

Ubiquitous Computing

(Ubiquitäre Informationstechnologien)

Vorlesung im WS 04/05



Michael Beigl

Universität Karlsruhe

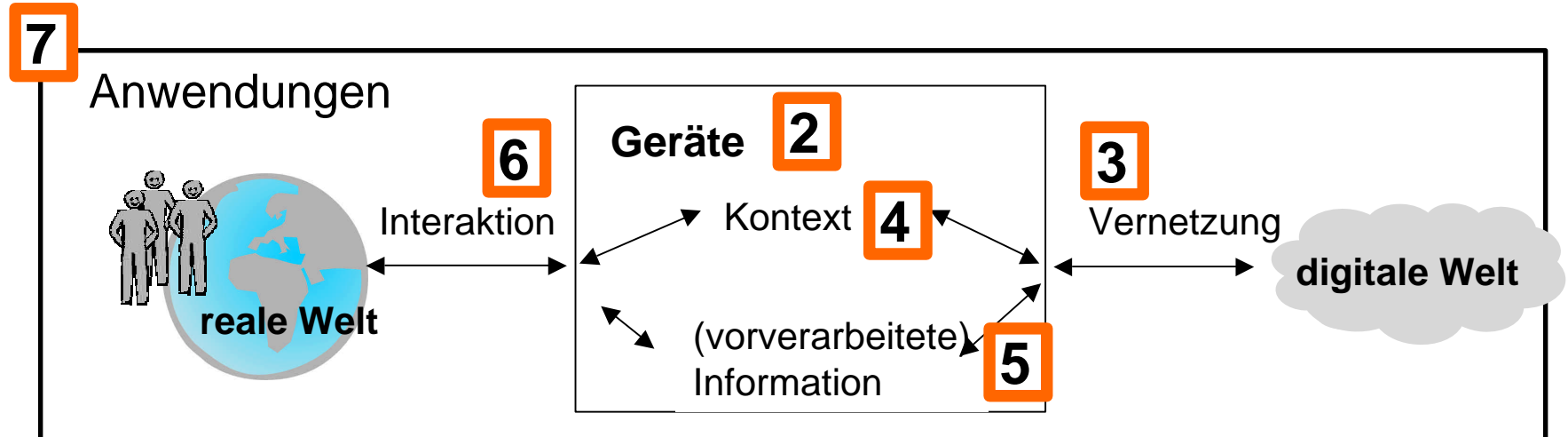
Institut für Telematik

Telecooperation Office

www.teco.uni-karlsruhe.de

Aufbau der Vorlesung

- 1** Grundlagen
- 2** Geräte
allgemein: Appliances
Wearable
- 3** Vernetzung
- 4** Kontext
- 5** Information
- 6** Interaktion
- 7** Anwendungen



Wiederholung Grundlagen

- Ubiquitous Computing: M. Weiser, XeroxParc
- Werkzeuggedanke steht im Vordergrund, dadurch Einbettung des Computers in die Welt
- „Gute Technologie ist unsichtbar“, Mensch keine „Nutzermaschine“
- Erste Experimente: ParcTab, Augmented Environments
- Kontexte ermöglichen neue Möglichkeiten, Kontexte ausgezeichnetes Forschungsthema in UbiComp
- Ansatz Kontexterkenkung: Umgebung oder Artefakt
→ Intelligente reaktive Umgebung oder smarte digitale Artefakte
- Probleme: Anwendung, HCI, Technologie

Übung + Literatur

Beispiele fotografieren

- Wo tatsächliche und empfundenen Eigenschaften differieren (Affordances)
- Wo Similarity, Closure, Proximity, Simplicity nützlich sind

Optionale Literatur

- L. Hallanäs, J. Redström, Abstract Information Appliances, DIS 2004

Pflichtliteratur für nächste Vorlesung

- Communications of the ACM July 1993, Vol 36, No 7: Computer Augmented Environments: Back to the Real World
- Gemperle, F.; Kasabach, C.; Stivoric, J.; Bauer, M.; Martin, R. Design for wearability Wearable Computers, 1998. Digest of Papers. Second International Symposium on , 1998 Page(s): 116-122

Appliances

Gestaltung: Information Appliance Konzept

Gerätenutzung

Persönlich zugeordnete Geräte

Alltagsgegenstände

Dienste

Gerätetechnik

Energie

Geräte

Appliance Konzept

Appliance

- „das Anwenden, die Anwendung, der Apparat, die Bedienung, das Gerät, das Hilfsmittel, die Verbrauchseinrichtung, die Vorrichtung“ (Quelle: dict.leo.org)
- „A device or instrument designed to perform a specific function, especially an electrical device“ (American Heritage Dic.)

Information Appliance

- D. Norman: „An appliance specializing in information. ... A distinguishing feature of inform. Appliances is the ability to share information among themselves“
- Beispiel: Digicam, Taschenrechner
- Benutzer notwendig

3 Axiome für Information Appliances

- **1. Einfachheit:** der Bedienung für Benutzer (so einfach wie dies die Aufgabe erlaubt!)
- **2. Vielseitigkeit:** erlaubt und fördert Kreativität
- **3. Vergnüglichkeit:** sollen erfreulich sein, Spaß machen



Geräte

Appliance Konzept

Appliance-Konzept

- Betonung des „Werkzeug“ Gedankens und der funktionalen Abgeschlossenheit
- Computer Sekundärartefakt, der Funktion und Bedienung untergeordnet
- „You don't want to use a computer“

PC / Application vs. Appliances

- PC: Universalrechner (Hardware) und Universalbedienung mit spezieller Anwendung (Application)
- ... führt zu einer komplizierteren Bedienung (Verstoß gegen Axiom 1)
- ... und meistens auch zu wenig Spaß (Axiom 3)

Tool vs. Appliances

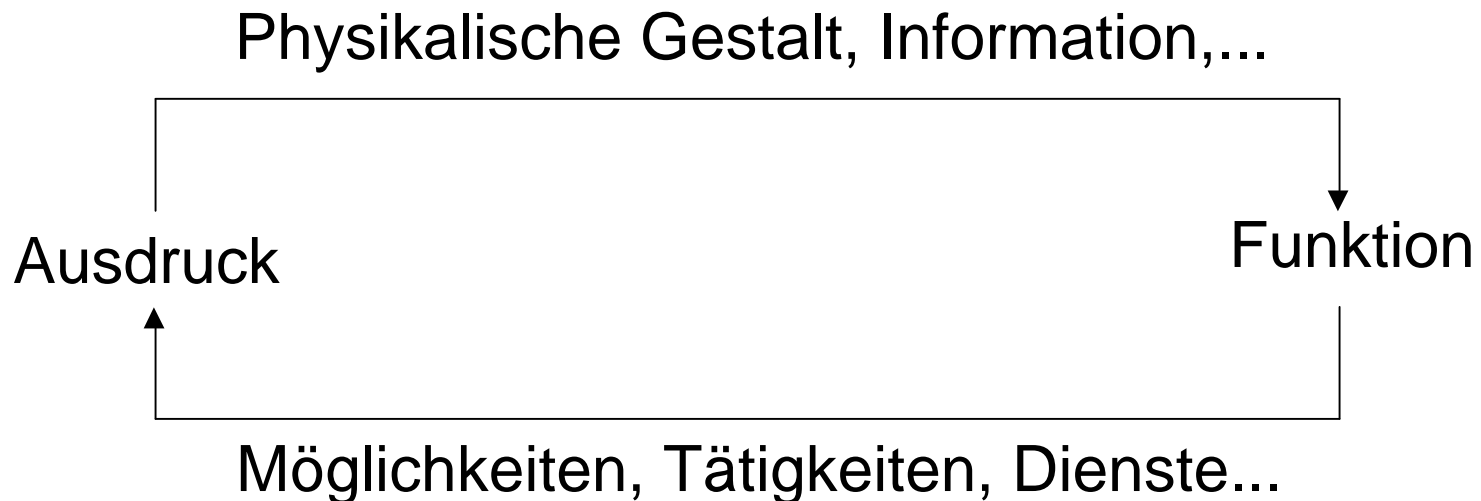
- Tool: Werkzeug kann nicht mit anderen Werkzeugen kommunizieren
- ... führt zu weniger Kombinationsmöglichkeiten (Verstoß gegen Axiom 2)
- ... und so meistens auch zu wenig Spaß (Axiom 3)

Appliance Concept

Ausdruck und Funktion

Appliance: Gerät & Computer

- Kann gesehen werden unter 2 Aspekten
 - Ausdruck (expression)
 - Funktion (function)
- Sichtweisen derselben Appliance



Geräte

Appliances vs. non-Appliances

Kein Platz für den PC?

- Allroundtools manchmal nützlich, da physikalische Beschränkung
- Bsp. D. Norman:
Bsp. Taschenmesser
- Bsp: Microwelle mit Internet?



Aufgabe

2 Uhren mit ähnlichen Funktionen: Uhr und Zusatz-Datendienste

- Welches davon ist eine Appliance
- Bewertung anhand der Appliance Axiome



Programmierbare Uhr (onhand PC, 100 Euro)

- Neben Zeitanzeige weitere beliebige Funktionen
- Wie folgt Ausdruck hier weiteren Funktionen?



