

# Die Informatisierung des Alltags

Friedemann Mattern (Hrsg.)

# Die Informatisierung des Alltags

Leben in smarten Umgebungen

Mit 93 Abbildungen

Professor Dr. Friedemann Mattern  
Department of Computer Science  
Institute for Pervasive Computing  
ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology)  
CH-8092 Zurich  
Switzerland  
mattern@inf.ethz.ch

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen  
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-540-71454-5 Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media  
[springer.de](http://springer.de)

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Text und Abbildungen wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet. Verlag und Autor können jedoch für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Satz: Druckfertige Daten der Autoren  
Herstellung: LE-TeX, Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig  
Umschlaggestaltung: KünkelLopka Werbeagentur, Heidelberg  
Gedruckt auf säurefreiem Papier 33/3142 YL - 5 4 3 2 1 0

## Vorwort

Computer sind bereits in viele Bereiche unseres Lebens vorgestoßen, doch in Zukunft werden sie unseren Alltag noch weitaus intensiver durchdringen als bisher. Denn hält der seit langem zu beobachtende Trend der Informationstechnologie weiter an – mit immer noch kleineren, billigeren, leistungsfähigeren und energiebewussteren Prozessoren, Datenspeichern und Kommunikationseinheiten –, dann steht uns bald eine neue Epoche des Informationszeitalters bevor: Die Welt wird geradezu durchsetzt sein von unsichtbaren und zugleich allgegenwärtigen Computersystemen, die dank kommunizierender Sensoren die Umgebung erfassen und interpretieren. Damit würden sich auch unsere Möglichkeiten, die Welt zu erfahren und mit ihr umzugehen, in drastischer Weise erweitern.

Multimediafähige Handys, Chips in Kreditkarten und Ausweispapieren sowie Funketiketten auf RFID-Basis sind wohl nur die ersten Vorboten des „Ubiquitous“ oder „Pervasive Computing“ – Begriffe, die die nächste Generation von Informationstechnologien bezeichnen, welche mit alltäglichen Arbeitsumgebungen verschmelzen, in Gebrauchsgegenstände integriert sind und Lebensräume realisieren, die „intelligent“ auf die Gegenwart des Menschen, seine Gewohnheiten und seine jeweilige Situation reagieren. Damit werden Computer auch quasi unsichtbar: Ihre Funktion materialisiert sich nicht mehr in speziellen Geräten, sondern wird gebildet durch die Summe miteinander vernetzter Gegenstände, Fahrzeuge, Arbeits- und Wohnräume oder sogar Kleidungsstücke. Indem Informationstechnologie in Dinge und Räume eindringt, reichert sie Artefakte um nützliche Zusatzfunktionalität an und realisiert so eine den Menschen unterstützende Hintergrundassistentz, die proaktiv und kontextbezogen agiert.

Die zunehmende Informatisierung des Alltags ist allerdings ein schleichender Prozess, den wir kaum wahrnehmen. Tatsächlich interagieren wir bereits heute, im Zeitalter von Mobiltelefonen, computergesteuerten Haushaltsgeräten, „smarten“ Fahrzeugen und digitaler Unterhaltungselektronik, täglich mit Hunderten von Computern, ohne dass wir uns dieser Tatsache wirklich bewusst sind: Wir fahren Auto, waschen Wäsche, machen Kaffee, verwenden Aufzüge, hören Musik oder telefonieren; und jedes Mal nutzen wir dabei „versteckte“ Computersysteme, die uns diese Tätigkeiten bequemer und sicherer durchführen lassen als früher.

Da die zugrunde liegenden Trends weiter anhalten, betreffen die durch die Informationstechnologie induzierten Veränderungen immer größere Teilbereiche des täglichen Lebens. Die langfristigen Konsequenzen sind indes noch nicht klar abzusehen. Welchen Effekt könnten etwa Alltagsdinge haben, die aufmerksam sind, über ein Gedächtnis verfügen und miteinander kooperieren? Werden wir alles Verlorene – einschließlich entlaufener Katzen, vermisster Kinder und abtrünniger Ehepartner – wiederfinden, weil schlaue Dinge wissen und verraten, wo sie sind? Und wird die Welt gerechter – oder vielleicht nur komplizierter und anstrengender –, wenn Dienstleistungen viel genauer als bisher abgerechnet werden können?

Offenbar handelt es sich bei der Informatisierung des Alltags um einen mächtigen, aber ambivalenten Techniktrend. Die Einen sehen darin die Lösung zahlrei-

cher Probleme: Logistikketten werden optimiert, der Verkehr wird durch intelligente Autos, Straßen und Züge gefahrloser, ressourcenschonender und stressfreier; die Umwelt wird entlastet; Behinderte gewinnen an Lebensqualität; chronisch Kranke und Senioren können aus der Ferne betreut werden; Kinder leben sicherer und Eltern sorgenfreier. Andere dagegen erheben warnend den Zeigefinger: Die Privatsphäre gerate durch die zunehmend lückenlosere Überwachung in Gefahr; der Mensch könnte entmündigt werden, wenn selbst die einfachsten Entscheidungen von Systemen mit „Ambient Intelligence“ getroffen würden; und eine Gesellschaft, die sich immer mehr von der korrekten Funktionsweise der Computer abhängig mache, würde im Chaos versinken, wenn diese ihre Dienste verweigerten.

Bei derart unterschiedlichen Erwartungen, Befürchtungen und Prognosen zu unserer Zukunft bleibt offen, wo auf dem fraktalen Grat zwischen Hölle und Paradies ein Leben in smarten Umgebungen anzusiedeln ist. Um so deutlicher wird allerdings, dass die Informatisierung des Alltags nicht nur eine kolossale technische Herausforderung darstellt, sondern vor allem auch ernst zu nehmende gesellschaftliche, wirtschaftliche und rechtliche Fragestellungen aufwirft.

Diesen spannenden Herausforderungen und Fragen widmen sich die 18 Beiträge in diesem Band. Sie behandeln ein breites Themenspektrum: Von den Visionen und Technologien über die wirtschaftlichen Auswirkungen bis hin zu den gesellschaftlichen Konsequenzen. Den Anstoß zu diesem Buch gab das von der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung über mehrere Jahre geförderte Forschungskolleg *Leben in einer smarten Umgebung – Auswirkungen des Ubiquitous Computing*, in dem sich eine interdisziplinäre Gruppe von Wissenschaftlern zur Untersuchung dieser Aspekte zusammengefunden hatte. Anlässlich des Symposiums *Der Computer im 21. Jahrhundert – Die Informatisierung des Alltags: Perspektiven, Technologien, Auswirkungen*, das im Rahmen der 150-Jahr-Feierlichkeiten der ETH Zürich veranstaltet wurde, konnten die Resultate zusammengetragen und diskutiert werden. Der vorliegende Band enthält jedoch nicht nur die sorgsam ausgearbeiteten und ergänzten Symposiumsbeiträge, sondern zudem auch weitere eigens erstellte und ausgewählte Aufsätze anerkannter Experten. Das Buch stellt damit einen aktuellen Querschnitt zu den Ansichten und Erkenntnissen dieses wichtigen Gebietes dar.

Wir hoffen, mit diesem Buch sowohl umfassend und sachgerecht informieren zu können, als auch zu einer ausgewogenen Diskussion von Chancen und Risiken der zunehmenden Alltagsinformatisierung beitragen zu können. Neben den Autorinnen und Autoren der einzelnen Beiträge gilt unser Dank auch Herrn Christof Roduner für die Aufbereitung der Manuskripte. Wir danken ferner dem Springer-Verlag für die angenehme Zusammenarbeit bei der Herausgabe des Buches.

*Im Mai 2007*

*Rainer Dietrich, Gisbert Frhr. zu Putlitz, Diethard Schade*  
Vorstand der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung

*Friedemann Mattern*  
ETH Zürich

# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Visionen .....</b>	<b>1</b>
<b>Pervasive Computing: connected &gt; aware &gt; smart .....</b>	<b>3</b>
<i>Alois Ferscha</i>	
<b>Acht Thesen zur Informatisierung des Alltags .....</b>	<b>11</b>
<i>Friedemann Mattern</i>	
<b>Smarte Umgebungen – Vision, Chancen und Herausforderungen .....</b>	<b>17</b>
<i>Steve Wright, Alan Steventon</i>	
<b>II. Technologien .....</b>	<b>39</b>
<b>Drahtlose Sensornetze – Fenster zur Realwelt .....</b>	<b>41</b>
<i>Jörg Hähner, Christian Becker, Pedro José Marrón, Kurt Rothermel</i>	
<b>Prozessoren in Prozessen: Hardware und Dienste für allgegenwärtiges Rechnen .....</b>	<b>61</b>
<i>Dirk Timmermann, Michael Beigl, Matthias Handy</i>	
<b>Eingebettete Interaktion – Symbiose von Mensch und Information .....</b>	<b>77</b>
<i>Albrecht Schmidt</i>	
<b>Kleidsamer Gesundheitsassistent – Computer am Körper, im Körper .....</b>	<b>103</b>
<i>Gerhard Tröster</i>	
<b>Sicherheit im Ubiquitous Computing: Schutz durch Gebote? .....</b>	<b>127</b>
<i>Günter Müller, Rafael Accorsi, Sebastian Höhn, Martin Kähler, Moritz Strasser</i>	
<b>III. Wirtschaftliche Bedeutung .....</b>	<b>143</b>
<b>Messen und Managen – Bedeutung des Ubiquitous Computing für die Wirtschaft .....</b>	<b>145</b>
<i>Elgar Fleisch, Florian Michahelles</i>	

**Unternehmen und Märkte in einer Welt allgegenwärtiger Computer:  
Das Beispiel der Kfz-Versicherer** ..... 161  
*Lilia Filipova, Peter Welzel*

**IV. Gesellschaftliche Auswirkungen** ..... 185

**Risiken und Nebenwirkungen der Informatisierung des Alltags** ..... 187  
*Lorenz M. Hilty*

**Datenschutz, Privatsphäre und Identität in intelligenten Umgebungen:  
Eine Szenarioanalyse** ..... 207  
*Michael Friedewald, Ralf Lindner*

