

artec



Forschungszentrum Nachhaltigkeit

Carsten Rachuy, Tobias Warden

**Probleme und Chancen der Benutzerschnittstellen
bei Wearable Computern**

**artec-paper Nr. 118
Oktober 2004**

ISSN 1613-4907



Universität Bremen

artec - Forschungszentrum Nachhaltigkeit
Enrique-Schmidt-Str. 7
Postfach 330 440
28334 Bremen
<http://www.artec.uni-bremen.de>

Ausarbeitung im Rahmen des Seminars von Prof. Hans Dieter Hellige

Die Entwicklung des Mensch-Maschine-Interface von Informations- & Kommunikationsmedien

im Studiengang Informatik/Medieninformatik der Universität Bremen
im Wintersemester 2003/04

Inhaltsverzeichnis

1 Abstract	3
2 Definition - Wearable Computer	3
2.1 Portable while operational	3
2.2 Hands-free Use	4
2.3 Sensors	4
2.4 Proactive	5
2.5 Always on, always running	5
2.6 Network Capability	5
2.7 Weitere Anforderungen	5
3 Anforderungen an Wearable Bedienschnittstellen	6
3.1 Physische Anforderungen	6
3.2 Psychische Anforderungen	6
4 Ergonomie im Wearable Design Prozess	7
4.1 Position	8
4.2 Formsprache	8
4.3 Nahbereichswahrnehmung	8
4.4 Abschliessendes zur Ergonomie	9
5 Benutzerschnittstellen klassischer Wearable Systeme	9
5.1 Eingabemedien - Texteingabe	9
5.1.1 Die <i>XyberkeyTM</i> -Tastatur	9
5.1.2 Der Twiddler 2	10
5.1.3 KITTY - Keyboard Independent Touch Typing	11
5.2 Alternativkonzept für ein Zeigegerät - Winspect-Handschuh	12
5.3 Ausgabemedien	13
5.3.1 Xybernaut MA IV HMD	13
5.3.2 MicroOptical Display	14
6 Aufmerksamkeit - Ein Grundproblem aktueller Bedienschnittstellen	15
7 Alternative Wearable-Konzepte	16
7.1 Die Basis - Eine veränderte Auffassung von Wearable Computern	16
7.2 Mannigfaltigkeit durch Kombination	17
7.2.1 Arbeitssituationen	17
7.2.2 Die Daten als Zentrum	17
7.2.3 Integration des Wearables und die Bedeutung für die Mensch-Maschine-Schnittstelle	18
A Wearable Lösungen in der Praxis	19
A.1 Apple iPod & iPod mini	19
A.2 Das Smartphone SonyEriccson S700	20

1 Abstract & Thesen

Das Thema *mobiles Arbeiten* ist in letzter Zeit durch die Entwicklung immer besserer mobiler Rechnersysteme wie Laptops und PDAs¹ stark in den Vordergrund getreten. Diese Ausarbeitung soll sich mit einem anderen Bereich, nämlich dem der ultra-mobilen Geräte, den tragbaren, "wearable" Computern befassen und konzentriert sich auf die Probleme hinsichtlich der Bedienschnittstellen für diese Systeme. Dabei beschränkt sich dieser Text auf den Bereich Hardware. Probleme betreffend der Software bzw. der GUI-Ergonomie wurden von uns explizit nicht betrachtet. Insbesondere sollen folgende Themen behandelt werden:

- Was wird zur Zeit unter dem Begriff *Wearable Computer* verstanden, wie werden solche Computer definiert und welche Anforderungen existieren bezüglich solcher Systeme?
- Welche Anforderungen an die Bedienschnittstellen ergeben sich durch diese Definition und wieweit werden momentan erhältliche Eingabegeräte diesen Anforderungen gerecht?
- Existieren Alternativkonzepte hinsichtlich des Begriffes *Wearable Computing*?

Die Ergebnisse der Behandlung dieser Fragestellungen sollen die folgende Thesen untermauern:

- Die durch die klassische Form der Computernutzung etablierte Desktop-Metapher behindert die Entwicklung von optimal an den Kontext *wearable* angepassten Anwendungen und Bedienschnittstellen.
- Die momentan verfügbaren Bedienschnittstellen für Wearable Computer sind im ergonomischen Sinne schlechtere Abbildungen der auf dem Desktop-PC gebräuchlichen Geräte.
- Die Richtung, in der die momentane Entwicklung im Bereich Wearable Computer und deren Bedienschnittstellen geht, ist nicht uneingeschränkt sinnvoll. Es besteht Bedarf, neue Alternativkonzepte zu entwickeln und bereits bestehende auf ihre Brauchbarkeit hin zu überprüfen, was eventuell in einer Neudefinition des Begriffes *Wearable Computing* resultieren könnte.

2 Definition - Wearable Computer

Bevor eine Diskussion über den Begriff *Wearable Computing* und die für diese Systeme optimierten Schnittstellen geführt werden kann, bedarf es zunächst der Klärung des Begriffes *Wearable Computer*. Die nachfolgend aufgeführten Anforderungen an ein solches System orientieren sich zum einen an den von Rhodes[1] erstellten Definitionen, zum anderen an den bereits im Projekt iWear[10] mit Wearable Computern gesammelten Erfahrungen.

Weiterhin stellen diese Anforderungen keine Repräsentation des momentanen Standes der Technik in diesem Bereich dar, vielmehr sind diese so zu verstehen, dass sie aufzeigen sollen, in welche Richtung die Entwicklung auf diesem Gebiet gehen sollte. Dabei ist zu bemerken, dass in Ermangelung einer offiziellen, allgemeingültigen Definition keiner der aufgeführten Punkte als absolut und unumstößlich gelten kann und darf.

Vielmehr ist damit zu rechnen, dass sich durch Weiterentwicklung/Neuentwicklung der Stand der Technik im Bereich *Wearable Computer* sehr schnell ändern kann und demnach diese und andere Anforderungen den neuen Bedingungen angepasst werden müssen.

2.1 Portable while operational

Diese Anforderung an den Wearable Computer wird durch den Begriff *Wearable* bereits impliziert. Unter der Tatsache, dass ein System *wearable* ist, versteht man die Möglichkeit zur gleichzeitigen Nutzung und zum Transport des Systems.

¹Personal Digital Assistant

Dies kennzeichnet bereits den größten Unterschied zwischen herkömmlichen Computersystemen wie Desktop-PCs und auch Laptops.

Desktop-PCs werden stets stationär verwendet, d.h. das System befindet sich an einem fest definierten Ort und kann von dort nur unter erheblichem Aufwand² von einem Ort zu einem anderen bewegt werden.

Laptops selber sind zwar *mobil* aber nicht *wearable*, da der Begriff der Mobilität nur die Tatsache bezeichnet, dass ein solches System einfach von einem Arbeitsplatz zu einem anderen gebracht werden kann. Das Gerät ist also portabel, muss an dem entsprechenden Arbeitsplatz jedoch abgestellt und aufgeklappt werden. Weiterhin wird bei diesen Geräten üblicherweise eine Unterlage benötigt, um dem Gerät während der Arbeit einen stabilen Halt zu geben.

Diese Einschränkungen sind bei einem Wearable Computer nicht vorhanden, was konkret bedeutet, dass das System während des Transports auch verwendet werden kann. Dies qualifiziert den Wearable Computer für Anwendungsszenarien in denen zwar rechnergestützt gearbeitet werden muss, aber in denen entweder keine feste Unterlage vorhanden ist, die Arbeit während der Bewegung erfolgen muss oder ein häufiger Standortwechsel erforderlich ist, bei dem das Procedere *Zuklappen, Transportieren, Aufklappen* den Arbeitsfluss nachhaltig unterbrechen und verlangsamen würde.

2.2 Hands-free Use

Erfolgen die Benutzung und der Transport des Systems simultan, so impliziert dies, dass auch die Bedienschnittstellen diesem veränderten Benutzungsszenario Rechnung tragen müssen.

Konkret bedeutet das, dass um das System bedienen zu können, eine eventuelle Primärtätigkeit nicht unterbrochen und im Idealfall auch nicht eingeschränkt werden muss. Dies bedeutet aber, dass durch die Verwendung des Wearable Computers möglichst keine Hand dauerhaft belegt wird, bzw. dass beide Hände frei bleiben.

Dieses Konzept steht im Gegensatz zu den momentan gängigen Bedienschnittstellen für Desktop-PCs und Laptops wie Maus, Tastatur und Trackpad, die mindestens die Verwendung einer Hand erfordern.

Eine Nichtbelegung der Hände qualifiziert das System somit für Anwendungsszenarien in denen nicht nur mobil gearbeitet werden, sondern der Computer nebenläufig genutzt werden muss.

2.3 Sensors

Eine weitere Anforderung an einen Wearable Computer ist das Vorhandensein von diversen Sensoren, mit denen dem System die Möglichkeit gegeben ist, Informationen über dessen Umgebung zu sammeln. Nach Schmidt[2] kann hierbei zwischen Hard- und Softwaresensoren unterschieden werden.

- **Hardwaresensoren:** Unter Hardware Sensoren versteht man all jene Sensorik, welche sich physikalisch in Form von elektronischen Bauteilen manifestiert. Beispiele wären hierbei eine Fozelle zur Überwachung der Helligkeit, ein Thermometer zur Bestimmung der Temperatur oder ein GPS³-Empfänger zur Lokalisation.
- **Softwaresensoren:**
Als Softwaresensoren bezeichnet man Sensoren, welche zwar nicht in physikalischer Form vorliegen, dennoch aber Informationen über die Umwelt bzw. die Interna des Systems liefern. Beispiele für Softwaresensoren wären z.B. ein Programm das die noch freie Festplattenkapazität ausliest und als Wert zur Verfügung stellt oder ein Dienst, der die Netzwerkverbindung überwacht.

Die Möglichkeit selbst Daten über seine Umgebung aufzunehmen und diese zu verarbeiten, versetzt den Wearable Computer in die Lage, nicht nur auf vom Benutzer getätigte Eingaben, sondern dynamisch auf Veränderungen in seiner Umgebung zu reagieren und seine Arbeitsweise an unterschiedliche Gegebenheiten und Benutzungskontexte anzupassen.

