

Friedemann Mattern / Marc Langheinrich

Eingebettete, vernetzte und autonom handelnde Computersysteme: Szenarien und Visionen

Today we are confronting a new breed of machines, one with intelligence and autonomy, machines that can indeed take over for us in many situations. In many cases, they will make our lives more effective, more fun, and safer. But in others, they will frustrate us, get in our way, and even add to the danger.

Donald A. Norman

Computer sind bereits heute in zahlreichen Bereichen unseres Lebens präsent. Und sie werden unseren Alltag noch viel stärker durchdringen, weil sie immer kleiner, billiger, leistungsfähiger werden. Hält diese Entwicklung an, erscheint es möglich, dass unsere Welt in Zukunft durchsetzt sein wird von praktisch unsichtbaren Computersystemen, die mit Sensoren ihre Umgebung laufend erfassen und die aktuelle Situation interpretieren, um dann miteinander zu kooperieren und mittels Aktoren steuernd in die Realität einzugreifen.

In der Forschung werden bereits Informations- und Kommunikationstechnologien erprobt, die sich in Alltagsgegenstände integrieren lassen und so Umgebungen schaffen, die adäquat auf die Gegenwart des Menschen, seine Gewohnheiten und die aktuelle Situation reagieren. Indem autarke, aber drahtlos miteinander kommunizierende Computer in Dinge und Lebensräume integriert werden, verleihen sie diesen eine Zusatzfunktionalität, womit eine den Menschen unterstützende unauffällige Hintergrundassistenten realisiert wird.

Die Vielzahl solcher Computersysteme und ihre Verborgenheit, aber auch die Komplexität der gesteuerten Vorgänge und die manchmal sehr kurzfris-

tigen Entscheidungszeiträume erfordern fast zwangsläufig, dass die Systeme autonom agieren. Denn der Mensch wäre mit ihrer Kontrolle nicht nur überfordert, er möchte meist auch gar nichts von ihnen wissen, solange sie nur im Hintergrund ihre Aufgabe gut und richtig erfüllen. «Humans out of the loop» lautet deshalb oft die Devise der Entwickler.

Ein schleichender Prozess

Dass selbständig agierende Mikrocomputer unseren Alltag immer mehr durchdringen, ist ein schleichender Prozess, den wir kaum explizit wahrnehmen, obschon er bereits vor einigen Jahren begonnen hat. Tatsächlich interagieren wir bereits heute, im Zeitalter von Mobiltelefonen, computergesteuerten Haushaltsgeräten, «smarten» Fahrzeugen und digitaler Unterhaltungselektronik, täglich unbewusst mit Hunderten von kleinen Steuerungscomputern: Wenn immer wir Auto fahren, Wäsche waschen, Kaffee kochen, Aufzüge verwenden, Musik hören oder telefonieren, nutzen wir dabei verborgene Computersysteme, die uns diese Tätigkeiten bequemer und sicherer erledigen lassen als früher.

Typische Beispiele für die zunehmende, aber noch kaum wahrgenommene Informatisierung alltäglicher Dinge und Prozesse liefert das Auto: Es begann damit, dass Mikroprozessoren mechanische oder analoge elektronische Regelungen (etwa zur Optimierung der Motorsteuerung) digital nachbildeten. Heute sind wir so weit, dass zum Beispiel durch das Betätigen des Bremspedals ein komplizierter informatischer Prozess angestoßen wird: Unsere Absicht, das Fahrzeug abzubremesen, wird entsprechend der konkreten Situation (Lenkradeinschlag, eventuelle Blockade von Rädern etc.) von einem Computer ausgewertet, der dann nach einem vorprogrammierten Schema die optimalen Bremsfunktionen auslöst.

In Zukunft wird die Informationstechnologie im Auto deutlich darüber hinausgehende Möglichkeiten eröffnen: Sensoren können die aktuelle Verkehrssituation und sogar den Zustand des Fahrers so genau erfassen, dass sich viel weitreichendere Entscheidungen an das automatische System delegieren lassen – etwa bis hin zur Frage, ob eine Zwangsbremmung

des Autos stattfinden soll, wenn das System «meint», dadurch einen Unfall verhindern zu können.

Undurchschaubare Systeme

Der angedeutete Trend ist natürlich nicht auf so genannt «intelligente» Autos beschränkt. Die Informatisierung des gesamten Alltags (Mattern, 2007a) bekommt dank immer kleinerer Sensoren, billigerer Speicher und zunehmender Vernetzung eine neue Qualität: Informatik-Systeme, die in die physische Umgebung eingebettet sind, können eine laufend grössere Menge an Fakten über den aktuellen Zustand berücksichtigen und dadurch ihre Aufgaben selbständig planen und durchführen. Mehr noch: Sie können adaptiv auf Situationen reagieren, die von den Entwicklern gar nicht im Detail vorausgesehen wurden.

Diese Fähigkeit zur Selbstanpassung – und zwar in Echtzeit – eröffnet ganz neue Anwendungsmöglichkeiten (Coroama, 2006b; Ducatel, 2001), wie weiter unten gezeigt wird. Allerdings werden damit die Systeme für die Nutzer – und manchmal auch für die Entwickler – undurchschaubarer: Ihr Verhalten lässt sich nicht immer voraussagen oder nachvollziehbar erklären. Damit erhalten auch Begriffe wie «Vertrauen» und «Verantwortung» in vielen Anwendungsbereichen eine neue und wichtige Bedeutung.

Die folgenden Szenarien und Visionen sollen einen Eindruck davon vermitteln, welche prinzipiellen Möglichkeiten sich in den nächsten Jahren durch die Fortschritte der Informations- und Kommunikationstechnik ergeben. Manches ist dabei zum jetzigen Zeitpunkt natürlich noch Spekulation, denn wie die Erfahrung aus der Vergangenheit zeigt (Mattern, 2007b), sind nicht nur Technikprognosen schwierig, sondern es lässt sich auch kaum vorher-sagen, welche künftigen Anwendungen auf Akzeptanz stossen, geschweige denn, welche sich ökonomisch rechnen werden.

Hilfsbereite Autos

Die Informatisierung des Autos, die sich bisher mit Marketing-Kürzeln wie ABS, ESC und ETS manifestierte,¹ soll es nach dem Wunsch vieler Politiker und Hersteller in Zukunft ermöglichen, aktiv in den Prozess des Fahrens einzugreifen und den Fahrer nicht mehr nur bei einem Notfall unterstützen, sondern einen solchen bereits im Vorfeld zu verhindern versuchen (BFU, 2002).

