

Energieeffizienz in Ubiquitären Systemen

Fachseminar “Verteilte Systeme”
2002

David Charypar
Assistent: Vlad Coroama
Professor: Dr. F. Mattern

Inhalt

- Geräte in Ubiquitären Systemen
- Moore's Law für UbiComp
- Energiekonsum von Komponenten
- Anwendungsbeispiel: Produktetikette
- Exkurs: Smart Dust

Smart Devices

- klein und leicht
- autonom
- zahllos, billig
- drahtlos vernetzt
- mit Sensoren bestückt
- rechenstark

Problem: Konkurrenz der Bedingungen

z.B.

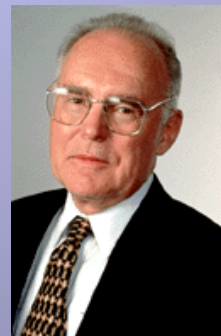
- klein, leicht \leftrightarrow autonom
- hohe Rechenleistung \leftrightarrow leicht, autonom
- grosser Funktionsumfang \leftrightarrow billig

Wir wollen immer die
fliegende, eierlegende
Wollmilchsau...

Moore's Law für Ubicomp

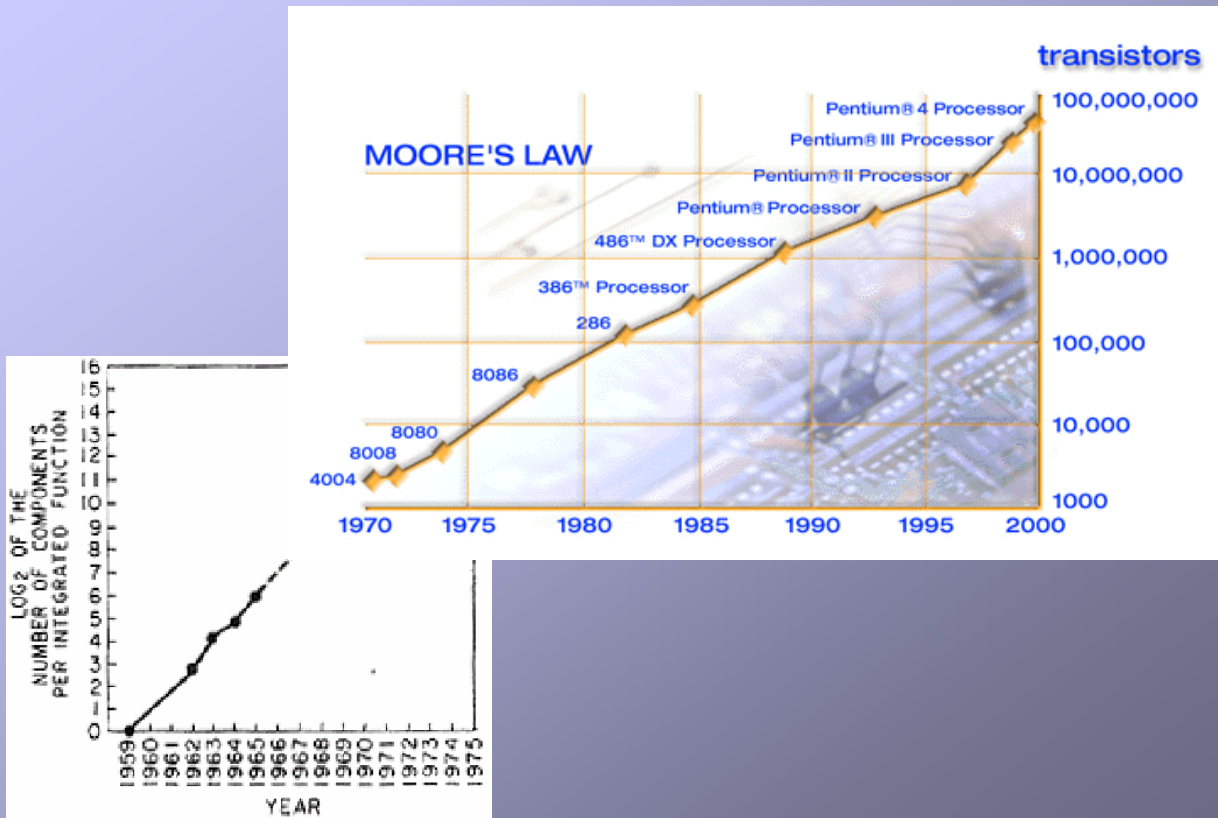
(Das "kleiner, schneller,
leichter - Gesetz")