²schliesst man das implizierte Mitbewegen des Monitors, der Bedienelemente (Maus und Tastatur) und der Verkabelung mit ein

³Global Positioning System - System zur satellitengestützten Positionsbestimmung

2.4 Proactive

Als proaktiv wird ein System dann bezeichnet, wenn dieses die Möglichkeit besitzt, nicht nur auf Eingaben des Benutzers zu reagieren, sondern selbstständig nach *eigenem Ermessen* Aktionen durchführen kann.

Dies bedeutet, dass ein proaktives Gerät beispielsweise nicht wartet, bis der Benutzer es dazu auffordert, die eingegangenen Mails abzurufen. Vielmehr erkennt das Gerät eigenständig, dass ein geeigneter Zeitpunkt zur Abholung gekommen ist, führt die entsprechenden Aktionen durch und entscheidet dann basierend auf dem aktuellen Anwendungskontext, ob und wenn ja in welcher konkreten Form der Nutzer über eingegangene Nachrichten unterrichtet werden soll.

2.5 Always on, always running

Der Aspekt der Proaktivität setzt voraus, dass der Wearable Computer nicht ausgeschaltet ist und bei Bedarf vom Benutzer explizit eingeschaltet werden muss, sondern, dass das System permanent aktiv ist, Daten aufnimmt, entsprechend proaktiv handeln und mit ihm ohne Verzögerung gearbeitet werden kann.

Dieses Konzept unterscheidet sich stark von dem momentan verwendeter Systeme. So befinden sich PDAs und Laptops während des Transports meistens in einem energiesparenden Ruhezustand in dem nicht mit dem System gearbeitet werden kann und aus dem der Nutzer das System durch eine Eingabe explizit aufwecken muss.

2.6 Network Capability

Ein wichtiger Aspekt, der die Mobilität bei der Anwendung eines Wearable Computers unterstützt, ist die Netzwerkfähigkeit eines solchen Systems. Dies bedeutet zum einen, dass der Zugang zum Internet hergestellt werden kann, um Informationen zu beziehen, zum andern, dass auch die Kommunikation zweier oder mehrerer Wearable Computer untereinander möglich ist.

Dieser Anforderung werden aktuelle Notebooks und PDAs mittlerweile schon gerecht, da es entweder möglich ist diese mit einer WLAN⁴-Karte die den Zugang zu entsprechenden Netzwerken ermöglicht, auszustatten oder diese Karte bereits in das Gerät integriert ist⁵. Voraussetzung für die Netzwerkfähigkeit sowohl für Notebooks, PDAs und Wearable Computer ist aber das Vorhandensein einer entsprechenden Netzwerkstruktur, wie sie teilweise bereits an Universitäten existiert⁶.

2.7 Weitere Anforderungen

Aus den bereits genannten Anforderungen lassen sich zusätzlich noch zwei weitere Aspekte ableiten:

- Zum einen folgt aus dem geforderten *always on, always running*, dass die Energieversorgung dieser Anforderung angepasst sein muss. Dies bedeutet, dass die Akkulaufzeit mindestens einen Arbeitstag betragen sollte.
- Wird das System immer mitgeführt, entstehen dabei hohe Anforderungen an die Hardware, was Robustheit anbelangt. So sollte es Stöße und Erschütterungen aushalten und eine gewisse Resistenz gegenüber Luftfeuchtigkeit/Spritzwasser aufweisen.

⁴Wireless Local Area Network - Bezeichnung für ein drahtloses lokales Netzwerk

⁵ein Beispiel hierfür wäre Intels Centrino-Technologie[11].

⁶Ein Beispiel ist das Campusnetz der Universität Bremen[?].

3 Anforderungen an Wearable Bedienschnittstellen

Aus den Anforderungen, die generell an ein Wearable Computersystem gestellt werden, lassen sich Anforderungen ableiten, die direkt die Bedienschnittstellen betreffen. Wir unterscheiden hierbei zwischen physischen Anforderungen, die den Aufbau des Gerätes, und psychischen Anforderungen, welche die Interaktion mit dem Benutzer betreffen.

3.1 Physische Anforderungen

- Die Schnittstelle muss am Körper tragbar und dabei so geartet sein, dass die Bewegung des Benutzers nicht beeinträchtigt oder behindert wird. Dies setzt zum einen eine günstige Platzierung, zum anderen eine ergonomische Form der Bedienschnittstelle voraus.
- Die Benutzung der Schnittstelle darf keine Unterlage wie einen Tisch oder ähnliches erfordern, da sonst die Ortsungebundenheit hinfällig und der Vorteil des Wearable Computer, welcher gerade in dessen Mobilität liegt, nicht mehr gegeben wäre.
- Die Bedienung der Schnittstelle darf nicht erfordern, dass der Benutzer dazu stehen bleibt. Demnach müssen Eingabeungenauigkeiten entweder hardwareseitig unmöglich sein oder diese softwareseitig kompensiert werden.
- Die Schnittstelle muss möglichst ohne Verwendung der Hände bedienbar sein. Zu bemerken ist, dass dies momentan noch nicht erreicht werden kann, da Techniken wie Sprachsteuerung, Gestenerkennung, Steuerung per Hirnstromerkennung und ähnliche Verfahren⁷ zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch zu ungenau sind. Bis solche Techniken soweit ausgereift sind, dass sie verlässlich eingesetzt werden können, müssen die Anforderungen an die Schnittstelle hinsichtlich der Belegung der Hände soweit reduziert werden, dass die Hände *möglichst wenig* beansprucht werden. Dies bedeutet, dass die Schnittstelle, wenn möglich, die Hand nicht permanent belegt und wenn dies nicht vermeidbar ist, deren Funktionalität (Greifen/Tasten) nur minimal einschränkt.
- Die Interaktionsintervalle müssen möglichst kurz gehalten werden und die motorischen Abläufe zur Steuerung möglichst den natürlichen Bewegungen des menschlichen Körpers angepasst und einfach gehalten sein.

3.2 Psychische Anforderungen

- Die Interaktion mit dem System über die Bedienschnittstelle muss möglichst geringe Anforderungen an die Aufmerksamkeit des Benutzers stellen, sodass es dem Benutzer noch möglich ist, sich auf seine Umgebung zu konzentrieren und, wenn notwendig, mit dieser simultan zu interagieren.
- Die primäre Tätigkeit darf durch die Benutzung der Bedienschnittstelle nicht unterbrochen werden müssen.

⁷z.B. die Steuerung per Atem[3]

4 Ergonomie im Wearable Design Prozess

Als Ausgangspunkt für diesen Abschnitt bietet sich die Betrachtung des *Mobile Assistant (MA) IV* an, eines Wearable Komplettsystems vertrieben von der Firma *Xybernaut*[13]. Die Abbildung (Abb. 1, S. 7) zeigt die Standardkonfiguration eines solches Systems, wobei die Aufmerksamkeit zunächst lediglich der zentralen Rechneinheit, den Akkus sowie dem Gurtsystem zu deren Befestigung gelten soll.

Die Teilnehmer des Projektes *iWear*[9] hatten Gelegenheit dieses Gerät bereits ausführlich selber zu testen. Dabei kamen Fragen auf inwieweit der MA IV überhaupt die Bezeichnung "Wearable" verdient.

Da das System, bedingt durch sein Gewicht und sein Volumen, recht unhandlich ist, wird es aufgrund der Anbringung über einen schlecht einzustellenden Beckengurt automatisch als Fremdkörper wahrgenommen.

Der Grund hierfür liegt allerdings nicht nur in der Zweipunktbefestigung und an der Größe des Geräts, sondern einerseits an der Lärmentwicklung⁸, andererseits an den notwendigen Versorgungskabeln zwischen Wearable, Akku und Peripheriegeräten.

Bei der Recherche wird auch schnell deutlich, wie wenig Aufmerksamkeit dem Thema Trageergonomie von Seiten der Industrie und Forschung beigemessen wird. Eine Ausnahme bildet hier die *Wearable Group*[14] der Carnegie Mellon Universität in Pittsburgh (USA), die im Bereich Wearable Computing sehr aktiv ist⁹.

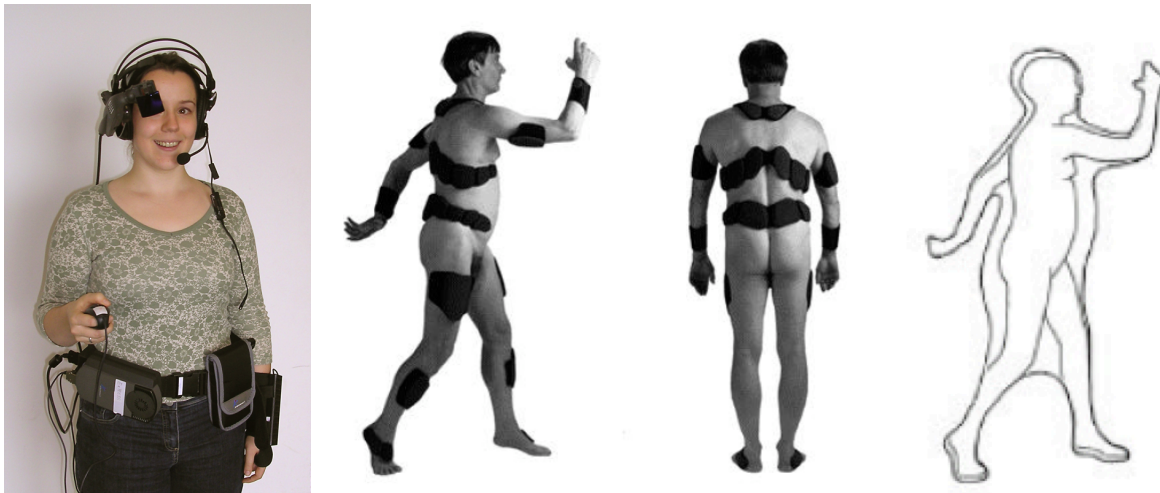


Abbildung 1: links: Xybernaut MA IV Standardkonfiguration, mitte: mögliche Positionen für Wearable Komponenten, rechts: Nahbereichswahrnehmung

Bezugnehmend auf [5] wollen wir folgende Dimensionen ergonomischer Hardwareentwicklung beschreiben:

- **Position (Placement):** Welche Stellen am Körper eignen sich überhaupt, um dort technische Komponenten zu tragen?
- **Formsprache (Form Language):** Wenn Bedienschnittstellen und Wearables entwickelt werden, welchen Grundlagen muss die Formgebung dann folgen, um größtmöglichen Tragekomfort zu gewährleisten?
- **Menschliche Bewegung (Human Movement):** Welchen Einfluss hat die Tatsache, dass sich der Körper in ständiger Bewegung befindet?
- **Nahbereichswahrnehmung (Proxemics):** In welchem Bereich werden technische Komponenten als noch zum Körper zugehörig betrachtet?

