

Potenziale des Wearable Computing in der Industrie – am Beispiel der Inspektion

Otthein Herzog, Ingrid Rügge, Michael Boronowsky, Tom Nicolai
Technologie-Zentrum Informatik, Universität Bremen
Universitätsallee 21-23, 28359 Bremen
Tel. 0421-218-7090, Fax 0421-218-7196
{herzog, ruegge, michaelb, nicolai}@tzi.de

Zusammenfassung

Es werden die Potenziale des Wearable Computing im industriellen Bereich und anhand eines konkreten Fallbeispiels dargestellt. Dazu werden die Eigenschaften des Wearable Computing und die Besonderheiten mobiler Tätigkeiten erläutert, um dann den Blick auf Anwendungen im industriellen Bereich und insbesondere auf die Instandhaltung zu lenken. Am Beispiel eines Prototypen zur Unterstützung der Inspektoren von Großkränen in einem Stahlwerk wird verdeutlicht, dass die bekannte Desktop-Metapher zur Gestaltung von mobilen Tätigkeiten kein angemessenes Leitbild ist. Um das Potenzial des Wearable Computing vollständig zu nutzen, müssen Lösungen entwickelt werden, die ein Arbeiten „mit“ dem Computer in einem System ermöglichen und kein Arbeiten „am“ Computer erfordern.

Schlüsselwörter

Wearable Computing, mobile Tätigkeiten, beiläufige Computernutzung, Wartung und Instandhaltung, anwendungsspezifische Lösungen

Einleitung

„Mobile Computing“ ist ein aktuelles Schlagwort der Informationsgesellschaft: der Zugriff auf Informationen und Dienste gemäß den Prinzipien „anything, anytime, anywhere“. Ursprünglich war damit nur der Softwareeinsatz auf High-End-Notebooks gemeint, der das „mobile Büro“ Wirklichkeit werden ließ. Hinzu kamen dann die neue Generation der Handheld- bzw. PocketPCs und die Smartphones. Erstere wurden anfangs als digitale Organizer benutzt, entwickelten sich jedoch durch die Erhöhung ihrer Leistungsfähigkeit zu mobilen Computersystemen, die eine eingeschränkte Funktionalität als Desktop-Arbeitsplatz bereitstellen und

dabei eine sehr lange stromnetzunabhängige Betriebsdauer gewährleisten. Seitens der Kommunikationstechnologie stellt die rasante Verbreitung von drahtlosen Netzen (GSM, und WLAN, zukünftig wahrscheinlich auch UMTS) eine Infrastruktur bereit, die das „mobile Internet“ nicht nur für Handys, sondern für jedes mobile Endgerät bereitstellt und so den Zugriff auf alle Informationen ermöglicht, die elektronisch verfügbar sind.

Diesen allseits bekannten Technologien stehen weniger bekannte Entwicklungen zur Seite, die ein Tragen von Rechnersystemen am Körper ermöglichen und die Metapher „Wearable Computing“ prägen. „Wearable“ steht für das „Anziehen von Hardware“ im Sinne einer Armbanduhr, einer Brille, einer Weste oder eines Rucksacks. Es handelt sich bei der eingesetzten Hardware um eine neue Generation von Rechnern, die den mobilen Einsatz komplexer Software unter extremen Bedingungen für Anwendungsgebiete jenseits der Schreibtischarbeit eröffnen.

Ein wesentliches Merkmal dieser neuen Computersysteme ist der Umfang der Hardwareausstattung, die bei minimaler Baugröße annähernd der Leistungsfähigkeit eines Desktop PCs entspricht. Ein anderes, noch relevanteres Merkmal von Wearable-Computing-Lösungen sind die Interaktionsmöglichkeiten und Schnittstellen, die für diese neue Art des Computereinsatzes bereitstehen bzw. deren Entwicklung noch aussteht. Denn der intendierte Einsatzbereich ist weder der Schreibtischarbeitsplatz noch die vollautomatisierte Fabrik, die beide bereits weitgehend von Computertechnologie durchdrungen sind. Die dort erfolgreich etablierten Konzepte, z.B. die Desktop-Metapher mit Bildschirm, Maus und Tastatur, sind nicht auf die Gestaltung der neuen Technologie und auf die Interaktion zwischen Mensch und tragbarem Computer übertragbar.

In diesem Papier werden die Potenziale des Wearable Computing im industriellen Bereich und anhand eines konkreten Fallbeispiels dargestellt. Die möglichen Anwendungsbereiche umfassen jedoch die gesamte Breite der klassischen Wirtschaftssektoren. Die Betrachtung zielt auf aufgabenspezifische Lösungen ab, die prinzipiell mit sehr verschiedenen technischen Mitteln gelöst werden können. Die Spannbreite reicht von einfachen, computerunterstützten Lösungen zur manuellen Abarbeitung von Checklisten bis hin zur punktgenauen Einblendung von computergenerierten 3D-Bildern in die aktuelle Sicht oder der automatischen Interpretation von Kontexten und Aktionen der Benutzer.

Zunächst werden die relevanten Eigenschaften von Wearable-Computing-Lösungen beschrieben sowie Kriterien mobiler Tätigkeiten genannt, die mit dieser Technologie unterstützt werden können. Anschließend werden gezielt Anwendungspotenziale in der Instandhaltung untersucht. Die Unterstützung des Inspektionsprozesses von Anlagen und Maschinen durch den jederzeit möglichen Zugriff auf digitale Handbücher sowie die (semi-)automatische Dokumentation von ausgeführten Arbeitsschritten werden ausführlich diskutiert. Ein konkretes Fallbei-

spiel, das die Gestaltung eines Wearable-Computing-Systems samt eines speziellen Interaktionshandschuhs und darauf abgestimmten User Interfaces für diesen Anwendungsbereich behandelt, rundet die Darstellung ab.

1 Aspekte des Wearable Computings

1.1 Das Paradigma „Wearable Computing“

Wearable Computer, also z.T. sprachgesteuerte mobile, tragbare Computersysteme, unterstützen die Benutzer beispielsweise bei Arbeiten wie Inventur, Inspektion und Wartung komplexer Anlagen oder bei der Aufnahme von Daten im freien Gelände, also in Bereichen, in denen herkömmliche Computer bisher unhandlich und schlecht zu nutzen waren. Der Einsatz tragbarer Rechnersysteme ist z.B. in solchen Aufgabenstellungen produktivitätssteigernd, in denen der Benutzer eine oder beide Hände zum Arbeiten frei haben muss, keinerlei Abstellfläche zur Verfügung hat und in denen eine Unterstützung durch Informations- und Kommunikationstechnologie dennoch hilfreich ist. So ist z.B. bei der Instandhaltung von komplexen technischen Anlagen der Zugriff auf die gerätespezifische Dokumentation oder auf die technischen Zeichnungen sowie die unmittelbare Erfassung und Dokumentation des Zustands der inspizierten Komponenten vor Ort, und die multimediale Kommunikation mit einem Experten an einem anderen Einsatzort eine entscheidende informations- und kommunikationstechnische Unterstützung. Sie konnte mit herkömmlicher Computertechnologie bisher nur sehr schwer realisiert werden oder war sogar überhaupt nicht möglich, da die Techniker ihre Hände für die primäre Aufgabe und zur Gewährleistung ihrer Sicherheit benötigen. Derartige Arbeitsabläufe können durch Wearable Computing effizienter sowie zeit- und kostenökonomischer gestaltet werden.

