

Daniela Bliem-Ritz

Wearable Computing

Benutzerschnittstellen zum Anziehen

disserta
Verlag

Bliem-Ritz, Daniela: Wearable Computing. Benutzerschnittstellen zum Anziehen, Hamburg, disserta Verlag, 2015

Buch-ISBN: 978-3-95425-794-2

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95425-795-9

Druck/Herstellung: disserta Verlag, Hamburg, 2015

Covermotiv: © Uladzimir Bakunovich – Fotolia.com

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© disserta Verlag, Imprint der Diplomica Verlag GmbH
Hermannstal 119k, 22119 Hamburg
<http://www.disserta-verlag.de>, Hamburg 2015
Printed in Germany

Abstract

Wearable Computing stellt eine Sonderform von Mobile Computing dar und kennzeichnet sich vor allem durch miniaturisierte Rechnermodule in Verbindung mit Sensornetzwerken die entweder auf, unter bzw. in der Kleidung angebracht werden und im Idealfall eine herkömmlichen Textilien vergleichbare Tragefreundlichkeit aufweisen. Wearable Computer bewegen sich stets mit dem Benutzer, sind immer aktiv und formen auf diese Art und Weise einen sehr persönlichen digitalen Informationsraum, der die jeweiligen Umgebungsbedingungen in Echtzeit erkennen und sich daran anpassen kann.

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit allgemeinen Grundlagen von Wearable Computing auseinander und zeigt neben visionären Vorstellungen auch bereits realisierte Systeme und noch zu lösende Problembereiche. Als Schwerpunkt werden im daran anschließenden Teil neuartige I/O-Schnittstellen, an der menschlichen Physis orientierte Bustopologien und kontextsensible Herangehensweisen beschrieben und im Hinblick auf ihren praktischen Nutzen beurteilt. Ein weiterer Aspekt widmet sich darüber hinaus der derzeit größten Herausforderung im Bereich des Wearable Computing: einer ausreichenden Energieversorgung.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
2. Grundlagen	16
2.1 Was ist Wearable Computing	16
2.1.1 Idee und Merkmale nach Steve Mann	16
2.1.2 Grenzen des Wearable Computing	23
2.1.3 Visionäre des Wearable Computing	35
2.2 Klassifikation von WearComps	46
2.2.1 Systemkomponenten	46
2.2.2 Entwicklungstendenzen	47
2.2.3 Wearable-Typisierung	50
2.2.4 Anwendungsbereiche	56
2.3 Meilensteine des Wearable Computing	61
2.3.1 Grundsteinlegung: 1960-1980	61
2.3.2 Medienpräsenz: 1981-1996	66
2.3.3 Marktdurchdringung: ab 1997	74
2.4 Wearability	75
2.4.1 Humanoide Grundlagen	76
2.4.2 Benutzerszenarien	80
3. Energieversorgung	84
3.1 Energiespeicher	84
3.1.1 Batterien	84
3.1.2 Folienbatterien	88
3.1.3 Brennstoffzellen	90
3.2 Mobile Energieerzeugung	92
3.2.1 Photovoltaik	92
3.2.2 Menschlicher Körper	97
3.3 Energieverbraucher	102
3.3.1 Durchschnittlicher Verbrauch	102
3.3.2 Beispielverbraucher für Anwendungen	105
3.4 Energiemanagement	107

4. Vernetzung	112
4.1 On-body communication	113
4.1.1 Body Area Network	113
4.1.2 Menschliche Elektrofelder	114
4.1.3 Nahbereichs-Funknetze	120
4.1.4 Leitende Textilien	124
4.1.5 Gewebebänder	131
4.2 Near-body communication	134
4.2.1 Personal Area Network	134
4.2.2 Bluetooth	135
4.2.3 ZigBee	140
4.3 Off-Body communication	143
4.3.1 Wireless LAN	143
5. Kontext	146
5.1 Kontext Grundlagen	147
5.1.1 Kontextbezogene Szenarien	147
5.1.2 Definition von Kontext	150
5.1.3 Kontextspezifische Klassifizierungen	151
5.2 Kontextmodelle	155
5.2.1 Erfassung von Kontextinformationen	156
5.2.2 Strukturierung und Interpretation durch Kontextmodelle	159
5.3 Kontextquellen zur Position	161
5.3.1 Positionssysteme	162
5.3.2 Satellitengestützt (GNSS/GPS)	164
5.3.3 Zellenbasiert (GSM/UMTS)	168
5.3.4 Innenraumsysteme (IR/Funk/US)	171
5.3.5 Relative Bewegungsmessung	175
5.3.6 Visuelle Marker (VisualTags)	177
5.3.7 Beobachtung der Umgebung	181
5.3.8 Verbundlösungen	183
5.4 Kontextquellen zur Identifikation	187
5.4.1 Identifikationssysteme	187
5.4.2 Funketiketten (RFID)	188
6. I/O-Schnittstellen	193

6.1 Ausgabegeräte	193
6.1.1 Head-Mounted-Displays (HMD)	194
6.1.2 Alternative Displays	203
6.1.3 Lautsprecher	212
6.1.4 Taktile Ausgaben	213
6.2 Eingabegeräte	216
6.2.1 Tastaturen	216
6.2.2 Zeigegeräte	225
6.2.3 Zeichengeräte	230
6.2.4 Mikrofone & Kameras	232
6.3 I/O-Software	233
6.3.1 Gestenerkennung	234
6.3.2 Objekterkennung	238
6.3.3 Spracherkennung	243
7. Ausblick	246
Anhang	252
Abbildungsverzeichnis	252
Tabellenverzeichnis	260
Literaturverzeichnis	261
Publikationen	261
Präsentationen	266
Linkverzeichnis	270
Homepages	270
Sonstige Links	275

1 Einleitung

Trotz einem rasanten Fortschritt im Bereich von Miniaturisierung und zunehmenden Leistungskapazitäten der meisten mobilen Geräte weisen diese bis heute doch zumeist eine eher sperrige und wenig benutzerfreundliche Gestaltung im Hinblick auf eine dynamische Nutzung auf. PDAs als auch Mobiltelefone sind klein und damit leicht tragbar, müssen aber in einer Tasche oder der Hand platziert werden und schränken den Benutzer oftmals nicht nur im Hinblick auf Ein- bzw. Ausgabe, sondern auch Leistung und Bewegung ein. Aufwendigere Multimedia-Geräte (z.B. SmartPhones bis hin zu Laptops) erlauben zwar die Bewältigung von anspruchsvolleren Aufgaben, ihre Größe steigt jedoch wiederum proportional mit ihren Fähigkeiten an und macht sie damit allein aufgrund ihres Formfaktors immer weniger geeignet für eine wirklich mobile Nutzung.

Den überwiegenden Teil der Zeit bleiben heutige mobile Geräte deshalb inaktiv und werden mehr von Ort zu Ort getragen als dass sie unterwegs in Anspruch genommen werden. Wearable Computing setzt hier an und möchte dem Benutzer eine Möglichkeit zur Verfügung stellen auch außerhalb statischer Aufenthalte die Fähigkeiten eines Rechnersystems zu nutzen. Dabei stehen vor allem Aspekte im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion (HCI, Human-Computer-Interaction) im Vordergrund: Um den Benutzer nicht zu behindern oder abzulenken müssen Systeme dieser Art beispielsweise möglichst unsichtbar bleiben, d.h. klein, leicht und unauffällig wie ein Kleidungsstück, gleichzeitig müssen sie sich jedoch mitteilen oder Eingaben entgegen nehmen können und dafür entsprechende Schnittstellen anbieten.

