

# WEARABLE COMPUTER: DER ENTWURF MOBILER IT-SYSTEME ZUR UNTERSTÜTZUNG VON ARBEITSPROZESSEN IM BAUWESEN

Christian Bürgy; Jan Reinhardt; James H. Garrett, Jr.  
Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA

**Kurzfassung:** Die Erstellung eines Bauwerkes bedingt eine Vielzahl von Datenerfassungs-, Dokumentations- und Kommunikationsprozessen. Der daraus resultierende Verwaltungsaufwand kann durch den Einsatz moderner Informationstechnologien (IT) auf der Baustelle reduziert werden. Jedoch fehlt oft „die letzte Meile“ dieser digitalen Informationskette. Viele Daten werden vor Ort erfasst, auf Papierlisten zusammengetragen und schließlich manuell in den PC eingegeben. Diese Medienbrüche können durch die Nutzung von „Wearable Computern“ – am Körper getragene, freihändig bedienbare Kleinstcomputer – vermieden werden. Diese IT-Unterstützung ist direkt auf der Baustelle verfügbar. Im folgenden beschreiben wir einige Aspekte des Systementwurfs für solche mobilen IT-Systeme, die sowohl die Abstimmung der Hardware als auch der Anwendungssoftware auf die zu unterstützende Tätigkeit und die Arbeitsumgebung erfordern.

## 1 Einleitung

Direkt am Körper getragene Computer ermöglichen Effizienzsteigerungen in vielen Industriebereichen, indem sie Informationstechnologien direkt an den Arbeitsplatz bringen. Durch Nutzung von Sprachsteuerung bleiben beide Hände für die eigentliche Tätigkeit des Arbeiters frei. Diese „Wearable Computer“ (siehe Abb.1) können beispielsweise auf der Baustelle oder im Feld, fernab von Baucontainer oder Büroschreibtisch eingesetzt und mittels drahtloser Datenübertragung in die vorhandene IT-Umgebung eingebunden werden. Sie bieten Zugriff auf aktuelle Daten des Firmenintranets und des Internets, stellen benötigte Anwendungssoftware bereit und erleichtern die Kommunikation mit Projektpartnern, Kunden und Kollegen[1].

Bisher werden viele Tätigkeiten wie z.B. Baufortschrittskontrolle, Mängelbeseitigung oder Inspektionen noch nicht ausreichend durch Computer unterstützt. Die

Datenerfassung vor Ort erfolgt meist auf Papier mit anschließender manueller Dateneingabe in ein stationäres Computersystem. Diese Medienbrüche in der Übertragung sind ineffizient und fehleranfällig. Neben der Computer-unterstützten Datenerfassung können u.a. auch elektronische Handbücher, Online-Bestellsysteme und Trainingssoftware zum Einsatz kommen.

Allerdings gibt es – im Gegensatz zum Desktop-Computer – noch keine Standardanwendungen, die den sofortigen Einsatz eines Wearable Computers in der Arbeitsumgebung ermöglichen. Die Software für diese mobilen Computersysteme muss zumindest angepasst, meist aber jedoch von Grund auf neu entwickelt werden. Mobile Geräte werden zudem in verschiedenen Arbeitsumgebungen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen eingesetzt, so erlauben z.B. viele Arbeitsprozesse auf der Baustelle nicht den Einsatz von Tastatur und Maus. Die einhändige oder freihändige Bedienung des Gerätes ist oft die einzige Möglichkeit, die Nutzer adäquat in der Durchführung ihrer Hauptaufgabe, der eigentlichen Bautätigkeit, zu unterstützen. Somit muss bereits im Software-Entwurf darauf geachtet werden, dass neue Interaktionsmechanismen wie z.B. Sprachsteuerung zum Einsatz kommen. Neben den Arbeitsprozessen spielen die Umgebung und die Zielhardware eine große Rolle im Entwurfsprozess. Die Umgebung entscheidet im Wesentlichen über die Einsatzmöglichkeit verschiedener Mensch-Maschine-Interaktionen, und die Konfiguration des Wearable Computers bestimmt über die Verfügbarkeit von Ein- und Ausgabemedien. Nur durch einen ganzheitlichen Systementwurf kann die Entwicklung von anwenderfreundlichen, nützlichen Wearable Computer-Systemen gelingen. Im folgenden beschreiben wir drei Schwerpunkte eines solchen Systementwurfs:

- die Randbedingungen für den Einsatz mobiler Geräte im Bauwesen, wie z.B. die Verfügbarkeit drahtloser Netzwerke im Baustellenbereich;
- die Nutzerinteraktion mit dem Wearable Computer, v.a. die sprachgesteuerte freihändige Bedienung des Computers; und
- die Randbedingungen für den Software-Entwicklungsprozess mobiler Anwendungen für Wearable Computer.

## **2 Wearable Computer auf der Baustelle**

Bauwerke sind in der Regel Unikate, deren Herstellungsprozess sehr umfangreich ist und sich durch einen hohen Grad der Diversifikation der zu verrichtenden Arbeiten auszeichnet. Daraus resultiert eine hohe Zahl von Projektbeteiligten aus verschiedenen Firmen bzw. Fachabteilungen. Diese hohe Zahl der beteiligten Parteien, die allesamt unterschiedliche Interessen vertreten, birgt ein hohes Konfliktpotenzial und verlangt einen umfassenden, genau geregelten Informationsaustausch der Parteien.

Die zahlreichen Vertragsverhältnisse, die bei einem Bauprojekt eingegangen werden, haben eine bestimmte Bauleistung zum Gegenstand. Das Erbringen der geschuldeten

Leistung im vereinbarten Umfang, in der vereinbarten Qualität und zum vereinbarten Termin ist Grundlage für die Vergütung. Werden die im Vertrag genannten Kriterien nicht erfüllt, kann dies Grund für eine verminderte Vergütung oder sogar für Schadensersatzansprüche sein.

Um Umfang, Qualität und Termintreue der Bauleistung bestimmen zu können, müssen Daten auf der Baustelle erfasst werden. Um den Umfang einer Bauleistung bewerten zu können, muss ein Aufmaß der fertiggestellten Leistung erstellt werden, das oft Grundlage für die Abrechnung einer Bauleistung ist. Die Qualität der Bauleistung kann nur durch eine Inaugenscheinnahme der erstellten Bauteile geschehen. Die Termintreue einer Bauleistung kann nur kontrolliert werden, wenn der Baufortschritt direkt auf der Baustelle gemessen wird. Daraus lassen sich generell zwei Hauptanwendungsbereiche für Wearable Computer im Bauwesen ableiten:

- die Datenerfassung und Dokumentation der bauseitigen Informationen, und
- die Kommunikation der am Bauprozess beteiligten Parteien.



Abb. 1: Wearable Computer der Firmen VIA (links, mit handgehaltenem Display) und Xybernaut (rechts, mit kopfgetragenen Display)

## 2.1 Datenerfassung und Dokumentation

Um den hohen Erfassungs- und Dokumentationsaufwand auf der Baustelle zu reduzieren, hat sich in den letzten Jahren der Einsatz von Computern auf Baustellen etabliert. Für die einzelnen Phasen eines Bauprojektes werden spezielle Softwarelösungen wie z.B. CAD-Systeme, Ausschreibungssoftware oder baubetriebliche Anwendungen angeboten. Die meisten Informationen werden direkt auf der Baustelle generiert, meist aber erst im Baubüro bearbeitet und genutzt. Durch die Vielzahl der zu erfassenden Daten müssen bei der Datenerfassung vor Ort manuelle Aufzeichnungen gemacht werden. Hierbei werden die Daten mindestens zwei Mal per Hand übertragen [2]. Eine deutliche Reduzierung der manuellen Bearbeitung von Daten kann erreicht werden, wenn die zu erfassenden Daten:

- a) vor Ort auf der Baustelle in einen Computer eingegeben werden, oder
- b) durch einen Computer direkt erfasst werden.