⁸Trotz seiner geringen Leistung (siehe [4], S. 109f) wird die CPU des MA IV durch einen unregelmäßigen Lüfter ständig deutlich akustisch wahrnehmbar gekühlt.

⁹Die Gruppe setzt sich zusammen aus Mitarbeitern des *Carnegie Institute of Technology*, der *School of Computer Science* und dem *College of Fine Arts*

- **Größe** (*Sizing*): Wie groß dürfen Systemkomponenten sein?
- **Anbringung** (*Attachment*): Welche Art der Anbringung ist optimal?



Abbildung 2: Verformung des Körpers bei unterschiedlicher Bewegung

4.1 Position

Um eine ergonomische Unterbringung von technischem Geräten zu erreichen, sollten nach[5] die in Frage kommenden Bereiche über eine repräsentative Anzahl erwachsener Nutzer hinweg etwa die selbe Größe besitzen. Weiterhin sollten die Bereiche eine möglichst große Oberfläche besitzen und die Beweglichkeit des Trägers in alltäglichen Situationen nicht oder zumindest nur minimal einschränken. Dabei sind insbesondere die Verformungen des Körpers bei unterschiedlichsten Bewegungen zu beachten (S.8, Abb.2).

Es wird angeraten, sich dabei auch an Bereiche zu halten, die unter Bewegung relativ zu anderen eine geringe Verformung bzw. Flexibilität aufweisen. Diese Kriterien führen zur Identifizierung geeigneter Körperbereiche für die Anbringung von Wearable Komponenten wie sie in (S.7, Abb.1, Mitte). dargestellt werden.

4.2 Formsprache

Nachdem die möglichen Positionen von Wearable Computer/Bedeinschnittstellen identifiziert sind, führt der nächste Schritt zur Formsprache. Dabei ist zunächst zu beachten, dass der menschliche Körper im wesentlichen eine konvexe Oberfläche besitzt. Damit sich technische Komponenten nahtlos befestigen lassen, sollten sie dementsprechend konkave Unter- und der Körperform entsprechende konvexe Oberseiten besitzen. Um das Verhaken von Komponenten zu vermeiden, sollte einerseits auf eine Verjüngung der Geräte zu den Aussenkanten hin, sowie auf eine Abrundung der Ecken geachtet werden. Insgesamt ergeben sich so organische Formen, deren Entwicklung lediglich durch die Form der intern verbauten elektronischen Komponenten beschränkt ist.

4.3 Nahbereichswahrnehmung

Darüber hinaus ist darauf zu achten, die Bauhöhe der Komponenten möglichst gering zu halten. Diesem Grundsatz liegen laut [5] Untersuchungen[6] zugrunde, nachdem es um den Körper herum einen bestimmten Nahbereich in der Größenordnung von wenigen Zentimetern gibt, in dem der Mensch dort angebrachte Gegenstände als *zum Körper zugehörig* erachtet. Ein einfaches Beispiel hierfür ist die Armbanduhr, die man tragen kann ohne sich dessen ständig bewusst zu sein. In [5], S.6 ist für die Bauhöhe aller Komponenten eine Obergrenze von 1 Zoll¹⁰ angegeben, wobei sich dies auf Komponenten direkt am Torso bezieht. Zu den Extremitäten hin fällt dieser Wert ab.

¹⁰Entspricht 2.54cm

4.4 Abschliessendes zur Ergonomie

Die Forschung hinsichtlich der Ergonomie am Körper getragener Komponenten ist noch relativ jung. Erkennbaren Einfluss in die Entwicklungsprozesse der Hersteller klassischer Wearables besitzt sie noch nicht. Dennoch deckt sie sich in vielerlei Hinsicht mit den in Kap. 3, S. 6 beschriebenen Anforderungen an Wearables, wie etwa der Forderung nach handfreier Bedienung und macht Schwachpunkte bisheriger Lösungen, wie sie im folgenden beschrieben werden, deutlich.

5 Benutzerschnittstellen klassischer Wearable Systeme

Gegenstand dieses Kapitels ist die Betrachtung bestehender Benutzerschnittstellen für Wearable Computer-Systeme, wie sie von der Firma Xybernaut angeboten werden, wobei Wert darauf gelegt werden soll die Entwicklungskonzepte hinter diesen, entweder tatsächlich auf dem Markt erhältlichen oder noch prototypischen Lösungen, zu erörtern. Im Vordergrund soll dabei die Betrachtung der Metapher stehen, auf welche die Entwickler des entsprechenden Systems zurückgreifen, sowie die Untersuchung, inwiefern der Erfolg der einzelnen Lösungen mit der Angemessenheit der Metapher in Zusammenhang steht.

5.1 Eingabemedien - Texteingabe

5.1.1 Die *XyberkeyTM*-Tastatur

Die *XyberkeyTM*-Tastatur (siehe [4], S.179) wurde von der Firma Xybernaut¹¹ als primäres Eingabegerät zusammen mit dem Mobile Assistant IV¹² vertrieben. Sie liefert ein Beispiel einer 1:1-Übertragung eines Desktop-Eingabekonzeptes auf den Wearable.



Abbildung 3: links: *XyberkeyTM*-Tastatur mit Befestigung, rechts: Tastaturlayout

Es handelt sich bei diesem Produkt um eine verkleinerte Version der Standard-*QWERTY*-Tastatur, welche, der veränderten Anwendungssituation Rechnung tragend, auf den Unterarm geschnallt wird. Demzufolge benötigt der Anwender für die Eingabe von Text entgegen der in Kap. 3, S. 6 bereits vorgestellten Anforderungen beide Hände/Arme.

Ein Arm wird durch die Schnallenbefestigung der Tastatur zur Unterlage. Dadurch entsteht die Schwierigkeit, während des Tippens mit der anderen Hand in einer dynamischen Anwendungssituation die Stabilität bereitzustellen, die beim Schreiben von Text für ein flüssiges Arbeiten benötigt wird. Da im Allgemeinen der gesamte Körper in Bewegung ist und der Arm nirgendwo aufgelegt werden kann, ist dies zum einen schwierig, zum anderen sehr ermüdend, wie Funktionstests im Projekt *iWear* bestätigten.

Erschwerend kommt der Tastenaufbau hinzu. Gerade bei der *XyberkeyTM*-Tastatur gibt es, anders als zum Beispiel bei Laptops keine Tastenkonstruktion im herkömmlichen Sinne, sondern das Tastaturlayout

¹¹<http://www.xybernaut.com/home.asp>, Stand 25. März 2004

¹²Spezifikationen zu diesem Gerät sind nachzulesen in [4], S. 109f

ist auf einer Gummioberfläche aufgemalt wobei die Tasten leicht ausgewölbt sind. Die Tastatur ist damit zwar schmutz- und spritzwassergeschützt, besitzt aber ein sehr schlechtes Anschlagverhalten.

Die Anzahl der Tasten wurde aufgrund des begrenzten Platzes gegenüber einer Standardtastatur reduziert. Um dennoch den kompletten Funktionsumfang zu erhalten, arbeitet man mit einer verstärkten Funktionsüberlagerung einzelner Tasten, so dass weniger oft benötigte Zeichen nur durch Eingabe einer Tastenkombination zu erreichen sind. Dieses Konzept ist zwar bereits von Desktopbetriebssystemen her bekannt, dort stehen jedoch auch in aller Regel beide Hände zur Verfügung, um kompliziertere Sequenzen einzugeben.

Hinsichtlich der in Kap. 4, S. 7 dargestellten Grundlagen der Hardwareergonomie bei der Schnittstellenentwicklung stellt die *XyberkeyTM*-Tastatur ein eher schlechtes Beispiel dar. Die Tastatur ist relativ kantig, in der Formgebung nicht an den Arm angepasst. Die auf dem Arm eingenommene Fläche sowie die Bauhöhe entsprechen nicht ergonomischen Vorgaben.

Die Tastatur am Handgelenk mag zwar die einfachste Lösung für die Entwicklung eines mobilen Eingabegerätes sein. Jedoch zeigt das Ergebnis sehr anschaulich, welche Konsequenzen sich für den Anwender ergeben können, wenn bei der Hardware-Entwicklungen offensichtlich Bezug auf unpassende Anwendungssituationen genommen wird.

5.1.2 Der Twiddler 2

Der *Twiddler2* (siehe [4], S. 185) der Handkey Corporation [15] ist das Standardbeispiel für die Klasse der Chording-Keyboards. Die Grundidee bei dieser Geräteklasse gegenüber der bereits vorgestellten *XybernautTM*-Tastatur in der Einführung einer neuen Metapher, die des Greifens von Akkorden ähnlich dem Spiel auf einer Gitarre.

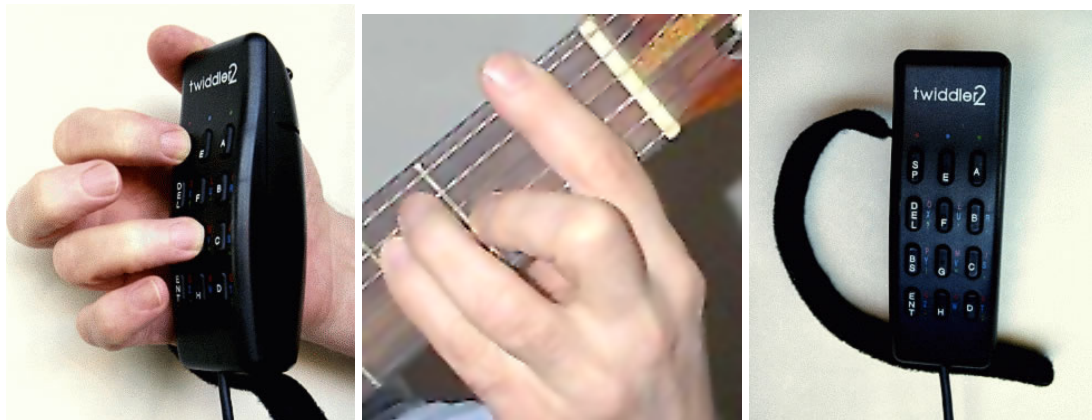


Abbildung 4: links: Twiddler Griffhaltung, mitte: Gitarrengriff, recht: Twiddler Tastaturlayout

Das hat für das Layout des Twiddlers zwei wesentliche Implikationen. Zunächst ist der Twiddler ein Textengabegerät für die Nutzung mit nur einer Hand. Wie in Abb.4, S.10 anschaulich zu sehen ist, wird das Gerät mit einem Klettband so an der Hand befestigt, dass die Tasten erreicht werden, wenn man die Finger beugt.