Allein aus physiologischen Gründen kommen auch im Bereich des Wearable Computing meist visuelle Ausgaben und taktile Eingaben zum Zuge. Anders als bei herkömmlichen mobilen Rechnern können sie sich der menschlichen Wahrnehmung jedoch nur überlagernd darstellen und damit einen Teilbereich der humanen Sinne in Anspruch nehmen um den Benutzer nicht von der realen Umwelt abzuschneiden. Für eine wirklich mobile Nutzung erfordern Computer dieser Art darüber hinaus einen permanenten Betrieb – nur so kann gewährleistet werden, dass der Benutzer nicht seine bisherige Tätigkeit für eine Aktivierung unterbrechen muss und damit in einen statischen Modus wechselt. Gerade dieser Umstand führt letztendlich jedoch auch dazu, dass direkt am Körper getragene

Computer einen ausnehmend persönlichen Interaktionsraum zwischen Mensch und Computer formen – jeder Nutzer ist gewissermaßen von einer Wolke digitaler Informationen umgeben.

Beide Aspekte – der hohe Individualisierungsgrad und als auch permanente Betriebsmodus – haben dazu geführt dass am Körper getragene Systeme Probleme und Aufgaben bewältigen können, die den meisten anderen Computern eher fremd sind. Sie können direkt ermessen in welchem Zustand sich der Benutzer befindet (beispielsweise mittels Körpersensoren) und gleichzeitig Feststellungen zu Ort, Zeit und vielen anderen Umweltfaktoren des Benutzers treffen und ihre Verhalten danach ausrichten, kurz: sie können den jeweiligen Kontext erfassen und auch darauf reagieren. Diese eher ungewohnte Funktionalität hat mittlerweile zu einer Vielzahl an Visionen für neuartige Benutzerszenarien und Anwendungsbereiche geführt und zeigt sich auch in der praktischen Anwendung als einer der einflussreichsten Aspekte des Wearable Computing. Aus diesem Grund wurde das Thema Kontext auch im Rahmen dieser Arbeit als ein wesentlicher Schwerpunkt gewählt und anhand aktueller Konzepte und Verfahren näher beleuchtet.

Gleichzeitig steht Wearable Computing jedoch einer Vielzahl an mehr oder minder massiven Problemen gegenüber: so existieren bislang keine wirklich überzeugenden Ein-/Ausgabe-Geräte für diese neuartige Mensch-Maschine-Schnittstelle und die derzeit größte Hürde – eine ausreichende Energieversorgung die den Ansprüchen eines Dauerbetriebes gerecht wird – scheint ebenfalls noch in weiter Ferne. Beide Themenbereiche wurden deshalb ebenfalls exemplarisch herausgegriffen um auch die aktuellen Herausforderungen des Wearable Computing aufzuzeigen.

Herkömmliche Lösungen versagen jedoch oftmals nicht nur im Bereich der direkten Mensch-Maschine-Kommunikation, sondern auch bezüglich potentieller Architekturen. Im Gegensatz zu Desktop- oder Notebook-Rechnern sind kompakte Einzelboxen meist nur wenig wünschenswert, da sie die Bewegungsfreiheit des Benutzers in einem zu hohen Ausmaß einschränken würden. Etabliert haben sich mittlerweile Modulsysteme deren einzelne Komponenten möglichst tragefreundlich über den Körper verteilt werden. Diese Herangehensweise bringt jedoch ein anderes Problem mit sich: die jeweiligen Elemente benötigen nun ein neuartiges Bussystem über welches sie miteinander kommunizieren

können ohne den Benutzer zu stören. Um die aktuellen Lösungen aus diesem Bereich aufzuzeigen wurden Aspekte der Vernetzung als letztes Kapitel für eine Vertiefung gewählt.

Kapitelaufbau

Nachfolgend wird ein grober Überblick zu jedem Kapitel gegeben. Darüber hinaus findet sich im Einleitungsbereich jedes (längeren) Kapitels ebenfalls eine kurze Zusammenfassung der jeweils behandelten Themenbereiche (s.d.). Die digitale PDF-Version dieser Arbeit verfügt außerdem über entsprechende PDF-Bookmarks um direkt zwischen den verschiedenen Kapiteln zu navigieren.

Kapitel 1. Einleitung [Seite 11 ff.]

Dieses kurze Kapitel gibt eine grobe Vorstellung zum Inhalt der vorliegenden Arbeit und – im Rahmen dieser Übersicht – auch einen Leitfaden zum Inhalt der jeweiligen Kapitel.

Kapitel 2 Grundlagen [Seite 16 ff.]

Das einführende Grundlagenkapitel zeigt wesentliche Aspekte des Wearable Computing auf, insbesondere auch seine Potentiale und Grenzen in Gegenüberstellung zu vergleichbaren Technologien wie Ubiquitous Computing. Darüber hinaus werden neben einem historischen Abriss auch grobe Einblicke in Grundlagenverfahren für eine erhöhte Tragefreundlichkeit ("Wearability") gegeben und sowohl der typische Aufbau eines Wearable Computing-Systems als auch seine aktuellen Typen vorgestellt.

Kapitel 3 Energieversorgung [Seite 84 ff.]

Im Rahmen dieses Kapitels werden wesentliche Technologien für eine Energieversorgung im Bereich des Wearable Computing beschrieben, allen voran Batterien, aber auch mögliche Nachfolger wie beispielsweise Brennstoffzellen. Kurz gestreift werden auch Methoden zur mobilen Energieerzeugung, welche sich allerdings meist nur für Niedrigenergiesysteme eignen. Ergänzt wird das Kapitel darüber hinaus durch einen Überblick zu

typischen Energieverbrauchern und mögliche Effizienzsteigerungen durch ein verbessertes Energiemanagement.

Kapitel 4 Vernetzung [Seite 112 ff.]

Dieses Kapitel behandelt skalierte Methoden für eine Vernetzung im Bereich des Wearable Computing, die von busähnlichen Topologien am Körper ("On-body") über körpernahe Netzwerke ("Near-body") bis hin zu Verbindungstechnologien außerhalb des Humanbereiches ("Off-body") reichen. Obwohl zu allen drei Bereichen Anwendungsbeispiele und Technologien vorgestellt werden, liegt ein wesentlicher Schwerpunkt im Rahmen dieser Arbeit auf direkten Verbindungen am Körper selbst, die nebst drahtgebundener Lösungen vordergründig auch drahtlos erfolgen können und sollen.

Kapitel 5 Kontext [Seite 146 ff.]

Ein wesentliches Kernthema dieser Arbeit findet sich in diesem Kapitel, das sowohl den allgemeinen Begriff von Kontext im Hinblick auf Wearable Computing erläutert als auch dessen mögliche Bedeutung in der Praxis. Dazu werden zunächst typische Herangehensweisen zur Dechiffrierung von Kontext als auch die daraus resultierenden Kontextmodelle vorgestellt und anhand von exemplarischen Beispielen erläutert. Anschließend werden die beiden wichtigsten Kontextquellen – Position als auch Identifikation – herausgegriffen und mittels aktueller Technologien konkretisiert.

Kapitel 6 I/O-Schnittstellen [Seite 193 ff.]

