media/rep/

Repositorium für die Medienwissenschaft

Ingrid Rügge

Wege und Irrwege der Mensch-Maschine-Kommunikation beim Wearable Computing

2008

https://doi.org/10.25969/mediarep/12333

Veröffentlichungsversion / published version
Sammelbandbeitrag / collection article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:
Rügge, Ingrid: Wege und Irrwege der Mensch-Maschine-Kommunikation beim Wearable Computing. In: Hans Dieter Hellige (Hg.): *Mensch-Computer-Interface: Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung.* Bielefeld: transcript 2008, S. 199–234. DOI: https://doi.org/10.25969/mediarep/12333.

Nutzungsbedingungen:
Dieser Text wird unter einer Creative Commons - Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 3.0 Lizenz zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu dieser Lizenz finden Sie hier:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0

Terms of use:
This document is made available under a creative commons - Attribution - Non Commercial - No Derivatives 3.0 License. For more information see:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

Philipps Universität Marburg

Wege und Irrwege der Mensch-Maschine-Kommunikation beim Wearable Computing

Ingrid Rügge

Die meisten Menschen unseres Kulturkreises kennen inzwischen die kleinen Hochleistungsnotebooks, PDAs (Personal Digital Assistants) und Smartphones – praktische Lösungen, wenn man unterwegs eine Fahrplanauskunft benötigt, schnell etwas mit jemandem abstimmen oder im Zug noch an einem Text arbeiten will. Computer und Telefone sind heute mobil einsetzbar. Handys sind als Kommunikationsmittel sowohl aus dem beruflichen, vor allem aber aus dem privaten Sektor kaum noch wegzudenken. Sie gehören zum Alltag von Menschen jeder Altersgruppe, wie schon seit geraumer Zeit die kleinen mobilen Unterhaltungselektronikgeräte. Die verwendeten technischen Komponenten werden immer kleiner und leistungsfähiger, inzwischen können sie bereits in Kleidung integriert werden (siehe Abb. 1). Ihre Einsatzmöglichkeiten reichen deutlich über die Benutzung im privaten Bereich sowie für mobile Tätigkeiten, die bisher am Schreibtisch ausgeübt wurden, hinaus. Mobile informations- und kommunikationstechnische Computerunterstützung wird zunehmend für andere Sektoren attraktiv.

Abb. 1: »Smart Electronics«-Lösung für den privaten Gebrauch

Beispiele für mobile Arbeitstätigkeiten jenseits des Schreibtisches sind die Wartung von Windkraftanlagen, die Dokumentation ambulanter Pflege, Notarzteinsätze oder die Kommissionierung und Auslieferung von Waren (siehe Abb. 2). Das sind jeweils Arbeiten, die in der »gegenständlichen, physischen Welt« und nicht am oder vom Computer ausgeführt werden (können), jedoch sehr wohl durch den Einsatz von Computertechnologie vereinfacht und verkürzt werden können. Eine solche mobile Lösung, die der BenutzerIn sehr nahe an den Körper rückt – und deshalb auch als Wearable Computing-Lösung bezeichnet wird –, muss dann aber auch wirklich »tragbar« sein, in jeder Hinsicht.

Abb. 2: Potenzielle Einsatzsituation einer Wearable Computing-Lösung in der Logistik (Bild: Metro 2007)

Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf mobile Lösungen im oben genannten Sinne für die Unterstützung mobiler, professioneller Arbeitstätigkeiten jenseits des Schreibtisches. Anhand von Beispielen werden ihre Einsatzpotenziale, ihre Probleme bzgl. der Mensch-Computer-Interaktion sowie Lösungsansätze zur Überwindung dieser und zur Entwicklung tragbarer mobiler Lösungen vorgestellt.

Beispiele für Wearable Computing-Lösungen

Es existiert bereits eine Vielfalt konzipierter und prototypisch realisierter mobiler Lösungen. Sie resultieren zumeist aus einem technologischen Fachgebiet und zielen auf einen speziellen Anwendungsbereich. Case Studies und White Paper der Hersteller von Wearable Computing-Hardware oder von SoftwareentwicklerInnen zum Einsatz ihrer Programme auf mobilen Geräten sowie wissenschaftliche Untersuchungen verweisen auf ein großes Innovationspotenzial mobiler Lösungen. Die meisten dokumentierten Wearable Computing-Lösungen sind jedoch nach wie vor Prototypen, die Machbarkeitsstudien für Forschungsansätze oder Feldstudien dienen. Produkte sind bis heute kaum verfügbar (siehe Rügge 2007). Auf Erfahrungen mit einem langfristigen kommerziellen Einsatz einer mobilen Lösung kann nur im Fall des Wearable Scanning Systems der Firma Symbol Technologies verwiesen werden (siehe Symbol Technologies 2006, Stein et al 1998).

Abb. 3: Kommerzielles Wearable Scanning System von Symbol Technologies, Einsatzbereich Logistik (Bild: MRC)

Die Bandbreite der bereits in Erwägung gezogenen Einsatzgebiete umfasst die klassischen Wirtschaftssektoren – von der Dienstleistung über die Industrie bis hin zur Landwirtschaft – und den Konsumenten-Bereich[1]. Umsetzungen wurden im professionellen Bereich jenseits der Schreib-

1 Zu Einsatzbeispielen von mobilen Lösungen für Konsumenten oder im Büro-Bereich siehe z.B. Pichler 2005 oder Wichmann/Stiehler 2004

tischarbeit vor allem für Sparten wie Transport und Logistik, Produktion, Instandhaltung, Gesundheitswesen, Sicherheit und Journalismus entwickelt.

Als ein Beispiel sei hier der Wartungsbereich herangezogen: Die Instandhaltung von Produktionsanlagen leistet einen wichtigen Beitrag zum störungsfreien Ablauf einer Produktion. Sie ist aber auch in vielen anderen Sektoren Bestandteil der täglichen Arbeit, z.B. bei der Wartung von Haushalts- oder Gebrauchsgeräten oder von Gebäuden. Bereits seit den Anfängen der Entwicklung von Wearable Computing-Lösungen wird daran gearbeitet, diese Technologie für die Instandhaltung einzusetzen, da der Zugriff auf Informationen (Handbücher, Schaltpläne, Reparaturanleitungen etc.), eine multimediale Expertenkonsultation, eine papierlose Schadensberichtserfassung oder die systematische Steuerung des Arbeitsablaufs per interaktiver Checkliste zu einer deutlichen Prozessoptimierung beitragen können. Für die Wartung von Gebrauchsgeräten (z.B. Drucker) oder der Gebäudetechnik (Vernetzung), zur Visualisierung verborgener architektonischer Strukturen in Gebäuden, zur Inspektion von Fahrzeugen, Flugzeugen, Industriekränen, Schiffen und Postsortieranlagen, zur Instandhaltung von Wohnhäusern sowie für die Inspektion in Produktion und Montage, z.B. beim (verteilten) Bau von Schiffen, wurden bereits Prototypen entwickelt (siehe Rügge 2007, S. 171 f.).

Kommerziell breit einsetzbare Systeme sind jedoch auch hier nicht auf dem Markt verfügbar. Dies liegt vor allem daran, dass ein Modell aller zu inspizierenden Objekte sowie ein Modell des jeweiligen Inspektionsprozesses implementiert sein muss, um ein solches System produktiv einzusetzen. Daran mangelt es in dem meisten Fällen, denn die Digitalisierung eines Teilekatalogs reicht für diesen Zweck einfach nicht aus und die Modellierung jedes Wartungsprozesses würde einen erheblichen personellen Aufwand erfordern. Es liegt aber auch daran, dass die bisher verfügbare Hardware den Einsatzbedingungen der Anwendungsbereiche und dem Arbeitsprozess der BenutzerInnen nicht im erforderlichen Maße angepasst wurde, wie im Folgenden noch dargelegt werden wird.

Verfügbare Systemkomponenten für mobile Lösungen

Die Palette eingesetzter mobiler Endgeräte für mobile Lösungen reicht von PDAs und Smartphones über UMPCs[2] und Wearable Computer bis hin zu »computerisierten« Accessoires. Anders als bei DesktopPCs, die sich im Prinzip nur in Details wie Prozessorleistung, Qualität des Bildschirms oder in den integrierten Schnittstellen unterscheiden, gibt es für mobile Lösungen eine Vielzahl von mobilen Rechnern, die sich deutlich voneinander abheben und nur einige wenige grundlegende Merkmale gemeinsam haben. Gleiches gilt für mobile Interaktionsgeräte. Gemeinsam ist allen Geräten und Komponenten das oft vernachlässigte Problem des Stromverbrauchs bzw. der Stromversorgung und der durch Batterien/Akkus verursachten Belastung der BenutzerIn, z.B. durch Gewicht oder Wärmentwicklung. Im Folgenden wird eine kleine Auswahl von Geräten bzgl. ihrer Merkmale als Komponenten für mobile Lösungen vorgestellt.

Universell einsetzbare, kompakte Wearable Computer

Alle Hersteller bemühen sich bisher darum, ihre Hardware so universell einsetzbar wie möglich zu gestalten, damit Serien produziert und keine Einzelanfertigungen gemacht werden müssen. Ziel ist darüber hinaus immer noch »kleiner, stärker, schneller«. Neben den Standardgeräten, die am Markt verfügbar sind, gibt es Prototypen, Bausätze und Komponenten, die noch keine Marktreife erlangt haben, die sich jedoch in Abgrenzung zu den Massenprodukten an den individuellen Bedürfnissen spezieller Anwendungsbereiche orientieren. Jedes Produkt und jeder Prototyp hat seine speziellen Eigenarten, so dass man sie schwer vergleichen kann. Es lassen sich aber Rahmenbedingungen benennen, auf die bei der Auswahl eines Gerätes zu achten ist. Ein mobiles Endgerät

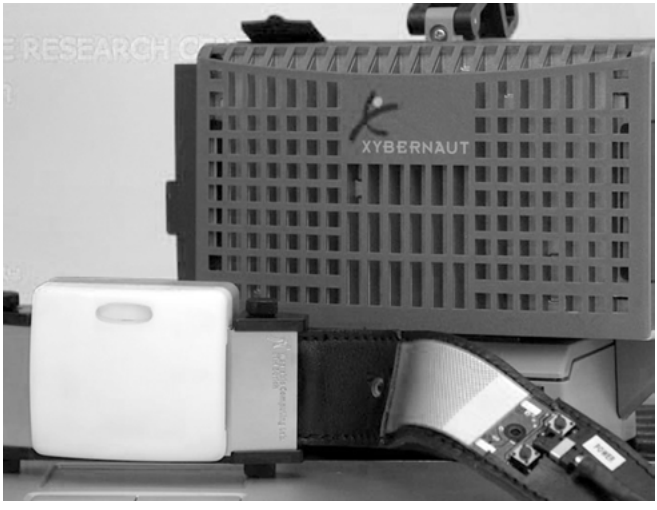
- ist während des Betriebs und der Benutzung am Körper zu tragen bzw. zu befestigen, ohne in der Hand gehalten werden zu müssen und ohne eine externe Ablage zu benötigen,
- muss klein und leicht sein und darf die Bewegungsfreiheit des Körpers und das Wohlbefinden der TrägerIn nicht oder nur geringfügig einschränken,

2 UMPCs sind ultra mobile PCs, die weniger als halb so groß wie übliche Notebooks sind, aber ähnliche Leistungsdaten haben. Die Bezeichnungen in diesem Gerätesektor und die Definition, was genau unter den Begriff UMPC fällt, sind nicht einheitlich; einen Eindruck über den aktuellen Stand vermittelt die Forum-Webseite www.umpcportal.com (zuletzt gesehen 1.3.2008).