Aufgrund dieser Position in der Hand bietet der Twiddler gegenüber der *XyberkeyTM*-Tastatur noch einmal deutlich weniger Platz für Tasten. Deren Anzahl ist, wenn man die speziellen Funktionstasten an der Oberseite nicht mitzählt begrenzt auf genau 12. Die Bedeutung dessen ist klar: Um mit dem Twiddler zu einer Standardtastatur äquivalent schreiben zu können, ist eine Funktionsüberlagerung der wenigen vorhandenen Tasten unabdingbar. Nun wurde bereits im vorangegangenen Abschnitt gezeigt, dass bei der *XyberkeyTM*-Tastatur genau dieses System gescheitert ist. Beim Twiddler macht genau an dieser Stelle die andere Metapher den entscheidenden Unterschied. Beim Gitarrespiel ist es durchgehend notwendig, gleichzeitig verschiedene Seiten/Bünde zu greifen um eine bestimmte Harmonie zu erhalten.

Einzigster Nachteil dieses Texteingabesystems ist der erhöhte Einarbeitungsaufwand, um fließend schreiben zu können.

Zusätzlich zu der bereits erwähnten Texteingabemöglichkeit besitzt der Twiddler an seiner Oberseite eine einfache Maus die am ehesten den miniaturisierten Joysticks entspricht, wie sie auch bei einigen Notebooks¹³ zu finden sind.

Allerdings weist das Konzept des Twiddlers immer noch Punkte auf, die in der Anwendung negativ auffallen. Zum einen ist die Maus in der Bewegung nicht akkurat zu verwenden. Um gute Ergebnisse erzielen zu können, muss der Anwender zur Benutzung der Maus stehen bleiben, was dem bereits in Kap. 4, S. 7 genannten Prinzips zur Nutzung von Wearable Computern widerspricht.

Desweiteren besitzt der Twiddler ähnlich wie die *Xyberkey*TM-Tastatur keine Ruheposition. Das bedeutet, sobald keine Interaktion über den Twiddler stattfindet blockiert er die komplette Hand und muss abgelegt werden. Neben dem Aufwand bei häufigem An- und Ausziehen des Twiddlers kommt hinzu, dass man ihn bei Nichtgebrauch irgendwo ablegen muss, was bedeutet, dass immer Kleidung mit einer ausreichend großen Tasche zu tragen ist.

Abschließend lässt sich über den Twiddler sagen, dass mit seiner Entwicklung ein Schritt in die richtige Richtung getan, das Ziel jedoch bei weitem noch nicht erreicht wurde.

5.1.3 KITTY - Keyboard Independent Touch Typing

Im Unterschied zu den beiden bereits vorgestellten Konzepten für die Eingabe von Text auf Wearable Computern handelt es sich bei *KITTY* [17] nicht um ein kommerziell verfügbares Produkt, sondern um einen Prototypen. Die Idee für dieses Projekt und die Umsetzung des Prototypen stammen von Dr. Carsten Mehring von der UC Irvine (USA) und basiert auf dem Konzept des Datenhandschuhs¹⁴.

Dennoch ist es schwierig, das Konzept des *Keyboard Independent Touch Typings* einer bestimmten Metapher zuzuordnen, wie wir es etwa beim Twiddler getan haben. Im Prinzip handelt es sich bei *KITTY* um eine normale Tastatur, deren Layout auf zwei Handschuhe übertragen wurde. Alle Finger des Handschuhs sind mit mehreren elektrisch leitenden Kontakten versehen, die, wenn sie einmal geschlossen sind, der Steuerung bedeuten, dass gerade eine bestimmte Taste gedrückt wurde.



Abbildung 5: links & mitte: der aktuelle Kitty Prototyp, rechts: handschuhbasierte Entwurf

Da *KITTY* nur als Prototyp existiert, sind die Erfahrungen in der Praxis beschränkt, und man muss sich auf die Aussagen des Entwicklers verlassen. Demnach ist die Umgewöhnung von einer normalen Tastatur auf *KITTY* relativ unproblematisch, da es sich beim Bedienkonzept im Wesentlichen um eine Neuinterpretation des bekannten Zehn-Finger-Systems für Standardtastaturen handelt, mit dem Unterschied, dass man nicht auf einer statischen Unterlage, sondern auf seinen Daumen schreibt (Abb.6, S.12).

Mehring weist darauf hin, dass die Umstellung auf *KITTY* dadurch erleichtert wird, dass Kurse zum Erlernen des Zehn-Finger-Systems überall angeboten würden, man dagegen beim Erlernen z.B. der Twiddler-Steuerung weitgehend alleingelassen werde.

Der neueste Prototyp, für dessen Vermarktung momentan Partner gesucht werden, kommt bereits ohne Handschuhe aus. Die Kontakte werden direkt um die Finger der Hand herum gewickelt. Die komplette Steuerung wurde inzwischen in einer Uhr integriert. Die genauen Informationen über die Anbindung des

¹³beispielsweise der Firma IBM[16]

¹⁴für weitere Produkte in dieser Kategorie, siehe [4], S. 190ff

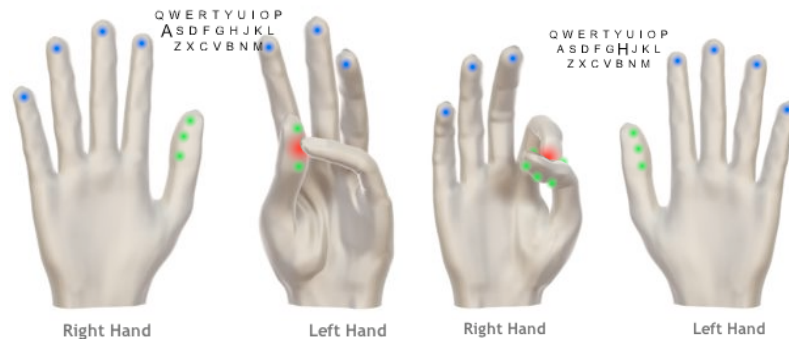


Abbildung 6: Handbewegung bei der Eingabe unterschiedlicher Buchstaben. links: Eingabe eines "A", rechts: Eingabe eines "AH"

Gerätes an den Rechner liegen uns nicht vor, das Nichtvorhandensein von Kabeln deutet allerdings um eine Lösung mittels Funk/Bluetooth hin.

Das Gerät läßt sich in Zeiten der Inaktivität einfach abschalten und befindet sich dann in einer relativ günstigen Ruheposition, da die Hand auch mit angelegtem *KITTY* noch zum Zeigen/Greifen benutzt werden kann. Lediglich der Tastsinn dürfte durch die Kontaktbänder empfindlich eingeschränkt sein.

Insgesamt stellt *KITTY* die beste uns zur Zeit bekannte Umsetzung der Anforderungen an Wearable Text-Eingabegeräte jenseits der Spracheingabe dar, wobei es sich erst um einen Prototypen handelt.

5.2 Alternativkonzept für ein Zeigegerät - Winspect-Handschuh

Als Alternative zu den genannten Systemen kann der Winspect-Handschuh betrachtet werden, welcher als Eingabegerät für das Winspect-System[7] entwickelt wurde.



Abbildung 7: links: Winspect-Handschuh, rechts: Winspect-Gesamtsystem

Anders als die bisher aufgeführten Geräte geht das hier verwendete Konzept weg von klassischen Desktop-Eingabegeräten und deren Metaphern und setzt auf ein völlig neues Konzept.

Ziel des Winspect-Systems war es, die Instandhaltung und Wartung von Industriekränen durch den Einsatz von Wearable Computern zu verbessern. Zu diesem Zweck wurde ein Blaumann entwickelt, der einen Computer vom Typ MA IV enthielt, auf welchem eine auf das entsprechende Anwendungsszenario hin entwickelte Software installiert war. Die Darstellung erfolgte auf einem zusätzlich zu tragenden HMD vom Typ MA IV HMD (Abb.7, S.12, rechts).

Die Steuerung der Software und die Navigation durch die durch diese bereitgestellten Menüstrukturen erfolgte nun über einen modifizierten Arbeitshandschuh (Abb.7, S.12, links).

Das Kernstück dieses Handschuhs war der Neigungssensor eines demontierten Twiddlers. Wurde der Arm nun so gehalten, dass dieser waagrecht liegt, so kann durch die Drehung der Hand nach Links, bzw. Rechts ein entsprechendes Signal an den Rechner gesendet werden. Das Bestätigen, bzw. Auswählen von Menüelementen und Dialogen erfolgte durch Zusammenführen des Daumens und des Zeigefingers wodurch der in den Handschuh eingearbeitete Reed-Kontakt¹⁵ ein Signal aussendet, was dem Drücken einer Maustaste entspricht.

Dieses Prinzip des in die Kleidung integrierten Interface ermöglicht eine Interaktion mit dem Wearable ohne eventuell in der Hand befindliches Werkzeug ab-, bzw. ein separates Bedienelement anlegen zu müssen. Weiterhin ist dieses Bedienkonzept auf eine Hand beschränkt und die Bewegung insgesamt dem normalen Bewegungsspielraum der Hand angepasst, so dass auch längere Benutzung zu keinen Ermüdungserscheinungen führt.

Insgesamt ist das Prinzip des Winspect-Handschuhs ein interessantes Bedienkonzept, da es dem in Kap. 4, S. 7 beschriebenen Ideal bereits sehr nahe kommt.

5.3 Ausgabemedien

5.3.1 Xybernavt MA IV HMD

Als erstes Ausgabegerät, welches speziell für den Einsatz mit Waerable Computern entwickelt wurde, betrachten wir das zusammen mit dem Mobile Assistant *MA IV* der Firma Xybernavt standardmäßig ausgelieferte Head Mounted Display.



Abbildung 8: links: Xybernavt HMD mit Headset in Seitenansicht, mitte: Frontansicht, rechts: Stereo-Headset der Firma AKG - Basis für die Konstruktion?

