

Geduldige Technologie für ungeduldige Patienten: Führt Ubiquitous Computing zu mehr Selbstbestimmung? *

Günther Müller, Michael Kreutzer, Moritz Strasser, Torsten Eymann, Adolf Hohl, Norbert Nopper, Stefan Sackmann

Institut für Informatik und Gesellschaft, Abt. Telematik, Universität Freiburg, Deutschland

Vlad Coroamă

Institut für Pervasive Computing, ETH Zürich, Schweiz

Kurzfassung:

Technologie ermöglicht neue Anwendungen und kann unter bestimmten Umständen gesellschaftsverändernde Folgen haben. Gegenwärtig erleben wir das Aufkommen von Ubiquitous Computing, wodurch es sogar möglich wird, Alltagsgegenstände zu informatisieren. Trotz zahlreicher noch ungelöster technischer Probleme werden die wirtschaftlichen Potenziale überaus hoch eingeschätzt. Es stellt sich jedoch die Frage, ob die gesellschaftlichen Folgen antizipiert und akzeptiert werden können. Die Wissenschaft hat zu einer umfassenden Bewertung bisher keine unumstrittenen Verfahren entwickeln können. Es verbleibt das Experiment und der anschließende Diskurs. Der vorliegende Beitrag untersucht die Wirkungen des Ubiquitous Computing auf die Patientenlogistik in der Röntgendiagnostik der Universitätsklinik Freiburg mit Hilfe des Projektes EMIKA. Störungen und Notfälle führen hier zu ständigen Anpassungen der Zuordnung von Patienten zu den Ressourcen der Röntgendiagnostik. Obwohl bereits jetzt fortschrittliche IT-Systeme eingesetzt werden, sind deren Grenzen absehbar. Wartezeiten, häufige Verschiebungen von Ressourcenzuweisungen und damit Unzufriedenheit und Unsicherheiten im zeitlichen Ablauf von Behandlungspfaden sind die Folgen für die Patienten. Teure Leerlaufzeiten bei den Geräten und hohe Arbeitsbelastung für die Mitarbeiter sind die Folgen für das Krankenhaus. Die „ruhige und geduldige“ Technologie – Ubiquitous Computing – kann dadurch dem „ungeduldigen“ Patienten nutzen, dass direkt vor Ort die richtigen Informationen bereitgestellt werden. Selbstorganisation wird dadurch hinsichtlich der Technologie möglich. In diesem Beitrag wird eine auf die Anwendung Patientenlogistik angepasste Szenariotech-

* Diese Arbeit wurde von der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung unterstützt.

nik vorgestellt. Die Ergebnisse sind die Anforderungen für EMIKA, wodurch experimentell belegt werden soll, dass für die Patientenlogistik die Selbstorganisation eine nutzenbringende Organisationsform für Informationssysteme darstellt.

Neueste Technik hat Geschichte und manchmal Folgen

Der Fortschritt der Informationstechnik fällt nicht vom Himmel, er hat eine Geschichte. Gegenwärtig entstehen Rechner, die Weisers Vision von der unsichtbaren Technik (Weiser 1991) Wirklichkeit werden lassen. Ist dies nun eine Spielerei der Ingenieure oder kündigt sich mit dem Ubiquitous Computing (UC) ein Wandel und damit eine dramatische Neuorientierung für den Entwurf, den Einsatz und die Wahrnehmung von Informationssystemen an? Nicht mehr die Zentralrechner der sechziger Jahre oder die PCs der Jetztzeit mit dem Bild eines Dienstleistungen nachfragenden Anwenders (client-server), sondern die Informatisierung der Umwelt und aller ihrer Gegenstände durch eingebettete Dienste wird möglich und damit die informatische Voraussetzung – so die Fragestellung dieses Papiers – zum selbstbestimmten Handeln. An der Universität Freiburg wird dieses Szenario im Projekt EMIKA¹ mit dem Ziel der möglichst selbstorganisierenden Gestaltung der Patientenlogistik auf seine praktische Machbarkeit untersucht (Sackmann et al. 2002).²

¹ EMIKA („Einsatz mobiler Agenten in Krankenhausapplikationen) ist ein von der DFG im Schwerpunktprogramm 1083 gefördertes Projekt zum Einsatz von Softwareagenten im Gesundheitswesen.

² Das Kolleg „Living in a Smart Environment“ der Gottlieb-Daimler- und Karl-Benz-Stiftung ermöglichte im Projekt PLATZ die Erforschung von Verfahren zur Privatheit bei UC und die Erweiterung des EMIKA-Szenarios.

Phasen des Technologietransfers

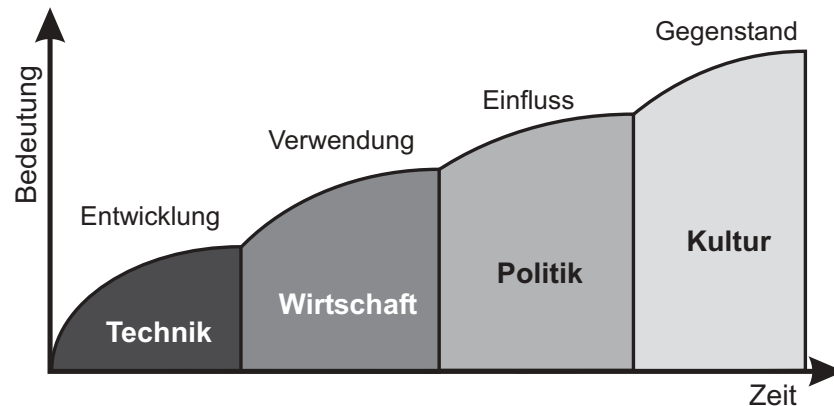


Abb. 1. Innovationsphasen

Alle technischen Entwicklungen werden von einem gewissen Reifegrad an und genau dann zur Innovation, wenn sie einen – meist wirtschaftlichen – Vorteil versprechen. Erfolgreiche Forschung führt z.Zt. in einer der Technik nachgelagerten wirtschaftlichen Phase zur Veränderung der ökonomischen Rahmenbedingungen und eventuell in einer dritten und vierten Innovationswelle über die Politik zur Beeinflussung der Kultur.

Wenn sich die Bedingungen für die in Abb. 1 gezeigten Übergänge erheben lassen, dann kann (1) die Technikentwicklung besser gesteuert und (2) der Technologietransfer bereits im Vorhinein besser sichergestellt werden. Man braucht dazu für jede Phase eine Vorstellung von der Zukunft. Bisher hat die Wissenschaft keine unumstrittenen Verfahren entwickeln können, deren Trefferrate für einen wahrscheinlichen Übergang einer Technik in die nachfolgende Phase höher ist, als es Wahrsagerei, Orakel oder Science-Fiction Geschichten wären.

Ist Selbstorganisation der Sekundäreffekt von UC?

Die Primärmotivationen der Ingenieure treffen höchst selten die späteren Anwendungen der Technik (Müller et al. 2003). Dagegen ist oft zu beobachten, dass technische Neuerungen nicht aus den Motiven eingesetzt werden, welche die Entwicklung der Technologie bestimmt haben. Vielmehr sind es die Sekundäreffekte, die Relevanz erlangen (Tabelle 1). Diese sind im Detail nicht vorher planbar, sehr wohl aber sind Bedingungen für die Bereitschaft zur Innovation aufzuzeigen. Technik ist immer dann erfolgreich, wenn wettbewerbsentscheidende Prozesse rationeller abgewickelt werden können (Dertouzos 1991).

Tabelle 1. Innovationsschübe der Informationstechnik

Innovation	Jahre	Primäreffekte	Sekundäreffekte
1. Phase: „Rechner“	30er	Schnelle Berechnung großer Datenmengen.	Rationalisierung der Wissenschaft.
2. Phase: „Rechenanlagen“	60er	Verbilligung der Rechenzeit durch Mehrfachnutzung.	Automatisierung von Verwaltungsabläufen: Sammlung von Verwaltungsdaten.
3. Phase: „PC“	80er	Individualisierung und Dezentralisierung: Weitere Kostenreduzierung und Benutzerfreundlichkeit.	Unterstützung dispositiver Abläufe – Multimediale Informationsdarstellung.
4. Phase: Mobilität	90er	Integration weiterer Medien – Globale Kommunikation	Digitale Wirtschaft
5. Phase: „Ubiquitous Computing“	21. Jh.	Allgegenwärtigkeit : Dinge werden „smart“.	Selbstorganisation?

Die technischen Voraussetzungen für die Rationalisierung der Wissenschaft wurden Mitte der 1930er-Jahre gelegt, als Konrad Zuse in Berlin einen programmierbaren Rechner und die dazugehörige Programmiersprache Plankalkül entwickelte. Diese vorrangige Nutzung der Rechenkapazität hatte bis Mitte der 1960er-Jahre Bestand, dem Beginn der zweiten Phase. Damals stellte IBM die „aufwärtskompatible“ 360-Architektur vor und entwickelte so einheitliche Rechnerarten jedoch mit unterschiedlicher Leistung, womit eine durch Skaleneffekte verursachte allgemeine Senkung der Datenverarbeitungskosten möglich wurde (Randell 1973). Der dritte Innovationsschub ist durch neue Materialien, verbesserte Fertigungstechniken, aber insbesondere durch eine dramatische Veränderung der Kostenrelationen entstanden, die aus dem wissenschaftlichen Instrument „Rechner“ letztlich das Massenprodukt „PC“ gemacht haben. Bezüglich der Kostenrelationen bestimmt das Preisverhältnis von Technologie, Plattform und Schnittstelle das Entstehen neuer Rechnerklassen. Dieser technische Fortschritt gehorcht seit ca. 30 Jahren der Faustregel des so genannten „Moore'schen Gesetzes“ (Moor 1965). Danach verdoppeln sich alle 18 Monate die Leistungen der Prozessoren, der Speicher und seit einiger Zeit auch die Bandbreiten der Rechnetze bei gleich bleibenden Preisen. Man schätzt, dass dieser Prozess bei einem möglichen Wechsel auf Quanten- und optische Technologien noch ca. 10 Jahre

anhält. Gegenwärtig erfahren wir die Sekundäreffekte des vierten Innovationschubes, der äußerlich durch das Aufkommen von tragbaren Rechnern, persönlichen digitalen Assistenten (PDA), drahtloser Telefonie, Netzwerkcomputern, Breitbandkommunikation, digitalen Filmen und interaktivem Fernsehen symbolisiert wird und dessen Triebkraft durch den Wunsch nach Mobilität gekennzeichnet werden kann (Müller et al. 2003).