- muss einen mehrstündigen Dauerbetrieb, auch unter extremen Umgebungsbedingungen, ermöglichen,
- benötigt eine autarke, langlebige, leichte, wiederaufladbare Stromversorgung, die mit einem Wechselmodus ausgestattet sein sollte, der einen unterbrechungsfreien kontinuierlichen Betrieb des Geräts ermöglicht,
- sollte vom Prinzip her möglichst universell einsetzbar und vor allem so programmierbar sein wie ein DesktopPC,
- sollte mit (Standard-)Schnittstellen für den Anschluss peripherer Geräte und eine Vernetzung ausgestattet sein, z.B. zum Anschluss von Ein-/Ausgabemedien, Sensoren, etc.

Welchen Stellenwert die jeweilige Eigenschaft hat, wird allerdings von der intendierten Einsatzsituation bestimmt, so dass mobile Endgeräte nicht generell bewertet werden können[3].

Abb. 4: Größenvergleich Xybernaut MA V und QBIC (Bild: MRC)



Die speziell für den industriellen Einsatz gebauten »Mobile Assistants« (kurz MA) der Firma Xybernaut sind entsprechend robust ausgestattet. Sie sind relativ groß und klobig, können aber auch Stöße etc. vertragen. Auch das mobile zweiteilige Tough-Book von Panasonic ist für industrielle Umgebungen gebaut worden, es entspricht in seiner Baugröße der eines

3 Zu weiteren Merkmalen von Komponenten mobiler Lösungen siehe Rügge 2007, S. 63 ff.

Xybernaut-Rechners. Der QBIC (Amft et al 2004, ETH Zürich 2004) hingegen ist ein »Gürtelschnallenrechner«, der zum ergonomischen Tragen am Körper entwickelt worden ist. Er ist im Vergleich zu den beiden genannten Produkten winzig und schwach: Er findet in einer nur wenig überdimensionierten Gürtelschnalle und dem Gürtel selbst Platz. Er verfügt über einen Prozessor der Leistungsklasse eines PDAs und ist in Art und Anzahl seiner Schnittstellen beschränkt. Um diese Einschränkungen im systemischen Sinne auszugleichen, ist er mit drahtloser Konnektivität ausgestattet. Seine Größe, sein Gewicht und seine Ausmaße kommen dem angestrebten Ideal schon sehr nahe, so dass er als Zubehör von Arbeitskleidung für ÄrztInnen, Pflegekräfte, Stewards, Sicherheitspersonal oder IngenieurInnen kein Hindernis darstellt.

Der QBIC ist bisher noch nicht zum Produkt weiterentwickelt worden, so dass bei der Realisierung von Wearable Computing-Lösungen weiterhin auf Interims-Technik wie PDAs und UMPCs zurückgegriffen wird, die als Massenprodukte preiswert und verfügbar sind, auch wenn sie nicht die notwendigen Trageeigenschaften besitzen.

Aufgaben- oder umgebungsoptimierte mobile Rechner

Es gibt einzelne mobile Rechner, die für besondere Aufgaben entwickelt oder auf besondere Umgebungsbedingungen hin optimiert worden sind, häufig mit integrierten mobilen Interaktionskomponenten.

Der VuMan ist ein an der Carnegie Mellon University (CMU) in mehreren Generationen entwickelter Wearable Computer (Smailagic/ Siewiorek 1999, Bass et al 2001). Er wurde für die Abarbeitung einer Checkliste entworfen. Eine hardwareseitige Optimierung auf einen Anwendungsbereich und auf eine zu unterstützende mobile Tätigkeit erfolgte vor allem bei den Ein-/Ausgabe-Möglichkeiten. Die Eigenschaften der Recheneinheit selbst sind unspektakulär, da sie aus Standard-Komponenten zusammengebaut worden ist.

Der kommerziell erfolgreichste Wearable Computer ist bis heute das Wearable Scanning System der Firma Symbol Technologies (siehe Abb. 3). Die erste und am häufigsten verkaufte Variante dieser mobilen Lösung wurde unter dem Namen »WWS 1000 – Wearable Wrist Computer« bekannt, das neueste Gerät kam 2006 unter dem Kürzel WT4000 auf den Markt. Dieser Wearable Computer ist ein mobiles, freihändig trag- und benutzbares System, das auf die beiläufige Datenaufnahme – das Lesen von Barcodes – hin optimiert ist. Die Hardware, bestehend aus dem Computer und einem miniaturisierten, am Finger getragenen Laserscanner, ist ergonomisch optimal an die primäre Aufgabe der BenutzerInnen angepasst (manueller Transport von Gütern). Sie ist so gestaltet, dass die

TrägerIn in ihrer körperlichen Bewegungsfreiheit nicht eingeschränkt wird und der Benutzung des Systems kaum Aufmerksamkeit schenken muss (Stein et al 1998). Das System lässt sich im Rahmen dieser primären Aufgabe an die Gegebenheiten der speziellen Anwendungsumgebung anpassen, z.B. durch den Einsatz eines anderen Scanners, und es lässt sich erweitern, bespielsweise durch die drahtlose Integration in ein Firmennetz bzw. ein umfassendes Prozesssteuerungssystem. Im Gegensatz zu vielen anderen Wearable Computern sind kaum Schnittstellen für den Anschluss anderer Geräte oder Sensoren vorgesehen, so dass die Variationsmöglichkeiten relativ eingeschränkt sind.

Smart Clothes: Integration in die Kleidung

Der Übergang von Wearable Computern zu Smart Clothes, d.h. die Integration von informations- und kommunikationstechnischen Komponenten in die Kleidung, ist fließend. Der oben genannte Gürtelschnallenrechner QBIC ist dafür ein gutes Beispiel: Er ist in einen Bestandteil herkömmlicher Kleidung integriert, wird aber über jeder Kleidung getragen und bleibt insofern separat und hat keine Bekleidungsfunktion. Andere Wearable Computer sind ebenfalls mit Tragesystemen ausgestattet – Gürtel, Holster, Rucksack –, die keine Bekleidungsfunktion erfüllen. Der kleine aber feine Unterschied ist, dass z.B. der MA von Xybernaut als »DesktopPC *am* Gürtel« gestaltet wurde (der auch im Rucksack getragen werden kann) wohingegen der QBIC ein »Rechner *im* Gürtel« ist[4]. Ein anderes Beispiel sind die so genannten Watch-Computer (z.B. Miller 2002), die wie eine Uhr am Arm getragen werden. Darüber hinaus existieren Designstudien zur Integration von Computertechnologie in Schmuck und andere Accessoires.

Denkt man die Ergänzung der Kleidung um Computer konsequent wei-ter, liegt der Gedanke nahe, alle Bestandteile einer mobilen Lösung in einem geeigneten Kleidungsstück unterzubringen. Das MIThril-Projekt des MIT MediaLab (2003) stellt ein solches Konzept vor: Alle benötigten Komponenten werden ›unsichtbar‹ in eine Weste eingebaut. Infineon[5] und Rosner boten ab 2005 eine waschbare Jacke mit eingewebten Leiterbahnen an, in die auf den Jackenärmel eine Tastatur zur Steuerung von Unterhaltungselektronik aufgebracht war (siehe Abb. 1 und Jung/Lauterbach 2002, Pahl 2004). Bei diesen kommerziell angebotenen Produkten

4 Der QBIC dient im Europäischen Großprojekt wearIT@work als Ausgangspunkt für eine verteilte Hardware-Plattform für Wearable Computing in Produktion, Wartung, Krankenhaus und Katastropheneinsatz (siehe wearitatwork 2004).

5 Infineon hat bereits länger an Textilintegration gearbeitet (siehe auch Marculescu et al 2003)

der Unterhaltungsbranche werden als mobile Endgeräte Mobiltelefone, PDAs oder MP3-Player verwendet, die meistens nicht zum Lieferumfang des Kleidungsstücks gehören und vor dem Waschen auf jeden Fall entfernt werden müssen. Einige dieser Produkte wurden mittlerweile jedoch bereits wieder vom Markt genommen (vgl. Pahl 2004, Günzel 2005).

Abb. 5: Integration einer Tastatur in die Bekleidung (Bild: MRC)

In der Forschung zu *Smart Clothes* gibt es jedoch deutliche Bestrebungen in Richtung einer tieferen Integration. Dabei handelt es sich um »Smart Fabrics«, d.h. die Integration von Drähten oder elektronischen Komponenten in Gewebe und den Stoff selbst. Seitens der Materialforschung wird an neuen Materialien und Fasern geforscht, die z.B. leitfähig sind und gleichzeitig eine Abschirmung gegenüber elektrischen Feldern liefern. Ein Beispiel dafür sind die metallisierten Garne der Firma Statex aus Bremen.

Ein Unterschied zwischen Wearable Computern und Smart Clothes ist die Kompaktheit der ersteren und die Verteiltheit der letzteren. Bei der Realisierung mobiler Lösungen werden zukünftig – abhängig von der zu unterstützenden mobilen Tätigkeit – sowohl Komponenten der einen als auch der anderen Geräteklasse benötigt, diese Heterogenität wird die Qualität mobiler Lösungen positiv beeinflussen. Wie bereits in der Vergangenheit ist weiterhin damit zu rechnen, dass Chips kleiner, schneller und leistungsfähiger werden, was Smart Clothes entgegen kommt. Seitens der Textilintegration elektronischer Komponenten ist die Frage der Waschbarkeit noch nicht gelöst und eine dauerhafte physische Verbindung der ›harten‹ Chips mit dem ›flexiblen‹ Stoff muss noch bis zur Produktreife entwickelt werden (vgl. Mecheels et al 2004).

Interaktionsmedien

Eine mobile, tragbare Rechnereinheit allein macht noch keine mobile Lösung aus, da die zentralen Qualitätskriterien das Primat der ›eigentlichen‹ Aufgabe und die Gebrauchstauglichkeit der unterstützenden mobilen Lösung sind. Um eine beiläufige Mensch-Computer-Interaktion zu realisieren, werden mobile Ein- und Ausgabemedien sowie eine mobile Sensorik eingesetzt, die als Mittel zur expliziten und impliziten Interaktion dienen.

Explizite und implizite Eingaben lassen sich folgendermaßen unterscheiden: Eine bewusste Eingabe erfolgt durch eine zielgerichtete Handlung der BenutzerIn mit dem Ziel der Interaktion zwischen Mensch und Computer und durch die Nutzung des Computers als Primärartefakt. Die implizite Eingabe besteht in der weitgehend automatischen sensorischen Erfassung und Auswertung von Messwerten durch das Computersystem, die durch das Verhalten der NutzerIn ausgelöst und vom Computer als Eingabe interpretiert werden (vgl. Schmidt 2000). Die implizite Interaktion erfolgt somit auf der Ebene der technischen Komponenten, d.h. zwischen dem Wearable Computer und der Infrastruktur der Umgebung, ohne bewusste Benutzung durch die TrägerIn. Die Realisierung einer impliziten Interaktion stellt eine große technische Herausforderung dar. Im Folgenden wird der Schwerpunkt jedoch auf die explizite Interaktion gelegt, die Interaktion der TrägerIn einer mobilen Lösung mit der Technik, wobei die implizite Interaktion auch der Unterstützung bzw. Vereinfachung der expliziten Interaktion dienen kann.

