

Ubiquitous Computing

(Ubiquitäre Informationstechnologien)

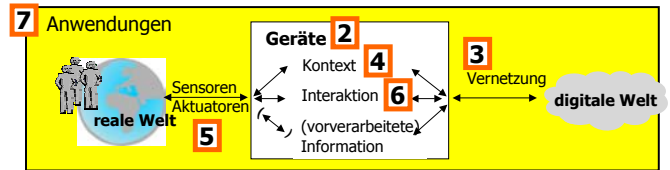
Vorlesung im WS 01/02



Prof. Lars Wolf
Michael Beigl
Universität Karlsruhe
Institut für Telematik
Telecooperation Office
www.teco.uni-karlsruhe.de

Aufbau der Vorlesung

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| 1 Grundlagen | 4 Kontext |
| • Vision und Historie | 5 Sensoren/Aktuatoren |
| • Information Appliances & Artefacts | 6 Interaktion |
| 2 Geräte | 7 Anwendungen |
| 3 Vernetzung | |



Ubiquitous Computing WS 01/02 Michael Beigl, TecO

2-2

Grundlagen

- **Vision: "The Computer for the 21st Century"**
- **Historische Zeitlinie**
- **ParcTab**
- **Reactive Environments**
- **Herausforderungen**
 - an Informatik, Gestaltung, Gesellschaft

Ubiquitous Computing WS 01/02 Michael Beigl, TecO

2-3

"The computer for the 21st century"

PARC: Xerox Palo Alto Research Center

- in 70er/80er Jahren legendäre Arbeiten als Grundlage für "Personal Distributed Computing", z.B.
 - Alto: erster wirklich persönlicher Rechner
 - Client/Server, Ethernet, ...
 - Bitmap Displays, Point-and-Click Interfaces (GUI),...
 - Objekt-orientierte Programmierung (Smalltalk)



Mark Weiser (1952-1999)



1988-1995 Manager of the C.S. Lab, PARC
ab 1988 UbiComp Forschungsprogramm am PARC
1991 "The Computer for the 21st Century", Grundlagenartikel im Scientific American
1999 ACM SIGMOBILE Award

Ubiquitous Computing WS 01/02 Michael Beigl, TecO

2-4

Vision "Ubiquitous Computing"

Ausgangspunkt: Verhältnis von Mensch und Technologie

"the place of technology in our lives ... what matters is not the technology itself, but its relationship to us"

These 1: "Die besten Technologien sind jene, die sich in den Alltag einfügen und effektiv unsichtbar sind"

"the most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they become indistinguishable from it"

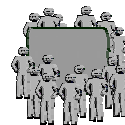
- z.B. Schrift, elektrischer Strom
- Zielsetzung, bezogen auf IT:
Informationsbedeutung wahrnehmbar — Information nicht — Informationstechnologie nicht

Ubiquitous Computing WS 01/02 Michael Beigl, TecO

2-5

Vision "Ubiquitous Computing"

The Place of computer technology in our lives...



Mainframe Comp.

- Menschen teilen sich eine knappe Ressource
 - Nutzung sehr explizit, und gut vorbereitet
- "run by experts behind closed doors"

1984: mehr PC User als Mainframe User



Personal Comp.

- persönlich/intim
 - direkte Nutzung
- "while it may take you where you want to go, it requires considerable attention to operate"

Ubiquitous Comp.

- alltäglich/allgegenwärtig
 - Nutzung implizit/unbewußt
- "each person is continually interacting with hundreds of nearby interconnected computers"

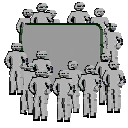
Wann ist das Ziel erreicht?

Ubiquitous Computing WS 01/02 Michael Beigl, TecO

2-6

Vision "Ubiquitous Computing"

The Place of computer technology in our lives...



Mainframe Comp.

- Menschen teilen sich eine knappe Ressource
- Nutzung sehr explizit, und gut vorbereitet

"run by experts behind closed doors"



Personal Comp.

