten Verringerung von Input. (siehe Abschnitt 5.3)

Ressourceneffizienz

Verhältnis zwischen dem Output eines Prozesses und dem dazu notwendigen Input an natürlichen Ressourcen (Rohstoffe und Energie).

Retina-Display

Ausgabegerät, das mit einem abgelenkten Laserstrahl direkt auf die Retina des menschlichen Auges projiziert.

RFID

Radio Frequency Identification

SAR

Spezifische Absorptionsrate. Wird in Watt pro Kilogramm Gewebemasse angegeben. Der SAR-Wert gibt Aufschluss darüber, wie viel Leistung von einem Körper aufgenommen wird. Generell gilt ein über den ganzen Körper gemittelter Grenzwert von 0,08 Watt pro Kilogramm, in Teilbereichen des Körpers sind bis zu 2 W/kg gemittelt über 10 Gramm erlaubt - dieser Wert ist für Handys relevant.

Set-Top Box

Gerät für analoge Fernseher zum Empfang digitaler TV-Signale und anschließender Analogwandlung.

Shutter-Brille

Brille zur Darstellung dreidimensionaler Bilder in hoher Auflösung.

SIM

Subscriber Identification Module

Smart Label

elektronisches Etikett das berührungslos abgelesen werden kann.

Smart-Card

Mit einem Mikrochip versehene Karte, die veränderbare Daten speichert.

Smartphone

Kombination aus Personal Digital Assistant (PDA) und Mobiltelefon.

SMS

Short Message System: System für die Übermittlung von kurzen Textnachrichten (bis zu 160 Zeichen) an Mobiltelefone über GSM-Netze.

SO₂
Schwefeldioxid

SRR
Short Range Radar

SSK
Deutsche Strahlenschutzkommission

Stand-By
Bereitschaftsmodus, ein Betriebszustand von elektronischen Geräten.

Strahlungsexposition
Einwirkung von Strahlung auf den Körper.

Substitutionseffekt (der ICT)

Die indirekte Wirkung des Einsatzes von ICT-Produkten, die Nachfrage nach anderen Produkten zu verringern. Z.B. verringert die Verbreitung von E-Mail die Nachfrage nach der Beförderung konventioneller Briefe. Siehe auch: Induktionseffekt.

SUV-Segment

Sports and Utilities Vehicles Segment: Segment der Sport- und Nutzfahrzeuge für Personen.

TA

Technologiefolgenabschätzung

TDD

Time Division Duplex

TDMA

Mit Time Division Multiple Access werden GSM-Funkkanäle effizienter eingesetzt. Dabei werden so genannte Zeitschlüsse verwendet, die sich im Mikrosekunden-Bereich bewegen. Bei GSM kann ein Funkkanal von bis zu acht Teilnehmern belegt werden, jedes Endgerät ist dabei für einen Zeitraum von etwa 577 Mikrosekunden auf Sendung und hält dann wieder Funkstille um die anderen Endgeräte auf dieser Frequenz funkeln zu lassen.

Teraflop

Billion Rechenoperationen pro Sekunde – Maßeinheit für die Rechenleistung eines Computersystems

thermische Wirkungen

Elektromagnetische Felder können in Wärme umgewandelt werden. Diesen Effekt bezeichnet man thermische Wirkung.

Touchscreen

Berührungsempfindlicher Bildschirm, wird zum Beispiel bei Organizern zur Eingabe per Stift oder zur Steuerung von Funktionen genutzt.

Tracking

Das Nachverfolgen von Gegenständen.

Transponder

Zusammenziehung der Worte Transmitter und Responder; drahtlose Kommunikations-, Überwachungs- oder Steuerungseinheit, die Eingangssignale auffängt und automatisch darauf antwortet.

UMTS

Universal Mobile Telecommunications System: europäische Variante der Mobilfunksysteme der dritten Generation 3G (IMT2000). Neben dem Telefondienst ermöglicht UMTS die Bereitstellung von Multimediadiensten (Daten, Bild, Ton) mit Übertragungsraten von 144 kbps (Fahrzeuge), 384 kbps (Fussgänger) und 2 Mbps (Gebäude).

USB

Universal Serial Bus. Schnittstelle für Ein- und Ausgabegeräte.

USG

Schweizer Umweltschutzgesetz

UV

Ultraviolet - kurzwelliges, nicht sichtbares Licht.

VEG

vorgezogene Entsorgungsgebühr.

Verteiltes System.

Ein verteiltes (Datenverarbeitungs-)System besteht aus mehreren autonomen Prozessor-Speicher-Systemen, die mittels Botschaftenaustausch kooperieren.

Videoconferencing

Telekommunikationstechnik mit Bild- und Tonübertragung, die es mehreren räumlich getrennten Teilnehmern ermöglicht, an einem virtuellen Treffen teilzunehmen.

Video-on-Demand

Bereitstellung von Videofilmen auf Abruf, wobei besondere Geräte (Decoder) und herkömmlicher elektronische Übertragungswege genutzt werden.

virtuell

Gegensatz zu „real“. Die Eigenschaft, nur einen Teil der Merkmale eines korrespondierenden realen Phänomens aufzuweisen. So wie ein Spiegel eine virtuelle Situation zeigt (im Gegensatz zur realen Situation fehlt z.B. die Möglichkeit, sich hinein zu begeben), so hat z.B. virtuelle Präsenz nur einen Teil der Merkmale realer Präsenz, ein virtuelles Team nur einen Teil der Merkmale eines realen Teams usw.

virtuelle Realität

Ein bewusst paradocher Begriff (siehe Stichwort „virtuell“), in dem sich die Vision ausdrückt, mit digitalen Mitteln virtuelle Situationen zu schaffen, die sich nicht mehr relevant von realen Situationen unterscheiden.

Voice-over-IP

Telefonieren über das Internet.

VREG

Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte.

VSP

Vorsorgeprinzip

W/m²

Watt pro Quadratmeter: Maßeinheit für die Intensität von elektromagnetischer Strahlung (Strahlungsleistungsdichte).

WAP

Wireless Application Protocol. Protokoll für (eingeschränkten) Zugang zum WWW über Mobiltelefone.

Wearables

Digitale Geräte, die am Körper getragen werden.

Web-Browser

Ein Programm, das den Zugang zum World Wide Web (WWW) ermöglicht. Bekannte Browser sind „Netscape Navigator“ und „Microsoft Internet Explorer“.

W-LAN

Wireless Local Area Network. Drahtloses Computernetzwerk im Lokalbereich, mit dem typischerweise alle Endgeräte innerhalb eines Gebäudes erreicht werden.

WWW

World Wide Web. Ein auf Basis des Internet realisiertes Netzwerk von multimedialen Hypertext-Dokumenten, die auf Servern bereitgehalten werden. Von einer zunehmenden Zahl von Personen als „Internet“ bezeichnet. (siehe auch Stichwort „Internet“)

Pen-PC

PC im Kugelschreiberformat.

Quellenverzeichnis

- Aebischer, B.; Huser, A. (2000): Vernetzung im Haushalt. Auswirkungen auf den Stromverbrauch. Bern: Bundesamt für Energie.
- Ammann, Daniel; Vogel, Benno (2001): SAG – Studienpapiere, Basisdokumente, Expertisen, Argumentationen, B6 – März 2001, Vom Risiko zur Vorsorge, SAG-Geschäftsstelle, zypresse
- Anderson, D. P.; Kubiatowicz J. (2002): Der Weltcomputer. Spektrum der Wissenschaft 6/2002: 80 - 87.
- Andersson, G. et al. (2000): Life Cycle Assessment of USB vs. Bluetooth. Vortrag am 13. Oktober 2000 auf Chalmers 3rd Annual Conference on Life Cycle Assessment in Electrical Engineering, Abstract verfügbar unter www.elmagn.chalmers.se; Stand 13.12.2002
- Bachmann C. et al. (1993): Miniwatt Report. Efficient Use of Energy in Information Technology and in Consumer Electronics. Swiss Federal Office of Energy. Berne 1993
- BAG (Bundesamt für Gesundheit) / BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft): Strahlung und Gesundheit – Mobile Telekommunikation. Ohne Jahr.
- BAK (2002): *Der volkswirtschaftliche Nutzen von mobiler Kommunikation und Datentransfer in der Schweiz*. Studie erstellt im Auftrag der EconomieSuisse.
- BAKOM (Bundesamt für Kommunikation) (2000): Faktenblatt UMTS. Dezember 2000.
- BAKOM (2001): Faktenblatt GSM. Mai 2001.
- BAKOM (2002): Amtliche Fernmeldestatistik 2001, Biel 10.10.2002
- BAKOM (2003a): Glossar. verfügbar unter <http://www.bakom.ch/de/glossar/> Stand 24.1.03
- BAKOM (2003b): Digitales Fernsehen (DVB-T) - Digitales terrestrisches Fernsehen auch für die Schweiz, verfügbar unter http://www.bakom.ch/de/radio_tv/dvb/dvb_t/index.html, Stand: 25.03.2003
- BAKOM (2003c): Digital Radio - DAB in der Schweiz seit 1999, doch der Ausbau harzt, verfügbar unter http://www.bakom.ch/de/radio_tv/dvb/dab/index.html#sprungmarke10, Stand: 25.03.2003
- BAN – Basel Action Network (2002): Exporting Harm - The High-Tech Trashing of Asia. verfügbar unter: <http://www.svtc.org/cleancc/pubs/technottrash.pdf>
- Bantle, U.2001): Supercomputer ASCI White geht in Betrieb. tecCHANNEL, verfügbar unter <http://www.tecchannel.de/news/20010816/thema20010816-5136.html> Stand 2.11.2002
- Bättig: Relevante Technologien von Morgen – Fachseminar Ubiquitous Computing, ETH Zürich, SS 2000
- Beck, Ulrich (1986/1992): Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne. Frankfurt: Suhrkamp
- Becker, G. S. (1965): A Theory of the Allocation of Time. *Economic Journal* 75: 493-517.
- Behrendt, S.; Erdmann, L.; Würtenberger, F. (2002): Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik: Roadmap „Displays“ (Entwurf), vorgestellt am 16.5.2002 in Berlin, Projekt i.A. des BMBF, verfügbar unter www.roadmap-it.de; Stand 13.12.2002
- Behrendt, S.; Erdmann, L.; Würtenberger, F. (2002): Displays - Trendanalyse und Szenarien zur Entwicklung einer Roadmap im Rahmen des Projektes “Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik” (NIK) im Auftrag des BMBF, unveröffentlichtes Manuskript
- Behrendt, S.; Kreibich, R.; Lundie, S.; Pfitzner, R.; Scharp, M. (1998): Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte. Innovationen und Umweltentlastungspotenziale durch Lebenszyklusanalyse, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg
- Behrendt, S.; Pfitzner, R.; Kreibich, R.; Hornschild, K. (1998): Innovationen zur Nachhaltigkeit - Ökologische Aspekte der Informations- und Kommunikationstechnik, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- Bergen Declaration (1990): Bergen Ministerial Declaration on Sustainable Development in the ECE Region, UN Doc. A/CONF.151/PC/10 (1990), Y.B. Int'l. Envtl, L.1, 429, 4312
- Berleur, J. (ed., 1995): Recommendations to the International Federation for Information Processing Regarding Codes of Conduct for Computer Societies by the IFIP Ethics Task Group. <http://courses.cs.vt.edu/~cs3604/lib/WorldCodes/IFIP.Recommendation.html>

- Berleur, J.; Brunnstein, K. (eds., 1996): A Handbook prepared by the IFIP Ethics Task Group, London: Chapman & Hall, 336 p., ISBN 0-412-72620-3
- Berleur, J.; Ducenoy, P; Whitehouse, D. (eds., 1999): Ethics and the Governance of the Internet - To Promote Discussion Inside the IFIP National Societies. Laxenburg: IFIP ISBN 3-901882-03-0. This brochure may also be found on the SIG9.2.2 website:
<http://www.info.fundp.ac.be/~jbl/IFIP/cadresIFIP.html> by clicking on SIG9.2.2 "Ethics and Internet Governance".
- Berthold, P.; U. Querner (2002): Prinzesschens Reisen nach Afrika. Spektrum der Wissenschaft 6 2002: 52 - 61.
- Beyer, Hans-Martin (1992): Das Vorsorgeprinzip in der Umweltpolitik, Schriftenreihe Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Bd. 10; Verlag Wissenschaft & Praxis
- Binswanger, M. (2001): Technological Progress and Sustainable Development: What About the Rebound Effect? Ecological Economics 36: 119-132.
- BION, Institute for Bioelectromagnetics and New Biology (2000), Ultraweak Bioluminescence; Verfügbar unter <http://www.bion.si/research/Biophotons.htm>; Stand 23.10.2002
- Boell Foundation (2002): <http://www.boell.de>
- 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.
- Bonss, Wolfgang (1995): Vom Risiko: Unsicherheit und Ungewissheit in der Moderne, Hamburger Edition
- Brandström, Fredrik et al. (2000): Life Cycle Assessment of the coaxial cable vs. the twisted pair cable. Vortrag am 6. Oktober auf Chalmers 3rd Annual Conference on Life Cycle Assessment in Electrical Engineering, abstract verfügbar unter www.elmagn.chalmers.se; Stand 13.12.2002
- Broy, M.; Pree, W. (2003); Ein Wegweiser für Forschung und Lehre im Software-Engineering eingebetteter Systeme. Informatik-Spektrum, Februar 2003, S.3-7
- Brunner, C. U.; Bush, E.; Gasser, S.; Lingenhel, S.; Nipkow, J. (2001): Energieeffizienz von Elektrogeräten - Wirkung der Instrumente und Maßnahmen. S.A.F.E. im Auftrag des Bundesamtes für Energie
- Brunnstein, K. (2002): Personal communication.
- BfS (Bundesamt für Statistik) (2001): Indikatoren zur Informationsgesellschaft, Neuchatel 2001
- BfS (2002): Umweltstatistik Schweiz.
- Bundesärztekammer (2001): Anhörung der Bundesärztekammer zu möglichen Gesundheitsgefahren durch Mobilfunkanlagen, Berlin, 4. April 2001,
- Bundesrat (2002): Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002, Technischer Teil: Maßnahmenblätter. Bern, Interdepartementaler Ausschuss Rio (IDARio): 42.
- Bundesrat (2002): Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002. Bericht des Schweizerischen Bundesrates. Bern, Interdepartementaler Ausschuss Rio (IDARio): 44.
- Burkhardt, J.; Henn H.; Hepper, S.; Rindtorff, K.; Schäck, Th.(2001): Pervasive Computing, München 2001
- Burmeister, K.; Neef, A. (2002): Vom Internet zum Evernet, verfügbar unter:
http://www.changex.de/pdf/d_a00692.pdf, Stand: 15.12.2002
- BUWAL (1990): Biologische Auswirkungen nichtionisierender Strahlung auf den Menschen und seine Umwelt. Bern.
- BUWAL (1998): Begrenzung der Immissionen von nichtionisierender Strahlung, Frequenzbereich (0 - 300 GHz): Bern.
- BUWAL (1999): Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV): Dezember 1999.
- BUWAL (1999): Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV): Erläuternder Bericht vom 23. Dezember 1999.
- BUWAL (2000): Wegleitung zur Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG).

- BUWAL (2001): Vor uns die Sintflut? verfügbar unter
<http://www.buwal-herakles.admin.ch/umweltbericht/de/d-007-017-Klima.pdf>,
<http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/fachgebiet/d/213.CO2.pdf>;
 Stand 12.10.2002
- BUWAL (2002a): Abfallwegweiser Aluverpackungen. Verfügbar unter www.buwal.ch; 04.10.2002
- BUWAL (2002b): Abfallwegweiser Glasverpackungen. Verfügbar unter www.buwal.ch; 4.10.2002
- BUWAL (2002c): Abfallwegweiser Textilien und Schuhe. Verfügbar unter www.buwal.ch; 4.10.02
- BUWAL (2002d): Abfallwegweiser Weissblech. Verfügbar unter www.buwal.ch; 04.10.2002
- BUWAL (2002e): Abfallwegweiser PET-Getränkeflaschen. Verfügbar unter www.buwal.ch; 4.10.02
- Cas, Johann (2000): Ubiquitous Computing – Neues Projekt zu technologiepolitischen Herausforderungen für Europa, in ITA-News/September 2000
- Cavender-Bares, J.; Jäger, J.; Ell, R. (2001): Developing a Precautionary Approach: Global Environmental Risk Management in Germany in Learning to Manage Global Environmental Risks Vol.1, A comparative history of social responses to climate change, ozone depletion, and acid rain pp 61 – 91
- Clarke, T. (2002): Here come the Ratbots, Nature 2.5.2002, Verfügbar unter:
<http://www.nature.com/nsu/020429/020429-9.html>, Stand: 15.12.2002
- CPSR Computer Professionals for Social Responsibility (2002): Ethics Links.
<http://www.cpsr.org/program/ethics/ethlink.htm>
- Cremer, C.; Eichhammer, W.; Friedewald, M.; Georgieff, P.; Rieth-Hoerst, S.; Schlomann, B.; Zoche, P.; Aebscher, B.; Huser, A. (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.
- CSTEE – Wissenschaftlicher Ausschuss für Toxizität, Ökotoxizität und Umwelt, Europäische Kommission, Generaldirektion Gesundheit und Verbraucherschutz (2001): Gutachten über die möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder, Radiofrequenzfelder und Mikrowellenstrahlung auf die menschliche Gesundheit. Brüssel, Oktober 2001.
- Der Schweizerische Bundesrat (2000): Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV) vom 9. Juni 1986 (Stand am 28. Dezember 2001)
- Deutsches Flachdisplay-Forum: Strategie zum Ausbau der Deutschen Position auf dem Flachdisplay-Weltmarkt, Frankfurt M. o.J.
- Die Schweizerische Post (2002): Eigendarstellung im Internet. verfügbar unter www.post.ch; 15.10.2002
- Diekmann, A. (1995): Umweltbewusstsein oder Anreizstrukturen? Chur / Zürich, Rüegger.
- Digital Europe (2002): verfügbar unter: <http://www.digital-eu.org/>
- Dijkstra, Edsger (1982): Selected Writings on Computing: A Personal Perspective. New York: Springer-Verlag, verfügbar unter: <http://cis519.bus.umich.edu/cgi-bin/cis551-01.board.pl?read=1048>
- DLR/ TÜV Rheinland (1999): IuK-Technologien und Verkehr, Eine prospektive Analyse des Projektträgers Informationstechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), und des Projektträgers Mobilität und Verkehr, TÜV Rheinland, 1999., verfügbar unter:
http://www.iid.de/ITundVerk/IT_und_Verk.html#2.
- EAA (European Environmental Agency) (2001): Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000, EEA Copenhagen, verfügbar unter:
http://reports.eea.eu.int/environmental_issue_report_2001_22/en) Stand: 5.11.2002
- Eehorn, G.-J.; Stevles, A. (2000): Environmental benchmarking of Computer Monitors. In Electronics Goes Green 2000+, S. 743-748, VDE-Verlag Berlin, Offenbach
- EFF Electronic Frontier Foundation (2002): Blue Ribbon Campaign. <http://www.eff.org/br/>
- Ehret, Pelka, Reichl (2001): Mikroelektronik gestaltet die Zukunft – Strategie und Leitbild 2001/2002, Fraunhofer Verbund Mikroelektronik, Oktober 2001
- EITO (2002): European Information Technology Observatory. European Economic Interest Grouping; Frankfurt am Main 2002
- Empa (2002): Sustainable Information Technology Unit. verfügbar unter: <http://www.empa.ch/sit>
- Energy Policy* 28 (2000): Special Issue on the Rebound Effect.