Eingabe

Im Gegensatz zu herkömmlichen Anwendungssystemen muss bei mobilen Lösungen immer berücksichtigt werden, dass die primäre Aufgabe der BenutzerIn in der realen Welt verortet ist und ihre Aufmerksamkeit deshalb ebenfalls dort liegt. Eingabetechnologien müssen daher so gestaltet sein, dass die ›eigentliche‹ Interaktion mit der realen Umgebung möglichst wenig durch die nachrangige Interaktion mit dem Computer behindert wird. Hierbei hängt es jedoch von den spezifischen Eigenschaften der Umgebung und der primären Aufgabe ab, inwieweit die parallele Bedienung z.B. eines Eingabegerätes als hinderlich empfunden wird. Für das bei Computersystemen für mobile Lösungen zu erwartende große Spektrum an Bediensituationen ist daher bereits jetzt ein reichhaltiges Repertoire an Eingabegeräten vorhanden:

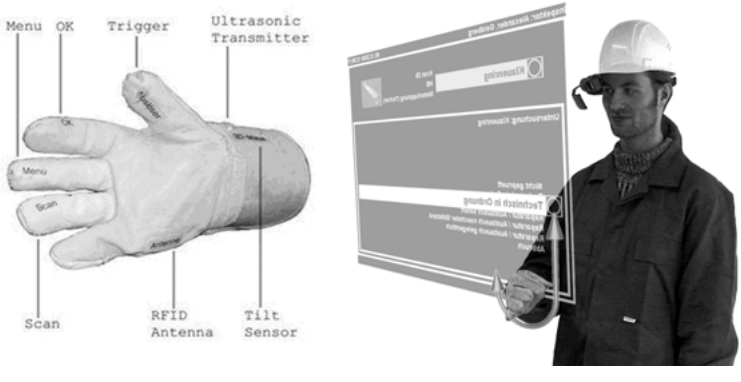
- Spracheingabe
- verschiedene Arten mobiler Tastaturen

- drahtlose Zeigemedien und Navigationskomponenten
- auf konkrete Aufgaben hin optimierte Eingabegeräte

Spracheingabe, d.h. das »natürliche Sprechen mit dem Computer« war schon seit den Anfängen der Computertechnologie das Ziel einiger Technologen und häufig auch erklärter Wunsch der BenutzerInnen. Doch in konkreten Anwendungssituationen stellte sich heraus, dass Spracheingabe seitens der BenutzerInnen letztlich doch nur selten genutzt wird. Darüber hinaus wurde nachgewiesen, dass sich eine vollständige Erkennung natürlicher Sprache technisch nicht realisieren lässt. Der praktische Einsatz beschränkt sich deshalb und wegen der übermäßig hohen Bedarfe an Rechnerkapazitäten für Realtime-Erkennung natürlicher gesprochener Sprache auf sehr eingeschränkte Systeme zur Schlüsselworterkennung.

Mobile Tastaturen und Zeigegeräte sind durch die Desktop-Metapher motiviert, doch ist die Eingabe von längeren Texten während einer mobilen Tätigkeit selten erforderlich. Interessant sind für innovative mobile Lösungen deshalb neu konzipierte Eingabekomponenten. Die Wearable Group im Laboratory for Interactive Computer Systems der Carnegie Mellon University (siehe Bass et al 2001) hat für den VuMan in einem mehrphasigen, partizipativen Design-Prozess ein mobi-les Eingabegerät für die Handhabung einer elektronischen Checkliste in einer intuitiven und beiläufigen Weise entwickelt. Die Navigation erfolgt per Wählscheibe. Die Auswahl eines Menüpunkts wird über einen Knopf auf der Wählscheibe realisiert. Das Gerät wird am Gürtel getragen und kann wahlweise mit der rechten oder linken Hand benutzt werden.

Abb. 6: Winspect-Eingabehandschuh (1. Generation) und die intendierte Nutzung (Bilder: TZI)



Ebenfalls zur Checklistenauswahl ist der »Winspect-Handschuh« entwickelt worden (vgl. Herzog et al 2003). Er hat allerdings noch weitere integrierte Funktionen. In der ersten Version wurde ein handelsüblicher Arbeitshandschuh aus Leder mit Sensoren und Schaltern bestückt (siehe Abb. 6, links). U.a wurde ein Neigungssensor eingebaut, der das Drehen der Hand in Handgelenk und Unterarm nach rechts oder links registriert. Diese Bewegung wird mit dem Rollen eines Menus verknüpft, so als ob auf einem kleinen Abschnitt des Arms eine Liste befestigt wäre, von der man je nach Drehung der Hand einen Eintrag im Vordergrund sieht (Bildschirmdarstellung siehe Abb. 6, rechts). Die Auswahl des hervorgehobenen Menupunktes erfolgt ebenfalls per Hand durch die Berührung des Daumens mit dem Mittelfinger.

Abb. 7: Komponenten des optimierten Winspect-Eingabehandschuhs, 3. Generation (Bild: MRC)

Jeder Finger des Winspect-Handschuhs ist mit einer anderen Funktion belegt, der kleine Finger beispielsweise mit der Aktivierung eines mobilen RFID-Lesegerätes (Radio Frequency Identification). Diese Identifikationstechnologie wird dazu verwendet, die durch die BenutzerIn explizit zu tätigenden Eingaben auf die Elemente zu reduzieren, die für die Dokumentation der aktuellen, konkreten Inspektion unumgänglich sind. Zentrale Elemente beispielsweise einer zu inspizierenden Maschine sind aus diesem Grund mit RFID-Tags zu kennzeichnen. Der Interaktionsaufwand für die BenutzerIn reduziert sich so auf einen Scan, sie muss nicht mehr auswählen, welche Checkliste sie an dem jeweiligen Bauteil benötigt, dessen Auswahl erfolgt automatisch anhand der einge-scannten Identifika-

tion (Kenn/Rügge 2006). In der dritten Version wurden die im Handschuh enthaltenen technologischen Komponenten optimiert (Lawo 2006). Für konkrete Einsatzsituationen wurden die Trageeigenschaften des Handschuhs aufgrund der Wünsche potenzieller BenutzerInnen angepasst, indem die Finger vom Handschuh befreit und Schaltsensoren an Stellen platziert wurden, an denen sie bei der eigentlichen Arbeit in der gegenständlichen Umgebung nicht stören. Es gibt mittlerweile einen Handschuh als Eingabegerät für Wartungsprozesse in der industriellen Fertigung oder bei der Inspektion von Flugzeugen und ein Armband als Eingabegerät für die sterile, berührungslose Interaktion im Krankenhaus.

Ein ganz anders geartetes Beispiel einer mobilen Eingabetechnologie, die von den potenziellen BenutzerInnen als wenig beeinträchtigend wahrgenommen wird, ist eine Papier-basierte Stifteingabetechnologie der Firma Anoto (2006). Dabei handelt es sich um ein speziell bedrucktes Papier, das mit einem Stift beschrieben wird, der sowohl über eine Kugelschreibermine verfügt als auch über eine Kamera und einen Speicher, mit dem die Schreib- und Zeichengesten, die mit dem Stift auf dem Papier ausgeführt werden, elektronisch aufgezeichnet und später als Eingaben weiterverarbeitet werden, ohne dass eine erneute Erfassung erforderlich ist. Die Benutzung dieser mobilen Eingabetechnologie referiert auf eine Kulturtechnik, die weit verbreitet und vielen Menschen geläufig ist und die darüber hinaus auch bisher Teil des mobilen Arbeitsprozesses war und von daher keine wesentliche Verhaltensänderung bei der BenutzerIn erfordert.

Ausgabe

Abhängig von der konkreten Ausprägung der mobilen Tätigkeit und im Verbund mit der Wahl der Eingabemedien und des Rechners sind ganz verschiedene Formen der Ausgabe denk- und realisierbar. Vom Desktop-Computing ausgehend ist die offensichtlichste Art eine visuelle Ausgabe, doch bieten sich für mobile Lösungen auch Sound und Sprache sowie eine taktile Ausgabe an. Der Fokus der EntwicklerInnen liegt jedoch auf der visuellen Ausgabe. Bevorzugtes Ausgabemedium für Wearable Computing Lösungen ist das *Head Mounted Display* (HMD), auf das hier deshalb besonders eingegangen wird.

Für eine mobile, freihändige Benutzung, bei der Arme und Hände zur Handhabung des Computersystems nicht zur Verfügung stehen, ist die Verwendung einer Halterung, z.B. am Kopf – ein so genanntes *Headset* – erforderlich. In ein solches Headset wird ein Mikrodisplay unter Verwendung von optischen Linsen-, Prismen- und/oder Spiegelsystemen eingebaut. Eine Kombination mit einem Kopfhörer als zusätzlichem Ausgabekanal bietet sich an. Je nach Bedarf kann ein Headset darüber

hinaus mit einem Mikrofon, einer Kamera und einem Trackingsystem ausgestattet werden. HMDs unterscheiden sich voneinander durch das Befestigungssystem sowie durch die daraus resultieren Trageeigenschaften, die bestimmt werden durch Größe, Gewicht, Kompaktheit und Auffälligkeit des HMDs und dadurch einen hohen Einfluss auf die Akzeptanz dieser mobilen Technologie durch die BenutzerIn haben.

Die Firma MicroOptical Corporation entwickelte verschiedene Varianten so genannter Clip-on-HMDs, die z.B. an einer handelsüblichen Brille oder an einer Schutzbrille befestigt werden können (siehe Abb. 8). In Einsatzbereichen, in denen Schutzbrillen obligatorisch sind, wird diese Art der Befestigung nicht als Einschränkung gesehen. Eine Integration in eine Brille ist auch noch aus anderen Gründen zu begrüßen:

- Brillen werden individuell an die Physionomie einer Person angepasst.
- Das Brillengestell bietet viele Möglichkeiten, die erforderliche Technik unterzubringen. Nicht nur das Display und seine Elektronik, sondern auch die Stromversorgung kann so ohne Beeinträchtigung der BenutzerIn z.B. als »Gegengewicht« eingebaut werden.
- Eine Brille schützt die Augen ihrer TrägerIn.
- Dadurch, dass Brillen so dicht an empfindlichen Körperteilen platziert sind, werden sie automatisch von der BenutzerIn geschützt. Das bedeutet für die Technik, dass sie zum einen weniger robust und damit leichtgewichtiger gebaut werden kann und zum anderen, dass mit weniger Ausfällen durch Bruch zu rechnen ist.

Abb. 8: Head-Mounted Display an einer Schutzbrille (Bild: MRC)

Anfang 2007 kündigte MicroOptical[6] jedoch die Einstellung der Produktion von monokularen HMDs an, was für die EntwicklerInnen von Wearable Computing-Lösungen einen herben Rückschlag bedeutet. Nächster Hoffnungsträger ist nun das Projekt »WearIT@work – Unterstützung mobiler Arbeiter durch Wearable Computing« (wearitatwork 2004), in dem die Firmen Lumus und Zeiss an der Entwicklung fortgeschrittener HMDs und vor allem an tragbaren Headsets arbeiten.