- persönlich/intim
- direkte Nutzung

"while it may take you where you want to go, it requires considerable attention to operate"



Ubiquitous Comp.

- alltäglich/allgegenwärtig
- Nutzung implizit/unbewußt

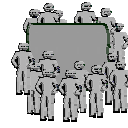
"each person is continually interacting with hundreds of nearby interconnected computers"

1984: mehr PC User als Mainframe User

Reicht es wenn Technologie vorhanden?

Vision "Ubiquitous Computing"

The Place of computer technology in our lives...



Mainframe Comp.

- Menschen teilen sich eine knappe Ressource
- Nutzung sehr explizit, und gut vorbereitet

"run by experts behind closed doors"



Personal Comp.

- persönlich/intim
- direkte Nutzung

"while it may take you where you want to go, it requires considerable attention to operate"



Ubiquitous Comp.

- alltäglich/allgegenwärtig
- Nutzung implizit/unbewußt

"each person is continually interacting with hundreds of nearby interconnected computers"

1984: mehr PC User als Mainframe User

Reicht es wenn Anzahl vorhanden?

Vision "Ubiquitous Computing"

These 2: "Computer-wie-wir-sie-kennen fügen sich nicht in den Alltag ein sondern definieren eine eigene Welt"

"[today's computer is] far from having become part of the environment ... remains largely in a world of its own ... is isolated from the overall situation"

"... rather than being a tool through which we work ... the computer too often remains the focus of attention"

Fügen sich PDAs in die Welt ein?

Vision "Ubiquitous Computing"

These 2: "Computer-wie-wir-sie-kennen fügen sich nicht in den Alltag ein sondern definieren eine eigene Welt"

"[today's computer is] far from having become part of the environment ... remains largely in a world of its own ... is isolated from the overall situation"

"... rather than being a tool through which we work ... the computer too often remains the focus of attention"

Computer sind (eigentlich) Werkzeuge: Sekundärartefakt

- die besten Werkzeuge sind die, die man benutzen kann ohne darüber nachzudenken -> Konzentration auf die eigentl. Ziele
- heutige Computer: Wahrnehmung/Nutzung als Primärartefakt; Abwendung von anderen Dingen, Konzentration auf den Computer

"such machines can not truly make computing an integral, invisible part of the way people live their lives"

Vision "Ubiquitous Computing" Einschub: Nardi & O'Day

Information Ecologies, MIT Press

4 Modelle für die Modellierung von Computern

• Computer als Werkzeug

- Fokus auf einzelner Computer (kann auch Teil der unten stehenden Modelle sein)
- Mensch als Nutzer

• Computer als Text

- Speichern & Transport von Informationen

• Computer als System

- Komplexes technisches Gebilde
- Sicht nur anhand der Technik

• Computer als Ecology

- Einbettung von Computern in Abläufe
- Einbeziehung des Menschen

Vision "Ubiquitous Computing"

These 3: "Computertechnologie, die sich in die Welt einfügt: kein UI-Problem sondern wesentlich tiefergehender"

- Natürliche Sprache, multimodale Interaktion, intelligente Agenten, Multimedia: reichere Interaktion, aber keine Einbettung in der Welt

"merely improving interfaces makes the obstruction (your computer) nothing more than an easier to use obstruction" (Doheny-Farina, 1994)

- Ersetzung der direkten I/O statt Verbesserung

• Ubicomp: neue Computer-Weltsicht ...

"a new way of thinking about computers in the world, one that takes into account the natural human environment and allows the computer themselves to vanish into the background"

• ... und neues Spektrum von Computern

"to bring computers to this point while retaining their power will require radically new kinds of computers of all sizes and shapes"

Vision "Ubiquitous Computing"

These 4: "Computer müssen in die Welt gebracht werden, nicht die Welt in den Computer"

- **Virtual Reality**

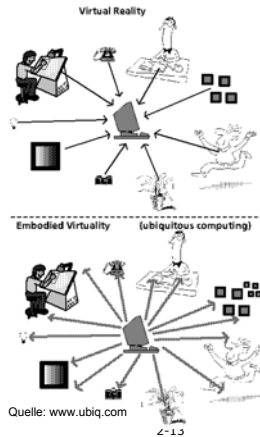
- alle Dinge im Computer

"Simulating the world rather than enhancing the world that already exists"

- **"Embodied Virtuality"**

- Computer in allen Dingen

"Activating the world"



Vision "Ubiquitous Computing"

These 5: "Computer werden unsichtbar und ubiquitär vernetzt. Besonders wichtig sind Lokation und Maßstab."