## 2.2 Kommunikation auf der Baustelle

Eine weiterer Prozess, der durch Wearable Computer unterstützt werden kann, ist die Kommunikation auf der Baustelle selbst bzw. zwischen Baustelle und Firma. Arbeiten, die vor Ort ausgeführt werden, bedürfen oftmals der Rücksprache mit Kollegen, Architekten oder Ingenieuren, die nicht immer vor Ort sind. Arbeitsprozesse auf Baustellen können sich stark verzögern, wenn Entscheidungen nicht zeitnah getroffen werden können oder Unterlagen nicht verfügbar sind. Gegenwärtig erfolgt diese Ad-hoc-Informationsbeschaffung oft per Mobiltelefon. Dies bringt allerdings zwei wesentliche Nachteile mit sich: a) es muss ein Ansprechpartner, der die gewünschte Information im Büro vorhält, verfügbar sein, und b) die Art der Informationen, die übertragen werden können, sind auf eine mündliche Beschreibung beschränkt.

Um eine Lösung für die beschriebene Problematik zu entwickeln, müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die benötigten Informationen müssen elektronisch verfügbar sein. Dies setzt allerdings voraus, dass netzbasierte Kooperationswerkzeuge und Dokumentenmanagementsysteme implementiert und für alle Projektbeteiligten an zentraler Stelle vorgehalten werden. Die Anzahl der direkt an Personen gerichteten Anfragen kann dadurch verringert werden.
- Um von der Baustelle aus an die gewünschten Informationen zu gelangen, benötigt der mobile Mitarbeiter außerdem einen Zugang zum Internet bzw. dem firmeneigenen Intranet. Gegenwärtig stehen dafür Funknetzwerke und drahtlose Modems zur Verfügung. Funknetzwerke sind bezüglich der Bandbreite der Datenübertragung leistungsfähiger als Modems, haben aber eine geringere Reichweite und bedürfen einer speziellen Hardwareinfrastruktur. Für einfache Abfragen und Datenübertragungen sind Modems daher geeigneter. Ist es jedoch notwendig Daten mit höherer Bandbreite zu übertragen, wie z.B. Zeichnungen oder gar Videosequenzen, sollten Funknetzwerke zum Einsatz kommen.

## 3 Sprach-Interaktion mit dem Computer

Für die IT-Unterstützung baulicher Tätigkeiten muss gewährleistet sein, dass die eigentliche Bautätigkeit nicht behindert wird. Werden hierbei beide Hände benötigt, z.B. zur Montage von Bauteilen oder zur eigenen Absicherung auf einem Gerüst, so muss die Bedienung des Wearable Computers freihändig erfolgen oder auf den nächsten Tätigkeitsschritt verschoben werden, der mindestens eine Hand für die Bedienung des Computers frei lässt. Diese freihändige Mensch-Maschine-Interaktion kann mit verschiedenen „User Interfaces“ realisiert werden [3], z.B. durch Spracherkennung, Eye-Tracking oder Handzeichenerkennung. Die Spracherkennung ist hierbei die am weitesten entwickelte Technologie, die am ehesten bei den im Bauwesen Beschäftigten

Akzeptanz finden wird. Im folgenden stellen wir die wichtigsten Merkmale und Probleme beim Einsatz von Sprachsteuerung für Wearable Computer auf der Baustelle dar.

### **3.1 Sprecherabhängigkeit**

Sprecherabhängige Spracherkennungssysteme müssen vor der Nutzung trainiert werden, d.h. der zukünftige Nutzer muss einige Minuten lang Texte in das jeweilige System sprechen. Sprecherunabhängige Systeme kommen ohne dieses Training aus, und der Sprecher kann während der Laufzeit gewechselt werden. Solche sprecherunabhängigen Systeme kommen z.B. bei Telefonauskünften zum Einsatz, bei denen der Nutzer im Voraus nicht bekannt ist. Zwar sind die Erkennungsraten bei trainierten Systemen in der Regel höher, als bei untrainierten, jedoch überwiegen v.a. im Multiuser-Betrieb und beim Test von Prototypen die Vorteile der Sprecher-Unabhängigkeit: Das System ist sofort für jeden Nutzer einsetzbar.