- EPIC & Privacy International (2002): Privacy.org, the site for news, information and action.
 verfügbar unter: <http://www.privacy.org>
- EU (2000), Arbeitsunterlagen der Dienststellen der Kommission, Wissenschaft, Gesellschaft und Bürger in Europa SEC (2000), Brüssel 14.11..2000
- EU (2000): Mitteilung der Kommission – die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips, KOM (2000) 1 endgültig. Brüssel, 2.2.2000; http://europa.eu.int/comm/trade/whats_new/dpp_de.htm
- EUROPTA (2000): European Participatory Technology Assessment; Participatory Methods in Technology Assessment and Technology Decision-Making, Publisher: The Danish Board of Technology, Report published on www.tekno.dk/europta October 18, 2000 not final version
- Faraone, A. R.; Yew-Siow Tay, K. H.; Joyner Q. (2000); Balzano : Estimation of the Average Power Density in the Vicinity of Cellular Base-Station Collinear Array Antennas. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 49, No. 3, May 2000.
- Federico, A.; Musmeci, F.; Mancini, D. P. (2001): Material Input per Unit Service (MIPS) of the Italian Mobile Telephone Network, Vortrag auf dem Diskussionsforum "Environmental Impact of Telecommunication and Services", April 2001, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne
- Fichter, Klaus (2001): Umwelteffekte von E-Business und Internet-Ökonomie - Erste Erkenntnisse und umweltpolitische Schlussfolgerungen, Berlin 2001, verfügbar unter: http://www.borderstep.de/Umwelteffekte_von_E-Business_und_Internetoekonomie.pdf, Stand: 15.10.2002
- Floridi, L. (1998): Information Ethics: On the Philosophical Foundation of Computer Ethics.
 verfügbar unter: <http://www.wolfson.ox.ac.uk/~floridi/ie.htm>
- Franz Miller (2001): Vernetzt und Smart: vom Kühlschrank bis zur Badewanne, in Fraunhofer Magazin 2.2001
- Fraunhofer ISE (2002): Brennstoffzellen im Kleinleistungsbereich verfügbar unter: <http://www.elektroniknet.de/topics/stromversorgung/fachthemen/artikel/02005a.htm>
- Frick et al. (2002): Risk perception, somatization, and self report of complaints related to electromagnetic fields – a randomized survey study in International Journal of Hygiene and Environmental Health 205, 353 – 360 (2002)
- Frischknecht, R. (2000) (ESU Services): Ökobilanz Mobilfunksystem UMTS im Hinblick auf ökoeffiziente Systeme, Projekt mit Laufzeit 8/2001-2/2003 in Forschungscooperation Mobilfunk – Jahresbericht 2000
- Futurelife - Das Haus der Zukunft, verfügbar unter: <http://www.futurelife.ch>; Stand: 03.07.2002
- Gellersen, Hans, Werner (2000/01): Ubiquitous Computing, Universität Karlsruhe, Vorlesung im WS 2000/01, verfügbar unter: <http://www.teco.edu/lehre/ubiqws0001/skript/10.pdf>, Stand: 15.7.2002
- GEMPLUS: Product Catalog. Verfügbar unter www.gemplus.com; Stand : 25.10.2002
- Gerlof H. (2001): Ersetzt Telemedizin Routinechecks in der Praxis? Ärzte Zeitung, verfügbar unter: <http://www.aerztezeitung.de/docs/2001/11/08/201a1401.asp> Stand 15.1.03
- GeSI (Global e-Sustainability Initiative) (2002): Constitution. verfügbar unter www.gesi.org; Stand: 13.12.2002
- GeSI (Global e-Sustainability Initiative) (2002): Industry as a partner for sustainable development: Information and Communications Technology. Report facilitated by UNEP, June 2002
- Giarini, OP.; Stahle, W. R. (2000): Die Performance-Gesellschaft – Chancen und Risiken beim Übergang zur Service Economy. Marburg: Metropolis.
- Glasner, Joanna (2002): Critics Weigh In on Copyright Act. In: Wired, Dec. 21, 2002, verfügbar unter <http://wired.com/news/business/0,1367,56963,00.html>
- Grab, H.(2000): Navigation – Markt wächst schneller als erwartet, in Funkschau Nr. 20 (2000)
- Grass, S. (2002): Hochgejubelte Techniken im Tal der Tränen. In: Handelsblatt, 16.06.2002.
- Griese, T.; Müller, J.; Stobbe, L. (2002): Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik: Roadmap „Mobilfunk der 3. Generation“ (Entwurf), vorgestellt am 16.5.2002 in Berlin, verfügbar unter www.roadmap-it.de; Stand 13.12.2002
- Grote A. (2001b): Gesundheits-Check durch körpernahe Sensorik, Heisse online. Verfügbar unter <http://www.heise.de/newsticker/data/jk-08.08.01-003> Stand 15.01.2003

- Grote, A (2001): Neue Batterie ist umweltfreundlicher und leistungsfähiger, Heise online Meldung vom 18.4.2001, verfügbar unter <http://www.heise.de/newsticker/data/jk-18.04.01-004>
- Gutscher, Heinz (2002) Psychologisches Institut der Universität Zürich, Abteilung Sozialpsychologie, persönliche Mitteilung.
- Habermas, Jürgen 2001: Zukunft der menschlichen Natur: auf dem Wege zur liberalen Eugenik, Frankfurt am Main: Suhrkamp
- Hahn, André; Niesing, Anja; Heer, Andy; Hecht, Britta; Jerusalem, Matthias (2000): Stress und Sucht im Internet. Humboldt Universität Berlin, verfügbar unter http://www.internetsucht.de/publikationen/internetsucht_kurzpraesentation.pdf Stand 14.11.2002
- Hahn, R.; Müller, J. (2000): Future Power Supplies for Portable Electronics and Their Environmental Issues. In Electronics Goes Green 2000+, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000, S. 727-734
- Haider, H.; Garn, H.; Neubauer, G.; Schmid, G. : Investigation of Mobile Phone Antennas with regard to Power Efficiency and Radiation Safety. Veröffentlichung des Austrian Research Center Seibersdorf.
- Hartmann, F. A.; Rogger, A. J.; Hilty, L. M. (2003, submitted): A Simulation Model for the Assessment of Telecommunications-Supported Dynamic Vehicle Routing Strategies. Computers & Industrial Engineering.
- Hawlik, Wolfgang: Die unsichtbare Revolution - Pervasive Computing, in: Österreichische Computergesellschaft, 2/2001, S. 23-24, verfügbar unter: www.ocg.at/activities/comp-kommunikativ/pdfs/ck2_01.pdf, Stand: 1.11.2002
- Heiskanen E.; Halme, M.; Jalas, M.; Kärnä, A.; Lovio, R. (2001): Dematerialisation: The Potential of ICT and Services. Ministry of the Environment, Helsinki, 2001
- Henning Wilkins (1999): Verfügbar unter <http://www.sommerakademie.de/1999/pdf/wilkens.pdf>
- Herman, R.; Ardeni, S. A.; Ausubel, J. H. (1990): Dematerialization. Technological Forecasting and Social Change 38, pp. 333-347
- Herring, H. (2002): The Rebound Effect, Sustainable Consumption and Electronic Appliances. Environmental Impact Assessment Review 22-5, special issue: Sustainability in the Information Society
- Hill, D.; M. Ma, A. Ondrejka; B. Riddle; M. Crawford; R. Johnk (1994): Aperture Excitation of Electrically Large, Lossy Cavities. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 36, No. 3, August 1994.
- Hilty, L. M. (1997): Umweltbezogene Informationsverarbeitung – Beiträge der Informatik zu einer nachhaltigen Entwicklung. Habilitationsschrift, Universität Hamburg.
- Hilty, L. M. (2002a): Sustainable Development and the Information Society. In: Brunnstein, K.; Berleur, J. (eds.): Human Choice and Computers – Issues of Choice and Quality of Life in the Information Society, Boston: Kluwer Academic Publishers, pp. 305-315
- Hilty, L. M. (2002b): Sustainability in the Information Society. Environmental Impact Assessment Review 22-5, special issue
- Hilty, L. M. (2002c): The Role of Ethics in the Field of Information and Communication Technologies. Discussion paper prepared for the ICT working group of the Swiss Academy of Technical Sciences (SATW)
- Hilty, L. M.; Gilgen, P. W. (2001): Sustainability in the Information Society. Proceedings of the 15th International Symposium Informatics for Environmental Protection, Zurich, October 10-12, 2001. Marburg: Metropolis
- Hilty, L. M.; Meyer, R.; Ruddy, T. F. (2001): A General Modelling and Simulation System for Sustainability Impact Assessment in the Field of Traffic and Logistics. In: Rautenstrauch, C. (ed.): Environmental Information Systems in Industry and Public Administration. Hershey (PA) Idea Group Publishing, S. 167-185
- Hilty, L. M., Ruddy, T. F. (2000): Towards a Sustainable Information Society. Informatik/Informatique, Nr. 4/2000, S. 2-7
- Hilty, L. M.; Ruddy, T. F. (2002): Resource Productivity in the Information Age. Futura Nr. 2/02, S. 77-85
- Hilty, L. M.; Seifert, E.; Treibert, R. (2003, in press): Information Systems for Sustainable Development. Hershey (PA): Idea Group Publishing

- Hilty, L. M., Zah, R. (2003, in press): Forschung baut Brücken. In: Angrick, M. (Hrsg.): Auf dem Weg zur nachhaltigen Informationsgesellschaft. Marburg: Metropolis.
- Hischier, R.; Hilty, L. (2002): Environmental Impacts of an International Conference, Environmental Impact Assessment Review 22(5): 15, pp. 543-557
- Hoffmann, J. (2002): Ein Agent für jede Gelegenheit. In: Die Zeit vom 11.07.2002
- Hondou, Tsuyoshi (2002): Rising Level of Public Exposure to Mobile Phones: Accumulation through Additivity and Reflectivity. Journal of the Physical Society of Japan Vol. 71, No. 2, Februar 2002, S. 432-435.
- Horvath, J. (2002): Tantal oder die andere Seite der digitalen Revolution. Verfügbar unter www.telepolis.de/deutsch/inhalt/te/12868/1.html; Stand: 09.07.2002
- Huber, R.; T. Graf; K. Cote; L. Wittmann; E. Gallmann; D. Matter; J. Schuderer; N. Kuster; A. Borbély; P. Achermann (2000): Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. Neuroreport 11, S. 3321-3325, 2000.
- Huhn, Christopher (2002) Killerapplikationen des Ubiquitous computing, Technische Universität Darmstadt, o.J., verfügbar unter: http://www.informatik.tu-darmstadt.de/BS/Lehre/Sem00_01/Ausarbeitungen/Christopher-Huhn-Ubicomp.pdf; Stand: 15.7.2002
- Independent Expert Group on Mobile Phones ("Stewart-Report") (2000): Mobile Phones and Health. Oxon, Großbritannien, 2000. Verfügbar unter: <http://www.iegmp.org.uk/report/text.htm>
- Informations-Zentrums Weißblech e.V.: Zum Thema: Weissblech-Recycling. Verfügbar unter http://www.weissblech.de/deutsch/verarbeiter/frame_v_eins.htm; Stand: 13.12.2002
- Innovation-aktuell.de (2001): Gute Aussichten für Spracherkennung verfügbar unter: <http://www.innovation-aktuell.de/news/01-08-09-01.htm>
- International Symposium Wearable Computer (2001), ETH Zürich, 8./9.2001, verfügbar unter: <http://www.iswc.ethz.ch>, Stand: 15.7.2002
- Isenmann, R. (2001): Basic Ethical Framework: Guidance for Environmental Informatics towards a Sustainable Information Society. In: Hilty, L. M.; Gilgen, P. W. (eds.): Sustainability in the Information Society, 15th International Symposium Informatics for Environmental Protection, Zurich 2001. Marburg: Metropolis, 2002, pp. 127-134
- IZT (2001): Entwicklung und zukünftige Bedeutung mobiler Multimediadienste, (IZT,SFZ,IAT), in IZT-Werkstattbericht 49, Berlin, 2001, verfügbar unter: <http://www.itz.de>, Stand: 12.12.2002
- Jahnen, A. (2002): Gesundheit aus dem Internet. Chancen und Risiken der Online-Gesundheitsförderung.. VDOe-Position 4/2001; M. Horx. Die Aera der Meta-Gesundheit, 2000X, April 2002; C. Mühlhausen. Körperkontrolle 2000X, April 2002
- Jain, R.; Wullert, J. (2002): Challenges: Environmental Design for Pervasive Computing Systems. Presentation for MOBICOM '02, 23-28. September 2002, Atlanta (Georgia)
- Jonas, Hans (1979): Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation, Frankfurt: Suhrkamp
- Joss, S.(2002): Anregung von Herrn Dr. Stefan Joss vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, persönliche Mitteilung.
- Joss, Simon; Bellucci, Sergio (2002): Participatory Technology Assessment, European Perspectives, Centre for the Study of Democracy University Westminster, Swiss Centre for Technology Assessment
- Knausenberger, Scholz (2001): Embedded Controls - Entertainment System, HS Ubiquitous Computing, TU München, 31.05.2001
- Knolmayer, G.; Scheidegger, T. (2001): Bring the Fiber to the Power - Nebeneffekte der New Economy. In "NZZ" vom 20.4.2001
- Köck, Wolfgang; Hansjürgens, Bernd: Das Vorsorgeprinzip- Refine it or replace it? GAIA 11 (2002), no 1, p 42- 43
- Koechlin, Dominik (1989): Das Vorsorgeprinzip im Umweltschutzgesetz, Unter besonderer Berücksichtigung der Emissions- und Immissionsgrenzwerte, Neue Literatur zum Recht, Hebling & Lichtenhahn, Basel und Frankfurt am Main
- Köhler, Andreas (2001): Bewertung indirekter Umweltwirkungen von Dienstleistungen öffentlicher Institutionen. EMPA-Bericht 255
- Koschenz, M. (2002): EMPA; persönliche Mitteilung 26.7.2002

- Kramer, A.; Fröhlich, J.; Kuster, N. (2002): Towards Danger of Mobile Phones in Planes, Trains, Cars and Elevators. Response Letter submitted to Journal of the Physical Society of Japan,
- Kuhlen, R.; Werner, S.; Griesbaum, J. (2002): Nethics e.V. - Informationsethik im Internet
http://www.akademie-rs.de/wirtschaftsethik/heft1_02/01.htm
- Kuhn, Heinrich (2002): mündliche Mitteilung vom 30.09.2002
- Kull, Thomas M. (2002): Das Gesetz über die Produktheftpflicht
- Kündig, Albert (2002): A Basis for IT Assessment, Zentrum für Technologiefolgenabschätzung beim Schweizerischen Wissenschaftsrat, Bern 2002
- Kuster, N.; Q. Balzano (1992): Energy Absorption Mechanism by Biological Bodies in the Near Field of Dipole Antennas Above 300 MHz. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 41, No. 1, February 1992.
- Lamedschwandner, Kurt; Schmid, Gernot; Buchmüller, Rene (2001): Expositionenbeurteilung bei der Benutzung von Mobiltelefonen. Test Kompendium 2001, S. 171.
- Lane, Charles (2002): Justices Hear Challenge to Copyright Law from Lawrence Lessig, Washington Post, October 10, <http://www.washingtonpost.com/ac2/wp-dyn?pagename=article&node=&contentId=A3508-2002Oct9¬Found=true>
- Langrock, Th.; Ott, H. E.; Takeuchi, T. (2001): International Climate Policy & the IT-Sector. Wuppertal Spezial 19; Wuppertal Institute & IGES, Wuppertal 2001
- Lee, J. A. N. (1995): Codes of Conduct/Practice/Ethics from Around the World.
<http://courses.cs.vt.edu/~cs3604/lib/WorldCodes/WorldCodes.html>
- Lessig, Lawrence (2001): The Future of Ideas: The Life and Death of Creativity in the Age of the Internet, Random House
- Lexmark (2002): Europäisches Fotoverhalten im Ländervergleich, Nationale fotografische Gewohnheiten. verfügbar unter http://www.print-fotos.com/de/photo_1.htm Stand 9.1.2003
- Linder S. B. (1970): The Harried Leisure Class. Columbia University Press, New York.
- Little, A.D. (2001): Energy Consumption by Commercial Office and Telecommunications Equipment. Arthur D. Little, Inc. i.A. von United States Department of Energy, 2001
- Macdonald, St. (2002): The IT productivity paradox revisited: technological determinism masked by management method? International Journal of Information Technology and Management Vol. 1 No. 1, pp. 1-29
- Malmodin, J.; Oliv, L.; Bergmark, P. (2002): Life Cycle Assessment of Third Generation (3G) Wireless Telecommunication Systems at Ericsson. Stockholm, verfügbar unter http://www.ericsson.com/sustainability/3g_and_the_env.shtml; Stand: 13.12.2002
- Mattern, F. (2002): Der Trend zur Vernetzung aller Dinge – Pervasive computing und die Zukunft des Internets, ETH Zürich, 2002, verfügbar unter:
<http://www.inf.ethz.ch/vs/publ/papers/VernetzungAllerDinge.pdf>, Stand: 12.12.2002
- Mattern, F. (2002): Vom Handy zum allgegenwärtigen Computer - Ubiquitous Computing: Szenarien einer informatisierten Welt, Analysen der Friedrich-Ebert-Stiftung zur Informationsgesellschaft, 2002
- Mattern, F. (2003): Vom Verschwinden des Computers – Die Vision des Ubiquitous Computing, in Mattern, F (Hrsg.): Total Vernetzt, Springer 2003, pp 1-41
- Mediendienst Forschung Nr. 624; 20.03.2002 Sensoren als stete Begleiter, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Verfügbar unter http://www.uni-erlangen.de/docs/FAUWWW/Aktuelles/2002/Forschung_2002/PersHealth624.html Stand 15.1.03
- Mehl, Florian (2001): Komplexe Bewertung - Zur ethischen Grundlegung der Technikbewertungen – Technikphilosophie Bd. 4
- Meier, Alan (1999): Standby Power – a quit use of energy, Cadet Newsletter Nr.4
- Meng, W.J. (2001); Surface Engineering 2001 Fundamentals and Applications; Verfügbar unter <http://www.mrs.org/publications/epubs/proceedings/fall2001/p> Stand 23.10.2002
- Menti, U.-P. (1999): „Standby-Verbrauch“ von Dienstleistungsgebäuden Verbrauchsmessungen an 32 Objekten. Zürich, Amstein+Walther AG
- Meyer-Abich, K.-M. (2001): Nachhaltigkeit - ein kulturelles, bisher aber chancenloses Wirtschaftsziel. Zeitschrift für Wirtschafts- und Unternehmensethik, Zfwu, 2/3, 2001), pp. 291-310

- Michael, R. T., Becker, G. S. (1973): On the New Theory of Consumer Behavior. *The Swedish Journal of Economics* 75: 378-395.
- MINERGIE (2002): MINERGIE-P. verfügbar unter
<http://www.minergie.ch/index.php?standards-5>
 Stand: 8.11.2002
- MINERGIE (2002): Reglement zur Nutzung der Qualitätsmarke MINERGIE.
- Minsch, J. et al.(1998): Institutionelle Reformen für eine Politik der Nachhaltigkeit. Berlin:
 Springer
- MIT Media Lab (2003): Things That Think. <http://ttt.media.mit.edu/>, Stand 29.3.2003
- Mitcham, C., (1986): Information Technology and the Problem of Incontinence, in
 Huning/Mitcham Hg.: *Philosophy and Technology*, Vol. 2, Dordrecht
- Moore, G. E. (1965): Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics* 38.
- Mühlethaler, F. (2002): Das vernetzte Fahrzeug - Verkehrstelematik für Straße und Schiene.
 Bern, ASIT: 98.
- Müller-Herold, U. (2002): Quantitative Vorsorgebewertung neuer Chemikalien im Hinblick auf
 globale Gefährdungsszenarios, *GAIA* 11(2002) no 1 pp 46 - 47
- Müller-Herold, Ulrich, (2002): Hat das Vorsorgeprinzip eine umweltpolitische Zukunft?
 Vorsorgeprinzip und Umweltpolitik, Einleitung *GAIA* 11 (2002) no. 1 (p 41)
- Nemery B. et al. (1999): Dioxins, Coca-Cola, and mass sociogenic illness in Belgium, *The Lancet* Vol. 354 (1999), p 77
- Nethics e.V. (2002): <http://www.nethics.net>
- Neubauer, G.; Haider, H.; Schmid, G.; Lamedschwandner, K., Exposure Assessment next to
 Mobile Phones.Veröffentlichung des Austrian Research Center Seibersdorf.
- Nikolai, R., K. Butth, et al. (2002): The Contribution of Audio Conferences to the Dematerialization
 of Meetings in the Age of the Web. *EnvirolInfo Vienna* 2002, Vienna.
- Nissen, N. F. (2001): Entwicklung eines ökologischen Bewertungsmodells zur Beurteilung
 elektronischer Systeme. Promotionsschrift, TU Berlin, 15.2.2001
- Norton, B. (1992): Sustainability, Human Welfare and Ecosystem Health. *Environmental Values* 1: 97 –112
- Nova-Institut für Ökologie und Innovation (2001): Gutachten zur EMVU-Belastung durch das W-LAN. Gutachten für die Universität Bremen, 2001.
- Orwat, C. (2002): Innovationsbedingungen des E-Commerce - der elektronische Handel mit
 digitalen Produkten, TAB Hintergrundpapier Nr. 8, Berlin März 2002, S. 53
- Pande Vijay S. (2002): Stanford University, <http://folding.stanford.edu> Stand 02.11.2002
- Philen R.M.,et al. (1989): Mass sociogenic illness by proxy: parentally reported epidemic in an
 elementary school. *Lancet* 1989, ii: 1372 – 76 ???
- Plätzer, E. T. (1998): Papier versus Neue Medien: Eine Analyse der Umweltverträglichkeit von
 Presseinformationen im Licht des technologischen Wandels. Fachbereich Rechts- und
 Wirtschaftswissenschaften. Darmstadt, Universität Darmstadt: 218.
- Popp, Fritz-Albert; Chang, Jiin-Ju (1999): Photon Sucking and the Basis of Biological
 Organization International Institute of Biophysics, verfügbar unter
<http://www.datadiwan.de/iib/ib0201e4.htm> ; <http://www.bion.si/research/Biophotons.htm>;
 Stand 23.10.2002
- Pöppe, C. (2002): Die Simulation der ganzen Welt. Spektrum der Wissenschaft. September 2002
- Radermacher, F. J. (2002): Balance oder Zerstörung. Ökosoziales Forum Europa,
 ISBN 3-7040-1950-X
- Rangosch, S. (1997): Videokonferenzen als Ersatz oder Ergänzung von Geschäftsreisen.
 Wirtschaftsgeografie und Raumplanung. Zürich, Universität Zürich: 223.
- Rangosch, S. (2000): Neue Kommunikationsmedien: Einsatz in Unternehmen und Auswirkungen
 auf den Verkehr. Bern, Nationales Forschungsprogramm NFP41: 100.
- Rausch, H. , (1985): Kommentar zum Umweltschutzgesetz, Schulthess Polygraphischer Verlag
- Rawls, J. (1971): A Theory of Justice. The Belknap Press of Harvard University Press
- Redmann, U. E. (2001): Telemedizin - Szenarien, Anwendungen, Erfolgsfaktoren. Mobile
 Business. M. Kahmann.