Wearable Computing ist in vielen Fällen mit einer neuartigen Definition der Maschine-Mensch-Schnittstelle verbunden. Im Rahmen dieses Kapitels werden deshalb innovative Geräte zur Ein- als auch Ausgabe beschrieben und im Hinblick auf ihre Nutzbarkeit im Bereich von Wearable Computing bewertet. Das Kapitel schließt mit einigen typischen Applikationsbeispielen aus dem Bereich der Eingabedecodierung (Sprach-, Gesten-, Objekterkennung), welche die Vor- aber auch Nachteile einer softwareseitigen Lösung von Eingaben aufzeigen.

Kapitel 7 **Ausblick** [Seite 246 ff.]

Im abschließenden Kapitel findet sich ein kurzer Ausblick zu möglichen Entwicklungen im Bereich des Wearable Computing, ergänzt um eine persönliche Einschätzung der Technologie.

2 Grundlagen

Wearable Computing zeigt sich heute als eine stark in Entwicklung befindliche Technologie mit Wurzeln in den 1960er Jahren und Zukunftsperspektiven zwischen Ubiquitous Computing und SmartClothing. Entwickelt für militärische Anwendungen finden sich aktuelle Systeme v.a. in industriellen Bereichen wie Wartung / Instandhaltung und Logistik, darüber hinaus wurde in den letzten Jahren aber auch zunehmend der Endkonsumentenmarkt durch Produkte im Bereich von Unterhaltung und Multimedia fokussiert.

Im Rahmen dieses einführenden Kapitels sollen wesentliche Grundlagen des Wearable Computing aufgezeigt werden, beginnend bei einem Definitionsrahmen in 2.1 [Seite 16 ff.], welcher nebst einer Einführung in die Schriften Steve Manns auch eine Abgrenzung gegenüber nahestehenden Technologien umfasst und mit einem Überblick zu verschiedenen Visionen einschlägiger Forschungsinstitute schließt. Im daran anschließenden 2.2 [Seite 46 ff.] werden typische Architekturen klassischer Systeme vorgestellt und bestehende Lösungen nach unterschiedlichen Richtlinien klassifiziert als auch ihre potentielle Entwicklung aufgezeigt. Nach einem historischen Überblick in 2.3 [Seite 61 ff.] werden abschließend Richtlinien für Systeme mit einer hohen Tragefreundlichkeit / "Wearability" in 2.4 [Seite 75 ff.] behandelt und im Hinblick auf ihren praktischen Nutzen bewertet.

2.1 Was ist Wearable Computing

2.1.1 Idee und Merkmale nach Steve Mann

2.1.1.a Definitionsrahmen

Wearable Computing (engl. to wear = tragen), kurz WearComp, ist ein etwas unscharfer Sammelbegriff für verschiedenste Computersysteme, die während der Benutzung analog einem Kleidungsstück am Körper getragen werden und den Benutzer (bei Bedarf) kontextabhängig unterstützen können ohne jedoch seine Aufmerksamkeit oder Mobilität im Allgemeinen zu beeinträchtigen. Wie ein zusätzlicher Teil des Körpers sollen sie die humanoide Wahrnehmung erweitern (indem sie beispielsweise Informationen liefern, die durch unsere herkömmlichen Sinne nicht oder nur unscharf erfassbar wären) und gleichzeitig verschiedenste andere Rechnerdienste auf eine möglichst mobile Art und Weise leisten,

während sie dabei selbst (sowohl was Hardware als auch Software betrifft) möglichst "unsichtbar" bleiben.

Steve Mann [siehe Abbildung 1] – der geistige Vater des Wearable Computing – beschrieb Wearables 1998 [Man98a] als eine Art individueller Mini-Computer der immer in Betrieb ist und seinen Besitzer unauffällig überallhin begleitet. In seinem bis heute häufig zitierten Einführungsvortrag zur zweiten ISWC [lsw_HP], der bedeutendsten internationalen Messe des Wearable Computing, nannte er die wesentlichen Grundzüge des Wearable Computing:

Wearable computing facilitates a new form of human--computer interaction comprising a small body--worn computer (e.g. user--programmable device) that is always on and always ready and accessible. In this regard, the new computational framework differs from that of hand held devices, laptop computers and personal digital assistants (PDAs). The 'always ready' capability leads to a new form of synergy between human and computer, characterized by long-term adaptation through constancy of user--interface. [Man98a]



Abbildung 1: Steve Mann bei der Verwendung eines seiner Wearables [Man_HP]

Zwar ähneln Wearables nach Mann den bekannten Accessoires wie Armbanduhr oder Brillengläsern, da auch sie stets zur Verfügung (jedoch nicht im Mittelpunkt) stehen, sind aber genau wie herkömmliche Desktop-Computer oder Großrechner programmier- und rekonfigurierbar. Da sie in vielen Fällen unmittelbar auf Ort, Zeit, Benutzerfassung u.a.m. reagieren können, stellen sie auch eine sehr persönliche Ausprägung der Mensch-Maschine-Interaktion dar.

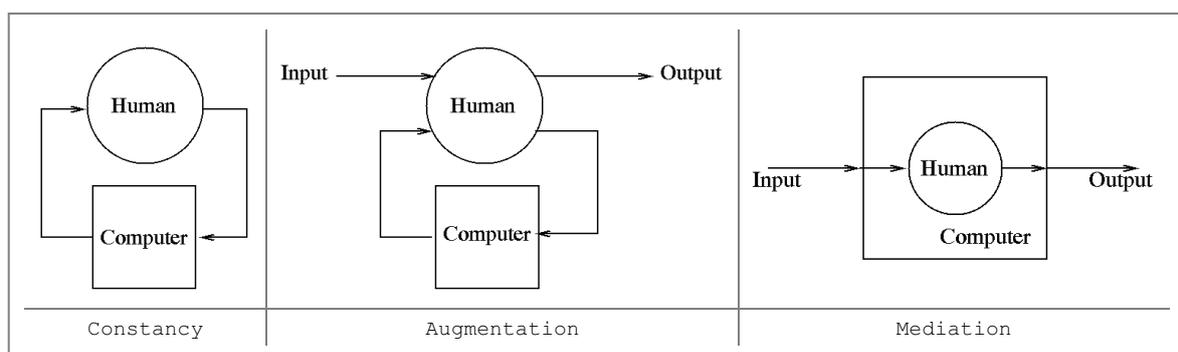
Als Armbanduhr, die permanent den Puls misst und im Bedarfsfall eine medizinische Notfalleinrichtung kontaktiert, kann das Wearable für Herzkranke oder Tourengerer

hilfreich sein. Brillen, deren Innenseiten als Display ausgeführt sind, können zusammen mit Miniaturkameras die verschiedensten Dienste leisten – von der Unterstützung für Sehbehinderte durch Objekterkennung bis hin zu mobilen Informationssystemen, die die Umwelt des Benutzers mit weiteren Daten zu Gebäuden, Wegen oder sogar Ausstellungsobjekten versorgen. Eingearbeitet in Kleidungsstücke wie T-Shirts, Jacken oder sogar Unterwäsche und unter Ausnutzung der elektronischen Leitfähigkeit des Körpers oder der jeweiligen Materialien ergeben sich die unterschiedlichsten Wearables, die von mobilen Musikanlagen bis hin zu kompletten Computersystemen reichen.