Wearable Computing bedeutet aber nicht, dass der Desktop PC am Gürtel getragen wird und alles andere bleibt, wie es ist. Wearable Computing heißt, dass das Computersystem (vgl. [Rho97])

- immer in Betrieb ist und in der Bewegung benutzt werden kann,
- so am Körper getragen wird, dass der Benutzer – wenn notwendig – die Hände frei hat für seine primäre Aufgabe,
- mit Sensoren Daten aus der Umgebung aufnimmt und den Kontext erfasst,
- „proaktiv“ ist, d.h. kontinuierlich Informationen aufnimmt, sie interpretiert und dem Benutzer „von sich aus“ präsentiert und
- einen drahtlosen Netzzugang hat.

Bei der Gestaltung von Computersystemen für mobile Tätigkeiten steht der Unterstützungsaspekt im Vordergrund. Zu unterstützen sind Arbeitsprozesse und Handlungsabläufe, die in der realen, gegenständlichen Welt situiert sind. Im Mittelpunkt steht der kompetente Mensch, der in seinen Fähigkeiten unterstützt und von unproduktiven Handlungen entlastet werden soll. Metaphern für die Gestaltung sind der Handlanger, der Tutor oder der selbstständige Assistent. Diese informations- und kommunikationstechnische Unterstützung mobiler Arbeits- und Geschäftsprozesse darf jedoch nicht für sich allein stehen. Sie muss sich nahtlos in die bereits bestehende betriebliche oder persönliche IKT-Infrastruktur einpassen, damit die bisher vorhandene Lücke geschlossen und das bereits verfügbare Wissen auch im mobilen Einsatz verfügbar wird.

Ein mobiles informations- und kommunikationstechnisches Unterstützungssystem darf in dieser Situation den Benutzer nicht in seiner Bewegungsfreiheit einschränken. Die explizite Interaktion sollte so gering wie möglich sein und darf den primären Arbeitsfluss nicht unterbrechen: sie sollte sich nahtlos in den Arbeitsprozess einfügen. Das Computersystem sollte einen Großteil der erforderlichen Daten selbstständig erheben und mit intelligenten Methoden aus dem Kontext ermitteln, ohne dass Benutzereingaben erforderlich sind. Die Benutzung sollte einfach und beiläufig erfolgen, so wie man blind in die Tasche greift, einen Phasenprüfer hervorholt und das Anliegen von Netzspannung prüft. Das mobile Unterstützungssystem darf die kognitiven Ressourcen des Benutzers nicht überfordern. Es sollte mit einer Intelligenz ausgestattet sein, die nur die in der aktuellen Situation erforderlichen Informationen präsentiert und nur die Eingaben erfragt, die eine menschliche Beurteilung erfordern.

Wearable Computing weist gewisse Gemeinsamkeiten mit den Paradigmen Augmented Reality (AR) und Ubiquitous Computing auf. Versteht man AR als Technologie, die die Sicht auf die reale, gegenständliche Welt punktgenau mit computergenerierten 3D-Bildwelten überlagert (z.B. [www1]), dann können Wearable-Computing-Lösungen von ausdrucksvollen Visualisierungen profitieren, wenn diese für die zu unterstützende Tätigkeit erforderlich sind. Doch gibt es auch Wearable-Computing-Lösungen, die gänzlich auf eine Grafikanzeige verzichten können, z.B. wenn nur textuelle Eingaben zu tätigen sind oder bei einem komplett sprachgesteuerten Informationssysteme für blinde Menschen. So, wie Wearable Computer als Miniaturisierung des PC angesehen werden, basiert auch Ubiquitous Computing [Wei91] auf der fortschreitenden Verkleinerung der Computertechnik. Mit diesem Paradigma verbindet sich der Wunsch nach einer „allgegenwärtigen elektronischen Unterstützung“, die in die stationäre Umgebung oder in Gegenstände des täglichen Gebrauchs integriert und für den Menschen weitgehend unsichtbar ist. Ziel ist es, die Umgebung per Sensorik so mit Intelligenz auszustatten, dass sich der Mensch gänzlich unbelastet von Computertechnologie in der so präparierten Umgebung bewegen kann, diese aber dennoch seine Intentionen er-

kennt und entsprechend „handelt“ – so die Vision. Wearable Computing fokussiert in diesem Sinne auf eine praxisnahe, anwendungsorientierte Lösung, so dass sich dieser Ansatz für den Technologietransfer von der Wissenschaft in die Praxis hervorragend eignet. Wearable Computing ist vergleichbar mit dem Konzept der Information Appliances [Nor99], das von vielen kleinen spezialisierten eingebetteten Computern ausgeht. Der wesentliche Unterschied ist, dass Wearable Computing diese Einbettung nicht voraus setzt.

1.2 Kriterien mobiler Tätigkeiten

Wearable Computer stellen ein geeignetes Werkzeug dar, um mobile Tätigkeiten zu unterstützen. Dabei lässt sich der Begriff „mobile Tätigkeiten“ relativ gut umfassen:

- Sie werden in der Bewegung ausgeführt (z.B. Kommissionierung, Bewachung, landwirtschaftliche Bewirtschaftung).
- Sie finden an wechselnden Einsatzorten statt (z.B. Wartung von Schiffen, Straßeninspektion, Krisenmanagement, Notfallmedizin) oder
- sie werden zwar an einem Ort, aber an wechselnden oder großen Objekten durchgeführt (z.B. Inspektion von Fahrzeugen, Flugzeugen, Lagerverwaltung).
- Die primäre Aufgabe und die Aufmerksamkeit der Benutzer sind in der physikalischen Welt situiert.

Dort, wo ein wiederkehrender Arbeitsablauf eingehalten werden muss, wo das Vorgehen und der Zustand des Arbeitsgegenstands genau dokumentiert wird, oder wo der Zugriff auf umfangreiches Informationsmaterial die Arbeit vor Ort beschleunigen und verbessern kann, ist die Anwendung von Wearable Computing wirtschaftlich sinnvoll und kann zu deutlichen Qualitätssteigerungen beitragen.