- Rehbinder, Eckard (1991): Das Vorsorgeprinzip im internationalen Vergleich, Umweltrechtliche Studien Band 12, Technik, Umwelt, Energie, Recht, Herausgeber: Battis Ulich, Rehbinder Eckard, Winter Gerd
- Reich, Andreas (1989): Gefahr-Risiko-Restrisko; das Vorsorgeprinzip am Beispiel des Immissionsschutzrechts; Umweltrechtliche Studien 5; Werner Verlag
- Reichart, I. und R. Hischier (2001): Vergleich der Umweltbelastungen bei Benutzung elektronischer und gedruckter Medien. St.Gallen, EMPA.
- Reichl, H. (2000): Visions for Mobile Electronics. In Electronics Goes Green 2000+, Band 2, S. 91ff, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000
- Reichl, H. (2001): Technologische Innovation für eine nachhaltige Informations- und Kommunikationstechnik. Vortrag auf dem Expertenforum „Erfolgsweg für eine nachhaltige ICT“, München, 07.11.2001
- Renn, Ortwin und Klinke, Andreas (2001): Risikopotentiale elektromagnetischer Felder: Bewertungsgrundsätze und Vorsorgeoptionen, Band 2, Anhang des Endbericht für das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Baustein 1: Bestandesaufnahme existierender Vorsorgekonzepte, Akademie für Technikfolgenabschätzung, Stuttgart, www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/mobilf
- Renn, Ortwin, 2002: Vorsorge als Prinzip: Besser in der Vorsicht irren als im Wagemut, GAIA 11(2002), no.1
- Rio (1992): Rio Declaration on Environment and Development, Principle 15, 1992
- Rogger A. J. ; Hartmann, F. A.; Zah, R.; Ruddy, T. F.; Hilty, L. M. (2001): Optimization Strategies for Transportation Systems Using Mobile Telecommunications, in Hilty, L. M. ; Gilgen, P. W. (Eds.): Sustainability in the Information Society, Metropolis 2001, pp 623 - 630
- Ropohl, Günter (1996): Ethik und Technikbewertung, Suhrkamp taschenbuch wissenschaft
- Roth, K. W., F. Goldstein, et al. (2002): Energy Consumption by Office and telecommunications Equipment in Commercial Buildings, Volume I: Energy Consumption Baseline. Cambridge, MA, USA,, Arthur D. Little, Inc.,
- Roth, W.-D. (2002): Vom Zeppelin zum Satellit. Test für die GPS-Ablösung. www.heise.de/tp; Stand: 13.12.2002
- Salford et al. (2003). <http://dx.doi.org/>, online 29 January 2003, doi:10.1289/ehp.6039)
- Sandin, Per (1999): Dimensions of the Precautionary Principle, Human and Ecological Risk Assessment: Vol. 5, No. 5, pp. 889-907
- Sandin, Per, Hansson, Sven Ove (2002): The Default Value Approach to the Precautionary Principle, Human and Ecological Risk Assessment Vol. 8 No 3, pp 463-471
- Schaefer, C.; Weber, Ch. (2000): Mobilfunk und Energiebedarf. In „Energiewirtschaftliche Tagesfragen“, Heft 4/2000, S. 237-241, energie-und-technik-verlag Essen 2000
- Schauer, Thomas (2002): Internet für alle – Chance oder Zumutung?, Universitätsverlag Ulm GmbH, Ulm, 2002
- Scherer, Klaus (2003): mündliche Mitteilung 14. April 03
- Schibalski, F. (2002): Mythos Unverwundbarkeit. Spektrum der Wissenschaft Mai 2002: 1.
- Schiller, Jochen (2000): Mobilkommunikation - Techniken für das allgegenwärtige Internet. München 2000.
- Schneider, Jörg, Schlatter, Hans-Peter (1996): Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen, Grundwissen für Ingenieure, vdf
- Schoch, Thomas M. (2001) (ETH Zürich) zur Konferenz "Pervasive computing" in Gaithersburg, 1./2. 5. 2001, verfügbar unter: <http://www.inf.ethz.ch/~schoch/report-pc2001.pdf>, Stand: 1.11.2002
- Schöne, Bernd (2002): Sie können das Auto nun hochfahren, Süddeutsche Zeitung vom 12.3.2002
- Seiler, Hansjörg (Hrsg) et al., 1994: Was ist ein Schaden? Zur normativen Dimension des Schadensbegriffs in der Risikowissenschaft, Polyprojekt Risiko und Sicherheit, ETH, vdf
- SETI@home (2002): verfügbar unter <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/> Stand 18.10.2002
- Shea, Tim; Krebs, David (2001): Venture Development Corp., August 2001

- SIA Semiconductor Industry Association (2002): International Technology Roadmap for Semiconductors 2001 EDITION; verfügbar unter:
<http://www.itrs.net/itrs/files/2002update/2001itrs/home.htm> Stand 14.1.2003
- Siemens Forschung und Entwicklung (1997): Künstliche Intelligenz, 1997, verfügbar unter:
http://w4.siemens.de/Ful/de/archiv/zeitschrift/heft1_97/artikel09
- Siemens Webzine - Pictures of the Future, verfügbar unter:
<http://www.w4.siemens.de/Ful/en/archiv/pof/>, Stand 15.12.2002
- Socolof, M. L.; Overly, J. G. ; Kincaid, L. F.; Geibig, J. R. (2001): Desktop Computer Displays: A Life Cycle Assessment. Hrsg.: EPA/USA, 2001, verfügbar unter
<http://www.epa.gov/opptintr/dfe/pubs/comp-dic/lca/index.htm>, Stand 13.12.2002
- Spektrum der Wissenschaft (2001): Chirurgen aus Stahl, Dezember 2001
- Spinello R.A., Tavani H.T. (Eds.): Readings in Cybernethics, pp 1-8: Introduction to Chapter One: The Internet, Ethical Values, and Conceptual Frameworks. Jones and Bartlett Publishers, Sudbury, Mass., 2001
- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (1999): Umwelt und Gesundheit. Risiken richtig einschätzen. Sondergutachten, August 1999.
- Stefan, Hey (2002): Gesundheits-Signale per Funk ins Netz. Verfügbar unter http://www.uni-karlsruhe.de/%7Epresse/Veroeffentlichungen/Unikath/Unikath02/1_02/31.pdf Stand 15.1.03
- Steinicke, Wolfgang H., Meißner, Thomas (2000): Intermodale Verkehrstelematik Beitrag zur Sicherung von Mobilität in der Zukunft, Basispapier zum 10. Forschungspolitischen Dialog am 20. Oktober 2000.,
- Strahlenschutzkommission (Deutschland) (2001): Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Bonn 2001.
- Struch, M., C. Angst, et al. (2001): Möglichkeiten und Grenzen des globalen Positionierungssystems. Bern.
- Stutz, M. T.; Tobler H.J. (2000): Simplified LCA für Elektronikbauteile. Männedorf (CH)
- Sullivan, O. and Gershuny, J. (2001): Cross-national Changes in Time-use: some Sociological (Hi)stories Re-examined. *British Journal of Sociology* 52: 331-347.
- Suter, D. (2001): Flachbildschirme – Luxus oder Notwendigkeit. Orbit 2001; verfügbar unter http://www.captiva.ch/media/fachbeitraege_pdf/fb_Neutral_Flachb.pdf, Stand 13.12.2002
- Tages-Anzeiger (TA) (2003): Zu Risiken und Nebenwirkungen in der Atomenergie, 17.1.03, S.8
- Thaler, Thomas (2002): freie drahtlose bürgernetze. verfügbar unter
http://matrix.orf.at/bkissue/021110_1.htm Stand 23.1.2003
- Thielemann, Ulrich (1989): Risiko oder Gefahr? Bedingungen des "Risikodialogs" zwischen Unternehmung und Öffentlichkeit, Systemischer, moralischer oder nüchterner Blick auf die Unternehmung? Nr. 32, IWE Institut für Wirtschaftsethik an der Hochschule St. Gallen
- Timmers, G.; Jansen, A. J. (2000): Human powered energy systems, In Electronics Goes Green 2000+, S. 91ff, VDE-Verlag Berlin, Offenbach 2000
- Tsakiridou, E. (2001): Unsichtbare Helfer in der Welt der vernetzten Computer, in: Siemens: Pictures of the Futures, Oktober 2001, München, S. 53-57
- Türk, V., Ritthoff, M., Geibler, J. von & Kuhndt, M. (2002): Internet: virtuell = umweltfreundlich? [Internet: virtual = environmentally sound?] In: Altner, G., Mettler-von Meibom, B., Simonis, U. & Weizsäcker, E.U. von (Herausgeber), Jahrbuch Ökologie 2003. Beck, München, S.110-123.
- U.S. Department of the Interior (2000): Mineral Commodities – Summaries 2000. US. Geological Survey, verfügbar unter www.minerals.usgs.gov; 16.10.2001
- Uhrig, St.: Future Trends - Visionen des Mobile Computing im 21. Jahrhundert, Technische Universität Darmstadt, o.J., verfügbar unter: http://www.informatik.tu-darmstadt.de/BS/Lehre/Sem99_00/Texte/T12.pdf, Stand: 12.12.2002
- Umweltbericht '76, (1976): Fortschreibung des Umweltprogramms der Bundesregierung von 1971, Stuttgart, Bundestag- Drucksache 7/3684, Rdnr. 4.
- Umweltbundesamt: Batterien und Akkus. Internetinformationen vom 20.07.2001 verfügbar unter www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/batterien.htm; Stand 04.10.2001

- USG (1983): Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG) , vom 7. Oktober 1983 (Stand am 21. Dezember 1999)
- Van den Daele, W. (1991): Risiko-Kommunikation: Gentechnologie. In: H. Jungermann, B. Rohrmann & P.M. Wiedemann (Hrsg.) Risikokontroversen: Konzepte, Konflikte, Kommunikation (p 11-61); Berlin Springer; zitiert in (Wiedemann / Büggemann 2001)
- Van den Daele, Wolfgang (2001): zur Reichweite des Vorsorgeprinzips – rechtliche und politische Perspektiven, pp 101 – 125 in Lege Joachim (Hrsg.): Gentechnik im nicht-menschlichen Bereich – was kann und was sollte das Recht regeln? BERLIN VERLAG Arno Spitz GmbH Verband öffentlicher Verkehr: VöV in Zahlen 2001. verfügbar unter <http://www.voev.ch/>; Stand: 13.12.2002
- VREG (1998): Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte.
- WBGU (1998): Welt im Wandel, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung (WBGU), Globale Umweltveränderungen, Jahresgutachten 1998, Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken
- WCED World Commission on Environment and Development (1987): Our Common Future. Oxford
- Weiland, U.; Hilty, L. M. (1998): Sustainable Urban Management: Opportunities and Risks of Information Technology. In: Hamm, B.; Muttagi, P. K. (eds.): Sustainable Development and the Future of Cities. Centre for Europea Studies, New Delhi, Calcutta: Oxford & IBH Publishing Co., S. 197-202
- Weiler, M., Ed. (1998): Computerunterstützung im allgemeinen Sozialdienst. Stuttgart, Verein für öffentliche und private Fürsorge.
- Weiss, M.; W. Schröder (2001): arbeit 21 – online mobil. Darmstadt, 2001
- Weiss, R. (2002): Der Schweizer PC-Markt - Weissbuch 2002, verfügbar unter <http://www.robertweiss.ch/wb2002.html>, Stand: 13.12.2002
- Weizenbaum, J. (2001): Das Internet. In: Vom Handeln im Netz. Form+Zweck 19, S. 10-21
- Weizsäcker von, E. U.; Lovins, A. B.; Lovins, L. H. (1995): Factor Four. Doubling Wealth, Halving Resource Use. London: Earthscan
- WHO (World Health Organization) (2000), Fact Sheet N° 193: Electromagnetic Fields and Public Health. Juni 2000.
- Wiedemann P. M.; Büggemann A. (2001): Vorsorge aus der Perspektive der Sozialwissenschaft: Probleme, Sachstand und Lösungsansätze, Heft 82
- Wiedemann, Peter M. et al. (2001): Risikopotentiale elektromagnetischer Felder (Bewertungsgrundsätze und Vorsorgeoptionen), Band 1, Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik, 52425 Jülich,
- Wiener Jonathan B. (2002): Precaution in a Multirisk World, in Risk Assessment, in Human and Ecological Risk Assessment, pp 1509 – 1531, edited by Paustenbach, Dennis, J. , 2002, Wiley Interscience
- Williams, Eric D. et al. (2002): The 1.7 Kilogram Microchip, Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices, *Environmental Science & Technology* S5504 - 5510
- Williamson G.H., Hulpke H. (2000): Das Vorsorgeprinzip, Internationaler Vergleich, Möglichkeiten und Grenzen, Lösungsvorschläge, UWSF –Z. Umweltchem. Oekotox. 12 (1) 27-39 (2000)
- Wippermann. P. (2000): (Universität Essen) während eines Symposiums zur EXPO 2000, zitiert nach Siemens Welt 26.06.2001
- wire.less.dk (2003): verfügbar unter <http://wire.less.dk> Stand 23.1.2003
- Wuppertal Institut (2002): Persönliche Mitteilung von Michael Kuhndt, Arbeitsgruppe Ökoeffizienz & Zukunftsfähige Unternehmen, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. 30.1.03
- Zoche, P., S. Kimpeler, et al. (2002): Virtuelle Mobilität: Ein Phänomen mit physischen Konsequenzen? Zur Wirkung der Nutzung von Chat, Online-Banking und Online-Reiseangeboten auf das physische Mobilitätsverhalten. Berlin, Springer.

- ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie) (2000): Ökobilanzierung in der Elektronikindustrie – Methodenpapier und Anregungen für Vereinfachungsstrategien“, Frankfurt am Main, 13.4.2000
- Zwick, M.M.; Ruddat, M (2002): Wie akzeptabel ist der Mobilfunk? Eine Präsentation der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart
- Zwick, M.M.; Ruddat, M. (2002): Euphorie und nagende Ungewissheit, GAIA 11 no. 2 pp 151-152

Detailliertes Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Resumé	9
Summary	15
1 Einleitung	21
1.1 Ausgangslage: Pervasive Computing als Technologievision	22
1.2 Zielsetzung und Methode dieser Studie	25
1.3 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes	26
1.3.1 Abgrenzung der Technologie	26
1.3.2 Abgrenzung der Anwendungsfelder	26
1.3.3 Abgrenzung der Wirkungsfelder	26
1.3.4 Ethisch-politische Implikationen	27
1.3.5 Danksagung	27
1.4 Aufbau dieser TA-Studie	28
2 Vorsorgeprinzip, Nachhaltigkeit und ethische Aspekte der Informationsgesellschaft	29
2.1 Vorsorgeprinzip	29
2.1.1 Geschichte des Vorsorgeprinzips	30
2.1.2 Zweck des Vorsorgeprinzips	30
2.1.3 Reichweite und Ausprägungen des Vorsorgeprinzips	31
2.1.4 Internationale Trends	33
2.2 Vorsorgeprinzip und Informationsgesellschaft	34
Beispiele	34
Beispiel 1: Stand-By-Stromverbrauch von Unterhaltungselektronik	34
Beispiel 2: NIS-Exposition bei zunehmender Anzahl drahtloser vernetzter Geräte	34
Beispiel 3: Jeder fühlt sich überwacht	35
Schlussfolgerungen aus den Beispielen	35
2.3 Nachhaltige Entwicklung	37
Zum Zusammenhang von Vorsorge- und Nachhaltigkeitsprinzip	39
2.4 Nachhaltigkeit und Informationsgesellschaft	40
2.5 Weitere ethische Aspekte der Informationsgesellschaft	41
2.6 Fazit: Ein normativer Rahmen für diese TA-Studie	45
3 Technologische Entwicklungen	47
3.1 Mikroelektronik: leistungsfähiger, kleiner und billiger	47
3.2 Vernetzung von Geräten und Gegenständen	49
WANs	51
GSM	51
UMTS	52
Entwicklungsperspektiven im WAN-Bereich	52
W-LANs	53
Entwicklungsperspektiven im W-LAN-Bereich	54
Exkurs: Free Networks	54

W-PANs	55
Exkurs: Bluetooth.....	56
Entwicklungsperspektiven im W-PAN-Bereich	57
BANs	57
Entwicklungsperspektiven im BAN-Bereich.....	57
3.3 Benutzerschnittstellen.....	58
Verarbeitung gesprochener Sprache	59
Biometrische Systeme	59
Kopplung von Mensch und Maschine.....	60
3.4 Identifikation, Lokalisierung und Kontextsensitivität	61
Identifikation.....	61
Lokalisierung.....	62
Kontextsensitivität	62
3.5 Software-Agenten	63
3.6 Konzepte der Energieversorgung	65
Permanente Stromversorgung über das Stromnetz.....	65
Stromversorgung über externe Netzteile.....	65
Stromversorgung mit Batterien	65
Stromversorgung mit Batterien, die innerhalb der vorgesehenen Lebensdauer des Geräts nicht ersetzt werden.....	66
Stromversorgung aus regenerativen Energien.....	66
Energieversorgung durch äußere Energiequellen.....	66
Stromversorgung aus Niedrigtemperaturbrennstoffzellen	66
Fazit.....	67
3.7 Fazit: Was ist neu am Pervasive Computing?.....	67
4 Entwicklungen in ausgewählten Anwendungs- und Technologiefeldern	69
Wohnen.....	70
Verkehr.....	70
Arbeit	70
Gesundheit	70
Wearables	71
Digitale Informations- und Unterhaltungsmedien.....	71
Smart Labels.....	71
4.1 Wohnen.....	72
4.1.1 Einsatzbereiche.....	72
Die Experimentalhäuser als Illustrationsbeispiele.....	72
4.1.2 Marktentwicklung.....	75
4.1.3 Aussichten.....	76
4.2 Verkehr.....	77
4.2.1 Einsatzbereiche.....	77
Exkurs: Das Auto als Testplattform für Pervasive Computing.....	79
Der virtuelle Sicherheitsgurtel	79
Interne Vernetzung.....	79
Externe Vernetzung	79
Navigationssysteme	80
Fazit 80	80
4.2.2 Marktentwicklung.....	80
4.2.3 Aussichten.....	81
Öffentlicher und intermodaler Verkehr	82
Exkurs: Das Auto als Indikator für Nebenfolgen und die Akzeptanz von Pervasive Computing	83
Aufmerksamkeit und Sicherheit.....	83

Technische Unzulänglichkeiten und Akzeptanzfragen.....	83
Fazit	84
4.3 Arbeit	85
4.3.1 Einsatzbereiche.....	85
Das "intelligente Büro"	85
Computergestützte Gruppenarbeit.....	87
Mobile Computing.....	88
4.3.2 Marktentwicklung.....	89
4.3.3 Aussichten.....	89
4.4 Gesundheit	91
4.4.1 Einsatzbereiche.....	91
4.4.2 Marktentwicklung.....	92
Exkurs: Anwendungen ohne therapeutische Notwendigkeit.....	94
4.4.3 Aussichten.....	95
4.5 Wearables	96
4.5.1 Einsatzbereiche.....	97
Existierende Produkte als Illustrationsbeispiele	97
Die Vision der digitalen Aura.....	98
4.5.2 Marktentwicklung.....	99
4.5.3 Aussichten.....	100
NIS-Exposition	101
Datenschutz.....	101
Technische Unzulänglichkeiten und Akzeptanzfragen.....	102
4.6 Digitale Informations- und Unterhaltungsmedien.....	103
4.6.1 Einsatzbereiche.....	103
4.6.2 Marktentwicklung.....	105
Beispiel: Die Elektronische Zeitung von IBM.....	106
4.6.3 Aussichten.....	106
4.7 Smart Labels und andere automatische Identifikationssysteme.....	108
4.7.1 Einsatzbereiche.....	108
4.7.2 Marktentwicklung.....	110
4.7.3 Aussichten.....	112
4.8 Zwischenbilanz: Der Trend zum Pervasive Computing.....	114
4.9 Drei Szenarien des Pervasive Computing	116
Szenario 1: Zurückhaltendes Szenario.....	116
Eckpunkte zum zurückhaltenden Szenario.....	117
Szenario 2: Mittleres Szenario	118
Eckpunkte zum mittleren Szenario	119
Szenario 3: Hightech-Szenario.....	120
Eckpunkte zum Hightech-Szenario.....	121
5 Effizienzsteigerungen und Rebound-Effekte.....	123
5.1 Information, Kommunikation und Effizienz	123
5.2 Effizienz und Produktivität.....	124
5.3 Effizienz vs. Suffizienz.....	125
5.4 Der Rebound-Effekt.....	126
Rebound-Effekte in Bezug auf beabsichtigte Zeiteinsparungen	127
5.5 Zum Begriff des Nutzens	128
5.6 Das Konzept der Haushaltsproduktionsfunktion	129
5.7 Beobachtungen zum Rebound-Effekt	130
5.8 Daten zum ökonomischen Verhalten der Privathaushalte.....	132
5.8.1 Konsumausgaben.....	132
5.8.2 Zeitbudgetstudien	133