"most of the computers ... will be invisible in fact as well as in metaphor ... These machines will be interconnected in a ubiquitous network ... two issues [are] of crucial importance: **location and scale**"

- **Lokation ausgezeichneter Kontext**

- **Maßstab als Merkmal der Anpassung des Computers an die Welt**

- andere Merkmale: Energieverbrauch, Formfaktor

Grundlagen

- **Vision: "The Computer for the 21st Century"**

- **Historische Zeitlinie**

- **ParcTab**

- **Reactive Environments**

- **Herausforderungen**

- an Informatik, Gestaltung, Gesellschaft

Historische Zeitlinie

- Z.T. der Konzepte unter anderen Namen schon vorher vorhanden

Responsive Environments, Krueger, 1974

ActiveBadge, ORL Cambridge, 1988

XeroxParc ParcTab etc. 1991

Things That Think, MIT MediaLab, 1991

Wearable, Augmented Reality z.B. KARMA (CMU), 1993

Adaptive Home, Boulder, 1993

Newton, Apple, 1993

Buxton: Reactive Environment, 1995

Classroom2000, FCE, GeorgiaTech, 1997

MediaCup, TecO, 1998

Portolano, Washington, 1999 Cooltown, HP Labs, 1999 Oxygen, MIT, 1999

Grundlagen

- **Vision: "The Computer for the 21st Century"**

- **Historische Zeitlinie**

- **ParcTab**

- **Reactive Environments**

- **Herausforderungen**

- an Informatik, Gestaltung, Gesellschaft

Tabs, Pads und Boards

- **UbiComp-Arbeiten Ende 80er/Anfang 90er Jahre**

- Empirischer Ansatz: "Build what you use. Use what you build" (Living Lab)
- Prototyp-Infrastruktur in eigener Büroumgebung
- erste Phase: nicht wirklich unsichtbar, aber weg vom PC-Paradigma
- mehr Mobilität und Konnektivität:
Infrastruktur für Mobilkommunikation (IR, RF)
- "Location and Scale":
neue Endgeräte, verschiedene Größen, Lokalität

↓
UbiComp Testbed Devices:
Tabs, Pads und Boards (Video)

Tabs, Pads und Boards

Ubicomp Testbed Devices

- Vision: vernetzte Computer in allen Dingen groß und klein
- Annäherung: Computer in drei Größenklassen
 - **Tabs:** handtellergröße Terminals (Notizzettel) inch-scale
 - **Pads:** wie heutige Pen-Pads/Surf-Pads (A4) foot-scale
 - **Boards:** elektronische Tafel (Liveboard/Tivoli) yard-scale

"...for each person in an office there should be hundreds of tabs, tens of pads and one or two boards"



▪ Video: Ubicomp Tea Party

Tabs, Pads und Boards

Gerätespektrum: neue Optimierungsziele

- Optimierungsziel in Personal Computing: Maximierung von Rechenleistung, Displayfläche, Bandbreite, Speicher
- in Ubicomp: geeignete Balance für jedes Gerät finden
 - unterschiedl. Nutzungsprofile, Energiebedingungen etc.
 - im Zusammenspiel von Geräten

Scale: Einfluß der Gerätedimension

- Interaktionstechniken: alle Geräte im Prinzip Stift-Computer, trotzdem sehr unterschiedliche Techniken notwendig
- Kommunikation:
 - große Geräte/Displays → große Bandbreiten
 - kleine Geräte → kleine Bandbreiten, aber viele Kanäle