Die Unterstützung mobiler Tätigkeiten hat weitreichende Folgen auf die Entwicklung eines geeigneten informationstechnischen Systems. Hier wird in der Regel ein Überdenken aller bisherigen Interaktionskonzepte erforderlich, da bei der Gestaltung stationärer Anwendungen bisher immer von der vollen Aufmerksamkeit der Benutzer für das Computersystem ausgegangen werden konnte. Bei der Benutzung einer Textverarbeitung, einer Tabellenkalkulation, eines Autorensystems oder eines CAD-Programms befindet sich der Arbeitsbereich der Benutzer sozusagen „im Computer“. Das Gleiche gilt für die dreidimensionale Visualisierung komplexer Informationen in den so genannten „Virtual Reality Environments“. Bei mobilen Tätigkeiten im oben genannten Sinne hingegen gilt die Aufmerksamkeit der Benutzer in erster Linie den Gegenständen der realen, physischen Welt, z.B. dem zu inspizierenden Fahrzeug, den zu transportierenden Paketen oder der zu behandelnden Patientin. Jedes hier eingesetzte Computersys-

tem kann die eigentliche Aufgabe nur unterstützen und muss mit einem geringen Aufwand an Aufmerksamkeit und mit einer minimalen Interaktion zwischen Mensch und Computer zu benutzen sein.

1.3 Mögliche Anwendungsbereiche

Verschiedene Quellen, z.B. Fallstudien und „White Papers“ der Hersteller von Wearable Computing-Hardware oder von Softwareentwicklern für den Einsatz auf mobilen Geräten, aber auch wissenschaftliche Untersuchungen belegen die Vielfalt der möglichen Branchen und Anwendungsbereiche, für die Wearable Computing ein Innovationspotenzial darstellt. Die Palette umfasst die gesamte Breite der klassischen Wirtschaftssektoren – von der Dienstleistung über die Industrie bis hin zur Landwirtschaft – sowie den so genannten Konsumenten-Bereich, also das persönliche Leben jeder einzelnen Person. Innerhalb der Wirtschaftssektoren wurde eine Vielzahl von Anwendungsbereichen für den Einsatz von Wearable Computing-Technologie identifiziert. Erste Umsetzungen informationstechnischer Lösungen mit mobilen, tragbaren Computersystemen wurden bereits für folgende Sparten entwickelt (eine Dokumentation aller aufgeführten Beispiele ist zu finden in [www5], auch in [BC01]):

- in der Logistik: Kommissionierung, Pakettransport, Umzug
- in Tourismus und Kultur: Stadt- und Museumsführung, Journalismus, archäologische Ausgrabungen
- in der Produktion: Konstruktion, Montage, Inbetriebnahme, Instandhaltung
- im Gesundheitswesen sowie im Krisen- und Katastrophenmanagement: Notfallmedizin, häusliche Krankenpflege, Feuerwehreinsatz, militärische Aktionen.

Über diese Anwendungsbereiche hinaus gibt es Aufgaben, die zwar nicht in jeder Branche auftreten und nicht überall die gleiche Relevanz haben, die aber auch oder gerade bei mobilen Tätigkeiten in vielen Fällen eine außerordentliche Rolle spielen und anwendungsübergreifend auftreten:

- Bildung, Training, Instruktion „on the job“
- Kommunikation / Kooperation / Kollaboration: synchroner oder asynchroner Dialog zwischen Menschen, z.B. Expertenkonsultationen auch über weite Entfernungen hinweg, und Sprachübersetzung
- 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 jedem beliebigen Ort.

Durch die Erschließung neuer Anwendungsbereiche eröffnen sich in Unternehmen neue Wege der Produktivitäts- und Qualitätssteigerung. Darüber hinaus eröffnen diese neuen Einsatzbereiche zusammen mit den entsprechend neu entstehenden Technologien (Hardware, Peripherie und Software) Raum für die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen.

2 Anwendungspotentiale in der Industrie

Industrielle Prozesse zeichnen sich zum Teil durch eine gewisse Gleichförmigkeit aus, was in der Vergangenheit zu umfangreicher Automation und Rationalisierung geführt hat. An dieser Entwicklung hatte die Computertechnologie einen erheblichen Anteil. Trotz des hohen Automatisierungsgrades sind eine Vielzahl von Tätigkeiten geblieben, die von Menschen ausgeführt werden müssen. Die Instandhaltung industrieller Anlagen ist einer dieser Aufgaben, die auf der einen Seite besondere Kompetenzen der Mitarbeiter erfordern und auf der anderen Seite durch einen hohen Grad an Mobilität bei der Durchführung gekennzeichnet sind.

2.1 Anwendung in der Instandhaltung

Die Instandhaltung von Produktionsanlagen leistet einen wichtigen Beitrag zum störungsfreien Ablauf einer Produktion. Darüber hinaus gibt es aber auch Instandhaltungsaufgaben an Gebrauchsgütern oder in und an Gebäuden. Instandhaltung besteht aus den Maßnahmen Inspektion, Wartung und Instandsetzung und dem übergeordneten Prozess der Organisation und Planung dieser Maßnahmen, wobei die Erfassung und die Auswertung der Befunde, Schäden und Störungen eine besondere Rolle spielt. Informationstechnisch unterstützt wurde vormals nur der übergeordnete Prozess, da die Durchführung der Inspektion als hochgradig mobile Tätigkeit den Einsatz herkömmlicher Informations- und Kommunikationstechnologien aufgrund der Handhabung der Hardware (z.B. eines Notebooks) nicht zuließ.

Mit der Entwicklung von Wearable Computern, Mikrodisplays und drahtlosen Netzen steht nun eine Ausstattung zur Verfügung, die den Einsatz von Informationstechnologie für die Unterstützung mobiler Tätigkeiten unter z.T. extremen Umweltbedingungen ermöglicht. Bereits seit den Anfängen des Wearable Computing wird daran gearbeitet, diese Technologie für die Instandhaltung einzusetzen, da der Zugriff auf Informationen (Handbücher, Schaltpläne, Reparaturanleitungen etc.), eine multimediale Expertenkonsultation, eine papierlose Schadensberichterstattung oder die systematische Steuerung des Workflows per interaktiver Checkliste zu einer deutlichen Prozessoptimierung beitragen können (vgl. [Sch00]). So verwundert es nicht, dass in der Instandhaltung bzw. zu den drei genannten Maß-

nahmen der Instandhaltung bereits eine große Anzahl von Anwendungsfeldern identifiziert und bearbeitet wurde, z.B.:

- Wartung von Gebrauchsgeräten (z.B. Drucker) oder der Gebäudetechnik (Vernetzung) ([Fei93], [Kor99]),
- Visualisierung verborgener architektonischer Strukturen in Gebäuden zur Wartung ([Web96], [Fei93]),
- Inspektion von Fahrzeugen, von Flugzeugen, von Industriekränen oder Post-sortieranlagen ([Bas01], [www1], [RNB02], [www2]),
- Inspektion und Wartung von Wohnhäusern ([www3]),
- Inspektion in Produktion und Montage, z.B. beim (verteilten) Bau von Schiffen ([www4]).