2.1.1.b Operationsmodi Mensch-Maschine-Interaktion

Wearables kennzeichnen sich zu einem Teil mit Sicherheit allein durch ihre Hardware-Miniaturisierung – nur kleine und leichte Wearables können den Anforderungen der Tragbarkeit entsprechen und nur eine effiziente Energieauslastung und kabellose Vernetzung können die nötige Mobilität gewährleisten. Wenn ein Computer jedoch so klein und benutzerspezifisch wird, wie es Wearables per definitionem sein sollen (im optimalen Fall empfindet der Benutzer das Wearable nahezu als Teil seines Körpers), ist es nur konsequent sie auch zu individualisieren – d.h. sie für den jeweiligen Besitzer zu optimieren und das gesamte System benutzerzentriert zu gestalten.

Dies bedingt jedoch eine veränderte Betrachtungsweise der herkömmlichen Mensch-Maschine-Interaktion, in welcher meist die Maschine im Mittelpunkt steht, auch wenn Aufgaben des Benutzers gelöst werden sollen. Man hielt diese veränderten Bedingungen durch die drei Operationsmodi Constancy, Augmentation und Mediation fest [siehe Abbildung 2] und beschrieb damit gleichzeitig die drei wesentlichen Basiseigenschaften des Wearable Computing. Nachfolgend wird ein grober Überblick über diese drei Faktoren gegeben, welcher über weite Strecken [Man98a] folgt.



1. Constancy (Konstanz):

Ein Wearable Computer ist immer eingeschaltet ("always on"), immer bereit ("always ready") und immer verfügbar wenn der Benutzer es möchte ("always accessible"). Er muss also nicht wie ein Laptop erst aktiviert oder anderweitig eingerichtet werden. Anstatt dessen findet ein permanenter Informationsaustausch zwischen Computer und Mensch statt [siehe Abbildung 2, links]. Dies bedeutet nicht, dass ein Wearable nie ausgeschaltet oder deaktiviert werden kann, sondern lediglich dass eine permanente Schnittstelle angeboten wird, die eine Aktivierung nach Bedarf bzw. Kontext erlaubt.

2. Augmentation (Erweiterung, Überlagerung):

Herkömmliche Computersysteme beanspruchen nach Mann einen Großteil der Aufmerksamkeit des Benutzers. Wearable Computing geht vom genauen Gegenteil aus: der Benutzer führt primär eine andere Aufgabe aus (beispielsweise geht er einkaufen oder repariert ein Fahrrad) und benutzt *zusätzlich* den Computer (beispielsweise um das nächste Einkaufszentrum nachzuschlagen). Folgerichtig darf die Information seitens des Computers das Denken und die Wahrnehmung des Benutzers lediglich überlagern, jedoch nicht zur Gänze beanspruchen [siehe Abbildung 2, mittig].

3. Mediation (Vermittlung):

Aus den beiden bisher genannten Faktoren resultiert auch eine gewisse Mediatorenfunktion des Wearable: der Computer überlagert die bisherige Umgebung des Menschen durch weitere Informationen und bildet eine neue, transparente Zusatzschicht, er kapselt den Benutzer [siehe Abbildung 2, rechts]. Wie dicht diese Kapsel ist, bleibt dem Benutzer überlassen. Beispielsweise kann er sich vor der Umwelt mit Hilfe des Wearable in Teilen verschließen, indem ihm das Wearable dabei hilft, bestimmte Informationen auszublenden (z.B. Werbung) oder er kann seine Umwelt virtuell durch Objekte ergänzen bzw. bestehende Objekte ersetzen (z.B. vertrocknete Blumen durch frische): das Wearable kann also den Grad jener Informationen die von "Außen" zum Benutzer vordringen variieren. Zum zweiten kann das Wearable aber auch den Informationsfluss von "Innen" zur Umwelt regulieren und dadurch eine verstärkte Privatheit sichern: Durch die enge Verbindung zum Wearable wird die leicht angreifbare Distanz zwischen Mensch und Computer denkbar gering und

sensible Daten können leichter geschützt werden (beispielsweise müssen Passwörter nicht mehr über die Tastatur eingegeben werden). Parallel dazu kann das Wearable bei entsprechender Ausstattung mit Sensoren auch die Körperfunktionen des Besitzers überwachen (z.B. Herzschlag) und so im Notfall selbständig die Kapsel durchbrechen (z.B. indem es bei einem Herzinfarkt eine Notrufzentrale verständigt).

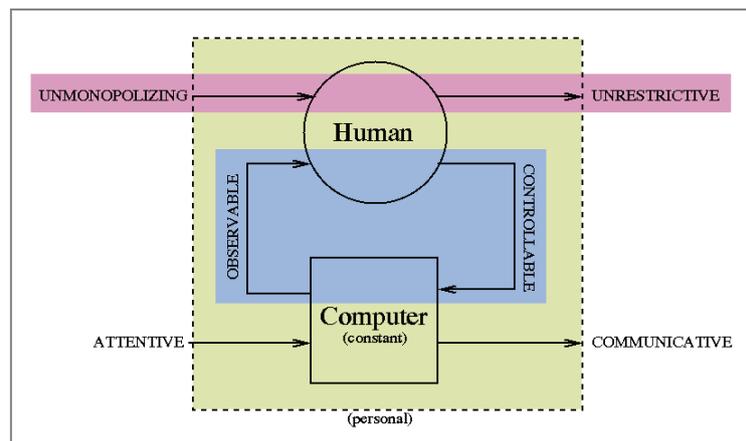


Abbildung 3: Gesamtes Framework des Wearable Computing nach Mann [Man98b] (Farbbereiche ergänzt)

2.1.1.c Kennzeichen des Wearable Computing

Aus diesen drei Benutzermodi leitete Mann in weiterer Folge auch 6 primäre und zwei sekundäre Eigenschaften des Wearable Computing ab, die als attributive Verbindung in dem von ihm aufgestellten Framework aus [Abbildung 3] agieren sollen. Noch stärker zeigt sich hier Manns Vision einer sinneserweiternden Prothese, die für den Benutzer beinahe unsichtbar bleibt und sich wie eine zweite Haut über die Wahrnehmung legt. Der WearComp soll demnach sensibel auf seinen jeweiligen Kontext reagieren ("attentive"), womöglich sogar als Kommunikationsorgan ("communicative") einsetzbar sein, die Aufmerksamkeit des Benutzers auf Ausgabeseite jedoch nicht zu sehr beanspruchen ("unmonopolizing") und auch den Eingabemodus nicht behindern ("unrestrictive"). Alle seine Aktivitäten obliegen dabei im Wesentlichen der Benutzerkontrolle ("controllable"), während seine physische Ausbildung und Anbringung dergestalt erfolgen soll, dass das Wearable bei Bedarf stets in das Bewusstsein des Nutzers dringen kann, also observierbar bleibt ("observable").

Alle sechs Eigenschaften zusammen bringen darüber hinaus zwei wichtige Folgeeigenschaften des Wearable Computing mit sich: WearComps müssen permanent in Betrieb sein (da sie nur so kontextspezifisch reagieren können), d.h. sie müssen über eine konstan-

te Bereitschaft verfügen ("constant"). Und – als wichtige Folgerung aus dem Genannten – sie formen einen ausnehmend persönlichen Interaktionsraum zum Benutzer hin ("personal"). Alle primären als auch sekundären Kennzeichen sind nochmals in [Tabelle 1] gelistet und beschrieben.