**Gibt es in einer total informatisierten Welt noch eine Privatsphäre?** .... 233  
*Marc Langheinrich*

**Informationelle Selbstbestimmung in der Welt des Ubiquitous  
Computing** ..... 265  
*Alexander Roßnagel*

**Datenschutzvorsorge gegenüber den Risiken der RFID-Technologie** .... 291  
*Jürgen Müller*

**Technologiepaternalismus – Soziale Auswirkungen des Ubiquitous  
Computing jenseits von Privatsphäre** ..... 311  
*Sarah Spiekermann, Frank Pallas*

**V. Reflexionen** ..... 327

**Wohin verschwindet der Computer? Ein kontroverser E-Mail-  
Wechsel** ..... 329  
*Vlad Coroama, Matthias Handy*

**Hundert Jahre Zukunft – Visionen zum Computer- und  
Informationszeitalter** ..... 351  
*Friedemann Mattern*

# **I. Visionen**

# Pervasive Computing: connected > aware > smart

Alois Ferscha

Institut für Pervasive Computing, Johannes-Kepler-Universität Linz

*The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.*  
Mark Weiser

**Kurzfassung.** Eine neue Epoche des Informationszeitalters steht uns bevor: Die Welt wird in absehbarer Zukunft von unsichtbaren und zugleich allgegenwärtigen Computersystemen durchsetzt sein, die dank kommunizierender Sensoren die Umwelt erfassen und selbständige Aktionen ausführen. Das erste Quantum in dieser Epoche, „die Vernetzung aller Dinge“ („Connectedness“) ist aus technologischer Sicht bereits weit fortgeschritten. Als Herausforderung bleibt die „Awareness“ – das gegenseitige Einander-Bewusstmachen von Menschen und Dingen, bzw. von vernetzten Dingen untereinander – und in der Folge die „Smartness“, das unsichtbare, unaufdringliche, intelligente Handeln vernetzter Dinge. Die radikale Verdrängung von Computertechnologie in den Hintergrund, eingebettet und versteckt in Alltagsgegenständen sowie zur Übernahme von Routinetätigkeit kultiviert, wahrt die Hoffnung auf Rückeroberung „menschlicher Lebensstile“ durch Pervasive Computing – zumindest aus technologischer Sicht.

## Die neue Informatik

Der sich in den letzten Jahren aus der Integration traditioneller Informatik-Kernfächer herausbildende Begriff des „Pervasive Computing“ bezeichnet die nächste Generation innovativer Informationstechnologien, die mit alltäglichen Arbeitsumgebungen verschmelzen, in Gebrauchsgegenstände unsichtbar integriert sind bzw. Lebensräume realisieren, die intelligent auf die Gegenwart des Menschen und seine Gewohnheiten, Absichten und Emotionen reagieren. Die technologischen Grundlagen für diese Gebiete bilden eingebettete Systeme, verteilte und Echtzeit-Systeme, drahtlose Kommunikationssysteme, Sensor-/Aktuatorssysteme, Multimedia, Informationslogistik und insbesondere Mobile Computing [Sat01].

Pervasive-Computing-Technologien werden die traditionellen Informationstechnologien (wie etwa das Desktop-Computing) durch die Bereitstellung kleins-

---

Eine frühere Version dieses Beitrags erschien im Tagungsband der Academia Engelberg, 2<sup>nd</sup> Dialogue on Science.

ter, eingebetteter, spontan vernetzter und drahtlos kommunizierender Systeme, die inputseitig nicht mehr nur über klassische Technologien (Tastatur und Bildschirm), sondern über Sensoren, bzw. outputseitig über Aktuatoren betrieben werden, radikal verändern. Sowohl die Trends in den Forschungsausrichtungen wie auch industrielle und wirtschaftliche Innovationsbarometer zeigen eindeutig in die Richtung der Bereitstellung einer „ubiquitären Umgebungszintelligenz“ als die nächste Herausforderung der Informations- und Kommunikationstechnologien [BCLM03].

## Einbettung und drahtlose Kommunikation

Kaum ein Bereich in der Informatik hat über die letzten Jahre signifikantere Innovationsschübe bewirkt und Technologiepotenziale hervorgebracht als der der verteilten, eingebetteten, mobilen, multimedialen, interaktiven und allgemein zugänglichen Mehrbenutzersysteme, und kein anderer Bereich stellt heute höhere Integrationsanforderungen an die verschiedenen tradierten Informatik-Kernfächer als dieser. Waren es bisher wohl-abgegrenzte Einzelprozessorsysteme (PCs, Workstations), mit denen der Benutzer über Tastatur und Monitor bei relativ geringen Anforderungen an das zeitliche Systemverhalten interagierte, so sind es heute zunehmend eingebettete, drahtlos vernetzte informationsverarbeitende Systeme, also Hardware-/Softwaresysteme, die inputseitig neben oder anstatt klassischer Inputgeräte über Sensoren (hauptsächlich elektronische, aber auch optische, akustische, magnetische, chemische, biometrische, physiognomische etc.) und outputseitig über Aktuatoren (Mikrocontroller, Multimedia-Emitter, Überwachungs- und Steuerungseinheiten, Motoren etc.) in eine Informationsverarbeitungsumgebung „eingebettet“ sind. Sie nehmen Signale unterschiedlicher Medientypen auf, verarbeiten diese – oft unter Einhaltung strenger Zeitvorgaben – und beeinflussen oder kontrollieren ihre Umgebung entsprechend. An die Stelle der Ausführung einer Berechnungsaufgabe eines herkömmlichen „Programms“ treten bei eingebetteten Systemen zunehmend Überwachungs-, Steuerungs- oder Regelungsaufgaben. Durch die Verarbeitung wird nicht vordergründig eine Input-Datenmenge in Output-Daten transformiert, sondern eine Menge von Eingabeereignissen (deren zeitliches Auftreten oft nicht vorhersehbar ist) in Ausgabeereignisse umgesetzt.

Gerade im Lichte neuer Informationstechnologien wie der drahtlosen Kommunikation (basierend etwa auf Ultraschall-, Infrarot- oder Richtfunktechnologien), neuer optischer, akustischer, biometrischer und (traditionell) elektromagnetischer Sensoren, innovativer Outputtechnologien und extrem hoher Packungsdichten elektronischer Schaltkreise werden die Potenziale eingebetteter Informationssysteme wissenschaftlich wie wirtschaftlich fast täglich höher bewertet. Weiter ausgedehnt wird das Spektrum technologischer Machbarkeit durch Spezialisierung (ASICs, PLDs und FPLDs, Custom-ICs, Gate Arrays etc.) und Miniaturisierung (Submicrontechnologien) im Mikroprozessorbau, der digitalen Signalverarbeitung bzw. einer breiten Verfügbarkeit ausgereifter Speichertechnologien (SRAM,

EPROM, Antifuse), durch die entstehende Vielfalt mobiler Endgeräte (PDAs, Smartphones, Active Badges, Smartcards, Tablets, NetBooks, Wearable Computers etc.), durch die massive Verbreitung neuer Mobilkommunikationstechnologien (mobile IP, GSM, GPRS, UMTS), durch den zunehmenden Einsatz multisensorischer und haptischer Input-/Outputdevices (magnetische und optische Trackingsysteme, Augmented-Reality-Systeme), durch die Verfügbarkeit globaler Positionierungstechnologien (GSM, GPS, dGPS), und nicht zuletzt durch die Etablierung verteilter Softwarearchitekturen und Middleware-lösungen (EJB, CORBA etc.). So ergibt sich eine bisher nicht beobachtete „Durchdringung“ von Informationstechnologien in nahezu alle Lebensräume und -bereiche.

## Intelligente Informationstechnologien

Diese nicht notwendigerweise augenfällige, aber allgegenwärtige Präsenz von Informationstechnologie ist Gegenstand einer sich in der Literatur unter verschiedenen Titeln wie „Pervasive Computing“, „Ubiquitous Computing“, „Calm Computing“, „Invisible Computing“, „Hidden Computing“, „Ambient Intelligence“ etc. gegenwärtig kristallisierenden Forschungsherausforderung. In dieser Begriffsvielfalt vermag „Pervasive Computing“ am besten den Leitgrundsatz zu vermitteln: auf die Funktion reduzierte, vom Gerät entkoppelte, intelligente Informationstechnologie, die als Technologie nicht mehr erkennbar ist, sondern als eine unterstützende Hintergrundassistentz proaktiv und weitgehend autonom agiert. Während „Mobile Computing“ noch mit der Unterstützung geographisch mobiler Benutzer und mobiler Endgeräte motiviert ist, sieht sich „Pervasive Computing“ mit einer Allgegenwart sehr heterogener Kommunikations- oder Informationsmittel konfrontiert, aus der heraus „mobile Services“ zur Verfügung gestellt werden. Im Vordergrund steht dabei die Vernetzung von Komponenten und Services, die Interaktion der Komponenten (und Benutzer) untereinander und die Kontrolle bzw. Koordination dieser Interaktionen – im hardware- und softwaretechnischen Detail dann entsprechend auch die Identität und Authentifizierung der Komponenten, das Anbieten und Auffinden von Services, die Koordination lokaler Aktivitäten, die Ausfallsicherheit, Skalierbarkeit, Sicherheit, Selbstkonfigurierbarkeit, Adaptivität, Umgebungskennntnis und Kontextbezogenheit, Autonomie, Souveränität, Interaktionsbereitschaft, Triggermöglichkeit etc. Gewaltige Anforderungen stellen diese Technologien an die Leistungsfähigkeit der Software und deren Entwicklungsmethoden: Die neue Software-Generation muss auf Komponententechnologie aufgebaut sein, um die Anforderungen bezüglich Qualität, Verfügbarkeit, Verlässlichkeit, Time-to-Market, Wartbarkeit und Portabilität mit vernünftigen ökonomischen Mitteleinsatz zu gewährleisten. Die Fragen der Selbstorganisation, der Deduktion und Planung, der (eigenständigen) Lernfähigkeit, der Wissensrepräsentation und des Wissensmanagements, des heuristischen Problemlösens, der unscharfen Methoden und Algorithmen, der Entscheidungen unter Unsicherheit bzw. der Prozessentwicklung und -optimierung spielen hinsichtlich der Gestaltung intelligenter Informationstechnologie eine zentrale Rolle.