Appliances

Gestaltung: Information Appliance Konzept

Gerätenutzung

Perönlich zugeordnete Geräte

Alltagsgegenstände

Dienste

Gerätetechnik

Geräte

Persönliche Geräte: Filofax

Charakteristik

- Sammlung sehr häufig gebrachter Funktionen
- Vorhaltung persönlicher / sensibler Daten
- Intimer Gebrauch, immer dabei
- Als Eigentum betrachtet

Typische Anwendungen

- Kalender
- Adressen-, Telefonliste
- Notizen

Persönlicher Digitaler Assistent (PDA)

- = Filofax: Ausdruck für Funktionen Kalender, Adressenliste, Notizen
- Ist mit weiteren Anwendungen erweiterbar, wenig genutzt, **wieso?**
- Kann Daten mit anderen Rechnersystemen austauschen und synchronisieren



Geräte

Persönliche Geräte: Telefon

Zentriert sich um einen zentralen Verwendungsbereich

- Erweitert Nutzen um zentralen Verwendungsbereich
 - Telefonliste
 - Notizen / SMS Speicher
- Ubiquitär für viele Nutzergruppen
- Erweitert Nutzen mit zusätzlichen Funktionen
 - Wecker
 - Kalender
 - Voicerecoder / MP3 Player
 - Kamera
- Optional: Wechsel Funktion = Wechsel Ausdruck

Ausdruck: Mobiltelefon

Ausdruck: Persönlicher Assistent



Geräte

Erweiterte Alltagsgegenstände

Erweiterung eines existierenden Gegenstandes

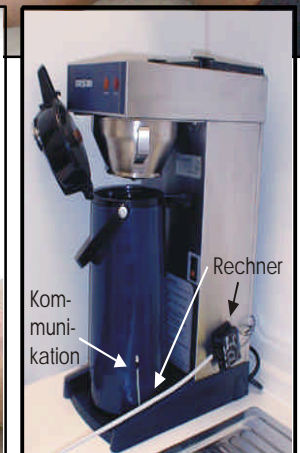
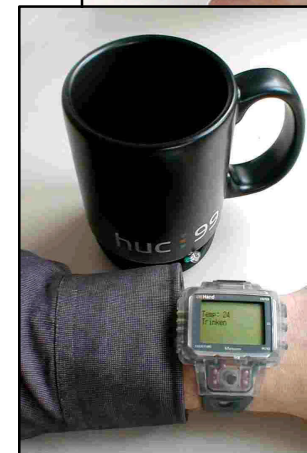
- eingebetteter Prozessor, Speicher, Sensorik und Netzwerkverbindung.
- Benutzerschnittstelle bleibt gleich oder ist wenig verändert
- Fähigkeit, digitale Information zu Erkennen und verarbeiten:
 - eigenständiger als einfache Objekte
 - nicht (notwendigerweise) „intelligent“ im KI-Sinne.
- Fähigkeit, Information mit anderen Geräten auszutauschen
 - nicht notwendigerweise online, aber zumindest gelegentliche Verbindung (Synchronisation)
 - Abgrenzung gegen abgeschlossene eingebettete Systeme

Geräte

Alltagsgegenstände

Integration nicht-digitaler Objekte

- Physischen Objekten eine Darstellung in der digitalen Welt geben
- Beispiel Mediacup:
 - Sensoren zur Erfassung des Zustands (Temperatur, Bewegung, Gewicht)
 - Prozessor zur Berechnung von Ereignissen („aufgefüllt“, „getrunken“, „abgekühlt“, ...)
 - Infrarot-Kommunikation, Broadcast in lokaler Umgebung
- Keine Änderung der Ursprungsfunktion
→ keine Änderung des Ausdrucks
- Funktion ergibt sich aus Vernetzung mit anderen Geräten



Beispiel Digitale Artefakte als Erweiterung bestehender Funktion

“Digital Ink”, CMU Interactive Design



The Cap covers Digital Ink's pen tip so the pen can be carried in a pocket. It also clips onto the writing surface assisting the pen's ability to understand page boundaries and writing locations.

The Cellular Communication Components allow for wireless communication including email, phone calls, and faxes.

Digital Ink performs handwriting recognition by combining software algorithms with Gyroscopic or Accelerometer Technology to measure the angles and direction of lines on the writing surface.

A color Liquid Crystal Display (LCD) provides visual feedback for commands and also permits the reading of email messages serially.

Internally, Digital Ink has a minimum of 10 megabytes of solid state memory and the internal battery is rechargeable Lithion-ion solid polymer or liquid gel.

the Mode Button lets the user choose between Digital Ink's various commands.

Digital Ink's "Ink Well" downloads information from the pen directly to a desktop computer, it also recharges Digital Ink's internal battery.

Geräte Dienste

Eine Funktion = Ein Gerät

- In sich abgeschlossen, nur eigentliche Funktion wird nach außen kommuniziert
- Kombination bisheriger Einzelkomponenten
- Falls nicht abstrakt: Ausdruck entsprechend assoziierter Funktion
- Beispiel WebCam: Kamera und Rechner; Ausdruck: Kamera
- Beispiel DVD Player: DVD Laufwerk, Rechner, Audiokarte; Ausdruck: Player



Appliances

Gestaltung: Information Appliance Konzept

Gerätenutzung

Gerätetechnik

Hardware

Software

Energie

Gerätetechnik

Mehr in Vorlesung

- **U. Brinkschulte, T. Ungerer**
Mikrorechnerntechnik I
WS 2004/05
- **U. Brinkschulte, T. Ungerer**
Mikrorechnerntechnik II
SS 2005
- **T. Ungerer, (U. Brinkschulte)**
Techniken des Ubiquitous Computing
SS 2005

Geräte

Computer-Hardware

Interner Aufbau

- Unterschiedliche Funktion → unterschiedliche oder Standard-HW
- Schnittstellen zur physikalischen Welt
 - Explizite Schnittstellen: Tastatur, Maus, Stift, Anzeige,...
 - Implizite Schnittstellen: Sensorik, Hintergrundaktuatorik (z.B. Sound, einfache Leuchtanzeigen)
- Prozessor und Peripherie
 - Getrennt, z.B. externe I/O, Speicher
 - Eingebettet (embedded): Häufig Mikrocontroller oder ASIC mit integrierten Funktionen z.B. Speicher, I/O, Netzwerk
- Unterschiede im Energieverbrauch

Geräte

Klassifizierung anhand Energiezufuhr

Mobile Geräte mit direkter Benutzerschnittstelle und Aufladung durch Benutzer

- PDA, Mobiltelefone, Spielekonsolen, Digitale Kamera, TabletPC, Set-Top Box

Stationäre Geräte mit dauerhafter Stromversorgung

- Spielekonsolen, digitale Haushaltsgeräte, digitale Consumergeräte (DVD)

Parasitäre Geräte

- SmartCards, passive Transponder (RF-ID Tags)

Mobile, eingebettete Geräte

- (eingebettete) Sensorknoten ohne Aufladung durch Nutzer

Unterschiede durch verfügbare Energie

- Spezialisierung, Integration, Anzahl interner Komponenten
- Wichtig: für Energieverbrauch: verwendete Komponenten, Prozessortyp, Taktfrequenz, Busse!, Kommunikation

Hardware

Prozessoren

Unterscheidung

- (multi-purpose) Prozessoren
 - z.B. PC-Prozessoren (Pentium IV, Athlon), großer Befehlssatz, hohe Taktraten
 - CISC-Befehlssatz, festverdrahtet und/oder Microcode, heute oft Mix
- eingebettete Prozessoren und Mikrocontroller
 - RISC oder RISC-“like“
 - integrierter RAM, Program-RAM, A/D, I/O, WDT, ...
- Spezialprozessoren
 - Digitale Signalprozessoren DSP, Netzwerkprozessoren
- ASICs (Application-specific Integrated Circuits) für hochperformante Spezialgeräte mit hoher Stückzahl, z.B. Digitalkameras

Allgemeine Typen

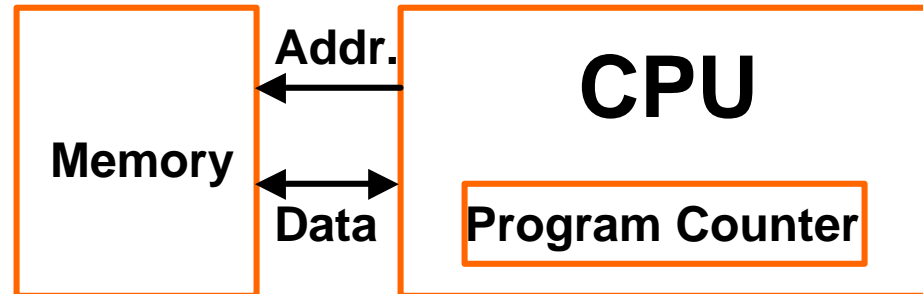
- von Neumann
 - häufig bei multi-purpose Prozessoren
- Harvard
 - häufig bei eingebetteten Prozessoren