Nr.	Eigenschaft	Beschreibung
1	UNRESTRICTIVE WearComps monopolisieren nicht die Aufmerksamkeit des Benutzers	Wearables schneiden den Benutzer nicht von seiner Umwelt ab oder benötigen seine volle Konzentration. Sie überlagern die Realität lediglich ("Augmented Reality") und ersetzen sie nicht wie es bei Virtual Reality der Fall ist. Der Benutzer kann bei einem HMD beispielsweise die Ausgabe am Display beachten oder ein Bild an der Wand.
2	UNMONOPOLIZING WearComps schränken den Benutzer nicht ein	Dieses Kennzeichen bezieht sich vordergründig auf physische Tätigkeiten des Benutzers, sei es Einkaufen, Arbeiten oder Telefonieren. Der Benutzer kann problemlos seinen alltäglichen Aufgaben nachgehen und dabei vom Wearable unaufdringlich unterstützt werden. Dies ist bei herkömmlichen mobilen Systemen oftmals nicht oder nur umständlich möglich – beispielsweise kann man nur schwer einen Laptop oder PDA bedienen während man joggt.
3	OBSERVABLE WearComps sind observierbar durch den Benutzer	Das Wearable ist per se "immer da" und kann bei Bedarf ins Bewusstsein des Benutzers dringen. Anders als ein Handy, das nicht zwangsweise am Körper des Benutzers getragen wird und damit Aufmerksamkeit erhalten kann (beispielsweise wenn es sich in der Tasche oder einem anderen Raum befindet), trägt der Benutzer sein Wearable immer bei sich.
4	CONTROLLABLE WearComps sind kontrollierbar durch den Benutzer	Ein Benutzer kann auch jederzeit die Kontrolle über das Wearable übernehmen und es steuern. Selbst automatisierte Prozesse können so unterbrochen werden. Hier unterscheiden sich Wearables von nicht benutzer-regulierbaren Technologien wie "atmenden" Textilien, die den Körper bei Temperaturanstieg automatisch kühlen.
5	ATTENTIVE WearComps sind aufmerksam gegenüber der Umwelt	Je nach technologischer Ausprägung wissen Wearables beispielsweise wo sie sind oder können durch Sensoren auch Temperatur, Körperfunktionen bzw. -stimmungen auffangen und vieles anderes mehr. So kann ein Wearable beispielsweise seine Ausgabe reduzieren, wenn es merkt dass der Benutzer schneller geht und weniger Zeit bzw. Aufmerksamkeit für Zusatzinformationen hat.
6	COMMUNICATIVE WearComps können kommunizieren	Bei Bedarf können Wearables auch zur Kommunikation genutzt werden, sei sie als direktes Kommunikationsmedium oder auch als Hilfe um sich auszudrücken.
Nr.	Folgeeigenschaft	Beschreibung
-	CONSTANT WearComps sind immer bereit/ein	Ein Wearable kann nur dann auf seinen Kontext reagieren, wenn es überhaupt eingeschaltet ist. In Folge ist ein Dauerbetrieb notwendig, dessen Energieverbrauch jedoch ggf. durch einen "Schlafmodus"

Tabelle 1: Die sechs primären und zwei sekundären Kennzeichen von Wearable Computing nach Mann [Man98a]

Die Auflistung in [Tabelle 1] zeigt jedoch auch, dass es sich bei Wearable Computing in seinen theoretischen Grundfesten nicht nur um eine Computer-Technologie handelt, die den Umstand ausnutzt, dass Rechner immer kleiner und kleiner werden bzw. geworden sind (sodass sie schließlich auch am Körper getragen werden können), sondern vielmehr um eine hardwarebasierte Computer-Denkart, die - wie einige andere Richtungen auch – nach einem neuen Umgang mit dem Computer streben. Der Benutzer soll nicht das Gefühl haben, dass der Computer für ihn eine Aufgabe löst, sondern das Wearable soll

ihn dabei unterstützen, selbst eine Aufgabe zu lösen. Im Idealfall liefern ihm die Schnittstellen des Wearable genau jene Informationen und Fähigkeiten, die ihm dazu fehlen – es stellt also vereinfacht ausgedrückt eine Art Prothese dar, während der Benutzer jedoch selbständig agiert, d.h. selbst Entscheidungen trifft und Aktionen vornimmt. Das Wearable soll auf diese Art und Weise auch gewissermaßen ein Stück Benutzerfreiheit zurückgewinnen und effizienzsteigernd für den Benutzer agieren – es löst den Benutzer nicht nur von einem speziellen Ort, sondern soll vor allem so unmittelbar Dienste und Inhalte zur Verfügung stellen, dass der Benutzer den größten Nutzen daraus ziehen kann und sowohl sein Wissen erhöhen (z.B. indem im Display Informationen zu einer Statue angezeigt werden während der Benutzer sie betrachtet) als auch seine (v.a. sinnlichen) Fähigkeiten ergänzt werden (z.B. indem ein Infrarotfilter für die Umwelt zur Verfügung steht).

Rather than attempting to emulate human intelligence in the computer, as is a common goal of research in Artificial Intelligence (AI), the goal of wearable computing is to produce a synergistic combination of human and machine, in which the human performs tasks that it is better at, while the computer performs tasks that it is better at. Over an extended period of time, the wearable computer begins to function as a true extension of the mind and body, and no longer feels as if it is a separate entity. In fact, the user will often adapt to the apparatus to such a degree, that when taking it off, its absence will feel uncomfortable, in the same way that we adapt to shoes and clothing to such a degree that being without them most of us would feel extremely uncomfortable whether in a public setting, or in an environment in which we have come to be accustomed to the protection that shoes and clothing provide. This intimate and constant bonding is such that the combined capabilities of the resulting synergistic whole far exceeds the sum of either. Synergy, in which the human being and computer become elements of each other's feedback loop, is often called Humanistic Intelligence (HI). [Man98b]

Die realen Ausführungen von Wearables decken sich freilich nicht unbedingt mit diesen hehren Visionen; in vielen Fällen wird der Begriff des Wearable sogar darauf reduziert in Gegenüberstellung zu herkömmlichen PDA's vordergründig einen freien Gebrauch der

Hände zu erlauben oder einfach externe Geräte mehr oder minder einfallsreich in ein Kleidungsstück zu integrieren.

Andererseits hat die Idee von Wearables jedoch auch zu einer reichhaltigen Entwicklung von stellenweise sehr innovativen Ein- bzw. Ausgabegeräten geführt und in vielen Fällen wurden auch softwarebasierte Ideen entworfen, die nur in diesem Kontext denkbar und sinnvoll sind und einen echten Mehrwert für den Benutzer darstellen (und teilweise auch in anderen Bereichen Anwendung finden). Obwohl sich viele Projekte noch in der Entwicklungsphase befinden ist in zahlreichen Fällen doch ansatzweise erkennbar, dass einige Systeme tatsächlich zu einer starken Effizienzsteigerung und den von Steve Mann erhofften Synergieeffekten führen können.