Die Instandhaltung ist ein gutes Beispiel für die Potenziale des Wearable Computing, da sie eine weitgehend mobile Tätigkeit mit einer relativ hohen Informationsdurchdringung ist. Eine Instandhaltung wird mit Daten geplant, anhand der Pläne durchgeführt, protokolliert und anschließend dokumentiert, doch die primäre Aufgabe des Instandhaltungspersonals ist die manuelle Arbeit am Objekt. Hinzu kommt, dass die Umgebungsbedingungen häufig so beschaffen sind, dass weder Papier und Stift noch traditionelle Informationstechnologie (wie Notebooks) eingesetzt werden können und die Benutzer darüber hinaus ihre Hände frei haben und ihre Aufmerksamkeit der realen Welt widmen müssen.

2.2 Inspektionsunterstützung

Ein wesentlicher Arbeitsabschnitt bei der Instandhaltung ist die Inspektion, d.h. die Ermittlung des aktuellen Zustands eines Objekts, eines Geräts oder einer Anlage. Im Prinzip werden bei dieser Aufgabe nur Daten erhoben und erst auf der Grundlage dieser Daten werden weitere Maßnahmen eingeleitet, z.B. Ersatzteile bestellt oder Arbeiten durchgeführt. Mobile, tragbare Computersysteme für diese Aufgabe einzusetzen, die in ganz verschiedenen Anwendungsbereichen anfällt, ist deshalb nahe liegend. Aus diesem Grund ist die Unterstützung von Instandhaltungsaufgaben einer der meistuntersuchten Einsatzbereiche für Wearable-Computing-Lösungen ([Rue02]). Ein anschauliches Beispiel ist der VuMan3 ([Sma98], [Bas01]). Bei diesem System handelt es sich um ein Gerät, das speziell für die Abarbeitung von Checklisten bei der Inspektion entwickelt wurde. Darüber hinaus wurde auch die Software an die Aufgabe angepasst, so dass ein neues Mensch-Computer-Interaktionsparadigma – die Wählscheibe – entwickelt wurde. Dieses System wurde sowohl für Fahrzeug- als auch für Flugzeugwartungen getestet. Die Benutzer waren bei der Evaluation sehr zufrieden. Diese Zufriedenheit wird u.a. darauf zurückgeführt, dass sie bereits in der Design-Phase an der Entwicklung

„ihres“ Systems beteiligt waren und hierdurch die Anwendungsperspektive entsprechend berücksichtigt worden ist.

Kommerziell breit einsetzbare Systeme für diesen Einsatzzweck sind dennoch noch nicht auf dem Markt verfügbar. Daran zeigt sich deutlich, dass Wearable-Computing-Lösungen sehr stark anwendungsspezifisch sind und noch keine „Plattform“ und auch keine Module zur Verfügung stehen, die einfach auf andere Anwendungsbeispiele übertragen werden können. Ein Hindernis ist z.B., 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 Teilkatalogs reicht für diesen Zweck einfach nicht aus. Darüber hinaus herrschen auch noch Defizite bzgl. der einsetzbaren Hardware-Komponenten. Es mangelt z.B. an einfachem Eye-Tracking oder an drahtlosen Ein-/Ausgabe-Geräten wie beispielsweise unauffälligen, leistungsstarken Head-Mounted-Displays. Es stehen auch noch Ergebnisse aus der Wissenschaft aus, u.a. ist das Registrierungsproblem zur punktgenauen Überlagerung der realen Sicht der Benutzer mit computer-generierten 3D-Bildern noch nicht gelöst ([BC01]), und auch das Thema „Context Awareness“ bedarf weiterer Forschung. Allerdings gibt es dennoch eine Vielzahl von mobilen Tätigkeiten, die mit einfacheren Mitteln bereits in absehbarer Zeit angemessen unterstützt werden können, z. B. Inspektionen.

Eine Inspektion wird zur Feststellung des Ist-Zustandes einer Anlage durchgeführt. Sie wird in der Regel als präventiver Schritt zur Vermeidung von störenden Stillstandszeiten verstanden. Die Maßnahmen, die im Rahmen einer Inspektion ergriffen werden, umfassen unter anderem die optische Kontrolle von Bauteilen oder Baugruppen, die Überprüfung von Justierungen und Toleranzen, die Zustandsfeststellung von Verschleißteilen und die grundlegende Überprüfung kritischer Funktionen. Besonders bei der Inspektion kann der Einsatz von Wearable Computern zu einer deutlichen Effizienzsteigerung in der Instandhaltung führen: eine Kombination von Wearable Computer, drahtloser Kommunikation und intelligenter Datenerfassung und -analyse kann das Inspektionspersonal effizient bei der Arbeit unterstützen:

- Übermittlung der Inspektionsplanung an das Instandhaltungspersonal,
- Online-Darstellung von Informationen über die räumliche Anordnung der zu inspizierenden Objekte, z.B. dargestellt mittels einer AR-Visualisierung,
- Angeleitete Inspektion mit automatischer Protokollierung: Befunde können durch Spracheingabe eingegeben oder über am Wearable Computer angeschlossene Sensoren erfasst werden,

- Teilautomatisierte Inspektion, indem Messungen und Beobachtungen automatisch interpretiert werden sowie Entscheidungsunterstützung bei auftretenden Problemen,
- Archivierung und Visualisierung der Inspektionsresultate, um eine Historie von Parameterentwicklungen zu erhalten und darzustellen,
- Automatische Interpretation der Parameterentwicklung, um unter bestimmten Umständen eine Erweiterung der Inspektion vorzunehmen,
- Bereitstellung der Wartungsplanung oder Produktionsplanung, um bei kritischem Anlagenzustand überbrückende Maßnahmen durchführen zu können,
- Darstellung von Berichten über Probleme während des Betriebs der Anlage,
- Informationen über den Lagerbestand bestimmter Ersatzteile,
- Abruf von Sicherheitsinformationen auch im Zusammenhang mit dem Betriebszustand der Anlage,
- Einsatz unkonventioneller Inspektionsmaßnahmen durch Verwendung von Sensoren, wie zum Beispiel Geräusch, Infrarotabstrahlung, Vibration, Geruch usw.
- Unterstützung beim Erstellen des Inspektionsberichtes.