Es gibt vielfältige Kombinationsmöglichkeiten aller hier vorgestellten Bestandteile. Welche Kombination eine einsetzbare und für BenutzerInnen akzeptable mobile Lösung ergibt, kann nicht per se entschieden werden, da die Gebrauchstauglichkeit letztlich nur auf der Basis der Bedingungen im konkreten Anwendungsbereich und des Wohlbefindens der TrägerIn bewertet werden kann. Dazu ist eine Untersuchung der Einsatzbereiche und der Nutzungssituationen erforderlich.

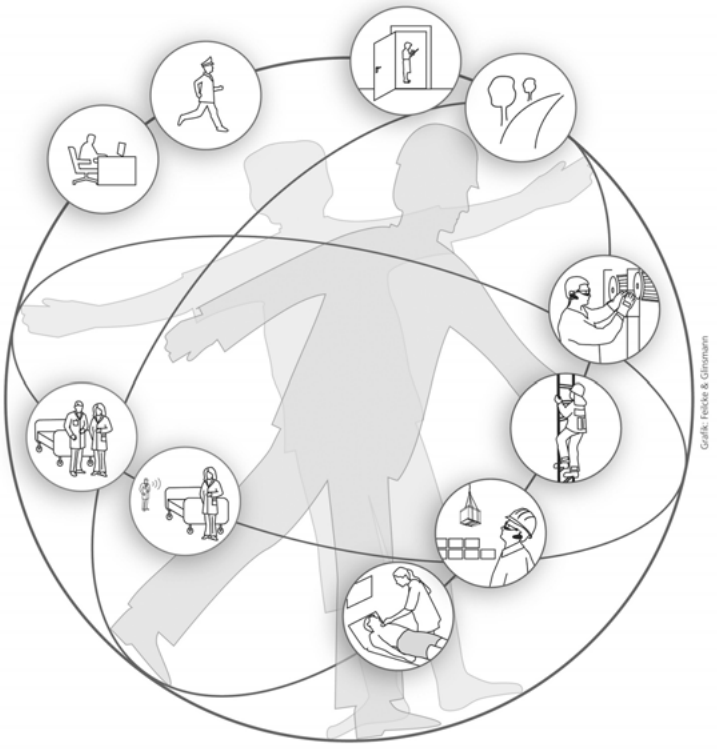
Untersuchungsspektrum »mobile Arbeitstätigkeit«

Mobile Lösungen werden durch die Miniaturisierung von Computertechnologie, durch eine großflächige und vielfältige drahtlose Vernetzungsinfrastruktur, durch die Integration verschiedener Netztechnologien und durch eine Effektivierung mobiler Stromversorgung ermöglicht und auch getrieben. Dass sie nach mehr als 10 Jahren Forschung und Entwicklung noch keinen nennenswerten Marktanteil erreicht haben, sondern bisher weitestgehend nur als Prototypen existieren, ist aus technischer Perspektive verwunderlich, denn es gibt bereits zahlreiche technologische Komponenten für den mobilen Einsatz und auch Ansätze für komplette mobile Systeme. Doch wirft man einen Blick auf die intendierten Einsatzbereiche, dann werden die Ursachen offensichtlich: Die Technik ist weder dem mobil tätigen Menschen noch seiner primären Aufgabe jenseits der »Computerarbeit« angepasst, mobile Lösungen sind noch nicht tragbar.

Um die notwendige Anpassung zu erreichen, ist eine fundierte Vorstellung des Begriffs der »mobilen Tätigkeit« essentiell. Er ist Voraussetzung für das Verständnis der Besonderheiten, denen mobile und Wearable Computing-Lösungen gerecht werden und die sie realisieren müssen, wenn sie Innovationspotenziale für Arbeitsprozesse eröffnen und neue Einsatzbereiche angemessen bedienen sollen.

6 Das Unternehmen ist mittlerweile in MIVU umbenannt worden und hat die Zielgruppe geändert, siehe www.microoptical.com und www.myvu.com (zuletzt gesehen 1.3.2008)

Abb. 9: Das gesamte Spektrum mobiler Aktivitäten und Tätigkeiten (Bild: MRC)



Tätigkeiten werden von Menschen ausgeführt. Ich unterscheide grundsätzlich Freizeitaktivitäten von Arbeitstätigkeiten. Dass es dabei Überlappungen gibt, ist für die folgenden Überlegungen nicht relevant. Bei Arbeitstätigkeiten unterscheide ich zwischen Tätigkeiten, die am Schreibtisch oder an einem stationären Arbeitsplatz stattfinden, und solchen in der Bewegung. Im Zentrum meiner Betrachtungen steht der arbeitstätige Mensch, der Kenntnisse erworben und Fähigkeiten erlernt hat, der über einen eigenen Stil sowie über Gewohnheiten und Erfahrungswissen verfügt, der Werkzeuge und Materialien benutzt, Informationen vor Ort benötigt, der Messungen vornehmen oder während seiner Tätigkeit und in der Bewegung seine Arbeitsschritte dokumentieren muss. Das sind vor allem Arbeitsbereiche, die sich der Automatisierung entziehen und keine Schreibtischtätigkeiten sind. Ein Beispiel zur Veranschaulichung: Auch wenn es in der Theorie menschenleere Hochregallager oder Fabriken gibt

und auch wenn Warenwirtschaftssysteme den Warenfluss auf der symbolischen Ebene vollständig begleiten, so ist es in der Praxis doch immer noch erforderlich, dass Menschen diese hochkomplexen Einrichtungen kontrollieren und instandhalten oder mit Waren bestücken. Zur Unterstützung dieser Arbeit können mobile Lösungen ein geeignetes Instrumentarium sein.

Mobile Arbeitstätigkeiten sind (Teil-)Aufgaben, die mehrere der folgenden Eigenschaften besitzen: Eine mobile Tätigkeit wird *in der Bewegung* ausgeführt, z.B. die Kommissionierung von Gütern oder die landwirtschaftliche Bewirtschaftung. Eine mobile Tätigkeit findet *an wechselnden Einsatzorten* statt, z.B. die Wartung und Instandsetzung von Schiffen, die ständig unterwegs sind, die weltweite Inbetriebnahme und Wartung von Industrieanlagen und auch ambulante Pflege gehört dazu. Oder die mobile Tätigkeit wird zwar an einem Ort, aber an wechselnden, oftmals *großen oder weitläufigen Objekten* durchgeführt, z.B. die Wartung eines Flugzeugs im Hangar oder der Service in einem Zug. Wesentliches Charakteristikum mobiler Arbeitstätigkeiten ist, dass die primäre Aufgabe und damit die Aufmerksamkeit der BenutzerIn *in der realen gegenständlichen Welt verortet* ist, wie z.B. beim Reparieren, Messen, Prüfen von mechanischen Teilen, beim Arbeiten in dynamischen Umgebungen und bei medizinischen und pflegerischen oder Service-Tätigkeiten.

Mobile Arbeitstätigkeiten sind fast ausnahmslos in eine Arbeitsorganisation eingebettet, die auf Zusammenarbeit beruht und von einem EDV-gestützten Prozessablauf begleitet wird. Beispiel Wartung: Bei Wartungsarbeiten wird zunächst eine Checkliste der zu prüfenden Teile und Funktionen erzeugt, die dann an der Anlage abgearbeitet wird. Die Befunde werden dokumentiert und zur Erstellung der Rechnung oder für die Versicherung benötigt. Im Laufe der Wartungsarbeiten sind Messungen notwendig, das Nachschlagen in der Technischen Dokumentation, der Blick auf eine Zeichnung oder eine Frage an eine KollegIn, die gerade anderswo beschäftigt ist.

Denkbar ist – und dies wurde in der Vergangenheit auch versucht –, versierte MitarbeiterInnen zur Unterstützung draußen vor Ort mit Notebook, PDA oder Smartphone auszustatten. Doch dieses Vorgehen hat sich als nicht praktikabel, in den meisten Fällen haben sich diese Geräte sogar als hinderlich erwiesen. Denn Arbeitsorte wie die auf einer Windkraftanlage, an der Turbine eines Flugzeugs oder den Leuchtsignalen einer Ampel haben ihre eigenen Gesetze: Es gibt nur wenige sichere Standflächen, es ist zugig, schmutzig, nass und vor allem beengt. Oft benötigt das Personal eine Hand zum Festhalten oder zum Hantieren, muss Arbeitsschutzbekleidung (inkl. Handschuhe) tragen und verfügt nicht über die Zeit, lange nach den Informationen zu suchen, die für den jeweiligen Arbeits-

schritt benötigt werden. Fazit: Notebook, PDA oder Smartphone und Software, gestaltet nach der Software-Metapher, sind für diese Praxis nicht geeignet.

Benötigt werden für mobile Arbeitstätigkeiten »mobile Assistenzsysteme«, die am Körper getragen werden, und die sich, wie (menschliche) Assistenten, z.B. wie ein Handlanger oder ein Tutor, verhalten: d.h., dass sie die NutzerIn nicht *be-*, sondern vielmehr *ent*lasten, die richtige Information zur richtigen Zeit am richtigen Ort präsentieren und dank einer einfachen Handhabung keine besondere Aufmerksamkeit erfordern. Für folgende Teilaufgaben sind mobile Lösungen besonders geeignet:

- Bildung, Training, Instruktion »on the job«
- Kommunikation und Kooperation: synchroner oder asynchroner Dialog zwischen einzelnen Personen oder größeren Teams
- Dokumentation: Informationsbereitstellung durch Zugriff auf Pläne, Zeichnungen, Handbücher, Reparaturanleitungen usw. aber auch Berichtswesen, d.h. Protokollierung und Berichterstattung
- Messen, Erfassen, Auswerten, Vergleichen und Speichern von Daten jederzeit und an beliebigen Orten

Diese Art von Tätigkeiten ist in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen anzutreffen. Eine Generalisierung hinsichtlich der Anforderungen an mobile Lösungen ist dennoch nicht möglich, da in den verschiedenen Einsatzbereichen wiederum sehr unterschiedliche Nutzungsbedingungen herrschen, die wiederum den Einsatz anderer technischer Artefakte erfordern.

Architektur und Problemstruktur mobiler Lösungen

Für mobile Lösungen werden annähernd die gleichen ›Bausteine‹ wie für andere Computersysteme benötigt: Hardware, Software, Vernetzung, Ein-/Ausgabe-Geräte, Benutzungskonzepte. Hinzu kommen jedoch Sensoren und automatische Verfahren zu ihrer Auswertung, da z.B. die Ortsveränderung und der Wechsel der Umgebungsbedingungen genutzt werden können, um den »Informationsraum« ohne explizites Zutun der BenutzerInnen einzuschränken: Die TechnikerIn an der rechten Turbine braucht nur die technischen Details, die diese betreffen, es sei denn, ihre KollegIn an der linken Turbine hat eine Frage zu ihrer parallel auszuführenden Aufgabe. So etwas lässt sich durch die automatische Auswertung des so genannten »Kontextes« berechnen: Wo steht die TrägerIn im

Verhältnis zum Flugzeug, an welcher Stelle im Wartungsprozess ist sie gerade, mit wem muss sie sich koordinieren?