Auffallend ist zunächst, dass das HMD in seinem Aufbau im Wesentlichen an hochwertige Stereoheadsets, wie sie etwa von der Firma AKG¹⁶ vertrieben werden, angelehnt ist. Der einzige Unterschied besteht im zusätzlichen Aufbau für das eigentliche Display, welches als recht massive Konstruktion über einer der beiden Ohrmuffen angebracht ist. Das HMD ist damit also bereits größer als Stereoheadsets. Dieser Punkt ist deshalb bemerkenswert, weil letztere eigentlich für die professionelle Kundschaft, etwa im Musikstudio etc. entwickelt wurden, wo eher die Funktion entscheidend ist die Frage, ob ein Gerät *wearable* oder gar *kleidsam* ist.

Demnach ist die Basismetapher des *MA IV*-HMD also denkbar schlecht gewählt, was sich auch unmittelbar in den Trageeigenschaften niederschlägt.

Aufgrund seiner Bauform schränkt das *MA IV*-HMD die Beweglichkeit des Kopfes stark ein. Zum einen wird die Einschränkung allein durch die Größe des Gerätes direkt am Kopf hervorgerufen. Der Displayvor-

¹⁵Ein auf Magnetfelder reagierender Schalter. Bringt man ihn in die Nähe eines Magnetfeldes schaltet er auf 'ein', entfernt man ihn wieder aus dem Magnetfeld auf 'aus'.

¹⁶<http://www.akg.com/akg-structuretree/powerslave,id,1,..language,DE.html>

satz schränkt das Sichtfeld besonders vor jeweils dem aktiven Auge wesentlich ein, auch wenn es sich bei diesem Gerät um einen sogenannten See-Through-Display¹⁷ handelt. Die Ohrmuffen halten, selbst bei entferntem Headset, einen großen Teil des an das Ohr heran dringenden Schalls ab, was dazu führt, dass der Anwender unwillkürlich aus seinem sozialen Kontext herausgerissen wird. Hinzu kommt noch die Einschränkung der Beweglichkeit durch die Kabelverbindung des HMD mit dem Wearable.

Funktionstests im Projekt *iWear*[9] ergaben, dass neben den bereits bestehenden Nachteilen bei längerer Benutzung weitere Probleme, etwa beim Fokussieren der Darstellung auftreten, welche beispielsweise in unangenehmen Kopfschmerzen resultieren können. Weiterhin erzeugen die Ohrmuffen das Gefühl der sozialen Abgrenzung, da Gespräche nicht oder nur erschwert verfolgt werden können. Die Problematik verstärkt sich dadurch, dass der Benutzer ein hohes Maß an Konzentration aufbringen muss, um auf dem Display etwas erkennen zu können und sich so von seiner Umgebung abkapselt.

In [8] wird ein interessanter Ansatz vertreten, die auf die hier vorliegende Situation zutrifft. Demnach gibt es eine direkte Verbindung zwischen der Funktionalität eines Wearable Systems und dem Tragekomfort insofern, dass grössere Funktionalität Anwender eher dazu bewegt, sich mit Kompromissen hinsichtlich Schwachstellen in der technischen Umsetzung zufrieden zu geben. Demzufolge ist der Funktionsumfang der HMD einfach zu gering.

Insgesamt lässt sich für das betrachtete, wie auch für viele weitere HMDs[18] feststellen, dass sie, besonders auch in Hinblick auf die Ergonomie, zwar effektiv, aber nicht aufgabenangemessen arbeiten.

5.3.2 MicroOptical Display

Als zweites Ausgabegerät betrachten wir ein See-Through Display der Firma *MicroOptical*[19].

Es unterscheidet sich funktional von dem bereits vorgestellten *Xybernavt-Pendant*, da seine Funktionalität einzig auf seine Displayfunktion beschränkt ist. Ein weiterer großer Unterschied liegt in dem völlig anderen Aufbau. Hatte man es beim *Xybernavt*-Display noch mit einer Konstruktion auf Basis eines Sterokopfheadsets zu tun, so ist das System von *MicroOptical* klein genug, um an einem beliebigen Brillengestell befestigt zu werden und leicht genug, dass diese Art der Anbringung von den Benutzern nicht als großer Störfaktor empfunden wird. Bemerkenswert hinsichtlich der Ergonomie ist die Trennung von Display und Befestigung. Hiermit kommt man konsequent dem Benutzer entgegen, der seine eigene Brille oder gar eine Sonnenbrille benutzen kann.

Im Projekt *iWear* [10] hatten wir die Möglichkeit, das *MicroOptical*-HMD und seine Funktion zu testen. Die Entscheidung zur Brille als Basis des Systems beseitigt die Probleme hinsichtlich der Einschränkung des Hörens und der statischen Beweglichkeit¹⁸. Letzteres ist darauf zurückzuführen, dass das Verbindungskabel zum Wearable gegenüber dem *Xybernavt* deutlich dünner und beweglicher ausfällt. Inzwischen ist gar, wie in auf den Abb. 9, S. 15 zu sehen, eine Bluetooth-Variante des HMD verfügbar, so dass es ausreicht, wenn man z.B. an der Schulter die Sender/Batterie-Einheit befestigt.

Ein Problem, welches mit dem *MicroOptical*-HMD noch nicht befriedigend gelöst wurde, ist die Relativbewegung zwischen Kopf und Display. Dazu ist anzumerken, dass es sich beim *MicroOptical*-HMD prinzipiell um ein kopfstabilisiertes System handelt. Jedoch sorgen der lose Sitz der Trägerbrillengestelle als auch die Mehrgelenkkonstruktion des Displayarms selber für ausreichend Spiel bei schnellen Bewegungen/Bewegungswechseln, um die angestrebte Stabilisierung zu unterwandern. Hier liegt es an den Nutzern, individuelle Befestigungskonzepte zu verwirklichen, um das *MicroOptical*-HMD in der Tat *wearable* zu machen.

Interessant ist in der Tat, wie stark das Displaysystem bei gleichbleibender Darstellungsleistung verkleinert werden konnte, wobei sich der Terminus Darstellungsleistung in diesem Zusammenhang nicht nur auf Farbtiefe und Auflösung bezieht, sondern darüber hinaus auch auf die für Wearable Displays wichtige wahrgenommene Grösse der Darstellung¹⁹.

Das *MicroOptical*-HMD stellt daher unserer Meinung nach ein interessantes Beispiel dafür dar, welche

¹⁷See-Through bedeutet, dass der Anwender nicht wie bei einem normalen Monitor direkt auf die Bildfläche schaut. Das Bild wird vielmehr über einen halbdurchsichtigen Spiegel ins Auge geleitet, wobei dieser Spiegel genau dann transparent ist, wenn das Display entweder ausgeschaltet oder die Darstellung insgesamt dunkel ist.

¹⁸Der Körper befindet sich in Ruhe, Bewegung des Kopfes relativ zum Körper

¹⁹Dies ist so gemeint, dass man die Größe der Darstellung im Sichtbereich mit der beim Arbeiten mit einem normalen Monitor bzw. Display in Beziehung setzt.



Abbildung 9: links: MicroOptical Display mit Bluetooth-Verbindung zum PDA, rechts: aktuelles monokulares MicroOptical-HMD (an Standardbrille), MicroOptical Designstudie für ein integriertes HMD mit Headset und Kamera

Fortschritte hinsichtlich der Ergonomie einer Bedienschnittstelle erreicht werden können, wenn sowohl eine passende Grundidee als Ausgangspunkt genommen wird und zum anderen die technischen Komponenten konsequent, besonders bei der Miniaturisierung, optimiert werden.

Dabei ist *MicroOptical* nach Wissen der Autoren der einzige bekannte Hersteller, der den Weg hin zu kleinen, nahezu unsichtbaren binokularen Head Mounted Displays beschritten hat und damit in diesem speziellen Marktsegment eine Nische besetzt.

6 Aufmerksamkeit - Ein Grundproblem aktueller Bedienschnittstellen

Fassen wir die Ergebnisse der Betrachtung der verschiedenen Bedienschnittstellen zusammen, so werden Probleme deutlich, die allen Systemen gemein sind.

Ein Problem, welches bei allen betrachteten Bedienschnittstellen auftritt, ist, dass deren Bedienung vom Benutzer stets ein gewisses Maß an Aufmerksamkeit erfordert. Um mit dem Gerät zu arbeiten und zu interagieren ist es demnach notwendig, einen Teil seiner Aufmerksamkeit von der unmittelbaren physikalischen Umgebung auf das Gerät zu konzentrieren.

Dies ist nicht vermeidbar, da jede Form der Interaktion ein gewisses Maß an Aufmerksamkeit verlangt. Allerdings bestehen hinsichtlich der betrachteten Bedienschnittstellen deutliche Unterschiede, was den Grad der benötigten Aufmerksamkeit anbelangt, um erfolgreich mit dem Wearable Computer interagieren zu können.

So ist die Benutzung des Winspect Handschuhs (Kap. 5.1.3, S. 12) ein Beispiel für ein Konzept, das aufgrund seiner besseren Ergonomie geringere Anforderungen an die Aufmerksamkeit des Benutzers stellt, als beispielweise die Xyberkey-Tastatur (Kap. 5.1, S. 9), da bei dem Winspect-System nur eine Hand nach links/rechts gedreht werden muss, wobei die Xyberkey-Tastatur sowohl die Benutzung beider Hände als auch einen Blick auf die Tastatur erfordert.

Wir halten also fest, dass Interaktion stets Fokussierung auf die Bedienschnittstelle erfordert sowie als Nebeneffekt der Fokussierung die Aufmerksamkeit, welche der Umgebung zuteil wird, abnimmt.

Dieser Umstand ist im Zusammenhang mit Desktop-PCs oder Laptops, die ja wie erwähnt nur stationär verwendet werden, nicht eminent gefährlich. Die negativen Effekte beschränken sich hierbei auf soziale Kommunikationsstörungen, da eventuell arbeitende Personen sich zu stark auf die Interaktion mit dem Computer konzentrieren und so Kommunikationsversuche seitens ihrer Kollegen nicht oder nur verspätet bemerken.

Im Zusammenhang mit Wearable Computern und deren sich von Desktop-PC- und Notebookpendants unterscheidenden Nutzungsszenarien bietet allerdings diese reduzierte Wahrnehmung der realen Welt ein großes Gefahrenpotential.