Viele Fachleute sind nun der Überzeugung, dass die Tage des PC gezählt seien und dass dieser durch mobile, vernetzte und „allgegenwärtige“ Rechner ersetzt werde. Das Nutzungsmodell für den Computer wird dadurch jedoch nicht geändert; man trägt nur den Zugang zu einem zentralen Dienst mit sich herum. Die angestrebte, tatsächliche Änderung der Wirklichkeit geschieht erst, wenn – wie es das „Ubiquitous Computing“ vorsieht – die Rechner mittels Sensoren mit Informationen über die Umwelt versorgt werden, denn erst dadurch wird eine Wechselwirkung zwischen Computer und Umwelt möglich. In Abhängigkeit von der jeweiligen Lokation wird ein aktuelles Realitätsmodell erzeugt und diesem Abbild entsprechend ergeben sich umweltgerechte Handlungsoptionen für die autonom reagierenden Objekte. Dinge sind dadurch „smart“, indem sie angemessen auf die Umwelt reagieren und sich dadurch selbst organisieren. Es ist mit UC-Technologie möglich, dass die Teile des Ganzen „autonom“ entscheiden und in Echtzeit reagieren. Zentrale Informationssysteme, welche mit allen Daten versorgt werden müssen, können abgelöst werden. Auf der Suche nach Vorbildern für solche Bau- und Organisationsprinzipien richtet sich der Blick auf andere Wissenschaftszweige.

Prinzipien und Beispiele für Selbstorganisation

Selbstorganisation spielt in Feldern wie Ökonomie, Informatik, Physik, Chemie, Biologie, Psychologie und Mathematik eine große Rolle (Krohn u. Küppers 1990; Eymann 2002; Walras 1998):

- Kreisverkehre regeln den Autoverkehr an Kreuzungen besser und reibungsloser als jede noch so perfekt gesteuerte Signalanlage. Sie sind deshalb so wirkungsvoll, weil sich die Verkehrsteilnehmer innerhalb gewisser Rahmenbedingungen selbst organisieren können.
- Ein Ferro-Magnet ist ein komplexes System, das aus vielen kleinen Einzelmagneten besteht. Wenn dieses System noch heiß ist, zeigen alle Magnete irregulär in irgendwelche Richtungen. Die magnetischen Wirkungen der einzelnen Atome heben sich dann auf. Wenn das System aber abgekühlt wird, dann springen alle Dipole innerhalb eines Weißschen Bezirks in eine gemeinsame Richtung.
- Bestimmte Makromoleküle (Proteinoide) haben die Tendenz, zu größeren Komplexen (z.B. Mikrosphären, Hohlkugeln bestimmter Größe, bestehend aus vielen, einander ähnlichen Proteinoidmolekülen) zu aggregieren. Das Aggregationsvermögen beruht auf der Ausbildung von schwachen Wechselwirkungen, deren jede einzelne weit schwächer ist als eine chemische (kovalente) Bindung.

Nahezu alle biologischen Strukturen werden auf diese Weise stabilisiert, seien es Molekülteile einer Polypeptidkette, die sich zu einer funktionellen dreidimensionalen Struktur falten, seien es die beiden einander komplementären DNS-Stränge, die sich zu der Watson-Crick-Doppelhelix vereinen, oder bestimmte Protein- und Nukleinsäuremoleküle, die ein funktionelles Ribosom (eine elektronenmikroskopisch sichtbare Struktur) bilden.

- Das Konzept der „unsichtbaren Hand“ nach Adam Smith beschreibt die Vorteile des freien Marktes als selbstorganisierendes System. Jedes Individuum handelt egoistisch und besitzt nur unvollkommene Informationen der Wirkungen seiner Handlungen auf das Ganze. Insgesamt leitet der Markt den Einzelnen wie von einer „unsichtbaren Hand“, indem er einen Zweck fördert, den der Einzelne zu erfüllen in keiner Weise beabsichtigt hat. Die Handlungsmöglichkeiten der Individuen werden durch einen Regelrahmen begrenzt. Weitgehend eingehaltene ethische Grundsätze (wie „Du sollst nicht stehlen“) sowie geschriebene Gesetze sind Beispiele solcher Regelrahmen (Hayek 1945; Smith 1976; Sackmann 2002).

Für den Einsatz dezentraler Informationssysteme und damit für die Chancen von UC stellen diese Beispiele noch keine Verfahren zur Verfügung, die einfach übernommen werden könnten. Selbstorganisation wird in der Informatik zum Thema und verstanden als Prinzip zur dezentralen Koordination von technischen Vielkomponentensystemen (Kephart et al. 2000; Wellman 1996). „Angenommen, es gäbe eine Menge an Informationsverarbeitern, die in ihren Fähigkeiten zur Informationsaufnahme und -analyse jedoch eingeschränkt sind (z.B. Angestellte einer Firma oder Prozessoren in einem Computer), dann bleibt die Frage offen, welches das effektivste Schema ist, um diese Verarbeitungseinheiten zu organisieren“ (Miller 1995).

Informationssysteme unterstützen dann die Selbstorganisation der Wirklichkeit, wenn sie die Informationsflüsse so gestalten, dass bei Vorliegen der nachfolgend aufgezählten Eigenschaften der Komponenten ein koordiniertes Verhalten des Gesamtsystems erreichen.

Vier Charakteristika selbstorganisierender Systeme:

1. Systemweite Muster entstehen durch zahlreiche unabhängige Nachbarinteraktionen.
2. Für die Nachbarinteraktionen werden nur die für die Entität direkt verfügbaren Informationen der Nachbarn verwendet. Es existiert kein Wissen über die Systemzusammenhänge.
3. Trotz Optimierung nur auf Nachbarebene erfolgt ein positiver Effekt auf das Gesamtsystem.
4. Alle Entitäten handeln innerhalb eines definierten Regelrahmens.

UC und Szenarien für die Zukunft und Gegenwart

Ubiquitous Computing (UC) ist keine Technologie, die einfach in eine Anwendungsdomäne eingeführt werden könnte. UC ist eher als Organisationsform von Informationssystemen zu sehen, die zeigt, wie Rechner anzuordnen sind (Eymann 2002).

Vor der kostspieligen Realisierung von Informationssystemen mit den oben genannten vier Effekten bietet es sich an, Szenarien zum Studium der Struktur und Abläufe zu entwerfen. Szenarien sind dann hilfreich, wenn mit Hilfe von anerkannten Methoden formale und nachvollziehbare Aussagen zu *Beschreibung*, *Erklärung*, *Vorhersagen* und *Gestaltung* des Erkenntnisgegenstandes gemacht werden können (Müller 2001).

Szenarien, Prognosen und Perspektiven

„Szenarien beschreiben hypothetisch eine Abfolge von Ereignissen mit dem Ziel, die Aufmerksamkeit für Kausalbeziehungen zu wecken und auf Entscheidungen hinzuwirken“ (Graf 1999). Grundsätzlich wollen Szenarien nicht vorhersagen, sondern dienen als Erkenntnisinstrument. Diese Technik war immer dann in der Vergangenheit erfolgreich, wenn die Strukturen und die Zusammenhänge sich im Zeitablauf unsystematisch veränderten. Vorhersagen und Prognosen hingegen sind dann angebracht, wenn die Strukturen konstant bleiben, und sich nur die Zusammenhänge im Zeitablauf verändern. Perspektiven oder Erwartungen sind den Szenarien zwar verwandt, jedoch unterliegen hier beide Einflussgrößen – Struktur und Zusammenhang – eher kalkulierbaren Veränderungen. Szenarien zielen auf die Gegenwart, indem sie für die Zukunft Alternativen simulieren, um dann im Rückschluss auf die Gegenwart zu Weichenstellungen für die Zukunft zu kommen.

Grundsätzlich können Szenarien zu drei Fragestellungen Antworten geben (Müller 2001):

- **Was kann geschehen?** Ausgehend vom gegenwärtigen Stand der Technik sind Beschreibungen, Erklärungen und Abschätzungen der potenziellen Entwicklung zu erbringen (*technische Frage*).
- **Was wird geschehen?** Es sind die Bedingungen für den Übergang von der technischen Entwicklung zur wirtschaftlichen Innovation zu definieren (Abb. 1) (*wirtschaftliche Frage*).
- **Was soll geschehen?** Es geht auch hierbei um Übergänge, nur wird die Einbeziehung zusätzlicher Kriterien gefordert, die eher dem ethischen, moralischen oder auch humanen Bereich zuzuordnen sind, also zu normativen Orientierungen führen sollen (*gesellschaftliche Frage*).

Da UC selbst ein neues und unstrukturiertes Feld der Informatik darstellt, kann keine Prognose oder Perspektive für die Folgen gelingen. Die Erstellung von Szenarien wird durch ein Problem oder eine empfundene Unzulänglichkeit in der

Gegenwart motiviert, welche in der Zukunft unter veränderten Annahmen, in diesem Fall einer neuen Technologie und einer dezentralen Struktur, gelöst oder verbessert werden kann.

In diesem Beitrag ist der Gegenstand der Szenariobildung die Patientenlogistik in der Radiologie an der Universitätsklinik Freiburg. Ziel der Anwendung ist eine erhöhte Planungs- und Terminalsicherheit bei der Belegung von Untersuchungsterminen mit Patienten sowie medizinischen Geräten. Die gegenwärtigen Strukturen und die Zusammenhänge werden nicht in Frage gestellt, sondern es wird untersucht, ob sich mit UC ein besserer Zielerreichungsgrad als mit den aktuell eingesetzten Informationssystemen zuwege bringen lässt.

Die Elemente des „Freiburger Szenarioverfahrens“ für UC

Die Szenariotechnik hat zum Ziel, mögliche Alternativen von Szenarien aufzustellen. Szenarien müssen stabil und widerspruchsfrei sein. Die Wahl des richtigen Abstraktionsniveaus ist von entscheidender Bedeutung, um nicht von kleinen Änderungen in die Irre geführt zu werden. Szenarien sollen eine Spreizung haben, d.h. es sollen Extrema abgebildet und untersucht werden. Für die hier vorhandene Fragestellung werden zwar die Methoden der Szenariotechnik verwendet, durch die Veränderung der Zielsetzung – die Wirkung von UC in einem festen Szenario – entsteht jedoch ein hier als „Freiburger Variante“ bezeichnetes Vorgehen:

1. Nicht eine beschreibbare Technik, sondern eine Vision von UC wird für die Aufstellung von Szenarien angewandt.
2. Es ist das Ziel, die Veränderungen der Strukturen und Zusammenhänge durch den Einsatz von UC zu erkennen.
3. Rückwirkungen auf das aktuelle System sind keine Primär- sondern Sekundärziele.