Hardware

Harvard vs. Von Neuman

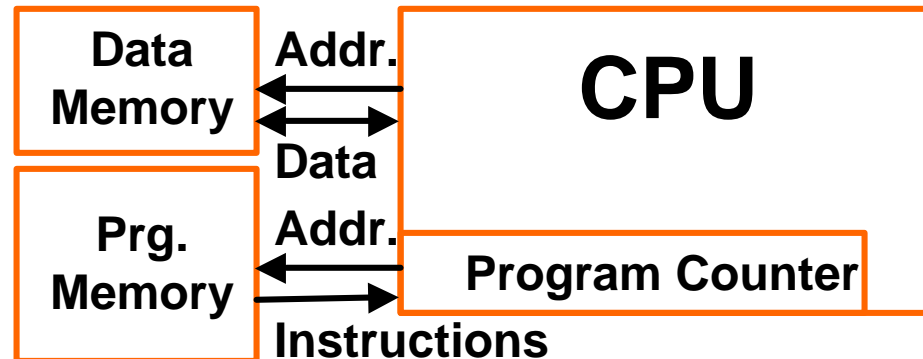
Von Neuman

- oft flüchtiger Hauptspeicher, viel Energie für Speicher (SRAM 1MB ca 15mA)
- flexibel



Harvard

- Daten flüchtig, Prg. fix (ROM, Flash, EEPROM)
- kein Bootloaden, schnelles Boot
- keine versehentliches Überschreiben von Prg.
- typ. Energieverbrauch <10mA
- schneller durch 2 Busse



Hardware

Populäre Prozessortypen

eingebettete Prozessortypen / Mikrocontroller

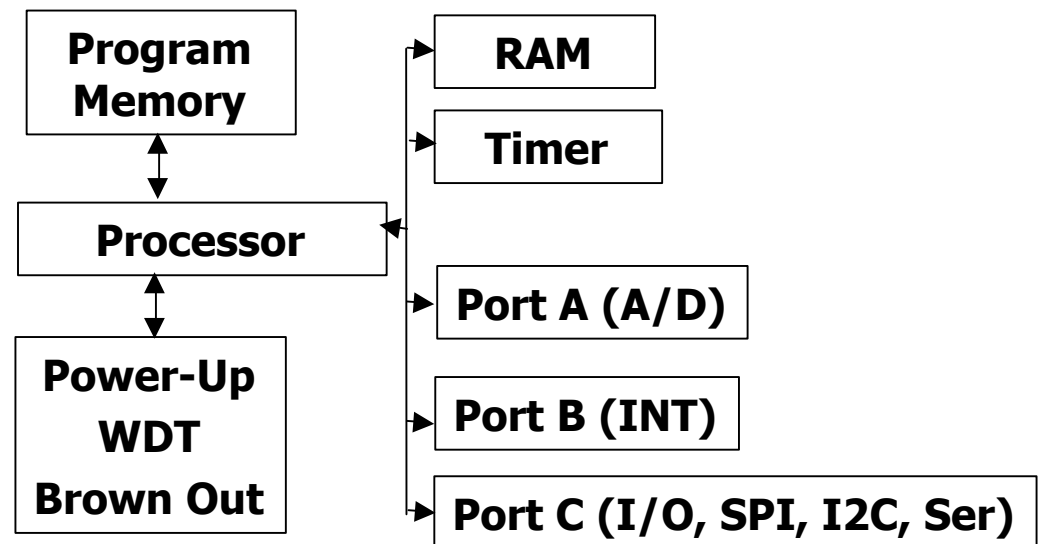
- **Arizona Microchip PIC Reihe (8-bit, 16-bit, Harvard)**
 - Extrem große Anzahl von Derivaten (mehrere hundert) mit unterschiedlichen integrierten Funktionen inkl. verschiedene Netzwerke (CAN, Funk,...)
 - 1k-128k Flash Programmspeicher, 32byte-8k RAM, bis 33 MIPS
 - Niedriger Energieverbrauch (<8mA @5 MIPS), sehr hohe Kompatibilität zwischen Prozessoren
- **ATMEL AVR (8bit, Harvard)**
 - Marktführer, mehrere Dutzend verschiedene Derivate
 - 1k-128k Flash, 32byte-4k RAM, max. 20 MIPS
 - Noch niedriger Energieverbrauch (<10mA @ 5MIPS)
- **TI MSP430 (16 bit, von Neumann)**
 - Mehrere Dutzend Derivate
 - Bis 64 k Flash, 10 k RAM
 - 5 Power Modi, extrem niedriger Energieverbrauch (wenige mA bis uA, je nach Modus) durch feingranulares Ab-/Anschalten interner Module

Hardware

Arizona Microchip PIC

PIC 16F876

- Harvard Architektur, RISC (35 Instruktionen), bis 20 MHz, 5 MIPS, breite Betriebsspannung (2-5.5V)
- Low Cost (4 Euro), Low Power (900 nA-15 mA)
- Einfache interne Rechenstruktur, komplexe I/O (viel I/O → viel Kontext)
- Alles auf einem Chip: z.B. A/D, Power-Up
- (fast) keine ext. Bauteile notwendig
- Programmierung: C, Assembler



Hardware

Populäre Prozessortypen II

Nicht-eingebettete Prozessoren

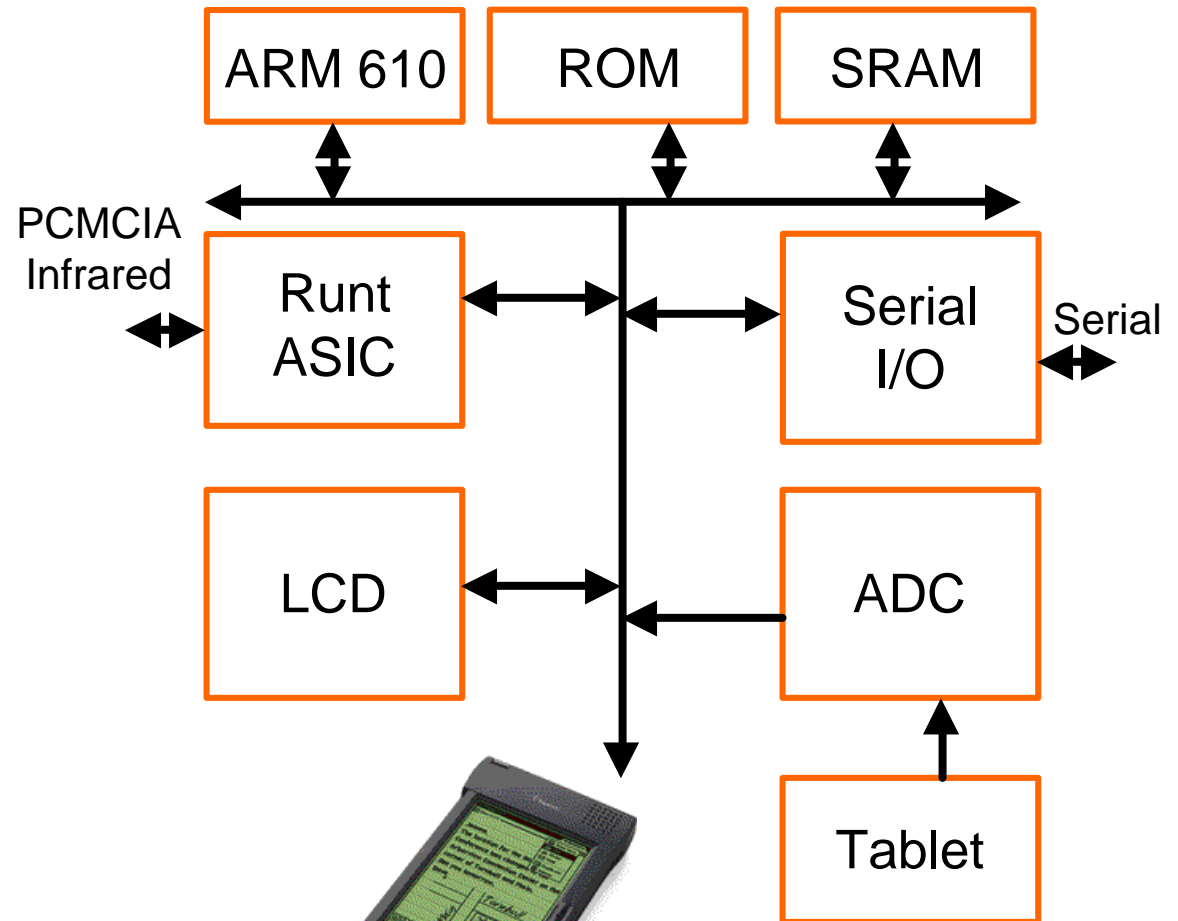
- Beispiele:
 - Dallas Semiconductor: DS80Cxxx
 - Intel Xscale / StrongARM (ex Digital)
 - Motorola 68HCxxx
 - Intel 80x86 Architektur (Preis!, Verfügbarkeit von Tools)
- Multi-Purpose: Ausgelegt für die Ausführung beliebiger Programme, mehrere Anwendungen gleichzeitig
- Oft kein (vollständig) eingebetteter Speicher, I/O um Flexibilität zu erhalten
- Von Neumann, bis 700 MHz
- Anwendung: persönliche Geräte (PDA, Mobiltelefon), Dienstgeräte (Webcam, Micro-Web-Server)