## Maschinelle Wahrnehmung

Essentielle Voraussetzung für die Gestaltung und Realisierung intelligenter Systeme und Umgebungen ist die Fähigkeit zur Erkennung, Lokalisierung, Wahrnehmung und Vorhersage der Aktivitäten und des Verhaltens von Akteuren oder Objekten. Um bislang dem Menschen vorbehaltene kognitive Fähigkeiten auch auf Informationsverarbeitungssysteme abbilden, in industrielle oder wirtschaftliche Prozesse einbetten bzw. in technische Systeme integrieren zu können, bedarf es einer Formalisierung der menschlichen Wahrnehmungsprozesse und der Bereitstellung eines entsprechenden methodischen und technologischen Apparates. Maschinelles Sehen [CCB00] bzw. Sprachverstehen sind zweifellos die wichtigsten Beispiele für die informationstechnologische Implementierung künstlicher kognitiver Leistungen in technischen Systemen, auch ist die Forschung in diesen Gebieten am weitesten fortgeschritten. Darüber hinaus sind multisensorische Wahrnehmungssysteme, welche neben visuellen und auditiven Reizen auch auf kinästhetische, olfaktorische und atmosphärische Wahrnehmung ausgerichtet sind, Gegenstand der „Computational Perception“-Forschung.

Die Art und die Qualität, wie wir in Zukunft mit Computersystemen interagieren werden, hängt wesentlich davon ab, wie Maschinen oder Programme die Welt wahrnehmen und wie sie mit dieser Wahrnehmung weiter verfahren. Das Ziel sogenannter „kontextbasierter“ Anwendungen ist die Einbeziehung aller mittels multimodaler Sensorik erfassbarer Information über die Umgebung, und die Verwendung dieser Kontextinformation zur Steuerung und Kontrolle des Verhaltens des Systems selbst. Kontextbasierte Anwendungen setzen die Integration profunder Methoden maschineller Wahrnehmung (Computer Vision, Akustik- und Spracherkennung, Orts- und Zeitwahrnehmung, Geruchs-, Temperatur-, Bewegungs- und Beschleunigungswahrnehmung) voraus und werden heutige Formen eingebetteter Computersysteme, der Mensch-Maschinen-Interaktion und traditioneller autonomer Systeme in der Robotik ablösen.

## Kontextsensitivität

Die Fähigkeit eines Systems, Objekte sowie handelnde Personen und deren Absichten zu erkennen und bestimmen zu können, bezeichnet man als Kontextsensitivität (Context Awareness). Der Kontext einer Anwendung ist dabei in der Literatur definiert als jegliche Information, die zur Charakterisierung der Situation einer Entität dienen kann [Dey01]. Eine Entität kann dabei eine Person, ein Ort oder ein Objekt sein, das für die Interaktion zwischen dem Benutzer und der Applikation als relevant erachtet wird, der Benutzer oder die Applikation selbst eingeschlossen. Ein grundlegendes Gestaltungsprinzip bei der Entwicklung kontextbasierter Anwendungen ist dabei die Erfassung, Sammlung, Aggregation und Interpretation von Sensordaten sowie die geeignete Aufbereitung und Bereitstellung der aus den Daten gewonnenen Information für die Anwendung.

Neben den rein informationslogistischen Fragen (die „richtigen Daten“ zur „richtigen Zeit“ im „richtigen Umfang“ am „richtigen Ort“ bereitzustellen) ergeben sich aus der Sicht der Modellierung und des Datenmanagements neue Herausforderungen. Bezogen auf die typische Architektur kontextsensitiver Anwendungen müssen auf der Ebene der Sensorhardware im Allgemeinen weit dislozierte lokal erfasste Daten zu (im Sinne der jeweiligen Anwendung) interpretierbaren Daten verdichtet werden. Technische Schwierigkeiten in der Erfassung von Sensordaten liegen in der oft sehr starken Ressourcenbeschränkung der Sensoren (Speicherkapazität, Rechenleistung, Kommunikationsmittel und -bandbreite etc.), in der Beherrschung unterschiedlich hoher Datenraten, dem unterschiedlichen Niveau der Daten, der Ausfallsanfälligkeit von Sensorknoten (z.B. bei eigener Energieversorgung), der Mobilität der Sensoren, der Synchronisation von Sensordatenströmen aus unterschiedlichen Quellen und der Integration von zeit- und ereignisgesteuerten Sensordaten. Für das Sensordatenmanagement kommen sowohl push- als auch pull-basierte Ansätze in Frage. Eine Modellierungsherausforderung liegt in der Interpretation der Sensordaten im Sinne der Semantik der Applikation, in der Literatur oft als „Kontextmodellierung“ referenziert. Während frühe Ansätze Kontexte mittels einfacher Schlüsselwerte modellierten, verwenden neuere Arbeiten Metadatenauszeichnung (z.B. ConteXtML, RDF [LS99]), objektorientierte Modelle (z.B. das Person/Place/Thing-Paradigma [KBM00]) oder logikorientierte Ansätze, in denen Kontext als Fakten in regelbasierten Systemen dargestellt und verarbeitet wird. Erschwerend kommt die potenziell große Vielfalt zu modellierender Kontexte (geographischer Kontext für z.B. „location based service“, zeitlicher Kontext, physischer Kontext, sozialer Kontext, organisatorischer Kontext, Benutzerkontext usw.) mit sehr unterschiedlichen Anforderungen an die entsprechenden Datenmodelle hinzu.

An die Wahl der Kontextrepräsentationen und des Speichermodelles knüpft sich die Frage der Kontextdissemination, für die sich aufgrund der Dislozierung nicht nur der Sensoren, sondern auch der Aktuatoren (die steuernd auf das Gesamtsystem einwirken) Peer-to-Peer-Strategien anbieten. Um proaktives kontextbasiertes Systemverhalten implementieren zu können, d.h. Applikationen realisieren zu können, die sich auf absehbare zukünftige Situationen einstellen, bietet sich für zustandsbasierte Kontextmodelle eine Vorhersagekomponente für erwartete Kontextzustände an. Die Systemkontrolle basiert in diesem Falle nicht auf dem zuletzt identifizierten Kontextzustand (reaktiv), sondern auf einem in der Zukunft liegenden, aber bereits jetzt absehbaren Kontextzustand (proaktiv). Kontextsensitive Softwareframeworks realisieren die Kontrolle der Aktuatoren zumeist über regelbasierte Systeme (ECA-Regelsysteme) oder aktive Datenbanken.

## Smart Things – Smart Spaces

Die technologischen Möglichkeiten von Endgeräten vielfältigster Form und Funktion zur Kommunikation, Interaktion, Wissensspeicherung und -wiedergabe stellen eine spezielle Vertiefung des „Pervasive Computing“ dar. Dabei wird entlang

der Kategorien „Smart Things“ (portable, mobile Endgeräte mit Spezialfunktion) bzw. „Smart Spaces“ (feste Installation, die eine intelligente Hintergrundassistentz realisieren) vorgegangen. Untersuchungsgegenstände sind hier Smartphones und Organizers, Smart Gadgets, Universal Information Appliances, Mobile Internet Appliances, Embedded Web Servers und Browser, Smart Displays, Walls und Rooms, Smart Home und Home Networking, bis zu Ansätzen des Wearable Computings, der E-Textiles und des Smart Clothings [SL01]. Neueste Ergebnisse aus dem Bereich der Materialforschung (lichtemittierende Polymere, piezo- und pyroelektrische Materialien) bzw. die hochgradige Miniaturisierung von Funkmodulen (Bluetooth als Vorreiter) ermutigen zu einer räumlich noch engeren Fassung des „Personal Area“-Netzwerkbegriffs (gegenüber beispielsweise dem IEEE 802.15-Standard): Körpernahe Kommunikationsinfrastrukturen („Near Body Networks“) stellen neue Herausforderungen und Potenziale für implizite Personen-zu-Personen-Kooperationssysteme dar. In der softwaretechnischen Realisierung solcher Systeme treten zunehmend konzeptionelle Fragen der Interaktion [Mil93, Weg97] bzw. Koordination in den Vordergrund.

## **Everywhere Interfaces, natürliche Interfaces**

Die konsequente Einbeziehung der menschlichen Sinne, die außerhalb des audiovisuellen Wahrnehmungsvermögens liegen – und damit die Ablöse traditioneller Interaktionsmittel (Tastatur, Maus, Bildschirm) – sind die zentrale Herausforderung dieser Vertiefungsrichtung. Selbst die Sprachverarbeitung und die Erkennung und Verarbeitung von Bilddaten bedecken in kontextbasierten Anwendungen nur einen Teil des möglichen Mensch-Maschine-Interaktionsspektrums. Hinzu kommen Gestik und Mimik, Emotion, Gewohnheit, Vergessen und Force-Feedback. Benutzerschnittstellen, die in die Infrastruktur eingebettet sind (Everywhere Interfaces), an greifbare Gegenstände gekoppelt sind, die physische und virtuelle Artefakte integrieren (Tangible Interfaces, Graspable User Interfaces) [GOI98] bzw. digitale Information auf berühr- und manipulierbare Gegenstände des täglichen Lebens abbilden, eröffnen neue Möglichkeiten der Interaktion mit kooperativen Anwendungen. Unsere Vorarbeiten zeigen, dass eine Entkopplung der Systemein- und -ausgabe von traditionellen I/O-Geräten nicht nur möglich, sondern über Tangible Interfaces realisiertes implizites I/O oft sogar effizienter als explizites I/O ist.