Eine hilfreiche Veranschaulichung der verwendeten Szenariotechnik ist der Szenariotrichter (vgl. Abb. 2, siehe hierzu auch (Reibnitz 1991)). Die Gegenwart ist der Zustand, der durch den Pfad der Ereignisse der Vergangenheit bestimmt wird. Streng genommen kann selbst dieser Punkt nicht exakt bestimmt werden, da es keine objektivierbare Sichtweise der Realität gibt. Die spezifische Sicht der Ausgangsposition kann demnach die Wahl des Szenarios stark beeinflussen. Hier von ausgehend spannt die Zukunft einen Möglichkeitsraum von Pfaden von Ereignisfolgen auf. Je weiter die Pfade in die Zukunft reichen, desto größer werden die Unsicherheit und damit der „Streubereich“ des „Entwicklungskorridors“.

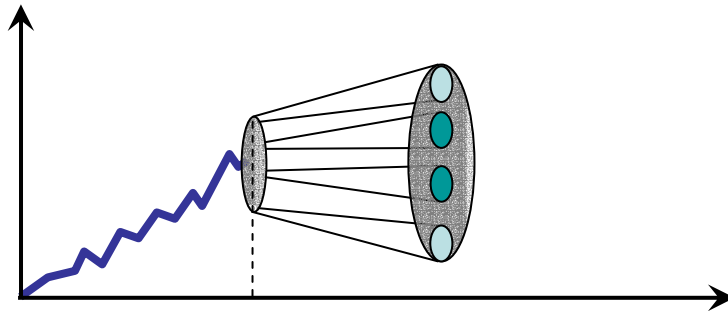


Abb. 2. Anwendungen des Szenariotrichters auf das Umfeldszenario Patientenlogistik

Nicht alle wirklich denkbaren Versionen der Zukunft lassen sich mit dem Trichter einfangen. Das Auftreten von Entwicklungen und Ereignissen, die aus heutiger Sicht wenig plausibel erscheinen, lässt die Zukunft gleichsam aus dem Trichter „herausspringen“. Dies müssen nicht unbedingt unwahrscheinliche, zerstörerische, katastrophale Ereignisse sein, es können auch ganz normale Ereignisse eine Wirkungskraft besitzen, die schlichtweg unvorhersehbar ist. In der Szenarien-Technik werden diese Szenarien als „Wild-Card“ Szenarien bezeichnet (Graf 1999).

Die Erfahrungen bei der Anwendung der Szenariotechnik haben gezeigt, dass es in der überwiegenden Zahl der Fälle genügt, drei oder vier Szenarien zu erarbeiten.

Für den Untersuchungsgegenstand der Patientenlogistik sind aus der Szenariotechnik folgende Elemente von besonderer Relevanz:

1. Strukturierung und Abgrenzung des *Untersuchungsgegenstandes*. Die hier betrachtete Patientenlogistik ist eine geschlossene Organisation, die definierte Arbeitsabläufe und Hierarchien besitzt und deren Ereignisse in der Art aber nicht im Zeitpunkt ihres Auftretens bekannt sind.
2. Identifizierung der bestimmenden *Einflussfaktoren* des Technikeinsatzes im Hinblick auf die Erreichbarkeit der Selbstorganisation.
3. Aufstellung von *Deskriptoren*, die formalisierbar und bewertbar sein müssen und deren gegenseitige Beeinflussung quantitativ erfassbar ist. Deskriptoren können sowohl nicht-technischer Art sein, hier die Privatsphäre, der potenzielle Kontrollverlust, aber auch technischer Art sein, z.B. der Preis, Bandbreite oder Energieverbrauch und Funkbeeinflussung.
4. Die Beschreibung von alternativen *Annahmebündeln*, um nicht einseitigen Glaubensgrundsätzen oder naiven Bewertungen zu unterliegen, z.B. zu optimistisch oder zu pessimistisch.

5. Regeln zur Interpretation von *Schlussfolgerungen* und der *Ergebnisse*. Sie setzen sich zusammen aus der Identifikation der Faktoren, die eintreten müssen, damit eine These – wie hier die Selbstorganisationsthese – bestätigt oder verworfen werden kann.

Der Gegenstand: Patientenlogistik der Gegenwart

Als Anwendungsdomäne dient hier die Patientenlogistik der Radiologie des Universitätsklinikums Freiburg in den Bereichen Transportdienst und Röntgendiagnostik. Die Abteilung Röntgendiagnostik befasst sich mit der Untersuchung von Erkrankungen des gesamten menschlichen Körpers mit Hilfe von so genannten bildgebenden Verfahren wie Ultraschall-Sonographie, konventionelle sowie digitale Röntgendiagnostik, Computertomographie und Kernspintomographie (Magnetresonanztomographie). Der Radiologie werden Patienten direkt von der Klinik und auch von außerhalb zugewiesen. Die Aufgabe von Informationssystemen ist es nun, die Patienten entsprechend der medizinischen Priorität so auf die Geräte und das Personal zu verteilen, dass möglichst wenige Stillstände eintreten und die Patienten zeitgenau und diagnosegerecht behandelt werden können. Die im Freiburger Klinikum eingesetzten Planungs- und Informationssysteme sind auf dem neuesten Stand. Gleichzeitig zeigt die Erfahrung, dass ohne menschliches Eingreifen unter Umgehung des einmal täglich berechneten Zeitplans keine optimale Zuordnung von Patient zu Gerät und zum medizinischen Personal möglich wäre. Tatsächlich kommt es in der Wirklichkeit zu zahlreichen „Umbuchungsnotwendigkeiten“, die dazu führen, dass Patienten erhebliche Wartezeiten in Kauf nehmen müssen.

Der Radiologie stehen in Freiburg folgende Geräte zur Verfügung, die zusammen mit dem ärztlichen und pflegerischen Personal die Kapazität der Radiologie definieren:

- 2 Magnetresonanztomographen (MRT) mit kostenintensiven Untersuchungen. Pro Tag werden 25–30 Patienten untersucht, davon sind etwa 30% ambulant von außerhalb der Klinik eingewiesen.
- 1 schneller Computertomograph (CT): 45–50 Patienten pro Tag, davon 30% ambulant
- 1 normales CT: 30 Patienten pro Tag, davon 30% ambulant
- 2 Thoraxplätze mit jeweils 30–40 Patienten pro Tag
- 1 Durchleuchtung: Kapazität 30 Patienten, jedoch z.Zt. nur 0–12 Patienten pro Tag, davon 20% ambulant
- 1 Gerät zur Angiographie mit 6 Eingriffen pro Tag (Untersuchung mit gleichzeitiger OP)
- 1 Knochenröntgenplatz mit ca. 20 Patienten pro Tag

An Personal sind vorhanden:

- 25 Ärzte, davon 14 Fachärzte
- 11 Ärzte in Ausbildung

- 40 Medizinisch technische Assistentinnen
- 6–8 Sekretärinnen
- 14 Assistenten in der Anmeldung und Archiv/ Hilfsarbeiten
- 20 Informatiker und Physiker

Von außerhalb werden Patienten von niedergelassenen Ärzten oder anderen Kliniken überwiesen, zum einen wegen der dort nicht vorhandenen Untersuchungsgeräte, wie dem MRT, zum anderen wegen Untersuchungen, die in der Radiologie besser – auch billiger – durchgeführt werden können. In Bezug auf eine verlässliche Terminplanung sind ambulante Patienten besonders problematisch, da bei Nichterscheinen Stillstände unvermeidlich sind. Von besonderer Bedeutung für die Kostensituation der Radiologie ist das extrem teure MRT. Hier ist eine Terminverschiebung zwar eher selten, da in der Regel für einen ausgefallenen Termin ein neuer Termin vereinbart wird. Trotzdem kommt es zu Stillständen, wenn kein „Ersatzpatient“ vorhanden ist. Beim relativ billigeren und damit für die Kostensituation weniger wirksamen CT wird auf eine verbindliche Terminvergabe wegen der unvermeidbaren Störungen von vornherein verzichtet. Bei Veränderung der medizinischen Priorität oder bei einem Notfall wird einfach „verschoben“, ohne dass in der Regel der ursprünglich vorgesehene Patient darüber informiert wird.

Der Normalprozess der Zuordnung von Patienten zu Geräten und zum Personal läuft wie folgt ab: Der Patient wird telefonisch angemeldet und basierend auf den Informationen des überweisenden Arztes durch eine Medizinisch Technische Assistentin (MTA) im Telefondienst direkt für eine bestimmte Untersuchung auf ein Gerät gebucht. Zur angegebenen Zeit erscheint der Patient und wird zur Verifikation der Überweisungsinformationen nochmals untersucht. Die dann evtl. angeordnete weitergehende Untersuchung auf einem oder mehreren Geräten finden in Abhängigkeit von der Entscheidung des Arztes zu einem festzulegenden Termin statt, der sich auch nach der aktuell absehbaren Auslastung des Geräteparks richtet. Ist für den Patienten Gefahr im Verzuge wird umgebucht und der betreffende Patient zu Lasten anderer Patienten unmittelbar behandelt. Wichtig für die Terminplanung sind auch sog. Nebenbedingungen, wie z.B. die Berücksichtigung von Einschränkungen bezüglich Strahlenbelastungen oder Herzschrittmachern. Aufgrund von Qualitätsunterschieden der verfügbaren Geräte wird nicht umgebucht. Die Einplanung erfolgt bis zu einigen Wochen vor dem Termin (Kontrolluntersuchungen) oder sehr kurzfristig (z.B. frisch operierte Patienten, Nachuntersuchung). Die Geräte werden überbucht, weil man annimmt, dass die Zahl der „Absager“ größer ist als die der „Notfälle“. Zum Abfangen von Unterbuchungen gibt es für CT und MRT eine zentrale Notfallliste, die abgearbeitet wird, sobald eine Lücke im Terminplan auftritt. Den größten Engpass stellt der Patiententransport dar, da die Notfallpatienten in der Regel von den Stationen zur Radiologie befördert werden müssen, während ambulante Patienten die Anfahrt selbst organisieren.