Die Architektur mobiler Lösungen lässt sich analog zur Terminologie des IEEE-Standards 1471-2000, wie sie z.B. Hasselbring verwendet, beschreiben:

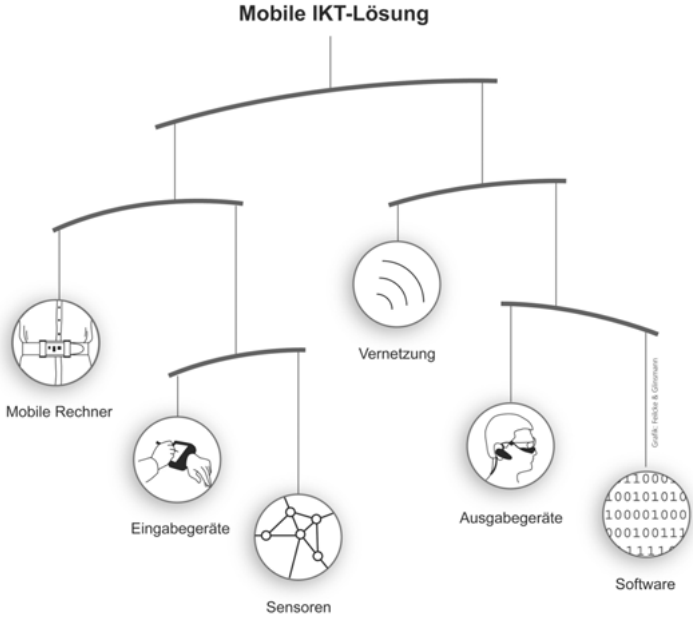
»Definition (Software-Architektur): Die grundlegende Organisation eines Systems, dargestellt durch dessen Komponenten, deren Beziehung zueinander und zur Umgebung sowie den Prinzipien, die den Entwurf und die Evolution des Systems bestimmten.« (Hasselbring 2006, S. 48)

Die Komponenten, die benötigt werden, und die Entscheidungen, die dafür gefällt werden müssen, bestimmen die Systematik der Gesamttechnologie. Festgelegt werden mit diesen Entscheidungen u.a. die ›Arbeitsteilung‹ innerhalb des gesamten Computersystems (Topologie, Vernetzung, Softwarearchitektur, Hardware) und auch die ›Arbeitsteilung‹ zwischen Mensch und Computer (explizite und implizite Interaktion). Es gibt eine große Ähnlichkeit der Architekturmuster für mobile Lösungen mit den bekannten Architekturmustern der Softwareentwicklung, z.B. Client/Server-, Peer-To-Peer-, Service-orientierte und Komponenten-orientierte Architekturen (ebda.), Doch gibt es auch spezifische Eigentümlichkeiten von mobilen und Wearable Computing-Lösungen, die sich aus den Merkmalen der Mobilität in den intendierten mobilen Tätigkeitsbereichen ergeben, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Die Architektur eines Computersystems für eine mobile Lösung wird durch wenige Hauptstrukturen bestimmt, die sich jedoch mehr als das bei herkömmlichen stationären Lösungen der Fall ist, wechselseitig bedingen. Eine kleine Variation bei einem Element hat starke Auswirkungen auf alle anderen. Ein Beispiel soll diese enge Verzahnung verdeutlichen: Wählt man eine *monadische Architektur* – d.h. entscheidet man sich für einen autonomen Ansatz, der das mobile Gesamtsystem autark arbeiten lässt, ohne eine drahtlose Integration in ein Netzwerk –, dann müssen die am Körper getragenen Geräte so leistungsstark sein und über so viele Ressourcen verfügen, dass sie alle erforderlichen Daten, Programme und Dienste enthalten, die für den aktuellen Einsatzzweck erforderlich sind. Die mitgeführten Informationen und Dienste müssen vollständig sein, ein Zugriff auf externe Datenquellen und eine Kommunikation mit anderen darf nicht notwendig sein, und eine Sicherung der Daten muss im mobilen Endgerät selbst oder während des Ladens der mitgeführten Stromversorgung realisiert werden. Der Abgleich mit dem umgebenden EDV-System kann dann nur außerhalb der mobilen Tätigkeit, z.B. während des Feierabends erfolgen. Bei dieser monadischen Architektur wird der Wunsch

der BenutzerIn nach absolutem Schutz und Sicherheit des eigenen Systems vor Angriffen von außen erfüllt.

Abb. 10: Komponenten einer mobilen Lösung und ihre Abhängigkeit voneinander (Bild: MRC)



Im Vergleich dazu stellt eine *eingebettete Architektur* – ein nicht autark arbeitendes System, das drahtlos in ein Computer- und Kommunikationsnetzwerk integriert ist – deutlich geringere Anforderungen an die Prozessor- und Speicherleistungen, erzeugt aber auf der Ebene der Software und der Vernetzung eine wesentlich höhere Komplexität. Sie ermöglicht einen Zugriff auf verteilte hochaktuelle Informationen und Ressourcen (Rechnerleistung, Speicherplatz) sowie die Kommunikation mit kooperierenden ExpertInnen und Computersystemen. Dafür erfordert eine derartige eingebettete Architektur die Sicherstellung der zuverlässigen Verfügbarkeit der Vernetzung, eine geeignete Verschlüsselung des Datentransfers und Mechanismen zur verteilen Datenverarbeitung.

Aus der Sicht der BenutzerIn ist es allerdings unwesentlich, ob sich die Daten und Dienste auf dem mobilen Endgerät befinden oder über eine sichere (permanente oder ad-hoc) drahtlose Verbindung zu einem Server z.B. im mitgeführten Werkzeugkoffer, im Fahrzeug, auf dem Werksgelände oder am anderen Ende der Welt realisiert werden. Für sie sind nur die

Einfachheit und Beiläufigkeit der erforderlichen expliziten Interaktion mit dem technischen System sowie dessen Trageeigenschaften relevant.

Aus der Perspektive der EntwicklerInnen sind die zentralen Dimensionen der Architektur mobiler Lösungen folgende:

- *Hardware/Software*: Die physische Hardware-Konfiguration inklusive der Energieversorgung und der damit eng verbundenen Vernetzung sowie die Softwarearchitektur.
- *Umgebung*: Die Integration des technischen Systems in die Umgebung im weitesten Sinne, d.h. die Einbeziehung sowohl der physischen als auch der elektronischen und digitalen Umgebung sowie die Integration des mobilen Systems in die umgebende informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur (nicht nur auf Hardware-Ebene, sondern insbesondere auch auf Ebene der Anwendungsprogramme).
- *Nutzungskontext*: Die Regelung der Interaktion zwischen Mensch und Computer; die Integration des eingesetzten mobilen Systems in den individuellen Arbeitsprozess bzw. Handlungsablauf sowie in die Kommunikationsabläufe von kooperierenden Teams.
- *Interaktion und Proaktivität*: Die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Computer, die vor allem die Benutzung in der Bewegung berücksichtigt und eine Bedienung fördert, die nicht von einer kontinuierlichen und uneingeschränkten Aufmerksamkeit der BenutzerIn für das Computersystem ausgeht.

Da das vorliegende Buch den Engpass Mensch-Computer-Interface fokussiert, wird im Weiteren vor allem auf die Gestaltung der Interaktion zwischen Mensch und Computer für Wearable Computing-Lösungen eingegangen. Der Interaktionsstil für mobile Lösungen ist geprägt vom Übergang von der bisher bekannten kleinschrittigen Interaktion nach der Desktop-Metapher hin zu einer durch die Erfassung und Auswertung des mobilen Kontextes beförderten systemgenerierten Proaktivität, deren konkrete Ausprägung vom jeweiligen Anwendungsbereich und vom Nutzungskontext bestimmt wird. Für die Gestaltung der Interaktion kann zwar auf bekannte Richtlinien zurückgegriffen werden (z.B. DIN EN ISO 13407 und DIN EN ISO 9241), diese müssen aber an die Bedingungen der Mobilität angepasst werden. Das zentrale Bewertungskriterium hierfür ist die *Gebrauchstauglichkeit*. Sie ist das Nadelöhr, der keine Wearable Computing-Lösung bisher gerecht werden konnte.

Mobile Lösungen im Spannungsfeld übergeordneter Leitkonzepte und Interaktions-Gestaltungsparadigmen

Technik wird nach expliziten und impliziten Leitbildern gestaltet. Mit Leitbildern sind hier die Annahmen von EntwicklerInnen gemeint, wie ein zu modellierender Arbeitsprozess abläuft, wie Menschen in bestimmten Situationen handeln und welche mentalen Modelle die zukünftigen BenutzerInnen haben, aber auch die Vorgehensweise bei der Entwicklung von Technik. Aus diesen Leitbildern entstehen Paradigmen, das sind technologieorientierte Vorgaben, wie Anforderungen aus einem bestimmten Bereich zu modellieren sind. Mobile Lösungen werden vor dem Hintergrund vorhandener Konzepte gestaltet bzw. werden an ihnen gemessen, deshalb werden hier die für mobile Lösungen relevanten Aspekte dieser Konzepte beschrieben.

Desktop Computing und Mobile Computing

Die Desktop-Metapher ist das bekannteste und am weitesten verbreitete Paradigma der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen von »Personal Computern (PCs)« und Notebooks. Die Ebene der expliziten Interaktion zwischen Mensch und Computer wird hier nach dem Leitbild des Schreibtisches gestaltet, Vorlage sind die Arbeitsprozesse des Büroalltags (Laurel 1990). Gegenstand der Arbeitstätigkeit ist vor allem Information: Beim Erstellen einer Rechnung handelt es sich z.B. darum, dass jemandem mitgeteilt werden soll, für welche Leistung er welchen Preis in welcher Form und zu welchem Zeitpunkt zu zahlen hat. Auch das Erstellen von Zeichnungen ist nichts anderes als die Materialisierung von Informationen darüber, wie z.B. eine Maschine oder ein Gebäude gebaut werden soll. Diese Arbeit wird heutzutage sozusagen ›im Computer‹ erledigt. Für viele Unternehmen bedeutet das, dass es erforderlich ist, die Informationsflüsse zu beschleunigen und effektiver auszuwerten, um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Hierbei lassen sich deutliche Parallelen zur Automatisierungstechnik entdecken, in der ganze Klassen von Aufgaben an Maschinen übertragen wurden, Frieder Nake (1992) spricht von der »Maschinisierung von Kopfarbeit«.

Die Bedienoberflächen dieser Computersysteme sind so gestaltet, dass sie die BenutzerIn bei der Erfüllung ihrer Aufgabe unterstützen: Die Tastatur zum Schreiben, der Bildschirm zum Sehen, die Maus zum Zeigen, der Lautsprecher zum Hören der Informationen. Die Desktop-Metapher verwendet als Bildschirmelemente Windows, Icons, Menus, Pointing (WIMP), die mittels der so genannten Direkten Manipulation benutzt

werden. Die primäre Aufgabe der BenutzerIn ist die geschickte und kompetente Bedienung von Informations- und Kommunikationstechnik. Die herkömmliche, papierbasierte Büroarbeit wurde so auf eine symbolische Ebene gebracht. Die Aufmerksamkeit der BenutzerIn liegt auf der Benutzung des Computersystems; der Computer ist Mittel, Medium der Kommunikation und Information, Medium der Arbeit (Schelhowe 1997).