## **Der Mensch im Vordergrund – Informationstechnologie im Hintergrund**

Das Ziel von Pervasive Computing ist die Konzeption, der Entwurf und die Entwicklung von Systemen, die den Menschen in jeder Situation seines Alltags um die Möglichkeiten der digitalen Informationswelt, die ihn unsichtbar umgibt, und in seinen Handlungsmöglichkeiten bereichern. Die Herausforderung dabei liegt in

der Anreicherung von Artefakten – z.B. Gegenständen des täglichen Gebrauchs – mit Zusatzfunktionalität, die einfach nutzbar und intuitiv bedienbar ist, bzw. autonom, intelligent und situationsbezogen auf den Menschen reagiert. Die Realisierung von Gegenständen und Umgebungen, die dem Menschen die ihn umgebenden digitalen Ressourcen erschließen, induziert eine Reihe von Herausforderungen:

*Allgegenwärtiger Zugriff:* Gewährleistung eines zeit- und ortsunabhängigen Zugriffs auf relevante Informationsinhalte auf Basis drahtloser Kommunikationstechnologien.

*Kontextsensitivität:* Systemverhalten, das die gegenwärtige und ggf. auch erwartete zukünftige Situation eines Artefaktes oder des Benutzers berücksichtigt und entsprechend planbasiert (intelligent) handelt.

*Sicherheit und Privatheit:* In den zukünftigen Anwendungsformen des Pervasive Computing werden Systeme zunehmend autonom (und ohne aktive Veranlassung durch den Benutzer) ihre Umgebung sensorisch erfassen. Bereits jetzt fordert die Technikethik nach Verfahren und Methoden, die den Datenzugriff in die Souveränität des Datenbesitzers legen und Daten sicher handhabbar machen.

*Natürliche Interaktion:* Miniaturisierung und unsichtbare Integration von Technologie zur Gestaltung von Artefakten, die sowohl Repräsentation als auch Kontroll- und Steuerungsmechanismus für die damit assoziierte digitale Information sind. Die natürliche Interaktion mit einem Artefakt muss gleichzeitig die Manipulation der dadurch repräsentierten Daten bewirken [WMG93].

## Literatur

- [BCLM03] Bohn J, Coroama V, Langheinrich M, Mattern F, Rohs M (2003) Allgegenwart und Verschwinden des Computers – Leben in einer Welt smarterer Alltagsdinge. In: Ralf Grötter (Hrsg.): Privat! Kontrollierte Freiheit in einer vernetzten Welt. Heise-Verlag, 195–245
- [CCB00] Crowley JL, Coutaz J, Berard F (2000) Perceptual User Interfaces: Things That See. Communications of the ACM 43(3), 54–64
- [Dey01] Dey AK (2001) Understanding and Using Context. Personal and Ubiquitous Computing 5(1)
- [GOI98] Gorbet MG, Orth M, Ishii M (1998) Triangles: Tangible Interface for Manipulation and Exploration of Digital Information Topography. CHI 1998, 49–56
- [KBM00] Kindberg T, Barton J, Morgan J, Becker G, Bedner I, Caswell D, Debaty P, Gopal G, Frid M, Krishnan V, Morris H, Schettino J, Serra B, Spasojevic M (2000) People, Places, Things: Web Presence for the Real World. WWW'2000
- [LS99] Lassila O, Swick RR (1999) Resource Description Framework (RDF): Model and Syntax Specification. Recommendation, World Wide Web Consortium, [www.w3c.org/TR/REC-rdf-syntax/](http://www.w3c.org/TR/REC-rdf-syntax/)
- [Mil93] Milner R (1993) Elements of Interaction: Turing Award Lecture. Communications of the ACM 36(1), 78–89
- [Sat01] Satyanarayanan M (2001) Pervasive Computing: Vision and Challenges. IEEE Personal Communications, 10–17

- [SL01] Schmidt A, Laerhoven K (2001) How to Build Smart Appliances? IEEE Personal Communications 8(4), 66–71
- [Weg97] Wegner P (1997) Why interaction is more powerful than algorithms. Communications of the ACM 40(5), 80–91
- [Wei91] Weiser M (1991) The Computer of the Twenty-First Century. Scientific American 265(3), 66–75, 94–100
- [WMG93] Wellner P, Mackay W, Gold R (1993) Computer Augmented Environments: Back to the Real World. Communications of the ACM 36(7)

**Univ. Prof. Dr. Alois Ferscha** ist Vorstand des Instituts für Pervasive Computing und Leiter des Exzellenzschwerpunktes „Pervasive Computing“ an der Johannes-Kepler-Universität Linz. Er beschäftigt sich mit vernetzten eingebetteten Systemen und innovativen Informationstechnologien, die mit alltäglichen Umgebungen verschmelzen (Smart Spaces), in Gebrauchsgegenstände unsichtbar integriert sind (Smart Things) bzw. Lebensräume realisieren, die intelligent auf die Gegenwart des Menschen reagieren. Gegenwärtige Forschungsarbeiten behandeln Fragen der Identifikation, der Lokalisierung und Objektverfolgung, der Koordination von Aktivitäten und mobilen Endgeräten in drahtlos vernetzten Systemen bzw. Middleware-Lösungen in drahtlosen Ad-hoc-Netzen. Zu den von seiner Arbeitsgruppe entwickelten Technologiedemonstratoren zählen sowohl Smart Things wie z.B. Echtzeit-SMS-Notifikation vom Laufschuh (Wienmarathon, Berlinmarathon), Kontextarchitekturen und kontextbasierte Dienste („Activity Tracking“, „Power Saver“), P2P-Koordinationsarchitekturen („Peer-It“), die Mehrbenutzerinteraktion auf „virtuellen Walls“, Ad-hoc-Interaktion auf Basis einer „digitalen Aura“ („Smart Shopwindow“), eingebettete Interaktion in Form von gegenständlichen Benutzerschnittstellen („Cube Interface“) bzw. Smart Spaces wie z.B. Team-Awareness in WLANs („Wireless Campus Space“, „Mobile-Learn“), Embedded Webservices („Internetkoffer“), Mixed-Reality-Systeme für die Personen- und Fahrzeugnavigation („INSTAR“) sowie ortsbasierte Dienste („Digital Graffiti“).

Alois Ferscha ist Autor zahlreicher wissenschaftlicher Publikationen in internationalen Journalen bzw. Konferenzbänden in den Bereichen verteilte Systeme und verteilte Softwareentwicklung, Pervasive Computing, Mehrbenutzerinteraktion, drahtlose Kommunikationssysteme, verteilte diskrete Ereignissimulation sowie Leistungsmodellierung und Analyse. Er war als Gastforscher an den Universitäten Turin und Genua sowie an der University of Maryland at College Park und der University of Oregon tätig. Er war Mitglied zahlreicher wissenschaftlicher Programmkomitees wie etwa für WWW, PADS, DIS-RT, SIGMETRICS, MASCOTS, TOOLS, PNP, ICS, MSWiM, QShine, ICMB, ARCS, UBICOMP, PERVASIVE sowie Programmkomiteevorsitzender der PADS'98, MASCOTS'99, WWW'2002 („Vice-Chair“) und der PERVASIVE 2004. Alois Ferscha ist Träger des Heinz-Zemanek-Preises für hervorragende Beiträge in der Informatik.

# Acht Thesen zur Informatisierung des Alltags

Friedemann Mattern

Institut für Pervasive Computing, ETH Zürich

**Kurzfassung.** Die Informations- und Kommunikationstechnologien werden unseren Alltag in Zukunft noch weitaus intensiver durchdringen als bisher schon. Dabei sind viele Entwicklungsmöglichkeiten heute bereits absehbar, beispielsweise wird der Bereich Smart Objects stark an Bedeutung gewinnen, und moderne Technologie wird die Kommunikation mit Alltagsgegenständen möglich machen. Mit der Informatisierung des Alltags sind viele interessante Einsatzmöglichkeiten denkbar, die technischen Neuerungen haben aber auch Einfluss auf unsere Gesellschaft und werden in vielen Bereichen ein Umdenken erfordern. In acht Thesen werden die Perspektiven angerissen.

## Der Mensch im Zentrum

Begriffe wie „Ambient Intelligence“ oder „Ubiquitous Computing“ verkünden eine grundsätzlich neue Qualität von Informationsverarbeitung und Computereinsatz. Dahinter steht die Vision von intelligenten Umgebungen und smarten Alltagsgegenständen, welche mit digitaler Logik, Sensorik und der Möglichkeit zur drahtlosen Vernetzung ausgestattet ein „Internet der Dinge“ bilden, in dem der Computer als eigenständiges Gerät verschwindet und in den Objekten der physischen Welt aufgeht.

War zu Zeiten des Mainframe und des PCs Rechenkapazität noch eine knappe Ressource, so versprechen neue Technologien und anhaltende Fortschritte im Bereich Information und Kommunikation (IuK) eine allgegenwärtige Verfügbarkeit von Informationen und Diensten, in deren Zentrum nicht mehr die Maschine mit ihren technischen Möglichkeiten und Grenzen, sondern der Mensch mit seinen individuellen Anforderungen und Wünschen steht. Der Rechner wirkt nur noch im Hintergrund als unaufdringliche, aber stets verfügbare elektronische Assistenz.

Auch wenn die Auswirkungen des technologischen Fortschritts im Detail unklar sind, scheint jedenfalls unbestritten zu sein, dass die durch die Entwicklung der IuK-Technologie induzierten Veränderungen immer größere Teilbereiche des täglichen Lebens betreffen; der allgemeine Technologietrend zeigt dabei in Richtung einer umfassenden Informatisierung des Alltags. Während sich die Vordenker des Ubiquitous Computing noch vor wenigen Jahren den Vorwurf des Utopismus gefallen lassen mussten, rückt die technische Machbarkeit der damit verbundenen Visionen aufgrund der rasanten Miniaturisierung und des Preisverfalls mikroelektronischer Komponenten mehr und mehr in greifbare Nähe. Die sich

daraus ergebenden Perspektiven werden nachfolgend in Form von acht pointiert formulierten Thesen dargelegt.

## These 1

*Viele Entwicklungen der IuK-Technologie, die in der Vergangenheit zunächst für den Einsatz im industriellen Bereich entwickelt wurden, fanden Jahre später Einzug in den Alltag. Dies wird auch in Zukunft der Fall sein, der Alltag wird von noch viel mehr IuK-Technologien und darauf aufbauenden Anwendungen und Diensten durchdrungen werden.*

Computer waren anfangs raumfüllende Geräte, die viele Millionen kosteten. Erst vor gut 20 Jahren wurden sie so klein und billig, dass sich auch Privatleute einen „persönlichen“ Computer leisten konnten. Heute sind nicht nur PCs allgegenwärtig, sondern Mikroprozessoren leisten wertvolle Dienste in Handys, CD-Spielern und vielen Haushaltsgeräten. Auch das milliardenteure satellitenbasierte GPS-Positionierungssystem war anfangs nicht für den zivilen oder gar „populären“ Einsatz gedacht. Inzwischen sind aber viele Autos damit ausgestattet, und für spezielle Gruppen (z.B. Trekking-Liebhaber) gibt es seit einiger Zeit bereits Lokationssysteme in Form von persönlichen digitalen Assistenten (PDAs) – bald werden auch viele Mobiltelefone eine Lokalisierungsfunktion besitzen. Funktechnologie (Handys) und Laser (z.B. in CD-Playern) sind weitere Beispiele für Basistechnologien, die erst im Laufe der Zeit Einzug in den Alltag gehalten haben.

Entsprechend darf man erwarten, dass beispielsweise die RFID-Technik (in der Form von Funketiketten) oder die Sensortechnik bald nicht mehr nur im industriellen Umfeld oder im Logistikbereich verwendet wird, sondern vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Alltag finden wird. Längerfristig dürften auch die Nanotechnik und die Robotik im Alltag einen großen Nutzen stiften.

## These 2

*Viele Entwicklungen im IuK-Bereich werden durch den steten technischen Fortschritt vorangetrieben. Die zugrunde liegenden langfristigen Trends dürften auch in Zukunft anhalten. Damit ist grob abschätzbar, was in absehbarer Zeit in technischer Hinsicht möglich sein wird.*

Mit erstaunlicher Präzision gilt auch heute noch das bereits Mitte der 1960er-Jahre von Gordon Moore aufgestellte „Gesetz“, welches besagt, dass sich die Zahl der auf einen Chip integrierbaren Transistoren alle 18 bis 24 Monate verdoppelt. Mikroprozessoren werden so laufend schneller, Speicherkomponenten verdoppeln etwa alle zwei Jahre ihre Kapazität, wobei die Preise rückläufig sind.

Der seit Jahrzehnten zu beobachtende Fortschritt der Mikroelektronik und Informationstechnologie hält weiter an und dürfte bald einen Punkt erreichen, der eine neue Qualität in der Computeranwendung ermöglicht: Prozessoren, Speicherbausteine, Kommunikationsmodule und Sensoren können dann aufgrund ihrer winzigen Größe, ihres geringen Energiebedarfs und ihres fast vernachlässigbaren Preises in viele Alltagsdinge eingebaut werden. Damit sind die technischen Voraussetzungen für die Kooperationsfähigkeit „smarter“ Dinge untereinander und das Entstehen eines „Internets der Dinge“ gegeben.

### **These 3**

*Viele Alltagsgegenstände werden „smart“, indem sie mit Informationstechnologie zum Sammeln, Speichern, Verarbeiten und Kommunizieren von Daten ausgestattet werden. Sie erhalten so eine gegenüber ihrem ursprünglichen Zweck erweiterte Funktionalität und damit eine neue, zusätzliche Qualität.*

Beispiele für smarte Dinge sind Autoreifen, die den Fahrer benachrichtigen, wenn der Luftdruck abnimmt, oder Medikamente, die sich rechtzeitig bemerkbar machen, bevor ihr Haltbarkeitsdatum abläuft. Dabei erscheint der informationsverarbeitende Anteil eines smarten Dings dem Nutzer als in den Gegenstand und seine herkömmliche Funktionalität integriert, bietet aber darüber hinausgehende Eigenschaften. Idealerweise können smarte Dinge nicht nur mit Menschen und anderen smarten Gegenständen in geeigneter Weise kommunizieren, sondern zum Beispiel auch erfahren, wo sie sich befinden, welche anderen Gegenstände in der Nähe sind, was in ihrer Umgebung los ist, sowie drahtlos auf externe Datenbanken zugreifen und passende Internet-basierte Services nutzen.

Die Zweckmäßigkeit konkreter Anwendungen smarterer Dinge einzuschätzen, ist derzeit noch schwierig. Absehbar ist die Verwendung im medizinischen Bereich, beispielsweise in der Form von Unterwäsche, die kritische Vitalwerte registriert und im Notfall weitermeldet. Aber auch eher banale Gegenstände könnten profitieren. So gewinnt offenbar ein automatischer Rasensprinkler nicht nur durch eine Vernetzung mit Feuchtigkeitssensoren im Boden an Effizienz, sondern auch durch die Konsultation der Wetterprognose im Internet. Und wenn ein Auto der Versicherung meldet, wie viele Kilometer und wie schnell es gefahren wird und wo es nachts abgestellt wird, kann die Haftpflichtprämie individuell berechnet werden.

### **These 4**

*Die Lokalisierung von Dingen wird immer einfacher, billiger und genauer. Nicht nur GPS und Galileo werden weiterentwickelt, sondern auch eine Reihe anderer Technologien steht hierfür bereit. Die aus der Ferne mögliche Ortsbestimmung eines Gegenstandes wird vielfältige Verwendungsmöglichkeiten haben – aber*

*auch ethische und rechtliche Fragen aufwerfen, wenn damit auf den Aufenthaltsort von Personen geschlossen werden kann.*

Verbesserte Möglichkeiten zur Positionsbestimmung mobiler Objekte werden derzeit intensiv erforscht. Neben einer Erhöhung der Genauigkeit (derzeit einige Meter beim GPS-System) besteht das Ziel vor allem in einer deutlichen Verkleinerung der Module, einer Reduktion des Energiebedarfs sowie der Entwicklung von Techniken, die auch in geschlossenen Räumen funktionieren. In Zukunft wird man beispielsweise durch hochpräzise Zeitmessungen den Abstand zu WLAN-Zugangspunkten, Mobilfunkantennen und Rundfunksendemasten messen können, deren Standorte bekannt sind. Damit lässt sich die eigene Position auch ohne Sichtkontakt zu einem Satelliten ermitteln.

Je genauer und einfacher der Ort eines kleinen, preiswerten Gerätes ermittelt werden kann, umso vielfältiger und interessanter sind die möglichen Anwendungen. Für wertvolle Dinge wie etwa Mietautos rechnet sich die Verwendung von Lokalisierungstechnologien schon heute, und mit dem Fortschritt der Technik werden nach und nach auch einfachere und kleinere Gegenstände von dieser Möglichkeit profitieren. Nicht nur Schlüssel, Haustiere, Koffer, Postsendungen, Container, Waffen, mautpflichtige Fahrzeuge, diebstahlgefährdete Objekte und umweltschädliche Stoffe können dann lokalisiert werden, sondern auch Eltern könnten es schätzen, wenn Kleidungsstücke der Kinder ihren Aufenthaltsort verraten.

Lokalisierungstechnologien bergen allerdings einiges an sozialem Sprengstoff: Nicht nur, weil damit im privaten Bereich Leuten einfacher hinterherspioniert werden könnte, sondern weil dies in entsprechend disponierten Staaten auch als ein bewusst eingesetztes Kontrollinstrument genutzt werden könnte. Der „location privacy“ dürfte in Zukunft daher große Beachtung zukommen.

## **These 5**

*Smarte Alltagsgegenstände, „Ambient Intelligence“ und ein „Internet der Dinge“ können einen hohen Nutzen stiften.*

Klassische persönliche und portable Geräte mit IuK-Technologie stillen, wenn sie nicht der reinen Unterhaltung dienen (MP3-Player), das allgemeine Informationsbedürfnis (Transistorradio) und das zwischenmenschliche Kommunikationsbedürfnis (Handy). Mit zukünftiger persönlicher IuK-Technologie wird zum einen die Information individueller und zum anderen die Kommunikation auf Dinge erweitert: Ein Nutzer kann dann (z.B. über sein Mobiltelefon) direkt mit Gegenständen kommunizieren und von ihnen gezielt Auskunft erhalten, und er kann unmittelbar Dienstleistungen nutzen, die mit den Dingen verbunden sind – so als wäre die Welt eine Webseite, auf der die Dinge „ angeklickt“ werden können. Hierfür notwendige intuitive Interaktionstechnologien werden derzeit erprobt.

Langfristig verbindet man mit der Informatisierung des Alltags weitere Erwartungen: Ein mit „Ambient Intelligence“ ausgestattetes Haus erhöht den Komfort

und die Sicherheit, es trägt zur automatischen Energieeinsparung bei, informiert sanft über relevante Ereignisse und verbindet uns über geeignete Telekommunikationsmedien mit anderen Menschen. Der Verkehr wird durch intelligente Autos, Straßen und Züge sicherer, ressourcenschonender und stressfreier, und im Bürobereich wird die Arbeitseffizienz durch eine aufmerksame, lernfähige und personalisierte Hintergrundassistenz gesteigert.

## These 6

*Mit drahtlosen Sensornetzen wird es möglich, vielfältige Phänomene der Welt in bisher nie da gewesener Genauigkeit zu beobachten. Indem kommunizierende Sensoren großflächig in die Umwelt eingebracht werden, erhält man dichte Überwachungsnetze für unterschiedlichste Zwecke.*

Nicht nur Mikroprozessoren und ganze Computer werden immer leistungsfähiger, kleiner und preiswerter, sondern bald lassen sich durch Fortschritte in der Mikrosystemtechnik und Nanotechnik auch über Funk miteinander kommunizierende Sensoren, die ihre Umgebung erfassen, sehr billig in miniaturisierter Form herstellen. Verarbeitete man mit Computern bisher Daten, die typischerweise manuell eingegeben wurden, so erfasst man dann, wenn Computer gewissermaßen Augen, Ohren und andere Sinnesorgane bekommen, die physischen Phänomene unmittelbar – und zwar automatisch, online und in Realzeit.

Von ganzen Netzen kaum sichtbarer Sensoren erwartet man in Zukunft Gewaltiges: Statt Experimente in einem Labor voller Instrumente durchzuführen, soll es dann – quasi umgekehrt – oft möglich sein, die extrem miniaturisierten und energieeffizienten Beobachtungsinstrumente am Vorgang in der Natur selbst anzubringen. Ökosysteme beispielsweise sollten sich so viel leichter und umfassender beobachten lassen. Allgemein dürften die stark sinkenden Kosten der Überwachung und Informationsgewinnung viele Anwendungen ermöglichen, die bisher unwirtschaftlich gewesen wären, etwa wenn vernetzte Sensoren zu Wartungszwecken vorsorglich in physische Strukturen wie Brücken, Straßen oder Wasserversorgungssysteme eingebracht werden.

## These 7

*Das „wearable computing“ – miniaturisierte Elektronik am Körper, eingearbeitet in Armbanduhren und Accessoires, eingewoben in smarte Kleidung oder eingebaut in Implantate – führt zu einer Erweiterung der menschlichen Sinne und revolutioniert Teilbereiche der Medizin.*

Beim „wearable computing“ geht es weniger darum, medienwirksame Cyborg-Phantasien oder Jacken mit eingebautem MP3-Player zu realisieren, als durch un-

aufdringliche, ständig verfügbare Sensorik und Kommunikationstechnik dem einzelnen Menschen in persönlicher Weise zu dienen: Seinen Gesundheitszustand zu überwachen, ihn jederzeit an informations- und sensordatenverarbeitende Dienste im Hintergrund anzubinden, seine Sinne zu schärfen und ihn mit aktuellen Informationen zu versorgen; ihn also sicherer und mächtiger zu machen – zwei bedeutende Triebkräfte!

Auch Teile der Medizin und vor allem der Pflegebereich werden langfristig durch die Technik des „wearable computing“ revolutioniert – diskrete Sensoren, in die Kleidung eingearbeitet oder direkt am Körper getragen, erstellen Langzeitdiagnosen oder geben Hinweise zu einer gesunden Lebensführung, und kommunikationsfähige Implantate passen sich der aktuellen Situation an.

## These 8

*Die Informatisierung des Alltags stellt eine enorme Herausforderung dar – nicht nur in technischer und wirtschaftlicher, sondern auch in gesellschaftlicher Hinsicht.*

Die langfristigen Auswirkungen einer tiefgreifenden Integration von Informationstechnologie in unseren Alltag und einer durch smarte Dinge geschaffenen „erweiterten Realität“ sind gewaltig. Einen wichtigen Aspekt stellt dabei der Schutz der Privatsphäre dar, denn smarte Gegenstände und sensorbestückte Umgebungen häufen potentiell eine große Menge teilweise sensibler und intimer Daten an.

Auch Auswirkungen auf das Wirtschaftsgefüge sind zu beachten: Smarte Produkte könnten beispielsweise Produzenten und Dienstleister mit viel mehr und präziseren Informationen versorgen als es heute möglich ist, so dass nicht nur ein zielgruppengenaues, sondern sogar ein käufergenaues Eins-zu-eins-Marketing möglich wird – unter Umständen mit personenbezogener Preisdifferenzierung. Und wenn in Zukunft vernetzte und „schlaue“ Alltagsdinge Information von sich geben, physische Dinge also quasi selbst zu Medien werden, dann stellt sich auch die Frage, wer eigentlich über den Inhalt bestimmen darf und wer die Objektivität und Richtigkeit von „Aussagen“ smarterer Objekte garantiert.

Damit ein Internet der Dinge und eine von Informationstechnik durchdrungene Welt wirklich Nutzen stiften, bedarf es daher mehr als nur mikroelektronisch ausgerüsteter und miteinander kooperierender Gegenstände. Ebenso nötig sind sichere und verlässliche IuK-Infrastrukturen, geeignete ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen sowie ein gesellschaftlicher Konsens darüber, wie die technischen Möglichkeiten verwendet werden sollen.

**Prof. Dr. Friedemann Mattern** ist an der ETH Zürich tätig. Nähere Angaben zu ihm finden sich am Ende dieses Bandes.

# Smarte Umgebungen – Vision, Chancen und Herausforderungen

Steve Wright<sup>1</sup>, Alan Steventon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Strategic Research, BT

<sup>2</sup> Judal Associates Ltd.

**Kurzfassung.** Anhaltende Miniaturisierung, Leistungssteigerung und Kommunikationsfähigkeit von Hardware-Elementen sorgen dafür, dass die Informationstechnologie zunehmend in die Alltagswelt eindringt. Dies führt letztendlich zu „smarten Umgebungen“, bei denen Daten über die physikalische Welt automatisch gewonnen und interpretiert werden. Damit werden sich unsere Möglichkeiten, die Welt zu erfahren und mit ihr umzugehen, in drastischer Weise erweitern. Der Beitrag diskutiert bezüglich der Vision „intelligenter“, von Informationstechnik durchdrungener Umgebungen mögliche Anwendungen, relevante Technologiebereiche sowie die sich ergebenden Herausforderungen in technischer und gesellschaftlicher Hinsicht.

## Die Vision smarter Umgebungen

In diesem Beitrag soll die Vision einer Welt diskutiert werden, in der sich die Informations- und Kommunikationstechnologie vom PC auf dem Schreibtisch emanzipiert und in der physischen Umgebung aufgeht und allgegenwärtig wird. In dieser von Informationstechnologie durchdrungenen Welt sind physische Objekte und Räume mit der digitalen Welt verbunden, und Informationen über die reale Welt können dazu genutzt werden, die Möglichkeiten und Erfahrungen des Menschen zu erweitern und anzureichern. In ihrem Bestreben, unsere Aktivitäten zu unterstützen, könnte die Welt um uns herum sogar den Eindruck von Intelligenz erwecken. Diese Vision ähnelt damit derjenigen, wie sie von Mark Weiser und anderen [MIT, End, CIT, Amb] beschrieben wurde, obwohl wir hier den Begriff „intelligente Umgebungen“ oder „iSpaces“ bevorzugen.

Wir bauen hier auf den in früheren Veröffentlichungen [Wei99] beschriebenen Visionen auf, die wir auch verwendet haben, um unser Forschungsprogramm bei BT zu begründen. Damit stehen wir nicht alleine; beispielsweise wurde eine sehr ähnliche Vision („ambient intelligence“) dazu benutzt, die Forschungsaktivitäten

---

Die englischsprachige Originalversion dieses Beitrags ist im Buch „Intelligent Spaces – The Application of Pervasive ICT“, herausgegeben von Alan Steventon und Steve Wright (Springer-Verlag, 2006), unter dem Titel „Intelligent Spaces – The Vision, the Opportunities, and the Barriers“ erschienen. Übertragung ins Deutsche durch R. Adelman und F. Mattern.

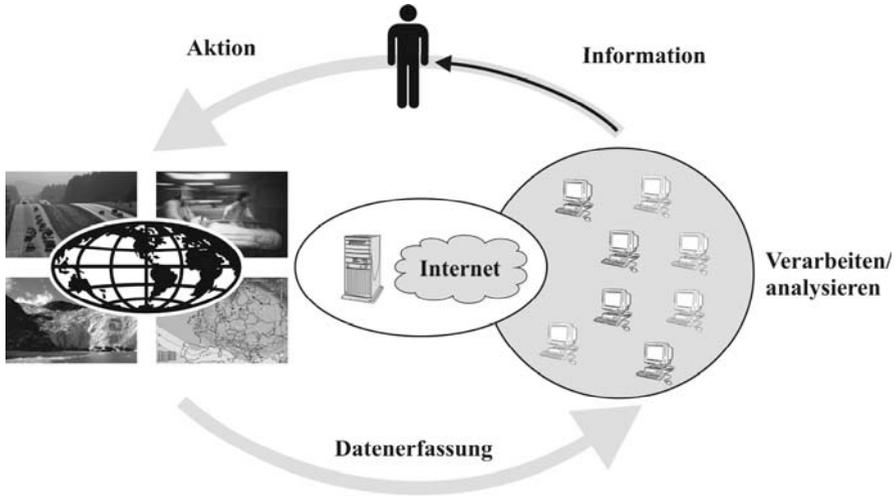
im Rahmen des sechsten Rahmenprogramms der EU [Amb] zu motivieren. Aufgrund großer technologischer Fortschritte in einer Vielzahl von Gebieten stellen sich die Visionen in zunehmendem Maße als realisierbar heraus. Diese Fortschritte (welche weiter unten ausführlicher beschrieben werden) bringen die Informations- und Kommunikationstechnologie in die reale Welt. Ermöglicht wird dies aufgrund folgender Aspekte:

- *Einbetten digitaler Verweise in die physische Welt.* Wir können die physische und digitale Welt immer besser miteinander verbinden. So ist es z.B. möglich, statische Information oder Identitätsangaben in reale Objekte einzubetten, etwa mittels RFID-Tags. Des Weiteren werden zunehmend ausgeklügeltere Sensorsysteme entwickelt, womit dynamische Parameter oder Ereignisse der realen Welt in digitale Information umgewandelt werden können.
- *Kommunikation physischer Zustände an beliebige Orte.* Wir sind in der Lage, drahtlose Kommunikationsmöglichkeiten sogar in kleinste physische Objekte zu integrieren. Zustände oder Ereignisse der realen Welt können lokal und global kommuniziert werden. Dies wird es uns in zunehmendem Maße ermöglichen, auf reichhaltige und vielfältige dynamische Daten aus der physischen Welt um uns herum zuzugreifen.
- *Verarbeiten und Auswerten „physischer“ Daten.* Bereits heute generieren wir enorme Datenmengen innerhalb der digitalen Welt. In zunehmendem Maße werden dynamische Daten über die physische Welt hinzukommen. Dies kann gewaltige Vorteile nach sich ziehen – allerdings nur insoweit, als wir dann auch in der Lage sind, Erkenntnisse aus diesen Daten zu gewinnen sowie sinnvolle Schlüsse daraus zu ziehen.