Hardware

Bsp. PDA Design

Newton MessagePad

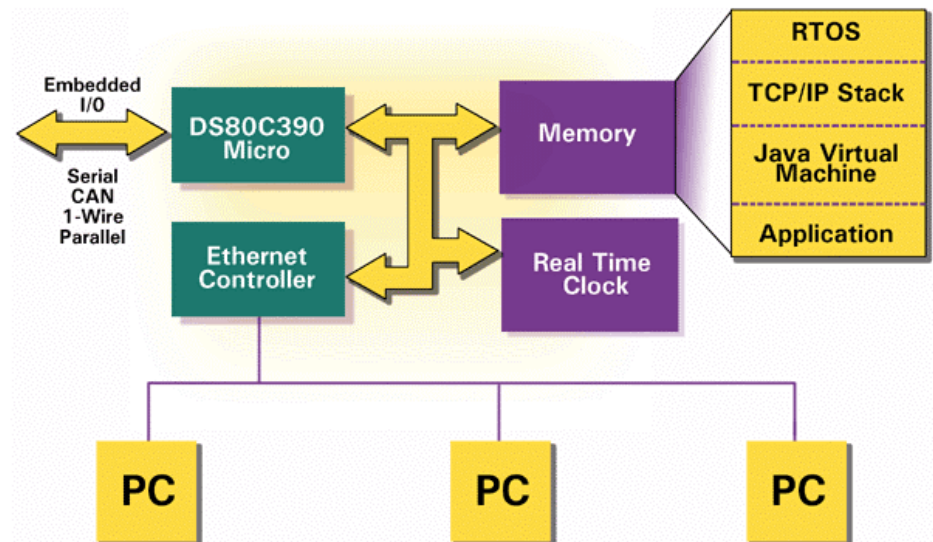
- Externe Daten/ Adressenbusse
- Auf direkte und graphische Benutzerschnittstelle optimiert
- kompakter, aber ähnlich PC / Workstation Aufbau
- Stromverbrauch stark von Benutzerschnittstelle und Nutzerverhalten abhängig



Hardware Beispiel: Dienstsystem mit Java Board: TINI

TINI Java Board von Dallas/Maxim

- z.B. Model 390, 512kB SRAM, 512k Flash ROM
- 8 bit DS80C390 Microcontroller @ 36 MHz (eigentlich für CAN Anwendungen entwickelt)
- Interne 40-bit Accumulator, 32- and 16-bit Mult., Dividierern, 10-bit stack pointer (gut für Java!)
- Java APIs erlauben Zugriff auf Peripherie
 - RS232
 - 1-Wire Netz (iButton)
 - CAN (Controller Area Network)
 - I2C
 - Digitale I/O
- ... aber kein natives Java!
- Größe 32x103mm
- 10 Mbit Ethernet Anschluß
- Verbrauch: 250mA@5V typisch



Quelle: www.ibutton.com

Hardware für eingebettete, kabellose Rechner

Allgemeiner Aufbau

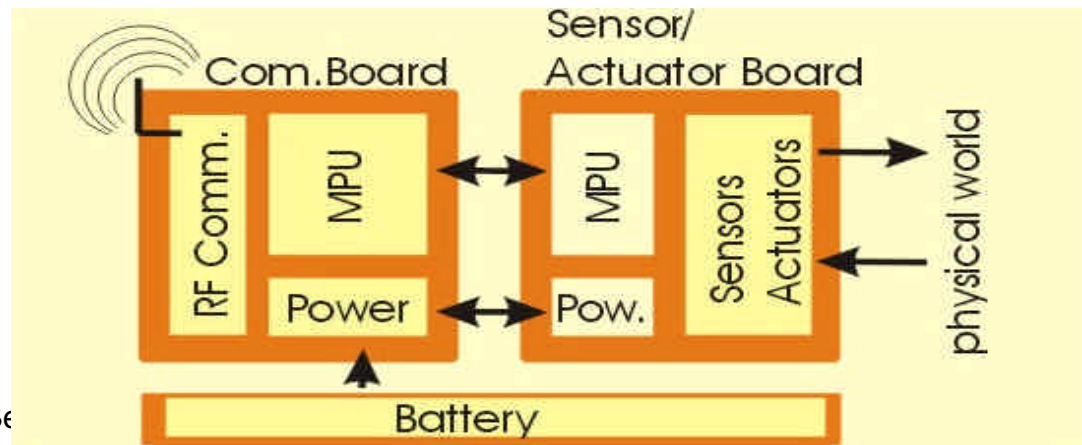
- Verwendung eines eingebetteten Mikroprozessors
- Mehrboard-Ansatz separiert Kern und Sensorik
- Kern beinhaltet immer Rechner + Funkkommunikation
- **“Separation of Concerns”** als Entwicklungsprinzip, Flexibilität

Core-Board

- Eingebetteter Prozessor
- Funkkommunikation
- Stromversorgung u. Regulierung
- I/O Einheit

Zusatzboards (meist Sensor, Aktuator)

- Sensorik, Aktuatorik
- Optionale Stromversorgung
- Optionaler Co-Prozessor



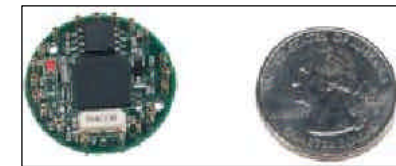
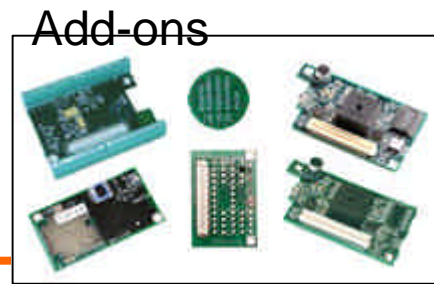
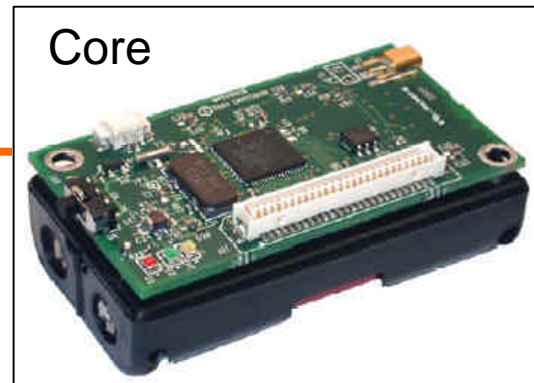
Hardware Smart Dust

Aufbau

- Übertragung Funk / Laser
- Verschiedene Sensorik
- Eingebetteter Mikrocontroller
- +Externer SRAM
- +A/D Wandler

Charakteristik

- Alle Busse Modul-“intern“, einige im embedded Mikroprocessor



Core2

Quelle: U.of California, Berkely

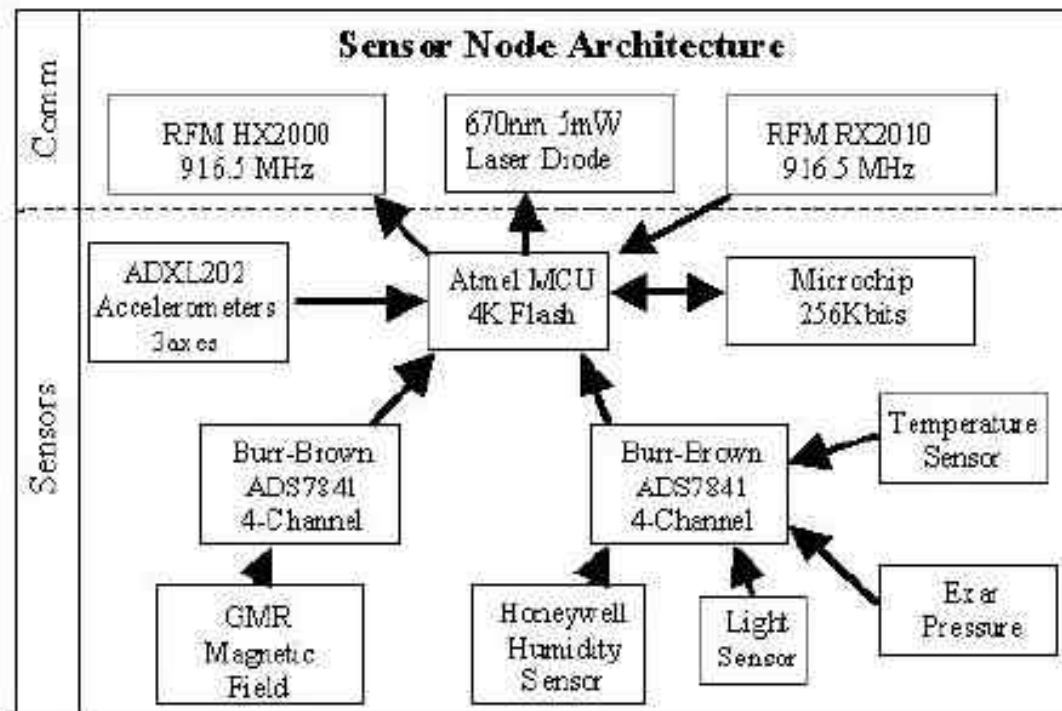


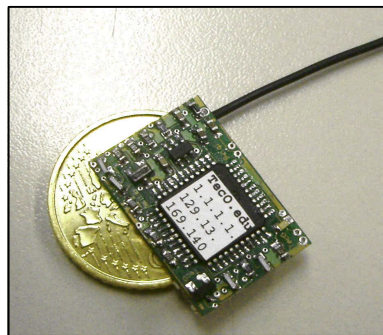
Fig. 1. Architecture for COTS Dust.