»Mobil« hat im Gestaltungsbereich des Desktop Computing eine bestimmte Bedeutung: Es bezeichnet Notebooks bzw. robuste Prozessoren mit geringem Energieverbrauch sowie Handheld-Geräte wie PDAs und Handys/Smartphones. Diese sind durch ihre autarke Stromversorgung an wechselnden Orten benutzbar und stellen zusammen mit der verfügbaren (evtl. drahtlosen) Konnektivität zum Inter- oder Intranet einen relativ vollständigen (Schreibtisch-)Arbeitsplatz zur Verfügung. Die ständige Erreichbarkeit und der ortsunabhängige Zugriff auf Informationen sind die wesentlichen Aspekte. Die Möglichkeit, Bürotätigkeiten überall auszuüben, wird als »mobiles Büro« bezeichnet; wenn der Zugriff auf Informationen im Vordergrund steht, wird die Bezeichnung »mobiles Internet« verwendet. Die Benutzungsoberfläche ist teilweise an die Hardwaregegebenheiten angepasst (z.B. Stiftbedienung bei PDAs und Tablet PCs), die Anordnung der Bedienelemente folgt dem Leitbild des Telefons oder der Desktop-Metapher, je nachdem, ob das eingesetzte mobile Endgerät ursprünglich aus der Computertechnik oder der Kommunikationstechnik stammt. Von einer freihändigen oder beiläufigen Benutzung kann nur selten die Rede sein (siehe Abb. 11).

Abb. 11: Mobile Lösung mit Standardgeräten, konzipiert für den privaten oder Business-Bereich (Bild: MRC)

Mixed Realities und Ubiquitous Computing

Beim Desktop-Computing ›verschwindet‹ die Arbeit im Computer, unter dem Leitbild von *Virtual Reality* ›verschwindet‹ sogar der Mensch in einer vollständig vom Computer generierten Welt. Die menschliche Wahrnehmung wird in der so genannten *immersiven* Virtual Reality gegenüber der realen Welt weitestgehend abgeschottet, so dass nur computergenerierte Effekte wahrgenommen werden können. Der Mensch wird mittels Sensorik ›beobachtet‹, so dass eine ebenfalls vollständig vom Computersystem gesteuerte Rückkopplung erfolgen kann. Als Gegenentwurf genau hierzu sind die Ansätze der *Mixed Realities* aufzufassen: Gegenständliche Objekte der physischen Realität werden mit virtuellen Objekten kombiniert, der Mensch wird in seiner realen Umgebung belassen. Hierzu gehören Entwicklungen aus dem Bereich Augmented Reality sowie auch Tangible Media und Graspable User Interfaces[7]. Im ersten Fall wird die Sicht auf die reale Welt mit computergenerierten Bildern durch punktgenaue Überlagerung ergänzt[8], im zweiten Fall werden Gegenstände der realen Welt so mit Modellen im Computer verbunden, dass die physischen Gegenstände Repräsentanten der virtuellen Objekte sind und eine Handhabung oder Veränderung des realen Gegenstands eine entsprechende Anpassung im Virtuellen auslöst (siehe Abb. 12). Die realen Gegenstände und die Umgebung werden dazu um virtuelle Informationen und ›Computerfähigkeiten‹ ergänzt.

Unter dieser Perspektive soll eine allgegenwärtige elektronische Unterstützung gewährleistet werden, die dem Menschen im Idealfall verborgen bleibt (siehe Norman 1998), da allein die Umgebung und die Alltagsgegenstände mit Informations- und Kommunikationsfunktionalität ausgestattet werden sollen und der Mensch frei von computertechnischen Artefakten bleibt. Historisch ist dieser Ansatz mit unterschiedlichen Begriffen belegt[9]: »Ubiquitous Computing« wurde von Weiser (1993) als akademisches Forschungskonzept eingeführt; Firmen wie IBM verwenden »Pervasive Computing« als Bezeichnung für ein stärker praxis- und geräteorientiertes Konzept; in Europa wird »Ambiente Intelligence« für eine anwen-

7 Siehe den Beitrag von Eva Hornecker in diesem Band.

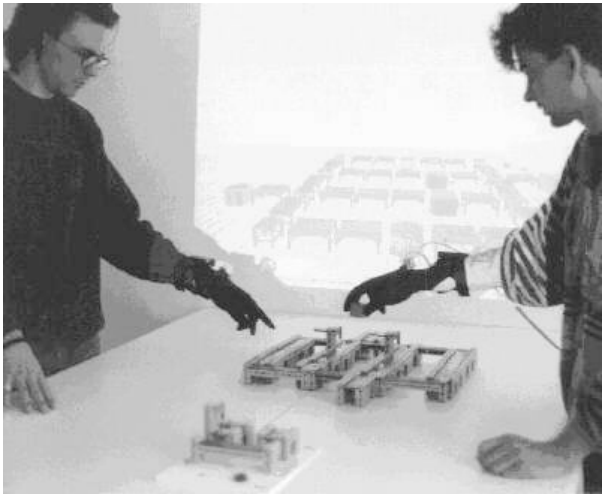
8 Ein ungelöstes Problem ist das Tracking der Bewegung und die Ermittlung der exakten Blickrichtung der BenutzerIn, das so genannte »Registrierungsproblem« (Barfield/Caudell 2001, S. 10-11). Darüber hinaus stellt die erforderliche Echtzeitvisualisierung extrem hohe Anforderungen an die verfügbaren Ressourcen, die von mobilen Endgeräten nicht erfüllt werden können. Ein pragmatischer Ansatz des Wearable Computing ist die Visualisierung von Informationen, die zwar den Ortsbezug haben, die Sicht der BenutzerIn auf die reale Welt jedoch nicht punktgenau überlagern.

9 Siehe dazu ausführlich Michael Friedewald in diesem Band.

dungsorientierte Software- und nutzungsorientiere Sichtweise auf das gleiche Ziel verwendet.

Die explizite Interaktion zwischen Mensch und Computer soll im Ubiquitous Computing durch den intensiven Einsatz und die Verfeinerung von Sensoren, durch die Kombination verschiedener Sensoren (sensor fusion) und durch eine intensive Nutzung maschineller Intelligenz unter dem Stichwort »context awareness« reduziert werden.

Abb. 12: Real Reality-Objekte zur Fabriksteuerung (Robben/Rügge 1998, S. 135)



Wearable Computer und Smart Clothes

Während in der Vision vom Ubiquitous Computing von einer Allgegenwart der Computertechnologie ausschließlich in der Umgebung und in den benutzten Gegenständen ausgegangen wird, favorisiert das Paradigma des *Wearable Computing* als Ideal eine fast persönliche Beziehung zwischen der BenutzerIn und ihrem mobilen Computersystem, das völlig unabhängig von allen Infrastruktureinrichtungen der Umgebung funktioniert. Wearable Computing bedeutet zum einen den Einsatz »tragbarer« Rechner und meint damit die Integration der Technologie in die unmittelbare körperliche Nähe der TrägerIn. Es favorisiert ein ›Anziehen‹ von Computertechnologie im Sinne von Kleidung, Schmuck oder im Sinne des Anlegens eines Tragesystems wie z.B. eines Gürtels, eines Rucksacks oder eines Holsters. Eingesetzt werden vor allem Wearable Computer,

Smart Clothes und Digital Accessoires. Zum anderen zeichnet sich Wearable Computing dadurch aus, dass es stärker durch interaktive Momente gekennzeichnet ist. Ziel ist die Realisierung einer ebenfalls allgegenwärtigen »intelligenten mobilen Assistenz«, die ihrer TrägerIn die richtige Information (oder Funktion) am richtigen Ort zur richtigen Zeit ohne expliziten Aufwand bereit stellt.

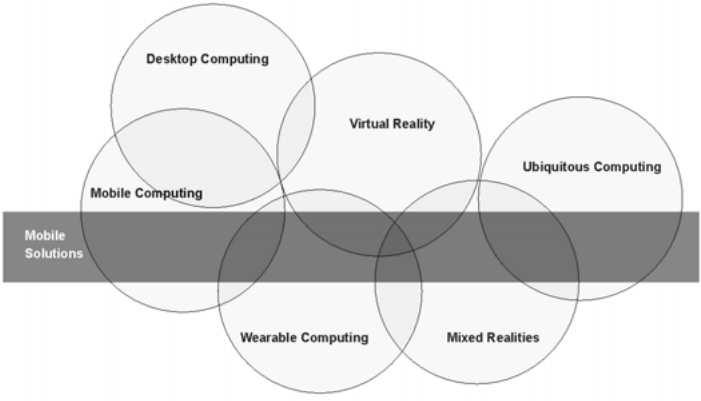
Wearable Computer sind leistungsfähige mobile Endgeräte, die von ihrer BenutzerIn so am Körper getragen werden, dass sie über das größtmögliche Maß an Bewegungsfreiheit für die Ausführung ihrer primären Tätigkeit verfügt. Bradley Rhodes (1997) fordert, dass ein Wearable Computer ständig »im Einsatz«, also immer angeschaltet und sofort benutzbar ist, auch in der Bewegung, und dass möglichst beide Hände frei bleiben für Aufgaben jenseits der Computerbenutzung. Ein Wearable Computer sollte den physischen Kontext der BenutzerIn mittels Sensoren erfassen und der BenutzerIn immer proaktiv Informationen liefern. Diese Charakterisierung verdeutlicht, ein Wearable Computer besteht nicht nur aus einer kleinen Recheneinheit mit einer bestimmten Leistungsfähigkeit. Die Ein-/Ausgabe-Geräte, ihre Anordnung am Körper der BenutzerIn, der Einsatz ›intelligenter‹ Sensoren und insbesondere die Gestaltung einer ›beiläufigen‹ Interaktion zwischen Mensch und Computer sind die wesentlichen Komponenten (siehe Rügge 2002, S. 2).

Abb. 13: Tragesystem mit Textilintegration für den industriellen Einsatz (Bild: MRC)

Smart Clothes stellen eine weitere Annäherung von Computertechnik an den Körper dar. Bisher beschränkt sich die Integration von informations- und kommunikationstechnologischen Komponenten noch auf modische Bekleidungsstücke, die mit Taschen und Kabelkanälen für die Unterbringung von Unterhaltungselektronik versehen sind (vgl. Abb. 1). Eine weitergehende Integration wird in Richtung der Entwicklung von leitenden Fasern und Stoffen und die Verbindung von elektronischen Bauteilen mit diesen forciert (siehe z.B. Mecheels et al 2004, Fackler 2006, Katragedda/Xu 2005, Linz et al 2005). Smart Clothes können so als nächste Generation von Wearable Computern aufgefasst werden.

Die primäre Aufgabe und damit auch die Aufmerksamkeit der BenutzerIn ist beim Wearable Computing wie auch bei den Mixed Realities in der realen Welt verortet. Computertechnologie wird nur unterstützend eingesetzt und ordnet sich den Gegebenheiten der Situation und den Anforderungen der realen Welt unter.

Abb. 14: Mobile Lösungen im Verhältnis zu den bekannten Leitbildern der Technikgestaltung (Bild: MRC)



Die Verwendung von Sensoren und die Interpretation des erfassten Kontextes spielt somit für Wearable Computing ebenfalls eine zentrale Rolle. Der wesentliche Unterschied zu Ubiquitous Computing ist die Platzierung der Technik ausschließlich am Körper der BenutzerIn. Diese Platzierung hat weitreichende Konsequenzen, die auch Auswirkungen auf die verwendbaren technologischen Komponenten, die Einsatzbereiche und vor allem auf die Akzeptanz seitens der BenutzerInnen haben. Zwar ist es technisch gleichermaßen möglich, eine TrägerIn aus der Umgebung heraus oder die Umgebung von der TrägerIn aus zu überwachen, doch

wird das Tragen der Technik am eigenen Körper hinsichtlich des Überwachungsaspektes als geringere Bedrohung empfunden. Steve Mann dreht mit seinem Wearable Computer-System dieses Machtverhältnis sogar um: er benutzt seinen persönlichen Wearable Computer als Überwachungsinstrument für seine Umgebung, um sich mit dieser Technik zu schützen und zu wehren (siehe unter der Bezeichnung »Sousveillance« Mann 2006).

So wie Ubiquitous Computing eine konzeptionelle Idealform hat – die Umgebung ist computerisiert, der Mensch bleibt völlig unbelastet – so beinhaltet auch Wearable Computing eine Vision: Der Mensch ist der alleinig Handelnde, er ist Träger und Steuerer der Technik. In dieser Absolutheit können jedoch beide nicht realisiert werden. Pragmatische und damit einsetzbare technische Lösungen liegen daher zwischen beiden Extremen, d.h. neue informations- und kommunikationstechnologische Komponenten und Computertechnik werden in die stationäre Umgebung sowie in Gegenstände integriert, und auch der mobil tätige Mensch wird mit technischen Komponenten ausgestattet. Ich bezeichne Lösungen mit einem solchen hybriden, meiner Ansicht nach pragmatisch motivierten Charakter ebenfalls als mobile Lösung (siehe Abb.14).

Technische, systemische und grundlegende Problemfelder

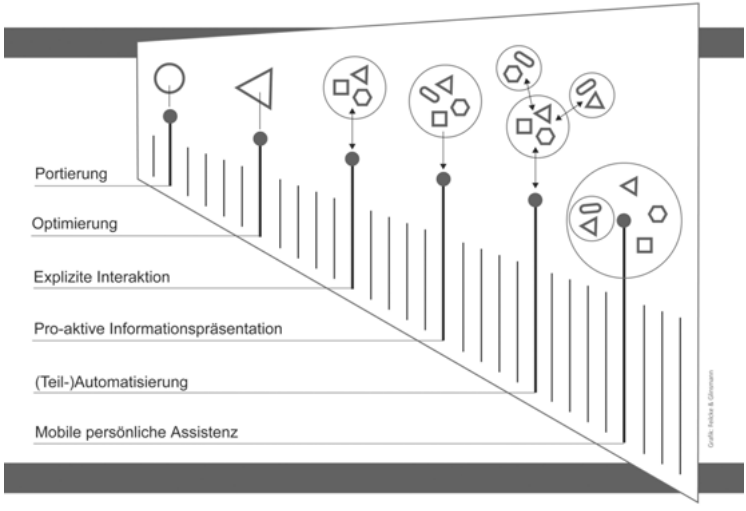
Die Untersuchung vorhandener mobiler Komponenten und Gesamtlösungen und ihre Gegenüberstellung mit dem intendierten Nutzungskontext hat eine Systematik der Lösungstypen gezeigt, die von der einfachen Portierung herkömmlichen Software auf ein mobiles Endgerät hin zur Realisierung einer automatisierten persönlichen Assistenz reicht, in der alle technologischen Möglichkeiten zur Vereinfachung der Interaktion für die BenutzerIn eingesetzt werden (siehe Rügge 2007, 202 f.).

Die Mehrzahl der realisierten mobilen Lösungen ist bisher am Mensch-Computer-Inteface gescheitert. Die Gründe dafür sind vielfältig, sie gehen auf einer abstrakten Ebene konform mit den Kritikpunkten, die auch seitens der Usability-Forschung bereits für Desktop Computing-Lösungen festgestellt wurden, haben im Detail jedoch noch andere Probleme. Zu nennen sind hier u.a.:

- Die verwendete und bisher verfügbare Hardware hat keine akzeptablen Trageeigenschaften.

- Hardware und Software sind für den mobilen Einsatz nicht aufeinander abgestimmt und werden bei der Gestaltung der Interaktion nicht als ein aufeinander bezogenes Gesamtsystem aufgefasst.
- Die Gestaltung der Benutzungsoberfläche orientiert sich bisher an den Gestaltungskriterien für Desktop Computing-Lösungen und berücksichtigt nicht die Besonderheiten der mobilen Benutzung.
- Die Sensorik, die Kombination von Sensoren und ihre Interpretation zur Unterstützung der Interaktion sind noch nicht ausgereift.
- Die Gebrauchstauglichkeit mobiler Lösungen wird nicht hinreichend genug untersucht.

Abb. 15: Evolution der Entwicklung mobiler Lösungen (Bild: MRC)



Ein grundlegender Fehler, der bei der Entwicklung von Technik immer wieder gemacht wird, ist die technikzentrierte Perspektive auf die Lösung. D.h. es werden Technologien und Komponenten entwickelt, die aus Sicht von IngenieurInnen und InformatikerInnen wichtig für die Realisierung einer mobilen Lösung sind, ohne dass zuvor die Bedarfe der intendierten BenutzerInnen intensiv ermittelt wurden und ohne dass die potenziellen BenutzerInnen bei der Entwicklung beteiligt wurden. Forschungsgruppen, die 3D-Visualisierung und Virtual Reality als Forschungsthema haben, entwickeln so z.B. mobile Lösungen indem sie das, was sie für stationäre Systeme geschaffen haben, auf mobile Endgeräte übertragen. Dass der Impuls für eine mobile Lösung technologisch motiviert ist, stellt im Prinzip kein Problem dar. Die vorhandene technologische Kompetenz ist sogar unbedingt für die Entwicklung technischer

Komponenten und Gesamtsysteme erforderlich. Allerdings ist für die Entwicklung einer einsetzbaren mobilen Lösung die Kenntnis der Bedingungen im Anwendungsbereich ausschlaggebend.

Eine Technologie, die einer Person derart ›zu Leibe‹ rückt, muss soweit maßgeschneidert sein, dass sie der TrägerIn und ihrer aktuellen Aufgabe optimal angepasst ist – was im Fall von Werkzeug oder Kleidung selbstverständlich ist. Niemand würde auf die Idee kommen, einer GoldschmiedIn den Hammer einer KFZ-MechanikerIn in die Hand zu geben oder einem Feuerwehrmann die Uniform einer Stewardess anzuziehen – das wäre weder sinnvoll noch angemessen. Doch schmälert eine Konfektionierung technischer Geräte – aus betriebswirtschaftlicher Sicht – vermeintlich den Gewinn.

Abb. 16: Begegnung zweier Wissenschaftler, ausgestattet mit Wearable Computing-Prototypen auf der Cebit 2002 (Bild: TZI)

Ebenso wenig Erfolg beschieden war dem Versuch, Software von großen Rechnern auf kleine mobile Endgeräte zu portieren. Denn, wie leicht nachvollziehbar, fühlt sich z.B. eine NotärztIn bei ihrer eigentlichen Arbeit – der Rettung von Menschenleben – behindert, wenn sie die ge-

setzlich vorgeschriebene Dokumentation auf einem winzigen Bildschirm machen soll, auf dem sie ständig scrollen muss und den sie zudem bei einer Eskalation der Situation nicht einfach fallenlassen darf. Auch die Verwendung eines größeren, robusten mobilen Endgeräts stellt nicht automatisch eine praktikable Lösung dar, da z.B. ein TabletPC, der wie ein elektronisches Klemmbrett benutzt werden kann, mit immerhin rund 1,5 kg Gewicht ebenfalls hinderlich ist.

Besonders auffällig ist, dass bisher so gut wie keine systematischen Benutzungstests mit einer aussagekräftigen Anzahl und Auswahl von Probanden sowie kaum (software)ergonomische Evaluationsergebnisse von mobilen Lösungen veröffentlicht worden sind. Es lassen sich nur einzelne Hinweise finden, z.B. ein Bericht über die Entwicklung des kommerziell erfolgreichen Wearable Scanning System von Symbol Technologies, die Begründung für das Scheitern des Augmented-Reality-Systems bei Boeing (Mizell 2001) und die Dokumentation der Erfahrungen mit der BenutzerInnen-Beteiligung bei der Entwicklung der Hardware für den VuMan. Zu einzelnen Komponenten oder Prototypen gibt es Nutzungsversuche mit kleinen BenutzerInnengruppen oder eine technische Evalutation des informations- und kommunikationstechnologischen Systems[10]. Doch sind die Ergebnisse für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit kompletter Lösungen nicht aussagekräftig genug, da komplexe oder reale mobile Arbeitssituationen dabei nicht berücksichtigt wurden. Für die Mehrheit der bisher entwickelten Systeme stehen systematische und repräsentative Usability-Tests und aussagekräftige Feldversuche noch aus.

Lösungsansätze für die Entwicklung tragbarer mobiler Lösungen

Die Gegenüberstellung von bisher entwickelten mobilen Lösungen bzw. ihren technologischen Komponenten mit den Anforderungen aus den Anwendungsbereichen zeigte Defizite auf Seiten der Technik und im Vorgehen beim Design mobiler Lösungen (Rügge 2007: 251 ff.). Folgende Desiderate wurden identifiziert, die für die Qualität einer mobilen Lösung entscheidend sind:

10 Siehe z.B. die jährliche Veröffentlichung der Beiträge des International Symposium on Wearable Computers (ISWC) der IEEE (iswc.net/) oder die Dokumentation der internationalen Tagung mobileHCI und des International Forum on Applied Wearable Computing (IFAWC) (www. i-fawc.org/).

- Eindeutiger Verbesserungsbedarf bei den einzusetzenden mobilen Komponenten auf der Ebene von Hard- und Software, vor allem mit Blick auf ihre Wechselwirkung bzw. ihr Zusammenwirken.
- Enge interdisziplinäre Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung.
- Mehrdimensionaler Integrationsbedarf auf technischer, methodischer und arbeitsorganisatorischer Ebene.
- Partizipativer, NutzerInnen-zentrierter Technikgestaltungsprozess.
- Die Methodik der Anforderungsermittlung muss den Charakteristika mobiler Tätigkeiten angepasst werden.
- Die mobile Tätigkeit muss einer anwendungsorientierten Analyse unterzogen werden, die technische Umsetzungsmöglichkeiten mit berücksichtigt.
- Die Entwicklung und insbesondere auch die Untersuchung der Ergonomie mobiler Lösungen müssen auf mehreren Ebenen erfolgen.

Als zukünftiges Konzept für die Entwicklung der erforderlichen mobilen Technologien für tragbare mobile Lösungen wäre ein Komponentenmodell wünschenswert, wie es z.B. aus der Herstellung variantenreicher Produkte bekannt ist. Dafür ist ein hoher Grad an Normierung erforderlich und die Bereitstellung von kompatiblen Schnittstellen, wie sie in informations- und kommunikationstechnologischen Geschäftsbereichen zwar immer wieder gewünscht, aber bisher nicht annähernd realisiert wurden. Die vielen feinen Unterschiede bei den Anforderungen in den Anwendungsbereichen und bei den Bedüfnissen der einzelnen NutzerInnen weisen jedoch deutlich die Notwendigkeit einer Konfektionierung besonders von Wearable Computing-Lösungen hin.

Die Entwicklung und Umsetzung mobiler Lösungen erfordert mehr als eine gute Ingenieursleistung – hier müssen verschiedene Fachdisziplinen eng zusammenarbeiten: Für die Entwicklung mobiler Sensoren ist Mikroelektronik erforderlich, bei der Auswertung ihrer Messwerte kommen Berechnungs- oder sogar Lernverfahren aus Mathematik und Informatik zum Einsatz. Bei der Auswahl, Kombination und Platzierung der Sensoren sind Biologie, Medizin und nicht zuletzt Bekleidungsdesign gefragt. Für die Herstellung tragbarer leitfähiger und isolierender Materialien, ihre Kombination zu Stoffen und für eine belastbare Verbindung zwischen Sensoren und Auswertungssystem sind TextilentwicklerInnen die geeigneten Partner. Und um die steifen Elektronikkomponenten mit den flexiblen Stoffen zu verbinden, ist die Zusammenarbeit von Textilforschung und Elektrotechnik erforderlich. Nicht zuletzt erfordert die Notwendigkeit einer ausreichenden Energieversorgung der mobilen Systeme weitere, spezielle Kompetenzen und dies nicht nur auf der Ebene der

Hardware – auch die Software muss ressourcenschonend ausgelegt sein. Neben dem Zusammenwirken technischer Disziplinen ist aber insbesondere eine Verzahnung arbeitswissenschaftlicher, organisations- und individualpsychologischer und medizinischer Forschungsgebiete mit den technischen Realisierungen zu schaffen.

Unter ExpertInnen besteht Einigkeit darüber, dass die Akzeptanz einer mobilen Lösung bestimmt wird von ihrem Mehrwert für die AnwenderIn und vom subjektiven Wohlbefinden der BenutzerIn während der Verwendung. Dafür sind detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnungen erforderlich sowie eine passgenaue Integration in den Arbeitsprozess und in die umgebende informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur. Doch einen herausragenden Stellenwert hinsichtlich Akzeptanz und Praxistauglichkeit von mobilen Lösungen nimmt unbestritten die maßgeschneiderte ergonomische Anpassung an den Bewegungsablauf und die Aufmerksamkeitsverteilung der BenutzerInnen ein.

Deshalb ist der Schluss naheliegend, dass für die Entwicklung wirtschaftlicher und nützlicher mobiler Lösungen eine frühe und sehr enge Zusammenarbeit aller Disziplinen mit den BenutzerInnen des anvisierten Einsatzbereichs angeraten ist. Ein Disziplin- und Interessenlagen-übergreifendes Mittel, ein gemeinsames Verständnis von den Anforderungen und den Umsetzungsmöglichkeiten herzustellen, ist die Nutzung von »Technologie zum Anfassen und Ausprobieren«. Im doppelten Sinne des Wortes »begreifbare« Prototypen konkreter mobiler und Wearable Computing-Lösungen sind hervorragend dazu geeignet, als Kommunikationsmittel in einer dialogischen, gleichberechtigten Form des Miteinanders zu dienen und so maßgeschneiderte Lösungen für mobile Tätigkeiten zu erarbeiten, die auch von den TrägerInnen akzeptiert werden. Das heißt für die zukünftige Entwicklung mobiler Lösungen, dass die Methoden der Anforderungsermittlung und der Evaluation einer Anpassung an die Bedingungen der Mobilität mobiler Aktivitäten und Tätigkeiten bedürfen, die im ersten Moment kostspielig und anstrengend erscheinen mag, doch essenziell für eine Verbreitung mobiler Lösungen im professionellen Einsatz jenseits der Schreibtischarbeit ist.

Literatur

Amft, O./Lauffer, M./Ossevoort, S./Macaluso, F./Lukowicz, P./Tröster, G. (2004): »Design of the QBIC Wearable Computing Platform«. In: 15th IEEE International Conference on Application-Specific Systems, Architectures and Processors (ASAP '04), 2004, S. 398-410.

Anoto (2006), URL der Homepage der Firma: http://www.anoto.com/ (zuletzt gesehen am 14.10.2006).

Barfield, W./Caudell, T. (Eds.) (2001): »Basic Concepts in Wearable Computers and Augmented Reality«. In: Barfield, W./Caudell, T. (Eds.): »Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality«. Mahwah, N J, London, 2001, S. 3-26.

Bass, L./Siewiorek, D./Bauer, M. et al. (2001): »Constructing Wearable Computers for Maintenance Applications«. In: Barfield, W./Caudell, Th. (Eds.): »Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality«. Mahwah, N J, London, S. 663-713.

ETH Zürich (2004): »QBIC - Q-Belt Integrated Computer«. URL: http://www.wearable.ethz.ch/research/groups/platforms/QBIC/index (zuletzt gesehen 1.3.2008).

Fackler, I. (2006): »Tragbare Elektronik macht uns immer mobiler«. In: Probleme und Lösungen 5/2006. URL: http://www.produktion.de/article/0f485fcad88.html (Zuletzt gesehen am 20.10.2006)

Günzel, C. (2005): »Tragbare Computer – Der vernetzte Frack«. In: PC Magazin 1/2005, S. 16-18

Hasselbring, W. (2006): »Software-Architektur«. In: Informatik Spektrum 29,1, S. 48-52.

Herzog, O./Rügge, I./Boronowsky, M./Nicolai, T. (2003): »Potenziale des Wearable Computing in der Industrie – am Beispiel der Inspektion«. In: Gausemeier, J./Grafe, M. (Hrsg.): »Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung«. 2. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 4. und 5. Juni 2003, Heinz Nixdorf MuseumsForum, S. 21-39.

Jung, S./Lauterbach, C. (2002): »Elektronik zum Anziehen«. In: Elektronik 12/2002, S. 40-43.

Katragedda, R.B./Xu, Y. (2005): »A Novel Intelligent Textile Technology Based on Silicon Flexible Skins«. In: Proceedings of 9th International IEEE Symposium for Wearable Computers (ISWC'05), S. 78-81.

Kenn, H./Rügge, I. (2006): »Botschaften aus dem Handgelenk«. In: Sonderausgabe RFID in Bremen von »RFID im Blick«, Juli 2006, S. 36-38.

Laurel, B. (1990): »What's an Interface?« In: Laurel, B. (Hrsg.): »The Art of Computer Interface Design«. Reading, Mass. 1990.

Lawo, M. (2006): »Ein drahtloser Eingabehandschuh für Augmented Reality Anwendungen«.In: 5. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 31.05.-01.06., Paderborn, hrsg. Gausemeier, J./Grafe, M., S. 199-208.

Linz, T./Kallmeyer, C./Aschenbrenner, R./Reichl, H. (2005): »Embroidering Electrical Interconnects with Conductive Yarn for The Integration of Flexible Electronic Moduls into Fabric«. In: Proc. of 9th ISWC '05, S. 86-89.

Mann, S. (2006): Homepage von Steve Mann: URL: http://wearcam.org/ (zuletzt gesehen am 21.09.06).

Marculescu, D./Marculescu, R./Park, S./Jayaraman, S. (2003): »Ready to Ware«. In: IEEE Spectrum, 40, 10, S. 28-32.

Mecheels, S./Schroth, B./Breckenfeldern, C. (2004): »Smart Clothes – Intelligente textile Produkte auf der Basis innovativer Mikrotechnologie. Expertensicht – Beispiele – Empfehlungen«. Hohensteiner Institute.

Miller, M. (2002): »Fossil Wrist PDA-PC FX2002«. In: PDA REVIEW (erstellt am 2002) URL: http://geek.com/hwswrev/pda/fossil/ (zuletzt gesehen am 18.10.2006).

MIT MediaLab (2003): Homepage des MIThril-Projekts (zuletzt aktuali-siert 2003) URL: http://www.media.mit.edu/wearables/mithril/ (zuletzt gesehen 21.09.06).

Mizell, D. (2001): »Boeing's Wire Bundle Assembly Project«. In: Barfield, W./Caudell, T. (Eds.): »Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality«. Mahwah, N J, London, S. 447-467.

Nake, F. (1992): »Informatik und die Maschinisierung der Kopfarbeit«. In: Coy, W. et al (Hg.): »Sichtweisen der Informatik«. Braunschweig, Wiesbaden, S. 181-207.

Norman, D.A. (1998): »The Invisible Computer«. Cambridge, Mass.

Pahl, C. (2004): »Kleidsame Elektronik«. In: Technology Review, Das M.I.T.-Magazin für Innovation, 12, Dez., S. 95-97.

Pichler, M. (2005): »Identifying Mobile People's Information Needs«. SCCH-Technical Report S. 511.

Rhodes, B.J. (1997): »The Wearable Remembrance Agent: A System for Augmented Memory«. In: Proc. of 1st ISWC, Cambridge, Mass, 13/14. Okt. S. 123-128. Siehe auch URL: http://alumni.media.mit. edu/~rhodes/Papers/wear-ra-personaltech/index.html (zuletzt gesehen 25.10.2006).

Robben, B./ Rügge, I. (1998): »Mit den Händen beGreifen: Real Reality«. In: I. Rügge et al. (Hrsg.): »Arbeiten und begreifen: Neue Mensch-Maschine-Schnittstellen«. Münster, S. 133-146.

Rügge, I. (2002): Studie »Technologische und anwendungsorientierte Potenziale mobiler, tragbarer Computersysteme«. Universität Bremen, TZI-Bericht Nr. 24/2002.

Rügge, I. (2007): »Mobile Solutions. Einsatzpotentiale, Nutzungsprobleme und Lösungsansätze«. (Advanced Studies Mobile Research Center Bremen), Wiesbaden.

Schelhowe, H. (1997): »Das Medium aus der Maschine. Zur Metamorphose des Computers«. Frankfurt a. M., New York.

Schmidt, A. (2000): »Implicit Human Computer Interaction Through Context«. In: Personal Technologies 4, 2, S. 191-199.

Smailagic, A./Siewiorek, D. (1999): »User-Centered Interdisciplinary Concurrent System Design«. In: ACM Mobile and Communications Review 3, 3, S. 43-52.

Stein, R./Ferrero, S./Hetfield, M./Quinn, A./Krichever, M. (1998): »Development of a Commercially Successful Wearable Data Collection System«. In: ISWC'98, 2. International Symposium on Wearable Computers, Pittsburgh, PA. October 19-20, S. 18-24.

Symbol Technologies: URL der Homepage der Firma: http://www. symbol.com/, URL des Wearable Scanning System WSS 1000/1060 http://www.symbol.com/WS1000/1060, URL des Wearable Scanning System WT 4000: http://www.symbol.com/wt4000 (zuletzt gesehen 27.10.2006).

wearitatwork (2004): Homepage des europäischen Großprojekts (IP) wearIT@work (erstellt 2004). URL: www.wearitatwork.com (zuletzt gesehen: 21.09.06).

Weiser, M. (1993): »Some Computer Sciences Problems in Ubiquitous Computing«. In: Communications of the ACM, 36, 7, S. 75-85.

Wichmann, T./Stiehler, A. (2004): Basisreport »Prozesse optimieren mit Mobile Solutions«. Berlecon Research, Berlin, März.