### **3.2 Erkennungsmodus**

Als Erkennungsmodus wird bezeichnet, auf welche Weise die Spracherkennungssoftware „zuhört“. Werden „isolierte Wörter“ erkannt, so wartet das System auf einen spezifischen Befehl, wartet es dagegen auf „Schlüsselwörter“, so kann der Befehl auch innerhalb eines Satzes erkannt werden. Schließlich kann man die Erkennung im „Zahlenmodus“ ablaufen lassen, was die Eingabe von numerischen Werten erleichtert. Der aus der Büroanwendung bekannte Diktiermodus, bei dem das System fortlaufend nicht-vordefinierten Text erkennt, ist v.a. wegen der umständlichen Korrektur und den nicht optimalen Erkennungsbedingungen (wie z.B. hoher Lärmpegel) auf der Baustelle, zurzeit noch nicht sinnvoll einsetzbar. Denkbar ist aber eine Lösung, die kontext-bezogene Textbausteine zur Auswahl stellt, und der Nutzer somit nur aus einer Liste auswählen muss.

### **3.3 Erkennungsrate**

Neben der Hardware-seitigen Optimierung, etwa durch geräuschunterdrückende Mikrophone oder durch Erhöhung der Rechenleistung, kann bereits bei der Softwarekonzeption auf hohe Erkennungsraten geachtet werden. Einerseits sollte die Navigation durch die Software mit wenigen Befehlen realisiert werden, andererseits sollten für komplizierte Befehlsfolgen oder für schwer sprechbare Kommandos (wie z.B. Identifikationsnummern aus Buchstaben und Ziffern) Alternativen zur Verfügung gestellt werden. Generell sollten die zu einer bestimmten Zeit zu erkennenden Worte einerseits in ihrer Zahl begrenzt sein, andererseits sollten sie möglichst unterschiedlich sein, um die Unterscheidungsmöglichkeiten und damit die Erkennungsrate zu erhöhen. Auch die Länge der Befehle ist entscheidend: Zu kurze Worte bieten zu wenige Erkennungsmerkmale, zu lange Worte sind häufig schwierig auszusprechen.

### 3.4 Randbedingungen

Der Einsatz von Spracherkennung ist aufgrund der schlechteren Erkennungsrate gegenüber Tastatur, Maus und Touchscreen nicht für alle Tätigkeiten geeignet. Ideal ist ein hybrider oder multi-modaler Softwareentwurf, der zu einer gegebenen Situation die jeweils besten Eingabe- / Ausgabemodalitäten aktiviert. Die Anwendung von Spracherkennung hängt für jede Tätigkeit von folgenden Randbedingungen ab:

- Von der Art der **Tätigkeit** (Datenerfassung, Montage, Informationssuche, ...);
- Von der **Umgebung**, in der die Tätigkeit ausgeübt wird (in einem Rohbau, unter einer Brücke, auf einem Gerüst, ...);
- Von der **Anwendung**, die diese Tätigkeit unterstützt (CAD-Programm, Kalkulationsprogramm, Dokumentenverwaltung, ...);
- Von der Art des **Wearable Computer Systems**, das verwendet wird (Ein- / Ausgabemedien, Rechenleistung, ...); und
- Von den Vorlieben des **Nutzers** (Scheu vor Spracheingabe, keine Erfahrung mit Zeigegeräten, ...)

Diese fünf Randbedingungen machen die Einbindung der zu verwendenden mobilen Hardware und der geplanten Einsatzumgebung in den Systementwurf unentbehrlich. Des Weiteren kann die Entwicklung einer nutzerfreundlichen, multi-modalen Mensch-Maschine-Interaktion nur durch die ganzheitliche Betrachtung der Kombination aus Hardware, Software und Anwendung gewährleistet werden [4]. In Kapitel 4 beschreiben wir v.a. die Einflüsse, die der Einsatz von Wearable Computern und deren Komponenten auf den Systementwurf hat.