Hardware

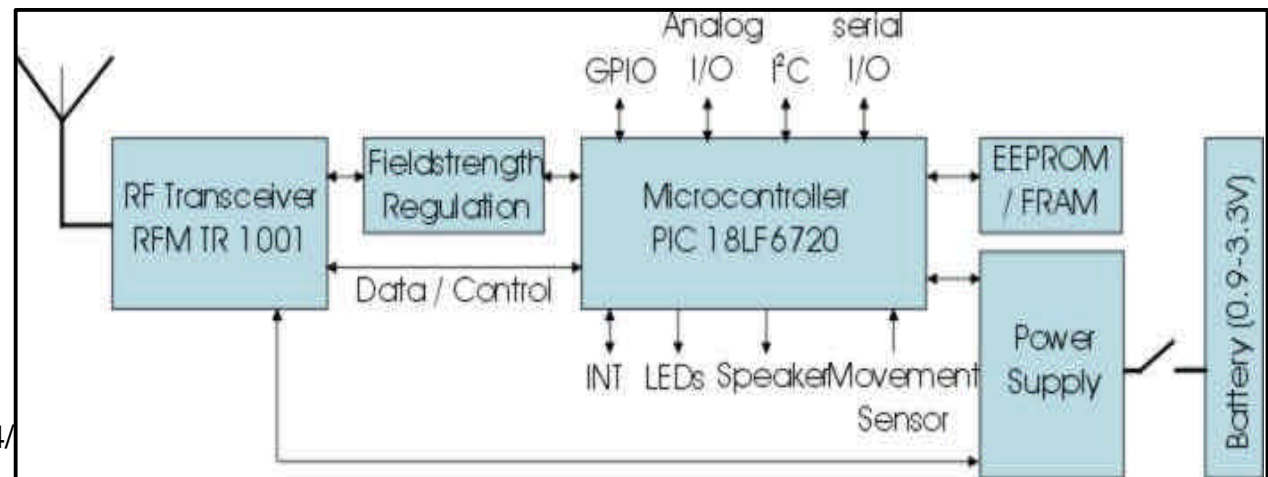
Smart-Its Particle Core

Characteristics

- Verschiedene Smart-It Versionen, z.B. 2/02: 5 MIPS, 128kbyte Program Flash, 4k RAM, 512k Flash (file system)
- Low power (<10mA max), klein, 0.9-3.3V
- Proprietäre low power Kommunikation, 125 kbit/s Bandbreite, 50kbit/s Anwendung, extreme Skalierung für mehrere 100 Knoten
- Mechanisch robust
- Flexibilität durch einheitlichen Particle Connector (I2C, SPI, serial, A/D I/O)



Ubiquitous Computing WS 04/

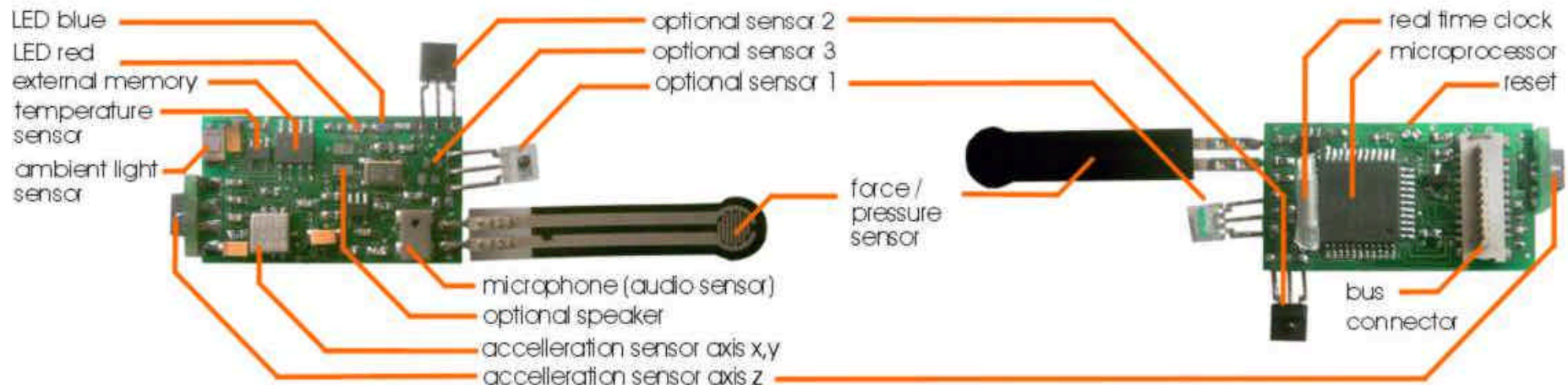


Hardware

Particle Sensoren

Beispiel: Generisches Sensorboard

- Sammlung der für UbiComp wichtigsten Sensoren (basiert auf Studie von Anwendungen)
- Low Power, eigener Co-Prozessor für von Kommunikation unabhängige Verarbeitung u. Entwicklung
- Serielle, I2C, SPI, A/D, PWM Schnittstelle



Appliances

Gestaltung: Information Appliance Konzept

Gerätenutzung

Gerätetechnik

Hardware

Software

Energie

Software

Grob 2 Klassen

- Anwendungen
- Betriebssystem / Bibliotheken

Anwendungen

- sehr vielseitig von persönlichen Anwendungen
- ... über Standardanwendungen
- ... zu speziellen Anwendungen, insbesondere digitale Artefakte

Betriebssystem

- Vermittler zwischen Anwendungen und Hardware
- spezielle Betriebssysteme für spezielle Zwecke, z.B. persönliche Geräte, digitale Artefakte, Mobiltelefone
- Kriterium „am besten geeignet“, statt „am umfangreichsten“ (PC)
 - klein und effizient statt vielfältig
 - harte Echtzeit statt „Performance“
- zu unterstützen: Benutzerschnittstelle, Kommunikation, Sensorik/Kontext, Energieverwaltung

Betriebssystem

Aufgaben (vereinfacht)

- Task / Process / Thread Management
- Inter-Process Communicaton
- Memory Management
- I/O Mangement (Netzwerk, Disk,...)
- Device Management
- Benutzerschnittstelle
- Bootloading

Handheld / Mobiltelefonbetriebsysteme

- Windows Mobile, EPOC, PalmOS 5+, Embedded/Handheld Linux

Betriebssystem

Aufgaben (vereinfacht)

- Task / Process / Thread Management
- Inter-Process Communication
- Memory Management

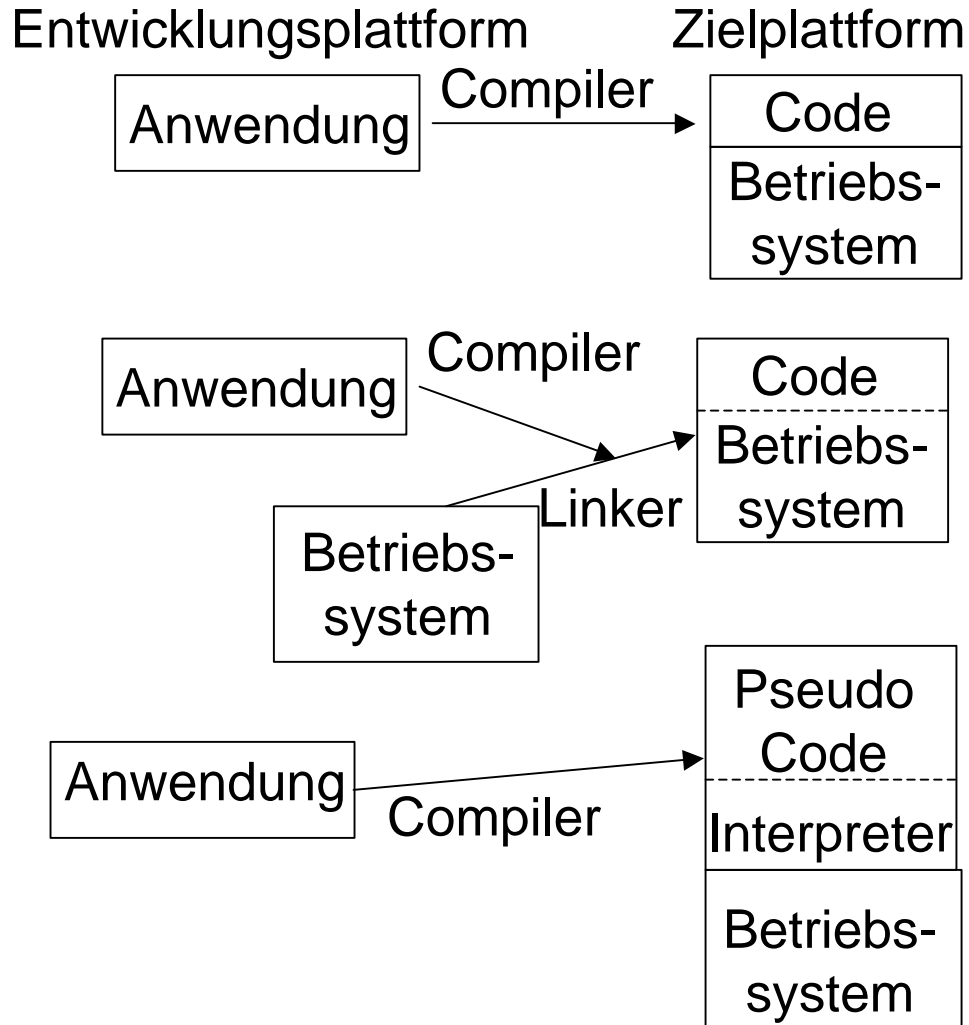
- I/O Management (Netzwerk, Disk,...)
- Device Management