2.3 Funktionale Aspekte

2.3.1 Digitale Handbücher

Der allgegenwärtige Zugriff auf beliebige Informationsquellen und -systeme ist durch den Einsatz von Wearable Computern und drahtlosen Netzen auch für mobile Tätigkeiten verfügbar geworden. Die richtige Information zum richtigen Zeitpunkt anzuzeigen, ist einer der wesentlichen Ansprüche an digitale Handbücher, die durch Wearable Computing bereitgestellt werden.

Die Anwendung und der Kontext bestimmen die Informationen, die während einer mobilen Tätigkeit benötigt werden. Eine Voraussetzung für den Erfolg von Wearable Computing wird sein, diese Kontexte weitgehend automatisch zu ermitteln, also möglichst ohne dass die Benutzer explizite Eingaben tätigen müssen. Benutzermodellierung, Aufgaben- und Prozessmodellierung, räumliches Schließen, automatisches Lernen, Context Awareness usw. sind Forschungs- und Entwicklungsthemen, die Lösungen für diese Problematik liefern werden. Beim Einsatz eines am Körper getragenen Computers ist die Erfassung und die Auswertung des Kontextes allerdings leichter zu bewältigen als bei einem stationären System, da allein schon der Ort und die Umgebung bedeutungsvolle Hinweise geben können. Erforderlich ist die Integration einer entsprechenden Sensorik und auch die Ver-

bindung mehrerer Sensoren zu einem System (Sensor Fusion), was wiederum eine intelligente Interpretation erfordert. Auch wenn bisher solche Systeme nicht kommerziell verfügbar sind, kann davon ausgegangen werden, dass hier eines der wichtigsten Entwicklungspotenziale des Wearable Computing liegen wird.

2.3.2 (Semi-)automatische Dokumentation

Ein weiteres noch nicht ausgeschöpftes Potenzial des Wearable Computing stellen mobile Dokumentationssysteme dar, die während einer mobilen Tätigkeit eingesetzt werden, um die Arbeit der Benutzer weitgehend automatisch zu protokollieren, aktuelle Messwerte zu speichern usw. Diese Informationen sind sofort vor Ort und ebenfalls möglichst ohne größeren Arbeitsaufwand der Benutzer so aufzubereiten, dass die Dokumentation in eine bestehende Wissensbasis oder ein Informationssystem integriert wird und zu einem späteren Zeitpunkt wieder verfügbar ist. Erste Ansätze in diese Richtung wurden bereits für verschiedene Inspektionsszenarien und auf unterschiedliche Art umgesetzt ([www5]). Hier bestehen noch viele Ausbaumöglichkeiten nicht nur hinsichtlich des professionellen Einsatzes in der Instandhaltung.

Ein dazu passendes Anwendungsbeispiel ist ein System zur Unterstützung bei der Qualitätssicherung im (verteilten) Schiffbau ([www4]), das u.a. aus einem Wearable Computer der Firma ViA besteht, der um eine Digitalkamera ergänzt wurde. Während des Baus eines Schiffes werden die Bestandteile an verschiedenen Orten gefertigt und später zusammengefügt. Dieser Vorgang wird genauestens überwacht. Dafür benötigt der Inspekteur, der vor Ort für die Qualitätssicherung verantwortlich ist, den Zugriff auf alle Manuals und Zeichnungen. Um entstehende Fehler frühzeitig zu beheben, wird der Zusammenbau begutachtet und dokumentiert, u.a. mit Fotos, und umgehend an Experten im Backoffice weitergeleitet.

Ein anderes Anwendungsbeispiel für eine weitgehend automatische Dokumentation ist das Winspect-Projekt ([BHRV99], [BNSS01], [RNB02]), das im folgenden Abschnitt vorgestellt wird: Für die Inspektion von Industriekranen wurde ein Wearable-Computing-System konzipiert und in Teilen prototypisch realisiert, das die Benutzer bei der Durchführung ihrer Arbeit unterstützt, indem es den kompletten Inspektionszyklus abbildet, aber der Ausführenden nicht vorgibt, in welcher Reihenfolge sie ihre Arbeit durchzuführen haben. Bei der Benutzung dieses Systems wird jede Befundung automatisch aufgezeichnet und steht im firmeneigenen Informationssystem umgehend zur Verfügung.

3 Fallbeispiel Winspect – Wearable Computing in der Inspektion

In diesem Abschnitt wird exemplarisch für die Anwendung „Inspektion“ das Projekt Winspect dargestellt, das am Technologie-Zentrum Informatik (TZI) in Kooperation mit den Stahlwerken Bremen durchgeführt wurde (gefördert durch das Land Bremen). Ziel war es, ein Wearable-Computing-System zur Unterstützung der Kransinspektion zu konzipieren und prototypisch umzusetzen.

3.1 Die Ausgangssituation

Die Produktion von Stahl erfordert ein großes Ausmaß an Transporten zwischen den verschiedenen Produktionsschritten; diese werden von Kränen durchgeführt. Der Ausfall eines Krans verzögert die gesamte Produktion und verursacht enorme Kosten, weshalb die Stahlwerke Bremen eine Null-Fehler-Strategie anstreben: Störungsbedingte Ausfälle während der Produktion sollen durch eine regelmäßige, qualitativ hochwertige Inspektion des technischen Zustands jedes Krans weitgehend vermieden werden. Bisher ist diese Inspektion noch ein manueller Prozess, der mit vielen administrativen Arbeiten verbunden ist. Zurzeit wird er nur mit Papier und Stift unterstützt, da die Evaluation herkömmlicher IT-Hardware ergeben hat, dass Handheld-Geräte wegen der erforderlichen Handhabung hier nicht eingesetzt werden können, da es keine Ablageflächen gibt und beide Hände gebraucht werden. Bei der Durchführung einer Inspektion erklettert ein Inspekteur den Kran, begutachtet jede relevante Komponente und dokumentiert die Befundung, dies häufig erst, wenn er den Kran wieder verlassen hat (oder zu einem noch späteren Zeitpunkt).

Die handschriftlichen Notizen werden anschließend eventuell sogar von einer anderen Person in ein digitales Inspektionsprotokoll übertragen. Dieses Vorgehen hat sich in mehrerlei Hinsicht als sehr fehlerträchtig erwiesen: Die zeitliche Verzögerung zwischen Begutachtung und Aufschreibung sowie das „Abtippen“ lässt Informationen verloren gehen, u.a. weil aus Zeitmangel nur die kritischen Befunde in das IT-System übernommen werden. Darüber hinaus ergibt sich eine zu große zeitliche Lücke zwischen der Beobachtung einer Veränderung und ihrer Bekanntgabe im Informationssystem. Der Wunsch nach einer digitalen Just-in-time-Inspektionsdokumentation ging beim Anwender einher mit dem Wunsch, vor Ort auf eine umfassende technische Dokumentation jedes Krans zugreifen zu können, die sowohl technische Beschreibungen als auch Zeichnungen der verschiedenen Komponenten enthält.