## 4 Systementwurf statt Softwareentwurf

Beim Entwurf eines Wearable Computer Systems spielen v.a. die mobile Nutzung des Systems in verschiedenen Umgebungen und die unterschiedlichen, teilweise zur Nutzungszeit wechselnden Peripheriegeräte eine große Rolle. Einerseits müssen die benötigten Ein- und Ausgabemedien für die jeweilige zu unterstützende Tätigkeit festgelegt werden, andererseits muss die Software flexibel auf diese Veränderungen reagieren können. Um nicht für jede Anwendung den Systementwurf von Grund auf neu zu durchlaufen, müssen geeignete Entscheidungshilfen bzw. Entwurfswerkzeuge entwickelt werden. Die Kapitel 4.1 bis 4.4 stellen die Problematik dieses Systementwurfs im Hinblick auf die Hardwarekomponenten und die Interaktion mit der Umgebung vor.

### 4.1 Visuelle Interaktion

Die visuelle Interaktion, d.h. die Interaktion mittels graphischer Benutzungsoberflächen über Tastatur, Zeigegeräte und Bildschirm ist bei Desktop-Computern die am weitesten

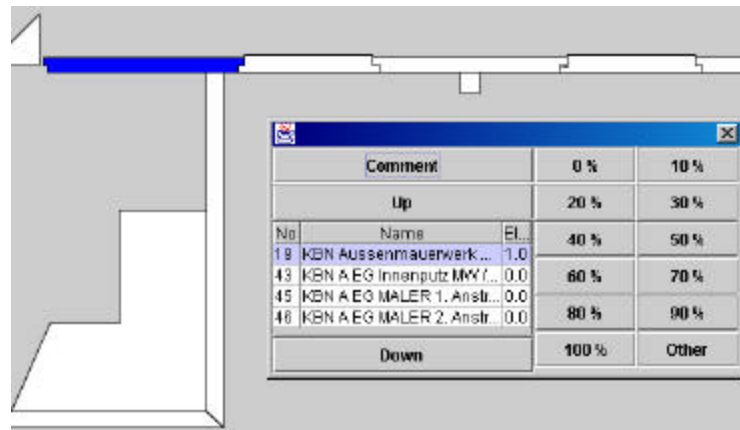
verbreitete und meist akzeptierte Form der Interaktion. Wearable Computer bieten verschiedene Arten von Displays (handgehaltene, berührungsempfindliche LCD-Bildschirme, kopfgetragene Displays), die es ermöglichen große Datenmengen sehr schnell darzustellen. Wegen des Anspruchs auf freihändige Bedienung bieten Wearable Computer aber nicht immer eine Tastatur oder ein Zeigegerät.

## 4.2 Akustische Interaktion

Die Interaktion mittels Spracheingabe und –ausgabe, bzw. die Nutzung sogenannter „Sound-Icons“, die spezielle Aktivitäten oder Zustände des Computers repräsentieren, erlauben dem Nutzer einerseits die Hände für die eigentliche Tätigkeit frei zu haben und andererseits die ständige Beobachtung des Bildschirms zu vermeiden.

## 4.3 Hybride und multi-modale Interaktion

Visuelle und akustische Interaktion können auch kombiniert werden (siehe Abb.2). Trotz sensibler Touchscreen-Technologie kann es vorkommen, dass Steuerungselemente des Programms oder Darstellungen in einer Zeichnung nicht sofort und akkurat getroffen werden. Außerdem ermöglicht es die Spracheingabe, dass sich der Bearbeiter weniger auf die Darstellung auf dem kleinen Bildschirm des Wearable Computer konzentrieren muss [5]. Einfache Eingaben können gemacht werden, auch wenn der Bearbeiter den Bildschirm nicht im Blick hat.