Da die Benutzung dieser Geräte explizit den mobilen Benutzungskontext angepasst ist, kann, hält sich der Benutzer in Umgebungen auf, die dessen volle Aufmerksamkeit erfordern, eine Beeinträchtigung der Realweltwahrnehmung des Benutzers hier zu sehr gefährlichen Situationen sowohl für den Benutzer selber als auch für Dritte führen.

Ein Beispiel für eine solche Umgebung ist der öffentliche Straßenverkehr, wo die Fokussierung auf ein HMD oder ein Eingabegerät im ungünstigsten Fall zu schweren Verletzungen oder zum Tode führen kann. Gerade im Hinblick die Diskussion um die Gefahren durch Telefonieren am Steuer (sowohl mit als auch ohne Headset) wird hier der enorme Entwicklungsbedarf deutlich.

7 Alternative Wearable-Konzepte

7.1 Die Basis - Eine veränderte Auffassung von Wearable Computern

In Kap. 2 wurde der Wearable Computer als eine spezielle Form des klassischen Personal Computers dargestellt, der seinen eigenen Charakter durch erweiterte Mobilität und Flexibilität in der Nutzung gegenüber Desktopsystemen in Büros und Eigenheimen sowie der Gruppe der mobilen Systeme wie Laptops, PDAs und Smartphones erhält .

Geräte aus diesen Gruppen werden allgemein als *Mobile Computer* bezeichnet, doch bezieht sich der Terminus *mobile* wie bereits erwähnt zumindest bei den Notebooks im Wesentlichen auf die Tatsache, dass man es hier mit einer Gruppe von Geräten zu tun hat, die sehr einfach von einem Ort zum nächsten transportiert werden können.

Das geringe Gewicht von zwei bis drei Kilogramm ermöglichen die einfache und relativ ermüdungsfreie Mitnahme von Notebooks. Die Akkus neuer besonders hinsichtlich Energieeffizienz optimierter Geräte²⁰ erlauben effektive Betriebszeiten von bis zu 6 Stunden. Das bedeutet für den Anwender: Die Technik ist in der Tat geeignet für ein autarkes Arbeiten an prinzipiell beliebigen Orten, eine entsprechende Netzwerkinfrastruktur vorausgesetzt.

Dennoch ist bei einer Betrachtung der Realität im Umgang mit Notebooks und Subnotebooks folgendes festzustellen. Die gegebenen Möglichkeiten der Mobilität beeinflussen die konkrete Arbeitssituation nicht wesentlich. Zwar hat man - zugegeben - die Möglichkeit gewonnen, etwa im bequemen Wohnzimmerstuhl durch das Web zu surfen oder Mails aus dem Bett heraus zu versenden. Die Anwendungssituation ändert sich während der Interaktionsintervalle nicht.

Wie bereits in Kap. 2, S. 3ff. beschrieben, werden dagegen an den Wearable Computer andere Ansprüche gestellt. Das Bild vom Computer als elektronischer Arbeitsplatz soll aufgehoben und damit ein breiteres Spektrum neuer Anwendungsfelder geöffnet werden. Die Wearable-Konzepte der Industrie, die sich in einer ganzen Reihe auf dem Markt erhältlicher Systeme manifestiert haben, beruhen jedoch weiterhin auf einem veralteten Verständnis der Computernutzung.

Wir haben erwartet, bei unserer Recherche herauszufinden, dass die Diversifizierung der Anwendungssituationen und das Vordringen in alle Lebensbereiche zu einer äquivalenten Entwicklung auf dem Technikmarkt führen würde. Diese Vermutung konnte bei der Studie von Geräten der Firma Xyberonaut, die im Bereich der Wearable Computer lange Zeit eine führende Stellung einnahmen und auch noch einnehmen, keineswegs bestätigt werden. Wearable Computer dieser klassischen Form werden genau wie normale PCs als Multi-Purpose-Geräte vertrieben, deren Design und Layout in Hinsicht auf die Komponenten immer an der klassischen PC-Metapher orientiert ist.

Die Folgen dieser Übertragung von Metaphern aus der Desktopwelt, die der Wearable Computer reicht von kleineren Einschränkungen bis zur kompletten Unbrauchbarkeit (siehe Kap. 5.1, S. 9).

Aus diesem Grund sollte die Forschung im Bereich Wearable Computer die Anforderungen der Anwender an die Geräte und die Situationen, in denen Wearable Computer als intelligente Assistenten Unterstützung

²⁰Im PC-Bereich etwa Systeme mit Intel Centrino Technologie[11], bei Apple[20] die neuen G4-iBooks und 15" Powerbooks

bieten können viel stärker in den Mittelpunkt stellen. Weiterhin sollte untersucht werden, was der Umgang mit Computern jenseits klassischer Paradigmen noch bedeuten kann. Auch wenn dieser Schritt weg von bekannten Denkmustern als Grundlage von konkreten Designentscheidungen für die Entwickler aufgrund ihrer Prägung schwierig werden dürfte, so erscheint er dennoch notwendig, den stagnierenden Markt für Wearable Systeme neu zu beleben, dem gegenwärtig sowohl von Smartphones als auch von PDAs das Wasser abgegraben wird.

Für unser erstes Beispiel zu einem neuen Bild vom Wearable Computer sind diese beiden Entwicklungslinien bereits von entscheidender Bedeutung hinsichtlich der Grundidee.

Sowohl bei den Smartphones als auch bei den PDAs standen am Anfang der Entwicklung jeweils klar definierte einfache Funktionen, auf der einen Seite die des Telefons und auf der anderen Seite die des digitalen Organizers und Notizblocks.

In beiden Fällen wurden zunächst Geräte entwickelt, die mit relativ geringer Rechenleistung auskamen und deren Funktionsumfang obwohl im Vergleich zu einem PC relativ gering, den an sie gestellten Anforderungen angemessen war. Auch die vorhandenen Benutzerschnittstellen waren jeweils auf die entsprechende Funktionalität des Gerätes hin optimiert.

Für die PDAs wurde die Eingabe per Stift weiterentwickelt und populär gemacht. Für die Mobiltelefone wurde zur Nutzung des Short Message Service (SMS) T9 als Eingabehilfe entwickelt, um kurze Mitteilungen auf einer im klassischen Wähltastatur verhältnismäßig einfach verfassen zu können. Das grundlegende Konzept erwies sich als Erfolg bei der Einführung dieser mobilen Endgeräte und soll im Folgenden als Beweis für die Machbarkeit des dargestellten Ansatzes dienen.

7.2 Mannigfaltigkeit durch Kombination

7.2.1 Arbeitssituationen

Ein Ansatz könnte in der Beobachtung bestehen, dass nicht jede Anwendung in jeder denkbaren Arbeitssituation tatsächlich sinnvoll durchzuführen ist. Ein gutes Beispiel bilden Office-Pakete, bei denen einmal Spreadsheet-Programme herausgegriffen seien. Solche Programme erfordern effiziente Eingabeschnittstellen zur Erfassung großer Datenmengen und eine einfache Navigation in Datensätzen, Tabellen, etc. Hinsichtlich der Ausgabeschnittstellen besteht die Anforderung darin, dass der Bildschirm bzw. das Display groß genug sein soll, dem Anwender eine umfassende Übersicht zu gewähren. Beide Anforderungen können von Desktoprechnern²¹ erfüllt werden. Wearable Schnittstellen dagegen sind hierfür ungeeignet.

Ein Spreadsheetprogramm ist daher genau wie beispielsweise CAD-Anwendungen oder 3D-Modellierungstools ein Beispiel für eine Gruppe von Anwendungen, die in einem statischen Nutzungskontext verwurzelt ist. Hierfür soll der Begriff *Home Zone* verwendet werden.

Eine andere Gruppe von Anwendungen könnte sich besser für eine dynamische Nutzungssituation eignen. Generell sind dies Programme mit geringer Interaktionskomplexität und niedriger Notwendigkeit zur Eingabe von Daten. Als Beispiele sind hier Player für jegliche Form von Musik- und in eingeschränktem Maße Videodaten, Kalender- oder Notizanwendungen, oder Diktier-Anwendungen und Mail/SMS-Viewer aufzuführen. Die Auswahl ist an dem orientiert, was bereits heute auf PDAs oder Smartphones mit Erfolg integriert wird, also ebenfalls Geräten für dynamische Nutzungssituationen, welche im folgenden als *Mobile Zone* bezeichnet werden soll.

Die Frage lautet nun wie eine Verbindung zwischen *Home Zone* und *Mobile Zone* geschaffen werden kann?

7.2.2 Die Daten als Zentrum

Um die Brücke zu schlagen zwischen den Technologien legen wir das Konzept eines mobilen persönlichen Datenspeicher vor, der folgende Anforderungen erfüllen soll:

- **Datenhaltung:** Es steht genug Speicherplatz zur Verfügung, dass der Anwender seinen vollständigen Bestand an persönlichen Daten auf diesem Gerät speichern kann.

²¹mit ergonomischer Tastatur/Maus-Kombination und 19"-Display

- **Anwendungen:** Das Gerät speichert alle Programme, mit denen der Benutzer arbeitet, inklusive den Lizenzschlüsseln und jeweils einigen Metainformationen über die Systemanforderungen die zum Betrieb der Anwendung zu erfüllen sind.
- **Identität:** Es existiert eine Nutzeridentität, der das Arbeiten auf den Daten erlaubt ist.

Der Datenspeicher alleine besitzt außer der Datenhaltung noch keine weitere Funktion. Deswegen macht es Sinn, diesen direkt mit einem mobilen Endgerät zu koppeln, welches eine eigene Recheneinheit, Betriebssystem und für den dynamischen Kontext entwickelte Bedienschnittstellen mitbringt.

Dabei ist zu beachten, dass der resultierende Wearable in keiner Weise den Desktoprechner ersetzen soll, weil er dafür nicht leistungsfähig genug ist. Aber er soll dem Anwender einen sinnvoll begrenzten, aber doch direkten Zugriff auf seine Daten ermöglichen. Beispielsweise kann der Anwender auf seine MP3-Sammlung (das Wearable-Interface unterstützt dies direkt), nicht jedoch auf die Tabelle mit allen Finanzangelegenheiten (das Wearable-Display ist dazu ungeeignet) zugreifen.

Der Wearable nutzt nur die Wearable-Variante der Anwendungen, die auf dem mobilen Datenspeicher in den Metadaten auch freigegeben wurde. Insgesamt wird dem Benutzer nur das zur Arbeit angeboten, was unter dem gegebenen Kontext als sinnvoll erachtet werden kann.