Die mit der Patientenlogistik verbundenen Prozesse entziehen sich einer statischen Planung. Als Ursachen lassen sich drei Fälle identifizieren:

1. **Notfälle:** Patienten erscheinen ohne vorherige Termineinplanung in der Röntgendiagnostik und müssen umgehend untersucht werden, wofür die entsprechenden Untersuchungsgeräte zur Verfügung gestellt werden müssen.
2. **Verzögerungen:** Patienten, die einen festgelegten Termin haben, sind zum erwarteten Zeitpunkt nicht anwesend. Dies macht eine Umplanung der Patientenreihenfolge unter Berücksichtigung von Patientenpräsenz, Dringlichkeit und Prioritäten notwendig.
3. **Nichtbeachtung von Nebenbedingungen:** Patienten sind z.B. durch Fehler des überweisenden Arztes für eine Untersuchung vorgesehen, die auf dem geplanten Gerät nicht durchgeführt werden kann (z.B. MR-Scan trotz Herzschrittmacher). Dies macht eine Umplanung der Patientenreihenfolge sowohl am vorgesehenen wie auch am Ersatzgerät notwendig.

Die Planbarkeit der Patientenlogistik und die Unterstützung durch Informationssysteme in medizinischen Behandlungspfaden stoßen aufgrund solcher dynamischer Rahmenbedingungen an ihre Grenzen. Der Eintritt eines Notfalls ist vielleicht statistisch anzunähern, im konkreten Einzelfall jedoch unplanbar. Jeder konkrete Belegungsplan oder Transportweg muss vom Zeitpunkt seiner Erstellung bis zum Abschluss der Durchführung als vorläufig und jederzeit abänderbar angesehen werden. Gleichzeitig sind in den meisten Behandlungspfaden von Patienten kostenintensive Untersuchungen enthalten. Als Reaktion auf diese Situation wird z.B. die Patientenlogistik des Universitätsklinikums Freiburg reaktiv über Telefon und Funkrufempfänger (Piepser) und menschliche Entscheidungen koordiniert. Das durchaus verfügbare zentrale IT-gestützte Termin- und Belegungsplanungssystem, auf das verschiedene Klinikbereiche wie Stationen, zentrale Dienstleister (z.B. Transportdienst) und Untersuchungseinheiten (z.B. Röntgendiagnostik) lesend und schreibend zugreifen können, erweist sich für die spontane Koordination als zu aufwendig und schwerfällig. Durch eine bewusste Überbuchung kann zwar die Auslastung der Untersuchungsgeräte sichergestellt werden, sie ist aber auf der anderen Seite mit einer hohen Verweildauer für stationäre Patienten, langen Wartezeiten und einer schlechten Vorausplanung von Transporten verbunden.

Der Untersuchungsgegenstand – die Patientenlogistik – ist zwar sehr speziell, doch sind die Faktoren, die für die Unzulänglichkeiten identifiziert werden, von genereller Art. Unplanbare Störungen werden am schnellsten vor Ort erkannt und bei Zugriff auf ein Informationssystem auch am effizientesten vor Ort gelöst (Hummel 1996). Die Grenzen der aktuellen IT-Systeme sind absehbar und die Ergebnisse für den Einzelnen, aber auch für das Gesamtsystem unbefriedigend. Eine Verbesserung kann nur eintreten, wenn die beteiligten Elemente, hier die Patienten, Ärzte, übriges Personal, Röntgengeräte, Betten usw. sich selbst organisieren. Die Voraussetzung dafür ist, dass sie immer korrekt über den Zustand der anderen Elemente und deren Abhängigkeiten Bescheid wissen.

Im Falle der Patientenlogistik ist die laufende Erfassung und Verarbeitung der Ortsveränderungen aller Ressourcen und Beteiligten der Krankenhauslogistik notwendig, um einen kontinuierlichen IT-gestützten Koordinationsprozess zu realisieren. Ein Lösungsansatz liegt in der Verfolgung des Eigennutzes durch die Ressourcen, bzw. der sie virtuell repräsentierenden Softwareobjekte. Diese ver-

gleichen die Sensordaten der realen Welt (Ist-Zustand) mit einem eigenen „Nutzenziel“ (Soll-Zustand), welches sich z.B. an einem „subjektiv“ optimalen Belegungsplan orientiert (Eymann 2002). Die Basistechnologie, um dies zu erreichen, ist weitgehend vorhanden.

Die Technik: UC und Selbstorganisation

Zur Untersuchung der These „Selbstorganisation“ ist zu zeigen, ob „Ubiquitous oder Calm Computing“ die Informatisierung der beteiligten Elemente im System „Patientenlogistik“ so ermöglicht, dass im konkreten Fall die menschliche Koordination durch Informationssysteme – hier UC – ersetzt werden kann. Mit der Verfügbarkeit kleinster mobiler, drahtlos und spontan vernetzbarer IT-Endgeräte ist es technisch möglich, die Realitätsnähe der verfügbaren Informationen zu steigern. UC wäre dann die Ergänzung des aus dem Internet bekannten Zieles: „An jedem Ort, zu jeder Zeit den gewohnten Dienst“ um solche Dienste, die exakt dieser Umwelt aktuell angepasst sind (IBM 2001; Müller et al. 2003).

Charakteristika und Abgrenzung von UC

Die UC-Vision wurde von M. Weiser 1991 so formuliert: „*Die tiefgreifendsten Technologien sind die, die verschwinden. Sie verbinden sich mit den Strukturen des täglichen Lebens, bis sie von ihnen nicht mehr zu unterscheiden sind*“ (Weiser 1991). Weiser machte jedoch weder Aussagen zur konkreten Technologie noch zu den Vorteilen für die nicht-technische Welt. Drei Ausprägungen von verschwindender und ruhiger Technologie sind aktuell zu unterscheiden (Lyytinen u. Y-oungjin 2002):

1. **Mobile Computing:** Hierbei bewegen sich IT-Dienste physikalisch mit dem Besitzer des Zugangsgertes. Die Lokation des Gerätes wird zwar unerheblich, nicht jedoch die physikalischen Eigenschaften des Gerätes, wie z.B. Energieverbrauch und Größe. Das wesentliche Merkmal von ‚Mobile Computing‘ liegt jedoch in der Tatsache begründet, dass sich die Vorstellung oder die Konstitution eines Dienstes nicht vom stationären Fall unterscheidet. Dies liegt daran, dass die angebotenen Dienste sich nicht automatisch vom Informationsangebot der Umgebung bedienen oder sich in die Umwelt einbringen können. Hierzu bedarf es – wenn überhaupt möglich – der Interaktion durch den Anwender.
2. **Pervasive Computing:** Ein Rechner erhält aus seiner Umgebung Informationen. Diese Daten ermöglichen eine permanente und nahtlose Anpassung des Computermodells an die Wirklichkeit (Mattern 2001). Durch die Bewegung – d.h. die Mobilität – ändert sich auch die Wirklichkeit, die Konstitution des Dienstes selbst bleibt nicht stationär. „Pervasive Computing“ setzt eine intelligente oder „smarte“ Umwelt voraus, die das eindringende Gerät entdeckt und

mit Informationen versorgt. Diese Abhängigkeit ist gegenseitig und setzt den allgegenwärtigen Einsatz von Sensoren, Prozessoren, Ad-hoc-Netzen, Kommunikation und vor allem die Abbildung einer sich ständig verändernden Wirklichkeit voraus, von der die Rechner unterrichtet werden müssen.

3. **Ubiquitous Computing:** Obwohl die Begriffe – mobile, pervasive oder ubiquitous – oft austauschbar verwendet werden, bedeutet UC, dass hier die technischen Fragen der Mobilität und des „Eindringens“ (pervasive) einheitlich angegangen werden. Jeder Rechner steht während des Bewegens unablässig mit der Umwelt in Wechselwirkung. Dienste und Realitätsmodelle (Abbildungen) passen sich ständig und selbstständig der Wirklichkeit an (Banavar et al. 2002).

Die Nutzung von Technik in sozialen Systemen ist immer problematisch und mit vielen vorher nicht beachteten oder ignorierten Fallstricken versehen. Am Beispiel der Privatsphäre, die gerade in einem Krankenhaus unumstritten zu den kulturellen Errungenschaften der westlichen Gesellschaft gehört, kann eindrucksvoll exemplifiziert werden, welcher Preis für die erhoffte Effizienz durch selbstorganisierende UC Systeme zu bezahlen sein wird (Zugenmaier 2003; Jendricke 2002).

Stand und Beispiele für Anwendungen des UC

Im industriellen Umfeld wird die UC-Technologie bereits eingeführt. Prominentes Beispiel sind kleine Chips zur Produktidentifikation: RFID-Chips (Radio Frequency Identification) (RFID 2003). Die Datenübertragung erfolgt berührungslos vom Chip an einen Leser über induktive Kopplung im Radiofrequenzbereich. RFID-Systeme haben verschiedene Vorteile gegenüber Barcodes: die Produkte müssen nur in den Send-/Empfangsbereich des Lesers kommen (und brauchen keine Sichtverbindung zum Leser, wie bei Barcodes), ein Leser kann eine Vielzahl von Produkten fast gleichzeitig lesen (z.B. alle, die sich in einer personalisierten Geschenkverpackung befinden), die Produkte werden automatisch gelesen (und dadurch menschliche Fehler weitestgehend ausgeschlossen), und vor allem werden die Produkte eindeutig ausgezeichnet und identifiziert (anstatt Produktklassen auszuzeichnen wie im Falle von Barcodes). Heute existieren bereits RFID-Chips mit Zustandsautomaten (Logik auf dem Chip), was völlig neue Anwendungsgebiete eröffnet. RFID-Chips haben das Potenzial, die Automatisierungstechnik, insbesondere Warenwirtschaftssysteme zu revolutionieren. So werden sie beispielsweise bei Volkswagen verwendet, um falschen Zulieferteilen auf die Spur zu kommen. Paketdienste wie FedEx können mit ihrer Hilfe zu jedem Zeitpunkt den Ort eines Paketes bestimmen. Movie Gallery, ein amerikanischer Video-Verleih, konnte durch die Inbetriebnahme eines Smart-Tag-Systems den Zeitaufwand für die monatliche Bestandsaufnahme in seinen Filialen von acht auf zwei Stunden reduzieren. Für die 900 Filialen summiert sich das auf 5400 eingesparte Arbeitsstunden im Monat.