5.9	Abschätzung der Rebound-Effekte in den vier Anwendungsfeldern	135
5.9.1	Wohnen.....	135
	Beobachtete Trends	135
	Rebound-Effekte.....	135
5.9.2	Verkehr.....	135
	Beobachtete Trends	135
	Rebound-Effekte.....	136
5.9.3	Arbeit	136
	Beobachtete Trends	136
	Rebound-Effekte.....	137
5.9.4	Gesundheit	137
	Beobachtete Trends	137
	Rebound-Effekte.....	137
5.10	Fazit: Rebound-Effekte in den Bereichen Verkehr und Arbeit.....	138
6	Auswirkungen auf die Gesundheit.....	139
6.1	Chancen des Pervasive Computing für die Gesundheit.....	140
6.1.1	Gesundheitsüberwachung und Präventivdiagnostik.....	140
6.1.2	Nutzen für die Unfallrettung.....	141
6.1.3	Medizinroboter in der Chirurgie.....	141
6.1.4	Intensivpflege und Rehabilitation.....	142
6.2	Gesundheitliche Risiken des direkten Kontakts mit Elektronik-Komponenten	143
6.3	Wirkungen elektromagnetische Felder: Grundlagen.....	145
6.3.1	Physikalische Grundlagen	145
	Statische Felder	145
	Dynamische Felder und Strahlung.....	145
	Einige wichtige physikalische Größen	146
	Das elektromagnetische Spektrum und hochfrequente Strahlung.....	146
	Modulierte Wellen.....	147
6.3.2	Strahlenbelastung durch eine Einzelquelle	148
	Naive Abschätzung	148
	Einfluss der Antennencharakteristik.....	149
	Nahfeldeffekte.....	149
	Einfluss der Raumgeometrie und Innenraumreflexionen	150
6.3.3	Gleichzeitige Strahlenbelastung durch mehrere Quellen	151
6.3.4	Wechselwirkung mit Materie und biologischen Systemen.....	151
	Wechselwirkung mit freien Ladungsträgern und elektrischen Dipolen	151
	Thermische Wirkungen.....	151
	Athermische Wirkungen	151
	Die Wirkung modulierter Wellen	152
	Absorptionsmechanismen und Messgrößen.....	152
6.4	Gesundheitsrisiken durch hochfrequente Strahlung	154
6.4.1	Diskussionsstand und Datenlage	154
	Die "Elektrosmog"-Kontroverse	154
	Thermische Wirkungen.....	154
	Athermische Wirkungen	155
	Datenlage	155
6.4.2	Wirkungen auf den menschlichen Organismus	158
	Wechselwirkung mit Zellen und subzellulären Strukturen.....	158
	Moleküle und Membranen.....	158
	Kalzium	159
	Nervensystem und Gehirn.....	159
	Elektroenzephalogramm (EEG)	159
	Schlaf	160

Kognitive Funktionen	160
Blut-Hirn-Schranke.....	161
Krebsrisiko.....	161
ODC	162
Genexpression	162
DNA-Einzelstrangbrüche.....	162
Melatonin	163
Genotoxizität.....	163
Spontane und initiierte Tumorbildung.....	164
Epidemiologische Studien.....	165
Wirkungen auf das Auge	166
Fortpflanzung und Entwicklung.....	166
Blut und Immunsystem.....	167
Kardiovaskuläres System	167
Elektrosensibilität	168
Zusammenfassende Bewertung der diskutierten Wirkungen.....	169
Wirkungen auf Zellen und subzelluläre Strukturen	169
Nervensystem und Gehirn.....	169
Krebsrisiko.....	170
Wirkungen auf das Auge.....	170
Fortpflanzung und Entwicklung.....	170
Blut und Immunsystem.....	170
Kardiovaskuläres System	170
Elektrosensibilität	170
6.5 Einflussgrößen der Strahlungsbelastung durch Pervasive Computing	171
6.5.1 Zahl der Strahlungsquellen, Durchdringungsgrad.....	171
6.5.2 Strahlungsleistung der Quellen.....	172
Kürzere Funkstrecken.....	172
Wachsende Übertragungsraten	172
Technologische Korridore für die weitere Verringerung der Sendeleistung	172
6.5.3 Lokale versus flächendeckende Netze	173
6.5.4 Ad-hoc-Netze.....	174
6.5.5 Abstand der Strahlungsquellen vom Körper	174
6.5.6 Verwendete Trägerfrequenzen	175
6.5.7 Pulsmodulation und niedrfrequente Strahlungskomponenten	175
6.5.8 Vergleich künftige vs. derzeitige Belastungssituation.....	176
6.6 Schlussfolgerungen.....	178
6.6.1 Schlussfolgerungen zu den Chancen und Risiken des Pervasive Computing im Gesundheitswesen	178
6.6.2 Schlussfolgerungen zu gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder	178
Wachsende Anzahl von Strahlungsquellen im Alltag	178
Sinkende Strahlungsleistung der Einzelquellen.....	179
Unterschiedliche Netzinfrastrukturen.....	179
Abstand der Strahlungsquellen vom Körper	179
Wachsende Relevanz niedriger Frequenzkomponenten	179
Nettoentwicklung der Strahlungsbelastung	180
7 Auswirkungen auf die Umwelt	181
7.1 Primäreffekte.....	182
7.1.1 Screening der primären Umwelteffekte von Pervasive Computing	184
7.1.2 Exkurs: Entlastet die Miniaturisierung von ICT die Umwelt?	186
Entwicklung des Massenstroms von Mobiltelefonen	187
Entwicklung des Massenstroms von Computermonitoren.....	188
Ein Szenario zur Vision der E-Grains.....	190
Übersicht und Fazit: Rebound-Effekte durch Miniaturisierung	190

7.1.3	Entsorgung von ICT-Abfall.....	191
	Verschärfung der bestehenden ICT-Abfallprobleme.....	192
	Auswirkungen auf die Siedlungsabfallströme	195
	Elektronik im Kehrichtsack.....	195
	Elektronik in der Getrenntsammlung von Textilien	196
	Smart Labels in anderen Wertstoffkreisläufen	198
	Fallbeispiel: Smart Labels für Lebensmittelverpackungen.....	200
	Fazit zur Entsorgung von ICT-Abfall	202
7.1.4	Strombedarf von Endgeräten und "intelligenten Gegenständen"	203
	Strombedarf heutiger digitaler Endgeräte.....	203
	Stand-By-Verluste von Haushaltgeräten	205
	Spezialfall digitales Fernsehen	205
	Stromversorgung für Wearables und Portables.....	206
7.1.5	Wachsender Strombedarf durch Vernetzung.....	208
	Vernetzung in privaten Haushalten.....	209
	Übertragung der Ergebnisse von Aebischer/Huser auf die drei Szenarien des Pervasive Computing	210
	Gestaltungspotenziale.....	211
	Fazit.....	211
7.1.6	Das Backbone im Pervasive Computing	211
	Ausbau und Nutzungsintensivierung der Internet-Infrastruktur.....	212
	Aufbau neuer Mobilfunknetze.....	213
7.1.7	Schlussfolgerungen.....	215
	Verschärfung der Abfallprobleme	215
	Wachsender Strombedarf durch Vernetzung.....	216
	Unsicherheit der Entwicklung primärer Umwelteffekte.....	217
	Monitoring.....	218
	Abfallpolitische Aufgaben.....	218
	Energiepolitische Aufgaben.....	219
7.1.8	Anhang zu primären Umwelteffekten des Pervasive Computing.....	220
7.2	Sekundär- und Tertiäreffekte	221
7.2.1	Dematerialisierungspotenziale und Rebound-Effekte im Verkehrssektor	221
	Umweltrelevanz	221
	Bisherige Erfahrungen mit indirekten Umwelteffekten von ICT im Verkehrssektor.....	222
	Auswirkungen der ICT auf den Personenverkehr	222
	Auswirkungen der ICT auf Güterverkehr und Transportlogistik	223
	Zu erwartende Veränderungen durch Pervasive Computing.....	224
	Personenverkehr	224
	Güterverkehr.....	225
7.2.2	Dematerialisierungspotenziale digitaler Medien.....	226
	Umweltrelevanz	226
	Bisherige Erfahrungen mit indirekten Umwelteffekten elektronischer Medien.....	226
	Printmedien vs. elektronische Medien	226
	Digitalfotografie	228
	Zu erwartende Veränderungen durch Pervasive Computing.....	229
	Energieverbrauch	229
	Verkehrswirksamkeit.....	229
7.2.3	Wärmeschutz an Gebäuden	230
	Umweltrelevanz	230
	Bisherige Erfahrungen mit MSR-Systemen im Wärmeschutz.....	230
	Zu erwartende Veränderungen durch Pervasive Computing.....	231
7.2.4	"Virtueller Verschleiß": Lebensdauer verkürzung durch eingebettete ICT	232
	Umweltrelevanz	232
	Bisherige Erfahrungen mit der Nutzungsdauer von ICT.....	232
	Zu erwartende Veränderungen durch Pervasive Computing.....	233

8	Zusammenfassung der Chancen und Risiken des Pervasive Computing.....	235
8.1	Relevanzkriterien	236
8.2	Zur Einteilung der Auswirkungen in Chancen und Risiken	236
	Exkurs: Der Begriff des ungeklärten Risikos	237
8.3	Gesundheit	238
8.3.1	Auswirkungen auf die Gesundheit.....	239
	G-1. Gesundheitsschäden durch NIS	240
	G-2. Allergien und chronische Vergiftungen	241
	G-3. Mehr Sicherheit und Lebensqualität für chronisch Kranke.....	241
	G-4. Schnellere und besser informierte Hilfe bei Notfällen	241
	G-5. Größere Behandlungserfolge in der Chirurgie.....	242
	G-6. Bessere Therapiemöglichkeiten / unerwartete Nebenwirkungen aktiver Implantate....	242
8.3.2	Auswirkungen auf gesundheitsrelevante Einflussfaktoren	242
	E-1. NIS-Exposition nimmt ab / NIS-Exposition nimmt zu.....	243
	E-2. Weniger Stress durch bessere Ergonomie / mehr Stress durch schlechtere Ergonomie	244
	E-3. Stress durch subjektiv unkalkulierbares Verhalten der Technik.....	245
	E-4. Stress durch Reizüberflutung und Ablenkung der Aufmerksamkeit.....	245
	E-5. Mehr körperliche Bewegungsfreiheit.....	245
	E-6. Gesündere Lebensführung / E-Doping	246
	E-7. Mehr Autonomie für Patienten / psychische Nebenwirkungen der "Apparatemedizin" 246	
	E-8. Beitrag zur Kostenstabilisierung im Gesundheitswesen / Kostenschub im Gesundheitswesen	246
	E-9. Höhere Verkehrssicherheit / höhere Unfallrisiken	246
8.4	Umwelt	247
	U-1. Weniger ICT-bedingter Materialverbrauch / mehr ICT-bedingter Materialverbrauch....	247
	U-2. Weniger ICT-bedingter Energieverbrauch / mehr ICT-bedingter Energieverbrauch.....	248
	U-3. Entsorgungsprobleme durch Elektronik.....	248
	U-4. Material- und energieeffizientere Prozesse	249
	U-5. Trend zum Kauf von Diensten statt Sachgütern.....	249
	U-6. Kurzlebigere Güter durch "virtuellen Verschleiß"	250
	U-7. Weniger Energieverbrauch im Wohnbereich/mehr Energieverbrauch im Wohnbereich.....	250
	U-8. Abnahme des motorisierten Verkehrs / Zunahme des motorisierten Verkehrs	250
	U-9. Konkurrenzvorteil des ÖV gegenüber MIV / Konkurrenznachteil des ÖV gegenüber MIV	251
8.5	Soziale Aspekte.....	252
	S-1. Abbau der digitalen Spaltung / Einschränkung der Wahlfreiheit der Konsumenten....	252
	S-2. Effizienter Zugang zu Information und Wissen / Ökonomisierung der Aufmerksamkeit	253
	S-3. Bildung virtueller Gemeinschaften / Verlust sozialer Kontakte	254
	S-4. Besserer Schutz vor kriminellen Handlungen / Datenschutz wird untergraben	254
	S-5. Neue Formen der Computerkriminalität	255
	S-6. Verursacherprinzip stößt an Grenzen	255
	S-7. Bessere Vereinbarkeit von Beruf und Familie.....	256
8.6	Schweizer Wirtschaft	257
	Auslandsabhängigkeit bei Hardware und Software.....	257
	Chancen beim Angebot von Inhalten und Dienstleistungen.....	257
8.7	Qualitative Charakterisierung der Risiken	259
8.7.1	Anwendung des Risikofilters	260
	Sozioökonomische Irreversibilität.....	261
	Verzögerungswirkung.....	262
	Konfliktpotenzial	262

Belastung für die Nachwelt	262
8.7.2 Clusterung der prioritären Risiken.....	262
Cluster 1 (G-1, E-1): Nichtionisierende Strahlung - ein ungeklärtes Risiko mit weiterhin hohem Konfliktpotenzial.	262
Cluster 2 (E-2, E-3, E-4, S-4, S-5): Stress, Bespitzelung und Hightech-Verbrechen könnten die Lebensqualität bedrohen.....	263
Cluster 3 (S-1, E-8): Konsumenten und Patienten tragen die Kosten einer teilweise unfreiwilligen Entwicklung	263
Cluster 4 (U-1, U-2, U-3, U-6, U-7, U-8, U-9): Mögliche Rückschläge für die ökologische Nachhaltigkeit	264
Cluster 5 (S-6): Mögliche Kapitulation des Verursacherprinzips vor technischer Komplexität.....	265
9 Empfehlungen für Vorsorgemaßnahmen	267
9.1 Politik.....	267
9.1.1 Koordination der Strategien „Informationsgesellschaft“ und „Nachhaltige Entwicklung 2002“ des Bundesrates	267
9.1.2 Steuersystem.....	268
9.1.3 Haftungsnormen	268
9.1.4 Datenschutz.....	269
9.1.5 E-Government	270
9.1.6 Öffentliche Beschaffung und integrierte Produktempolitik.....	270
9.1.7 Elektronische Direktwerbung.....	271
9.1.8 Energie-Etikette für ICT	272
9.1.9 Deklarationspflicht für technische Daten von NIS-Quellen.....	272
9.2 Forschung.....	273
9.2.1 Kontinuierliche partizipative Technologiefolgenabschätzung (TA)	273
9.2.2 Runder Tisch.....	273
9.2.3 Förderrichtlinien für ICT-Forschung	274
9.2.4 Nationales Forschungsprogramm	274
9.3 Ausbildung.....	275
9.3.1 Allgemeinbildende Schulen.....	275
9.3.2 Hochschulen	276
9.3.3 Energieeffizienz von ICT als Ausbildungsthema.....	276
9.4 Empfehlungen an private und öffentliche Unternehmen.....	277
9.4.1 Global e-Sustainability Initiative (GeSI).....	277
9.4.2 Öffentlicher Verkehr	278
9.4.3 Telekommunikations-Provider.....	278
9.5 Empfehlungen, die sich an mehrere Akteure richten.....	279
9.5.1 Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA).....	279
9.5.2 Ombudsstelle für NIS	279
9.5.3 Zonen mit eingeschränktem Elektronikgebrauch.....	280
Abkürzungsverzeichnis und Glossar	281
Quellenverzeichnis	291
Ausführliches Inhaltsverzeichnis.....	303
ANHANG: Expected Exposure from Pervasive Computing	311

Expected Exposure from Pervasive Computing

Jürg Fröhlich and Niels Kuster

Zurich, April 2003

Executive Summary

Safety Limits

Most countries have already implemented regulations which require that consumer devices transmitting RF must comply with the corresponding safety guidelines for EM exposures (e.g., EU, US, Japan, China, Korea, Canada, Australia). These guidelines are currently being harmonized and are widely considered to reliably protect the general population against thermal effects. The standardization commissions had considered the data regarding non-thermal effects to be insufficient to serve as a basis for safety guidelines. However, the results of recent studies seem to confirm the hypothesis of athermal effects, which appear to be amplitude-modulation dependent. Nothing is known about the physical-biological interaction mechanism; little is known about the required field strengths or about the most effective modulation schemes. The huge parameter space and the relatively weak diverse biological response make a systematic approach methodologically difficult, time consuming and requiring more resources than currently available. The current understanding is that these effects are not dependent on the carrier frequency. Due to the relatively large uncertainty, some governments (e.g, Switzerland, Italy, etc.) have issued precautionary limits in order to address possible adverse athermal health effects. It is also important to note that all guidelines address external exposures, i.e., the data is predominately based on far-field exposures, such that the special exposure characteristics of implants are not covered.

In conclusion, compliance with current safety guidelines is a necessity to avoid health hazards as a result of thermal effects but does not protect against possible hazards from athermal effects. It is also questionable whether the current standards are suitable to evaluate wireless implants.

Strengths of RF Exposures

The strength of the exposure is approximately proportional to the RF magnetic field generated at the skin of the user and to the frequency [32]. In other words, the higher the frequency, the larger the current density on the source, and the closer this source is to the skin, the larger the resulting exposure. It is important to note that reactive RF field components couple to the body as efficiently as radiating components. It is obvious that exposures from base stations are considerably lower than from transceivers operating in, on or in the vicinity of the body. For thermal considerations, only the averaged power is of significance. However, peak power might be of relevance for athermal effects.

Time-Averaged Exposure Strengths

Although 2G and 3G mobile communication devices will continue to be the devices with the highest maximum time-averaged output power, BAN and other pervasive computing applications will result in similar exposure levels due to their closer proximity and smaller size. Communications with implants and in-body communications belong to a different category of devices. This category will result in locally very high exposure levels, even when the spatial peak SAR values are relatively small. Highly local exposures are currently not scientifically addressed and need further attention.

Peak Exposure Strengths

For pulsed systems (e.g., TDMA) peak power can be considerably higher than the time-averaged values, whereas for CDMA and FDMA systems the maximum exposure is similar to the maximum time-averaged exposure levels.

In general, pervasive computing applications will result in significant spatial peak time-averaged exposure levels in various relevant tissues (0.01 - 2 W/kg) which are orders of magnitude above those induced by traditional broadcast systems and exposure from base stations. The exposure levels are close to the safety limits recommended by the guidelines. For systems utilizing in-body communications or implants, local tissue exposures can well exceed 100 W/kg. Special attention must be placed on the induced peak exposure levels when discussing potential athermal effects.

Power Spectrum of Amplitude Modulation

The power spectrum of amplitude modulation is given by system relevant parameters (e.g., frame structures) as well as by the response of the system to environmental parameters (e.g., power control). For instance, the frame structure of GSM causes 8 Hz, 217 Hz and 1.73 kHz components plus the corresponding harmonics in the non-DTX mode. In the DTX mode, an additional 2 Hz component is generated by the implementation of the comfort noise. GPRS increases the signal complexity. These system relevant parameters are superposed by the power control functions due to changes of the environment or due to handovers. On the other hand, WCDMA requires fast power control, which results in incoherent modulations within a wide ELF spectrum, and only the switching frequency is coherent (e.g., 1.5 kHz for the FDD mode or 100/750 Hz in the TDD mode). In general, the resulting power spectrum of amplitude modulation is strongly dependent on the implementation.

In conclusion, pervasive computing applications will result in exposures with significant ELF components from the amplitude modulation spectrum. The spectrum will depend on the technology utilized as well as on the implementation. Little to no data are currently available to assess the potential health hazards, and none of the currently conducted studies will be able to provide a sufficient scientific basis.

Exposed Tissues

The predominantly exposed tissues during the last two decades have been the head tissues and in particular the ear, brain and salivary glands. Pervasive computing will result in significant exposure of other relevant tissues, organs and glands. Current data do not enable any ranking of tissue sensitivity.

In conclusion, little is known about high-level local tissue exposure other than for head tissues. The currently collected epidemiological data will not enable any risk assessment other than for head exposures. More relevant knowledge can be expected from the currently conducted high-exposure whole-body animal studies performed within the European 5th Framework.