7.2.3 Integration des Wearables und die Bedeutung für die Mensch-Maschine-Schnittstelle

Die Anbindung des Wearables an den Desktop erfolgt über eine schnelle Schnittstelle wie etwa Firewire²². Der Wearable könnte dann beim Start des Desktops als Festplatte erkannt werden. Das Betriebssystem lädt beim Start automatisch das Benutzerprofil des Anwenders und bindet dessen Daten entsprechend lokal ein. Weiterhin werden alle Programme zur Verfügung gestellt, die auf dem Desktop basierend auf dessen Spezifikation ausführbar sind.

Der Vorteil besteht nun darin, dass dem Benutzer unmittelbar nach dem Start, seine persönliche Arbeitsumgebung an einem prinzipiell beliebigen Desktop zur Verfügung steht. Genutzt werden nun dessen größere Rechenleistung sowie die komplett auf das System angepasste Peripherie.

In diesem Vorgehen steckt ein grundlegender Paradigmenwechsel. Das Ziel besteht nicht mehr darin, einen einzigen Wearable Computer zu besitzen, der die bisherigen Systeme überflüssig macht. Vielmehr dient der Wearable als mobiler Integrator für die vorhandenen Technologien.

Der Vorteil in Hinsicht auf die Problematik der Entwicklung von Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine besteht in einer Dekomposition des Gesamtproblems so, dass Ein- und Ausgabemedien speziell für einzelne Anwendungssituationen entwickelt werden können, beispielsweise nur für dynamische Kontexte und hier gegebenenfalls noch einmal spezialisiert hinsichtlich des Anwendungszwecks. So werden im Unterschied zu Systemen für den Freizeitbereich bei industriell zu nutzenden Systemen, die zum Beispiel in der Montage/Inspektion zum Einsatz kommen²³, besondere Anforderungen an die Robustheit, die Beachtung von Bestimmungen zur Arbeitssicherheit und der Handhabung²⁴ als bei Systemen für den Freizeitbereich gestellt.

²²IEEE 1394

²³beispielsweise das Winspect-System [7] oder der VuMan [?]

²⁴etwa Bedienung mit Arbeitshandschuhen, freihändige Bedienung, ein System ohne HMD

A Appendix I Wearable Lösungen in der Praxis

Nachdem wir im bisherigen Text eine neue Sicht auf Wearable Computer entworfen und gezeigt haben, welche Implikationen dieses neue Paradigma für die Entwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen hat, wollen wir nun konkrete Entwicklungen zeigen, die bereits sehr stark in die vorgezeichnete Richtung gehen.

A.1 Apple iPod & iPod mini

Als erstes Stellen wir den *iPod* der Firma *Apple*[20] vor, da er bereits in wesentlichen Kernpunkten die in Kap. 7, S. 16 beschriebenen Ideen realisiert. Es handelt sich beim iPod um ein mobiles Endgerät, welches sich - ursprünglich als reiner MP3-Player auf dem Markt gebracht - inzwischen zu einem Gerät mit zusätzlicher Funktionalität eines tragbaren Massenspeichers²⁵ und eines Organizers²⁶ entwickelt hat.



Abbildung 10: links: iPod (4th Generation) mit vom iPod mini adaptiertem *Click Wheel*, mitte: iPod (3rd Generation) mit ursprünglicher Benutzerschnittstelle (4 Buttons & Jog-Dial), rechts: iPod mini (1st Generation) mit gegenüber dem iPod (3rd Generation) optimierter Benutzerschnittstelle durch Integration der Buttons das Jog-Dial-Rad.

Effizienz durch Reduktion - Jog Dial für Datennavigation

Zunächst lohnt sich eine Betrachtung Mensch-Maschine-Schnittstelle am iPod selber und hier insbesondere des Navigationskonzeptes. Dieses basiert auf der Grundlage eines sogenannten Jog-Dial Rades. Dabei handelt es sich um eine Metapher aus dem Videobereich, wo Jog-Dials benutzt werden um präzise und mit etwas Übung ebenfalls sehr schnell an bestimmte Stellen auf Videobändern heranzuspulen.

Grundlage ist die Beobachtung, dass Menüs, sofern sie relativ flach organisiert sind und auf vielen der Menüstufen große Mengen von Einträgen beherbergen, wie dies bei Musiksammlungen notwendigerweise der Fall ist, Ähnlichkeiten mit in der Videobearbeitung verwendetem Filmmaterial aufweisen. Schliesslich besteht auch ein Film aus einer langen Sequenz von Einzelbildern. Eine Übertragung der Navigationsmetapher ist insofern als durchaus gerechtfertigt.

Die Metaphernwahl erscheint weiterhin als ergonomisch angebracht, da Jog-Dials problemlos mit nur einem Finger bedient werden können und Navigation in einer einzigen fließenden Bewegung stattfindet²⁷.

Mit der Einführung des *iPod mini* hat Apple dieses Bedienkonzept noch einmal optimiert, indem die vier ehemals separat zu bedienenden Funktionstasten des *iPod* nun druckempfindlichen Punkten unter dem

²⁵Gesamtspeicherkapazität: 40GB für den iPod Classic, 4GB für den iPod mini

²⁶Verwaltung von Kontakten, Adressen und eines Kalenders, sowie mehrere Spiele

²⁷im Gegensatz zu solchen Konzepten wie dem *Mouse Wheel*



Abbildung 11: links u. mitte: iPod Click Wheel Konzept, rechts: Jog Dial in der Videobearbeitung

Jog-Dial-Rad zugeordnet sind. Deren Anordnung entspricht dabei, um Versehen bei der Bedienung zu vermeiden, den vier Himmelsrichtungen.

Insgesamt erhält man auf diese Weise ein Navigationskonzept, welches intuitiv und damit mit wenig bewusstem Aufwand zu bedienen ist. Insgesamt stellt das Jog-Dial-Konzept unserer Meinung nach eine gelungene Lösung des Problems der Mensch-Maschine-Schnittstelle dar entstanden aus der Einschränkung auf ein festes Anwendungsszenario.

iPod als Integrator - Home on iPod

In Kap. 7, S. 16 haben wir die Idee des Wearable Computers als eines Integrators entworfen, der bestehende Rechnerinfrastrukturen und insbesondere die für diese Infrastrukturen zugeschnittenen Bedienschnittstellen nutzt. Kurz vor der Einführung dritten Version²⁸ seines Betriebssystems *macOS X* kündigte Apple ein neues Systemfeature an welches allgemein als *Home on iPod*²⁹ bekannt wurde. Die Ankündigung versprach die nahezu komplette Umsetzung des in Kap. 7 beschriebenen Konzeptes.

Auf der FireWire-Festplatte des *iPod* sollte das komplette Heimatverzeichnis eines Benutzers gespiegelt werden. An einen beliebigen Apple-Rechner angeschlossen, kann der Anwender dann ohne Einschränkungen direkt auf dem *iPod* und damit in seiner gewohnten Umgebung arbeiten. Einzige Voraussetzung auf dem Hostsystem sollte ein funktionierendes Betriebssystem sein, wodurch dieser in der Tat eigentlich nur seine Rechenkraft und seine Bedienschnittstellen als Ressourcen zur Verfügung stellt³⁰.

Weiterhin war vorgesehen, das Heimatverzeichnis auf dem Hauptrechner des Anwenders bei Anschluss des *iPod* automatisch zu synchronisieren, so dass auch stets ein aktuelles Backup der Daten zur Verfügung steht.

Nicht eingebracht wurde in diesem Konzept die in Kap 7 beschriebene Möglichkeit, auf dem Massenspeicher Anwendungen für unterschiedliche Host-Systeme, insbesondere auch für den Wearable abzulegen und damit eine noch weitergehende Anpassung an die momentane Arbeitssituation zu ermöglichen.

Es ist uns als Autoren nicht bekannt, aus welchen Gründen die Einführung von *Home on iPod* schliesslich doch nicht stattfand und Apple alle dahingehenden Anündigungen zurückgezogen hat³¹.

Auf jeden Fall handelte es sich um einen guten Ansatz, die Problematik der Bedienschnittstellen für ultramobile Endgeräte zumindest teilweise geschickt zu umschiffen und da, wo es wirklich sinnvoll ist, bereits bestehende Entwicklungen zu integrieren.

A.2 Das Smartphone SonyEriccson S700

Wie bereits bemerkt stehen die klassischen Wearable Systeme mit sogenannten Smartphones und PDAs im Wettbewerb, wenn es darum geht, den Markt für ultramobile Geräte zu bedienen.

Zumindestens was den Consumerbereich angeht, zeigte die weltgrösste Computer- und Technikmesse

²⁸macOS 10.3.x, Codename Panther, erhältlich seit etwa Oktober 2003

²⁹<http://www.macrumors.com/downloads/applemobility.html>

³⁰wobei man *Bedienschnittstellen* hier durchaus sowohl software- (Betriebssystem) als auch hardwareseitig (Bildschirm, Tastatur, Maus, etc.) auffassen kann

³¹Die ursprünglichen Informationen sind daher nur noch über eine gecachte Version der damaligen Informationsseite unter <http://www.macrumors.com/downloads/applemobility.html> verfügbar. Stand: 24. März 2004

Cebit 2004 einen neuen Trend auf, der die Situation noch verschärfen könnte und auch in Hinsicht auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle interessant ist. Die Cebit war der Startschuss für eine neue Generation von multimediafähigen Geräten, die eine Fusion dreier bisher getrennt laufender Entwicklungslinien darstellt: Das Handy wurde mit dem PDA und der Digitalkamera zu einer Einheit verschmolzen.

Interessant für uns ist dabei der Umgang mit der Weiterentwicklung der Benutzerschnittstellen bei der Fusion von mehreren Geräteklassen bei steigendem Funktionsumfang und der Anforderung der Kundschaft, die Geräte dennoch möglichst intuitiv bedienen zu können.

Als Beispiel wollen wir kurz das *S700* von Sony Ericsson³² betrachten.



Abbildung 12: links: S700 im Organizer-/Handybetrieb, mitte: Rückansicht mit Kamera, rechts: verborgene Tastatur

Das Interessante bei diesem Gerät ist die bereits auf der Website des Herstellers klar definierte Identifizierung dreier Nutzungsszenarien für den Betrieb als Telefon, Organizer und Kamera. Für jedes dieser Szenarien sollte die Bedienschnittstelle möglichst optimal gestaltet sein.