Wirtschaftlich interessant wird die eindeutige Identifikation von Produkten spätestens dann, wenn sie mit der Überwachung anderer Attribute der Produkte ver-

bunden wird. Sind nämlich Produkte imstande, eine Selbstüberwachung bestimmter Parameter (wie Temperatur, Druck oder Beschleunigung) durchzuführen und nach außen mitzuteilen, ist die Schwelle zur „*now-economy*“ erreicht – eine Wirtschaft, in der Standort und Zustand von Gütern, Betriebsmitteln und Menschen in Echtzeit und nie da gewesener Genauigkeit verfügbar sind. Hersteller von Flugzeugturbinen beispielsweise rüsten ihre Produkte bereits mit Sensoren aus, die eine lückenlose Überwachung während des gesamten Flugs durchführen und kleinste Störungen per Funk autonom melden. Werden Funktionsstörungen entdeckt, wird noch während des Flugs eine automatische Bestellung der entsprechenden Ersatzteile an den Zielflughafen gesendet, wo diese dann sofort nach der Landung zur Verfügung stehen. Chemikalien und Lebensmittel, deren Temperatur über die gesamte Transportstrecke überwacht wird, sind ein weiteres Beispiel für verbesserte Wirtschaftsabläufe mit Hilfe von Ubiquitous-Computing-Technologien. Sind Güter wegen zu hoher Temperatur unbrauchbar geworden, können sie einen Alarm auslösen oder ihr Verfallsdatum automatisch anpassen.

Sogar Mülltonnen könnten ein Glied der *now-economy* werden. In Schweden führten bereits rund 10% aller Kommunen „smarte“ Mülltonnen ein: diese speichern die Kundennummer des Müllverursachers samt dem Gewicht des deponierten Mülls und übermitteln sie den Müllfahrzeugen beim Entleeren, sodass eine verursachergetreue Abrechnung stattfinden kann. Noch „smarter“ werden allerdings demnächst die Mülltonnen in Barcelona sein: sie werden nur noch bei Bedarf die Müllfahrzeuge zum Entleeren rufen – wenn ihre eingebauten Sensoren feststellen, dass diese fast voll sind.

Die Hersteller von RFID-Systemen stecken viel Aufwand in die Zerstörung dieses Identifizierungsmechanismus, gerade weil er es ermöglicht, schnell und einfach eindeutige Produktinformationen zu erhalten: RFID-Chips sollten spätestens dann nicht mehr lesbar sein, wenn der Endkunde die damit ausgezeichneten Produkte zu Hause hat. Der Grund hierfür liegt im Datenschutz, genauer in der Privatheit (informationellen Selbstbestimmung). Jeder Besucher einer Wohnung könnte mit einem Lesegerät entsprechender Reichweite in Windeseile eine komplette Inventarliste der Wohnung erhalten. Nicht nur, dass Diebe genau an solchen Informationen interessiert sind, auch sind diese Daten hervorragend dazu geeignet, Persönlichkeitsprofile zu erstellen. Auf der anderen Seite wäre es gerade interessant, Produkte über die gesamte Lebenszeit verfolgen zu können. Der Schweizer Pharmahersteller Roche ist, nachdem zu viele Fälschungen von Medikamentenflaschen mit teuren Wirkstoffen in Umlauf kamen, dazu übergegangen, die Flaschen auf der Innenseite zu „taggen“ – für Laien praktisch fälschungssicher. Nach einiger Zeit sind dennoch Fälschungen auf dem Markt aufgetaucht. Nach Recherchen stand die Ursache fest: benutzte Flaschen wurden aus den Mülltonnen von Krankenhäusern entwendet und mit dem falschen Präparat aufgefüllt. Das Problem war also, dass die Überwachung der Güter mit deren Verkauf aufhörte. Wären hingegen beispielsweise die Mülltonnen im Krankenhaus „smart“ gewesen, dann hätten sie die „Tags“ an den Flaschen nach deren abgelaufener „Lebenszeit“ anweisen können unwiderruflich in den Zustand „entwertet“ über zu gehen.

Der Gegenstand: Patientenlogistik der Zukunft

Als wesentlicher Faktor einer zukünftigen IT-Unterstützung der selbstorganisierenden Echtzeitlogistik ist verstärkt die Reaktionsgeschwindigkeit des Informationssystems zu verbessern. Weniger relevant für die Zielerreichung sind z.B. Verfahren zur Allokationsoptimierung oder zur Fehlervermeidung. Erst die schnelle Informationsweitergabe ermöglicht es, Fehlallokationen zu antizipieren und rechtzeitig Umplanungen anzustoßen. Dadurch verbessern sich wirtschaftliche Kennzahlen zur Logistiksteuerung wie die Verringerung von Durchlaufzeiten, Leerstandszeiten, Kapitalbindung und Wartezeiten für Patienten automatisch, ohne dass primär deren Optimierung angestrebt wäre.

Szenarien der Patientenlogistik

Als Methode wird die „Freiburger Variante“ der Szenariotechnik verwendet, wobei im Zieltrichter nach Abb. 2 im Detail die beiden Szenarien „UC 100%“ und „Keine UC-Technologie“ hier von besonderem Interesse sind und daher auch ausführlicher vorgestellt werden. Die Szenarien „Gesellschaftliche Probleme durch UC“ und „Technische Probleme durch UC“ sind diejenigen Quellen, die das notwendige Rahmenwerk im Sinne der Selbstorganisation liefern können und sind konzeptionell den beiden Fragenstellungen „Was wird geschehen?“ und „Was soll geschehen?“ zuzuordnen. Trotz ihrer wohl langfristig entscheidenden Bedeutung zur Beantwortung der Untersuchungsthese werden sie hier nur angedeutet. Eine ausführliche Diskussion der Parameter findet sich bei (Bohn et al. 2003).

Die beiden technisch beantwortbaren Szenarien innerhalb des Trichters sind:

- **Szenario: „UC 100%“.** Ubiquitous Computing erweist sich auf allen Abstraktionsebenen der Automatisierung von Prozessen als einsetzbar und verspricht im Sinne der Zielvorgabe erhebliche wirtschaftliche und persönliche Verbesserungen:
 1. Ausstattung sämtlicher Objekte der realen Welt mit Rechnern mit Kommunikationsmechanismen und Kenntnis ihrer Fähigkeiten und Zielvorgaben.
 2. Technologie zur Bestimmung des Umfeldes, dies bedeutet bei EMIKA das Identifizieren des Ortes von Gegenständen und Personen sowie die Erfassung der Beziehungen zu den Nachbarelementen, sowie Entscheidungen auf dieser Datenbasis.
 3. „Schlaue“ Filterung der Informationsflut durch die verteilten Rechner, was zum Erkennen einer Situation führt.
 4. Adaptivität ist zumindest die rudimentäre Fähigkeit, flexibel und angepasst auf verschiedene Situationen reagieren zu können.

Interpretiert man diese vier Eigenschaften als zu erfüllende Punkte eines Pflichtenheftes, so ist evident, dass zwar einzelne Punkte heute teilweise umsetzbar

sind, die Realisierung dieses Szenarios jedoch weit in der Zukunft liegt, falls sie überhaupt je möglich wird. An jedem medizinischen Gerät, an jedem Bett, an allen Patienten, an allen Pflegerinnen und Pflegern, an allen Ärzten haften kleine Rechner, die miteinander kommunizieren können. Räume kennen die Personen und Gegenstände, die sich in ihnen befinden. Die Ressourcenallokation kann „wie von Geisterhand“ geschehen, nur selten müssen Menschen eingreifen.

- **Szenario: „Keine UC-Technologie“.** Die Technologie des Ubiquitous Computing verbleibt im Wesentlichen in den Fabrikhallen und in den Forschungslabors und schafft den Weg in die Anwendung nicht. Der Einsatz von UC in der Patientenlogistik scheitert an unlösbaren Rahmenbedingungen für die Koordination oder erweist sich wegen der gesellschaftlichen und technischen Hindernisse als nicht durchsetzbar. Ein selbstorganisierendes System ist letztendlich in der Anwendung nicht erwünscht oder in der Erstellung und Wartung zu aufwendig.

Innerhalb des Szenariotrichters wurden folgende Szenarien als für die Beantwortung der These „Selbstorganisation“ wichtig und relevant erkannt:

- **Szenario: „Gesellschaftliche Probleme, verursacht durch UC“.** Dieses Szenario wird in seinen Elementen ausführlich in (Bohn et al. 2003) beschrieben. Hier werden die für die Patientenlogistik wesentlichen Punkte aufgezählt. Die Schwierigkeit bei Faktoren dieser Art ist ihre Quantifizierung und die Erfassung der Beziehungen untereinander.
 1. Privatsphäre: Eine notwendige Bedingung für UC ist der freie Informationsaustausch. Dieser steht im Gegensatz zu dem geschlossenen Raum, der die Privatsphäre kennzeichnet. Wenn Patienten, Ärzte, Personal, Röntgengeräte, Betten usw. über den Zustand der Nachbarelemente Bescheid wissen, um die Selbstorganisation zu ermöglichen, kann es dann überhaupt eine technische Lösung für die Privatheit geben (Müller et al. 2001; Zugenmaier 2003; Zugenmaier et al. 2003)?
 2. Kontrollverlust: Selbstorganisation bedeutet auch, dass die Delegation von Verantwortung an eine Maschine abgetreten wird. Es ist letztlich unklar, ob Menschen bereit sind, ihre Gesundheit einem für sie anonymen Informationssystem anzuvertrauen.
 3. Strahlung und Inferenz: Eine tragende Säule für den Einsatz von UC ist die flexible Kommunikation. Diese geschieht im Wesentlichen durch Funknetze. Obwohl bisher keine Beeinträchtigung der Gesundheit durch die Mobilkommunikation nachgewiesen ist, ist dies auch nicht ausgeschlossen worden. Gerade im Krankenhaus wird die Diskussion um Elektromog und Störung anderer Elemente durch Funk nicht vermeidbar sein.
- **Szenario: „Technische Probleme durch UC“**

1. Software: Die Programmierung zur umgebungsabhängigen und selbstständigen Konfiguration der Dinge sowie die flexible Formalisierung aller Prozesse im Krankenhaus können sich als unmöglich herausstellen.
2. Schnittstelle: Wenn die Hoffnungen, die in neue Materialien und in die Miniaturisierung gesetzt werden, sich nur partiell erfüllen, dann bleibt die UC-Technologie in der Patientenlogistik „sichtbar“. Computer werden als solche identifiziert und sind immer noch für Laien nur nach langer Einarbeitungszeit gebrauchstauglich.
3. Kommunikation: Das zur Verfügung stehende Frequenzband für Funk ist klein, die vielen Funkquellen stören sich mehr und mehr gegenseitig. Träger von Herzschrittmachern müssten sich beispielsweise in speziell ausgewiesenen funkkarmen Bereichen aufhalten, was u.a. die Flexibilität des Gesamtsystems stark einschränkt. Infrarot kann für viele Anwendungsgebiete hier nicht als Alternative dienen, da diese optische Technologie „Sichtkontakt“ benötigt. Beispielsweise stellen alle Wände undurchdringliche Barrieren für die direkte Infrarot-Kommunikation dar.
4. Energie: Die Innovation in der Energieversorgung von stationären und mobilen Geräten folgt nicht der Faustregel des „Moore’schen Gesetzes“, sondern wächst nur linear (Müller et al. 2003). Die Rechner an den Gegenständen im Krankenhaus bleiben durch die Batterieversorgung eher plump und schwer. Eventuell ist es für fast jedes Gerät nötig, mit hohen Kosten und Aufwand eigenständig den Status seiner Energieversorgung zu erfassen und selbstständig für eine „Auffrischung“ zu sorgen.