ELF Exposures

ELF exposures are generated by the power supply circuitry and are most dominant for high power pulsed systems like TDMA. However, exposures are not considerably different from exposures from other devices or household appliances.

In conclusion, stronger local exposures from ELF can occur through body-mounted

high power pulsed systems. Other systems do not result in exposures significantly different than those from other household appliances.

Expected Scientific Outcome from Current Research

A significant and coordinated research effort was launched in Europe in the year 2000. Several countries have also begun their own national programs (e.g., France, UK, Italy, Finland, Germany, etc.). In addition, further projects are being supported by industry. The majority of these projects investigate biological endpoints under GSM exposures. Little is being done to address future exposure conditions from, e.g., UMTS, etc. Research in the US has basically come to a halt, except for the recent initiative of NIEHS to conduct a large-scale NTP study with free-running animals and of CTIA/FDA to conduct a new epidemiological study and some small-sized *in vivo* and *in vitro* studies. Only the outcome of the relatively large Japanese program will enable some conclusions to be drawn beyond GSM.

In conclusion, in 2006 a considerable database regarding GSM exposure will be available, as well as the results of replication studies. The analysis will show which issues can definitely be answered and which will require additional efforts. However, it is obvious that the currently conducted research will not provide the required data for the risk analysis of 3G and pervasive computing applications.

Knowledge Gap

- procedures for assessing the exposure of body-mounted applications other than mobile phones operated next to the ear
- procedures for determining ELF exposures
- safety guidelines for highly local exposures as occurring from implants and skin-mounted devices
- a complimentary research program for risk assessments of 3G exposures
- systematic evaluation of the biological response caused by exposure from more general amplitude modulation schemes covering the possible range of pervasive computing technologies

Risk Assessment

Pervasive computing will result in a significant increase of EM exposure. The exposure caused by body-mounted devices or devices operated in the closest vicinity of the body will be in a range similar to exposure from 2G devices and will be orders of magnitude higher than exposures from traditional broadcast services or base stations. The ELF components of the amplitude modulation spectrum will also significantly differ from 2G or other sources. Neither the current scientific database nor the research currently being conducted worldwide will provide a sufficient basis to conduct a reliable risk assessment.

In conclusion, a considerable research effort is still needed before a thorough scientifically based risk assessment of pervasive computing can be conducted. Although the cumulated data do not support the hypothesis of a high individual risk, a thorough analysis is justified in view of the enormous population penetration.

Contents

1 Background	6
1.1 Analysis of the Current Situation	6
1.2 Problem Statement	7
2 Objectives	7
3 Risk Assessment	8
3.1 Risk	8
3.2 Hazard Identification	8
3.3 Release Assessment	9
3.4 Exposure Assessment	10
3.5 Consequence Assessment	10
3.6 Risk Estimation	10
3.7 Risk Evaluation	11
3.8 Risk Management	11
4 Safety Standards	11
4.1 Definition of Limits	12
4.2 Basis of Safety Standard	13
4.3 Basis of Safety Guidelines	15
4.3.1 In vitro: Effects of RF on gene expression	15
4.3.2 Human studies: Effects of RF on sleep and cognition	16
4.3.3 In vivo: Effects of ELF magnetic fields on DBMA induced rats	16
4.4 Limitations of Safety Guidelines	18
5 Technologies	18
5.1 Mobile Communications	19
5.1.1 TDMA	19
5.1.2 WCDMA	21
5.2 WLAN	25
5.3 BAN	25
5.4 Ultra Wide Band (UWB)	26
5.5 Bluetooth	26
5.6 Implants	27
6 Exposure Scenarios of Pervasive Computing	28
6.1 Implants	30
6.2 On-Body Transmitters or Close Near-Field Exposures	30
6.3 Intermediate Near-Field	30
6.4 Far-Field	30
6.5 Exposures from Reradiating Structures	30
7 Scientific Gaps for Risk Assessments	31
8 Conclusions	31
9 Acknowledgements	32

1 Background

The Center for Technology Assessment *TA-SWISS* at the Swiss Science and Technology Council issued a project entitled “The Principle of Precaution in an Information Society: Pervasive Computing and its Effects on Health and on the Environment”. The objective of this study is to present possible scenarios for the evolution of the new information and communication technologies, with a special focus on pervasive computing. The study shall then go on to assess the risks and benefits which future developments will pose in terms of health and the environment, debating this issue in light of the principle of precaution. Based on the result, the authors of the study shall recommend measures which should be taken in order to cope with the possible risks of pervasive computing.

The background and the motivation of this study is described as follows:

“Information and communication technologies are constantly opening up new horizons, holding forth fascinating applications for the future. Current research endeavors are aimed at putting men and machines comprehensively and continuously on line, a situation often described as pervasive - or ubiquitous - computing. However, the undeniable benefits of these new technological developments (optimization of the communication processes) and their economic potential run the risk of being offset by unwanted side effects. The total networking of man and machine threatens in particular to injure the health of the individual (owing primarily to an intensified exposure to electromagnetic fields), and perhaps also to imperil sustainable development (notably as a function of an increase in energy consumption and the production of wastes). Without calling into question their potential, it is nonetheless essential to submit these new information and communication technologies to some deep reflection based on the guiding principle of precaution.”

In addition to this study *TA-SWISS* issued a mandate to the *Foundation for Research on Information Technologies in Society (IT'IS)* on the following issues:

- Review and completion of the work package on possible impacts on health
- Report on future exposure scenarios and their possible impacts on health as well as the identification of knowledge gaps

1.1 Analysis of the Current Situation

The relevance of topics concerning health effects from new information technologies can be seen primarily through the heavily emotional protests against the determination of new base station antenna locations for GSM networks. The planned UMTS technology will require a large number of new antenna locations. The research conducted on biological responses after pulsed RF exposures has produced conflicting results. Conclusions range from the need to greatly reduce safety limits as a precautionary principle to the request for further research.

The discussion of information technologies and their effects leads in divergent directions. Information technologies are technology-driven systems that have impacts on and are also impacted by politics and the media, as well as public opinion. Politicians are promising globalization realized by innovations without any adverse effects. The producers and distributors of these technologies see themselves pressured and restrained through public resistance and therefore wish to retain certain regulations. The essential basis of the conflict is twofold: the number

of mobile phone users is steadily increasing, while at the same time it is becoming increasingly difficult to expand the required network. The involuntary (proximity to base station) versus voluntary (handset) exposures result in the pronounced risk perception.

By the end of this decade it is expected that we will all have high-bandwidth, reliable wireless communication. Personal computers will be invisible because they will be so tiny. Because of their small size they could be placed in eyeglasses or in any piece of clothing. Current visions point to one large communications infrastructure for which it does not matter whether a bit is voice or video or data. Information shall be available everywhere and anytime. In whichever direction the development of new information technologies will go, the population will be "*immersed in a sea of low-level, pulsed microwave signals*" [20].

The determination of appropriate precautionary measures requires the creation of the most reliable basis possible for the development of a widely acceptable overview of the problem. Politicians and industry alike remain in high profile positions. The EU and mobile industry as well as several national programs in Europe are currently funding several extensive research programs addressing the questions of GSM exposure. The coming together of political interests for public safety from potential risks on one side and the promotion of new technologies on the other, as well as the incorporation of the economic interests of industry, urgently require a serious clarification of the facts.

The results of these currently funded long-term studies will be evaluated together with the previously published data in the year 2006 by WHO. As explained below, it cannot be expected that sufficient data will be available by then to complete the evaluation for exposures other than from GSM systems. Consequently, politics and economics will remain confronted with the current controversial situation and will have to decide on what basis "prevention" and "sustainability" shall be determined.

1.2 Problem Statement

'Pervasive computing' will generate new exposure situations for biological organisms as well as additional sources for electromagnetic compatibility problems between electronic devices. In addition it will have a large social impact and will generate new aspects for the sustainable development of technology.

In order to assess the exposure situation in the future, the development of information technologies in upcoming years has to be estimated. Another key figure is the expected penetration of society with these new technologies. The specific aspects of the technology used determine the quality of the exposure to electromagnetic waves. Based on the research conducted for risk assessment of current mobile communication devices, the scientific gaps of future technologies have to be identified.

Scenarios about future information processing devices include small, highly integrated and computationally efficient 'stand-alone' devices communicating with each other. The mass production of one-way devices, e.g., for medical applications, is also a consequence, as well as the increased need for powerful micro-sized energy sources. Current developments in the area of material science can give an insight on the sustainable development capabilities of the materials intended for use in manufacturing these new kinds of devices.

2 Objectives

The objective of this report is to provide an estimation of the future exposure of the public generated by current and future communication technologies with special emphasis on the expo-

sure generated by technologies used within pervasive computing. This includes communication devices as well as the necessary infrastructure, e.g., wireless networks and backbone technology, such as the power supply. The assessment of future exposure is carried out in the following steps:

- Review of current safety guidelines and their physical and biological basis including discussions of their limitations based on some of the latest research results
- Description of current and new technologies with respect to their electromagnetic characteristics
- Discussion of expected exposures from pervasive computing in terms of exposed tissues, induced RF field strengths, amplitude modulation and ELF fields
- Identification of scientific gaps
- Preliminary exposure assessment of pervasive computing

3 Risk Assessment

Different paradigms exist for risk assessment and risk management. They are discussed, e.g., in [38]. In the following we will use the paradigm according to Covello and Merkhofer [16]. Risk is defined as a characteristic of a situation or an action wherein two or more outcomes are possible, the particular outcome that will occur is unknown, and at least one of the possibilities is undesirable. Their model incorporates risk assessment as well as risk management. Risk assessment is defined as a systematic process for describing and quantifying the risk associated with hazardous substances, processes, actions and events. Risk management is defined as identifying, selecting and implementing appropriate actions to control the risk. In Figure 1 the different aspects of the risk paradigm used are shown. Hazard identification is a separate process that is necessarily conducted prior to risk assessment.

3.1 Risk

Based on the definition of [16], exposure to the fields emitted by mobile communications equipment is a risk. Obviously, the undesirable outcome is an adverse health effect caused by the electromagnetic fields. The substantial literature on thermal effects and the numerous but controversial literature on non-thermal effects demonstrates that several outcomes are possible and that there is considerable uncertainty on the outcome that will occur.

3.2 Hazard Identification

For hazard identification we can refer to [38]. There the current status of hazard identification for exposure to EMF is described as follows:

“For a discussion on hazard identification, it is useful to distinguish between thermal and non-thermal effects of electromagnetic fields. According to [36], thermal effects are effects caused by a change in temperature or from heat added to the system. Non-thermal effects occur at exposure levels which neither challenge thermoregulation nor produce any significant change in organism temperature.”

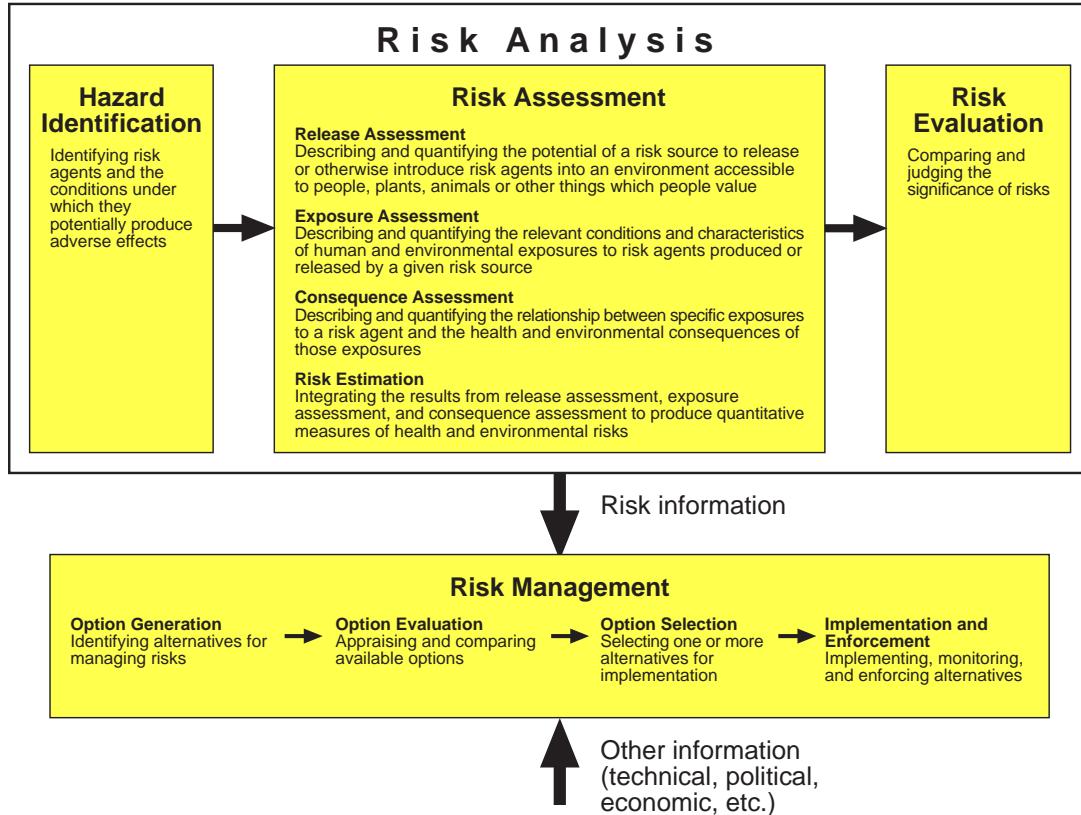


Figure 1: Risk paradigm according to Covello and Merkhofer [16]

“The studies discussed in [25] clearly show that excessive absorption of electromagnetic energy in the mobile communications frequency range can lead to hazards caused by thermal effects. Other identified hazards are indirect health effects caused by interference problems of mobile phones with technical systems (e.g., pace makers [30]). With respect to non-thermal health effects the ongoing studies are still mainly dedicated to hazard identification.”

3.3 Release Assessment

While the release assessment is a critical point during the risk analysis of classical risk agents released unwillingly or accidentally, the electromagnetic fields of mobile communication devices are released intentionally. The power level of such devices is usually dynamically adapted according to the quality of the uplink. Parameters such as the pulse shape, repetition rate, frequency of power regulation, data modulation, additional data transfer between base station and mobile communication device, etc., impose additional frequencies beside the carrier frequency. The result is a complexly modulated signal with many ELF components in the amplitude modulation spectrum. One major part of release assessment is the analysis of the power levels as well as of these frequency components for the technologies used for pervasive computing.

3.4 Exposure Assessment

Determination of the SAR distribution caused by exposure to electromagnetic fields emitted by mobile communication devices has proven to be rather difficult. Only the combination of the most advanced experimental and numerical methods allows a reliable assessment of the actual level of exposure in the body of a user. A detailed review on this matter with respect to mobile phones is given in [13]. The exposure of a mobile communication device user to electromagnetic fields emitted by his/her device depends on a large number of parameters which are difficult to control. Major external parameters influencing the exposure are the type of the device and position of the device with respect to the user. The absorption inside the user is determined by the distribution and the electric parameters of the tissues. The exposure assessment must allow the determination of the field distribution inside the body of a user for a given external situation (type, operating modus and position of device), including the expected variation between different individuals and a sound estimation of the uncertainty of the assessment. This has already been assessed for the case of mobile phones in [31][37]. For pervasive computing the types of devices will be even more diverse than for the case of mobile phones. Another important difference is the location of the devices, which is no longer restricted to the head. In this context other tissues and organs are affected.

3.5 Consequence Assessment

Epidemiology is a powerful method with the primary objective of establishing a statistically significant association between adverse human health effects and exposure to risk agents. However, not many studies of direct relevance to MTE users have been completed [25]. Many experiments on possible adverse health effects of EMF are performed with animals or *in vitro* systems. Careful design, construction, dosimetry and operation of the exposure setups are indispensable prerequisites for scientifically sound experiments. All technical and biological requirements must be listed carefully, and close cooperation between engineering and biological groups should be established. A full characterization of the applied electromagnetic fields is necessary to allow the extrapolation from *in vivo* and *in vitro* experiments to humans. Most studies with chemicals use high doses during *in vivo* experiments to assess possible effects and use extrapolation models to extrapolate to the usually much lower doses to which humans are exposed. This possibility is largely barred to researchers in the area of possible health effects from low level RF electromagnetic fields, since high doses will result in thermal effects. Careful assessment of the thermal properties of an exposure setup and the expected temperature increase during the exposure is very essential in experiments on the possible health effects of RF electromagnetic fields.

3.6 Risk Estimation

Integrating the knowledge collected during the preceding steps of risk assessment leads to risk estimation. With respect to thermal effects the risk estimation of ICNIRP for time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields up to 300 GHz led to the conclusion that whole body averaged SAR values of 4 W/kg and local values of 100 W/kg is the threshold for adverse health effects [25]. However, most of these data are based on experiments with animals. Therefore, the extrapolation to humans requires a factor sufficiently large to exclude the possibility of thermal effects in humans using mobile communication devices. ICNIRP proposes a factor of 10 for occupationally exposed people and a factor of 50 for the general public. The exposure assessment gives detailed information on the SAR expected in the body of the users of mobile communication devices and shows that SAR levels of 2 W/kg (averaged over 10 g of tissues) can

be reached, e.g., during mobile phone use. With respect to non-thermal effects the database was judged by ICNIRP to be insufficient to give a quantitative risk estimation [25].

3.7 Risk Evaluation

Well established studies on thermal effects show that no thermal effect is expected in humans if the local absorption is less than 2 W/kg and if the whole body averaged absorption is less than 0.08 W/kg. Knowledge about the range of absorption shows that a local absorption rate of more than 2 W/kg is possible with mobile phones of the GSM standard [31]. A violation of the exposure limit for the whole body averaged SAR is possible within a short distance from a base station antenna. Therefore, the risk cannot be judged as a priori insignificant and risk management is necessary. This is also true with respect to electromagnetic compatibility, since many technical systems have proven to be sensitive to interference problems. The risk evaluation of non-thermal effects is very controversial. ICNIRP came to the conclusion that “overall, the literature on athermal effects of AM electromagnetic fields is so complex, the validity of the reported effects so poorly established, and the relevance of the effects to human health is so uncertain, that it is still impossible to use this body of information as a basis for setting limits on human exposure to these fields” [25]. For comparing and judging the significance of the risk, it is important to note that the impact on public health and economy could be enormous even with a small adverse health effect, due to the large and fast growing number of users.

3.8 Risk Management

Based on the recommendations of ICNIRP, most European countries have adopted or will adopt the basic limit of 2 W/kg averaged over a tissue mass of 10 g and a time of 6 min [2]. In the USA a slightly different exposure limit of 1.6 W/kg averaged over a tissue mass of 1 g and a time of 30 min was defined [1]. However, it is difficult to verify whether a certain device is in compliance with the basic limits set by the regulatory agencies. Therefore, standardized procedures must be defined to guarantee reliable and reproducible compliance testing [31].

Specific restrictions on the use of mobile phones have been implemented to reduce the risk of malfunction of sensitive technical devices due to interference problems (e.g., on board airplanes and in hospitals). Since the effects of low level exposure is controversial, risk management should also rely on the principle of prudent avoidance. A reduction of the ICNIRP limits for local exposure may not be justified on the basis of current knowledge. However, according to prudent avoidance, it may be recommended that the publication of the results from compliance tests become mandatory. Concerned consumers would then have the possibility to choose a device which causes low absorption in the body of the user. With respect to pervasive computing a large list of new requirements will add to the existing methods for compliance testing. New measurement protocols have to be established allowing a general characterization of various devices over an extended range of frequencies. New measurement tools are also necessary in order to reliably assess the quantities of interest.

4 Safety Standards

Several regulatory bodies worldwide have issued safety recommendations or requirements regarding the maximum permissible electromagnetic exposure from handheld mobile communications equipment (MTE), e.g., [1], [2]. A short review of the background and the current safety limits is given in the following subsection.

4.1 Definition of Limits

In 1982 the American National Standards Institute (ANSI) became the first organization to introduce the *Dosimetric Concept* for protection from *non-ionizing radiation* (NIR). This represented a marked improvement, since all previous standards, e.g., the ANSI standard of 1974, were based strictly upon exposure quantities, such as power densities and field strengths. This new approach was subsequently adopted by most national and international standards commissions, e.g., DIN/VDE (1984), NCRP (1986), NRPB (1986), IRPA (1988), TTC/MPT (1990), CENELEC (1995). In 1992 ANSI/IEEE [9] revised the standard, and ICNIRP, formerly IRPA, issued new guidelines [27]. These two standards are currently the dominant guidelines. For example, the EU has adopted the ICNIRP guidelines in favor of the ENV50166-2 of CENELEC [2].

The dosimetric concept was initially developed and successfully applied for ionizing radiation. The ionizing standard is based on an established correlation between the dose and the biological effects, whereby ‘dose’ is defined as the energy absorbed per unit mass. Derived values, such as the incident radiation in terms of radiometric quantities, and the definition of dosimetric terms, such as whole body and organ dose, population dose, and relative biological effectiveness, were also defined.