3.2 Anforderungen

In enger Zusammenarbeit mit den Stahlwerken Bremen wurden die Anforderungen ermittelt, insbesondere an die Benutzung eines mobilen IT-Systems. Es muss folgende Charakteristika aufweisen:

- Die *primäre Aufmerksamkeit* der Benutzerin muss den Gegenständen der realen Welt gewidmet sein. Da die kognitiven Ressourcen des Inspektors begrenzt sind, darf er nicht mit zusätzlichen visuellen und auditiven Informationen überladen werden.
- *Qualitative Zustände* von Teilen und Komponenten des inspizierten Krans sollen dokumentiert werden. Im Anwendungsbeispiel gibt es mehr als hundert unterschiedliche Großkrane an verschiedenen Orten, die jeweils ca. hundert Komponenten mit bis zu zehn Unterkomponenten haben. Dazu zählen z.B. Bremsen und Motoren. Eine Unterkomponente einer Bremse ist z.B. der Bremsbelag.
- Große, detailreiche, technische Zeichnungen müssen *dargestellt* und in ihnen *navigiert* werden können. Bereits die Größe von Desktop-Bildschirmen reicht hierfür nicht aus. Das Problem verschärft sich noch, wenn technische Zeichnungen oder Blaupausen auf einem Wearable Display mit einer z. Zt. vergleichsweise niedrigen Auflösung benutzt werden.
- Der Inspekteur muss während seiner Tätigkeit *Sicherheitskleidung*, insbesondere Arbeitshandschuhe tragen. Sie sind aus festem Leder gefertigt und machen dadurch die Benutzung vieler kommerziell verfügbarer Eingabegeräte unmöglich.

3.3 Prototyp

Als aufgabenspezifischer Lösungsansatz wurde der Prototyp eines Inspektionsassistenten entwickelt, bestehend aus einem handelsüblichen Wearable Computer der Firma Xybernaut mit drahtloser Netzanbindung und monokularem HMD (Head Mounted Display), einem um Sensorik und Eingabetechnologie erweiterten handelsüblichen Arbeitshandschuh sowie einem auf die „beiläufige“ und „freihändige“ Benutzung hin optimierten Interaktionskonzept. Einem Inspekteur wird eine mobile Computerunterstützung für die direkte elektronische Erfassung bei der Befundung angeboten, ohne dass er einen Computer in die Hand nehmen muss und ohne dass ihm der Arbeitsablauf vorgegeben wird.

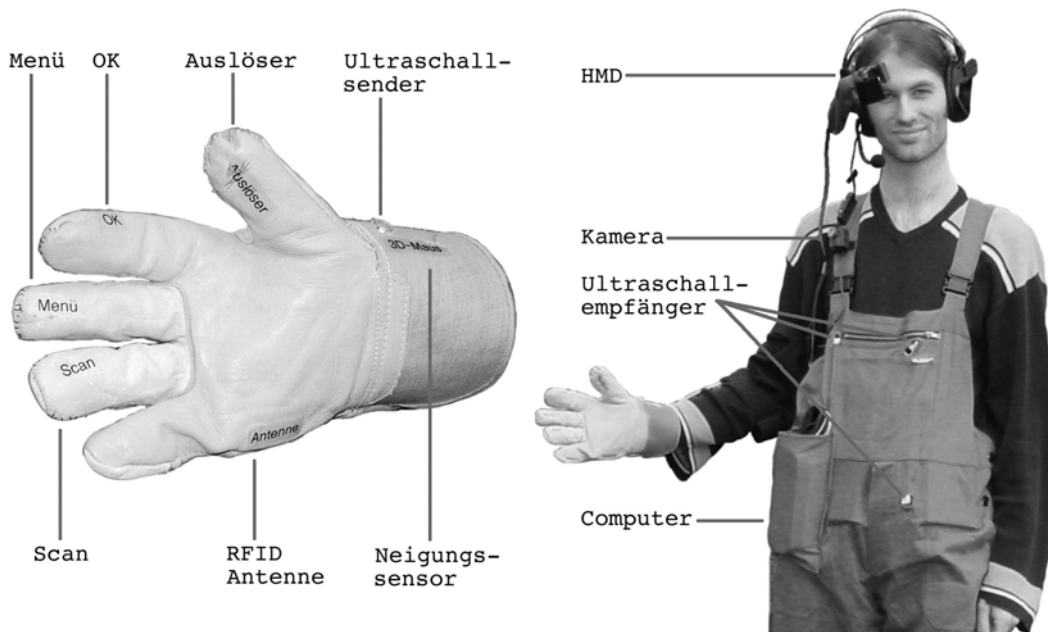


Abbildung 1: Komponenten des Winspect-Prototyps

3.4 Informationspräsentation und Interaktion

Die elektronische Erfassung eines Befundes vor Ort erfolgt in drei Schritten: zuerst wird die zu inspizierende Komponente festgelegt, danach die Unterkomponente, und schließlich kann der qualitative Zustand elektronisch dokumentiert werden. Zur Auswahl der nächsten zu inspizierenden Komponente wurde eine implizite Interaktion gewählt: Sie wird mittels Transpondertechnologie elektronisch identifiziert. Aufgrund der räumlichen Entfernung zwischen den einzelnen inspektionsrelevanten Komponenten kann ein RFID-System (Radiofrequenz Identifikation) eingesetzt werden. Dazu wird jede Komponente mit einem sog. „Tag“ markiert und im Handschuh des Inspektors ein entsprechender Sensor installiert, der am Wearable Computer angeschlossen ist ([BW00], [SGM00]). Das Computersystem identifiziert bei Annäherung die jeweilige Komponente, ohne dass eine explizite Eingabe erforderlich ist. Im HMD erscheint daraufhin geordnet nach Priorität eine Auswahlliste mit allen Unterkomponenten, aus der ein Inspekteur durch explizite Eingabe ein beliebiges Element auswählt. Per Neigungssensor wird durch Handdrehung der nächste Inspektionsschritt oder die gewünschte Subkomponente ausgewählt und dadurch im Display besonders markiert. Eine Taste in einer Fingerspitze des Handschuhs legt die Auswahl fest. Sie erfolgt durch ein explizites, nicht-mechanisches Auslöseprinzip, so dass bei der Arbeit am Kran keine versehentliche Auswahl möglich ist. Jede Eingabe erfolgt ausschließlich durch „beiläufige“ Gesten der behandschuhten Hand und ohne etwas in die Hand zu nehmen.