Einflussfaktoren

Um eine erste Aussage über das Gelingen von Selbstorganisation mittels UC auch in anderen Anwendungsgebieten zu erhalten, werden die für die Radiologie gemachten Voraussetzungen verallgemeinert:

- Zur Erfassung des „Ist-Zustandes“ muss jede Entität die Fähigkeit zur Kontext- und/oder Situations- und/oder Nachbarerkennung haben. Nur durch die adäquate Erfassung des Ist-Zustandes kann sie ableiten, welche Maßnahmen ihr offen stehen, um ihren „Soll“-Zustand zu erreichen.
- Meist ist der Soll-Zustand überhaupt erst durch direkte Kommunikation mit den Nachbarentitäten berechenbar. An der Selbstorganisation beteiligte Entitäten müssen hierzu mit ihren Nachbarn Ad-hoc-Netzwerke bilden können.
- Die Formulierung und informatische Formalisierung des Regelrahmens muss gelingen (Sackmann 2002; Eymann 2002). Hierfür könnten Dienstbeschreibungssprachen eingesetzt werden.
- Ständig sich wechselnde Umgebungen erfordern ein hohes Maß an Fähigkeit zur Adaptivität der Softwaresysteme.

Die Probleme der Kontexterkenntnis, Ad-hoc-Vernetzung und Adaptivität von Software lassen u.E. die Hardwareprobleme in den Schatten treten.

Deskriptoren

Deskriptoren sind neutrale, beschreibende Kenngrößen, um die Schlüssel-Einflussfaktoren zu ermitteln, die die Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Szenarien beeinflussen. Die Auswahl der Deskriptoren sollte möglichst unbeeinflusst von den Extremszenarien erfolgen und muss über den „Tellerrand“ einer Spezialdisziplin hinausreichen.

In einem ersten Schritt ist daher eine Liste von Deskriptoren zu erstellen, die im zweiten Schritt gewichtet wird. Hierzu haben sich die in Abb. 3 und 4 verwendeten „Spinnennetze“ als besonders geeignet erwiesen.

Deskriptorenliste

Für Ubiquitous Computing ist eine Kategorisierung in technische und nicht-technische Deskriptoren sinnvoll (vgl. (Mattern u. Langheinrich 2002)):

Technische Deskriptoren:

- Hardware-Fortschritte
 - Fortschritte in der Sensortechnologie
 - Fortschritte in der Miniaturisierung von Chips
 - Fortschritte bei der Entwicklung neuer Materialien wie beispielsweise Smart Paper
- Fortschritte in den Softwarerahmenwerken
 - korrekten Kontexterfassung und –auswertung
 - schlaue Situationserkennung
 - Adaptabilität
 - gebrauchstaugliche Mensch-Maschine-Kommunikation
 - leichte (Um-)Konfigurierbarkeit
 - Wartungsarmut
 - nahtloses Zusammenspiel aller Komponenten – selbst neu eingeführter
- Fortschritte in der Vernetzung
 - hohe Bandbreite im drahtlosen Bereich
 - hohe Reichweite drahtloser Kommunikation
 - Minimierung der gegenseitigen Störung der Drahtlos-Technologien
- Fortschritte in der Energieversorgung, insbesondere
 - Langlebigkeit und
 - geringes Gewicht von Batterien
- Sicherheit
 - Im Sinne von Security (technische Sicherheit, z.B. Verletzlichkeit kritischer Infrastrukturen)

– Technische Lösungen für Privatheit

- ...

Nicht-technische Deskriptoren:

- Bedeutung von Privatheit für die Gesellschaft
- Akzeptanz des partiellen Kontrollverlustes
- Gesundheitsschädigende Effekte der Funktechnologien nachgewiesen
- ...

Gewichtung der Deskriptoren

In diesem Schritt werden die Deskriptoren für jedes der vier Szenarien gewichtet. In Abb. 3 und 4 ist mit den „Spinnennetzen“ ein Verfahren gezeigt, wie die Annahmebündel für die Szenarien grafisch veranschaulicht werden. In einem „Spinnennetz“, das so viele Ecken wie Deskriptoren besitzt, werden diese mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 1 belegt. Im Beispiel des Szenarios „UC kommt“ wird in der hier exemplifizierten Meinung davon ausgegangen, dass die Hardware, Software, Vernetzung, Energieversorgung, Sicherheit und der Kontrollverlust fast vollständig lösbar sind, während die Strahlungseffekte und die Privatsphäre als für den Technologieeinsatz als unerheblich angesehen werden. In analoger Form ist die Gewichtung der Deskriptoren für die drei anderen Szenarien entstanden und zu interpretieren.

Durchführung und Interpretation

Am Beispiel der Gewichtung der Deskriptoren in Abb. 3 und 4 zeigt sich ein nicht zu heilendes Defizit der Szenariotechnik. Jede Gewichtung der Deskriptoren und auch die Deskriptorenliste selbst ist weitestgehend subjektiv. Die Begründung und Erstellung der Gewichtung der Deskriptoren erfordert daher erheblichen Aufwand, der durchaus dem entspricht, wie er in der empirischen Sozialforschung üblich ist und zur Erlangung von Repräsentativität für ernst zu nehmende Untersuchungen auch durchgeführt wird.

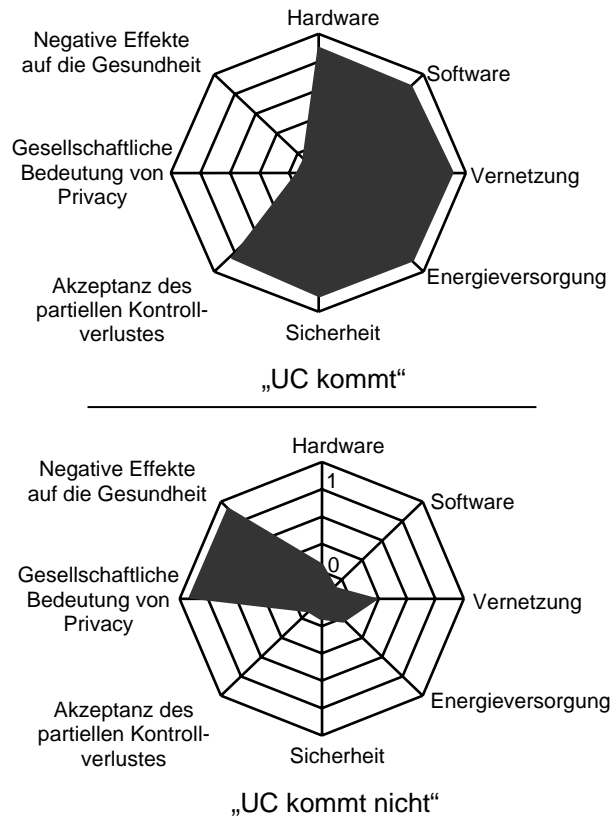


Abb. 3. Deskriptoren und ihre beispielhafte Gewichtung

Die Szenariotechnik ist trotz ihrer Rückwirkung auf die Gegenwart eine Projektion der individuellen Erwartungen und des individuellen Kenntnisstandes bezüglich der Technik und der Folgen für die Zukunft. Es ist nicht auszuschließen, dass trotz der angestrebten Objektivität des Verfahrens subjektive Bewertungen in die Aufstellung und Quantifizierung der Faktoren eingehen. Dennoch ist es hilfreich, wenn Informationssysteme analysiert werden und die Wechselwirkungen zwar nicht unbedingt in ihrer tatsächlichen Stärke jedoch in ihrer Existenz anerkannt werden.

Ein einheitliches Verfahren zur Erhebung und Gewichtung der Deskriptoren, welches die Objektivität garantieren kann, gibt es in diesem Sinne nicht. Allgemein wird empfohlen während der Szenariobeschreibung verschiedene Verfahren und Kombinationen zu testen (Gausmeier et al. 1996). Als ein geeignetes Verfahren hat sich eine Kombination von diskursiven und intuitiven Verfahren herausgestellt. Ein solches Kombinationsverfahren setzt sich zum einen aus einer Systemskizze, die das grundlegende Wirkungsgefüge festlegt, und zum andern einer er-

gänzenden Expertenbefragung zusammen, durch die einzelnes Fachwissen in die Gewichtung der Deskriptoren einfließt.

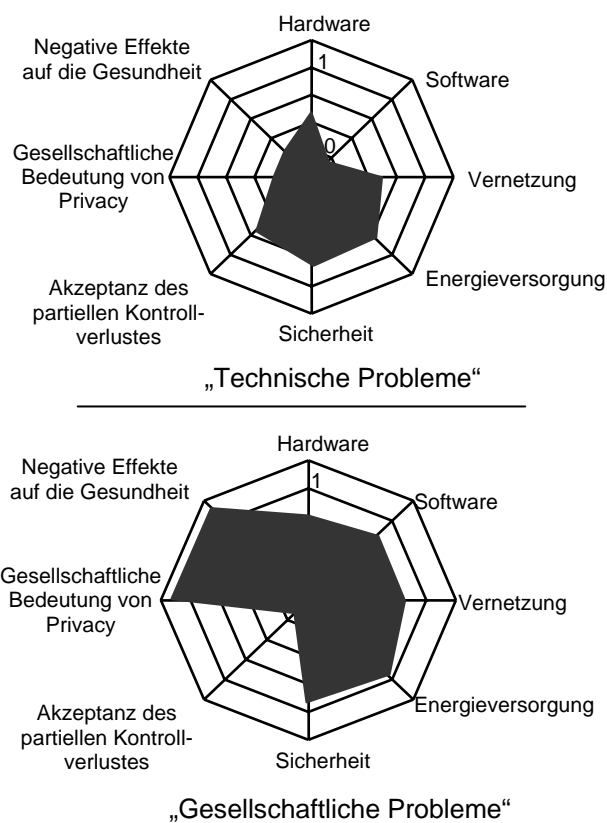


Abb. 4. Deskriptoren und ihre beispielhafte Gewichtung

Das Szenario „UC 100%“ aus Abb. 3 liefert für die weitere Untersuchung die Anforderungen und Erwartung für den experimentellen Aufbau eines prototypischen Informationssystems, das für einen Teilbereich der Patientenlogistik die Möglichkeiten der Technik praktisch untersucht. Das Experiment EMIKA dient einerseits dem besseren Verständnis des Technikeinsatzes und andererseits der Technikgestaltung. Es ist ein „Labor“ um die technischen und gesellschaftlichen Implikationen – des „Lebens in einer ‚smarten‘ Umgebung“³ – am praktischen Fall zu diskutieren.