Handybetrieb - jenseits der Telefonzellenmetapher

Hält man das *S700* wie ein normales Handy in der Hand, so entspricht die Benutzerschnittstelle der eines klassischen PDA mit einem grossen, relativ hochauflösenden Display. Die Navigation erfolgt mittels eines Joysticks und vier weiterer Funktionsknöpfe. Die klassische Wähltastatur findet man bei diesem Gerät erst einmal nicht vor. Dahinter steht, ähnlich wie beim *iPod* die Erkenntnis, dass für eine Navigation durch Menus kein umfangreiches Interface benötigt wird.

Weiterhin trägt dieses Layout der Beobachtung Rechnung, dass sich das Telefonieren mit Mobiltelefonen insofern von der Telefonie an der Telefonzelle sowie vielerorts noch im Festnetz unterscheidet, dass der konkrete Wählvorgang mit der direkten Eingabe der einer Telefonnummer der Auswahl des Gesprächspartners aus dem Telefonbuch gewichen ist. Die klassischen Metaphern sind also für moderne Mobiltelefone nicht ausschlaggebend.

Die Bedeutung der klassischen Zehnertastatur liegt bei ihnen eher in der Möglichkeit hierüber im Zusammenspiel mit dem T9-System eine effiziente Möglichkeit zum Verfassen kurzer Textnachrichten zu haben. Daher wurde konsequenterweise in ähnlicher Form wie bei den Videorecordern die Tastatur verborgen.

Möchte der Benutzer eine Kurznachricht verfassen oder eine neue Telefonnummer einspeichern, so klappt er das Handy einfach mittels eines Drehmechanismus' auseinander und gibt damit die normale Tastatur frei. Dem Nutzer steht die von anderen Telefonen bekannte Schnittstelle ohne Einschränkungen zur Verfügung.

³²<http://www.sonyericsson.com>

Kamerabetrieb - Das Konzept multimodaler Bedienschnittstellen

Um mit dem *S700* Photos schießen zu können, muss man es wieder Zusammenklappen. Wird es danach wie ein Blatt im Querformat gehalten³³, so entspricht die Benutzerschnittstelle dem einer normalen kompakten Digitalkamera. Auf der Rückseite befindet sich auf der linken Seite wie gewohnt der Bildschirm (dessen Anzeige natürlich entsprechend gedreht wird), auf der rechten Seite die Steuerelemente. Die Linse, die im Organizermodus geschützt hinter einer Abdeckung lag, ist nun freigegeben. Das *S700* lässt sich also, ohne dass der sich der Anwender auf fremde Bedienkonzepte einlassen muss bedienen wie eine Low End Digitalkamera.



Abbildung 13: links: Bedienschnittstelle einer aktuellen kompakten Digitalkamera, rechts: S700 im Digitalkameramodus

Was bedeutet dieses Konzept nun im Kontext des Referates? In Kap. 7 haben wir darauf hingewiesen, dass ein Lösungsansatz der Interface-Problematik für Wearable Systeme darin bestehen kann, Anwendungsszenarien zu festzulegen und für diese die Problematik der Bedienschnittstelle einzeln anzugehen. Unser Vorschlag bestand darin, die Schnittstellen bereits vorhandener spezialisierter Systeme - im in Kap. 7 beschriebenen Fall dem Desktopsystem - für den Wearable nutzbar zu machen, wenn die Anwendungssituation entsprechend ist.

Das *S700* erweitert diesen Ansatz um die Möglichkeit der Integration multipler Bedienkonzepte entsprechend einer Anwendungssituation in einem einzigen mobilen Endgerät. Dieser Ansatz geht im übrigen ein Problem an, welches auch in [4] angesprochen wurde: der eigentlich unnötige Parallelbetrieb ähnlicher Bedienschnittstellen an unterschiedlichen Geräten der Unterhaltungselektronik. In diesem Sinne erscheint die Erkenntnis, dass die Bedienschnittstelle eines PDA im wesentlichen eine um 90 Grad gedrehte Version der Bedienschnittstelle einer Digitalmaera darstellt die beste Voraussetzung für eine erfolgreiche Funktion der beiden Geräteklassen.

Zusammengefasst. Gründliche Entwicklungsarbeit ermöglicht die Entwicklung wandelbarer MultiKontext-Bedienschnittstellen einerseits, eine neue Ökonomie hinsichtlich doppelter Bedienschnittstellen andererseits.

³³der Betrieb im Organizermodus entspricht *hochkant*.

Abbildungsverzeichnis

1	links: Xybernaut MA IV Standardkonfiguration, mitte: mögliche Positionen für Wearable Komponenten, rechts: Nahbereichswahrnehmung	7
2	Verformung des Körpers bei unterschiedlicher Bewegung	8
3	links: <i>XyberkeyTM</i> -Tastatur mit Befestigung, rechts: Tastaturlayout	9
4	links: Twiddler Griffhaltung, mitte: Gitarrengriff, recht: Twiddler Tastaturlayout	10
5	links & mitte: der aktuelle Kitty Prototyp, rechts: handschuhbasierte Entwurf	11
6	Handbewegung bei der Eingabe unterschiedlicher Buchstaben. links: Eingabe eines "A", rechts: Eingabe eines "AH"	12
7	links: Winspect-Handschuh, rechts: Winspect-Gesamtsystem	12
8	links: Xybernaut HMD mit Headset in Seitenansicht, mitte: Frontansicht, rechts: Stereo-Headset der Firma AKG - Basis für die Konstruktion?	13
9	links: MicroOptical Display mit Bluetooth-Verbindung zum PDA, rechts: aktuelles monokulares MicroOptical-HMD (an Standardbrille), MicroOptical Designstudie für ein integriertes HMD mit Headset und Kamera	15
10	links: iPod (<i>4th Generation</i>) mit vom iPod mini adaptiertem <i>Click Wheel</i> , mitte: iPod (<i>3rd Generation</i>) mit ursprünglicher Benutzerschnittstelle (4 Buttons & Jog-Dial), rechts: iPod mini (<i>1st Generation</i>) mit gegenüber dem iPod (<i>3rd Generation</i>) optimierter Benutzerschnittstelle durch Integration der Buttons das Jog-Dial-Rad.	19
11	links u. mitte: iPod Click Wheel Konzept, rechts: Jog Dial in der Videobearbeitung	20
12	links: S700 im Organizer-/Handybetrieb, mitte: Rückansicht mit Kamera, rechts: verborgene Tastatur	21
13	links: Bedienschnittstelle einer aktuellen kompakten Digitalkamera, rechts: S700 im Digitalkameramodus	22

Literatur

- [1] 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.
- [2] Schmidt, Albrecht; Aidoo, Kofi Asante; Takaluoma, Antti, et al. *Advanced Interaction in Context* Telecooperation Office (TecO), University of Karlsruhe' Starlab Nv/SA, Brüssel, Belgien; Nokia Mobile Phones, Oulu, Finland
- [3] Evreinov, Grigori; Evreinova, Tatiana; "Breath-Joystick" Graphical Manipulator for Physically Disabled Users. Computer Helping People with Special Needs.; In: Proc. of the 7th International Conference on Computer Helping People with Special Needs; Karlsruhe, Germany. July 17-21, 2000.
- [4] Rügge, Ingrid et al.; *TZI-Bericht Nr.24, Studie "Technologische und anwendungsorientierte Potentiale mobiler, tragbarer Computersysteme"*; Technologiezentrum Informatik, Universität Bremen; Bremen, Januar 2002
- [5] Gemperle, Francine et al.; *Design for Wearability - Proceedings of the Second ISWC IEEE*; Computer Society Press, 1998; Institute for Complex Engineered Systems, Carnegie Mellon University, Pittsburgh (USA); <http://www.ices.cmu.edu/design/wearability/>; (Stand 25. März 2004)
- [6] Hall, E.T.; *The Hidden Dimension*; Anchor Books 1982
- [7] Rügge, Ingrid; Nicolai, Tom; Boronowski, Michael; *Computer im Blauman / Blue Collar Computing*; Technologiezentrum Informatik, Universität Bremen, 2002/2003
- [8] Gemperle, Francine; Bodine, Kerry; *Effects on Functionality on Perceived Comfort on Wearables*; Human Computer Interaction Institute, Institute for Complex Engineered Systems; Carnegie Mellon University, Pittsburgh (USA)
- [9] Rachuy, Carsten; Reimerders, Jörn; Warden, Tobias et al. *Project iWear - wearable IT solutions, proceedings of the IEEE Mechatronics & Robotics 2004*, Aachen, September 2004
- [10] Homepage des Projekts iWear an der Universität Bremen; <http://www.iwear.tzi.de/>; (Stand: 28. März 2004)
- [11] Homepage der Firma Intel; Vorstellung der Centrino-Technologie; <http://www.intel.com/products/services/emea/deu/mobiletechnology/index.htm>; (Stand: 28. März 2004)
- [12] Homepage der Universität Bremen; Informationen zum WLAN-System; <http://www.dmn.tzi.org/wlan/>; (Stand: 28. März 2004)
- [13] Homepage der Firma Xybernaut; <http://www.xybernaut.com/>; (Stand: 25. März 2004)
- [14] Wearable Group der Carnegie Mellon Universität in Pittsburgh (USA); Hauptseite; <http://www.wearablegroup.org/index.html>; (Stand: 25. März 2004) bibtiemVuMan Wearable Group der Carnegie Mellon Universität in Pittsburgh (USA); Informationen über den VuMan, ein Gerät zur mobilen Unterstützung von Inspektionen; <http://www-2.cs.cmu.edu/wearable/vuman.html> (Stand: 28. März 2004)
- [15] Homepage der Handkey-Cooperation; <http://www.handykey.com/>; (Stand 25. März 2004)
- [16] Homepage der Firma IBM; <http://www.ibm.com/>; (Stand: 28. März 2004)
- [17] Mehring, Carsten et al.; *The Kitty Project - Keyboard independent Touch Typing Method and Device*; <http://www.kittytech.com/>; (Stand: 25. März 2004)
- [18] Liste verschiedener HMD-Typen; <http://www.stereo3d.com/hmd.htm#chart>; (Stand: 25. März 2004)

[19] Homepage der Firma MicroOptical; <http://www.microopticalcorp.com/>; (Stand: 28. März 2004)

[20] Homepage der Firma Apple; <http://www.apple.de>; (Stand: 28. März 2004)