2.1.2 Grenzen des Wearable Computing

2.1.2.a Wearable vs. Ubiquitous Computing

Wearable Computing wird oftmals im gleichen Atemzug wie Ubiquitous Computing, kurz UbiComp, genannt, mitunter auch als spezielle Ausprägung desselben. Der Begriff wurde von Mark Weiser [siehe Abbildung 4] bereits 1988 eingeführt und kann in etwa mit "allgegenwärtig" bzw. "überall verbreitet" übersetzt werden, beschreibt also die Vision einer überall vorhandenen Informationsverarbeitung. Ein breites Publikum erreichte Weiser 1991 durch einen Grundlagenartikel im Scientific American [Wei91] in welchem er seine Vision schilderte, dass Computer in einer derart hohen (aber miniaturisierten) Anzahl präsent seien, dass sie nicht mehr wahrgenommen werden:

The most profound technology are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it. ... In our experimental embodied virtuality, doors open only to the right badge wearer, rooms greet people by name, telephone calls can be automatically forwarded wherever the recipient may be, receptionists actually know where people are, computer terminals retrieve the preference of whoever is sitting at them, and appointment diaries write themselves. [Wei91]

Ubiquitous Computing enhances computer use by making computers available throughout the physical environment, while making them effectively invisible to the user.[Wei93a]

Dieses "Netzwerk intelligenter Gegenstände" wie es Weiser vorschwebt führte bereits kurz nach der Veröffentlichung zu einer umfassenden Diskussion. In seiner idealen Ausprägung sollte es nach Weiser sogar den herkömmlichen (Personal-) Computer zur Gänze ersetzen und zu einem "Internet der Dinge" führen, welches einen ständigen Informationsaustausch der Objekte ermöglicht und so den Menschen unmerklich bei seinen alltäglichen Tätigkeiten unterstützt.

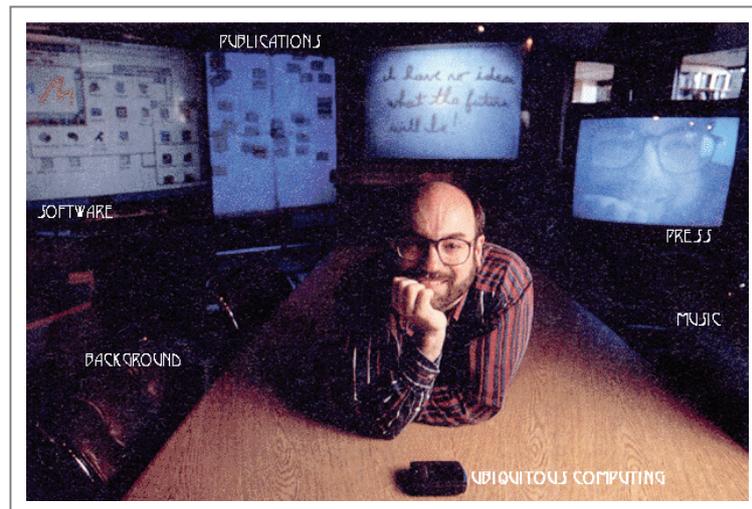


Abbildung 4: Mark Weiser und seine Vorstellung des Ubiquitous Computing [Vol_HP]

Dabei nannte Weiser vor allem zwei Aspekte welche ihm von maßgeblicher Bedeutung erschienen: Ort und Maßstab. Einerseits müssten diese Geräte ihre Umgebung kennen - sie müssten also beispielsweise wissen "wo" sie sind -, andererseits sollten sie die unterschiedlichsten Größen aufweisen, je nach zu bewältigender Aufgabe. Um seine Ideen zu demonstrieren, entwickelte Weiser in den Jahren 1988 bis 1994 eine Reihe von "Tabs", "Pads" und "Boards" [vgl. Abbildung 5]. Sie alle erfüllten den Zweck die Umwelt zu "aktivieren" [Vol_HP] – jedem Menschen sollten auf diese Art und Weise Hunderte von drahtlos vernetzten Rechnern zur Verfügung stehen, die von Notizzettel-Größe bis hin zu Geräten in Größe einer ganzen Bürowand reichen.

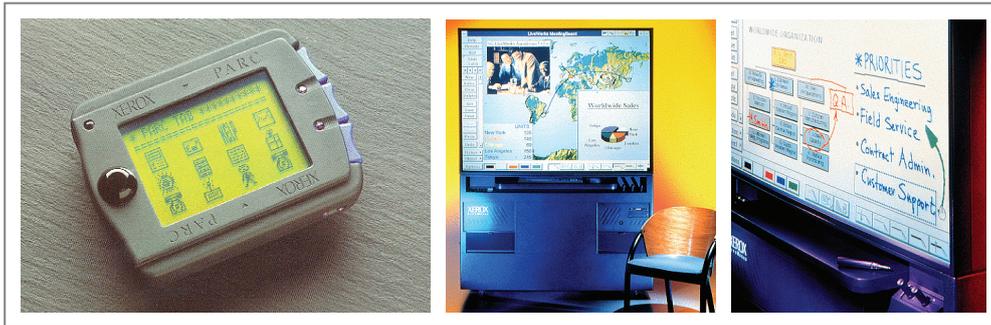


Abbildung 5: Xerox PARCTab (li. [Xyb_HP]) und Xerox LiveBoard (mi.+re. [Ans_LI])

Weisers Ideen beeinflussten vor allem Hard- und Softwareansätze für neue Bürolösungen. Beide Ansätze, sowohl Ubiquitous Computing als auch das etwas später entstandene Wearable Computing distanzieren sich dabei von einer virtuellen Realität (Virtual Reality, VR) und streben stattdessen eine überlagerte Realität (Augmented Reality, AR) an. Gemäß beiden Auffassungen soll der Benutzer nicht mehr an eine Box an einem bestimmten Ort gebunden sein, sondern der Benutzer soll überall wo er hingeht auf eine Vielzahl von Computer treffen (UbiComp) oder im Wesentlichen einen einzigen individualisierten Computer am eigenen Körper tragen (WearComp). Gemein ist ihnen auch eine eher nüchterne Betrachtung bezüglich den Fähigkeiten einer Assistenten-Funktion durch Künstliche Intelligenz, welche bei keiner der beiden Lösungen als wesentlich oder unbedingt notwendig erachtet wird. In beiden Bereichen spielen darüber hinaus Aspekte wie energiearmer Verbrauch, drahtlose Verbindung, geeignete Netzwerkprotokolle und neuartige Displays eine wichtige Rolle.

Dennoch unterscheiden sich die Ideen in wichtigen Grundsätzen. Ganz offensichtlich ist zunächst das Mobilitätsschema bei beiden Visionen sehr unterschiedlich [vgl. Abbildung 6]: in UbiComp muss der Benutzer im Wesentlichen keine Hardware mit sich tragen – stattdessen erkennt ihn das System und kann ihm an unterschiedlichsten Stellen verschiedene Dienste anbieten: der Benutzer bewegt sich in einer "intelligenten" Umgebung. Damit wird der Benutzer einerseits von vielen Routineaufgaben befreit und kann zahlreiche Services nutzen, ist aber andererseits stark vom Vorhandensein dieses Umfeldes abhängig. Der typische WearComp-Benutzer benötigt umgekehrt zunächst eine entsprechende Hardware, kann sich mittels derer aber anschließend relativ frei bewegen. Vernetzung ist im Bereich von Wearables zwar möglich, aber nicht zwingend notwendig, weshalb ein Benutzer dieser Version zunächst vordergründig auf die Fähigkeiten seines Wearable angewiesen ist. Ist das Wearable unhandlich, schwer oder energieintensiv, setzt sich seine

Brauchbarkeit stark herab. Auch ist ein Wearable-Benutzer meist von einer miniaturisierten Hardware umgeben, während einem UbiComp-Benutzer die volle Bandbreite an Ein- und Ausgabegeräten in sämtlichen Maßstäben zur Verfügung steht.