³ So auch der Titel des Kollegs der Karl-Benz- und Gottlieb-Daimler-Stiftung: „Living in a smart environment“.

Das Experiment: EMIKA

EMIKA ist eine Softwareapplikation, die verschiedene Technologien des Ubiquitous Computing einsetzt, um die Herausforderungen der Patientenlogistik zu bewältigen. Dabei werden die Technologien dazu befähigt, dass die einzelnen Systembestandteile ihre Umgebung wahrnehmen, die Situation erkennen und darauf reagieren können. Diese Informationen benutzt das EMIKA-System, um eine dynamische Ressourcenplanung durchzuführen.

Ortung von Personen und Geräten

Zur Ortung einzelner Personen und Geräte werden sowohl Kommunikations- als auch Identifikationstechnologien eingesetzt. Ziel ist es, die Kommunikationsfunktionalität bereits vorhandener Standardgeräte, wie Personal Digital Assistants oder Mobiltelefone, zu verwenden. Da die meisten Objekte, wie z.B. ein Krankenbett, diese Kommunikationsschnittstellen derzeit nicht bieten, kommt neben Infrarot-Technologie, Bluetooth und anderen drahtlosen Netzen vor allem RFID-Technologie (Radio Frequency Identification) zur Identifikation dieser Gegenstände zum Einsatz.⁴



Abb. 5. Positionierung von RFID-Readern und IrDA-Baken

„Tracking“ mit RFID-Technologie

Die RFID-Technologie besteht aus Transpondern und Lesegeräten. Ein Lesegerät kann über eine begrenzte Distanz eine Kommunikation zu einem Transponder herstellen und dort Daten (Zeichenkette zur eindeutigen Identifikation) auslesen. Moderne Transponder besitzen weitergehende Funktionen zur Datenspeicherung

⁴ Zum Einstieg in das Studium der verwendeten Technologien wird auf (Müller et al. 2003) verwiesen.

und zur Datensicherheit. Gegenwärtig werden bei diesem Projekt RFID-Systeme nach dem ISO-Standard im 13,56 MHz Bereich eingesetzt. Der erzielbare Leseabstand zwischen Transponder und Lesegerät variiert dabei zwischen 0,1 und 1,0 Meter. Um die Bewegung eines Gegenstandes zu verfolgen, wird dieser mit einem Transponder etikettiert. Ein an einem Durchgang angebrachtes Lesegerät registriert, wenn der Gegenstand mit eingebettetem Transponder diesen Durchgang passiert. Abb. 5 zeigt eine mögliche Anordnung von RFID-Lesegeräten, die zur Feststellung von Raumwechseln geeignet ist.

„Tracking“ mit IrDA-Technologie

Die drahtlose Datenübertragungstechnik IrDA wird eingesetzt, um größere Bereiche wie beispielsweise Hausgänge oder andere Räume auszuleuchten. Dabei wird die Infrarot-Technik als Baken, also zur Ausstrahlung und nicht zum Empfang von Daten benutzt. Die ausgestrahlten Daten, die Informationen über den gegenwärtigen Ort beinhalten, können von PDAs empfangen werden und weiterverarbeitet bzw. weitergeleitet werden. Abb. 5 zeigt, wie der Hausgang zwischen dem Wartezimmer und den Behandlungszimmern von drei IrDA-Baken beleuchtet wird. Die Bündelung und die Eigenschaft, dass Infrarot-Strahlung keine Wände durchdringt, ermöglicht eine gezielte Abgrenzung des Empfangsbereichs, damit eine raumbezogene Ortung möglich ist.

Der verhältnismäßig große Ausbreitungsbereich und die Durchdringung von Wänden (Wartezimmer, Hausgang) setzen der Bestimmung des Aufenthaltsortes einer Person mit PDA jedoch Grenzen.

„Tracking“ mit drahtlosen Netzen

Drahtlose Netzwerke, die zur Daten- und Informationsverteilung notwendig sind, stellen eine weitere Möglichkeit dar, die Bewegung von Personen, die PDAs mit sich führen, zu verfolgen. Dazu wird die Eigenschaft ausgenutzt, dass die meisten Netzwerkprotokolle eindeutige Geräteadressen vorsehen, die zur Identifikation verwendet werden können. Abb. 6 veranschaulicht Bereiche des Hausgangs, in denen neben den RFID-Lesern und nicht dargestellten IrDA-Baken Bereiche existieren, in denen Zugang zu einem WLAN- und Bluetooth-Netzwerk besteht.

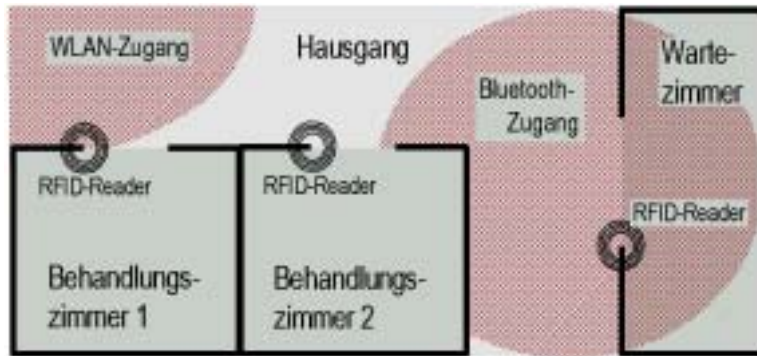


Abb. 6. Ausbreitungsbereiche von drahtlosen Netzwerken

Logische Auswertung von Sensorereignissen

Um eine zuverlässige Ortung einer Person oder eines Objekts zu ermöglichen, werden alle verfügbaren Sensorereignisse (RFID-Leser, IrDA-Baken und drahtlose Netzwerke) ausgewertet. Die logischen Verknüpfungen der Ereignisse ermöglichen eine präzisere Aussage über den Aufenthaltsort von Personen und Geräten. Diese Informationen werden darüber hinaus herangezogen, um Aussagen über die Verfügbarkeit von Räumen und anderen Ressourcen abzuleiten.

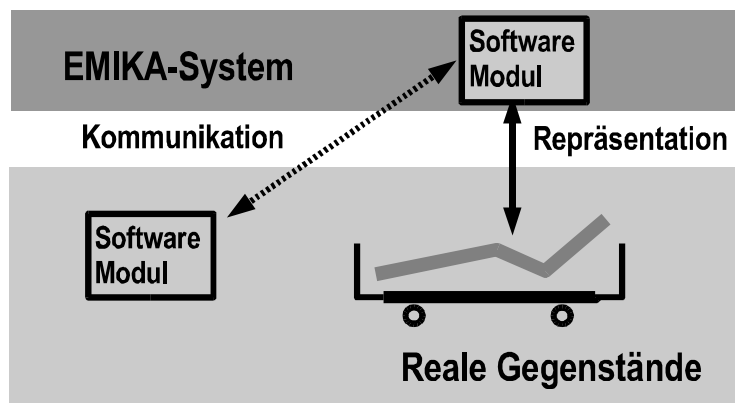


Abb. 7. Repräsentation von Ressourcen im EMIKA-System.

Selbstorganisation der Ressourcen

Durch die Auswertung der erhobenen Daten über Ort und Zustand lässt sich erkennen, ob eine Ressource im Moment oder der nahen Zukunft verfügbar ist. Aufgrund dieser Messwerte kann entschieden werden, ob der aktuelle Terminplan eingehalten werden kann oder ob Umplanungen von Geräten und Personen notwendig sind, um eine bessere Ressourcenauslastung zu erreichen.

Das EMIKA-System gewährleistet die Kommunikation aller Geräte untereinander, in dem jedes Gerät durch ein Softwaremodul im EMIKA-System repräsentiert wird, was in Abb. 7 veranschaulicht wird. Bei Geräten mit eigener Kommunikationsschnittstelle (z.B. PDA) kann der Datenaustausch auch direkt stattfinden.

Die Softwaremodule sind so konzipiert, dass der Terminplan der zugehörigen Ressource eingehalten wird und die Ressource möglichst optimal ausgelastet ist. Im Falle einer notwendigen Umplanung werden alle Module aktiv, die von diesem Ereignis betroffen sind. Die Module handeln untereinander einen neuen Terminplan aus, so dass die einzelnen Ressourcen ihre Aufgaben weiterhin erfüllen können. Durch die Umplanung bzw. Ausfallzeiten anderer Ressourcen werden evtl. Ressourcen verfügbar und können anderweitig eingesetzt werden. Dazu informieren die Softwaremodule andere Module des EMIKA-Systems, dass diese Ressource wieder zur Verfügung steht. Ebenfalls berechnen die betroffenen Module Alternativen, wie das Gerät bzw. die Person eingesetzt werden kann. Das System organisiert sich dadurch selbst. Alle Ressourcen, die von der Umplanung nicht betroffen sind, werden nicht in den Aushandlungsprozess einbezogen.

Verteilung von Informationen

Nachdem die angepassten Terminpläne von den betroffenen Softwaremodulen ausgehandelt wurden, müssen diese Informationen den betroffenen Personen zugänglich gemacht werden. Da die Personen im gesamten Krankenhausbereich mobil sein können, benutzt das EMIKA-System die bestehenden drahtlosen Netzwerke, um die Personen direkt und unverzüglich zu erreichen. Die notwendigen Informationen werden auf Endgeräten, wie z.B. Mobiltelefon oder PDA, dargestellt.

Was wird nicht beantwortet?

Die Zukunft lässt sich nicht vorhersagen. Ob Selbstorganisation die wirtschaftlich notwendigen Kräfte freisetzt, um die enormen Investitionen zu ermöglichen ist unklar, da auch die Selbstorganisation nur eins von vielen möglichen Zielen ist. Wenn Selbstorganisation durch die UC-Technologie ermöglicht wird, was ist dann das Rahmenwerk (viertes Charakteristikum selbstorganisierender Systeme)? Werden weiterhin medizinische Indikatoren oder vielmehr die Kosten der Behandlung ausschlaggebend sein, müssen sich die Patienten einem Gutschein- oder Credit-

pointssystem fügen, oder ist das Optimierungskriterium die Personalintensivität der jeweiligen Diagnostik und Behandlung? Oder ist es eine Mischung aus diesen und aus anderen Parametern?⁵ Wird das Krankenhaus eine menschen- und seelenlose Abfertigungsanstalt, die (fast) vollständig durch Rechner geplant wird, sodass die Betreuung von Menschen, denen bislang vor allem der menschliche Kontakt beim Arztbesuch wichtig war, auf die Technik verlagert wird?