In Table I examples for limits in terms of whole body average SAR and spatial peak SAR are given. In addition ICNIRP defined derived limits in terms of field strength and power densities for occupational and public exposure. These limits are given in tables II and III. The reference levels or derived levels for the electric and magnetic field strengths as well as for the power density are defined for the incident field at the location of the body but without the presence of the human body. If they are satisfied, the basic restrictions given in Table I for the ICNIRP guidelines are met as well.

In the near field it is not sufficient for only one of these field measures to be satisfied. At least the reference levels of electric and magnetic field strengths must be met. Although the reference levels are normally exceeded in the closest vicinity of MTE, the basic restrictions are not necessarily exceeded.

	ANSI/IEEE C95.1-1992	ICNIRP
Group 1:	controlled env.	workers
whole-body av. SAR	0.4 W/kg	0.4 W/kg
spatial peak SAR	8 W/kg	10 W/kg
averaging time	6 min.	6 min.
averaging mass	1 g	10 g
shape of volume	cube	cube
Group 2:	uncontrolled env.	general public
whole-body av. SAR	0.08 W/kg	0.08 W/kg
spatial peak SAR	1.6 W/kg	2 W/kg
averaging time	30 min.	6 min.
averaging mass	1 g	10 g
shape of volume	cube	cube

Table I: Examples of SAR limits proposed in the USA [9] and by ICNIRP [2] for the frequency range of mobile communications (40 MHz - 6 GHz)

Frequency range	RMS - value of electric field strength (V/m)	RMS - value of magnetic field strength (A/m)	Mean power density (W/m^2)
up to $1Hz$	-	$1.63 \cdot 10^5$	-
$1 - 8Hz$	20'000	$1.63 \cdot 10^5/f^2$	-
$8 - 25Hz$	20'000	$2 \cdot 10^4/f$	-
$0.025 - 0.82kHz$	$500/f$	$20/f$	-
$0.82 - 65kHz$	610	24.4	-
$0.065 - 1MHz$	610	$1.6/f$	-
$1 - 10MHz$	$610/f$	$1.6/f$	-
$10 - 400MHz$	61	0.16	10
$400 - 2000MHz$	$3 \cdot f^{0.5}$	$0.008 \cdot f^{0.5}$	$f/40$
$2 - 300GHz$	137	0.36	50

Table II: Occupational exposure: Derived reference levels for field strength and power density for continuous exposure (f in MHz)

4.2 Basis of Safety Standard

The scientific rationale of these guidelines is based on reviews of reported biological effects resulting from exposure to static and extremely-low-frequency (ELF) electric and magnetic fields.

To protect the public from extensive exposure to electromagnetic fields, the maximum tolerable exposure is limited. As mentioned before, until 1982 the limits were simply defined by exposure quantities such as frequency, power densities and field strengths. In 1982 the American National Standards Institute (ANSI) introduced a dosimetric approach for non-ionizing radiation referring to the same concept as for ionizing radiation protection [10]. The dose is defined as the energy absorbed per unit mass. As is the case for ionizing radiation, a direct correlation between dose and biological damage is assumed. In the frequency range of mobile communications biological damage is predominantly correlated with the temperature increase in tissue due to absorption of the incident electromagnetic energy. Biological tissue contains primarily water (70 - 75%). The penetration depth of the absorbed energy in the mobile communications frequencies ranges from 20 mm to 40 mm. Since human temperature sensors are adjusted to infrared detection they are located in the outer skin layers. Therefore, the body is not “equipped” to react adequately to energy deposition in the frequency range of mobile communications.

A difficulty which arises for the definition of an absorption limit is the fact that the dose and passive heat dissipation not only determine the actual temperature increase in tissue but also the active thermo-regulative mechanism of the human body [12], [43]. This highly complex mechanism enables dissipation of whole body temperature increases, and to a much larger extent, local temperature increases. Nevertheless, this mechanism is highly dependent on various factors such as age, health, and which organs are affected. To take these effects also into account the dose concept was extended by defining the absorbed power per unit mass (W/kg) as the critical quantity for safety considerations rather than the absorbed energy per unit mass (J/kg). The rate of the absorbed energy is called Specific Absorption Rate (SAR) and defines the incremental electromagnetic power (dP) absorbed by an incremental mass (dm) within a volume element (dV) with the specific mass density (ρ).

Frequency (MHz)	RMS - value of electric field strength (V/m)	RMS - value of magnetic field strength (A/m)	Mean power density (W/m ²)
up to 1Hz	-	$3.2 \cdot 10^4$	-
1 – 8Hz	10'000	$3.2 \cdot 10^4/f^2$	-
8 – 25Hz	10'000	$4 \cdot 10^3/f$	-
0.025 – 0.8kHz	$250/f$	$4/f$	-
0.8 – 3kHz	$250/f$	5	-
3 – 150kHz	87	5	-
0.15 – 1MHz	87	$0.73/f$	-
1 – 10MHz	$87/f$	$0.73/f$	-
10 – 400MHz	28	0.073	2
400 – 2000MHz	$1.375 \cdot f^{0.5}$	$0.0037 \cdot f^{0.5}$	$f/200$
2 – 300GHz	61	0.16	10

Table III: General public. Derived reference levels for field strength and power density for continuous exposure (f in MHz)

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{dP}{\rho dV} \quad (1)$$

The absorption rate can be determined by either assessing the electric field (RMS value of the Hermitian magnitude) in tissue or the temperature increase in tissue (dT/dt).

$$SAR = c \frac{dT}{dt} = \frac{\sigma}{\rho} |E|^2 \quad (2)$$

Where c is the thermal constant of the tissue, ρ the mass density and σ the conductivity of the specific tissue. The SAR must be averaged over a certain time period to maintain a relation between absorbed power and the temperature increase in tissue (see Table I).

A correlation between (hazardous) biological effects and the rate of absorbed electromagnetic power was mainly based on exposure situations which lead to whole body temperature increases in animal experiments [28]. This was set as the basis for the maximum tolerable SAR.

Although local temperature increases are seen as less critical, this had to be limited as well, since near-field exposure can lead to strong local temperature increases before the whole-body averaged SAR limit is violated. For local exposure, a minimum averaging tissue mass had to be determined that would reflect the non-hazardous nature of strong superficial heating of the skin. Various averaging volumes were chosen (see Table I, and ref. [9], [14], [41]). The choice of these masses and selecting the cube to describe these masses lacks physical and biological backing and has been subject to ongoing discussions. The cube was selected simply because of the shortcomings of earlier experimental and numerical methods. The fact that a variety of tissues of different specific weights can exist within the averaging volume complicates the evaluation. Better approaches are currently being discussed in the standards organizations.

The assessment of the induced SAR is a difficult task and requires extensive experimental and numerical resources. Furthermore, it also requires modeling of the human body. Therefore, exposure limits were derived which allowed assessment of the absorption rate by solely determining exposure quantities such as incident field strengths. These exposure quantities would be easy to measure using known methods [26].

However, the induced SAR in the human body depends on a variety of complex parameters such as the frequency, field polarization and properties of the exposed biological body. A direct relationship between the exposure and the dose, i.e., the SAR, is difficult to determine, also with regard to the fact that the presence of the body alters the field distribution and that in near-field situations the body directly interacts with the source itself. Exposure limits must therefore include all exposure conditions approximating the worst possible situation. The current derived current exposure limits for the electric and magnetic fields are based on this approach. Maximum absorption occurs in a human being standing upright under plane wave exposure with an incident E-field polarization parallel to the body axis [15]. Under most other exposure situations smaller induced SAR values are found and the derived exposure limits would overestimate the actual absorption. This is especially true when the body or parts of the body are in very close proximity to a radiating source, such as a low power handheld mobile telephone. Although the exposure limits would be exceeded, the actual induced SAR would only be a fraction of the SAR limits.

4.3 Basis of Safety Guidelines

In the evaluation of safety guidelines, the entire body of literature is considered. In order to provide a scientifically sound rationale, the criteria for selecting the relevant literature is strict: the experiments must be reported in the reviewed literature and must be judged to be sufficiently replicated by the commission, i.e., scientifically established. The result is that only discernible effects serve as bases which can be explained as thermal effects. However, several health agencies have pointed out that there is ground for the hypothesis of athermal effects. Some of the latest results add to this body of literature and also illustrate the difficulties of establishing low-level effects.

4.3.1 In vitro: Effects of RF on gene expression

Recent results obtained within the REFLEX project of the 5th Framework Program of the European Union showed interaction between RF signals and the stress pathway. The group of D. Leszczynski at the Radiobiology Laboratory of STUK in Helsinki has examined whether non-thermal exposures of cultures of the human endothelial cell line EA.hy926 to 900MHz GSM mobile phone microwave radiation could activate stress response [33]. Results obtained demonstrate that 1-hour non-thermal exposure of EA.hy926 cells changes the phosphorylation status of numerous, yet largely unidentified, proteins. One of the affected proteins was identified as heat shock protein-27 (hsp27). Mobile phone exposure caused a transient increase in phosphorylation of hsp27, an effect which was prevented by SB203580, a specific inhibitor of p38 mitogen-activated protein kinase (p38MAPK). Also, mobile phone exposure caused transient changes in the protein expression levels of hsp27 and p38MAPK. All these changes were non-thermal effects because, as determined using temperature probes, irradiation did not alter the temperature of cell cultures, which remained at $37 \pm 0.3^\circ C$ throughout the irradiation period. Changes in the overall pattern of protein phosphorylation suggest that mobile phone radiation activates a variety of cellular signal transduction pathways, among them the hsp27/p38MAPK stress response pathway. Based on the known functions of hsp27, they put forward the hypothesis that mobile phone radiation-induced activation of hsp27 may (i) facilitate the development of brain cancer by inhibiting the cytochrome c/caspase-3 apoptotic pathway and (ii) cause an increase in blood-brain barrier permeability through stabilization of endothelial cell stress fibers. They postulate that these events, when occurring repeatedly over a long period of time, might become a health hazard because of the possible accumulation of brain tissue damage. Furthermore, their hypothesis suggests that other brain damaging factors may co-participate in mobile

phone radiation-induced effects.

4.3.2 Human studies: Effects of RF on sleep and cognition

In several experiments carried out at the Institute of Pharmacology and Toxicology of the University of Zurich within the group of P. Achermann, it has been shown that the modulation of a GSM signal affects the sleep EEG [22], [23], [24], [21]. In two studies they demonstrated that radio-frequency electromagnetic fields (RF EMF) similar to those emitted by digital radiotelephone handsets affect the brain physiology of healthy young subjects exposed to RF EMF ($900MHz$; spatial peak specific absorption rate (SAR) $1W/kg$) either during sleep or during the waking period preceding sleep. In the first experiment (Expt 1), subjects were exposed intermittently during an $8 - h$ nighttime sleep episode and in the second experiment (Expt 2) unilaterally for 30 min prior to a $3 - h$ daytime sleep episode. An extended analysis of the two studies as well as the detailed dosimetry of the brain areas including the assessment of the exposure variability and uncertainties was carried out. The latter enabled a more in depth analysis and discussion of the findings. Compared to the control condition with sham exposure, spectral power of the non-rapid eye movement sleep electroencephalogram (EEG) was initially increased in the $9 - 14\text{ Hz}$ range in both experiments. No topographical differences with respect to the effect of RF EMF exposure were observed in the two experiments. Even unilateral exposure during waking induced a similar effect in both hemispheres. Exposure during sleep reduced waking after sleep onset and affected heart rate variability. Exposure prior to sleep reduced heart rate during waking and stage 1. The lack of asymmetries in the effects on sleep EEG independent of bi- or unilateral exposure of the cortex may indicate involvement of subcortical bilateral projections to the cortex in the generation of brain function changes, especially as the exposure of the thalamus was similar in both experiments (approx. $0.1W/kg$). The second experiment was carried out using CW signals as well as a modulated GSM signal [21]. Using a CW signal did not show the effects which occurred by using a modulated GSM signal. This indicates that the effect is purely related to the modulation of the GSM signal and not to the carrier.

Another study carried out by N. Edelstyn et al., of the University of Keele, UK, showed effects of RF signals on the performance of different tasks which tapped capacity and processing speed within the attentional system [17]. Thirty-eight healthy volunteers were randomly assigned to either an experimental group which was exposed to a connected mobile phone or a control group in which the mobile phone was switched off. Subjects remained blind to mobile phone status throughout duration of the study. The experimental group was exposed to an electromagnetic field emitted by a $900MHz$ mobile phone for 30 min . Cognitive performance was assessed at three points (prior to mobile phone exposure, at 15 and 30 min post-exposure) using six cognitive neuropsychological tests (digit span and spatial span forwards and backwards, serial subtraction and verbal fluency). Significant differences between the two groups were evident after 5 min on two tests of attentional capacity (digit span forwards and spatial span backwards) and one of processing speed (serial subtraction). In all three instances, performance was facilitated following mobile phone exposure. No deficits were evident.

4.3.3 In vivo: Effects of ELF magnetic fields on DBMA induced rats

The following example illustrates the experimental difficulty of determining and replicating low-level biological effects.

Rat mammary carcinomas represent a standard laboratory animal model in the study of human breast cancer. In line with the possible relationship between electric power and breast cancer

risk as well as the underlying “*melatonin hypothesis*”, it was shown in [39] that 50 Hz magnetic fields (MFs) at μT -flux densities enhance mammary gland tumor development and growth in the 7,12-dimethylbenz[a]anthracene (DMBA) model of breast cancer in female Sprague-Dawley (SD) rats. However, in contrast to this data, in a similar study conducted by Battelle in the United States, no evidence for a cocarcinogenic or tumor-promoting effect of MF exposure was found in the DMBA model in SD rats [11], [7]. The investigators from the two studies recently discussed differences between their studies that might explain the apparent discrepancies between the results of MF exposure [8]. The probably most important difference was the use of different substrains of Sprague Dawley (SD) rats; the U.S. rats were much more susceptible to DMBA but possibly less sensitive to MF than the European rats used in the study in Hannover [39]. It has been previously demonstrated that there are inherent differences between substrains of SD outbred rats obtained in the U.S. and Europe in regard to their mammary neoplastic response to DMBA, as well as their response to radiation [42].

The recent results of a study further addressing this issue was reported. In this study two different SD substrains were obtained from Charles River. One (SD1) was the substrain used in the previous MF/DMBA studies in Hannover, the other (SD2) had never been used by this laboratory and was considered by the breeder to be genetically different from the SD1 substrain. Preliminary experiments indicated that SD2 rats are insensitive to the cell proliferation-enhancing effect of MF exposure recently reported by the same lab for the mammary gland of SD1 rats, which is a likely explanation for the cocarcinogenic or tumor-promoting activity of MF exposure in SD1 rats. In the present study, two experiments were performed. In the first experiment, the two substrains (20 rats per substrain) were compared in their carcinogenic response to DMBA. DMBA (5 mg) was administered by gavage at weekly intervals up to a total of 4 applications per rat. Rats were about 50-54 d of age at onset of the experiment. Rats were palpated once weekly to assess the development of mammary tumors. After 18 weeks, all of the rats were killed for necropsy. In the second experiment, the effect of MF exposure on breast cancer development and growth was compared in the two substrains. Per substrain, two groups of 45 rats received DMBA at the dosing protocol described above and were either MF exposed or sham exposed for 18 weeks. Palpation of mammary tumors and necropsy for histological verification of grossly recorded tumors was done as in the first experiment.

In the first experiment, SD2 rats showed a significantly higher tumor incidence in the DMBA model than SD1 rats, substantiating the genetic difference between these substrains. In the second experiment, MF exposure significantly increased mammary tumor development and growth in SD1 but not SD2 rats.

The difference in the mammary neoplastic response of the SD1 and SD2 substrains to DMBA substantiates previous studies that SD substrains may markedly differ in their sensitivity to this carcinogen [42]. Furthermore, as previously reported for ionizing radiation [42], the present data demonstrate that SD substrains may differ in their response to MF exposure. SD2 rats resemble the SD substrain used in the Battelle studies in that these rats exhibit a high susceptibility to DMBA but not to MF, whereas the reverse is true for the MF-sensitive SD1 substrain. These substrains can thus serve to evaluate which genetic factors underlie enhanced sensitivity to cocarcinogenic or tumor promoting effects of MF exposure [18], [19].

Based on these results, further experiments will attempt to reveal the factors relevant for the observed effects and to identify the mechanism. In any case the question of whether ELF MF promote tumor growth remains open and must be further clarified.

4.4 Limitations of Safety Guidelines

The standardization commissions only considered the data regarding thermal effects as sufficient and those of non-thermal effects to be insufficient to serve as a basis for safety guidelines. However, the results of recent studies seem to confirm the hypothesis of athermal effects, which appear to be amplitude-modulation dependent. Nothing is known about the physical-biological interaction mechanism; little is known about the required field strengths or about the most effective modulation schemes. The huge parameter space and the relatively weak diverse biological response make a systematic approach difficult and time consuming. The current understanding is that these effects are not dependent on the carrier frequency. Due to the relatively large uncertainty, some governments (e.g., Switzerland, Italy, etc.) have issued precautionary limits in order to address possible adverse athermal health effects. It is also important to note that all guidelines address external exposures, i.e., the data is predominately based on far-field exposures, such that the special exposure characteristics of implants are not covered.

Hence, compliance testing with current safety guidelines is a necessity to avoid health hazards as a result of thermal effects but does not protect against possible hazards from athermal effects. It is also questionable whether the current standards are suitable to evaluate wireless implants.

5 Technologies

The principle aim of mobile communication is the possibility to receive and transmit data from anywhere to everywhere. In order to achieve this, the most complete coverage possible has to be achieved. The first generation cellular systems were based on analog technologies, e.g., the advanced mobile phone standard (AMPS) in the US, NMT 450/900 in parts of Europe and other similar systems.

In North America, the wireless industry began to explore converting the existing analog network to digital as a means of improving capacity back in the late 1980s. In 1989, the Cellular Telecommunications Industry Association (CTIA) chose TDMA over Motorola's frequency division multiple access (FDMA) (today known as narrowband analog mobile-phone service [NAMPS]) narrowband standard as the technology of choice for existing 800 MHz cellular markets and for emerging 1.9 – GHz markets. With the growing technology competition applied by Qualcomm in favor of code division multiple access (CDMA) and the realities of the European global system for mobile communications (GSM) standard, the CTIA decided to let carriers make their own technology selection.

In Europe, the standardization process has been more aggressive and successful. GSM has converted from a European system to a worldwide cellular system. Most of these 2G systems are based on TDMA (GSM, the Japanese Digital Cellular (JDC), and North American Digital Cellular (NADC)), except for some narrowband CDMA. However, 3G will be exclusively based on WCDMA.

All devices used for pervasive computing are based on similar technologies with respect to the exposure assessment. Every device which will enter the market will be tested with respect to the valid safety guidelines. This also applies for environmental exposure where safety guidelines exist for maximal field values at any location assessed by a defined measurement protocol. For new technologies additional measurement protocols are necessary in order to adequately assess the imposed fields at any location.

In the following different technologies will be discussed with respect to their emitted power and modulation characteristics. This includes technologies for mobile communications as well as technologies for wireless local area networks (WLAN), body area networks and implants. The

amount of data available varies among the different technologies. Some are still in the standard setting phase and no final data is available.

5.1 Mobile Communications

The technical characteristics of the two major (competing) systems today that split the RF, TDMA and WCDMA, are described. 2G GSM services, based on TDMA, have evolved via HSCSD and GRPS to provide higher data rate packet services. The use of advanced coding and modulation schemes allows the delivery of 2.5G services within a GSM network. UMTS, based on WCDMA, was developed from the start for 3G services. Aspects relevant for exposure assessment for these two systems were previously discussed in [6] and [35]. In the following the main aspects are reviewed and the background for the relevant measures for exposure assessment, such as power classes and the main modulation components, are identified.

5.1.1 TDMA

Time division multiple access (TDMA) allows eight users to share one physical radio channel by dividing the channel into eight time-slots. The handset transmission in the TDMA system (GSM) occurs in bursts of power of a duration of 0.577 ms and 4.6 ms between the bursts. This is a strict periodicity, which is perceived as a basic frequency of 217 Hz and multiples thereof. The bursts also mean that the peak power is much higher than the average power. The peak powers are varied by the system such that the transmitter only emits what is necessary for a given connection. The dynamic range is 28 dB , whereby the maximum peak is 2 W . The power classes for GSM900 and GSM1800, both based on TDMA, are given in Table IV.

<i>Power class</i>	<i>Nominal maximal output power (dBm) GSM900</i>	<i>Nominal maximal output power (dBm) GSM1800</i>	<i>Tolerance normal / extreme (dB)</i>
1	-	30	$\pm 2 / \pm 2.5$
2	39	24	$\pm 2 / \pm 2.5$
3	37	21	$\pm 2 / \pm 2.5$
4	33	-	$\pm 2 / \pm 2.5$
5	29	-	$\pm 2 / \pm 2.5$

Table IV: User equipment power classes for GSM900 and GSM1800

The most common RF power classes for handheld GSM devices are class 4, the 2 W output power class for GSM900, and class 1, the 1 W output power class for GSM1800.