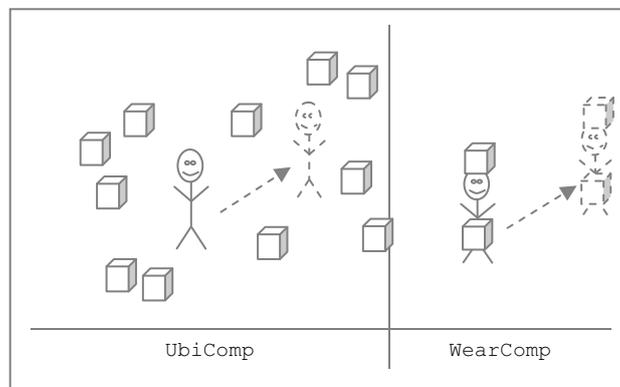


Abbildung 6: Mobilitätsschema UbiComp vs. WearComp

Auf den ersten Blick scheint der UbiComp-Benutzer wesentlich mehr Vorteile zu genießen: er muss nichts mit sich tragen und kann wesentlich mehr Soft- und Hardware nutzen. Dort wo keine "intelligente" Umgebung vorhanden ist, kann diese geschaffen werden. Kritiker warfen deshalb relativ rasch ein, dass es sich bei Wearable Computing nur um eine unnötige Spielart handeln würde, die im Prinzip auch durch Ubiquitous Computing abgedeckt werden könnte. Vereinfacht ausgedrückt: Wozu Displays oder Kameras mit sich tragen, wenn überall, wohin man geht, bereits Displays und Kameras vorhanden sind? [Man01a]

Der größte Vorteil des Wearable Computing in Gegenüberstellung zum Ubiquitous Computing liegt ganz offensichtlich nicht im Grad der Mobilität, sondern vielmehr im Grad der Informationskontrolle [vgl. Abbildung 7]. In einer UbiComp-Umgebung werden zahlreiche Daten an die Umgebung selbst übertragen bzw. diese sammelt personenbezogene Informationen um eine entsprechende Individualisierung zu erreichen. Gleichzeitig entsteht damit jedoch eine immense Datenmenge und diese ist zudem auf eine Vielzahl von Objekten verteilt: Probleme der Datenkontrolle wachsen durch diese Kombination explosionsartig an. Selbst wenn diese Daten nicht gespeichert werden, so ist es doch einer der Grundpfeiler des Ubiquitous Computing, dass mehr oder minder "intelligente" Objekte miteinander kommunizieren und so das alltägliche Leben des Benutzers erleichtern. Ein simples Abhören würde also bereits reichen, um beispielsweise relativ exakte Benutzerprofile zu erhalten. Der größte Vorteil des Ubiquitous Computing – eine allwissende und

allgegenwärtige Computerumgebung – wird damit gleichzeitig zum größten Nachteil, da kaum jemand wissen bzw. kontrollieren kann wo sich welche Informationen befinden. Je mehr der Informationsgrad bzw. Informationsfluss eingeschränkt wird, desto mehr ähneln die einzelnen Objekte alleinstehenden und abgeschlossenen Einheiten und desto größer wird die Entfernung von der Grundidee des UbiComp. Zwar kann das Risiko eines Missbrauchs durch entsprechende Absicherung reduziert werden, es verhindert jedoch kaum das prinzipielle Entstehen solcher Informationen bzw. ihrer Verteilung.

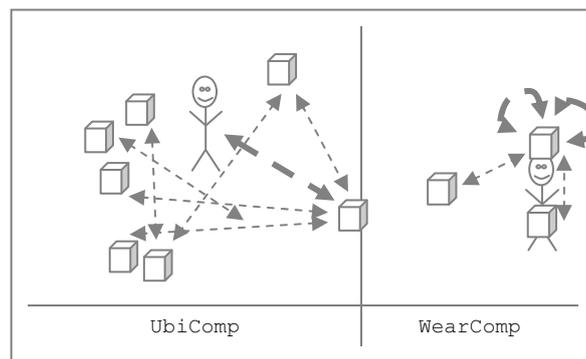


Abbildung 7: Informationsfluss bzw. -kontrolle bei UbiComp vs. WearComp

Wearable Computing steht diesem Prinzip beinahe diametral gegenüber. Durch die starke Verbindung von Mensch und Computer werden Informationen regelrecht gekapselt, statt vieler Informationswege kommen einige wenige zum Einsatz. Zwar entstehen auch hier sehr sensible und möglicherweise wesentlich persönlichere Daten, jedoch nicht auf vielen, sondern lediglich auf einer Station. Die Kontrolle dieser Informationswege ist damit maßgeblich einfacher und reduziert sich auf die Verbindung zu externen Geräten bzw. Teilstationen untereinander. Auch kann der Benutzer wesentlich einfacher kontrollieren welche Informationen entstehen und welche er an die Außenwelt weiterleiten möchte.

Am Rande sei jedoch erwähnt, dass datenschutzrechtliche Bedenken im Bereich des Wearable Computing vor allem für die Umgebung entstehen können – so erlauben "unsichtbare" WearComps nicht nur das Aufzeichnen von Gesprächen oder das unauffällige Ablichten von Umgebungen u.a.m. (ohne explizites Wissen anderer Personen), sondern auch die für das Umfeld nicht unbedingt einsichtige Nutzung von computergenerierten Informationen – beispielsweise als Schummelzettel bei Prüfungen oder zum Einsagen mittels externer Teilnehmer.

Trotz aller Unterschiede bleibt zusammenfassend jedoch festzuhalten dass beide Ideen – sowohl Ubiquitous Computing als auch Wearable Computing – weniger auf einer revolutionären Technologie basieren, als vielmehr eine logische Konsequenz infolge der zunehmenden Miniaturisierung von Hardware-Elementen und dem Verlangen der Benutzer nach mehr Mobilität sind. Zusammen mit den Auswirkungen und Möglichkeiten des Internet als weitverteilte Computernutzung und den Problemen und Grenzen herkömmlicher Personal-Computer erscheint die Entwicklung beider Trends nur konsequent [vgl. Abbildung 8].

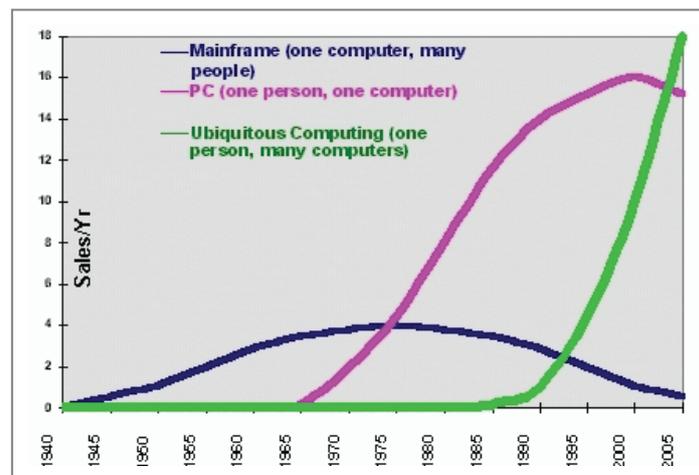


Abbildung 8: Die drei großen Trends in der Computernutzung [Wei_HP0]

Mark Weiser bezeichnete es als "dritte Ära der Computernutzung" [BLT03] und betitelte sie auch zugleich mit dem von ihm eingeführten Begriff des Ubiquitous-Computing. Demgegenüber stellte er Mainframes ab 1950 (1:n, d.h. viele Menschen bedienen einen Computer) und Personal Computer um 1975 (1:1, d.h. ein Computer wird von einem Menschen benutzt). Die Ära des Ubiquitous-Computing (n:1, d.h. jeder Mensch benutzt viele Computer) erscheint aus dieser Sicht nur logisch, auch wenn hier wohl zwischen der Weiser'schen Definition und der Allgegenwart im Allgemeinen unterschieden werden muss.