Führt der technische und medizinische Fortschritt zu solchen Belastungen für das Gesundheitssystem, dass die Unterscheidung der Behandlung durch Menschen oder durch Technik sich in den Gesundheitskosten widerspiegelt?

Erste Erfahrungen geben jedoch Hoffnung auf ein kostengünstigeres System im Krankenhaus. Die Einsparungen können in die medizinische Versorgung investiert werden und dadurch dient die „geduldige“ UC Technologie den „ungeduldigen“ Patienten.

Literatur

- Banavar G, Bernstein A (2002) Software Infrastructure and Design Challenges for Ubiquitous Computing. CACM, Vol 45, No 12, pp 92–96
- Bohn J, Coroamă V, Langheinrich M, Mattern F, Rohs M (2003) Allgegenwart und Verschwinden des Computers – Leben in einer Welt smarterer Alltagsdinge. In: Grötter, R. (Hrsg): Privat! Kontrollierte Freiheit in einer vernetzten Welt. Heise-Verlag, 2003
- Dertouzos ML (1991) "Communications, Computers and Networks." Scientific American 265(3): pp 62-69.
- Eggs H, Sackmann S, Eymann T, Müller G (2002) Vertrauen und Reputation in P2P Netzwerken. In: Schoder D, Fischbach K, Teichmann R (Hrsg): Peer-to-Peer – Ökonomische, technologische und juristische Perspektiven. Springer-Verlag, Berlin
- Eymann T (2002) Digitale Geschäftsagenten. Springer-Verlag, Berlin
- Gausmeier J, Fink A, Schlake O (1996) Szenario-Management. 2. bearbeitete Aufl, München
- Graf H (1999) Prognosen und Szenarien in der Wirtschaftspraxis. Zürich
- Hayek FA (1945) The Use of Knowledge in Society. In: American Economic Review. Vol XXXV, No 4, pp 519–530
- Hummel T (1996) Chancen und Grenzen der Computerunterstützung kooperativen Arbeitens. Wiesbaden
- IBM Corp (2001) Autonomic Computing. Yorktown Heights, NY, IBM
- Jendricke U (2002) Sichere Kommunikation zum Schutz der Privatsphäre durch Identitätsmanagement. Dissertation, Freiburg
- Kephart JO, Hanson JE, Greenwald AR (2000) Dynamic Pricing by Software Agents. Computer Networks, Vol 32, No 6, pp 731–752
- Krohn W, Küppers G (Hrsg) (1990) Selbstorganisation – Aspekte einer wissenschaftlichen Revolution. Braunschweig/Wiesbaden

⁵ Zur Diskussion und zum Studium der Wirkung von Rahmenwerken in Agentensystemen wird auf (Eymann 2002; Sackmann 2002) verwiesen.

- Lyytinen K, Youngjin Y (2002) Issues and Challenges in Ubiquitous Computing. CACM, Vol 45, No 12, pp 62-65
- Mattern F, Langheinrich M (2001) Allgegenwärtigkeit des Computers – Datenschutz in einer Welt intelligenter Alltagsdinge. In: Müller G, Reichenbach M (Hrsg): Sicherheitskonzepte für das Internet. Springer-Verlag, Berlin, S 7–26
- Mattern F (2001) Pervasive/Ubiquitous Computing. Informatik Spektrum, Jg 24, Heft 3, pp 145–147
- Miller JH (1995) Evolving Information Processing Organizations. Carnegie Mellon University, Department of Decision Sciences in its series Papers with number _001; http://ideas.repec.org/p/wop/carnds/_001.html
- Moore G (1965) Cramming more components onto integrated circuits. Electronics 38, pp 114–117
- Müller G, Eymann T, Kreutzer M (2003) Telematik- und Kommunikationssysteme in der vernetzten Wirtschaft. Oldenbourg Verlag, München
- Müller G, Kreutzer M, Zugenmaier A (2001) Location Addressing: Technical Paradigm for Privacy and Security in a Ubiquitous World. Hitachi Report 9/2001, Tokyo
- Müller G (2001) „Informatik und Gesellschaft“ – nützlich und wichtig, aber auch akademisch? FIFF Heft 4/2001, S. 29-35
- Randell B (ed) (1973) The Origins of Digital Computers. Springer-Verlag
- Reibnitz Uv (1991) Szenario-Technik: Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung. 2. Aufl, Wiesbaden
- RFID International Organization for Standardization ISO/IEC 15693-1,2,3,4, 10536, 14443
- Sackmann S (2002) Bilaterale Preisverhandlungen von Software-Agenten. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Informatik und Gesellschaft Abt. Telematik
- Sackmann S, Eymann T, Müller G (2002) EMIKA – Real-Time Controlled Mobile Information Systems in Health Care Applications. In: Bludau HB, Koop A (Hrsg): Mobile Computing in Medicine – Realtime Controller Mobile Information Systems in Health Care Applications. Heidelberg
- Smith, A. (1776): An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, in The Wealth of Nations: The Cannan Edition, ed. by E. Cannan. Modern Library, New York, 1937.
- Varian HR (1995) Pricing Information Goods. **In Proceedings of the Symposium on Scholarship in the New Information Environment. Harvard Law School**
- Walras L (1998) Éléments d'économie politique pure: ou théorie de la richesse sociale. Economica, Paris
- Weiser M (1991) The Computer for the Twenty-First Century. Scientific American, Vol 265, No 3, p 94 ff
- Wellman P (1996) Market-Oriented Programming: Some Early Lessons. In: Clearwater SH (ed): Market-Based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation. Singapore, pp 74–95
- Wellman P, Wurman R (1998) Market-Aware Agents for a Multiagent World. In: Robotics and Autonomous Systems, Vol 24, pp 115–125
- Zugenmaier A, Kreutzer M, Müller G (2003) The Freiburg Privacy Diamond: An Attacker Model for a Mobile Computing Environment. In: Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS) '03, Springer-Verlag,

Zugenmaier A (2003) Anonymity for Users of Mobile Devices by Location Addressing. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Informatik und Gesellschaft Abt. Telematik

Prof. Dr. Günter Müller wurde 1985 Direktor des Europäischen Zentrums für Netzwerkforschung der IBM Europa. Seit 1990 ist er Gründungsdirektor des Institutes für Informatik und Gesellschaft sowie Ordinarius für Telematik an der Universität Freiburg. Von 1993 bis 1999 leitete er das Kolleg „Sicherheit in der Kommunikationstechnik“ der Gottlieb Daimler- und Karl-Benz Stiftung. Seit 1999 ist er Sprecher des DFG-Schwerpunktprogramms „Sicherheit in der Informations- und Kommunikationstechnik“. Er hat zahlreiche Gastwissenschaftleraufenthalte in Japan und den USA bei führenden IT-Herstellern.

Michael Kreutzer studierte Informatik an der Universität des Saarlandes. Er gewann den OMG Award 1999 bei Interactive Objects und promoviert jetzt in Freiburg am Institut für Informatik und Gesellschaft zum Thema Sicherheit bei der Dienstfindung in Ad-hoc-Netzen. Weiter ist er am Kolleg „Living in a Smart Environment“ der Gottlieb-Daimler- und Karl-Benz-Stiftung beteiligt.

Moritz Strasser studierte Volkswirtschaft in Freiburg. Seit 2002 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informatik und Gesellschaft Abteilung Telematik der Universität Freiburg. Er hat sich besonders um die PKI-Infrastruktur der Universität Freiburg im Projekt F-Moll verdient gemacht und arbeitet aktuell an einer Machbarkeitsstudie zum digitalen Personalausweis, einer Initiative des BMWA. Weiter arbeitet er mit im Kolleg „Living in a Smart Environment“ der Gottlieb-Daimler- und Karl-Benz-Stiftung.

Dr. Torsten Eymann studierte Wirtschaftsinformatik in Kiel und Mannheim und promovierte 2000 in Freiburg. Er erhielt den Dissertationspreis 2001 der Alcatel SEL Stiftung. Er ist der Verantwortliche für das Projekt EMIKA bei der DFG und hat dazu das Agentensystem B2B-OS an der Universität Freiburg entwickelt. Mit Diebold Deutschland TIMELabs und Living Systems AG erstellte er 2001 die Technologiestudie „Digital Business Agents“. Er ist zurzeit bei Hitachi System Development Labs in Japan (2002/03).

Adolf Hohl studierte bis zum Jahr 2000 Informatik an der Universität Karlsruhe. Nach einer Beratertätigkeit in der Praxis kehrte er an die Universität zurück, wo er nun im Bereich Sicherheitstechnik und Telematik promoviert. Er ist verantwortlich für das EMIKA-Experiment und arbeitet am Kolleg „Living in a Smart Environment“ der Gottlieb-Daimler- und Karl-Benz-Stiftung mit.

Norbert Nopper studierte von 1993 bis 1997 Informatik in Furtwangen. Seine von der Stadt Furtwangen prämierte Diplomarbeit über Software-Agenten bildete die Basis für das Kernprodukt der Firma Living Systems AG. Er war bis 2001 Forschungsleiter der Living Systems AG in Singapur. In dieser Zeit leitete er u.a. ein Projekt zur Implementierung von Internetauktionen auf der Basis von Software-Agenten. Aus diesem Projekt resultierte das heutige eBay Deutschland. Er promoviert zum Thema Software-Agenten, Ubiquitous und Mobile Computing.

Stefan Sackmann arbeitete bis 1989 als Kommunikationselektroniker, anschließend studierte er Volkswirtschaft bis 1999 und promovierte 2003 an der Universität Freiburg. Seit

1999 ist er an der Universität Freiburg insbesondere mit automatisierte Verhandlungsführung von Software-Agenten beschäftigt. Neue Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der wirtschaftlichen Gestaltung und Nutzung von Mobilität. Mit Diebold Deutschland TIMELabs und Living Systems AG erstellte er 2001 die Technologiestudie „Digital Business Agents“.

Vlad Coroamă studierte Informatik an der TU Darmstadt und ist seit 2000 auf dem Gebiet des Ubiquitous und Pervasive Computing als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der ETH Zürich, Schweiz, tätig. Unter anderem ist er in Projekte eingebunden, in dem interdisziplinär die Auswirkungen des Pervasive Computing auf die Gesellschaft, die Volkswirtschaft und das Rechtssystem untersucht werden.