Das Diagramm zeigt eine schematische Skizze eines Bauprojektes auf der linken Seite und ein Intranet-Fenster auf der rechten Seite. Das Fenster enthält eine Tabelle mit den folgenden Daten:

Comment			0 %	10 %
Up			20 %	30 %
No	Name	El...	40 %	50 %
19	KBN Aussenmauerwerk...	1.0	60 %	70 %
43	KBN A EG Innenputz MW...	0.0	80 %	90 %
45	KBN A EG MALER 1. Anstr...	0.0	100 %	Other
46	KBN A EG MALER 2. Anstr...	0.0		
Down			100 %	Other

Abb. 2: Schematische Skizze eines Bauprojektes. Die einzelnen Elemente sind per Mausklick / Touchscreen oder durch Spracheingabe anwählbar. Die erfassten Daten sind sofort im Intranet verfügbar.

Der Einsatz von kopfgetragenen Displays auf Baustellen ist grundsätzlich möglich, doch ist dies aus sicherheitstechnischen Gründen für jede Tätigkeit einzeln abzuwägen, da der Nutzer durch die Konzentration auf das in das Auge eingeblendete Bildschirmbild sehr stark von seiner realen Umwelt abgelenkt werden kann. Werden beide Hände benötigt, um sich z.B. auf einem Gerüst zu sichern, ist ein kopfgetragenes Display sicherheitstechnisch vorteilhaft.

#### **4.4 Automatisierte Datenerfassung**

Eingabedaten können auch von anderen Quellen als dem Benutzer bereitgestellt werden. So können z.B. Positionierungssysteme die Navigation in Plänen automatisieren und Funkidentifikationsmarken (engl.: RFIS -Tags) sowie Strichcodes die Lokalisierung von Bauteilen erleichtern.

### **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Wearable Computer können sich als Werkzeuge auf der Baustelle nur dann durchsetzen, wenn ihr Entwurf auf die Bedingungen der mobilen Nutzung in verschiedenen Umgebungen angepasst wird. Wir haben einige Randbedingungen dieses umfangreichen Themengebietes vorgestellt und in die Problematik der ganzheitlichen Betrachtung von Hardware, Software und eigentlicher Anwendung eingeführt. Das Forschungsgebiet „Wearable Computer im Bauwesen“ steht noch am Anfang und v.a. in der Optimierung der Entwurfsprozesse für die IT-Unterstützung mobiler Arbeiter sehen wir großes Entwicklungspotenzial. Diese Forschung sollte von Industrie und Universitäten gemeinsam getragen werden, da nur durch Analyse der zu unterstützenden Tätigkeiten anwenderfreundliche Systeme entstehen können, und nur durch Praxistests in realen Arbeitsumgebungen die Alltagstauglichkeit der Geräte gewährleistet werden kann.

### **Literatur**

- [1] James H. Garrett, Jr.; Jirapon Sunkpho: „Issues in Delivering Mobile IT Systems to Field Users“; Internationales Kolloquium über die Anwendung Informatik und der Mathematik in Architektur und Bauwesen, Weimar, Juni 2000
- [2] Jan Reinhardt, James H. Garrett, Jr, Raimar J. Scherer: „The preliminary design of a wearable computer for supporting Construction Progress Monitoring“; Internationales Kolloquium über die Anwendung der Informatik und der Mathematik in Architektur und Bauwesen, Weimar, Juni 2000
- [3] Bill Manaris; Valanne MacGyvers; Michail Lagoudakis: „Universal Access to Mobile Devices through Speech Input“, 12th International Florida AI Research Symposium (FLAIRS-99), Orlando, Florida, USA 1999
- [4] Christian Bürgy; James H. Garrett, Jr; Markus Klausner; Jürgen Anlauf; Günter Nobis: „Speech-controlled Wearable Computers for Automotive Shop Workers; Proceedings to SAE World Congress, Detroit, MI, USA 2001.
- [5] Jan Reinhardt, Raimar J. Scherer: „Requirements for navigation through drawings on wearable computers by using speech commands“; ECPPM 2000, Lisabon, Portugal