Gerade letzteres geschieht jedoch häufig nicht, sodass das irreführende Bild entsteht dass allein die weite Verbreitung von Computerchips den Begriff des UbiComp bereits fassen könnte. Aus dieser Sichtweise würde jedoch beinahe jeder Rechner – vom herkömmlichen Desktop über Mainframes bis hin zu Mini-Computern in Kaffeemaschinen – nur mehr ein Teilsegment von einer allgegenwärtigen UbiComp-Landschaft darstellen und jede Rechartypisierung hätte Ubiquitous Computing zur Wurzel. Diese Herangehensweise scheint deshalb nur wenig fruchtbar. Eine andere, vielfach übersehene Perspektive ist jedoch die

Nutzung von WearComps als einzelner UbiComp-Spot. Dieser Anwendungsfall könnte beispielsweise dann auftreten, wenn ein WearComp andere Rechneinheiten eines Netzwerkes als Kontextinformation nutzt um sein eigenes Verhalten daran auszurichten, etwa wenn Wearables (ohne explizite Aufforderung) die Standortdaten der jeweils eigenen Benutzer abgleichen. Für Wearables ist diese Vorgangsweise eher untypisch, für UbiComp vorstellbar, wenn hierfür auch kaum die Leistungsfähigkeit eines ganzen WearComps nötig scheint. Letztendlich handelt es sich in diesem Fall demnach mehr um eine weitere Spielart von UbiComp – ein (weiterer) "intelligenter" Gegenstand, der nun eben "anziehbar" bzw. "tragbar" ist. Mit der Grundidee von Wearable Computing hat dies (zumindest im Sinne Steve Manns) jedoch nur noch wenig zu tun.

2.1.2.b Wearable vs. Mobile Computing

Wesentlich mehr Nähe weist Wearable Computing vielfach zu Mobile Computing auf. Obwohl Mobile Computing oftmals nur als sehr unscharfer Begriff für mobile Rechner im Allgemeinen eingesetzt wird, sind beide Bereiche doch maßgeblich durch die Vorteile als auch Probleme humaner Mobilität dominiert, Faktoren die bei UbiComp nur bedingt von Bedeutung scheinen. Fast alle Projekte und Anwendungen sind dabei vordergründig von zwei Fragen bestimmt: wie kann die vorhandene Energie optimal genutzt werden und gleichzeitig ein größtmöglicher Bedienkomfort für den (mobilen) Nutzer erreicht werden, ohne zu stark an Leistung einzubüßen. Letzteres bezieht sich in vielen Fällen neben allgemeinen Faktoren wie Gewicht oder Größe auch auf geeignete I/O-Schnittstellen, da beispielsweise weder Tastatur noch Display endlos klein werden können um noch bedienbar zu bleiben.

In gewisser Weise könnten WearComps als mobilste aller mobilen Rechner gesehen werden [vgl. Tabelle 2]. Die Evolution vom Notebook zum Handheld kann beispielsweise anhand zahlreicher Faktoren auch in Richtung WearComp weiter gedacht werden: Miniaturisierung von Hardware, allen voran Ein- und Ausgabeschnittstellen, Effizienzsteigerung vorhandener Software bei Einschränkung bzw. Spezialisierung von Applikationen (nicht alle Anwendungen können auf Handhelds transportiert werden), Verringerung von Gewicht, leichtere Aktivierung (Notebooks müssen vielfach ausgepackt und ausgeklappt werden, Handhelds nur mehr aus der Tasche gezogen) u.a.m. Anziehbar im eigentlichen Sinne sind Handhelds zwar nicht und sie reagieren auch wenig bis gar nicht auf kontextuelle Informationen, für den Benutzer ist

dieser Unterschied derzeit in der Praxis jedoch kaum ersichtlich, da auch die meisten WearComps nur mangelhaft über diese Eigenschaften verfügen, obwohl sie es von ihrer Definition her müssten.

	Notebook	Handheld	WearComp
Aufwand zur Aktivierung	Auspacken, aufbauen, "hochfahren"	Auspacken, "hochfahren"	keiner, immer aktiv
Untergrund erforderlich	ja	nein	nein
Mobile Bedienung möglich (z.B. während Gehen)	nein	jein	ja
Nötige Aufmerksamkeit	Absolut (~100%)	Relativ hoch (~80%)	Gering (< 30%)
Energiequelle	Akku	Akku	Akku
Kontextsensitiv	nein	nein (in neueren Modellen ansatzweise)	ja (im Idealfall)
Bedienungsfreundlichkeit Eingabe	meist hoch, vollwertige Tastatur, tw. auch vollwertige Zeigegeräte	reduziert, Tastatur meist schwer bedienbar, zeichenorientierte Eingabe	durch neuartige Eingabe-Schnittstellen oft höher als bei Handhelds
Bedienungsfreundlichkeit Ausgabe	meist hoch, Displaygrößen im Bereich von herkömmlichen Desktop-Monitoren	reduziert, Displays meist eher im Bereich von Mobiltelefonen	Displays durch HMDs tw. virtuell im Bereich von herkömmlichen Desktop-Monitoren
Geforderte / optimale Größe	Din A4	Din A6	"unsichtbar", Systembox meist in

Tabelle 2: Vergleich mobiler Endgeräte

Hinzu kommt dass auch viele Handhelds zwischenzeitlich immer stärker kontextsensitive Funktionen integrieren, auch wenn dies im überwiegenden Teil der Fälle lediglich im Sinne eines Zusatznutzens geschieht. Gleichzeitig nähern sich andererseits auch immer stärker Mobiltelefone an herkömmliche Computersysteme an und übernehmen Aufgaben die eigentlich domänenfremd sind, beispielsweise indem sie einfache Organizer- oder Büroanwendungen anbieten, interne Schnittstellen zu Digitalkameras u.a.m. Der Platz im Bereich mobiler Mini-Computer ist demnach schon relativ eng, die Unterschiede nivellieren sich zunehmend.

Im Gegensatz zu Handhelds oder Mobiltelefonen fokussieren WearComps jedoch eine Funktion, die bei beiden eigentlich nicht im Zentrum des Interesses steht: Wearables sind dazu gedacht, während einer anderen, mobilen Aktivität genutzt zu werden. Für den einzelnen Nutzer agieren sie demnach wirklich als allgegenwärtige Computerlandschaft, da er von seinem WearComp ununterbrochen assistierend umgeben ist, allerdings nicht außerhalb, sondern innerhalb seines Persönlichkeitsraumes. Ein privater Butler, eine