Timing of the power: The handset receives a signal from the base stations (down link) and transmits a signal to the base stations (up link) at different instances in time. The frequencies for transmitting and receiving are given in table V. Each time slot is 0.577 ms long and repeated every eighth time slot for a full-rate GSM device giving a periodic signal with a period of 4.615 ms , called a frame in GSM terminology, corresponding to a RF burst repetition rate of 217 Hz . The time slot results in a 1.73 kHz component in the power spectrum. One multiframe consists of 26 frames and lasts for 120 ms . For the first 25 frames in a multiframe the device transmits power, but in frame number 26 in all multiframes the device is inactive. Thus the mobile communication device emits power in one eighth of the time, sending an amplitude-modulated burst signal. This signal also includes simulated speech using pseudo-random binary sequences with a length of 23 bits . Multiframes ($\text{MF} = 26$ frames) and intermediate multiframes

(IMF = 104 frames, duration: 480 ms) are implemented. This leads to an enhanced spectrum including 8 Hz and 2 Hz components.

Frequency band	Mode	Frequency range
GSM900	up link	880-915MHz
GSM900	down link	925-960MHz
GSM1800	up link	1710-1785MHz
GSM1800	down link	1805-1880MHz

Table V: Frequency bands for GSM Networks

If the connection quality allows a reduction of the emitted power by both, base station and mobile, it can be reduced by the control of the base station. The Power Control (PWC) technique enables the reduction of the power emitted by handsets in order to reduce problems due to interference and to save battery power. It does this by reducing output power in steps of 2 dB. The number of PWC levels depends on the network. The maximum average power for the highest power control level is therefore 240 mW for GSM900 and 120 mW for GSM1800.

Frequency band	Max. peak power (W)	Max. avg. power (W)	ELF components (Hz)
GSM900	2	1/4	2, 8, 217, 1.73k
GSM1800	1	1/8	2, 8, 217, 1.73k

Table VI: Frequency bands for time division multiple access (TDMA) and their associated maximum power levels and low frequency components

ELF magnetic fields: Considering ELF, the essential component in the handheld device is the battery. Today typical handhelds use battery packages with a voltage of 4.8 V; however, trends are towards lower voltages, e.g., 2.7 or 3.6 V. For a handheld with a 4.8 V battery supply in a burst nature TDMA, the current drawn from the battery will also be of a burst nature and quite large. For example, a typical 2 W peak power GSM phone with an efficiency of 45% will draw a burst current in the order of 1 A.

In table VI the characteristics of the currently used systems in Europe are listed with respect to their maximum emitted power and the low frequency components involved.

Different advanced coding and modulation schemes exist which allow the delivery of 2.5G services in a GSM network. They are discussed in the following section with respect to their impact on the power delivery of the handset. All of them use the same principle: use of an enhanced coding scheme in a GSM time slot and assignment of more than one time slot to the same user in order to increase the amount of transmitted data.

High Speed Circuit Switched Data (HSCSD): High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) is an enhanced high-speed variation of the 43.2 kbps or higher over the existing GSM radio infrastructure. This is achieved using an improved coding algorithm to allow up to 14.4 kbps in a single GSM time slot compared with the usual 9.6 kbps as well as with the allocation of multiple time slots per channel in the up link and down link. In this case the maximum average power is increased by a factor corresponding to the number of assigned time slots.

General Packet Radio Services (GPRS): General Packet Radio Service (GPRS) is a

packet switched radio access technique based on the GSM radio interface. GPRS takes into account the bursty nature of data traffic and effectively optimizes spectrum use by dynamically sharing time slots between different users. As a result, multiple users can make data and voice calls using the same time slots. GPRS supports direct end-to-end IP connectivity using transparent and standard data protocols such as TCP/IP and X.25. Bandwidth is effectively supplied to the MS on demand. Data rates up to 171.2 kbps can be supported in theory; however, a more realistic practical maximum rate may be 40.2 kbps . Unlike GSM, CS links which are charged by air-time GPRS connections are “always-on” and are charged by the amount of data transferred across the link. GPRS co-exists with standard GSM in the same network. To achieve higher data rates on flexible packet transfer over the existing GSM air interface, two changes are made at higher layers in the network: A number of different levels of error coding are employed to allow up to 21.4 kbps of data to be transmitted over a single time-slot under favorable propagation conditions. Up to eight time slots can be used per user to achieve the theoretical maximum rate of $8 \cdot 21.4 = 171.2 \text{ kbps}$. In this case the maximum average power is increased by a factor corresponding to the number of assigned time slots.

Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE): Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) is an extension of the GSM air interface to allow higher data rates by using new coding and modulation schemes. It can be used with both circuit switched and packet switched data services: 1. Enhanced Circuit Switched Data (ECSD): Circuit switched data at rates of up to 48 kbps with a single TS or 384 kbps using eight TS; 2. Enhanced General Packet Radio Service (EGPRS): Packet switched data at a rate of 59.2 kbps with a single TS or 473 kbps with eight TS. In this case the maximum average power is increased by a factor corresponding to the number of assigned time slots.

In conclusion the average emitted power from the handset for these advanced coding and modulation schemes is increased from 0.24 up to 2 W .

Base Stations: The power classes for GSM base stations are given in table VII. The output power can be reduced from its maximum level in at least six steps, of nominally 2 dB with an accuracy of $\pm 1 \text{ dB}$, to allow fine adjustment of the coverage by the network operator. As an option, the base station can also use downlink power control with 15 steps of power control levels with a step size of $2 \text{ dB} \pm 1.5 \text{ dB}$. The tolerance for the given power classes is divided into $\pm 2 \text{ dB}$ under normal conditions and $\pm 2.5 \text{ dB}$ under extreme conditions. The emitted power from a base station therefore varies depending on the cell type, the antenna type and the environment. Compliance is required according to the NIS guidelines for the maximum allowed level of the electric field released by BUWAL in 2001 [3].

Application Range: The TDMA system is designed for use in a range of environments and situations, from hand portable use in a downtown office to a mobile user traveling at high speed on the freeway. The system also supports a variety of services for the end user, such as voice, data, fax, short message services, and broadcast messages. TDMA offers a flexible air interface, providing high performance with respect to capacity and coverage, and unlimited support of mobility and capability to handle different types of user needs. All current systems based on GSM use the TDMA technology.

5.1.2 WCDMA

Wideband Code-Division Multiple-Access (WCDMA) is one of the main technologies for the implementation of third-generation (3G) cellular systems. It is based on radio access techniques proposed by the ETSI Alpha group, and the specifications were finalized in 1999 (<http://www.etsi.org/>). CDMA is a spread-spectrum technology that allows multiple users to share the same frequency

Power class	GSM900	GSM1800
	Nominal maximum output power (dBm)	Nominal maximum output power (dBm)
Macro cell base stations		
1	55 - (<58)	43 - (<45)
2	52 - (<55)	40 - (<43)
3	49 - (<52)	37 - (<40)
4	46 - (<49)	34 - (<37)
5	43 - (<46)	
6	40 - (<43)	
7	37 - (<40)	
8	34 - (<37)	
Micro cell base stations		
M1	(>19) - 24	(>27) - 32
M2	(>14) - 19	(>22) - 27
M3	(>9) - 14	(>17) - 22
Pico cell base stations		
P1	(>13) - 20	(>16) - 23

Table VII: Power classes for GSM900 and GSM1800 base stations

channel. CDMA codes every digital packet it sends with a unique key. This implies that all phones are sending all the time at a quickly changing power level. A CDMA receiver responds only to that key and can pick out and demodulate the associated signal. In WCDMA interface different users can simultaneously transmit at different data rates and data rates can even vary in time. Two different modes will be used, frequency division duplex (FDD) and time division duplex (TDD), and they have different power vs. time characteristics. The frequencies allocated to WCDMA are shown in table XII.

Mode	Frequency range
FDD up link	1920-1980MHz
FDD down link	2110-2170MHz
TDD	1900-1920MHz and 2010-2025MHz

Table VIII: Frequency bands for WCDMA Networks (FDD and TDD modes)

Handsets, FDD mode: The 60 MHz uplink band is divided in 5 MHz bands, where the power is in principle on all the time.

Timing of the power: The handset power is controlled by the base station in a closed loop power control, ensuring that the received power is at the correct and constant level. The steps of the power control are $1, 2, 3\text{ dB}$, and the frequency is 1500 Hz . Since this faster power control tends to compensate for the channel variations due to movement, the actual power variations depend on the velocity of the user and the environment. In general there will be a 1500 Hz component in the spectrum of the power variations, and a wider continuous spectrum at lower frequencies. The various power classes for user equipment for FDD are shown in table IX.

Modulation: The basic chip rate is 3.84 Mbps , which is then modulated with various spreading codes. The modulation is QPSK, which is notably different from the constant envelope signals

<i>Power class</i>	<i>Nominal maximal output power</i>	<i>Tolerance</i>
1	33 dBm, 2 W	+1 / -3 dB
2	27 dBm, 0.5 W	+1 / -3 dB
3	24 dBm, 0.25 W	+1 / -3 dB
4	21 dBm, 0.125 W	\pm 2 dB

Table IX: User equipment power classes for FDD

used in GSM. The TDMA bursting is avoided, but there is an envelope periodic modulation at the chip rate. There are repetitious, coherent phenomena in the FDD mode, namely the 100 Hz pilot tone, the 1500 Hz power-control rate, and the 3.84 MHz chip rate due to the non-constant envelope. We must then expect to see these three frequencies in the frequency spectrum of the power.

Handsets, TDD mode: The basic parameters, such as chip rate, channel spacing, frame length and modulation, are similar to FDD. The main difference is that the same frequencies are used for up and down links, thus necessitating a time separation between the two transmissions. The 15 slots per frame may be divided very asymmetrically to allow for higher data rate in one direction than the other, typically high downlink rates for downloading large files. The frame length is 10 ms , such that one slot is 0.666 ms . The power will be bursty with transmission on only a certain fraction of time, depending on the asymmetry. The basic repetition rate corresponding to the 217 Hz of GSM is 100 Hz , but the spectrum will be more complicated, since multiple, not necessarily contiguous timeslots may be applied. The average power levels will decrease depending on the number of active time slots for transmission. It will vary from -0.6 dB (13 out of 15 time slots in uplink) to -12 dB (single uplink time slot) relative to the peak power. The various classes are shown in table X, including the output power for single slot transmission.

<i>Power class</i>	<i>Nominal maximal output power (dBm)</i>	<i>Single slot transmission (dBm)</i>	<i>Tolerance (dB)</i>
1	30	18	+1 / -3
2	24	12	+1 / -3
3	21	9	\pm 2
4	10	-2	\pm 4

Table X: User equipment power classes for TDD

Base stations, FDD mode: The downlink case for transmission is complicated by the unknown traffic distribution, and also by the possible co-siting by several operators. Furthermore, a user may be exposed to several base stations at the same time. The power level at the base-station transmitters is expected to be limited to $43\text{ dBm}, 20\text{ W}$ per carrier. There may likely be one to two carriers per operator, and perhaps several operators at one site. A target power level of $10 - 15\text{ W}$ is typical for full traffic, and this includes a constant control (pilot) channel of 10%, i.e., 1 W . The power control to the individual user is similar to that above for the handsets, with a frequency of 1500 Hz . The total power to many simultaneous users will be slowly varying, due to the varying traffic.

It is well known that in most practical situations, the incident power density from a base

<i>Signal property</i>	<i>Frequency</i>
Carrier	e.g. 2 GHz
Spreading modulation	3.84 MHz
Power Control (FDD mode)	1.5 kHz
Power Control (TDD mode)	750 Hz
TDD (TDD mode)	100 Hz
DTX	variable

Table XI: Signal properties for UMTS

station transmitter is much less than the limits set by the guidelines. Nevertheless, it is the cause of much discussion, and it is prudent to quantify the response, even if it is weak. Since the exposure will be largest at close range, the line-of-sight condition may be used. Using a base station transmitter power of 20 W , a 17 dB antenna gain, and a power density of 10 W/m^2 , a safety distance of 3 m is obtained using far-field formulas (which tend to overestimate at such close distances). Such a high antenna gain would correspond to a high antenna mast or the top of a building, where it is unlikely that the public would be close to the direct line of sight. Assuming the existence of two such transmitters at the same site increases the distance to 4 m .

For micro- and pico-cell situations, it is necessary to consider the actual power levels and to estimate the proximity of users. Power control is also present in the downlink; thus, the 1500 Hz (FDD) stepping frequency is present, as is the 3.84 MHz chip rate.

Base stations, TDD mode: Power levels may be like FDD in principle for macro cells (20 W), but it is likely that TDD will be applied more in pico cells with 0.25 W output power. The TDD power bursting is similar to that of handsets with highly asymmetrical service from the download of files. This means that the average power will be close to the nominal output power. Power control in the downlink will have variable rates from 100 to approximately 750 Hz .

<i>Mode</i>	<i>Max. power (W)</i>	<i>ELF components (Hz)</i>
TDD	2	$100, 1500, 3.84 \cdot 10^6$
FDD	2	$1500, 3.84 \cdot 10^6$

Table XII: Frequency bands for Wide Band Code Division Multiple Access (WCDMA) and their associated maximal power levels and low frequency components

ELF magnetic fields: For CDMA devices current to the power amplifier will be drawn proportional to the inverse of the random propagation loss. This will result in a significant ELF magnetic field, however without any periodicity.

Application Range: The WCDMA system is designed for use in a range of environments and situations, from handheld portable use in a downtown office to a mobile user traveling at high speed on the freeway. The system supports all 2G services and in addition new broadband services such as multimedia message service, etc. It should be noted that all high speed, broadband services are limited with respect to the velocity of the user. Reliable high speed, wideband transmission will only be possible in stationary situations.

In conclusion WCDMA will introduce a variety of new low frequency components to the spectrum of transmitted electromagnetic power. Even if the power emitted from a single device is expected to be lower than those of TDMA, the number of cells and therefore the number of base stations will increase.

5.2 WLAN

A Wireless Local Area Network (WLAN) is a flexible data communications system which provides short to medium range network connectivity to a range of devices including both mobile and fixed computers, typically implemented as either an extension to, or as an alternative for, a conventional wired LAN. WLANs typically operate in one of two modes. One is the so called “Ad-Hoc Mode” where two terminals establish a peer-to-peer connection with no assistance from other infrastructure. The second is the “Infrastructure Mode” whereby an Access-Point (AP) is used to connect many terminals into a LAN, which may be an extension of a wired LAN. Infrastructure based WLANs can range in complexity and size from a single AP in an office to deployments with many overlapping cells to give blanket coverage over an entire site. This is similar to a small-scale cellular radio system using an ”always-on” packet switching interface with the access points acting as base stations. A number of WLAN systems have been standardized or are in the process of standardization by various organizations.

Air Interface: The main characteristics of the air interface are summarized in table XIII. Additional modifications and enhancements are currently being developed for IEEE802.11.

Frequency Bands: Currently, the available and planned WLAN systems operate in the ISM bands at 2.4 GHz and 5.2 GHz . The different frequency ranges are given in table XIII.

Power Classes: The power classes for the various WLAN systems are also given in table XIII.

Property	IEEE 802.11	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	HiperLAN Type 1	HiperLAN Type 2
Frequency Bands (GHz)	2.4- 2.4835	5.15-5.35, 5.47-5.725	2.4- 2.4835	2.4- 2.4835	5.15-5.35	5.15-5.35, 5.47-5.725
Max. transmit power EIRP (dBm)	20	16, 23, 29 with 6dBi	20	20	10,20,30	23, 30

Table XIII: Frequency bands and maximum transmit power for Wireless LAN described in different standards (EIRP: Equivalent Isotropically Radiated Power)

WLAN transmitters operate at a power of 0.035 W (35 mW) in the 2.4 GHz band, depending on the specific product in use and the local regulations. The IEEE 802.11b standard includes 11-13 possible frequencies. Mostly spread spectrum technology is used. Therefore only 3 frequencies can be used at the same time. However, this also implies that several access points can be simultaneously active. The carrier frequencies for LAN's are rather unexplored frequencies, from a dosimetric and biological viewpoint. WLAN includes the DECT, IEEE 802.11 standards, Hiperlan/1 and Hiperlan/2, Bluetooth, HomeRF. The frequency ranges for these standards are given in table XIII.

5.3 BAN

A Body Area Network consist of one or more Body Sensor Units (BSU's) and a central base station, the so-called Body Central Unit (BCU). The BCU is worn on the body and communicates in one direction with the Body Sensor Units or wearable devices, in addition to communicating with a fixed base station, a so-called Network Access Unit (NAU). This NAU provides access to a larger network such as a Local Area Network or something similar. The communication between the BCU and the NAU can be based on either mobile communication standards such

as DECT, Bluetooth, WLAN or UMTS. The communication between the Body Area Network components is expected to be based on the Bluetooth technology.

5.4 Ultra Wide Band (UWB)

Ultra wide band is a future concept for wireless communications that is being developed now but is still far from completion. The most modern standards of data transmission are narrow band standards: all work within a quite narrow frequency band allowing for only small deviations from the base (or carrier) frequency. Within this narrow band the transmitter emits a considerable amount of energy necessary for the following reliable reception within the designed range of distance (100 m for the 802.11b). The range is strictly defined by regulatory bodies and requires licensing. Data are encoded and transferred using the method of frequency modulation (control of deviation from the base frequency) within the described channel.

In contrast a UWB transmitter emits short pulses of a special form which distributes all the energy of the pulse within the given, quite wide, spectral range (approximately from 3 GHz to 10 GHz). Data, in their turn, are encoded with polarity and mutual positions of pulses. With much total power delivered into the air and, therefore, a long distance of the reliable reception, the UWB signal does not exceed an extremely low value (much lower than that of the narrow band signals) in each given spectrum point (i.e., in each definite licensed frequency band). As a result, according to the respective FCC regulation, such a signal becomes allowable although it also takes spectral parts used for other purposes. So, the majority of the energy of the UWB signal falls into the frequency range from 3.1 to 10.6 GHz, and the energy spectral density does not exceed the limit determined by the Part 15 of the FCC Regulations (-41 dBm/MHz). Below 3.1 GHz the signal almost disappears; its level is lower than -60 dBm . The more ideal the form of a pulse formed with the transmitter, the less the energy leaves the main range. This mode of operation allows the transmission of hundreds of Mbit.

The wide band characteristics will be of importance with respect to low level, pulsed signals that are discussed regarding possible athermal effects. There the peak power as well as the modulation is assumed to be of great importance.

5.5 Bluetooth

Bluetooth is a wireless system for the transmission of voice and data. It provides an alternative to the wires and infrared connections previously used. The data rate can be from 57 kbit/s up to 721 kbit/s, and the working range is 10 m in radius at a power of 1 mW or 100 m at a power of 100 mW. Bluetooth can support a network with up to eight participants. These short-range wireless links can be used for setting up a distributed Personal Area Network (PAN) of devices using Bluetooth to access a terminal which interfaces to the rest of the world by a LAN, WLAN or 2.5G/3G mobile communications link. This allows the main radio terminal to be placed in virtually any location on the body thus creating many possible exposure scenarios.

Bluetooth is of special interest, since it can be expected that it will be embedded in most digital devices of the future, from mobile phones to cameras, printers, household devices, and so on. There is a general trend towards low exposure from the individual device, but at the same time towards an increase in the number of devices. Another trend is towards an “always on” mode of all communication devices.

Air Interface: An FHSS transceiver is used to combat interference and fading. The modulation uses Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) with a transmitted symbol rate of 1 Ms/s. A slotted channel is applied with a nominal slot length of 625 μs . For full duplex transmission, a time division duplex (TDD) scheme is used. The channel spacing is 1 MHz.

Frequency Bands: Radio frequency operation is in the unlicensed industrial, scientific and medical (ISM) band at 2.4 to 2.48 GHz, using a spread spectrum, frequency hopping, full-duplex signal at up to 1600 hops/sec. The signal hops among 79 frequencies at 1 MHz intervals to give a high degree of interference immunity.

Power Classes: RF output is specified as 0 dBm (1 mW) in the 10 m-range version and -30 to +20 dBm (100 mW) in the longer range version. The equipment is classified into three power classes, 1 to 3, as defined in table XIV. Power control is required for Class 1 equipment. The power control is used for limiting the transmitted power over 0 dBm. Power control capability under 0 dBm is optional and could be used for optimizing the power consumption and overall interference level.

<i>Power class</i>	<i>Maximum output power (dBm)</i>	<i>Minimum output power (dBm)</i>
1	20	0
2	4	-6
3	0	N/A

Table XIV: Bluetooth power classes

5.6 Implants

With respect to implants, two main principles of operation can be distinguished. The first principle includes implants based on inductive coupling that can be used for “tagging-like” applications. In the second application range, implants only radiating messages to the outside world are considered. The frequency range of operation will usually be in the low frequency range, where the path-loss will be low due to the dielectric properties of the tissue.