ParcTab Projekt Ziele

Device Design

- ParcTab Devices für extreme Portabilität
- UI Design für kleine Geräte

Infrastruktur

- Drahtloses Netzwerk für permanente Verbindung
- Architektur für Mobile Anwendungen

Anwendung

- Nutzung von Lokation und Kontext

ParcTab Gerät

- 10.5 x 7.8 x 2.4 cm
- Gewicht 215g, davon 70g Batterie
- 8-bit Microcontroller, low-power Modi
- Symmetrisch (links- und rechtshändig)
- Display: 128*64 LCD monochrom
- Bedienung: einhändig (3 Knöpfe) oder beidhändig (Knöpfe und Stift)



UI Design für kleine Geräte

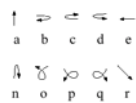
Buttons vs. Touch Screen

- Alternativen: **Pen- oder Button-Selektion**
- Button-Konvention für Anwendungen: up/select/down



Texteingabe

- **Virtual Keyboard:** langsam (2 char/s), braucht fast das ganze Display
- **Unistrokes** (Vorläufer von Graffiti): Handschrift, exakt ein Linienzug/Zeiche leichte Erkennung, relativ schnell



Auswahl aus Listen

- Inkrementelle Suche

```
atkinso...butcher...
davidso...dummyCS...
dummyJS...frederi...
hdavis...kerch...
lawong...mudge....
norman...pres....
skimbal...vest....
wellner wirish
```

ParcTab Mobilkommunikation

Infrarotkommunikation

- 880nm IR, 9600 bis 19200 baud, diffus
- weniger Energieverbrauch als RF, bessere Kontrolle über Reichweite/Zellengröße → Lokalisierung von Teilnehmern
- Räume = Zellen ("nanocells")

ParcTab Transceiver

- Basisstation in Nanozelle, bis 20m modulo Raumgrenzen
- Pufferung von Paketen
- Serielle Schnittstelle → Verbindung zum LAN
- 24 IR-Sendediode im Abstand von 15°, 2 Empfangsdiode



ParcTab Mobilkommunikation

Physical Layer

- Paketorientiert, Time-Division Multiplex
- Infrarotpulse von 4µs Länge
- Datenbits (0, 1, pktsync, datasync): codiert im Abstand zwischen zwei Pulsen: energiesparend, da Pausen zw. Pulsen >> Pulslänge

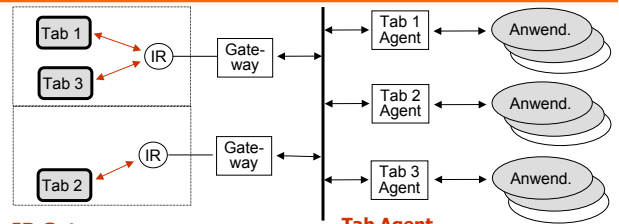
kein Standard-IR-Verfahren
IrDA erst später eingeführt

Link Layer

TYPE	LENGTH	DESTINATION	SOURCE	DATEN	CS
1	1	4	4	3-247	2

- Pakettyt: best. Übertragungsrate (nur Typfeld selbst immer mit 9600 baud) → Rückwärts-Kompatibilität
- Länge bis 256 byte
- Destination/Source: 4-byte Adresse von Empfänger/Sender
- Zugang zum Medium: CSMA, keine Kollisionserkennung

ParcTab Systemarchitektur



IR Gateway

- empf. IR Pakete von Transceiver
- Weiterleitung an Agent (anhand **Quelladresse**)
- hängt Rückkehradresse und Lokations-ID an

Tab Agent

- empfängt Anfragen von Anwendungen (Pakete an Tab)
- leitet Tab-Events an aktuelle Anwendung weiter
- hält Tab-Lokationsinformation ("authorisierter Proxy")

Request/Reply Protokoll

Tabs sind einfache Terminals

- Anwendungsausführung im Netz
- Tab bietet ~30 Funktionscodes, die von Anwendung aufgerufen werden können (display_text, wake_up,...) (via RPC)
- Paketformat für Funktionsaufrufe, 247 byte → Link Layer Datenfeld

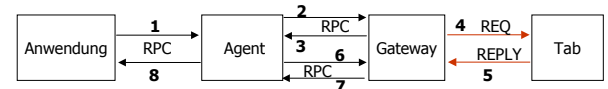
DATA TYPE	SEQUENCE NUMBER	FUNCTION			MORE FUNCTIONS	END
		CODE	LENGTH	PARAM. 0-242		
1	1	1	1			1

- Typ: unterscheidet Requests, Replies und Events (s.u.)
- Sequenznummer: zur Zuordnung von Request und Reply
- Bündelung von mehreren Funktionsaufrufen in einem Request-Paket möglich
- Länge-Feld bezieht sich auf Funktion, nicht auf Paket → Ende-Feld

Request/Reply Protokoll

Kommunikation von der Anwendung zum Tab

- Tab Remote Procedure Call (T-RPC)



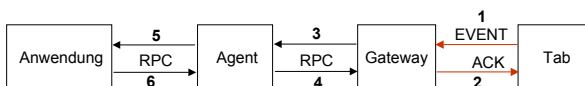
- 1 Anwendung sendet Funktionsaufruf an Agenten
- 2 Agent kennt Lokation seines Tab, leitet Aufruf weiter an IR Gateway
- 3/4 Gateway bestätigt und sendet REQ im IR-Paket ggf. Timeout, exponential back-off und Retry
- 5 Gateway empfängt Reply; Zuordnung zum REQ anhand Sequenznr.
- 6/7 Weiterleitung an Agent, umgehende Bestätigung
- 8 Anwendung erhält Ergebnis des Funktionsaufrufs

ParcTab Events

Kommunikation vom Tab zur Anwendung

- Tab Events: jede Benutzerinteraktion ist ein Ereignis
- Beacons: alle 30s wird ein Signal zur Lokalisierung gesendet
- jedes Ereignis wird in einem IR Paket als Daten übertragen

Event Notification



- 1 Tab sendet Ereignis an IR-Gateway und kann um Bestätigung bitten
- 2 Gateway sendet Bestätigung (i.allg. für Tab Events, nicht für Beacons)
- ...

ParcTab Anwendung

Lokation im ParcTab System

- Lokation aller Tabs bekannt
- Lokationsmodell: Symbolisch (Nanozellen, Räume mit ID)
- Ortsbestimmung: Empfänger von Tab-Paketen hängt Raum-ID an
- dadurch erhalten Agenten regelmäßig Updates (Beacons alle 30s)
- Agenten verwalten Lokationsinfo



Von Lokation zu Kontext

- Tabs sind persönlich: Tab-Lokation meistens gleich User-Lokation
- Ableitung von Kontext aus Lokation: nicht nur absolute Lokation ("wo bin ich"), sondern auch "wer sonst ist da", "welche Ressourcen sind vorhanden", ...

Privacy!

Anwendung von Kontext

Klassifikation von Anwendungen, die Kontext nutzen (Bill Schilit, XeroxParc)

Ausführung \ Anstoß	Manuell	Automatisch
Information	Kontextuelle Information	Kontextuelle Konfiguration
Aktion	Kontextuelle Ausführung	Kontext-ausgelöste Ausführung

Beispiel: "Proximate Selection"

- UI-Technik zur Auswahl von Objekten in der Nähe, z.B. Drucker

Name	Room	Distance
eps	35-2200	300ft
claudia	35-2108	30ft
perfector	35-2301	20ft
snoball	35-2103	100ft

Grundlagen

- Vision: "The Computer for the 21st Century"
- Historische Zeitlinie
- ParcTab
- Reactive Environments
- Herausforderungen
 - an Informatik, Gestaltung, Gesellschaft

Reactive Environments

Buxton, 1995

- Jenseits der direkten Ein- / Ausgabe, Informationsdarstellung nicht primäres Ziel
- Kontexte wird als Ein-/Ausgabe verstanden, nicht nur zusätzlicher Parameter für bekannte explizite Ein-/Ausgabe
- To provide a mechanism for such behaviour, the integration of sensors with various devices was required. The output of these sensors allows the computer to determine when certain actions should be taken by the environment, or, in other words, how the environment should react.

Reactive Environments Adaptive Home

U. Bolder, Michael Mozer

- Seit 1992
- Sensoren und Aktoren eingebettet (75 Stück)
- keine neuen Schnittstellen, keine GUIs
- Administrationslos!
Keine Gates Villa mit Dutzenden von Admins
- Selbstlernende Umgebung: „Reaktive Environment“
- Schwerpunkt: Kognition, AI (neuronales Netz)
- Erstes „Living Home/Lab“, bewohnt durch Michael Mozer
- Anwendungsziel: Energiesparen & größerer Komfort



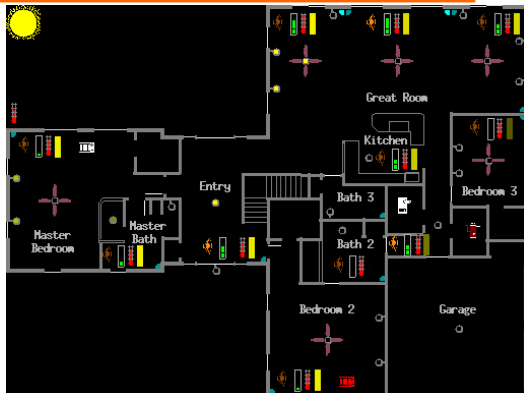
Reactive Environments Adaptive Home

Sensoren

- Noise
- Temp.
- Bewegung
- Schalter
- Regler

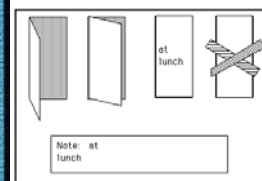
Effektoren

- Heizung
- Sound
- Ventilation
- Licht



Reactive Environments Buxton: ActiveOffice & DoorMouse

- Auch nicht-(Maus, Tastatur) Eingabe ist eine zulässige Eingabe für derzeitige Computersysteme
- Beispiel: CSCW



Reactive Environments

Bill Buxton

5 Design Principles (vor allem für CSCW in Ubicomp)

(Cooperstock, J.R., Tanikoshi, K., Beirne, G., Narine, T., Buxton, W. (1995). Evolution of a Reactive Environment, Proceedings of CHI'95, 170-177.)

- Preserve function/location relations for both tele- and local activities.
- Treat electronic and physical "presences" or visitors the same.
- Use same social protocols for electronic and physical social interactions.
- The box into which we are designing our solutions is the room in which you work/play/learn, not a box that sits on your desk. That is the difference between the ecological design of Ubiquitous Media and the design of appliances.
- Every device used for human-human interaction (cameras, microphones, etc.) are legitimate candidates for human-computer interaction (and often simultaneously).

Reactive Environments

Myron W. Krueger

- 1974 !
- **Verbindung zwischen virtueller Welt der Daten (dargestellte Artefakte) und realer Welt (dem Benutzer)**
- **Dargestellt als Kunst**
- **Grundelemente enthalten: System erkennt Ereignisse in realer Welt (Kontext), verarbeitet diese und gibt direkte Reaktion auf diese Ereignisse (Effektoren)**



Grundlagen

- **Vision: "The Computer for the 21st Century"**
- **Historische Zeitlinie**
- **ParcTab**
- **Reactive Environments**
- **Herausforderungen**
 - an Informatik, Gestaltung, Gesellschaft

Herausforderungen

Anfang der 90er Jahre erkannte Herausforderungen — größtenteils adressiert

... an die Informatik, Teil 1 (Weiser, 1993)

- **Verteilte Systeme**
 - tradition. Sicht: Verteilung verbergen, Netzwerk soll sich wie "ein Rechner" verhalten
 - stattdessen: Verteilung/Lokalität der Komponenten nutzen
 - mehr Dynamik, spontane Vernetzung
- **Mobilkommunikation**
 - übliches Optimierungsziel: Bandbreite * Reichweite
 - Ubicomp-Optimierung: Bandbreite / m³
- **Energieeffizienz**
 - im PC-Bereich untergeordnetes Ziel, im mobilen Bereich zentral
- **Mobilität/Migration von Anwendungen/UIs**
 - "Teleporting": laufende Anwendungen/UIs von einem Gerät auf das andere migrieren

Herausforderungen

Ende der 90er Jahre reflektierte Herausforderungen — Hot Topics in Ubicomp

... an die Informatik, Teil 2 (Weiser et al, 1998)

- **Lokalisierung in Gebäuden**
 - Menschen haben eine feingranulare räumlich-zeitliche Wahrnehmung der Welt
 - Systeme haben allenfalls grobgranulare Lokationsinformation
- **Koordination von Geräten für kohärente Interaktion**
 - Menschen haben ein intuitives Verständnis dafür, versch. Geräte/Werkzeuge zu koordinieren, um Arbeit zu erledigen
 - Systemen fehlt dieses Verständnis
- **Koordination von physischen und virtuellen Objekten**
 - Menschen verstehen Beziehungen, die zwischen virtuellen und physischen Versionen von Objekten bestehen (z.B. zwischen Word-Dokument und Ausdruck)
 - Systeme wissen i.allg. gar nicht, dass es auch physische Versionen existieren

Herausforderungen

... an die Gestaltung von Systemen

Calm Technology

- Menschl. Wahrnehmung der realen Welt ist i.allg. "angenehm"
 - Periphere Wahrnehmung: Kontakt halten zur Welt
 - Selektive Fokussierung: Teile der Welt in den Mittelpunkt rücken
 - Menschl. Wahrnehmung digitaler Information (in PC-Welt)
 - monopolisierend, abgeschnitten von der Peripherie
 - systembestimmte Fokussierung
 - Herausforderung an zukünftige Informatiksysteme
 - Unterstützung von Peripherie und Selektiver Fokussierung z.B. Ambient User Interfaces
- "Calm technology engages both the center and the periphery of our attention, and moves back and forth between the two"

Herausforderungen

... gesellschaftliche Aspekte

Privatsphäre (Privacy)

- Lokationsinformation: wer darf wissen wo ich bin ?
- Unsichtbarkeit: Verlust von Kontrolle über persönl. Information
- "it is important to realize there can never be a purely technological solution to privacy, and social issues must be considered"

Default = CONNECTED ?

- Doheny-Farina: "Default=Offline or Why Ubicomp scares me"
- Porush: "Ubiquitous Computing vs. Radical Privacy"
- "Participating in the newest communication technologies become compulsory if you want to remain part of the culture"

(beide Artikel s. <http://www.teco.edu/lehre/ubiqws0102/>)

Übung / Vorbereitung

Lektüre zur Vorbereitung:

- **"The Move to Information Appliances", D. Norman** (Kap. 3 aus "The Invisible Computer", MIT Press)
 - Kernaussagen/Thesen extrahieren (kurz und knapp!)
- **(* Schilit, B., Adams, N., and Want, R. Context-Aware Computing Applications. Xerox Parc Technical Report. CSL-94-12.**
- Cooperstock, J., Fels, S., Buxton, W. & Smith, K.C. (1997). Reactive environments: Throwing away your keyboard and mouse, Communications of the Association of Computing Machinery (CACM), 40(9), 65-73.
- Fitzmaurice, G.W., Ishii, H. & Buxton, W. (1995). Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces Proceedings of CHI'95, 442-449.
- Mozer, M. C. (1999). IEEE Intelligent Systems, An intelligent environment must be adaptive
- Communications of the ACM July 1993, Vol 36, No 7: Computer Augmented Environments: Back to the Real World
- Zwei CMC-Artikel zu Ubicomp&Privacy: Default=Offline, Ubicomp vs Radical Privacy
- **Übungsaufgabe**
- Anwendungen von Kontext-Modell von Bill Schilit
 - für jeden Quadranten eine typische Anwendung überlegen