Zusammengenommen stellen diese Aspekte mächtige neue Möglichkeiten für Systementwickler dar. Sie können dazu genutzt werden, unsere Fähigkeiten zu verbessern, die physische Welt um uns herum geeignet wahrzunehmen sowie diese Wahrnehmung sinnvoll einzuordnen. Mit dem so gewonnenen zusätzlichen Wissen werden auch unsere Möglichkeiten, mit der Welt umzugehen und sie zu erleben, erweitert. Dies ist in Abbildung 1 veranschaulicht, welche ein System darstellt, das in der Lage ist, eine Reihe von Parametern der physischen Welt zu erfassen, Schlüsse aus den Daten zu ziehen und Aktionen in der physischen Welt vorzuschlagen oder sogar selbst durchzuführen.

Im Laufe der nächsten anderthalb Jahrzehnte werden aus den Milliarden eingebetteter Mikroprozessoren, die derzeit schon existieren, mehrere Billionen werden. Viele erhalten die Fähigkeit zur drahtlosen Kommunikation im Nahbereich und werden sich dann entweder direkt, oder über Mittelstationen, mit dem Internet verbinden, was bis zum Jahre 2020 eine Billion global kommunizierender intelligenter Objekte zur Folge hat. Diese werden eine Vielzahl von Informationen und Sensordaten über die physische Welt zur Verfügung stellen. Eine Anwendung wird Daten zum Erfüllen ihrer Aufgabe direkt aus geeigneten Quellen beziehen können. Sie kann dann ihrerseits Daten oder Steuersignale generieren, um die gewünschten Wirkungen in der physischen Welt zu initiieren. Diese Technologie dürfte einen erheblichen nutzbringenden Einfluss auf nahezu alle Bereiche

menschlicher Aktivitäten haben, vorausgesetzt, sie wird so angewendet und umgesetzt, dass die Bedürfnisse ihrer Nutzer und der Gesellschaft insgesamt berücksichtigt werden.



**Abb. 1.** Schematische Funktionsweise eines generischen iSpace-Systems

Das iSpace-Technologiekonzept ist das des „verschwindenden Computers“. Dabei ist die Inanspruchnahme des Benutzers durch das System vollkommen unaufdringlich und die Schnittstellen sind so intuitiv, dass sie schlicht nicht wahrgenommen werden. Praktisch bedeutet dies, dass die Nutzerinteraktion über Schnittstellen in passiver und impliziter Weise durchgeführt wird; die Interaktion aber natürlich jederzeit auch direkt durch Menschen erfolgen kann. Da die Technologie in der Lage ist, Daten personenbezogen und kontextabhängig zu erfassen, zu interpretieren und daraus Schlussfolgerungen zu ziehen, kann sie nahezu jeden unterstützen, indem sie die jeweiligen spezifischen Fähigkeiten eines Menschen berücksichtigt. Sie bringt uns damit dem digitalen Zugang für alle näher.

Dies ist eine großartige und vielversprechende Vision, aber es ist auch eine Vision, die das Potenzial einer Polarisierung in sich trägt. Viele Leute stehen dem zunehmenden Einzug von Technologie in unser Leben und den damit einhergehenden Gefahren für die Grundrechte und persönliche Freiheit skeptisch gegenüber. Tatsächlich gibt es diesbezüglich Grund für berechtigte Vorbehalte – auch wenn festgehalten werden darf, dass das Maß an öffentlicher Besorgnis oft die realen Möglichkeiten übersteigt, sowohl die des technisch Machbaren als auch die des ökonomisch Sinnvollen. In denjenigen Bereichen, in denen diese Technologie zur Anwendung kommen kann, wird die Gesellschaft die zu erwartenden Vor- und Nachteile in Einklang zueinander bringen müssen, sei es durch Marktmechanismen oder durch gesetzgeberische Maßnahmen.

## Anwendungen

Im Großen und Ganzen meinen wir, dass es sich bei der oben beschriebenen Vision nicht um eine ferne und utopische Welt handelt, sondern um eine Welt, die Schritt für Schritt Realität wird. Sie entwickelt sich in denjenigen Bereichen am schnellsten, in denen der Nutzen die Kosten klar übertrifft und in denen ein deutlicher Mehrwert für alle Beteiligten entlang der Wertschöpfungskette (bzw. des Wertschöpfungsnetzes) zu erwarten ist. Wir werden dies anhand einer Reihe von sowohl aktuellen, als auch zukünftig potenziell möglichen Beispielanwendungen verdeutlichen.

### Beispielanwendungen

*Lieferkette.* RFID-Tags sind elektronische Etiketten, die an Objekten befestigt werden können, um ihnen eine digitale Identität zu verleihen. Diese kann dann an verschiedenen Stellen innerhalb der Lieferkette einfach ausgelesen werden [RFI, Luc06]. Diese Anwendung bietet den Teilnehmern entlang der Lieferkette einen hohen Mehrwert und besitzt das Potenzial zur Effizienzsteigerung der gesamten Kette. Sie kommt bereits vielfach bei aggregierten Produkten, bis hinunter zur Paletten-Ebene, zur Anwendung. In den letzten Jahren hat eine Reihe einflussreicher Einzelhandelsketten ihren Zulieferern die Absicht mitgeteilt, diese Technik in ihrem Bereich einzuführen. Das Ziel besteht dabei darin, die Effizienz zu erhöhen, sowohl was den Zeitaufwand der Mitarbeiter, die Verbesserung der Bestandskontrolle, als auch die Reduktion entgangener Verkaufsgelegenheiten aufgrund von Lieferengpässen betrifft.

*Umweltmonitoring.* Die Überwachung von Umweltparametern wird mit einer viel höheren Präzision und Granularität möglich, als dies bisherige Technologien erlauben. Erste Forschungsprojekte werden im Umfeld von Küstenerosionen, Überschwemmungen und Gletscherbewegungen durchgeführt [Env, MWT, Mar06]. Es ist gut möglich, dass die Verfügbarkeit von aussagekräftigeren und präziseren Daten klassische Modelle und Theorien zugrunde liegender Prozesse in Frage stellt. Ebenso kann man sich Auswirkungen verbesserter Vorhersagemöglichkeiten auf die Landwirtschaft, auf staatliche Regulierungsprozesse und die Versicherungswirtschaft vorstellen.

*Freizeitbereich.* Eine Reihe sehr interessanter Versuche nutzt die neue Technologie, um informativere und interaktivere Museums- oder Stadtführer zu gestalten [Equ, Cit]. In den richtigen Situationen eingesetzt und mit dem richtigen Inhalt versehen, haben sich diese als recht erfolgreich erwiesen. Mehr noch, diese oder ähnliche Systeme können dazu genutzt werden, ganz neue Typen von Freizeitaktivitäten (z.B. situationsabhängige Spiele) und Kunstformen hervorzubringen. Dies ist ein Anwendungsbereich, bei dem wir noch spannende Entwicklungen und Experimente erwarten dürfen.

*Gesundheitsvorsorge.* Im Gesundheitsbereich gibt es eine ganze Reihe potenzieller Anwendungen. In der Entwicklung am weitesten fortgeschritten ist die Überwachung des Gesundheitszustandes von kranken oder behinderten Personen, sowohl für diagnostische als auch für präventive Zwecke. Es gibt z.B. ein starkes Interesse an der kontinuierlichen Überwachung von gebrechlichen, älteren Personen, mit dem Ziel, es ihnen zu ermöglichen, weiter in ihren eigenen Wohnungen zu leben, und so die Pflegekosten erheblich zu senken [Bro06]. Auch im Rahmen der angestrebten intelligenten Krankenhäuser [Ubi] gibt es zahlreiche Möglichkeiten, das Personal im Gesundheitswesen bei verschiedensten Tätigkeiten zu unterstützen.

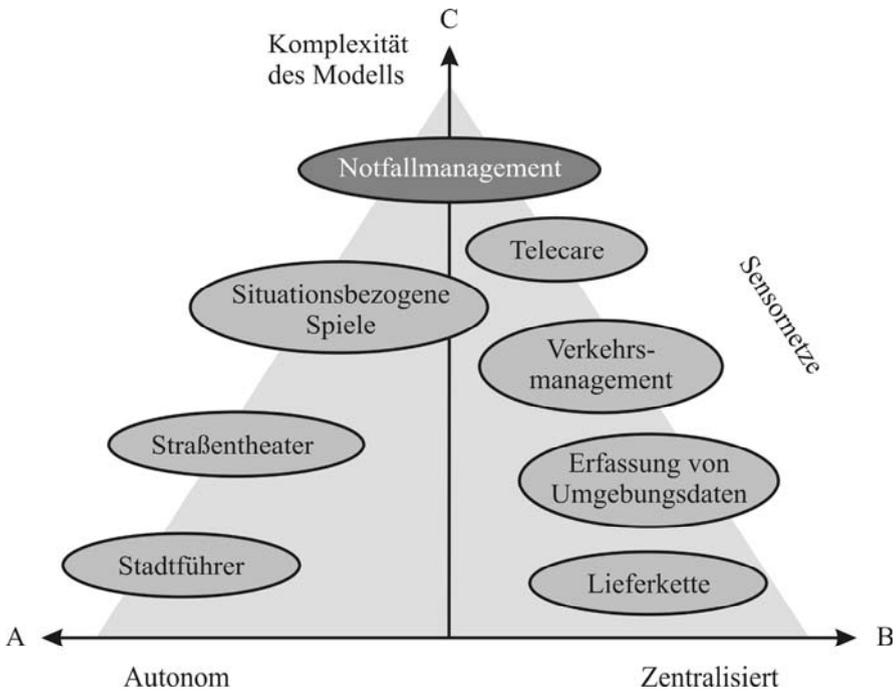
*Notfälle.* In Notfallsituationen kann Leben gerettet werden, falls die richtige Information zum richtigen Zeitpunkt verfügbar ist (beispielsweise bei Unfällen, Rettungsaktionen oder medizinischen Notfällen). Dabei kann es sich um Wegfindung, diagnostische Anleitung oder um die Warnung vor Risiken handeln. Die Information sollte hierbei so zur Verfügung gestellt werden, dass sie nicht verwirrt oder gar stört.

*Intelligentes Auto.* Als Beispiel dafür, was bereits heutzutage möglich ist, denke man an die Technologie in einem Auto der High-End-Klasse. Mit seinen über hundert Mikroprozessoren, die Motor-, Kontroll-, Sicherheits- und Fahrerinformationssysteme ermöglichen, stellt ein solches Auto momentan wohl das System dar, das einem iSpace am nächsten kommt. Zurzeit handelt es sich dabei um ein nahezu geschlossenes System mit extensiver On-Board-Kommunikation zwischen den hundert Mikroprozessoren. Lediglich Radio, Mobiltelefon und Navigations- bzw. Trackingsystem erstrecken sich dabei in nennenswerter Weise über die Fahrzeuggrenzen hinweg. Die Automobilhersteller haben zahlreiche Features sehr sorgfältig entworfen und behutsam weiterentwickelt, immer mit dem Ziel vor Augen, das Fahrerlebnis zu verbessern und nicht, es zu ersetzen. Das Ergebnis war nicht nur eine hohe Akzeptanz seitens der Kunden, sondern auch ein erstklassiges Produkt, welches zu einem Spitzenpreis verkauft werden kann. Unsere Erwartung ist, dass letztendlich viele andere Bereiche ein ähnliches Niveau an eingebauter Intelligenz erreichen und die verschiedenen Anwendungsfelder zunehmend von Informations- und Kommunikationstechnik durchdrungen werden. Die Sorgfalt beim Entwurf, beim Einbeziehen der Nutzer und bei der Marktentwicklung, die die Automobilhersteller haben walten lassen, wird zweifellos auch in anderen Anwendungsfeldern benötigt werden, falls diese erfolgreich sein sollen.

## **Ein Rahmen für Anwendungen**

Bezüglich ihrer Eigenschaften decken die beschriebenen Beispiele zwar einen großen Bereich ab, aber sie entsprechen alle dem in Abbildung 1 dargestellten Modell. Eine andere Möglichkeit, die verschiedenen Arten von Anwendungen zu klassifizieren, stellt das in Abbildung 2 skizzierte Modell dar.

Auf der einen Seite (B) finden sich diejenigen Anwendungen, deren Vorteil in der verbesserten und feinmaschigen Überwachung der realen Welt liegt (Lieferkette, Umweltmonitoring, Verkehrsmanagement und Telecare). Allgegenwärtige Informations- und Kommunikationstechnik wird es Unternehmen, bedingt durch billiges, integriertes „Tagging“, Nachverfolgung oder sensorgestützte Datenerfassung ermöglichen, Bestände und Prozesse mit einer bislang nicht erreichbaren Genauigkeit und Granularität in Echtzeit zu überwachen. Ein Mehrwert ergibt sich hierbei aus der Verfügbarkeit dieser Daten sowie der Möglichkeit, diese nach relevanten Informationen zu durchsuchen und zu interpretieren. In den meisten Fällen beutet dies, dass die Daten für die Informationssuche und für die Interpretation in einer zentralisierten Architektur zusammengeführt werden müssen, und sei es nur virtuell. Im Allgemeinen sind es diese Anwendungsarten, bei denen die größten Sorgen hinsichtlich des Schutzes persönlicher Daten bestehen.



**Abb. 2.** Die verschiedenen Grade an Autonomie und Komplexität in iSpace-Anwendungsfeldern

Auf der anderen Seite (A) befindet sich eine Klasse von Anwendungen, deren Nutzen in der Verfügbarkeit von lokalen Informationen (zusätzlichen Daten aus der digitalen Welt über den physikalischen Kontext eines Benutzers) begründet ist.

Repräsentanten dieser Klasse sind Anwendungen wie z.B. historische Stadtführer oder digital angereicherte Kunstdarbietungen und Museumsgestaltungen. Diese können oft mittels einer autonomen Architektur implementiert werden, die es den Benutzern erlaubt, auf Information und Wissen zuzugreifen, ohne ihren eigenen Kontext dabei irgendjemand anderem preisgeben zu müssen.

Bei beiden handelt es sich um interessante Klassen von Anwendungen im Bereich der allgegenwärtigen Informations- und Kommunikationstechnologie, und die ersten echten Applikationen beider Klassen zeichnen sich bereits ab. Selbst in ihrer einfachsten Form sind dies Anwendungen, die unser Leben reichhaltiger und interessanter machen oder unsere Produktivität steigern. Sie stellen damit erste Schritte hin zu smarten Umgebungen dar. Wir glauben allerdings, dass die interessantesten und überzeugendsten Beispiele smarter Umgebungen im Bereich von Punkt (C) aufkommen werden. Diese Entwicklung geht einher mit reichhaltigeren und subtileren Möglichkeiten, die Interaktion von Menschen mit der physischen Welt zu erfassen und zu modellieren, sowie der Bereitstellung adäquater Interaktionsformen zwischen Mensch und Maschine und einem geeigneten Zusammenspiel zwischen autonomer Aktion und globaler Wirkung. Derartige Aspekte lassen sich bereits bei aktuellen Forschungsprojekten erkennen, wo es darum geht, Rettungsteams oder gar Kampftruppen in stressreichen und lebensbedrohlichen Situationen zu unterstützen.

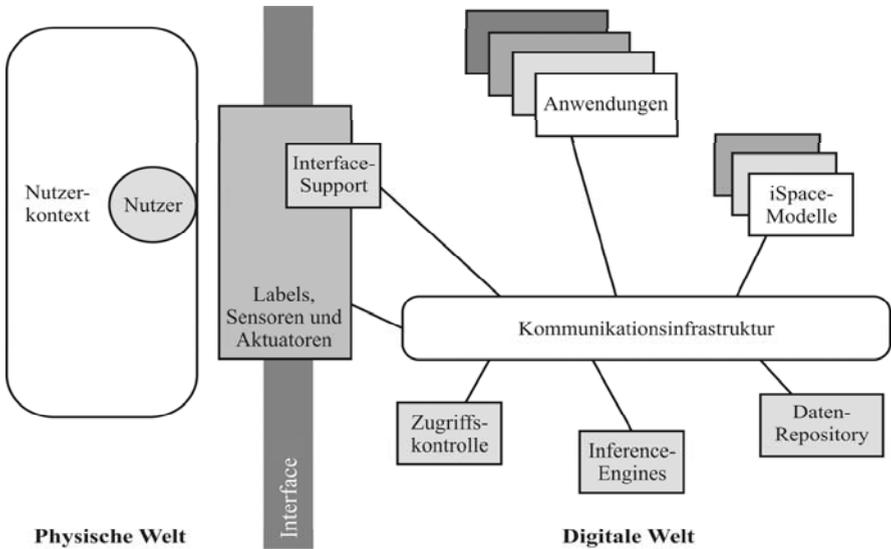
Aufgrund von Fortschritten und Kostenreduktionen in allen relevanten Technologiebereichen und einem klareren Verständnis der noch vorhandenen Forschungs- und Entwicklungslücken sind wir davon überzeugt, dass sich die iSpace-Technologie nun kurz vor dem Durchbruch befindet. Wir können uns mittlerweile, trotz der enormen Komplexität der Systeme, integrierte Lösungen in einer Reihe von Realweltanwendungen vorstellen.

## Technologische Möglichkeiten

Eine typische Anwendung, wie sie etwa durch das oben erwähnte intelligente Auto verkörpert wird, ist ein komplexer, dynamischer und im Allgemeinen heterogener Zusammenschluss aus folgenden Bestandteilen:

- Hardware: Labels, Sensoren, Aktuatoren, Prozessoren;
- Software: generische Systeme, künstliche Intelligenz, maschinelle Lern- und Analysesysteme, anwendungsspezifische Systeme;
- Modelle des Anwendungsbereichs;
- Kommunikationssysteme.

In Abbildung 3 ist schematisch die typische Systemarchitektur eines iSpace dargestellt.



**Abb. 3.** Generische iSpace-Architektur mit den benötigten Hardware- und Softwarefunktionalitäten

Wir werden uns auf drei Klassen von physikalischen Dingen in der Welt des iSpace beziehen, die mit Hilfe von Abbildung 4 näher beschrieben werden können.

- *Interfaces: Labels, Sensoren und Aktuatoren.* Dies sind Komponenten, welche die physische und die digitale Welt miteinander verbinden. Das einfachste Beispiel könnte ein Schalter oder eine Tastatur sein, allerdings umfasst diese Klasse beispielsweise auch eine Videokamera.
- *iSpaces: smarte Umgebungen.* Eine Menge von Labels, Sensoren und Aktuatoren mit Informationsverarbeitungsfähigkeit, die zusammen ein System bilden, das Parameter der physikalischen Welt erfasst, Schlüsse aus diesen Daten ziehen kann und eine Aktion in der physischen Welt vorschlagen (oder sogar selbst durchführen) kann. Wir stellen uns einen iSpace als ein umfassendes System vor, das ein wie auch immer geartetes Modell der „Umgebung“ und eine Reihe von Anwendungen enthält. Diese Anwendungen verbessern unsere Fähigkeit, die physikalische Welt um uns herum wahrzunehmen und zu begreifen, und sie nutzen ihr Wissen, um unsere Handlungsmöglichkeiten in der Welt zu erweitern oder das Erleben der Welt für uns reichhaltiger zu machen.
- *iThings: smarte Gegenstände.* Einige Komponenten des iSpace werden direkt in physischen Dingen innerhalb des iSpace realisiert werden, und andere wiederum können in entfernten Infrastrukturen implementiert sein. Mit „iThings“ bezeichnen wir „smarte“ Subsysteme eines iSpace, die im iSpace selbst vorhanden sind.