Inductive Coupled Implants: These devices work, depending on the implementation, in the frequency range between a few kHz up to 50 MHz. For inductive coupling the main power is used for energizing the implant, whereas for the communication only very low power is needed. The total power is in the range of 100 mW. Regulations exist for the maximum power density allowed in order to avoid hazards. In the ANSI/IEEE C95.1 standard the maximum power density is limited to 10 mW/cm².

There are examples of successfully applied implants such as “cochlear implants” or “brain implants”. In the case of a cochlear implant the device operates using an external exciter that is held directly above the implant module by magnetic location of an RF coil energized at 2.5 MHz to power the implant and to transfer signals to it. An external microphone and sound analyzer provides the necessary acoustic reception, amplification and spectral analysis necessary to drive the implant.

Implants Sending RF: These devices work in the same frequency range as those mentioned above. The main difference is that the power used for operation is alternatively supplied. One typical application is a device monitoring a physiological parameter from time to time and sending a warning signal or a short pulse sequence to a receiver placed outside the body or to a band-aid with an integrated receiver/transmitter which activates further processes.

One rather unusual method of power supply was developed in connection with brain implants for severely disabled people. Using these brain implants, these people were able to control the cursor on a computer screen just by thinking about moving parts of their body. Each implant consists of a hollow glass cone of about the size of a ball-point pen tip. The cones are laced with

neurotrophic chemicals extracted from the patient's own knees which encourage nerve growth. Over several months, the implant becomes naturally 'wired' into the patient's brain as neurones grow into the cones and attach themselves to the electrodes mounted inside. When the person thinks of an action which would normally occur through the nervous system, it is transmitted from the electrode to the computer. An FM transmitter under the scalp transmits the signal without wires, and power induction means no batteries are needed. The signal is transmitted out, processed and then fed back to the patient, so that he/she can hear the activity, and also see the cursor move (biofeedback).

These examples show possible developments in this field. The relevant parameters are the method used for power supply, the depth of the device in the body (subcutaneous or deeper), the type of antenna and the power needed for communication. Depending on the application, either a continuous signal acts on a device for energizing and sending data to it, or the device collects data at given time intervals and sends a short signal to the outside world if a certain level is over- or under-run.

6 Exposure Scenarios of Pervasive Computing

The increasing number of users and the limited spectrum available forces the deployment of smaller and smaller cell sizes, which means proximity to many base stations as well. The overall illumination of the general public will not grow proportionally, since the output power will tend to decrease [5]. The 2G digital systems are dominated globally by GSM, a TDMA system with a characteristic bursty nature of its power. This has given rise to some fears in the bioelectromagnetics community about possible low-frequency effects, since the burst frequency is 217 Hz. For many years to come, millions of people will continue to use basic GSM. Further studies for providing the rationale for selecting the functions and parameters for simulating the environmental EMF exposures which occur during usage of a GSM handset show a wide range of occurring low frequency components [34]. The data is based on recordings along routes in Paris and its vicinity of the power control level for different situations [44]. The simulations include statistics about handover, environment events, target level change, power ramp, DTX and nonDTX. Extrapolation of these findings to new technologies for wireless communication and broadcasting imply an increase of power in the low-frequency components with several distinct spectral peaks within everyday exposure. Recent studies have confirmed the hypotheses about modulation related effects [21].

For exposure from UE the key issues in the transition from 2G to 2.5G and 3G are:

1. Different frequencies and power levels from the mobile transmitter
2. The new services that will be delivered over 2.5G/3G will lead to different types of devices with new form factors and usage
3. The Man-Machine Interface will become divorced from the radio transmitter using a PAN for communication; the main communication device can then potentially be placed at many different places on the body

Addressing the frequencies of operation and power levels is fairly straightforward, though if multiple radio systems can be used simultaneously, these will need to be accounted for in the exposure assessment. For example, the core communications device may contain both a GSM or UMTS together with a Bluetooth transceiver, both of which could be operating at full power

during a two way video call which is being made from an external device via the Bluetooth link. The new device formats are important, since they determine the location and type of antenna system on the device. This could include the use of diversity/smart antenna systems on larger devices and will certainly mean the use of wideband/multi-band or multiple antenna systems to support different radio communication services. The services will also dictate the way in which the devices will be used, in particular the relative location of the device(s) on the body. For example, a videophone will need to be held in front of the face, assuming the screen and camera are integrated into the device. This will limit the exposure of the body. The separation of the main communications system from the MMI is perhaps the most significant change, though this has already happened in 2G to some extent due to the increased use of Hands Free Kits (HFK) in general (i.e., non-vehicle) use. The main transmitter could then be located anywhere within a few meters of the body; voice control or other peripheral may be used, and it is not necessary to use controls on the main handset to use a service. The exact location of the major source of RF exposure from the terminal is then much more difficult to specify but could reasonably be one of the following:

1. Trouser/skirt pocket
2. Pocket of a jacket, shirt, blouse or other garment
3. Carried in the hand
4. Attached to a belt around the waist
5. Held/laid in lap or on a leg when seated
6. On a table top away from the body

This means that many other parts of the body could be in close proximity to the handset antenna and therefore exposed to RF radiation. For the case of a wired HFK the cable may also need to be considered as part of the antenna system when assessing exposure. Increasingly, the HFK is likely to become a wireless peripheral using a short-range radio link such as Bluetooth to communicate with the handset (such devices are already available for 2.5G mobile phones). The implications are the same as for the wired HFK. The main transmitter is now elsewhere on (or off) the body, though now there are two additional transmitters involved in the scenario, one on the headset and one on the main terminal, albeit at lower power levels. Similar considerations apply to the use of other peripheral devices in a PAN. The higher data rates achievable with third generation terminals will increase the use of wireless data modems. These modems, or data terminals, are likely to be used with laptop and palmtop computers and other multimedia devices and could either be integrated into the computer or connected externally. This allows the possibility of the data terminal antenna to be close to many different parts of the body during transmission. While the exposure levels of members of the public from base station radiation is typically much lower than that from handheld terminals, some consideration needs to be given to the likely exposure scenarios from the increased use of smaller cells. Note that the base stations used for micro- and pico-cells will have much lower power than those used for macro-cells. However, they are likely to be mounted in more accessible locations, for example lampposts / building walls, and may employ new technologies such as smart antennas.

6.1 Implants

For the case of sources located in the body, no guidelines or standard has yet been defined. For inductive coupling safety standards with respect to power density exist. The main exposure will arise from the loop antenna located near to or on the skin. This will cause significant absorption. If the source is located in the body there will be local heating. This case has to be assessed scientifically in order to deliver reliable estimates on the absorption behavior of such devices.

6.2 On-Body Transmitters or Close Near-Field Exposures

The exposure corresponding to sources located near to and on the body has to be assessed for every single case separately. There is no general way of quantifying the exposure arising from near- or on-body devices. In [32] the energy absorption mechanism by biological bodies in the near field of dipole antennas above 300 MHz is systematically assessed. An approximation formula is derived showing that the spatial peak SAR (the amount of absorbed power averaged over a given mass of tissue) is quadratically proportional to the antenna current and the distance between the feedpoint of the antenna and the biological body. This has been rigorously assessed numerically and by measurements. The results are generalized for any antenna and for any shape of the biological body. What is shown is also the necessary accuracy of both the numerical and measurement method in order to be able to deliver reliable results on near-field effects. Depending on the design of the device, in addition to the direct coupling from the antenna current there is also the possibility of coupling from surface currents caused by mismatched impedances. Therefore standardized procedures for assessing the absorption in biological bodies caused by wireless devices have been elaborated or are currently being elaborated [4]. In these standards the measurement problems associated with radio frequency hazard assessment is treated in more detail. In general it has to be pointed out that reactive RF field components couple to the body as efficiently as radiating components.

6.3 Intermediate Near-Field

If the body is in the intermediate near-field of a transmitter, larger regions of the body are irradiated. The main components coupling to the body are the radiating ones resulting in a more far-field like behavior and therefore in generally lower absorption.

6.4 Far-Field

The far-field region corresponds to the region of the field of an antenna where the angular field distribution is essentially independent of the distance from the antenna. In this region, the field has a predominantly plane-wave character, i.e., locally uniform distribution of electric field strength and magnetic field strength in planes transverse to the direction of propagation. In this case the safety limits are defined over the field strength occurring around objects. However, there is not necessarily a direct dependence between the absorbed power by a biological body and its surrounding field strength. Dependence also exists on the polarization and the specific exposure situation. Therefore, public exposure is normally described by a limiting field strength for which a certain level of absorption is not exceeded for all possible cases [25].

6.5 Exposures from Reradiating Structures

Reradiating structures can result in strongly enhanced incident field components, e.g., in the vicinity of metallic structures or standing wave patterns in closed rooms. However, it can be

shown that these strong incident fields do not translate into high induced fields or SAR levels, e.g., [40], [29], and therefore pose no additional health risk. On the other hand, active transmitters might be rather sensitive to scattered fields and might require additional considerations.

7 Scientific Gaps for Risk Assessments

Based on the previously outlined aspects of technologies and exposure scenarios, the following scientific gaps for a full risk assessment for pervasive computing can be identified:

- procedures for assessing the exposure of body-mounted applications other than mobile phones operated next to the ear
- procedures for determining ELF exposures
- safety guidelines for highly local exposures as occurring from implants and skin-mounted devices
- a complimentary research program for risk assessments of 3G exposures
- systematic evaluation of the biological response caused by exposure from more general amplitude modulation schemes covering the possible range of pervasive computing technologies

It has to be pointed out that at the current time only a preliminary assessment of future exposure with respect to possible health impacts can be given. Therefore it is obvious that a considerable research effort is still needed before a thorough scientifically-based risk assessment of pervasive computing can be conducted.

8 Conclusions

An overview of the current safety standards as well as of their limitations has been provided. Compliance with current safety guidelines is necessary to protect the general population from adverse thermal effects. Current safety guidelines do not include the possible athermal effects occurring at low doses of absorbed energy. Examples of current research demonstrate the difficulties of conducting a complete health risk assessment, which includes the possible athermal effects. Another unresolved issue is possible long-term effects, which has not yet been intensively investigated. It is also questionable whether the current standards are suitable to evaluate wireless implants.

The technology used for future developments within the field of pervasive computing has been discussed with respect to power and modulation characteristics. Differences between current technologies and future technologies have been identified. In general, pervasive computing applications will result in significant spatial peak time-averaged exposure levels in various relevant tissues ($0.01 - 2 \text{ W/kg}$) which are orders of magnitude above those induced by traditional broadcast systems and exposure from base stations. The exposure levels are close to the safety limits recommended by the guidelines. For systems utilizing in-body communications or implants, local tissue exposures can well exceed 100 W/kg . Special attention must be placed on the induced peak exposure levels when discussing potential athermal effects.

Pervasive computing applications will also result in exposures with significant ELF components from the amplitude modulation spectrum. The spectrum will depend on the technology

utilized as well as on the implementation. Little to no data are currently available to assess the potential health hazards, and none of the currently conducted studies will be able to provide a sufficient scientific basis.

With respect to future exposure scenarios one major change can be seen in the variance of the exposed tissue types. Little is known about high-level local tissue exposure other than for head tissues. The currently collected epidemiological data will not enable any risk assessment other than for head exposures. More relevant knowledge can be expected from the currently conducted high-exposure whole-body animal studies performed within the European 5th Framework.

With respect to ELF it can be stated that stronger local exposures from ELF can occur through body-mounted high power pulsed systems. Other systems do not result in exposures significantly different than those from other household appliances.

Current research activities will result in 2006 in a considerable database regarding GSM exposure, as well as the results of replication studies. The analysis will show which issues can definitely be answered and which will require additional efforts. However, it is obvious that the currently conducted research will not provide the required data for the risk analysis of 3G and pervasive computing applications.

The identified knowledge gaps show the need for a considerable research effort before a thorough scientifically based risk assessment of pervasive computing can be conducted. Although the cumulated data do not support the hypothesis of a high individual risk, a thorough analysis is justified in view of the enormous population penetration.

9 Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the support of Dr. Q. Balzano and the review of the technology section of Dr. U. Lott.

References

- [1] Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields', Technical Report OET Bulletin 65. Technical report, Federal Communications Commission (FCC), Washington, D.C., 1997.
- [2] prES 59005, CLC/TC211 (SEC) 17, Considerations for evaluation of human exposure to electromagnetic fields (EMFs) from mobile telecommunications equipment (MTE) in the frequency range 30 MHz - 6 GHz. Technical report, CENELEC, Brussels, March 1998.
- [3] Mobilfunk-Basisstationen GSM, Messempfehlung. Technical report, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2002.
- [4] Recommended Practice for Measurements and Computations with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 100kHz to 300GHz (IEEE Standard C95.3). 2002.
- [5] J. B. Andersen, P. E. Morgensen, and G. F. Pedersen. Exposure Aspects of W-CDMA. Technical report, GSM Association, December 2001.
- [6] J. B. Andersen and G. F. Pedersen. The technology of mobile telephone systems relevant for risk assessment. *Radiation Protection Dosimetry*, 82(3-4):249–257, 1997.

- [7] L. Anderson, G. A. Boorman, J. E. Morris, L. B. Sasser, P. C. Mann, S. L. Grumbein, J. R. Hailey, A. McNally, R. C. Sills, and J. K. Haseman. Effect of 13 week magnetic field exposures on DMBA-initiated mammary gland carcinomas in female Sprague-Dawley rats. *Carcinogenesis*, 20(8):1615–1620, 1999.
- [8] L. E. Anderson, J. E. Morris, L. B. Sasser, and W. Löscher. Effects of 50- or 60-hertz, 100 microT magnetic field exposure in the DMBA mammary cancer model in Sprague-Dawley rats: possible explanations for different results from two laboratories. *Environmental Health Perspectives*, 108(9):797–802, 2000.
- [9] ANSI. *ANSI/IEEE C95.1-1992: IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY 10017, 1992.
- [10] ANSI C95.1-1982 . *American National Standard Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 300 kHz to 100 GHz*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY 10017, 1982.
- [11] G. A. Boorman, L. Anderson, J. E. Morris, L. B. Sasser, P. C. Mann, S. L. Grumbein, J. R. Hailey, A. McNally, R. C. Sills, and J. K. Haseman. Effect of 26 week magnetic field exposures on DMBA initiation-promotion mammary gland model in female Sprague-Dawley rats. *Carcinogenesis*, 20(5):899–904, 1999.
- [12] P. Brown. Energy metabolism. In T.L. Ruch and H.D. Patton, editors, *Physiology and Biophysics*. Saunder, Philadelphia, 1973.
- [13] M. Burkhardt and N. Kuster. Review of exposure assessment for handheld mobile communications devices and antenna studies for optimized performance. in *W.R. Stone (editor), "Review of Radio Science 1996-1999"*, 1999.
- [14] CENELEC CLC/TC111B. *European Prestandard (prENV 50166-2), Human Exposure to Electromagnetic Fields High-Frequency : 10 kHz - 300 GHz*. CENELEC, Brussels, January 1995.
- [15] Jin-Yuan Chen and Om P. Gandhi. RF currents induced in an anatomically-based model of a human for plane-wave exposures (20–100 MHz). *Health Physics*, 57:89–98, 1989.
- [16] V. T. Covello and M.W. Merkhofer. *Risk assessment methods: Approaches for assessing health and environmental risks*. Plenum Press, New York, 1993.
- [17] Nicola Edelstyn and Anna Oldershaw. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *NeuroReport*, 13(1):119–121, 2002.
- [18] M. Fedrowitz and W. Löscher. Effects of magnetic field exposure in the DMBA model of breast cancer in different substrains of Sprague-Dawley rats. In *24th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, pages 30–31, Quebec, Canada, June 2002.
- [19] M. Fedrowitz, J. Westermann, and W. Löscher. Magnetic field exposure increases cell proliferation but does not affect melatonin levels in the mammary gland of female Sprague-Dawley rats. *Cancer Research*, 62:1356–1363, March 2002.
- [20] Fortune. The future of internet. *Fortune, Fall 2000 Special Issue*, pages 250–273, October 2000.

- [21] R. Huber, V. Treyer, A.A. Borbély, J. Schuderer, J.M. Gottselig, H.-P. Landolt, E. Werth, T. Berthold, N. Kuster, A. Buck, and P. Achermann. Pulsed electromagnetic fields as emitted by mobile phones affect regional cerebral blood flow and sleep EEG. *Journal of Sleep Research*, 2002. accepted.
- [22] Reto Huber, Thomas Graf, Kimberly A. Cote, Lutz Wittmann, Eva Gallmann, Daniel Matter, Jürgen Schuderer, Niels Kuster, Alexander A. Borbély, and Peter Achermann. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *NeuroReport*, 11(15):3321–3325, October 2000.
- [23] Reto Huber, Jürgen Schuderer, Thomas Graf, Alexander A. Borbély, Niels Kuster, and Peter Achermann. Exposure to pulsed 900 MHz electromagnetic fields affects sleep, sleep electroencephalogram and heart rate. *Bioelectromagnetics*, 2002. submitted.
- [24] Reto Huber, Jürgen Schuderer, Thomas Graf, Kathrin Jütz, Alexander A. Borbély, Niels Kuster, and Peter Achermann. Effects of two different sar distributions (GSM-like signal) on sleep, sleep electroencephalogram and heart rate. *Bioelectromagnetics*, 2002. accepted.
- [25] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, 74:494–522, 1998.
- [26] IEEE. *IEEE C95.3-1992: Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY 10017, 1992.
- [27] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, 74(4):1–32, April 1998.
- [28] D.R. Justesen. Behavioral and psychological effects of microwave radiation. *Bull. N.Y. Acad. Med.*, 55:1058–1078, 1979.
- [29] A. Kramer, J. Fröhlich, and N. Kuster. Towards danger of mobile phones in planes, trains, cars and elevators. *Journal of the Physical Society of Japan*, 71(12):3100, 2002.
- [30] N. Kuster, Q. Balzano, and J.C. Lin. *Mobile Communications Safety*. Chapman & Hall, London, 1997.
- [31] N. Kuster, R. Kästle, and T. Schmid. Dosimetric evaluation of handheld mobile communications equipment with known precision. *IEICE Transactions on Communication*, E-80-B(5):645–652, 1997.
- [32] Niels Kuster and Quirino Balzano. Energy absorption mechanism by biological bodies in the near field of dipole antennas above 300 MHz. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 41(1):17–23, February 1992.
- [33] D. Leszczynski, S. Joenväärä, J. Reivinen, and R. Kuokka. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation*, 70:120–129, 2002.

- [34] R. Mertens, W. Kainz, and N. Kuster. Proposal for Simulating Environmental GSM Exposures for the PERFORM and Reflex Projects. Technical report, Foundation for Research on Information Technologies in Society (IT'IS), September 2001.
- [35] G. F. Pedersen and J. B. Andersen. RF and ELF Exposure from Cellular Phone Handsets: TDMA and CDMA systems. *Radiation Protection Dosimetry*, 83(1-2):131–138, 1999.
- [36] M. H. Repacholi. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics*, 19:1–19, 1998.
- [37] T. Schmid, K. Poković, and N. Kuster. Uncertainty budget for compliance testing with safety limits. Technical report, SCC-34 (SC2) and WGMTE (CENELEC), 1998.
- [38] Frank J. Schönborn. *Risk Assessment to EMF Exposure by Mobile Phones: Optimization of RF Exposure Setups*. PhD thesis, Diss. ETH Nr. 13839, Zurich, 2000.
- [39] S. Thun-Battersby, M. Mevissen, and W. Löscher. Exposure of Sprague-Dawley Rats to a 50-Hertz, 100-micro Tesla Magnetic Field for 27 Weeks Facilitates Mammary Tumorigenesis in the 7,12-Dimethylbenz[a]-anthracene Model of Breast Cancer. *Cancer Research*, 59:3627–3633, 1999.
- [40] A. Toropainen. Human exposure by mobile phones in enclosed areas. *Bioelectromagnetics*, 24:63–65, January 2002.
- [41] TTC/MPT. *Protection guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic waves*. A report of Telecommunications Technology Council for the Ministry of Posts and Telecommunications, Deliberation No. 38, Deliberation No. 38, 1990.
- [42] M. J. Van-Zwieten, C. J. Shellabarger, C. F. Hollander, D. V. Cramer, J. P. Stone, S. Holtzman, and J. J. Broerse. Differences in DMBA-induced mammary neoplastic responses in two lines of Sprague-Dawley rats. *European Journal of Cancer & Clinical Oncology*, 20(9):1199–1204, 1984.
- [43] W.I. Way, H. Kritikos, and H. Schwan. Thermoregulatory physiologic responses in the human body exposed to microwave radiation. *Bioelectromagnetics*, (2):341–356, 1981.
- [44] J. Wiart, C. Dale, A. V. Dosisio, and A. Le Corne. Analysis of the influence of the Power Control and Discontinuous Transmission on RF Exposure with GSM Mobile Phones. *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, 42(4):376–385, 2001.