- Benutzerschnittstelle
- Bootloading

Mikroprozessoren

- keine oder minimal, oft cooperativ
- Semaphore, Queues (selten)
- oft dem Mikroprozessor überlassen
- kabellose Kommunikation, seriell, keine Disk etc!
- VIELE verschiedene Sensoren, viele Treiber
- wenig direkte
- Kein oder minimales Bootloading

Von der Anwendung zum Programm



3 Optionen

- Klassisch: Anwendung und Betriebssystem getrennt
- WinCE, Palm, ...
- Miniatur Embedded Systeme: Anwendung und Betriebssystem in Entwicklungszeit starr gelinkt
- Java, Basic: Anwendung als interpretierter Pseudo-Code

Software Betriebssystem

Tiny OS

Tiny OS (Berkeley) für SmartDust / MOTS

- Kooperatives Multitasking, kein Speicherschutz, eigene Sprache (NesC) und Precompiler notwendig, OS+Anw. werden gelinkt
- Ereignisbasierter Wechsel, FIFO-Scheduler + priorisierte Ereignisse (Netzwerk)
- Vor allem für ad-hoc Sensornetzwerke

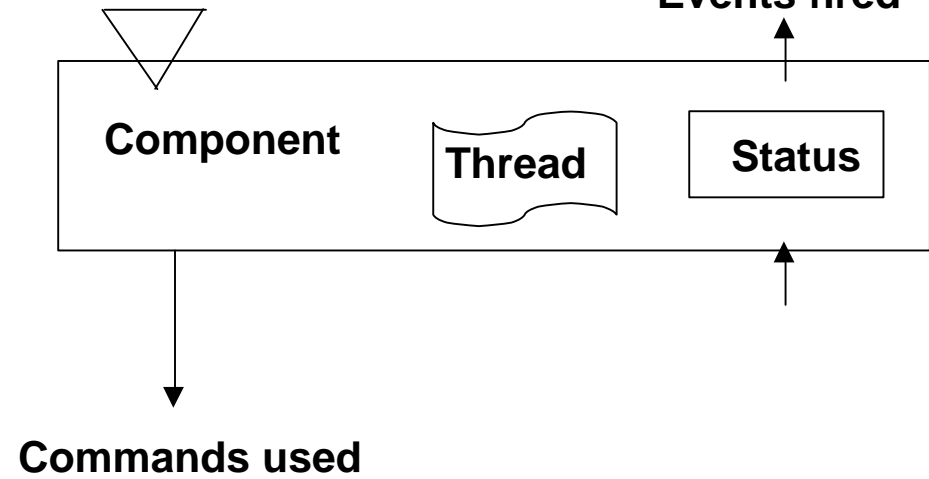
▪ Komponente:

▪ Bsp:

Deklarationsdatei zus. zu C-Code:

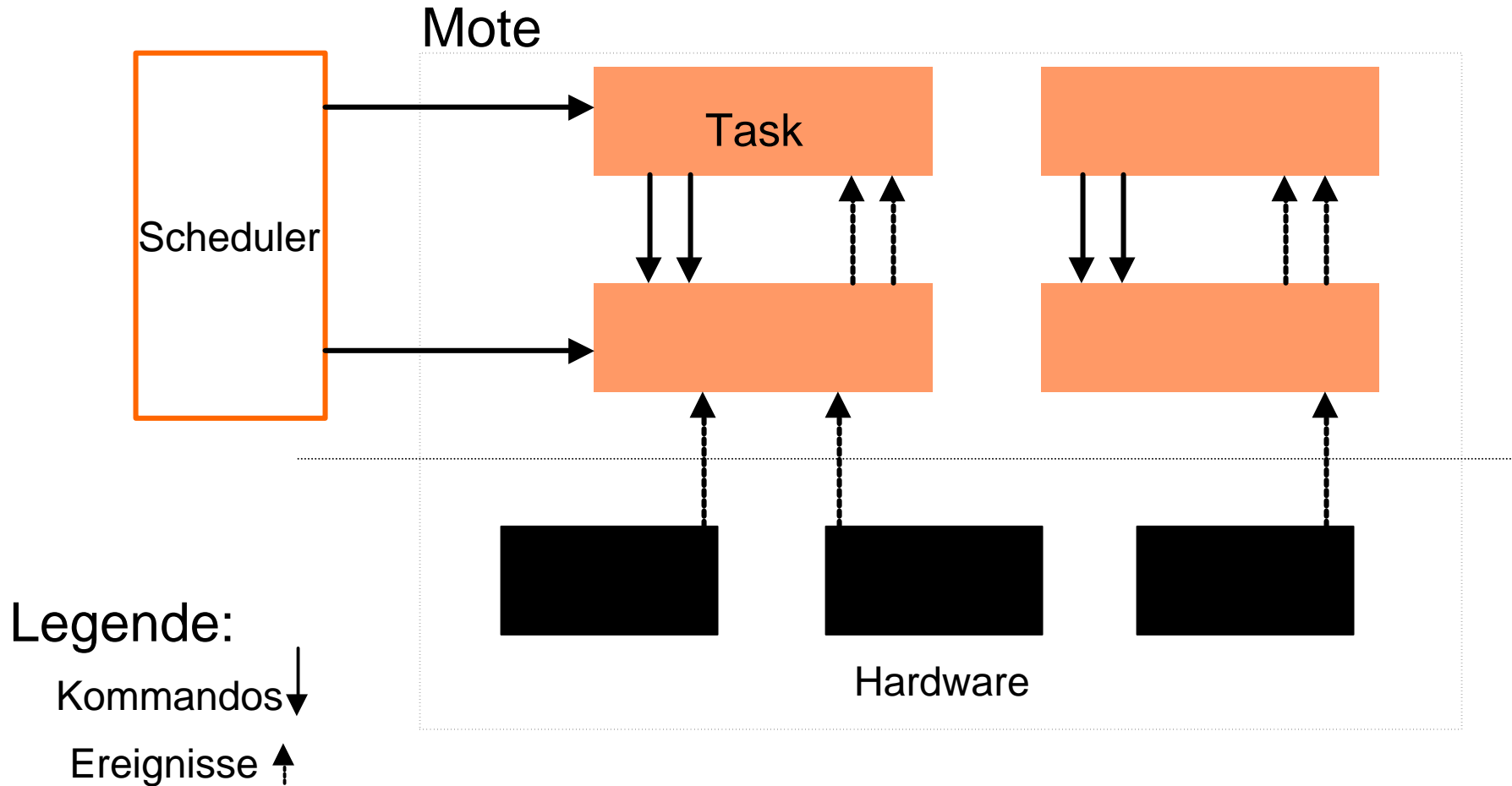
```
TOS_MODULE name;  
ACCEPTS{ command_signatures };  
HANDLES{ event_signatures };  
USES{ command_signatures };  
SIGNALS{ event_signatures };
```