Abbildung 2: Oberfläche für die Eingabe von Inspektionsbefunden

Das entwickelte Interaktionskonzept zielt auf die Minimierung der expliziten Interaktion ab. Für die Auswahl aus den Checklisten wurde kein expliziter Mauszeiger realisiert, sondern eine direkte Kopplung der Bewegung der Hand mit dem Inhalt der Checkliste. Die gleiche Interaktion gilt für die Befundung. Das Ergebnis steht dann nach der Übertragung, z. B. durch ein WLAN, sofort im Firmeninformationssystem zur Weiterverfolgung zur Verfügung. Zur Eingabe eines Befundes sind somit nur zwei Handdrehungen und zwei Tastendrucke nötig. Entfernt sich der Inspekteur von der aktuellen Komponente, verschwindet sie auch aus dem Display. Auch die Anzeige wurde auf ihre wesentlichen Elemente reduziert, da der Inspekteur seine Aufmerksamkeit primär den Komponenten des Krans widmet und nur hin und wieder das monokulare Display konsultiert. Durch die Minimierung der Anzeigeelemente wird einerseits seine Aufmerksamkeit nicht abgelenkt, andererseits wird sein Blick beim Benutzen des Informationssystems sofort auf den eindeutig gekennzeichneten Fokus geleitet.

3.5 Navigation in Dokumenten

Eine geeignete technische Dokumentation besteht im Allgemeinen aus einer Vielzahl von Dokumenten, die wie ein Hypertext mittels Verlinkung referenziert werden können. Dokumente können im vorliegenden Anwendungsbeispiel Texte,

technische Zeichnungen, und Fotografien sein. Das Anzeigesystem muss die Beschränkungen des Bildschirms ausreichend kompensieren und eine Navigation über Links ermöglichen. Ein entsprechendes System zur Kompensation der relativ geringen Auflösung eines HMD wird in [Rei93] beschrieben: Der Bildschirm zeigt nur einen Ausschnitt eines größeren Bildes an. Durch die Kopfbewegung wird dieses Sichtfenster über das gesamte Bild bewegt, so dass der betrachtete Ausschnitt intuitiv gewählt werden kann.

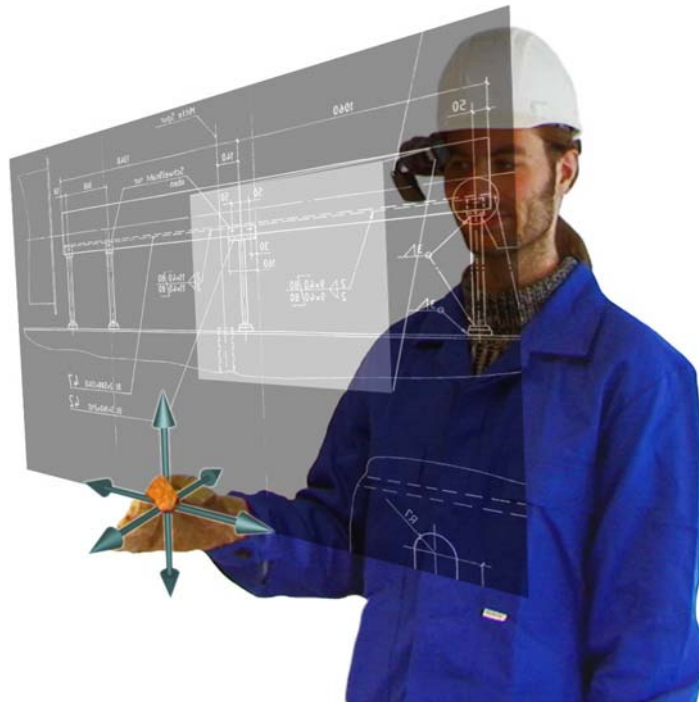


Abbildung 3: 3D-Navigation in Dokumenten

Für die Realisierung des Winspect-Prototypen wurde die Metapher vom beweglichen Sichtfenster zur Navigation in einem Dokument auf eine andere Art umgesetzt: Die dreidimensionale Position des Handschuhs relativ zum Körper der Benutzerin wird mittels eines Ultraschallsensors vom Wearable-Computer-System erfasst und kontinuierlich beobachtet. Solange eine entsprechende Taste im Handschuh gedrückt ist, folgt das „Sichtfenster“ der Bewegung der Hand. So wird das Dokument vor dem Auge des Betrachters auf eine sehr direkte Art und Weise seitlich in alle Richtungen bewegt. Zusätzlich wird die Bewegung der Hand zum Körper hin, bzw. von ihm weg ebenfalls registriert. Diese Bewegung wird als Befehl zur Verkleinerung bzw. Vergrößerung des Sichtfensters interpretiert. Für den Benutzer entsteht der Eindruck, er halte das Dokument in der Hand: ein großer Abstand entspricht dem Überblickverschaffen, Nähe zeigt Details. Dadurch spielt die Auflösung und Größe des Bildschirms eine untergeordnete Rolle. Der Wechsel von einem Dokument zu einem anderen – das Navigieren in der Doku-

mentenstruktur – kann mit der gleichen Interaktionstechnik mittels eines Links bewerkstelligt werden.

3.6 Erweiterungen von Winspect

Der hier beschriebene Prototyp lässt sich in mehrere Richtungen erweitern. Es wurde z.B. vorerst darauf verzichtet, die Computergrafik mit bestimmten Objekten in der Umgebung zu registrieren. Zum einen erschien die verwendete Methode für den Anwendungsfall ausreichend, andererseits konnte auf diese Weise ein Computer mit relativ geringer Energieaufnahme eingesetzt werden, der den Inspekteur aufgrund der geringen Ausmaße bei seiner Arbeit nicht unangemessen einschränkt. Mit steigender Leistungsfähigkeit mobiler Computer wird dieses Argument allerdings hinfällig. So werden zukünftig aufwändigere Visualisierungen möglich sein, durch die, falls erforderlich, eine bessere Arbeitsunterstützung geleistet werden könnte, z.B. wenn eine Visualisierung der Informationsflüsse benötigt wird, wie sie in [Boh98] beschrieben ist.

Eine andere mögliche Erweiterung betrifft die Erstellung von Modellen der zu inspizierenden Krane. Wegen ihrer großen Anzahl und individuellen Vielfalt würde die Erstellung der benötigten Modelle einen sehr großen Aufwand erfordern. Um dieses Problem zu lösen, ist die Generierung des erforderlichen Modells des aktuell im Einsatz befindlichen Krans während der Inspektion durch den Inspekteur selbst eine Möglichkeit. Dazu könnten u.a. ontologiebasierte Konfigurationsmethoden eingesetzt werden [RSW+02].

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde eine Vielzahl von Anwendungsgebieten aufgezeigt, die von mobiler Informationsverarbeitung allgemein und im Speziellen von Wearable-Computing-Lösungen profitieren können. Zunächst wurden die Eigenschaften des Wearable Computing und Besonderheiten mobiler Tätigkeiten erläutert, um dann den Blick auf Anwendungen im industriellen Bereich und insbesondere auf die Instandhaltung zu lenken. Am Beispiel des Winspect-Prototypen wurde exemplarisch eine Lösung für die Unterstützung eines Inspektionsprozesses in einem Stahlwerk vorgestellt, um zu verdeutlichen, dass die bekannte Metapher des Desktop-Computing zur Gestaltung von mobilen Tätigkeiten kein angemessenes Leitbild ist.