Moore's Law

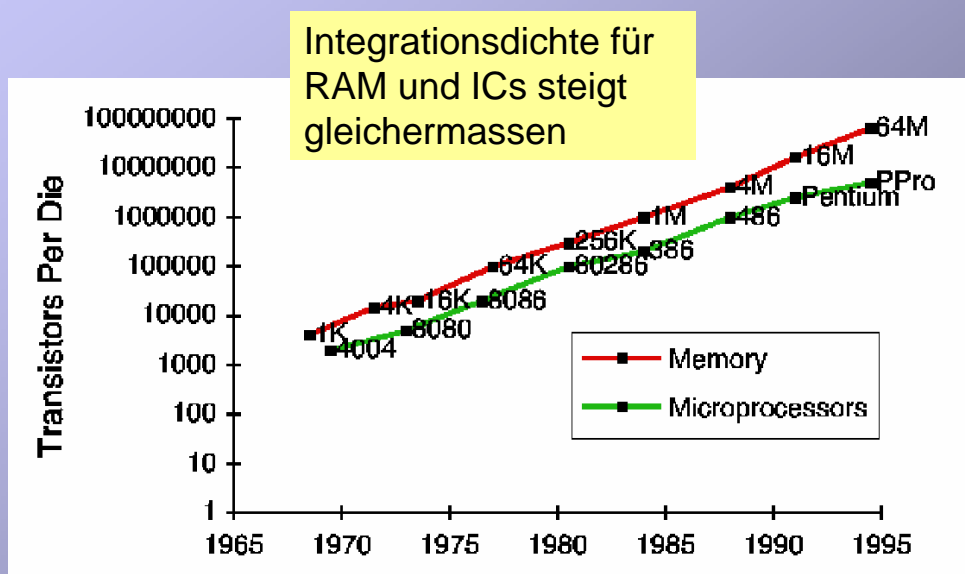


- Gordon E. Moore
- 1965
- Komplexität von ICs verdoppelt sich pro Jahr
- Prognose bis 1975
- Gilt bis heute
- Wahrscheinlich noch weitere 10 Jahre...

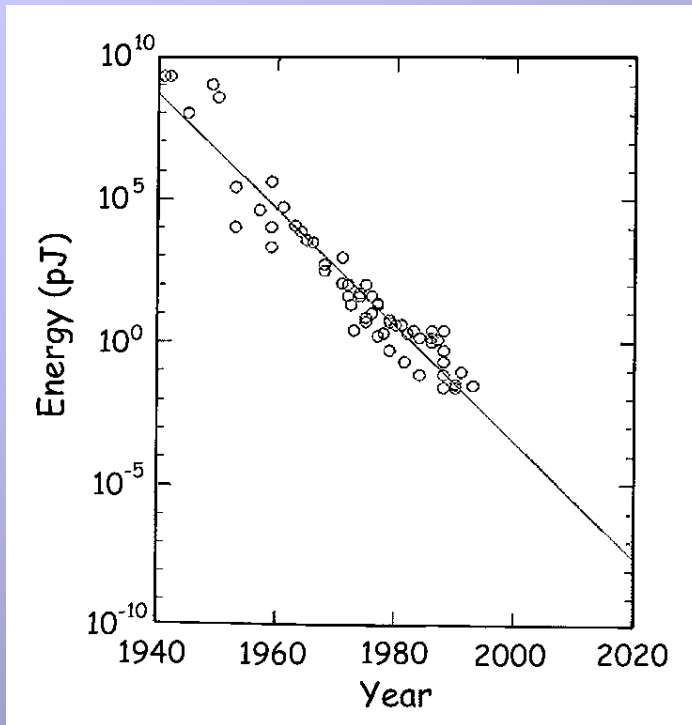
Moore's Law: IC - Komplexität



Speicherdichte vs. IC-Dichte



Effizienzsteigerung Prozessoren



Für die gleiche Rechenoperation wird ein Jahr später nur noch 60% der Energie gebraucht.

Kostenentwicklung

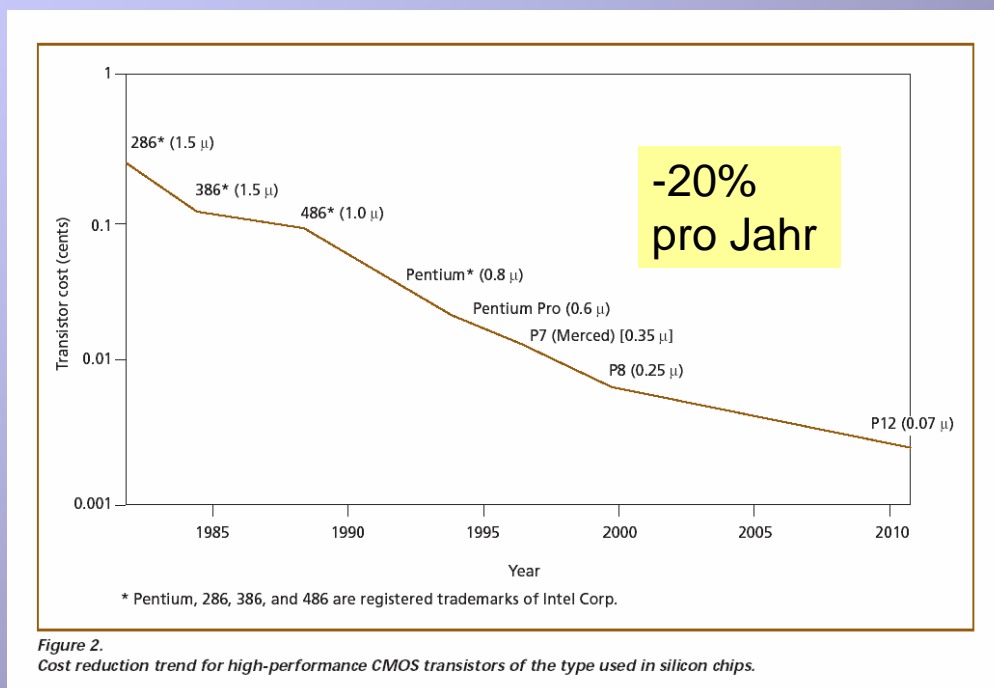
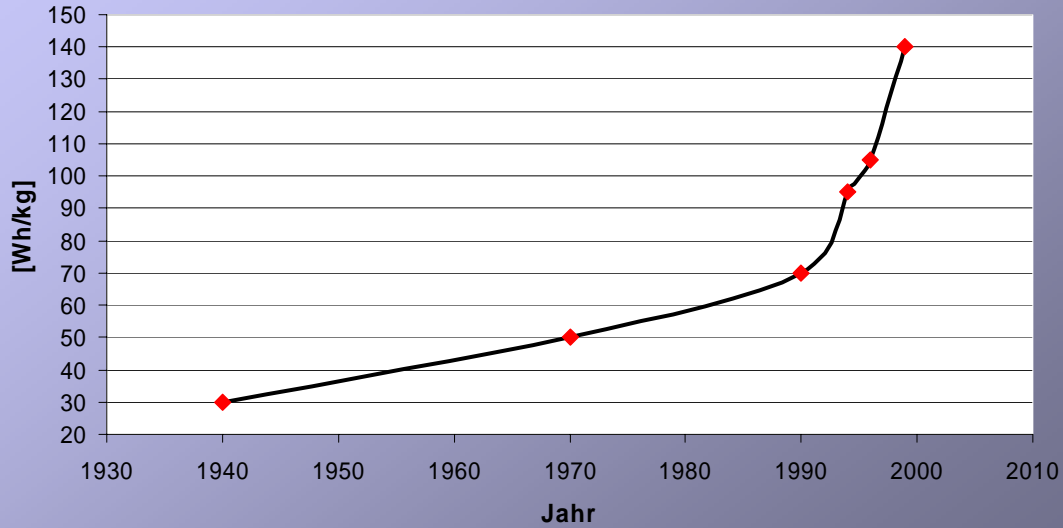
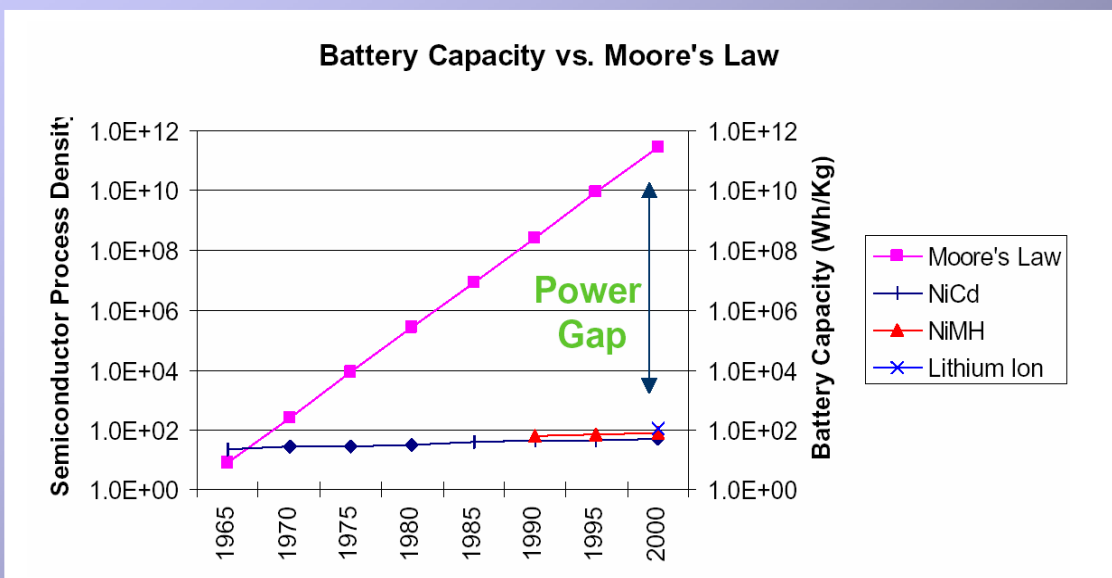


Figure 2.
Cost reduction trend for high-performance CMOS transistors of the type used in silicon chips.

Moore's Law? Batteriekapazität



Abstand zur Energietechnik



Wachstumsraten

Grösse	Wachstumsrate pro Jahr	Verdoppelungsdauer
Prozessor-Rechenleistung	60%	1.5 Jahre
Verlustleistung Prozessor	25%	3 Jahre
Speicherdichte	40%	2 Jahre
Batteriekapazität	6%	12 Jahre

Energie wächst nicht mit Moore's Law

Das Beste Gerät

Alles vereinen:

- Schnellster Prozessor
- Grösster Speicher
- Schnellste Kommunikationstechnik
- Beste Batterie

Toller Name:

„High End Super-Thing“



ein super Ding?

Problem: Laufzeit wird kürzer

- Energieverbrauch: ↗
- Batteriekapazität: →
- Laufzeit: ↘

Kann nicht das Ziel sein...

Lösung

- Rechenleistung konstant halten bei neuer Technologie
- Energieverbrauch: ↘
- Max. Betriebszeit: ↗
- siehe z.B. Mobiltelefone ☺

Energiekonsum von Komponenten

Aktionen, die Energie verbrauchen

- Rechenoperationen
- Messungen (Sensoren)
- Kommunikation
- Speichern

Energieverbrauch von Rechenoperationen

- Intel Pentium IV 2.4 GHz
- Thermal Design Power: 58 W
- Cycles per Instruction: 1.0*

$$E_{Op} = \frac{P_{TDP} \cdot CPI}{f_{Op}} = \frac{58W \cdot 1.0}{2.4 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 24nJ$$

*Annahme

Energieverbrauch Prozessoren

Bezeichnung	Taktrate [MHz]	Eop [nJ]
Intel Pentium IV	2400	24
AMD Au1100	400	0.625
ARM7TDMI	133	0.06
ATMEL ATmega 103L	4	0.375-1.375
Microchip PIC16F876	20	~0.6

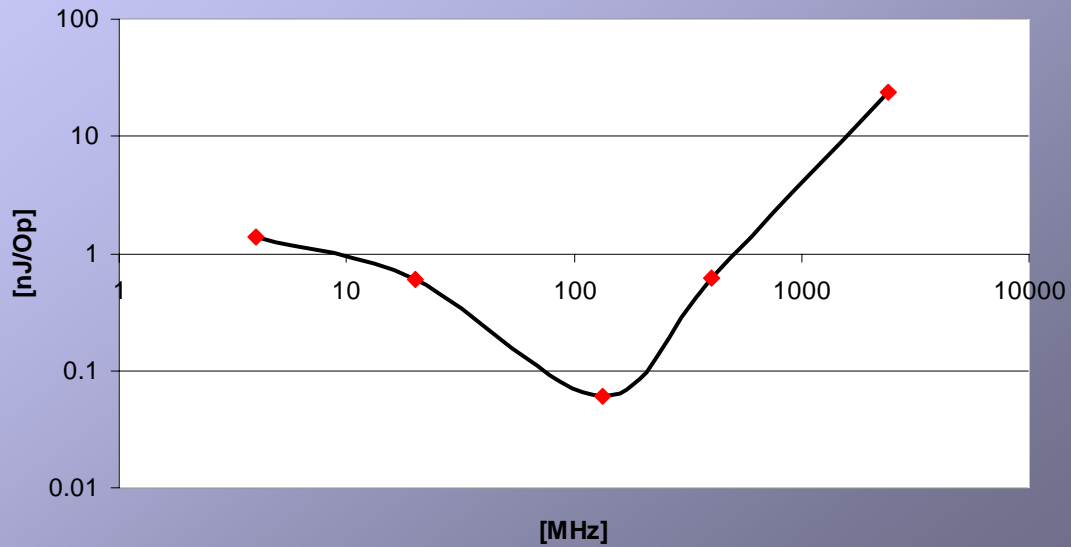
Energieverbrauch Sensoren

Sensortyp	Leistungsaufnahme [mW]
CMOS Bildsensor	30
GPS Receiver	220
Magnetfeld	~10
Temperatur	0.01
Luftdruck	1
Beschleunigung	0.6

Energieverbrauch Kommunikation

Technologie	Sendeleistung [mW]	Leistungsaufnahme [mW]	Energieverbrauch pro Bit [nJ]
Bluetooth (10m)	1	90 !	90
Bluetooth (100m)	100	ca. 500	ca. 500
WLAN	280	ca. 2000	ca. 180

Effizienz Prozessoren



Testszenario

Qualitätssicherung einer
tiefgekühlten Pizza



Produktetikette

- Temperatursensor
- Meldet sich jede Sekunde via Funk
- Speichert Geschichte der Pizza
 - Wann abgepackt
 - Wie gelagert
 - Bis wann haltbar
 - ...
- Masse: $50 \times 20 \times 0.1 \text{ mm} = 0.1 \text{ cm}^3$

Annahmen

- Standard Temperatursensor
- Bluetooth-artige Kommunikation (100m)
- 50% des Volumens für Batterie
- Prozessor: Microchip PIC16F876
- Speicher sei hier nicht betrachtet

Eckdaten Energie

- Energievorrat: 27 J
 - 0.05g Batterie Li-Ion-Polymer
- Temperaturmessung: 0.001mJ
 - Sensor nur 10% der Zeit aktiv
- Senden von 64 Bit: 0.032mJ
 - 2x Datum (je 24 Bit)
 - 1x Temperatur (16 Bit)
- Rechnen: 0.0018mJ
 - Messen, Umwandeln, Senden
 - (je 1000 Operationen)
- Total pro Messung: 0.0348mJ

Beobachtungen

$$N_{\text{Messungen}} = \frac{E_{\text{Total}}}{E_{\text{Einzelmessung}}} = \frac{27\text{J}}{0.0348\text{mJ}} = 776 \cdot 10^3 \Rightarrow 9d$$

- Nach 9 Tagen Batterie leer
- Hauptverbraucher: Kommunikation
- Rechnen braucht wenig Energie
- Ohne Sender: fast 4 Monate

Laufzeitverlängerung

- Stärker gepulster Betrieb der Sensoren
 - Sensoren nur 0.1% der Zeit eingeschaltet.
- Datenzwischenspeicherung, Kompression, Senden von komprimierten Paketen
- Programmoptimierung für weniger Operationen
- Sparsameren Prozessor verwenden.



Faktor 10 ev. 100 möglich

Dominierender Faktor

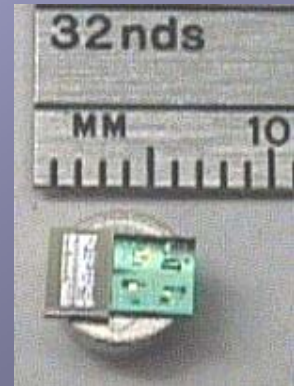
- Kommunikation
 - Schlechter Wirkungsgrad Funk-Interface
 - 100m Reichweite übertrieben?
 - 10m kann aber schon zu wenig sein...



Kommunikationsalternativen?

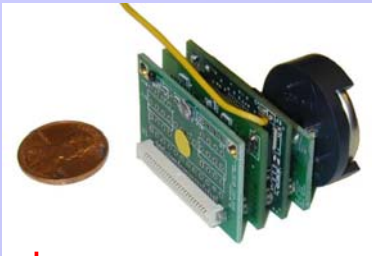
Exkurs: Smart Dust

- Universität Berkeley Kalifornien
- Ziel: Autonomer „Sensorstaub“
- “Staubteilchen” bestückt mit
 - Batterie
 - Sensoren
 - Kommunikationseinheit
- Grösse: ca. 1 mm^3



Smart Dust: Anwendung

- Mechanik
 - *Turbinenüberwachung*
- Computertechnik
 - *virtuelle Tastatur*
- Militär
 - *Gebietsüberwachung*
- Medizin
 - *Überwachung von Kleinkindern*



Smart Dust: Sensor-Vermienung

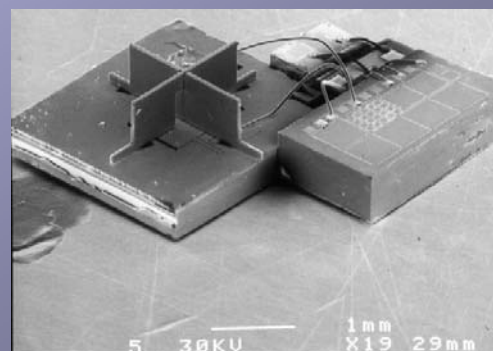
- **Test März 2001**

- Automatischer “Staub”-Abwurf von unbemanntem Flugzeug
- Detektion von Fahrzeugen im Gebiet
- Funktioniert
- Batterie nach wenigen Stunden leer



Smart Dust: Alternatives Kommunikationskonzept

- Passive LASER-Kommunikation
- Eckspiegel mit einem beweglichem Spiegel
 - Reflektion für eine logische 1
 - Keine Reflektion für eine logische 0
- gut
 - Fast kein Energieverbrauch
- schlecht
 - Nur Polling möglich
 - Direkte Sichtlinie notwendig



Zusammenfassung

- Smart Devices
 - Voraussetzung / Bedingungen
- Moore's Law
 - Entwicklungen
 - Energy Gap
- Intelligente Produktetikette
 - Problem Energieverbrauch Kommunikation
 - Batterielebensdauer
- Alternative Kommunikationskonzepte
 - Smart Dust

Literatur

- L.Feeney, M. Nilsson: „Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment“
- S. Mattisson: „Low-power considerations in the design of Bluetooth“
- Kristofer S. J. Pister, Joseph M. Kahn and Bernhard E. Boser: „Smart Dust: Wireless Networks of Millimeter-Scale Sensor Nodes“
- Kristofer S. J. Pister, Joseph M. Kahn and Bernhard E. Boser: „Next Century Challenges: Mobile Networking for „Smart Dust““
- V. S. Hsu, J. M. Kahn, and K. S. J. Pister: „Wireless Communications for Smart Dust“
- www.amd.com
- www.arm.com
- support.intel.com
- www.sensorsportal.com
- www.navman.com
- sharp-world.com
- robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/