API / commands / handler

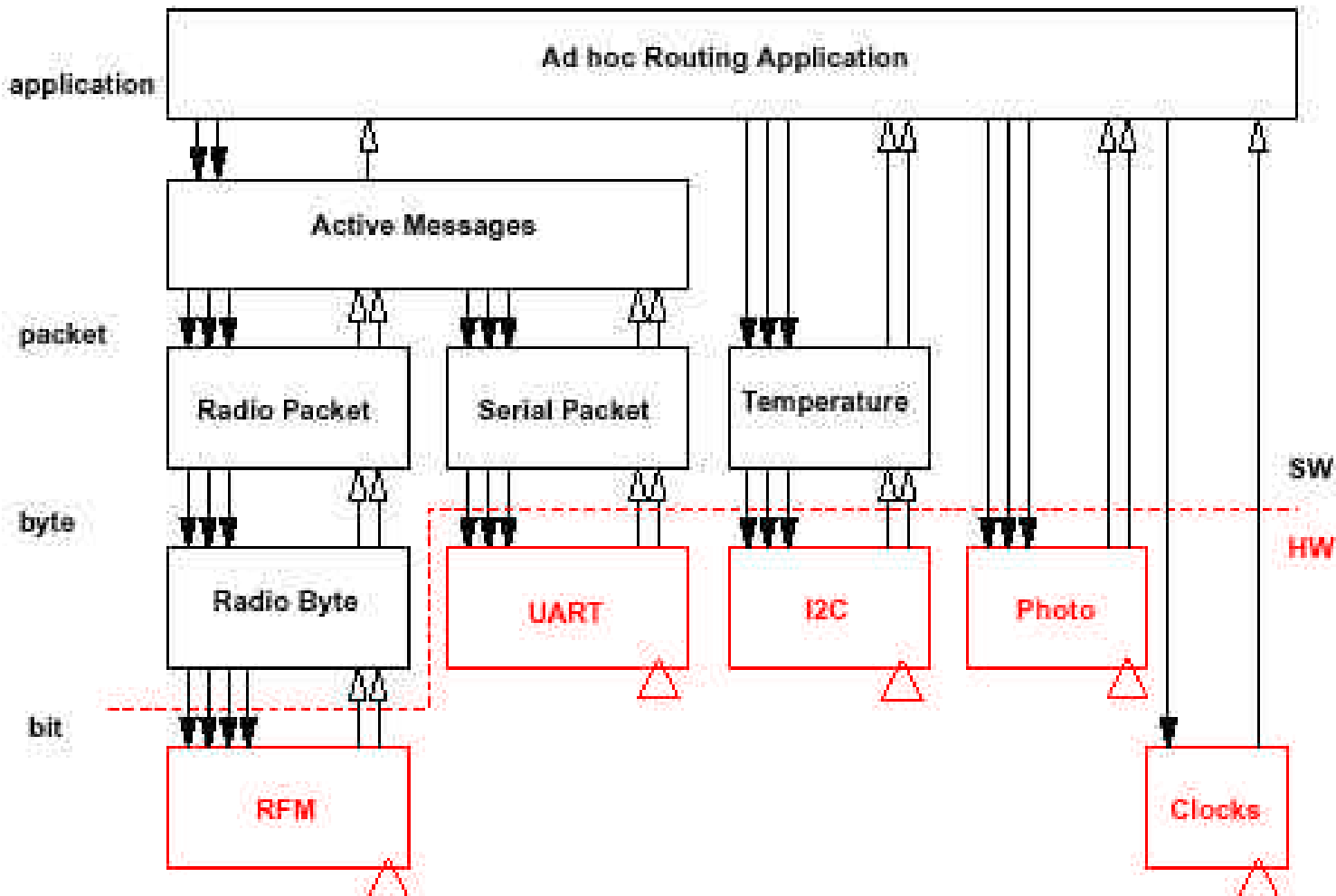


Software: Betriebssystem

TinyOS - Design



Software TinyOS Beispielanwendung

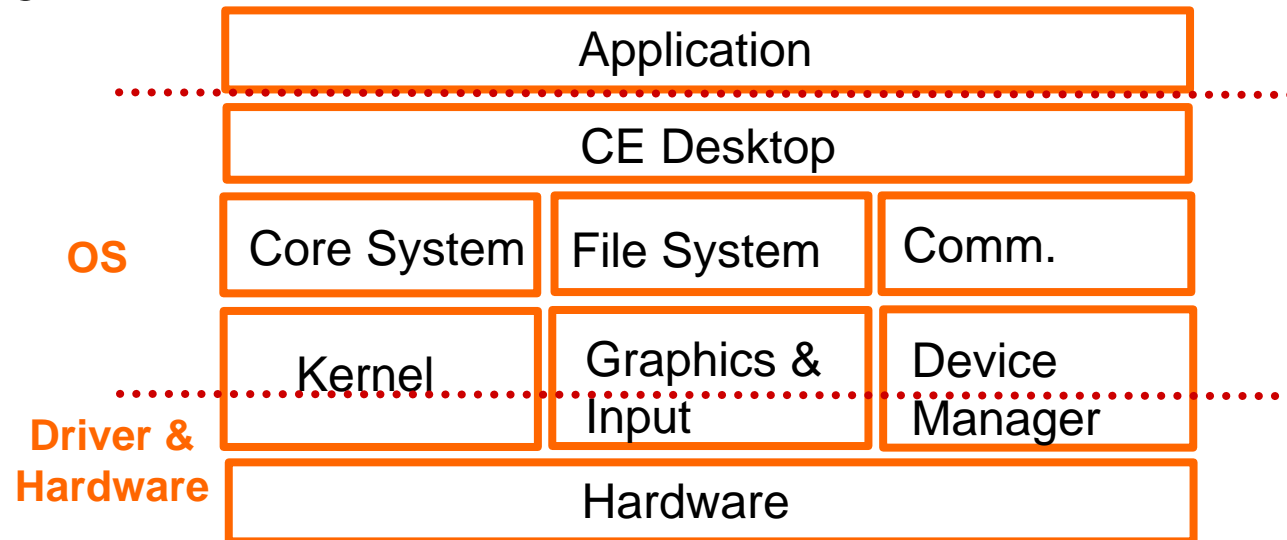


Software Betriebssystem

Windows CE / Handheld Windows

Eigenschaften

- Für persönliche Multimediageräte mit „Windows“ Logik
- pre-emptive Multithreading, Semaphore, priorisierte Interrupts...
- „etwas“ Echtzeit: Latencies Task-Switch, Memory Switch...
- Minimal 500 kB ROM, 35 kB RAM, Normal: 2 MB RAM
- Aufbau grob:



Appliances

Gestaltung: Information Appliance Konzept

Gerätenutzung

Gerätetechnik

Hardware

Software

Energie

Energie

Probleme

- Energie und Wärmeableitung

Energie und Leistung (in Einheiten)

- Energie: $J = \frac{\text{kg m}^2}{\text{sec}} = V A \text{ sec} (U \cdot I \cdot t) = W \text{ sec}$
- Leistung: $W = \frac{J}{\text{sec}} = \frac{\text{kg m}^2}{\text{sec}^2} = V A (U \cdot I)$

Energieverbrauch vom mC und mP

- Microcontroller werden mehr und mehr in kleinen, mobilen Geräten genutzt (Ubiquitous Computing, Pervasive Computing)
- Die verfügbare Energie wird durch eine Batterie begrenzt
- Hauptanforderung: Erzielung einer maximalen Betriebszeit mit der verfügbaren Energie
- Wärmeabgabe ist ein anderer Grund, den Energieverbrauch zu reduzieren

Energieverbrauch

Hauptwege zur Reduktion des Energieverbrauchs bei Mikroprozessoren und Mikrocontrollern:

- Verringerung der Taktfrequenz
- Verringerung der Versorgungsspannung
- Optimierung der Mikroarchitektur

Energieverbrauch

Reduktion der Taktfrequenz

- Für CMOS Schaltungen gilt: $E \sim f$
- Das bedeutet: Halbierung der Taktrate entspricht einer Halbierung des Energieverbrauchs
- Einfach und effektiv
- Problem: die Verarbeitungsgeschwindigkeit wird ebenfalls reduziert

Energieverbrauch

Reduktion der Versorgungsspannung

- Energieverbrauch proportional zum Quadrat der Spannung: $E \sim U^2$
- Dies bedeutet: 70% Versorgungsspannung bewirken 50% Energieverbrauch
- Zusätzlich sind Versorgungsspannung und Taktfrequenz nicht unabhängig.
- Es gilt: $f \sim U$

Energieverbrauch

Reduktion der Versorgungsspannung und der Taktfrequenz

- Bei gleichzeitiger Reduktion von Versorgungsspannung und Taktfrequenz gilt :

$$E \sim f * U^2$$

oder

$$E \sim f^3 \sim U^3 \quad \text{Kubus-Regel}$$

Techniken der Verringerung des Energieverbrauchs bei mC und mP

- Energiesparmodi: Ruhezustände
- Abschalten nicht benutzter Peripherie
- Pipeline Gating: Abschalten nicht benötigter pipeline-Stufen
- Frequency Scaling: Herabsetzen der Taktrate
- Voltage Scaling: Verringern der Versorgungsspannung

- Mobile Prozessoren: geringe Versorgungsspannung, geringe Taktfrequenz, viele Energiesparmodi

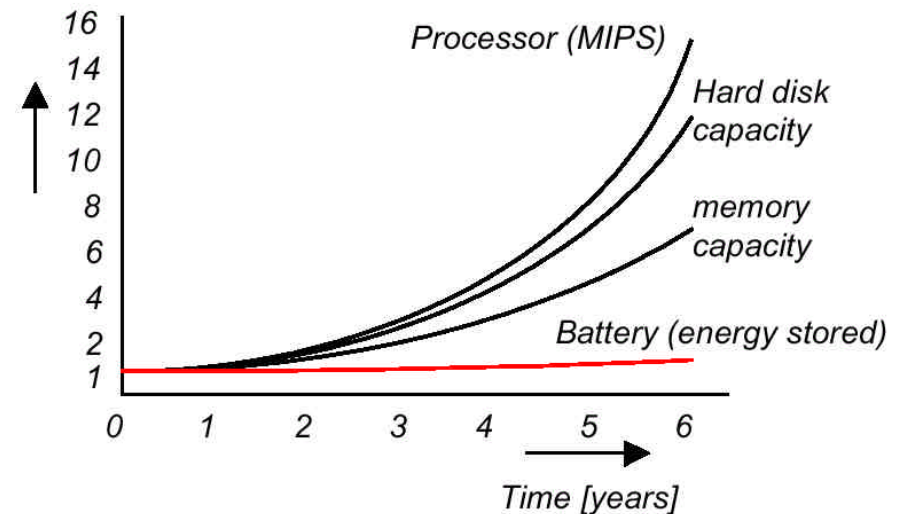
Energieversorgung

Batterietechnologie

- langsamer Fortschritt (nur 20% mehr Kapazität in 10 Jahren)
- Hoffnungsträger: Brennstoffzellen, geringere Strukturgrößen, also weniger Verbrauch
- aber: mehr Transistoren = mehr parasitäre Kapazität

Energieverbrauch

- Desktop-Rechner $\sim 10^2\text{W}$
- Laptop $\sim 10\text{W}$
- Single-Board Comp. $\sim 1\text{W}$
- Low-power Microcontr. $\sim 10^{-3}\text{W}$



Energie

Quelle	AA Batterie	Knopfzelle	Camcorder Akku	1 Liter Benzin
Energie	2000mAh @ 1.5V = 3Wh =10800 J	2000 J	10^5 J	10^7 J
Verbraucher	PC	PC 104 eingebettet	Sensorknoten	Mensch
Leistung	100-200W	1 W	0.03 W	120 W