Momentan ist keine generelle Lösung zur Unterstützung mobiler Tätigkeiten, weder in Form geeigneter Hardware noch als Software, in Sicht. Es ist im Gegenteil eher wichtig, die spezielle Anwendung zu analysieren und die spezifischen Ar-

beitsprozesse zu untersuchen, um aufgabenspezifische Lösungen zu generieren, die erfolgreich eingesetzt werden können und eine tatsächliche Arbeitserleichterung bzw. eine Produktivitätssteigerung erbringen. Durch die besondere körperliche Nähe des Computers zum Benutzer ist es wichtiger denn je, das Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine als soziotechnisches System zu begreifen, in dem der Nutzer der essentielle Teil ist.

Darüber hinaus muss der gesamte Arbeitsprozess in den Entwurf eines mobilen Unterstützungssystems mit einbezogen werden, denn es sollte das Ziel sein, die Lücken in der elektronischen Datenverarbeitung zu schließen und somit den Dualismus von elektronischen Dokumenten auf der einen Seite und Dokumenten in Papierform auf der anderen aufzuheben. Die Mensch-Maschine Interaktion ist eines der zentralen Themen bei der Gestaltung einer konkreten technischen Lösung. Beim Wearable Computing, wie auch bei der Augmented Reality, geht es im Allgemeinen darum "mit", bzw. "durch" den Computer zu arbeiten, anstatt eine Arbeit "am" Computer zu verrichten. Eine angemessene Würdigung dieser Erkenntnis wird die Qualität zukünftiger Lösungen bestimmen.

Literatur

- [Bas01] Bass, L. et.al.: Constructing Wearable Computers for Maintenance Applications. In: Barfield, W.; Caudell, T.: Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. LEA Publishers, 2001. S. 663-694.
- [BC01] Barfield, Woodrow; Caudell, Thomas (Eds.): Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. Lawrence Erlbaum: Mahwah, NJ, London, 2001
- [BHRV99] Boronowsky, M.; Herzog, O.; Ranze, K.C.; Visser, U.: Winspect: Wearable Computing in Inspection. ICWC, Stuttgart, 1999.
- [BNSS01] Boronowsky, M.; Nicolai, T.; Schlieder, C.; Schmidt, A.: Winspect: A Case Study for Wearable Computing-Supported Inspection Tasks. In: Proc. of ISWC'01, 2001, S.163-164.
- [Boh98] Bohuszewicz, O. von: Die Cyberbikes AG: Geschäftsprozessvisualisierung in einer Virtuellen Umgebung. In: Rügge, I. et al. (Hrsg.): Arbeiten und begreifen: Neue Mensch-Maschine-Schnittstellen. LIT Verlag: Münster 1998, S.107-115.
- [BW00] Boronokwsky, M.; Werner, A. : Applying Wearable Computers in an Industrial Context. International Conference onWearable Computing, Fairfax, 2000.
- [Fei93] Feiner, S., MacIntyre, B., Seligmann, D.: Knowledge-based Augmented Reality, In: Communications of the ACM, Vol. 36, Heft 7, S. 53-62, July 1993.
- [Kor99] Kortuem, G.; Bauer, M.; Segall, Z.: NETMAN: The Design of a Collaborative Wearable Computer System. In: Journal on Mobile Networks and Applications (MONET), Vol.4, No.1, ACM/Baltzer, 1999, S.49-58

- [Nor99] Norman, D A.: The Invisible Computer: Why Good Products Can Fail, the Personal Computer is so Complex, and Information Appliances are the Solution. MIT Press, 1. Taschenbuch Auflage, 1999.
- [Rei93] Reichlen, B.: One Hundred Million Pixel Display. In: Proc. of VRAIS '93, 1993, S.300-307
- [Rho97] Rhodes, B.J.: The Wearable Remembrance Agent: A System for Augmented Memory, In: Proc. of ISWC (1st International Symposium on Wearable Computers), Cambridge, Massachusetts, USA, 13./14. Oktober 1997.
- [RSW+02] Ranze, Ch., Scholz, Th., Wagner, Th., Günter, A., Herzog, O., Hollmann, O., Schlieder, Ch., Arlt, V.: A Structure Based Configuration Tool: Drive Solution Designer – DSD. In: 14th Annual Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence (IAAI-02), AAAI, 2002, S. 845-852.
- [Rue02] Rügge, I.: Studie „Technologische und anwendungsorientierte Potenziale mobiler, tragbarer Computersysteme“. TZI-Bericht 24, Universität Bremen, 2002.
- [RNB02] Rügge, I., Nicolai, T., Boronokwsky, M.: Computer im Blaumann. In: USE-WARE 2002. Mensch-Maschine-Kommunikation/Design. VDI/VDE, 2002. VDI-Berichte Nr. 1678, S. 105-110.
- [Sch00] Schmidt, A.: Implicit Human Computer Interaction Through Context. In: Personal Technologies Vol. 4(2), 2000 S.191-199.
- [SGM00] Schmidt, A., Gellersen, H.W., Merz, C.: Enabling Implicit Human Computer Interaction – A Wearable RFID-Tag Reader. In: Reader ISWC2000, 2000, S. 193-194.
- [Sma98] Smailagic, A.; Siewiorek, D.; Martin, R.; Stivoric, J.: Very Rapid Prototyping of Wearable Computers: A Case Study of VuMan 3 Custom versus Off-the-Shelf Design Methodologies. In: Journal on Design Automation for Embedded Systems. Vol.2/3, Kluwer Academic Publ., 1998, S. 217-230
- [Web96] Webster, A., Feiner, S., MacIntyre, B., Massie, W., Krueger, T. : Augmented Reality in Architectural Construction, Inspection, and Renovation. In: Proceedings of ASCE 3d Congress on Computing in Civil Engineering, 1996, S. 913-919
- [Wei91] Weiser, M.: The Computer for the Twenty-First Century. Scientific American, September 1991, S. 94-104.
- [www1] <http://www.arvika.de> gesehen 30.4.2003
- [www2] <http://www.golem.de/0004/7459.html> vom 28.4.2000, gesehen 30.4.2003
- [www3] <http://www.flexipc.com/product/Images/inspect.pdf>, gesehen 30.4.2003
- [www4] <http://www.flexipc.com/product/Images/Industrial.pdf>, gesehen 30.4.2003
- [www5] <http://www.wearlab.de/DOCS/studie/studie.html> gesehen 30.4.2003