Erste Prototypen beobachten beispielsweise mit Kameras die Fahrbahnmarkierungen, um bei einem schleichenden Spurwechsel (z.B. infolge von Müdigkeit) entweder den Fahrer durch Geräusche – die etwa das Fahren auf einem «Nagelbrett» am Fahrbahnrand simulieren – auf das Verlassen der Spur aufmerksam zu machen oder sogar die Spur automatisch zu halten: «Droht das Fahrzeug unbeabsichtigt die Spur zu verlassen, warnt das System den Fahrer. Durch die Vernetzung mit einer aktiven Lenkung kann das Fahrzeug sogar zurück in die Spur geführt werden.»²

Andere Ansätze verwenden in das Fahrzeuginnere gerichtete Kameras, um an der Augenbewegung die Müdigkeit des Fahrers (insbesondere Anzeichen für den so genannten «Sekundenschlaf») zu erkennen. Bereits serienreif sind Einparkautomaten, die das Fahrzeug selbständig in eine automatisch vermessene Parklücke manövrieren, sowie der mit Video- und Radartechnik ausgestattete Tempomat,³ der von sich aus die Geschwindigkeit reduziert, wenn sich das Auto einem langsameren vorausfahrenden Fahrzeug nähert.

Im Gegensatz zum einfachen Bremsassistenten, der den offensichtlichen Vorsatz zum Anhalten (z.B. durch Vermeidung von Blockaden oder Durchdrehen der Reifen auf nasser Strasse) unterstützt, bleibt beim smarten Tempomaten oder dem intelligenten Spurassistenten jedoch ein gewisses Restrisiko, dem eigentlichen Willen des Fahrers zuwider zu handeln – viel-

¹ ABS steht für *Antiblockier-System*, ESC für *elektronische Stabilitätskontrolle* und ETS für *elektronisches Traktionssystem*.

² www.bosch-presse.de/TBWebDB/de-DE/PressText.cfm?id=2766

³ Abgekürzt auch ACC genannt – Adaptive Cruise Control.

leicht will dieser ja durch das dichte Auffahren zügig zum Überholen ansetzen und wird nun durch das automatisch ausgelöste Bremsen und Gegenlenken erst recht zum Verkehrsrisiko.

Auf den ersten Blick weniger kritisch erscheinen Ansätze im Bereich der immer populärer werdenden Navigationssysteme. Hier verspricht die Entwicklung von sogenannten «Augmented Reality Systems» das Einblenden der Streckeninformation direkt auf der Windschutzscheibe, so dass die zu folgende Route entweder als ein der Strasse überlagerter farbiger Streifen erscheint oder in Form eines projizierten «Geisterwagens», dem es zu folgen gilt (Ferscha et al., 2004). Statt den Blick also periodisch auf die Armaturen zu richten, behält der Fahrer das Verkehrsgeschehen ständig im Blick. Eine neben den Frontscheinwerfern eingebaute Infrarotkamera soll darüber hinaus bei Dämmerung oder Dunkelheit Personen und Tiere erkennen und diese im Blickfeld des Fahrers hervorheben⁴. Mit der gleichen Technik liessen sich sogar Personen zwischen geparkten Fahrzeugen anzeigen. Auch andere fahrrelevante Dinge wie etwa Ölflecken oder Eisglätte könnten auf diese Weise direkt in das Blickfeld des Fahrers gebracht werden.

Um in Gefahrensituationen möglichst frühzeitig reagieren zu können, sollen sich in Zukunft die Fahrzeuge gegenseitig automatisch über Kurzreichweitenfunk warnen (Abb. 1). Konkret: Falls Traktionskontrolle und Temperatur-



Abbildung 1: Smarte Autos machen sich gegenseitig auf Gefahren aufmerksam (Quelle: www.germancarfans.com)

⁴ Das «Night-Vision» System von Bosch kommt bereits in der Mercedes S-Klasse zum Einsatz (siehe www.bosch-presse.de/TBWebDB/de-DE/PressText.cfm?id=2766).

sensoren eine Eisglätte erkennen, soll das System auch die entgegenkommenden und nachfolgenden Verkehrsteilnehmer darüber informieren.

Strassenverkehr situationsgerecht steuern

Die Navigation selbst kann in naher Zukunft mit Hilfe der in den einzelnen Fahrzeugen integrierten Sensoren dynamisch dem aktuellen Verkehrsaufkommen angepasst werden. Stellt ein Auto beispielsweise Schrittgeschwindigkeit auf einem Autobahnstück fest, so kann das automatische Melden dieser Tatsache einer Verkehrsleitzentrale ermöglichen, das Entstehen bzw. Auflösen von Verkehrsbehinderungen in Echtzeit zu verfolgen und die Navigationssysteme aller Fahrzeuge in der näheren Umgebung zeitnah über die Verkehrslage (und eventuelle Alternativrouten) zu informieren. Basierend auf solchen Szenarien wurden auch bereits Modelle entworfen, welche die Verkehrsentwicklung für eine gewisse Zeit vorhersagen und so Stausituationen verhindern oder zumindest mildern könnten.

Auch wenn Autofahrer (zunächst) nicht gezwungen wären, den Hinweisen ihres smarten Navigationssystems zu folgen, brächte es Nutzen für alle und dürfte daher schnell akzeptiert werden. Interessant an dieser Technologie ist vor allem, dass sie Verkehrsplanern eine sehr weit reichende automatisierte Kontrolle über die Verkehrsströme erlauben könnte, da sich mit einem weiterentwickelten System sogar in dirigistischer Weise grossflächig in den Strassenverkehr eingreifen liesse. Beispielsweise könnte man je nach Verkehrs- und Umweltlage (z.B. Smogbildung) unterschiedliche Gebühren für die Fahrt in eine Innenstadt verlangen und den Automobilisten die aktuellen Preise und Optionen (Park&Ride etc.) auf ihrem Navigationssystem präsentieren. Mit einem solchen System liesse sich natürlich auch die Abrechnung der Mautgebühren automatisieren.

Der nächste Schritt wäre dann die Einführung eines allgemeinen dynamischen Road-Pricings. Damit könnte man nicht nur das Fahren auf bestimmten Strecken oder zu bestimmten Zeiten unterschiedlich teuer machen, sondern beispielsweise auch Fahrverbote oder generelle Geschwindigkeitsbeschränkungen bei hoher Ozon- oder Feinstaubkonzentration durch

sinnvollere (und vermutlich akzeptablere) Alternativen ersetzen: Automobilisten könnten dann – insbesondere bei einem Notfall oder wenn es ihnen wirklich wichtig ist – ihr Auto dennoch benutzen, müssten für die Fahrt aber einen entsprechend hohen Preis zahlen (evtl. abhängig von der gefahrenen Geschwindigkeit oder von der konkreten Umweltbelastung).

Statt dass der Staat die strikte (und evtl. automatisch kontrollierte oder gar erzwungene) Einhaltung von starren Verkehrsbeschränkungen verlangt und sich damit Vorwürfe einhandelt, könnte er also den Verkehr auf diese «sanfte» Weise steuern und so einen globalen Nutzen erzielen, ohne die Bürger zu sehr zu verärgern.

Autoversicherung: Pay as you drive

Ähnliche Überlegungen werden im Bereich von Autoversicherungen angestellt, um Haftpflichtprämien nach dem individuellen Fahrstil zu berechnen (Coroama, 2006a): Fahrer, die etwa abrupt beschleunigen und bremsen oder ihr Auto häufig bei Nacht und Regen benutzen, bezahlen eine höhere Prämie als jene, sich weniger risikoreich verhalten. Technisch geschieht dies mithilfe von Ortungssystemen wie GPS, die jederzeit feststellen können, wo sich ein Auto befindet, und dies dann zusammen mit Parametern wie der Fahrgeschwindigkeit etc. per Mobilkommunikation an die Versicherung melden – eventuell in aggregierter und teilweise anonymisierter Form durch eine «Blackbox» im Fahrzeug. Monatlich könnte dann eine Rechnung über die Gesamtprämie entsprechend den effektiven Fahrten und den jeweils damit verbundenen Risiken erstellt werden.

Schon heute bietet eine ganze Reihe von Versicherern⁵ vor allem Fahranfängern und Unternehmen eine einfache Variante einer solchen «Pay-as-you-drive»-Fahrzeugversicherung an. Gerade für Wenigfahrer ergeben sich dabei oft signifikante Prämiensparnisse (Detecon, 2006). Viele Versicherungsnehmer fühlen sich damit auch «fairer» behandelt (Arruda, 2006).

Noch keines dieser heutigen Systeme ist allerdings im engeren Sinne «autonom» – weder greift es aktiv in das Fahrverhalten ein, noch passt es die Versicherungsprämie dynamisch in Echtzeit an. Stattdessen werden Kunden üblicherweise Rabatte beim Erreichen bestimmter Ziele in Aussicht gestellt, z.B. beim Unterschreiten einer gewissen Jahreskilometerleistung. Die Kosten bleiben dadurch kalkulierbar, und Kunden können prinzipiell nur «gewinnen», auch wenn für den Fahrer unklar bleibt, was genau sein Auto autonom der Versicherung meldet, und ob diese Daten eventuell seinen künftigen Versicherungsschutz beeinflussen könnten.

Es bleibt abzuwarten, ob die durch den Technikfortschritt ermöglichte wesentlich genauere Erfassung des individuellen Fahrverhaltens in zukünftige Versicherungsangebote einfließen wird – und ob die Kunden dies dann auch akzeptieren würden.



Abbildung 2: Ankleidekabine im Prada Epicenter Store in New York: Funketiketten in den Kleidern ermöglichen das Abspielen von passenden Videos mit Kombinationsvorschlägen (Bildquelle: www.ideo.com)

⁵ Beispiele in Europa sind Norwich Unions PAYD-Modell in Grossbritannien (siehe www.payasyoudriveinsurance.co.uk), UNIQAs NoVi-Pilotprojekt in Österreich, das Auto-Profi-Produkt für Geschäftskunden der deutschen DBV-Winterthur sowie das Young & Safe-Produkt der WGV in Deutschland (Detecon, 2006).

Funketiketten revolutionieren Logistik und Handel

Teilweise bereits weit fortgeschritten in der Anwendung eingebetteter und vernetzter Computersysteme sind Entwicklungen und Prototypen im Bereich Handel und Logistik. Drahtlos auslesbare Funketiketten, so genannte «RFID-Chips»,⁶ lösen den optischen Strichcode in weiten Teilen der Lieferkette zusehends ab. Gegenüber Barcodes bieten Funketiketten den Vorteil, dass sie über Entfernungen von bis zu wenigen Metern auch ohne direkte Sichtverbindung ausgelesen werden können und somit eine Identifikation von Behältern und Paletten unabhängig von deren Ausrichtung zum Lesegerät möglich ist. RFID-Systeme erlauben auch wesentlich höhere Informationsdichten, d.h. statt der Strichcode-Nummer können nun auf einer kleineren Fläche mehr Produktdaten gespeichert werden, wodurch Warenströme detaillierter erfasst werden können.

Branchenkenner erwarten durch den konsequenten Einsatz solcher Identifikationstechnologien gewaltige Einsparungen (Fleisch, 2004). Schon heute verlangen Handelsgiganten wie der amerikanische Wal-Mart-Konzern von ihren Zulieferern eine konsequente Kennzeichnung der Waren mit Funketiketten (Das, 2006). Die deutsche Metro-Handelsgruppe hat erste RFID-Pilotprojekte bereits erfolgreich abgeschlossen, und auch Automobilkonzerne haben inzwischen eine Reihe von innerbetrieblichen Abläufen auf RFID umgestellt.

Interessant wird es vor allem, wenn RFID-Chips nicht mehr nur auf Kartons und Paletten angebracht werden, sondern direkt an Produkten – auf Flaschen und Dosen geklebt, in Plastikgriffe von Rasierern und Lippenstiften integriert oder in die Etiketten von Kleidungsstücken eingewoben. In Regalböden angebrachte RFID-Antennen könnten dann automatisch erkennen, ob zu wenige oder sogar falsche Produkte im Regal stehen und umgehend Mitarbeiter darauf aufmerksam machen.

Einen Schritt weiter ging man im *Prada Epicenter Store* in New York, wo versuchsweise Kleideretiketten mit RFID-Chips versehen wurden. Suchte

⁶ RFID steht für *Radio Frequency Identification*

eine Kundin eine Anprobekabine auf, wurden ihr auf dort angebrachten Displays Informationen und Kombinationsvorschläge für das ausgewählte Kleidungsstück angezeigt sowie die aktuell im Laden vorrätigen Größen und Farben genannt. Wenn auch die persönlichen Kundenkarten eines solchen Ladens mit Funketiketten versehen sind, ist es prinzipiell sogar möglich, früher gekaufte Kollektionen sowie persönliche Vorlieben abzurufen und dann automatisch entsprechende Kaufvorschläge zu generieren. Was zunächst nach Kundenvorteil aussieht, kann allerdings schnell als negativ empfunden werden: Wenn ein technisch derart hochgerüsteter Verkäufer alle Vorlieben eines Kunden kennt, kommt bei diesem leicht das Gefühl der Beeinflussung auf – die Angst, dass man ihm etwas aufschwätzen will und dass er nicht mehr wirklich selbst entscheiden kann (Reda, 2004).

Eher harmloser sollen – so jedenfalls eine populäre Vision – RFID-Chips dereinst in Supermärkten das Leben erleichtern: Automatische Kassen erfassen sämtliche Produkte in der Einkaufstasche, ohne dass diese einzeln auf ein Laufband gelegt werden müssten. Eine ebenfalls mit RFID ausgestattete Kreditkarte ermöglicht gleichzeitig das Abbuchen des geschuldeten Geldbetrags – der Kunde könnte dann den Supermarkt direkt verlassen, ohne an einer Kasse anstehen zu müssen.

Erste in den USA im Umlauf befindliche RFID-Kreditkarten sorgen momentan allerdings für andere Schlagzeilen: Forscher der University of Massachusetts konnten die ohne jegliche Sicherheitstechnik ausgerüsteten Funkchips unbemerkt auslesen, auch wenn die Kreditkarte tief im Geldbeutel der Hosentasche steckte (Heydt-Benjamin et al., 2007). Bequemlichkeit hin oder her: Ein auf derart unsicherer Technik beruhendes Bezahlungssystem könnte bei der Kundschaft Skepsis hervorrufen oder gar auf Ablehnung stossen.

Chips warnen vor Gefahren

Eingebettete und funkvernetzte Computersysteme sollen in Zukunft auch im Logistikbereich noch wesentlich mehr leisten, als mit reinen RFID-

Systemen möglich ist. Statt nur die Identität (d.h. Hersteller, Produkt- und Seriennummer) zu melden, könnten in Paletten und Verpackungen integrierte Miniatursensoren kontinuierlich den momentanen Ort und den Zustand von Waren überwachen und in Echtzeit an die Firmenzentrale übermitteln. Ein Ausfall der Kühlkette könnte so beispielsweise sofort erkannt werden und verdorbene Ware unmittelbar aus dem Verkehr gezogen werden – im gleichen Moment würde die entsprechende Nachbestellung ausgelöst.

Forscher an der University of Lancaster arbeiten zusammen mit BP und SAP an entsprechenden Systemen für Gefahrguttransporte, um beispielsweise die Lagerung zweier für einander gefährlicher Stoffe in unmittelbarer Nähe zu verhindern: Bemerkt der mit dieser Technik ausgerüstete Behälter des einen Gefahrgutes einen Behälter der anderen Stoffgruppe im eigenen Umkreis, löst er sofort Alarm aus (Davies et al., 2007).

Mit der gleichen Technik liesse sich auch durchsetzen, dass Maschinen auf einer Baustelle nur dann funktionieren, wenn alle Bediener korrekt mit Helm und Lärmschutz ausgerüstet sind. Selbst wenn der Einzelne eine solche maschinelle Bevormundung als gravierenden Eingriff in seine Autonomie ansehen mag, wiegen die arbeits- und haftungsrechtlichen Umstände im industriellen Umfeld sicher schwerer als die persönliche Freiheit der betroffenen Mitarbeiter.

Gesundheit «online» überwachen

Ähnlich wie im Handel und in der Industrie können auch in Spitälern durch konsequenten Technologieeinsatz Fehler vermieden und Prozesse optimiert werden. So lassen sich beispielsweise leer stehende Betten automatisch erfassen und melden oder medizinisches Personal lokalisieren und bei Notfällen dynamisch disponieren.

Auch hier gilt es, eine angepasste Balance zwischen Autonomie und Effizienz zu finden. Während ein System, das autonom medizinisches Hilfspersonal disponiert und diesem ausgehend vom momentanen Aufenthaltsort und der gegenwärtigen Tätigkeit dynamisch Aufgaben zuweist, gerade noch akzeptabel sein mag, könnte das gleiche System bei Ärzten auf starke Gegenwehr stossen, da hier der berufsbezogene Autonomiegrad deutlich höher liegt (Müller et al., 2003; Scholl et al., 2007).



Abbildung 3: Der smarte Medizinschrank berät bei der Auswahl von Medikamenten (Quelle: Accenture)

Zu Hause kann drahtlos kommunizierende Sensortechnologie die Behandlung sicherer machen, indem beispielsweise Tablettenverpackungen das Herauslösen einzelner Tabletten registrieren und dies über Funk dem Hausarzt melden (Flörkemeier und Siegemund, 2003). Ein «smarter» Medizinschrank könnte die mit RFID versehenen Medikamentenverpackungen erkennen und dem Benutzer beim Herausnehmen die korrekte Dosis angeben und über Kontraindikationen informieren (Lampe und Flörkemeier, 2004). Auch Verfallsdatum oder Rückrufe könnten dem Benutzer zeitnah angezeigt werden.

Schon heute werten in Japan einige Toiletten automatisch Urinwerte aus und ermöglichen eine frühzeitige Diagnose bei Problemen.⁷ In Unterwäsche eingewobene Sensoren können in Zukunft Herzschlag und andere Vitalparameter messen und diese an einen beispielsweise im Gürtel integrierten Kleinstcomputer senden (Tröster, 2007). Bei problematischen Werten könnte dann automatisch über das Mobiltelefon des Benutzers ein Gesundheitsdienst informiert werden. Ob smarte Unterwäsche und Gürtel

⁷ Siehe www.cnn.com/2005/TECH/06/28/spark.toilet/index.html

dann allerdings immer nur ihren Besitzern gehorchen und «unbequeme» Werte interessierten Krankenversicherungen und neugierigen Arbeitgebern (z.B. bei Verdacht auf Alkohol- oder Drogenmissbrauch) verschweigen, bleibt abzuwarten.

Auch im Wellnessbereich können solche Technologien gute Dienste leisten: «Smarte» Unterwäsche kann beispielsweise Sportler beim Training unterstützen und Gesundheitsbewusste über die tägliche Bewegung (bzw. deren Mangel) informieren. Bereits heute vertreiben der Sportartikelhersteller Nike und der Computerhersteller Apple das «iPod Sport Kit», bei dem Sensoren in der Sohle des Turnschuhs drahtlos nicht nur die gelaufenen Kilometer an den iPod übermitteln, sondern auch eine dem aktuellen Lauftempo angepasste Musikauswahl getroffen wird.

Wie bei der Autoversicherung wäre es prinzipiell auch hier möglich, dass eine Krankenversicherung Anreize für gesundes Leben und ausreichende sportliche Betätigung schafft, indem sie Nutzer solcher Systeme durch Rabatte für ihren positiven Lebensstil belohnt. Das Aufgeben der Autonomie kann dann ebenfalls monetär abgegolten werden – die Entscheidung, einem Computersystem die Überwachung des eigenen Verhaltens zu übertragen, erfolgt dann «zwanglos» in eigener Verantwortung.

«Smarte» Alltagsprodukte

Computer-, Sensor- und Funktechnologie kann, wenn sie nur hinreichend klein und billig ist, auch direkt in Alltagsgegenstände eingebaut werden. Wenn solcherart «smart» gemachten Dinge Daten sammeln, speichern, verarbeiten und kommunizieren, erhalten sie eine erweiterte Funktionalität und damit eine zusätzliche Qualität. Beispiele für «smarte» Dinge sind Autoreifen, die den Fahrer benachrichtigen, wenn der Luftdruck abnimmt,⁸

⁸ Ab September 2007 müssen alle in den USA zugelassene Neuwagen ein «Tire Pressure Monitoring System» besitzen (Abschnitt 13 des «Transportation Recall Enhancement, Accountability, and Documentation (TREAD) Acts» – siehe www.nhtsa.gov/cars/rules/rulings/TREAD/MileStones/index.html).

oder Medikamente, die sich bemerkbar machen, bevor ihr Haltbarkeitsdatum abläuft.

Allgemein ist zu erwarten, dass zunehmend hybride Produkte entstehen, die sich aus physischer Leistung (z.B. ein Medikament mit seinen biochemischen und medizinischen Wirkungen) und Informationsleistung (etwa aktuelle Hinweise zum Verlauf einer Grippeepidemie) zusammensetzen.

Werden industrielle Erzeugnisse wie Haushaltsgeräte, Spielzeuge, Kleidungsstücke etc. durch integrierte Informationsverarbeitung «schlau», oder erhalten sie Sensoren zur Wahrnehmung des Kontextes (wissen also z.B., wo und in welcher Umgebung sie sich gerade befinden), so sind dadurch nicht nur innovative Produkte, sondern auch zusätzliche Dienstleistungen und neue Geschäftsmodelle möglich: Der digitale Mehrwert eines Produkts kann dieses beispielsweise von physisch ähnlichen Konkurrenzprodukten abheben. Oder es kann die Kunden stärker an eigene Mehrwertdienste und dazu kompatible Artikel binden.

Die Kosten der mit den Produkten verbundenen Zusatzdienste können pauschal im Produktpreis enthalten sein – müssen aber nicht: Denn durch technisch ausgefeilte Methoden, welche die tatsächliche Nutzung von Gegenständen ermitteln und weitermelden, sind nach dem Prinzip «Pay-per-Use» auch neue Abrechnungs- und Leasingmodelle möglich, wie schon am Beispiel der Autoversicherung skizziert wurde.

Von der Flugzeugturbine zur Kaffeemaschine

Derzeit ist die für hybride Produkte erforderliche Technik noch relativ aufwändig und teuer, so dass diese höchstens bei hochpreisigen Gütern eingesetzt wird. So werden beispielsweise Flugzeugturbinen des Herstellers General Electrics mit drahtlos vernetzten Sensorsystemen überwacht: Stellt das System während eines Fluges ein Problem fest, wird noch vor der Landung ein detaillierter Bericht an einen Service-Techniker vor Ort übermittelt, samt einer von der Turbine zusammengestellten Liste der benötig-

ten Ersatzteile.⁹ Mit zunehmender Verbilligung der entsprechenden Informations- und Kommunikationstechnologie dürften bald aber auch banalere Produkte von einer solchen «Informatisierung» profitieren.

Schon die einfache Erweiterung eines Produktes um eine maschinenlesbare Identifikation mit Hilfe der oben angesprochenen Funketiketten kann – auch ausserhalb der klassischen Logistik-Szenarien – Nutzen bringen. So könnten reparaturanfällige Haushaltsgeräte wie Kaffee-, Wasch- und Geschirrspülmaschinen eine unkomplizierte Garantieabwicklung dank RFID-basierter Identifikation durch den Kundendienst bieten.

Mit der zunehmenden Verbreitung von Mobiltelefonen, die RFID-Chips über kurze Distanzen auslesen können, sind sogar Selbstdiagnosesysteme denkbar, bei denen der Kunde sein Handy an das defekte Gerät hält und die vermutliche Fehlerursache übermittelt bekommt, um entweder ein Ersatzteil direkt beim Hersteller bestellen zu können oder den Besuch eines Servicetechnikers zu vereinbaren (Roduner et al., 2007).

Es droht der Technikpaternalismus

Heikel wird es allerdings, wenn die automatische Erkennung von Problemen zu einer aufdringlichen Signalisierung führt, oder gar zum «richtigen» Verhalten zwingt. Beispiele dafür sind die Anschnallerinnerung, die heutzutage in praktisch allen Fahrzeugen das Anlegen des Sicherheitsgurtes «vorschlägt», oder der «Alcokey» von Saab, der das Fahrzeug nur dann startet, wenn der Fahrer nicht alkoholisiert ist.¹⁰ Auch eine Espressoemaschine, die durch lautes Piepsen darauf aufmerksam macht, dass sie gereinigt werden muss, oder die «smarte» Bohrmaschine, die nur dann funktioniert, wenn der Schutzhelm und Schutzbrille aufgesetzt sind (Technology Review, 2005) und die vorgeschriebene tägliche maximale Nutzungsdauer noch nicht erreicht ist (Davies et al., 2007), sind entsprechende Beispiele.

⁹ Siehe www.economist.com/printedition/displayStory.cfm?story_id=949030.

¹⁰ Siehe www.carpages.co.uk/saab/saab-alcokey-08-06-05.asp

Offensichtlich kann regelkonformes Verhalten von «smarten» Dingen unterschiedlich deutlich eingefordert werden: von dezenten Hinweisen (die dann vielleicht meist ignoriert werden) bis hin zu Zwangsmassnahmen (Einstellung der Funktion bei der Espressomaschine, technische Begrenzung der Geschwindigkeit beim Auto). In solchen Fällen wird an sich hilfreiche Technik allerdings schnell als repressiv empfunden. Spiekermann und Pallas diskutieren diesen Aspekt unter dem Begriff des «Technologiepaternalismus» (Spiekermann und Pallas, 2007), dem die Vorstellung zugrunde liegt, dass eine automatisch agierende Hintergrundassistentz zwar den Menschen «nach bestem Wissen und Gewissen» umsorgen mag und sogar in dessen Interesse handeln mag, ihm aber dabei wesentliche Entscheidungsfreiheit und Handlungsverantwortung vorenthält.

Man kann erwarten, dass sich in Zukunft durch das zunehmende Kontextbewusstsein immer mehr Dinge so verhalten, wie sie selbst glauben, dass es für den Menschen in der vermuteten Situation angemessen oder «richtig» ist. Wenn ein smartes Ding den Kontext jedoch falsch versteht oder inadäquat interpretiert, wird ein solches Verhalten zumindest als lästig empfunden, schlimmstenfalls ist man aber der «Ideologie» des Gegenstandes ausgeliefert und muss sich ihr unterwerfen.

Auf einen weiteren problematischen Aspekt allzu schlauer Dinge und Umgebungen weist der Philosoph Philip Brey hin: Zwar bezweifelt er, dass Dinge schon bald so intelligent werden, dass sie die Intentionen des Menschen verstehen und sich dementsprechend zielgerichtet und nützlich verhalten. Sollte es aber jemals dazu kommen, so hätten solche Objekte gespenstische Eigenschaften, die Brey wie folgt umschreibt: «They would use such complex algorithms arriving at their conclusions that their inferences can no longer be accounted for. A smart object may conclude that a user wants to order 200 bottles of Chardonnay, but may no longer be able to explain to the user on what basis it has drawn its conclusion. Users may even start experience cognitive dissonance, when they believe they want one thing but a smart object tells them that they want something else» (Brey, 2005).

Man muss solchen autonomen Objekten daher entweder «blind» vertrauen, ähnlich wie etwa ein kleines Kind seinen Eltern vertraut, oder aber diese wie auch ihre Empfehlungen und Handlungen schlichtweg ablehnen – aus irrationalen Gründen und einfach deswegen, weil man ein ungutes Gefühl hat.

Wenn das Haus «mitdenkt»

Das Erweitern der Funktionalität einzelner Gegenstände mittels Computerleistung, Sensorik und Kommunikationstechnik lässt sich auch «im Großen», d.h. in Räumen und ganzen Gebäuden, bewerkstelligen. Die Erwartung ist, dass ein mit so genannter «Ambient Intelligence» ausgestattetes Haus den Komfort und die Sicherheit erhöht, zur automatischen Energieeinsparung beiträgt, sanft über relevante Ereignisse informiert und uns über geeignete Telekommunikationsmedien mit anderen Menschen verbindet.

Mehr oder weniger wünschenswerte konkrete Beispiele fallen leicht ein: 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. Eine Heizungsanlage kann durch Kommunikation mit den Fahrzeugen oder Mobiltelefonen ihrer Bewohner abschätzen, wann diese zuhause eintreffen, um rechtzeitig die Wohnung auf die richtige Temperatur zu bringen. Waschmaschinen können die Pflegehinweise aus Funketiketten der Kleidung auslesen, um automatisch das passende Waschprogramm zu wählen bzw. vor dem gemeinsamen Waschen von Koch- und Feinwäsche zu warnen. Zwar erscheint das mittlerweile ziemlich abgedroschene Beispiel vom «smarten Kühlschrank», der automatisch die Milch nachbestellt, für Viele eher lächerlich als erstrebenswert («was ist, wenn ich in Urlaub fahre?»), doch könnten zumindest auf einem integrierten Tür-Display gut dargestellte Hinweise auf die Ablaufdaten der enthaltenen Lebensmittel einen nützlichen Mehrwert darstellen.

Eine häufig genannte Vision besteht darin, dass intelligente Gebäude älteren Menschen ein selbst bestimmtes Leben zuhause ermöglichen sollen,

indem sie selbständig Alarm schlagen, wenn ein Notfall eintreten sollte. Noch bevor es dazu kommt, könnten beispielsweise smarte Betten in unaufdringlicher Weise das Gewicht und die Schlafgewohnheiten ihrer Besitzer beobachten, um ungewöhnliche Gewichtsverluste oder Probleme beim Aufstehen bzw. zu Bett gehen bereits im Vorfeld den Verwandten oder einem Arzt zu melden. Kindern und Enkelkindern an entfernten Orten könnten auch periodisch aktualisierte Standbilder oder abstrakte Aktivitätsmuster in Bilderrahmen angezeigt werden, um ohne «Überwachung» im eigentlichen Sinne die Gesundheit der Eltern und Grosseltern eher beiläufig im Auge zu behalten (Mynatt et al., 2001). Ferner können geistig verwirrte Menschen von smarten Räumen beim Erledigen einfacher Aufgaben unterstützt werden, indem sie an unterbrochene Aktivitäten erinnert werden oder auf Routineaufgaben aufmerksam gemacht werden (Salvador und Anderson, 2003).

Dass aber in Zukunft ein allzu «intelligentes» und autonom agierendes Haus seinen Bewohnern auch vielfältige Probleme und Ärgernisse bereiten kann, wenn es nicht so funktioniert, wie diese es sich vorstellen, leuchtet ein – sehr nett hat dies Michael Schrage, Kolumnist bei der *Los Angeles Times*, schon vor einigen Jahren in einer lesenswerten und amüsanten Satire beschrieben (Schrage, 1993).

Nutzen und Risiken abwägen

Fast alle der oben beschriebenen Visionen und Szenarien gehen davon aus, dass sich mit Hilfe eingebetteter, vernetzter und autonom handelnder Computersysteme ein substanzieller Mehrwert für eine breite Bevölkerungsschicht erreichen lässt: Mehr Effizienz im beruflichen Umfeld und am persönlichen Arbeitsplatz, Energieeinsparungen im Verkehr und bei Gebäuden, eine höhere Sicherheit in betrieblichen Abläufen und im Privatleben, eine Verbesserung der allgemeinen und der individuellen Gesundheit, mehr Bequemlichkeit im Alltag sowie mehr Autonomie für Alte, Kranke und Behinderte.

Bei all diesen erwarteten oder zumindest erhofften Vorteilen darf man jedoch nicht vergessen, dass mit dem Einsatz einer solchen oft versteckt im Hintergrund arbeitenden Technik auch Nachteile und Risiken verbunden sind, die als Preis für das Plus an Wohlstand in einer Welt «intelligenter» Dinge und Umgebungen zu zahlen sind.

Dazu gehören Aspekte, die von den jeweils Betroffenen unmittelbar wahrgenommen werden und – je nach Disposition – als mehr oder weniger störend empfunden werden, wie etwa Einbussen bei der Privatsphäre aufgrund des «Monitorings» durch smarte Häuser oder Bevormundungen durch die «Eigenwilligkeit» smarterer Gegenstände, aber auch langfristige Tendenzen, die eher schleichend daherkommen und die Gesellschaft insgesamt betreffen, wie zum Beispiel eine immer stärkere Abhängigkeit von der Technik auch im Alltag, was zusammen mit der zunehmenden Vernetzung eine wesentlich höhere Anfälligkeit im Krisenfall nach sich zieht und damit unsere Gesellschaft insgesamt gefährden kann.

Die oben geschilderten Szenarien zeigen die grundsätzliche Ambivalenz der in naher Zukunft erwarteten Technologien und der damit ermöglichten Anwendungen. Generell gilt dies insbesondere für die Frage, ob wir damit unsere Umgebung besser beherrschen und steuern können, oder ob wir umgekehrt eher den autonomen Systemen und ihrem jeweiligen «Willen» ausgeliefert sind. Technikbefürworter wie David Tennenhouse meinen, dass wir die wichtigen Dinge viel besser unter Kontrolle haben, wenn wir unwesentliche Aufgaben an Automatismen delegieren können (Tennenhouse, 2000). Breys kurze und charmante Replik dazu zeigt, wie paradox das aus seiner Sicht erscheint: «In other words, control is to be gained by giving it away» (Brey, 2005).

Immerhin muss man aber zugestehen, dass wohl gerade aus diesem Grund das Autofahren mit zunehmender Elektronisierung und Informatisierung für uns nicht nur einfacher und bequemer geworden ist, sondern dass wir deswegen das Auto in kritischen Situationen auch besser beherrschen.

Wie die generelle Bilanz bezüglich Gewinn und Verlust an Kontrolle in Zukunft aussehen wird, ist unklar: Einerseits sorgen eingebettete Computer, Sensorik, Vernetzung sowie kontextbewusste und personalisierte Informa-

tionsmöglichkeiten dafür, dass die Umgebung auf die Wünsche und Bedürfnisse des Menschen eingeht, ohne dass dieser sich kognitiv oder physisch besonders anstrengen muss. Andererseits liegt genau in dieser «Entmündigung» auch ein Risiko – dass nämlich die autonomen Systeme etwas tun, das nicht den Absichten oder Bedürfnissen des Menschen entspricht. Welcher Grad an Autonomie im Einzelfall angemessen ist, lässt sich kaum allgemein angeben und mag mitunter sogar von eher unscheinbaren kulturellen Faktoren abhängig sein: So hat beispielsweise ein typisches amerikanisches Auto nicht nur ein automatisches Getriebe, sondern schaltet auch das Licht bei Dunkelheit automatisch ein und verriegelt die Türen beim Losfahren – Aktivitäten, von denen ein europäischer Autofahrer meist noch nicht befreit (oder eben entmündigt) ist.

Über solche konkreten Einzelaspekte hinaus lässt sich dennoch eine generelle Feststellung treffen: In einer Welt, die von immer mehr selbständig handelnden Dingen bevölkert wird, überträgt der Mensch einen Teil seiner Entscheidungs- und Handlungskompetenz an computergesteuerte Gegenstände und gibt damit bewusst ein Stück seiner Autonomie auf. Nun gehört aber Autonomie zu den zentralen Konzepten der moderneren westlichen Kultur; Rainer Kuhlen erinnert mit Bezug auf ihre Gefährdung durch neue Technologie zu Recht daran, dass selbst bestimmt handeln zu können eine der wesentlichen Forderungen der europäischen Aufklärung war (Kuhlen, 2005). Für den Philosophen Gerald Dworkin ist die individuelle Autonomie sogar eine grundsätzliche Voraussetzung für Freiheit und Gleichwertigkeit (Dworkin, 1988).

Wenn nun allerdings immer mehr Prozesse autonom ablaufen, Dinge damit quasi einen eigenen Willen bekommen und die automatisierten Vorgänge für die Nutzer oder Betroffenen nicht mehr im Detail nachvollziehbar sind, könnte dies das autonome Entscheiden und Handeln erschweren, da die von den Automatismen vorgesehenen Handlungsdispositionen bereits durch andere Menschen vorstrukturiert, interpretiert und bewertet wurden. «Smarte» Dinge könnten im Extremfall auch als illoyal wahrgenommen werden, was diese Technik dann sogar als eine Bedrohung erscheinen lässt (Bohn et al., 2004). Und letztlich besteht aufgrund dieser möglichen Entwicklung die Gefahr, dass wir das Vertrauen in eine kaum mehr durch-

schaubare Umgebung verlieren und so grundlegend unsere Einstellung zu der uns umgebenden Welt ändern.

Bei einer Bewertung der neuen Technologien und Ihrer Anwendungen muss man zudem bedenken, dass eine anfangs grundsätzlich positive Aufnahme durch die Bevölkerung später ins Negative kippen kann, wenn plötzlich Nebenwirkungen auftreten, die zunächst nicht absehbar waren oder nicht ernst genommen wurden. Deshalb sind, soweit möglich, bei einer Analyse solcher Technologien auch die potenziellen langfristigen und sekundären Effekte mit einzubeziehen und im Sinne des Vorsorgeprinzips zu berücksichtigen.

Zur gezielten Untersuchung derartiger Aspekte und negativer Nebenwirkungen wurde mit SWAMI («Safeguards in a World of Ambient Intelligence») ein eigenständiges EU-Projekt aufgesetzt, um bereits im Vorfeld einer solchen Entwicklung Handlungsoptionen zu analysieren und mögliche alternative Ansätze zu entwickeln (Wright, 2006). Neben vielfältigen Gefahren durch Identitätsdiebstahl und mangelnden Datenschutz warnen die Autoren vor allem vor drohendem Kontrollverlust durch paternalistische Technik und unvorhersehbares Systemverhalten sowie vor den sich häufenden Fehlinterpretationen des Benutzerwillens durch «intelligente» Dinge. Andere (z.B. Hilty et al., 2003) propagieren nachhaltige Entwurfsprinzipien bei der Planung autonomer und eingebetteter Computersysteme, um die negativen Folgen unvorhergesehener Entwicklungen komplexer Systeme zu minimieren: «ICT-related decisions under uncertainty should favor lower complexity over higher complexity, open standards over proprietary standards, and adapting the technology to humans over adapting humans to the technology» (Som et al., 2004).

Für den Usability-Experten Donald Norman setzt eine solche Adaption von Technik an den Menschen allerdings einen Paradigmenwechsel im Bereich der Nutzungsschnittstellen voraus. Der heute noch vorherrschende Ansatz, mit Hilfe besserer Dialogsysteme das Problem «besserwisserischer» Computersysteme erträglicher zu machen, wird seines Erachtens am begrenzten «gesunden Menschenverstand» (common sense) von Maschinen scheitern: «As machines start to take over more and more, they need to

become socialized; they need to improve the way they communicate and interact, and to recognize their limitations. ... Social interaction requires effective communication. This... requires that each understands the arguments, beliefs, and intentions of the other. We cannot have effective communication with our machines, for we are different species, sensing the world differently, thinking differently» (Norman, 2007).

Eine Schöne Neue Welt wird also in Zukunft nicht einfach durch noch bessere Sensoren oder kompliziertere Regelsysteme eintreten – es wird wesentlich auf die praktische Umsetzung ankommen: Bevormundet uns die neue Technik oder unterstützt sie uns? Schafft sie Fakten oder bietet sie uns Optionen? Je komplexer die Aufgaben sein werden, bei denen wir uns der Hilfe autonomer Systeme bedienen wollen, umso öfter werden Mensch und Maschine auch unterschiedlicher Meinung sein – und dieser Konflikt wird am Nutzer zehren. Wie so oft mag auch für autonom handelnde Dinge gelten: «weniger ist mehr», wenn es darum geht, in unser Leben einzugreifen. Oder mit den Worten Donald Normans: «We need augmentation, not automation; facilitation, not intelligence» (Norman, 2007).

Literatur

- Arruda, Ricardo (2006): Pay-As-You-Drive: Dynamic Insurance Emerges in Europe. Emerging Trends Report, Forrester Research, 15. Juni. Zitiert in: Turvill, Ian (2006): Pay-As-You-Drive Insurance is Here! Well, Actually, Over There... EDM-Blog Website www.edmblog.com/weblog/20.06/07/payasyoudrive_i.html.
- Brey, Philip (2005): Freedom and Privacy in Ambient Intelligence. *Ethics and Information Technology* 7, S:157–166.
- Bohn, Jürgen, Coroama, V., Langheinrich, M., Mattern, F., Rohs, M. (2004): Living in a World of Smart Everyday Objects – Social, Economic, and Ethical Implications. *Journal of Human and Ecological Risk Assessment*, 10(5), S:763–786.
- BFU, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (2002): Erarbeitung der Grundlagen für eine Strassenverkehrssicherheitspolitik des Bundes. Bundesamt für Strassen ASTRA, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern.

- Coroama, Vlad (2006a): The Smart Tachograph – Individual Accounting of Traffic Costs and its Implications. In: Proceedings of Pervasive 2006, Dublin. Springer, Berlin Heidelberg New York, S:135–152.
- Coroama, Vlad (2006b): Pervasive Computing im Alltag – Realistische Zukunftsanwendungen zur Untersuchung von Chancen und Risiken autonomer, intelligenter Objekte. *digma - Zeitschrift für Datenrecht und Informationssicherheit*, 6(3), S:106–109.
- Das, Raghu (2006): RFID in retail – growing interest in item level. IDTechEx Website www.idtechex.com/products/en/articles/00000479.asp.
- Davies, Nigel, Efstratiou, Ch., Finney, J., Hooper, R., Kortuem, G., Lowton, M. (2007): Sensing Danger – Challenges in Supporting Health and Safety Compliance in the Field. In: Proceedings of the 8th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (Hot-Mobile 2007), Tucson, Arizona.
- Deteccon International (2006): Pay as you drive – Unvermeidliches Übel oder verkannte Chance? Electronic Commerce Info Net (ECIN) Website www.ecin.de/strategie/payd/.
- Ducatel, Ken, Bogdanowicz, M., Scapolo, F., Leijten, J., Burgelman, J.-C. (Hrsg.) (2001): Scenarios for Ambient Intelligence. Institute for Prospective Technology Studies (IPTS), Sevilla, Spanien. <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/istagscenarios2010.pdf>.
- Dworkin, Gerald (1988): The Theory and Practice of Autonomy. Cambridge University Press.
- Ferscha, Alois, Narzt, W., Pomberger, G., Kolb, D., Müller, R., Wiegardt, J., Hörtnner, H., Lindinger, Ch. (2004): Smart Roads in the Pervasive Computing Landscape. In: Advances in Pervasive Computing – Adjunct Proceedings of Pervasive 2004, Oesterreichische Computer Gesellschaft (OCG), Wien.
- Fleisch, Elgar (2004): Business Impact of Pervasive Technologies: Opportunities and Risks. *Journal of Human and Ecological Risk Assessment*, 10(5), S:817–830.
- Flörkemeier, Christian, Siegemund, F. (2003): Improving the Effectiveness of Medical Treatment with Pervasive Computing Technologies. Workshop on Ubiquitous Computing for Pervasive Healthcare Applications at Ubicomp 2003, Seattle, Washington.
- Heydt-Benjamin, Thomas S., Bailey, D., Fu, K., Juels, A., O'Hare, T. (2007): Vulnerabilities in first-generation RFID-enabled credit cards. In: Proceedings of the Eleventh International Conference on Financial Cryptography and Data Security, Lowlands, Scarborough, Trinidad/Tobago.
- Hilty, Lorenz, Behrendt, S., Binswanger, M., Bruinink, A., Erdmann, L., Fröhlich, J., Köhler, A., Kuster, N., Som, C., Würtenberger, F.

- (2003): Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft. Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt. Studie TA 46/2003 des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung (TA-SWISS), Bern.
- Kuhlen, Rainer (2005): Macht Google autonom? In: Lehmann, K., Schetsche, M. (Hrsg.): Die Google-Gesellschaft, transcript-Verlag, S:385–394.
- Lampe, Matthias, Flörkemeier, Ch. (2004): The Smart Box Application Model. In: Advances in Pervasive Computing – Adjunct Proceedings of Pervasive 2004, Oesterreichische Computer Gesellschaft (OCG), Wien.
- Mattern, Friedemann (Hrsg.) (2007a): Die Informatisierung des Alltags – Leben in smarten Umgebungen. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Mattern, Friedemann (2007b): Hundert Jahre Zukunft – Visionen zum Computer- und Informationszeitalter. In (Mattern, 2007a), S:351–419.
- Müller, Günther, Kreuzer, M., Strasser, M., Coroama, V., Eymann, T., Hohl, A., Nopper, N., Sackmann, S. (2003): Geduldige Technologie für ungeduldige Patienten: Führt Ubiquitous Computing zu mehr Selbstbestimmung? In: Mattern, F. (Hrsg.): Total vernetzt. Springer, Berlin Heidelberg New York, S:159–186.
- Mynatt, Elizabeth D., Rowan, J., Craighill, S., Jacobs, A. (2001): Digital family portraits: Providing peace of mind for extended family members. In: Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2001), Seattle, Washington. ACM Press, S:333–340.
- Norman, Donald (2007): Cautious Cars, Cantankerous Kitchens – How Machines Take Control. Auszug aus: Norman, D. (2007): The Design of Future Things. New York, Basic Books. Im Erscheinen, www.jnd.org/books.html#641.
- Reda, Susan (2004): Prada's Präfall – Chic Technology Stumbles. STORES Magazine, No. 5, May.
- Roduner, Christof, Langheinrich, M., Flörkemeier, Ch., Schwarzentäub, B. (2007): Operating Appliances with Mobile Phones – Strengths and Limits of a Universal Interaction Device. In: LaMarca, A., Langheinrich, M., Truong, K.N. (Hrsg.): PERVASIVE 2007, 5th International Conference, Toronto, Canada, May 2007, LNCS No. 4480, Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Salvador, Tony, Anderson K. (2003): Practical Considerations of Context for Context Based Systems: An Example from an Ethnographic Case Study of a Man Diagnosed with Early Onset Alzheimer's

- Disease. In: Dey, A.K., Schmidt, A., McCarthy, J. F. (Hrsg.): Ubi-Comp 2003: Ubiquitous Computing, 5th International Conference, Seattle, WA, USA, October 12-15, 2003, LNCS No. 2864, Springer, Berlin Heidelberg New York, S:243–255.
- Scholl, Jeremiah, Hasvold, P., Henriksen, E., Ellingsen, G. (2007): Managing Communication Availability and Interruptions: A Study of Mobile Communication in an Oncology Department. In: LaMarca, A., Langheinrich, M., Truong, K.N. (Hrsg.): PERVASIVE 2007, 5th International Conference, Toronto, Canada, May 2007, LNCS No. 4480, Springer, Berlin Heidelberg New York, S:234–250.
- Schrage, Michael (1993): The Smart House («The Day You Discover That Your House Is Smarter Than You Are»). The Los Angeles Times, Nov 25, <http://goliath.homeunix.org/~surge/jokes/SmartHouse.html> oder <http://coppice.dyndns.org/comphum/humour/hum0007.htm>.
- Som, Claudia, Hilty, Lorenz M., Ruddy, Thomas F. (2004): The Precautionary Principle in the Information Society. *Human and Ecological Risk Assessment*, 10(5), S:787–799.
- Spiekermann, Sarah, Pallas, F. (2007): Technologiepaternalismus – Soziale Auswirkungen des Ubiquitous Computing jenseits von Privatsphäre. In (Mattern, 2007a), S:311–325.
- Technology Review (2005): Elektrisierende Idee. *Technology Review – Das M.I.T. Magazin für Innovation*, No. 5, Mai, S:30.
- Tennenhouse, David (2000): Proactive Computing. *Communications of the ACM*, 43(5), S:43–50.
- Tröster, Gerhard (2007): Kleidsamer Gesundheitsassistent – Computer am Körper, im Körper. In (Mattern, 2007a), S:103–126.
- Wright, David (Ed.) (2006): Safeguards in a World of Ambient Intelligence (SWAMI) – Final Report, <http://swami.jrc.es/pages/documents/SWAMID4-final.pdf>.