Beispielrechnung

- AA Batterie für Desktop: 10000 Ws für 100 W => 100 Sekunden
- AA Batterie für Sensorknoten: 10000 Ws für 0.03W => 92 Stunden

Energie: Einordnung

Quantity	Energy	Remark
Uv photon	-18	
Neural transition	-13	Varies with size
CMOS transition	-12	Gate with 100fF load
tt-particle	-12	From space or IC package
8-bit assignment	-10	
PCB transition	-10	10 pF load
ARM instruction	-8	
8-bit access 16Mb SRAM	-8	
DEC Alpha instruction	-7	
Correcting ECC word	-6	
NiCd penlight battery	3	
Can of beer	6	600 kJ
Lead-acid car battery	6	5kg x 40Wh/kg
Kg coal	7	
Daily human consumption	7	2500 kilocalories
Man-made nuclear explosion	14	Trinity (July 16, 1944)
1906 San Francisco earthquake	17	8.3 on the Richter scale
Nova	37	
Big bang	73	

Quelle: P. Havinga

Energiesparen

Technologie-Ebene

- Kapazitäten minimieren, minimale Chipfläche, möglichst wenig externe Verbindungen
- Kleinere Spannung, Strom (schmalere Leiterbahnen), Frequenz

Hardwarearchitektur

- hohe Verlustleistung in Bussen, Treibern, Multiplexern → Einsparen durch Lokalisierung von Operationen, Abschalten von I/O
- anwendungsspezifische Co-Prozessoren (am Prozessor vorbei, weniger Verkehr auf dem Bus), Problem: I/O, Verdoppelung von Funktionen
- Speicheroperationen direkt am Prozessorkern

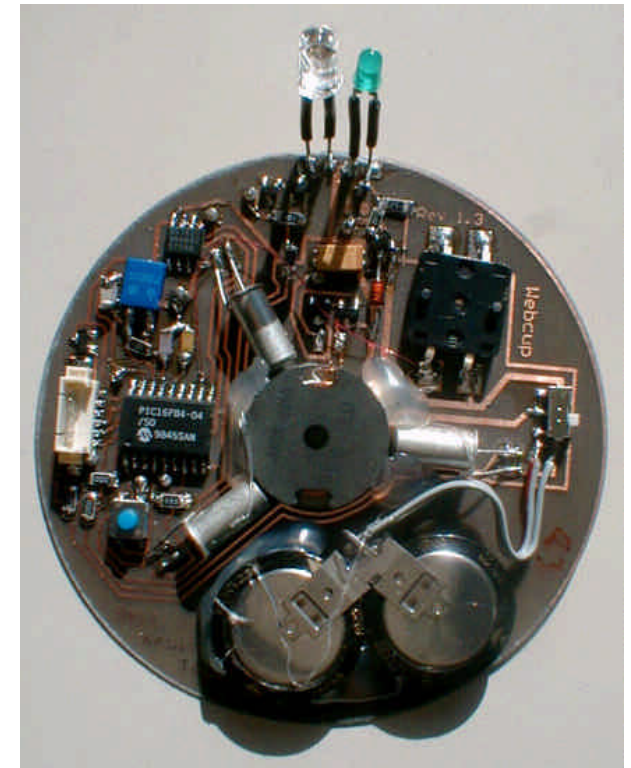
Kommunikation & OS

- Minimierung der Netzwerkzeit (Piconetze: Hören so teuer wie Senden!)
- Fixe Slots, Master-Slave Zuweisung, Zwischenpuffern über Infrastruktur, Subscribe/Notify
- Scheduling-Anpassung: Möglichst oft Sleep-Mode

Energieversorgung

Beispiel Mediacup

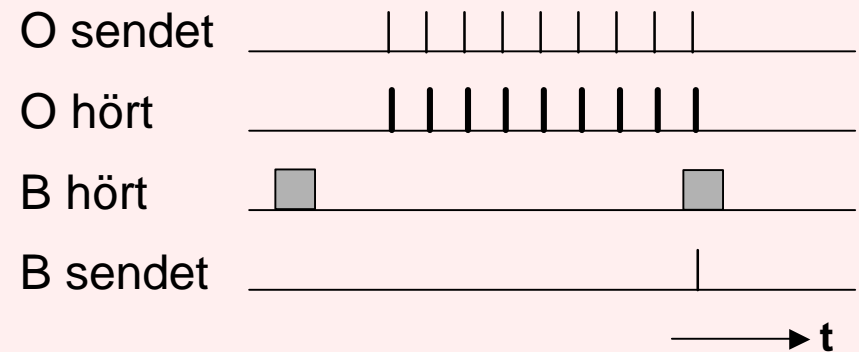
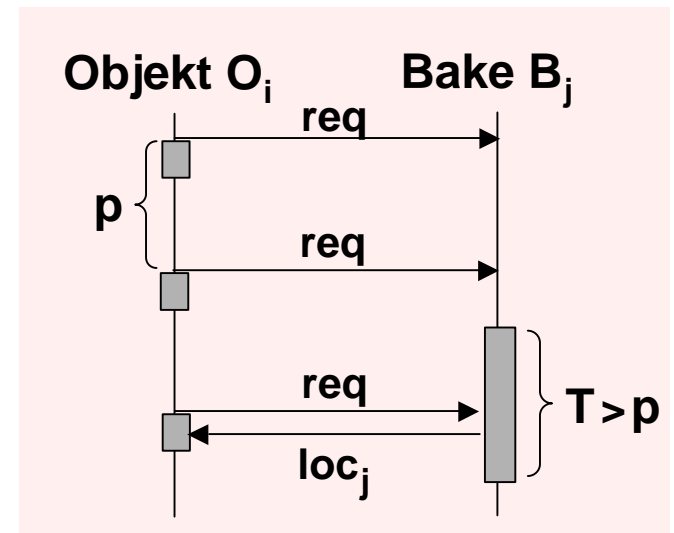
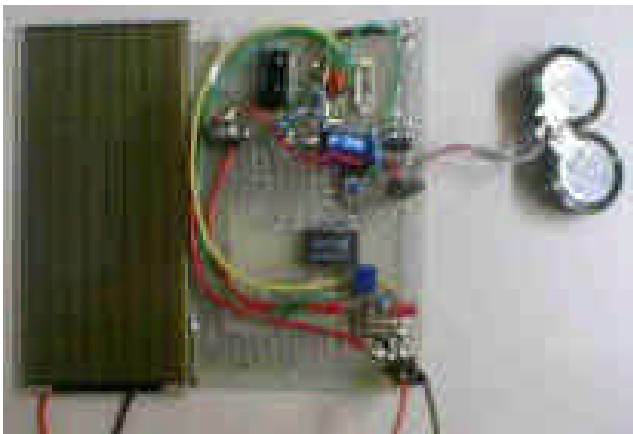
- Prozessor und Peripherie
 - geringe Taktrate (4 oder 1 MHz)
 - Schlafmodus so oft wie möglich
 - Anschalten bei Gebrauch
- Bewegungsmessung
 - Kugelschalter statt Beschleunigungssensor
 - ermöglicht Interrupts statt Polling
 - keine Bewegung → keine Messung
- Berührungsloses Aufladen
 - Kondensatoren, 2F
 - kein Batteriewechsel



Energieversorgung

Beispiel Infrarot-Lokationssystem

- Dienstnehmer sendet Anfragesignal
- Bake antwortet mit Ortsinformation
- Energiesparendes Protokoll: Minimierung von Sende- und Empfangszeiten
- autonome Energieversorgung der Baken (Solarzellen und Kondensatoren)

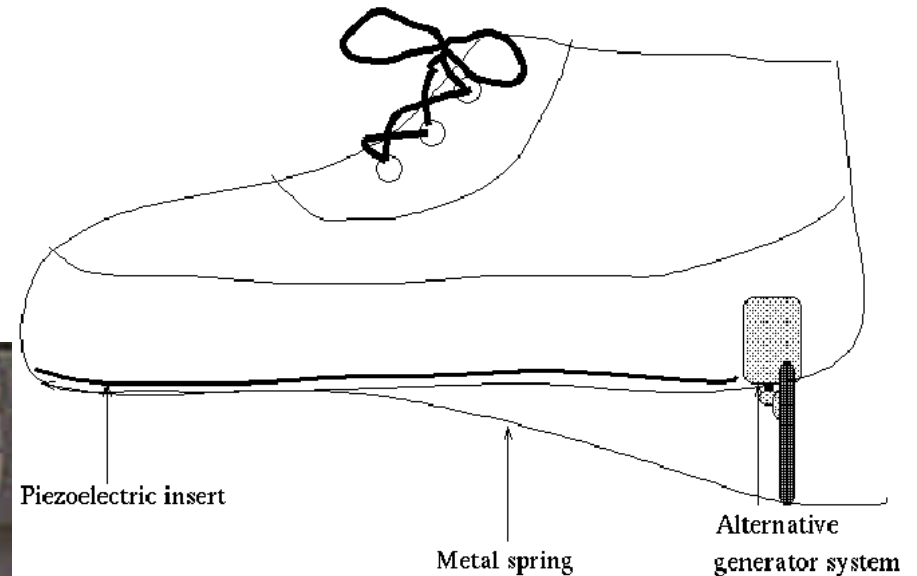


Energieversorgung

Unbemerkte Energiezufuhr

Der Mensch als Energiequelle

- „Kraftwerk im Schuh“
- Joe Paradiso



Energieproduktion ist ein Kontext:

