

Rechner in Eingebetteten Systemen

Peter Marwedel

Informatik 12

Otto-Hahn-Str. 16

Tel. 755 6111

E-mail: peter.marwedel@tu-dortmund.de

Sprechstunde: Mo 13:00-14:00

Überblick

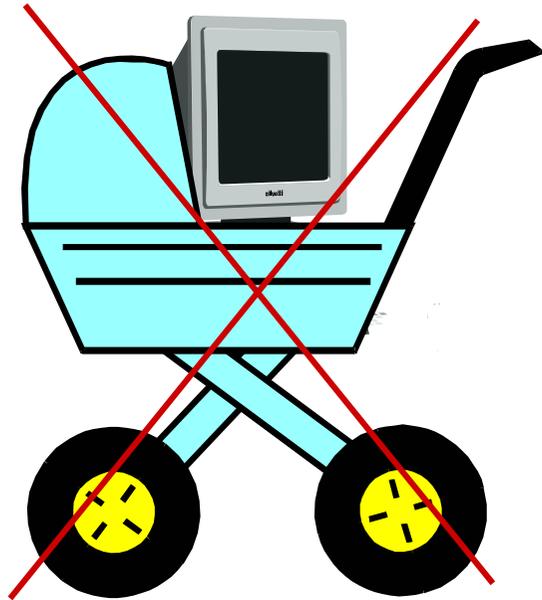
Zukunft der IT?

Gemäß Vorhersagen
charakterisiert durch Begriffe wie

- *Post-PC era*
- *Disappearing computer*
- *Ubiquitous computing*
- *Pervasive computing*
- *Ambient intelligence*
- Eingebettete Systeme
- *Cyber-physical systems*



Was ist ein Eingebettetes System?



Eingebettete Systeme

Eingebettete Systeme (ES) =
Informationsverarbeitende Systeme, die in ein
umgebendes Produkt eingebettet sind



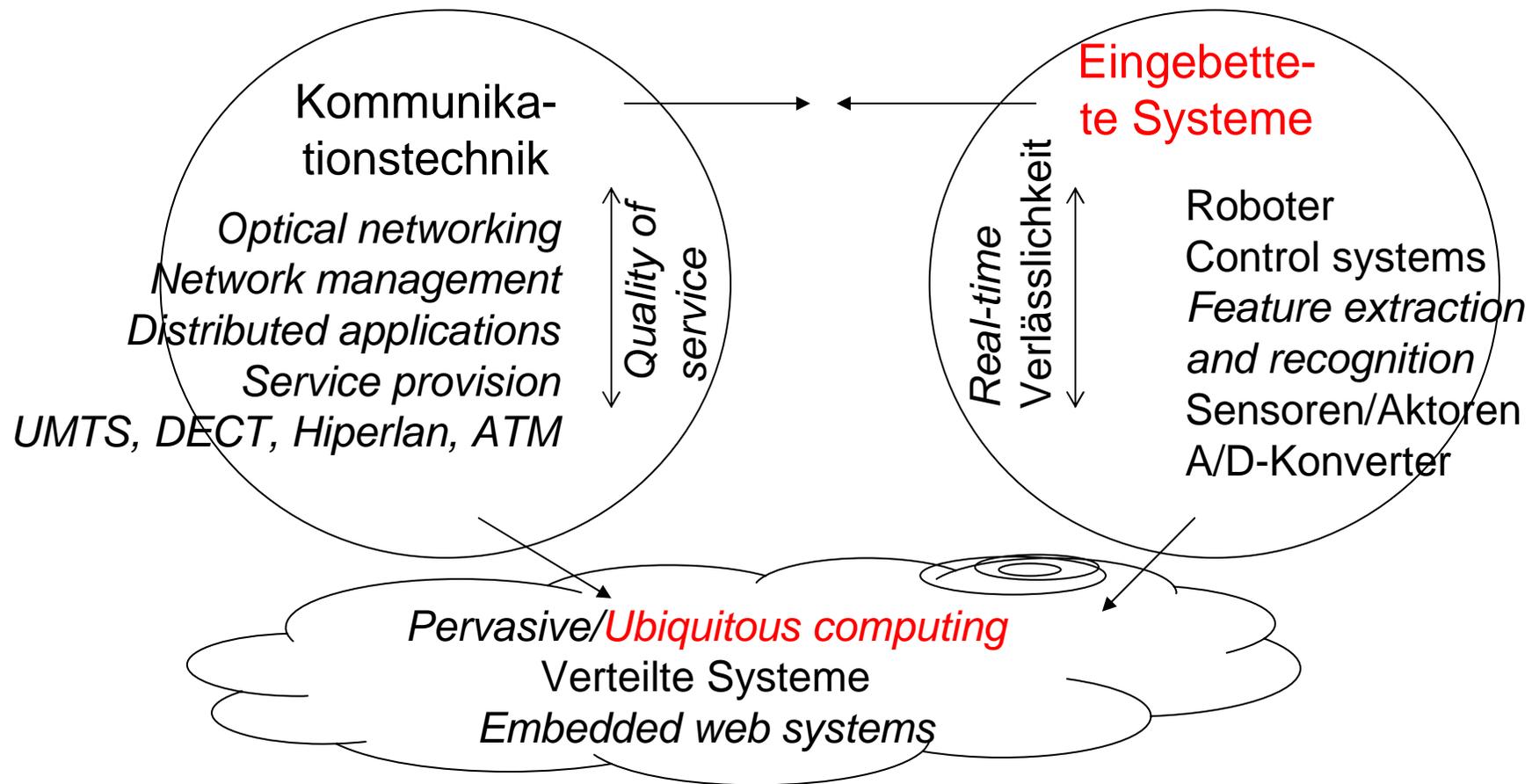
Hauptgrund für den Kauf ist nicht die
Informationsverarbeitung

Berkeley Modell [Ed Lee]:

Embedded software is software integrated with **physical**
processes. The technical problem is managing **time** and
concurrency in computational systems.

Eingebettete Systeme und *ubiquitous computing*

Ubiquitous computing: Information anytime, anywhere.
Eingebettete Systeme bieten Basisfunktionalität.



Anwendungsbereiche (1)

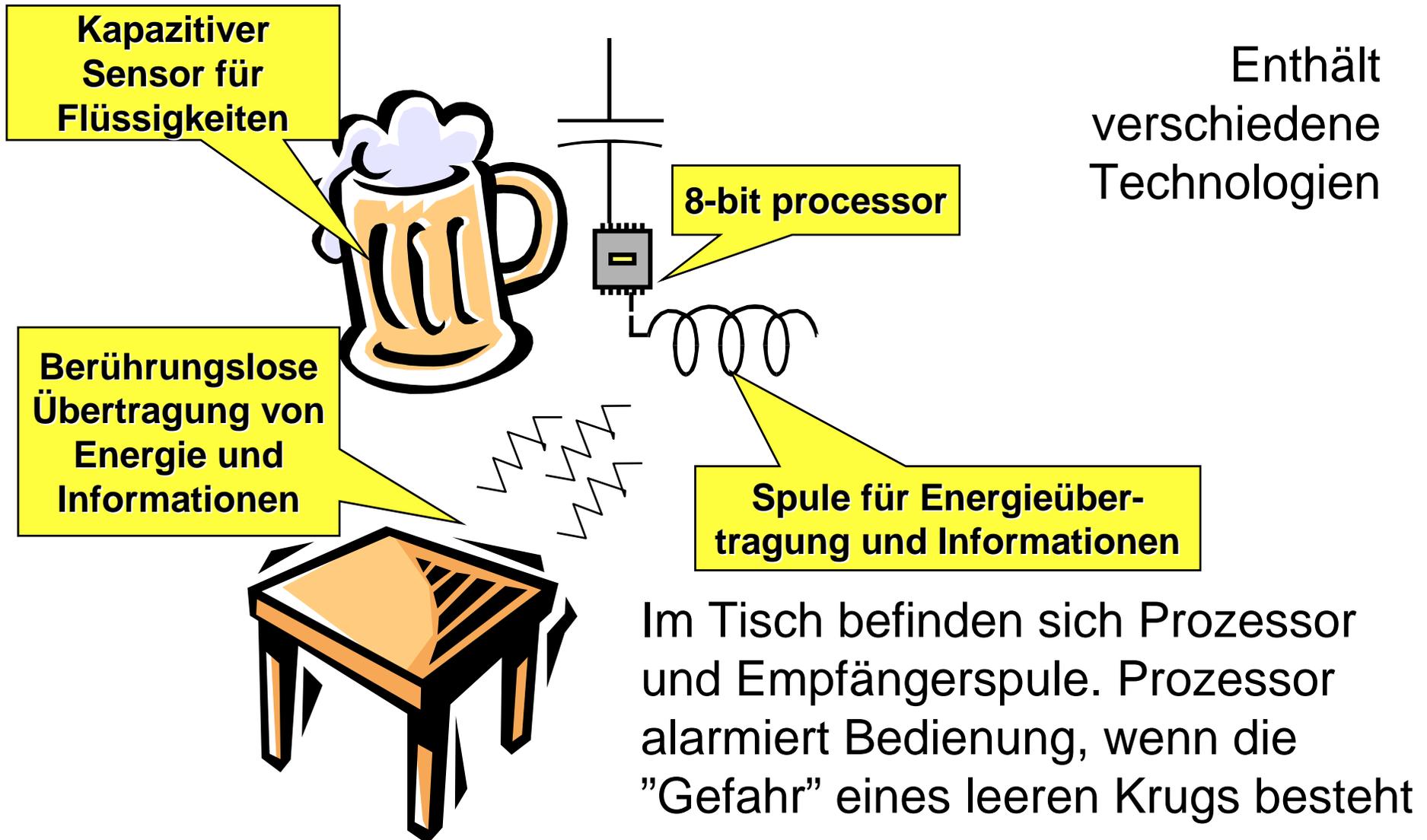
- Automobil-Elektronik
- Flugzeug-Elektronik
- Schienenfahrzeuge
- Telekommunikation



Anwendungsbereiche (2)

- Roboter
- Gesundheitswesen
- Sicherheitstechnik
- “Smart living”
- Produktion

Beispiel: Intelligenter Bierkrug



Im Tisch befinden sich Prozessor und Empfängerspule. Prozessor alarmiert Bedienung, wenn die "Gefahr" eines leeren Krugs besteht

Motivation für die Lehre über Eingebettete Systeme

“Information technology (IT) is on the verge of another revolution. Driven by the increasing capabilities and ever declining costs of computing and communications devices, IT is being embedded into a growing range of physical devices linked together through networks and will become ever more pervasive as the component technologies become smaller, faster, and cheaper... These networked systems of embedded computers ... have the potential to change radically the way people interact with their environment by linking together a range of devices and sensors that will allow information to be collected, shared, and processed in unprecedented ways. ... The use of [these embedded computers] throughout society could well dwarf previous milestones in the information revolution.”

*National Research Council Report (US)
Embedded Everywhere*

Quelle: Edward Lee, UC Berkeley,
ARTEMIS Embedded Systems
Conference, Graz, 5/2006]

Motivation (2)



➔ **The future is embedded,
embedded is the future**

Eine große Anzahl von Herausforderungen, z.B. Verlässlichkeit

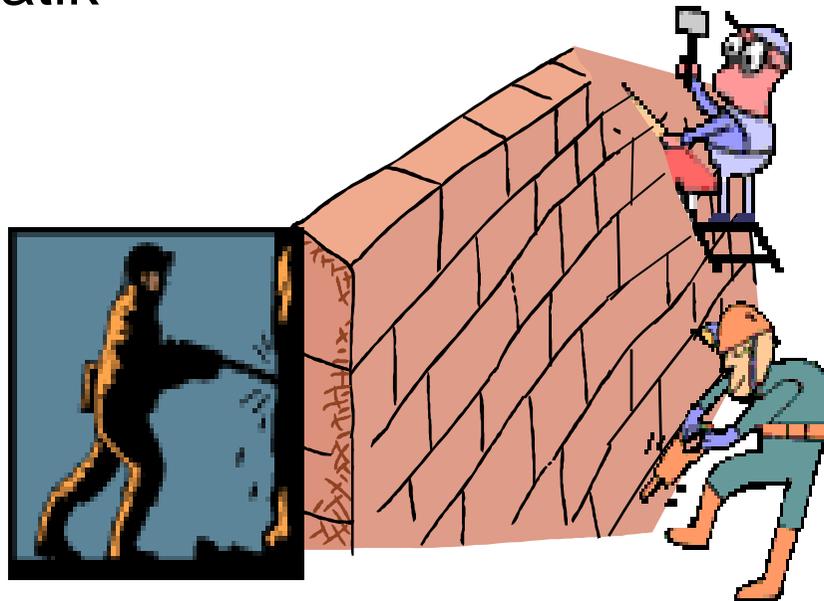
Verlässlichkeit? 

- Nicht Realzeit-fähige Protokolle für Realzeit-Anwendungen benutzt (z.B. Berliner Feuerwehr) 
- Zu starke Vereinfachung von Modellen (z.B. Anti-Kollisions-System bei Flugzeugen) 
- Benutzung unsicherer Systeme für sicherheitskritische Anwendungen (z.B. Sprechfunkverbindung mit dem Tower in Los Angeles: ~ 800 Flugzeuge ohne Sprechfunkverbindung mit dem Tower für > 3 Stunden) 

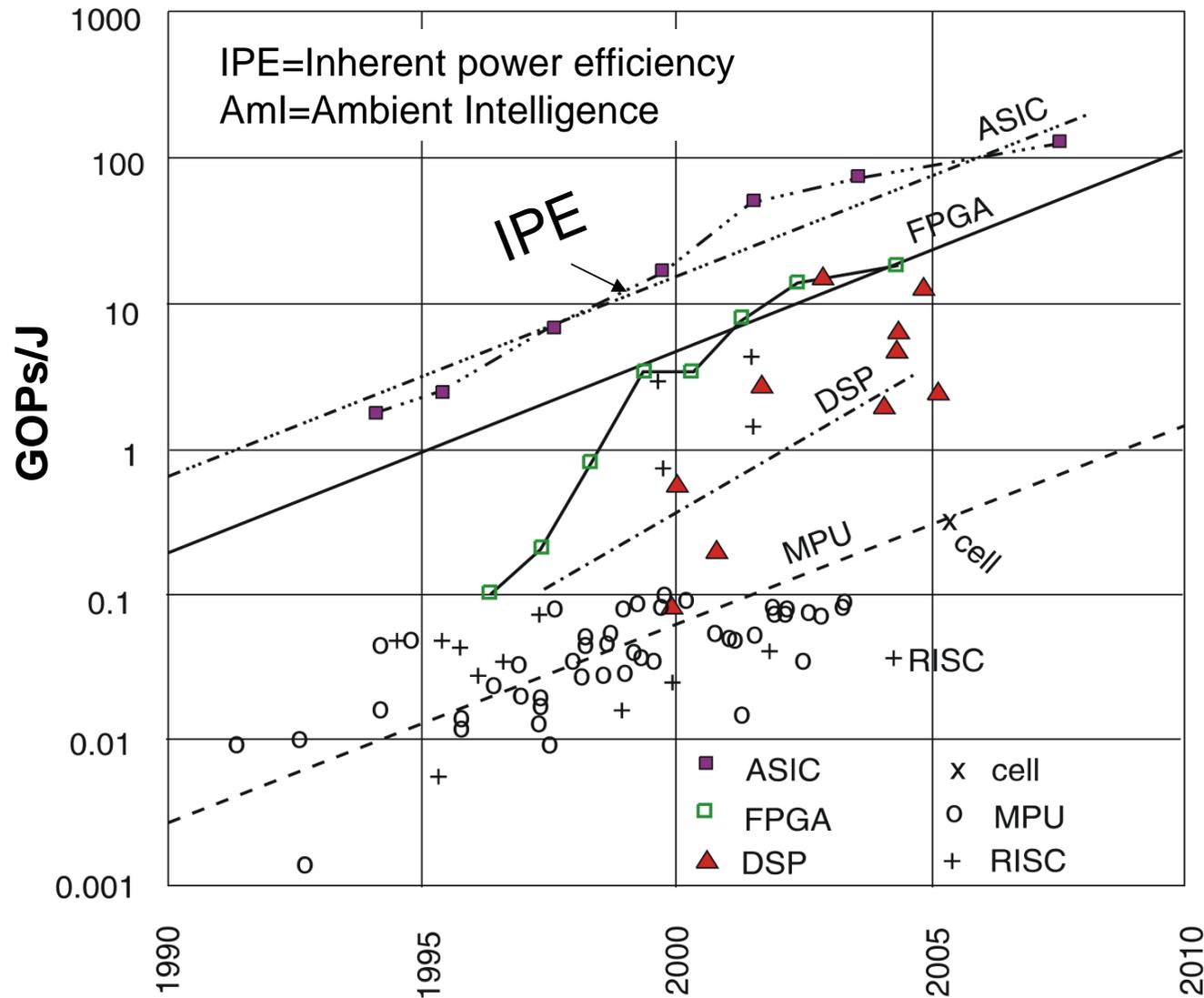
Eingebettete Systeme benötigen alle Bereiche der Informationstechnik, einschl. Informatik + ET

Informatik

ET



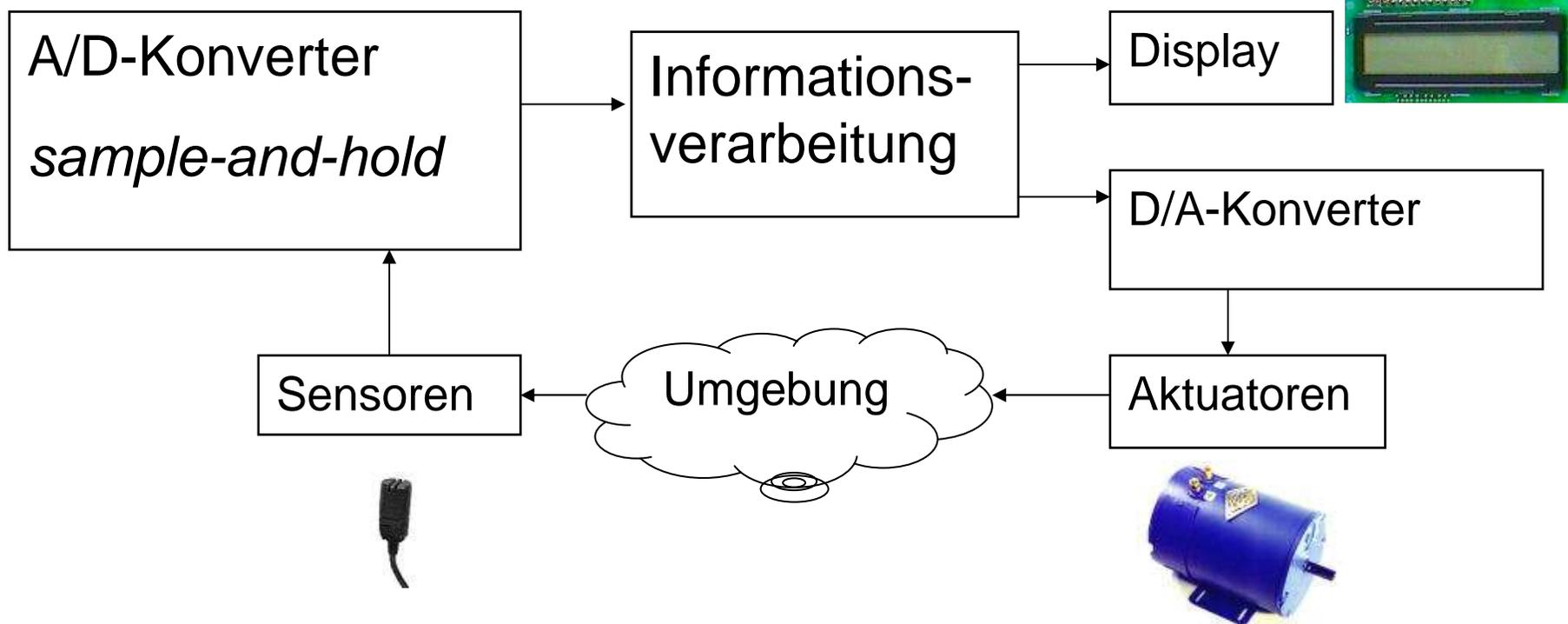
Bedeutung der Energieeffizienz



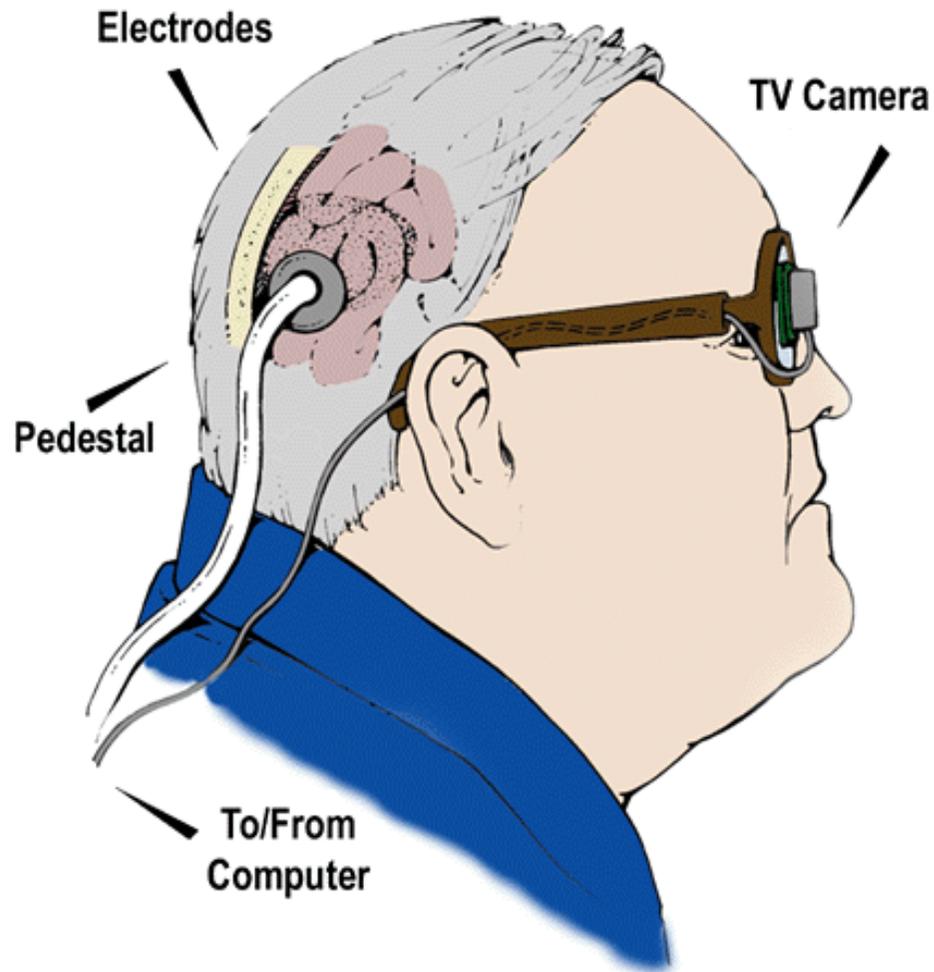
Courtesy: Philips
© Hugo De Man, IMEC, 2007

Hardware Eingebetteter Systeme

Die Hardware eingebetteter Systeme wird häufig in einer Schleife benutzt („*hardware in a loop*“):

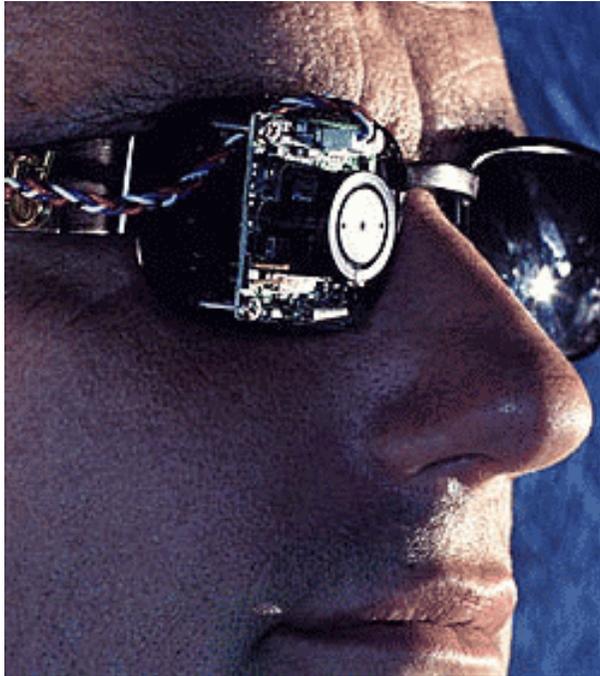


Beispiel: Künstliche Augen



© Dobelle Institute
(ex www.dobelle.com)

Künstliche Augen (2)

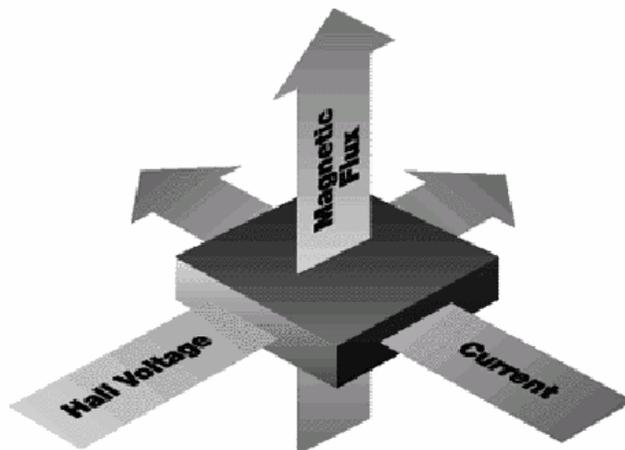


He looks hale, hearty, and healthy — except for the wires. They run from the laptops into the signal processors, then out again and across the table and up into the air, flanking his face like curtains before disappearing into holes drilled through his skull. Since his hair is dark and the wires are black, it's hard to see the actual points of entry. From a distance the wires look like long ponytails.

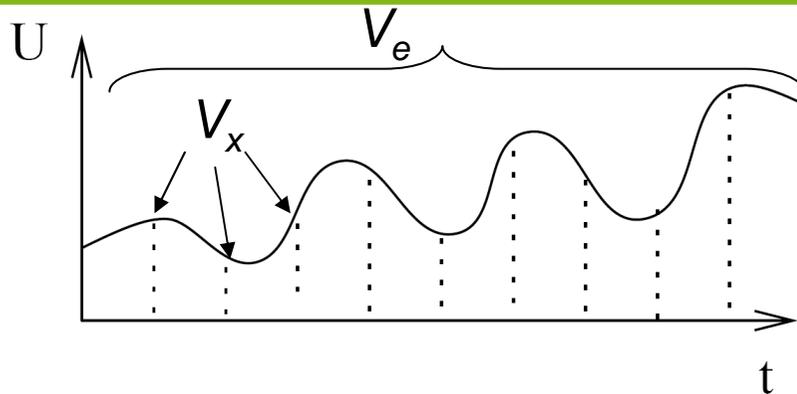
© Dobelle Institute

Andere Sensoren

- Regensensoren für die Scheibenwischer
(„*Sensors multiply like rabbits*“ [ITT automotive])
- Drucksensoren
- Abstandssensoren
- Klopfensensoren
- *Hall effect* Sensoren



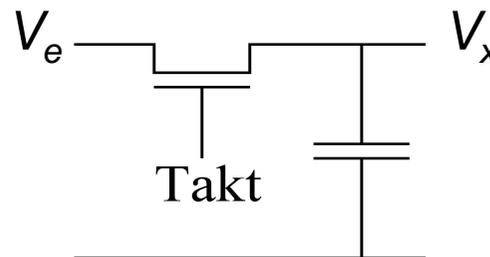
Diskretisierung der Zeit



V_e ist eine Abbildung $\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

Hier: Beschränkung auf digitale Informationsverarbeitung;
Bekannte Digitalrechner können nur zeitdiskrete Folgen
verarbeiten. \rightarrow Diskrete Zeit; *sample and hold-devices*.

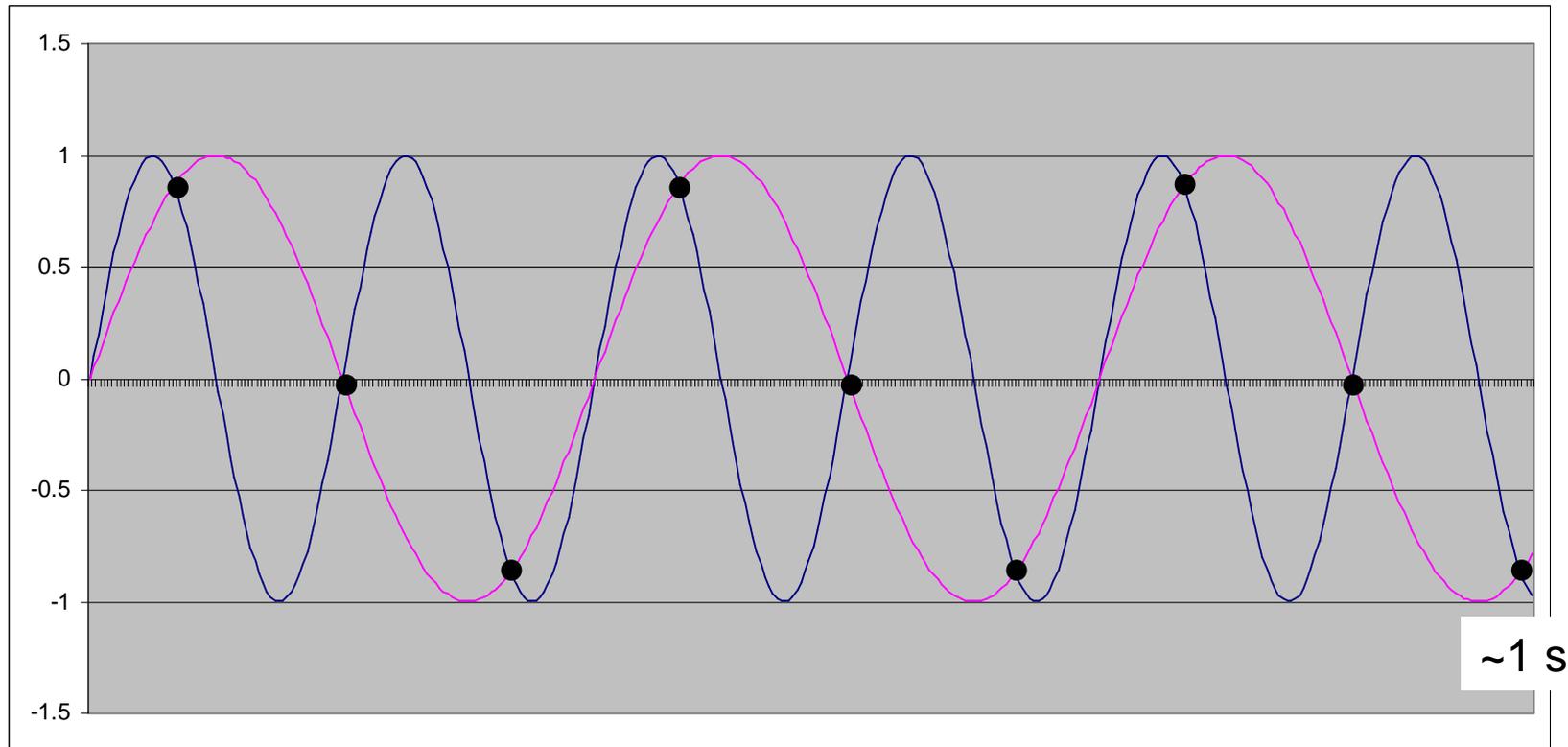
Ideal: Breite des Taktimpulses $\rightarrow 0$



V_x ist eine **Folge** bzw.
eine Abbildung $\mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R}$

Aliasing

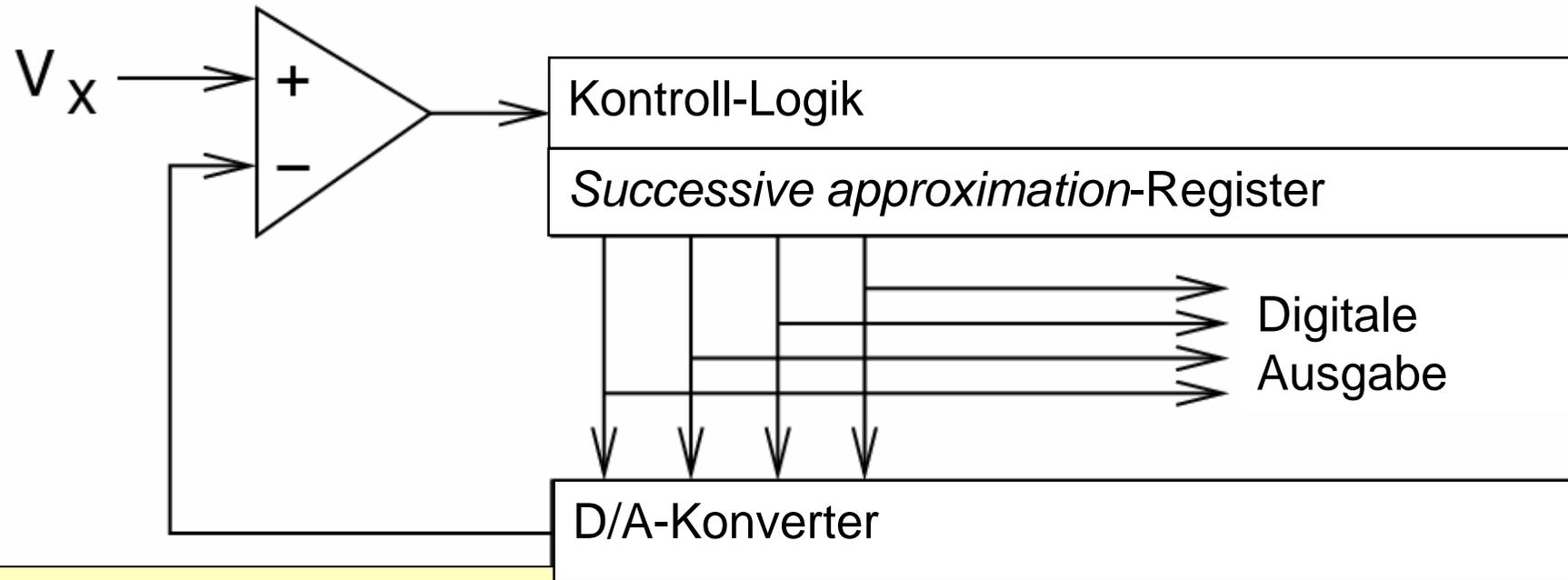
Unmöglich, schnelle Signale nach langsamer Abtastung zu regenerieren: mehrere schnelle Signale haben dieselben Abtastwerte; Beispiel: Signal: 5.6 Hz; Abtastung: 9 Hz



[<http://www.cise.ufl.edu/~prabhat/Teaching/cis6930-f04/comp1.ppt>]

Diskretisierung von Werten

Successive approximation-Wandler



Idee: „Binäre Suche“:

Setze MSB='1',

Falls zu groß:

setze MSB='0';

Setze MSB-1='1',

Falls zu groß: setze MSB-1='0';

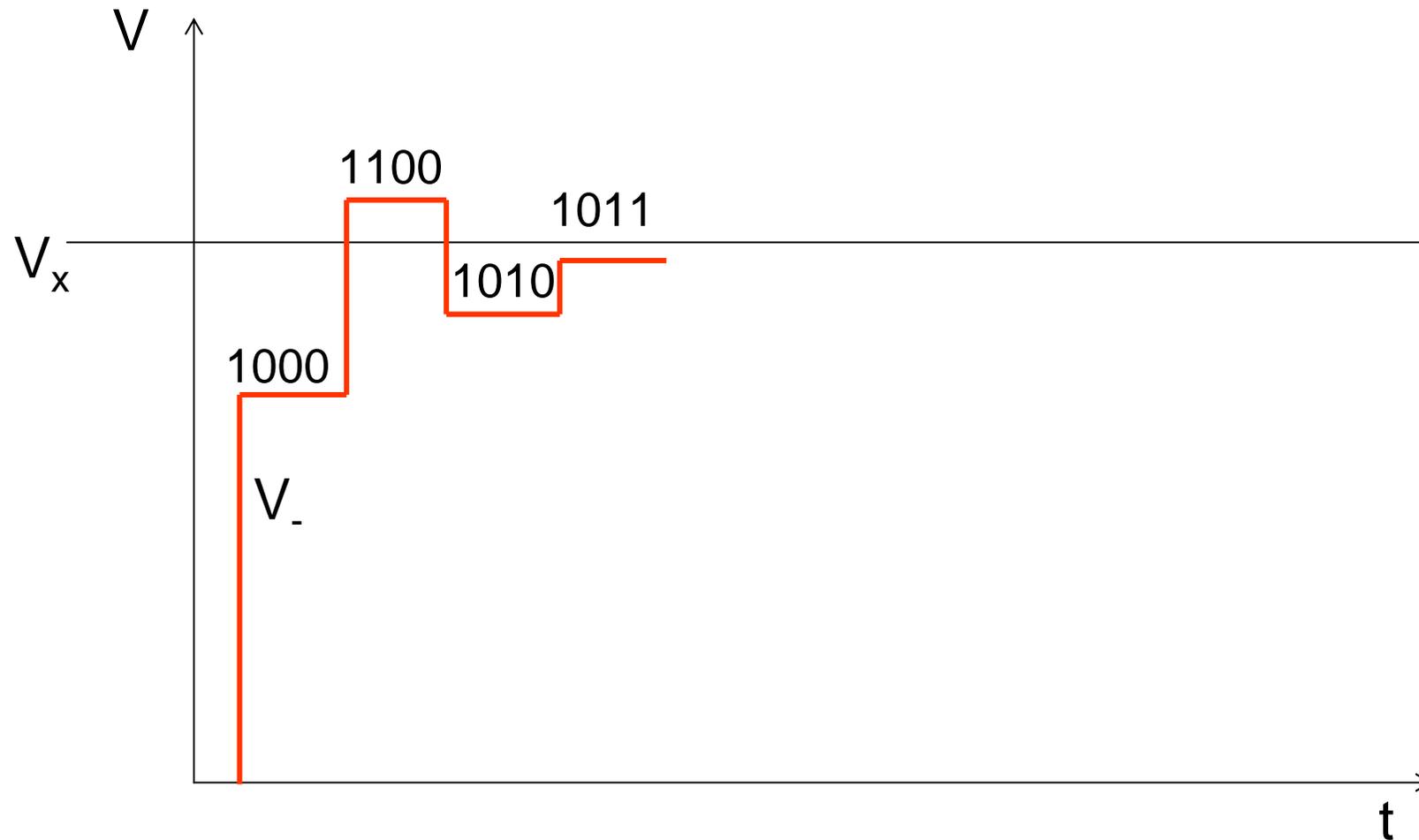
...

Zeitbedarf: ~ *Anzahl Bits*

Hardwarebedarf: ~ *Anzahl Bits* mit
Anzahl Bits = $\text{ld}(\text{Anzahl Spannungspegel})$

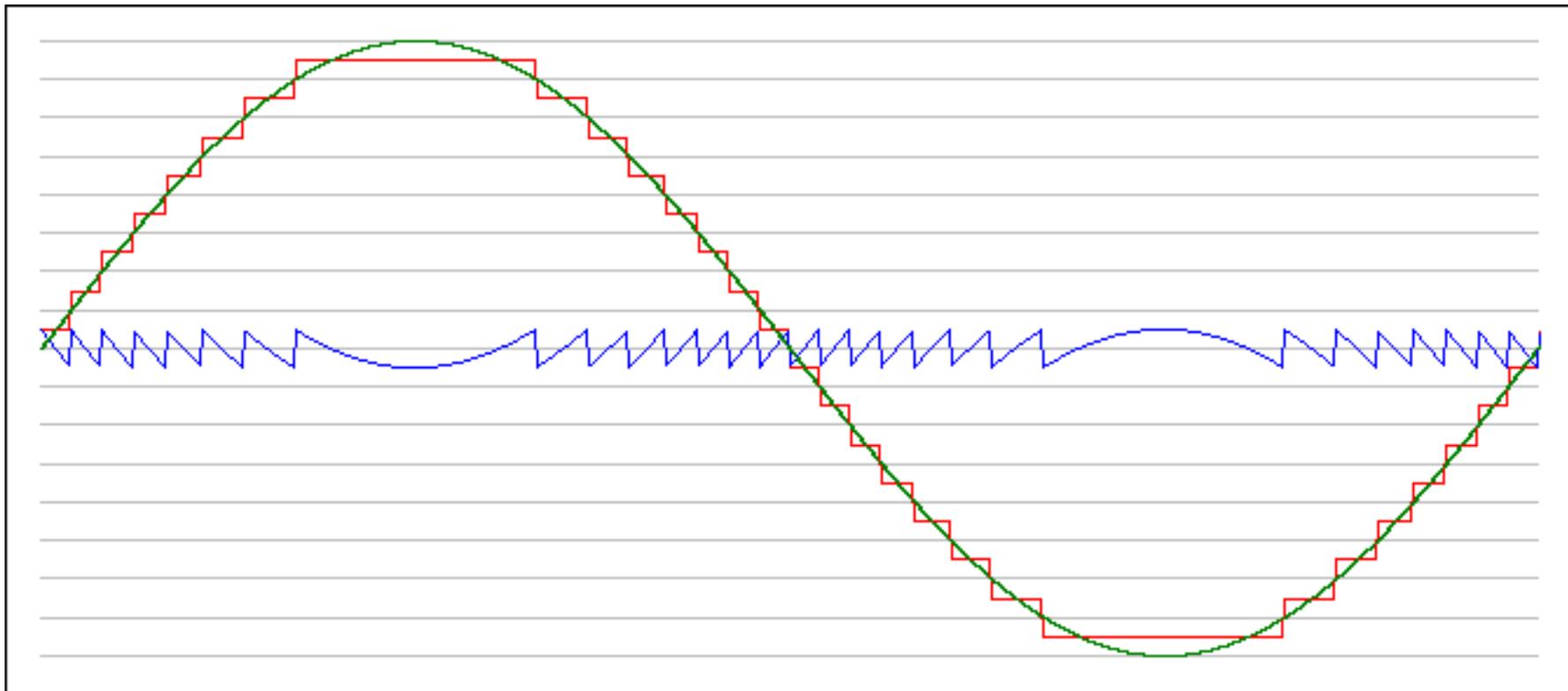
Langsam, aber große Genauigkeit

Sukzessive Approximation (2)



Quantisierungsrauschen

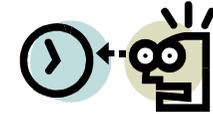
$N = (\text{approximiertes} - \text{reales Signal})$ heißt Quantisierungsrauschen.
Beispiel: Quantisierungsrauschen einer Sinuswelle



* [<http://www.beis.de/Elektronik/DeltaSigma/DeltaSigma.html>]

Kommunikation - Anforderungen -

- Realzeitverhalten
- Effizient, ökonomisch
(z.B. hinsichtlich Stromversorgung)
- Angemessene Bandbreite und Verzögerungszeit
- Robustheit
- Fehlertoleranz
- Wartbarkeit
- Diagnosefähigkeit
- Sicherheit (*Security, Safety*)



Realzeitverhalten

Übliches *Ethernet*-Protokoll garantiert kein Realzeit-Verhalten

Alternativen:

- *Token-Ringe, Token-Busse*
- *carrier-sense multiple-access/collision-avoidance (CSMA/CA)*
Zugriffe auf Busse werden so geregelt, dass Konflikte vermieden (bzw. ggf. auf kurze Zeiten begrenzt) werden.

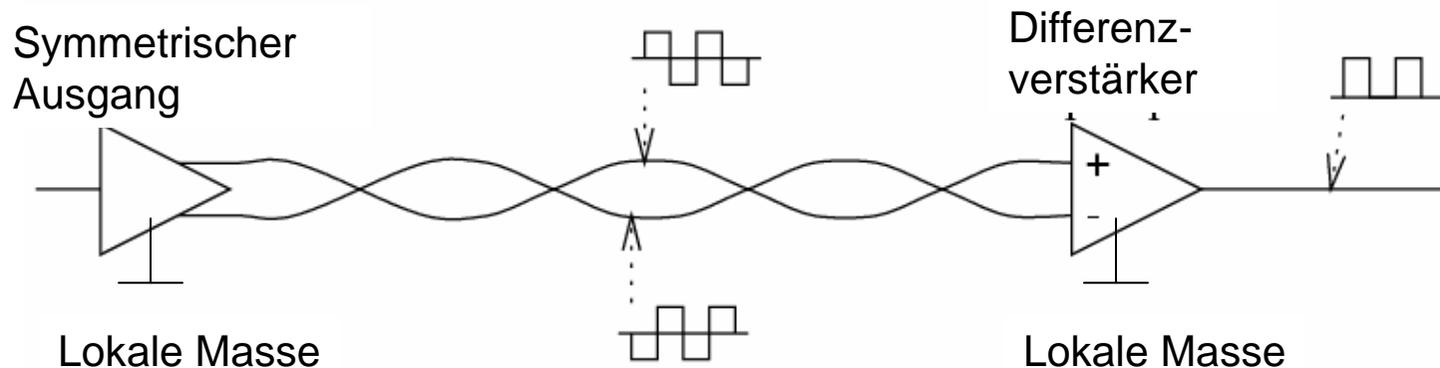
Basistechniken: Elektrische Robustheit

Asymmetrische (*single-ended*) vs. symmetrische (differentielle) Signale

Asymmetrisch:



Symmetrisch: Spannung am Verstärker positiv → '1'; sonst → '0'



Mit verdrehten Leitungen kombiniert;
Störungen addieren sich i.d.R. zu beiden Leitungen.

Prozessoren

*At the chip level, embedded chips include micro-controllers and microprocessors. **Micro-controllers** are the true **workhorses** of the embedded family. They are the original 'embedded chips' and include those first employed as controllers in elevators and thermostats [Ryan, 1995].*

Microcontroller

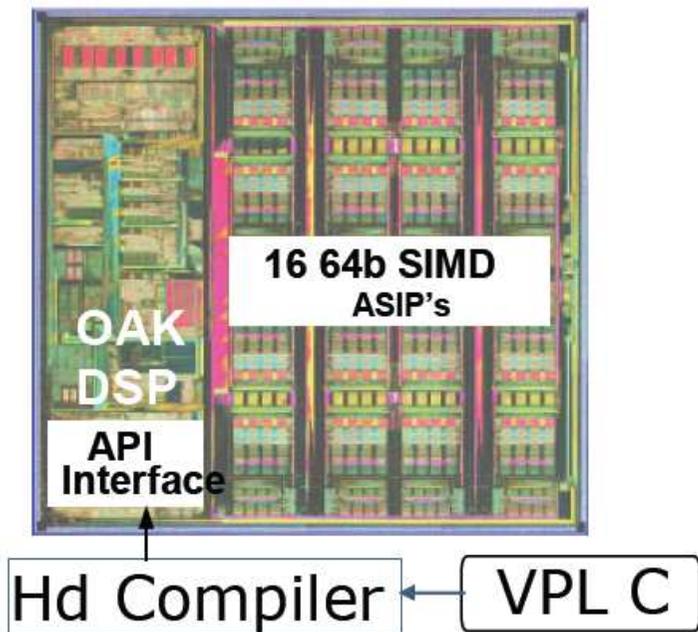
- Beispiel: der MHS 80C5 -

- 8-bit CPU optimiert für Kontroll-Anwendungen
- Umfangreiche Boolesche Befehle
- 64 k Programmspeicher-Adressraum
- 64 k Datenspeicher-Adressraum
- 4 k Bytes *on-chip* Programmspeicher
- 128 Bytes *on-chip* Datenspeicher
- 32 bi-direktionale, einzeln adressierbare E/A-Leitungen
- Zwei 16-Bit Timer/Zähler
- *Full duplex universal asynchronous receiver/transmitter* (UART)
- 6 Quellen/5 Vektoren für Interrupts
- Taktgeneratoren auf dem Chip
- Sehr populärer Prozessor mit vielen Variationen

Charakteristisch für Eingebettete Systeme

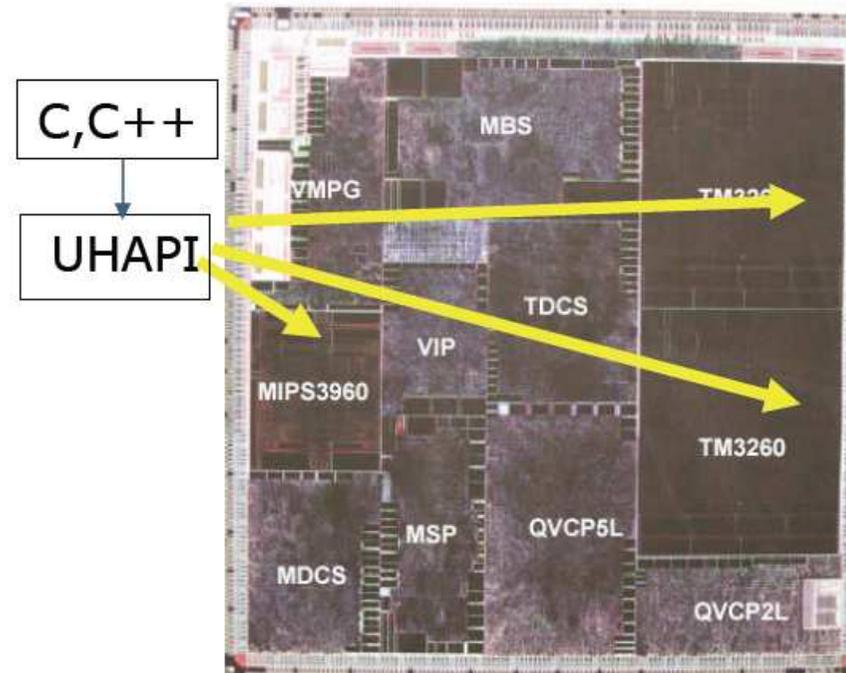
Multiprocessor Systems On A Chip (MPSoCs) - Beispiele -

**VIP for car mirrors
Infineon**



**200MHz , 0.76 Watt
100Gops @ 8b
25Gops @ 32b**

**Nexperia Digital Video Platform
NXP**

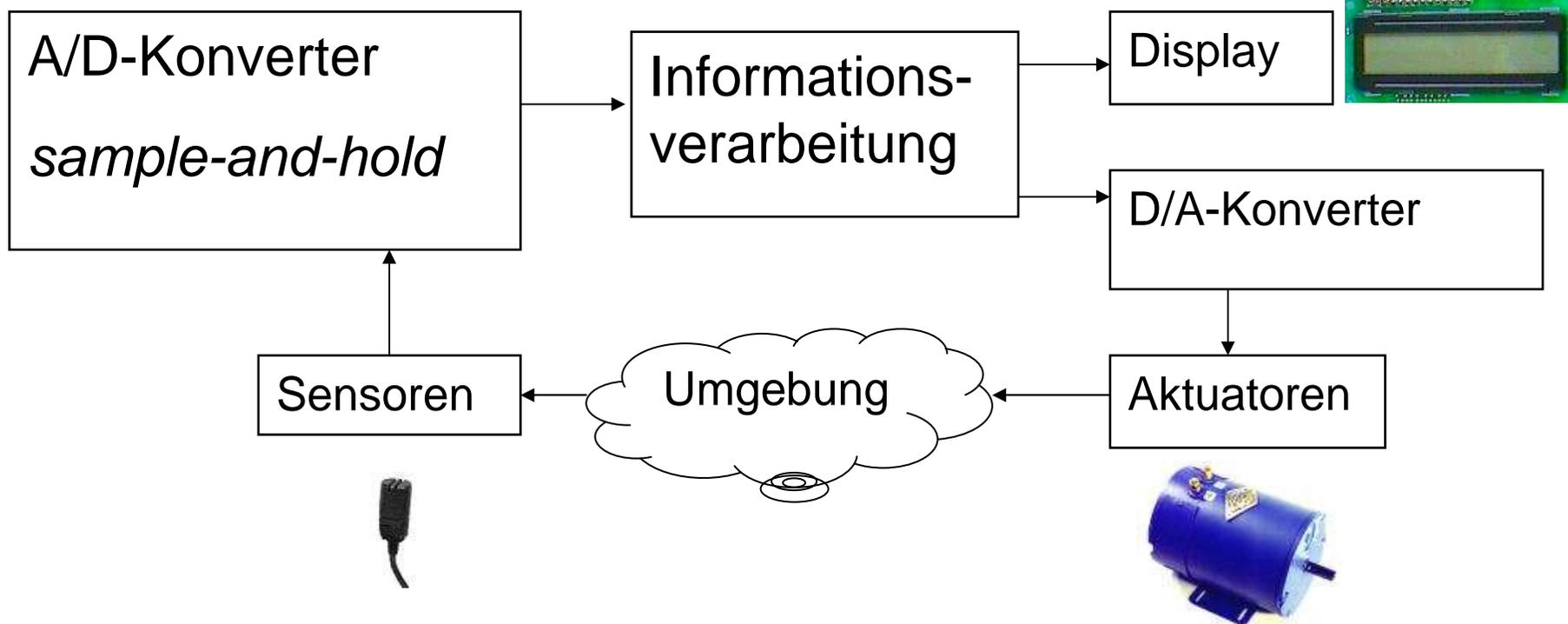


**1 MIPS, 2 Trimedia
60 coproc, 250 RAM's
266MHz, 1.5 watt 100 Gops**

~ 1/2 IPE

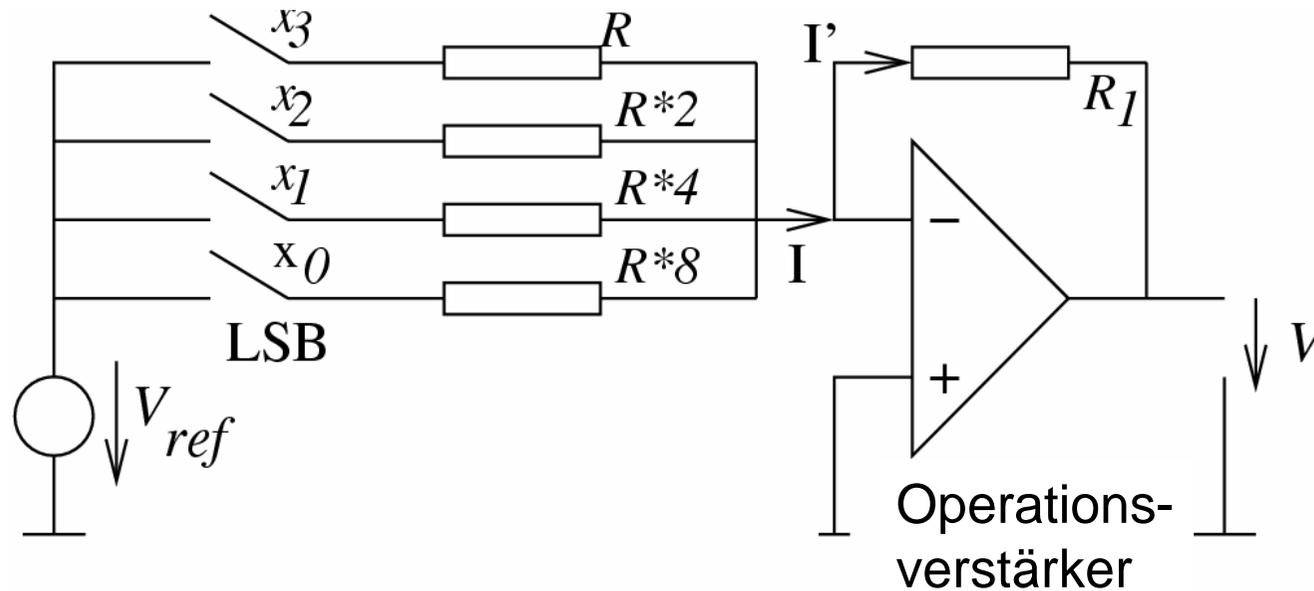
Hardware Eingebetteter Systeme

Die Hardware eingebetteter Systeme wird häufig in einer Schleife benutzt („*hardware in a loop*“):



Digital/Analog- (D/A) Konverter

Verschiedene Typen, können sehr einfach sein, z.B.:



Kirchhoff's Knotenregel*

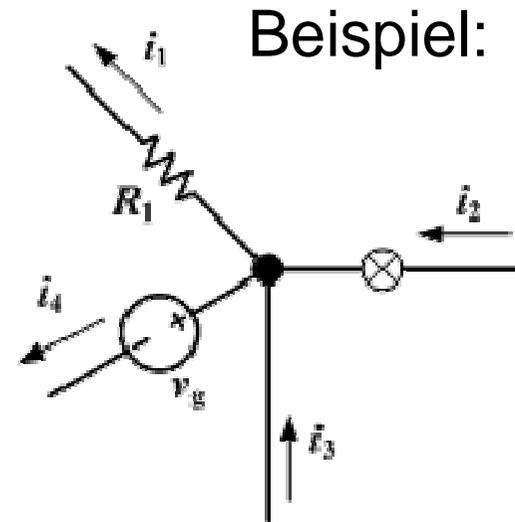
Das Prinzip der Ladungserhaltung impliziert:

An jedem Punkt eines elektrischen Schaltkreises, an dem sich die Ladungsdichte nicht ändert, ist die Summe der dem Punkt zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme

For jeden Knoten gilt:

$$\sum_k i_k = 0$$

Vom Knoten weg fließender Strom negativ gerechnet.



$$i_1 + i_4 = i_2 + i_3$$

$$-i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$$

www.wikipedia.org

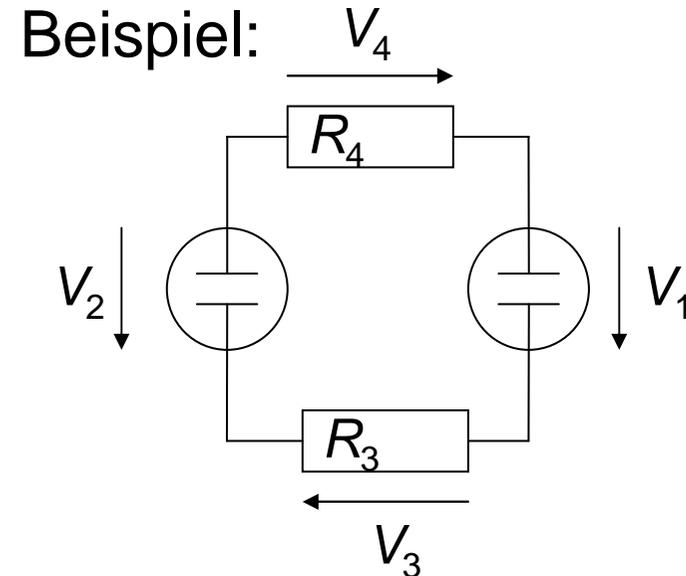
Kirchhoff's Maschenregel*

Aus der Energieerhaltung folgt:
In einem geschlossenen Umlauf über eine Masche in einem elektrischen Stromkreis ist die Summe der Spannungen gleich Null. Sonst wäre es möglich ein Perpetuum Mobile zu bauen, indem Ladungen im Kreis herum fließen.

Für Maschen in einem Stromkreis:

$$\sum_k V_k = 0$$

Spannungen entgegen der Pfeilrichtung negativ rechnen!



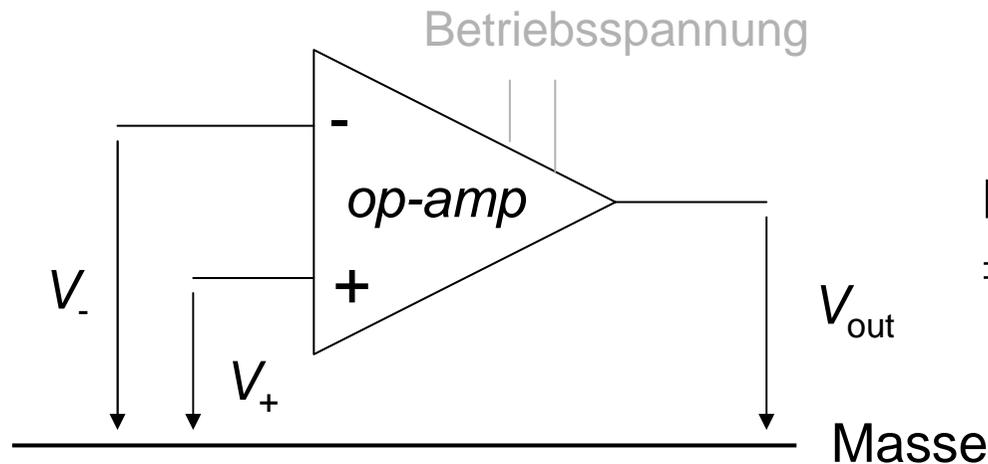
$$V_1 + V_3 - V_2 + V_4 = 0$$

$V_3 = R_3 \times I$ wenn der Strom in derselben Richtung wie die Spannung gerechnet wird

$V_3 = -R_3 \times I$ wenn der Strom in die entgegen gesetzte Richtung wie die Spannung V_3 gerechnet wird

Operationsverstärker (*Op-Amps*)

Operationsverstärker sind Bauelemente (*Op-Amps*), welche die Spannung zwischen zwei Eingängen um einen großen Faktor g verstärken



$$V_{\text{out}} = (V_+ - V_-) \cdot g$$

Hochohmige Eingänge
 \Rightarrow Eingangsströme ≈ 0

Op-amp in im separaten Gehäuse (TO-5) [wikipedia]

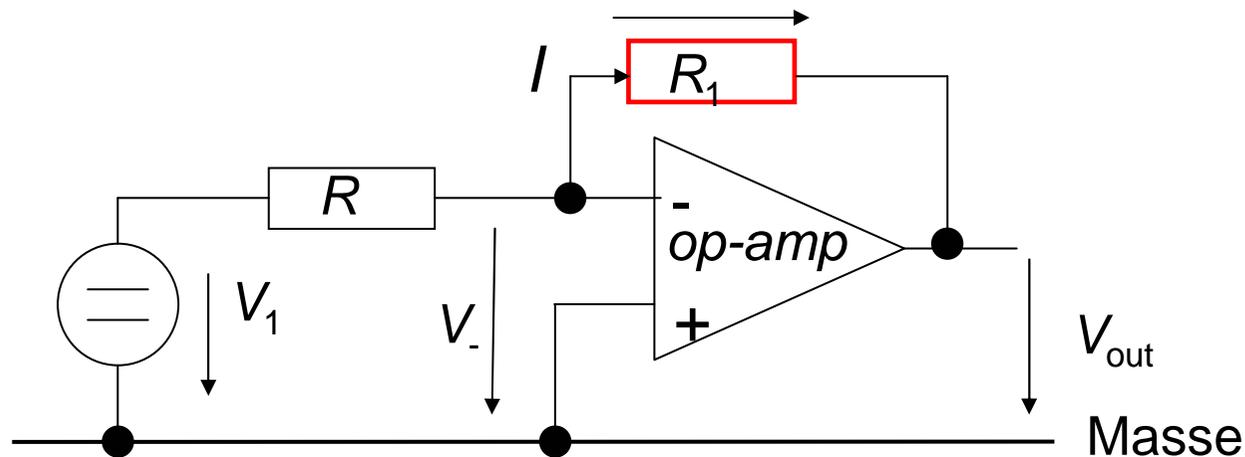
Für einen idealen Operationsverstärker: $g \rightarrow \infty$

(In der Praxis: typisch: $10^4 \leq g \leq 10^6$)



Operationsverstärker mit Rückkopplung (1)

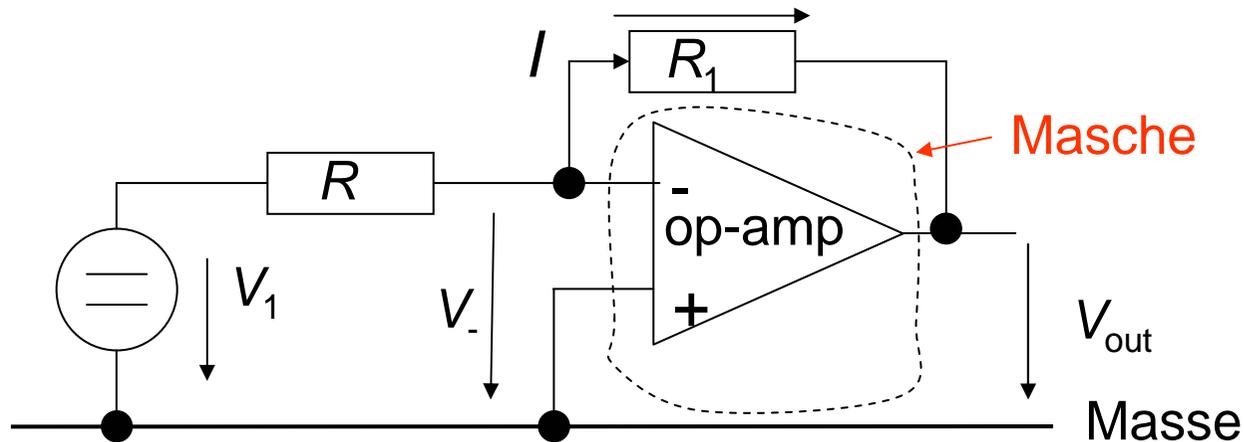
In Schaltkreisen werden Rückkopplungen benutzt, um die tatsächliche Verstärkung zu definieren



Aufgrund der Rückkopplung reduziert R_1 die Spannung V_- .

Wie weit?

Operationsverstärker mit Rückkopplung (2)



$$V_{\text{out}} = -g \cdot V_{-} \quad (\text{op-amp Gleichung})$$

$$I \cdot R_1 + V_{\text{out}} - V_{-} = 0 \quad (\text{Maschenregel - -})$$

$$\Rightarrow I \cdot R_1 + -g \cdot V_{-} - V_{-} = 0$$

$$\Rightarrow (1+g) \cdot V_{-} = I \cdot R_1$$

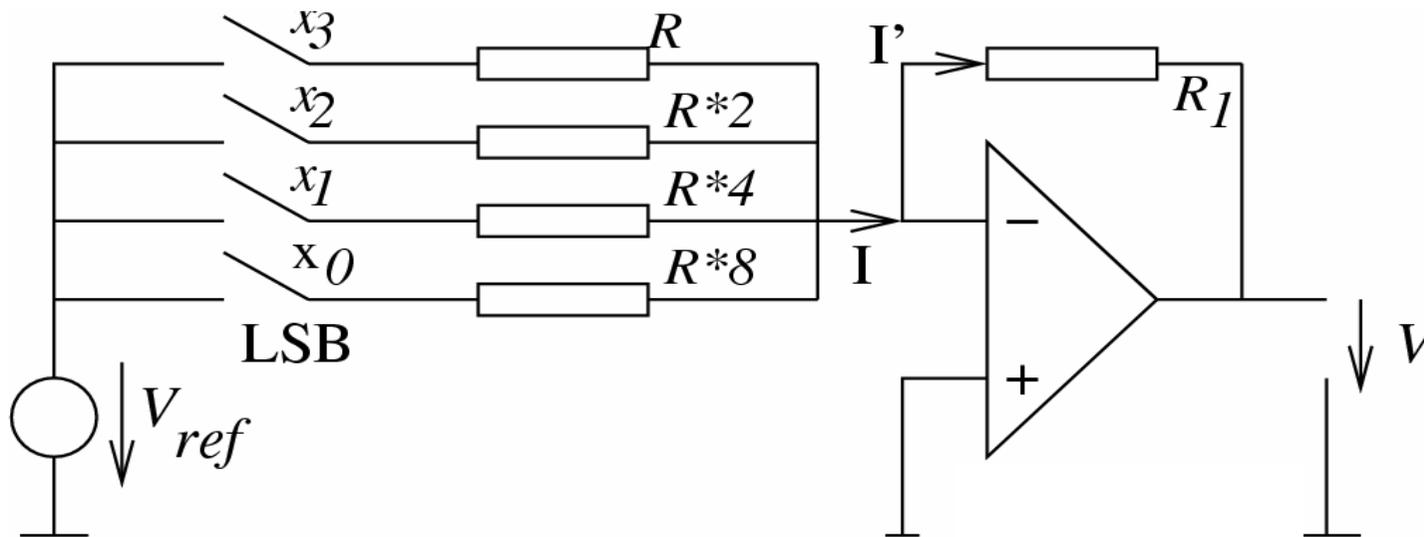
$$\Rightarrow V_{-} = \frac{I \cdot R_1}{1+g}$$

$$V_{-,ideal} = \lim_{g \rightarrow \infty} \frac{I \cdot R_1}{1+g} = 0$$

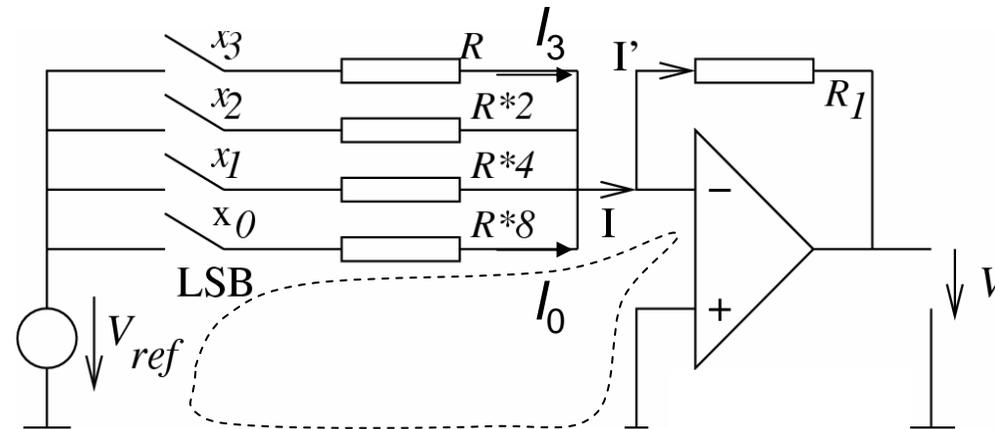
V_{-} wird **virtuelle Masse** genannt: die Spannung ist 0, aber der Anschluss darf nicht mit der Masse verbunden werden.

Digital/Analog (D/A)-Konverter

Verschiedene Typen, manche davon sehr einfach.
Beispiel:



Ausgangsspannung ~ zur durch x dargestellten Zahl (1)



Maschenregel: $V_{ref} - x_0 \cdot I_0 \cdot 8 \cdot R = 0 \Rightarrow I_0 = x_0 \cdot V_{ref} / (8 \cdot R), \dots$

Knotenregel: $I = I_3 + I_2 + I_1 + I_0$

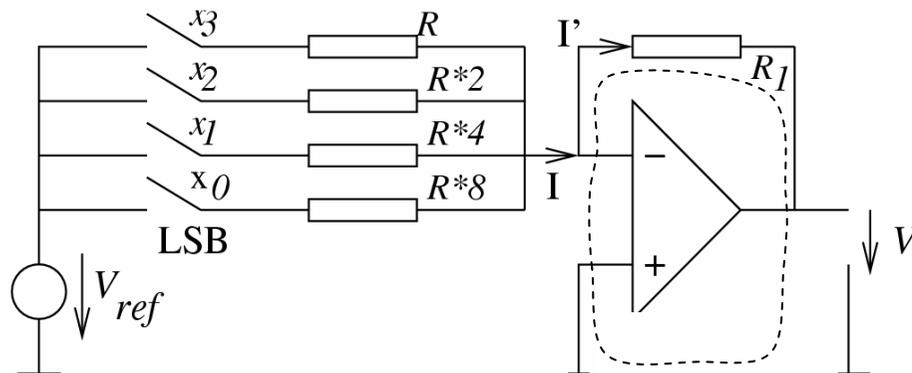
$$\Rightarrow I = x_3 \cdot \frac{V_{ref}}{R} + x_2 \cdot \frac{V_{ref}}{2 \cdot R} + x_1 \cdot \frac{V_{ref}}{4 \cdot R} + x_0 \cdot \frac{V_{ref}}{8 \cdot R}$$

$$= \frac{V_{ref}}{R} \cdot \sum_{i=0}^3 x_i \cdot 2^{i-3} = \frac{V_{ref}}{8 \cdot R} \cdot \sum_{i=0}^3 x_i \cdot 2^i$$

Der **Strom** I ist also proportional zur dargestellten Zahl

Ausgangsspannung ~ zur durch x dargestellten Zahl

Wandlung Strom -> Spannung mittels Operationsverstärker



$$I = \frac{V_{ref}}{R} \cdot \sum_{i=0}^3 x_i \cdot 2^{i-3} = \frac{V_{ref}}{8 \cdot R} \cdot \sum_{i=0}^3 x_i \cdot 2^i$$

Maschenregel: $V + R_1 \cdot I' = 0$

Knotenregel: $I = I'$

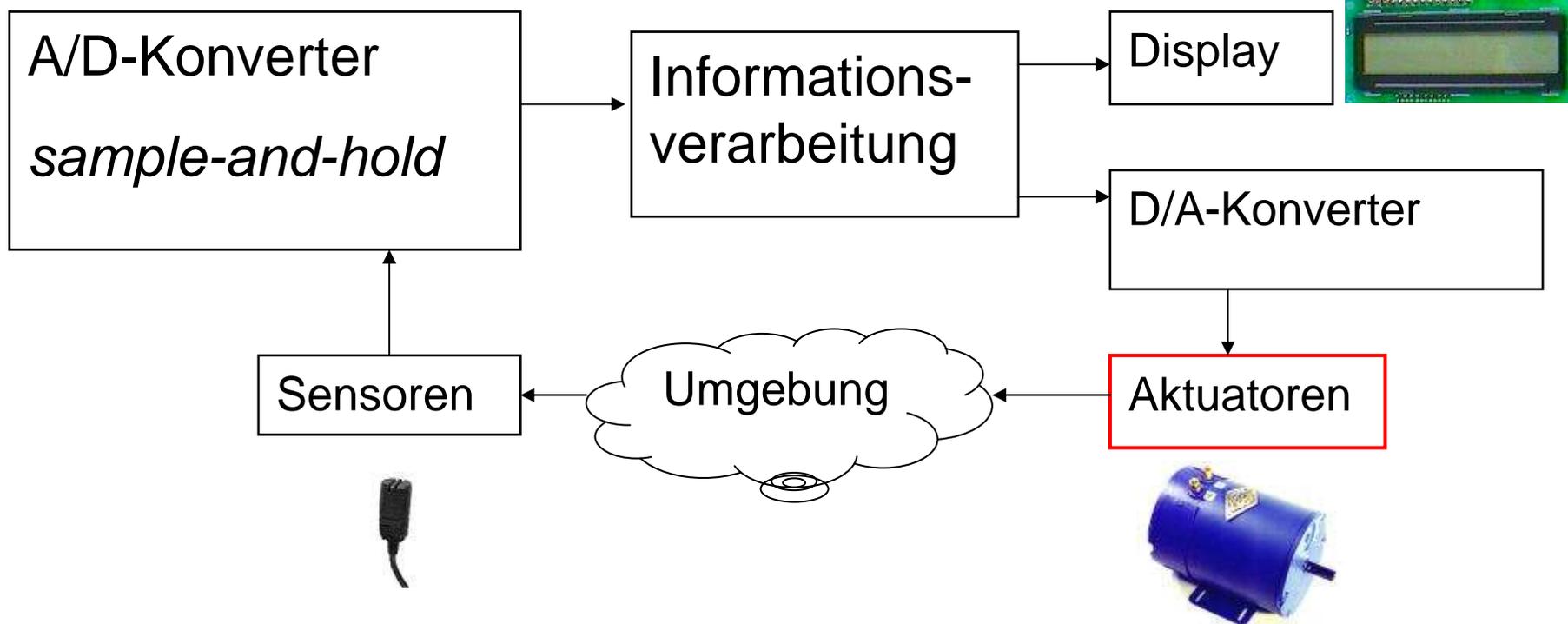
☞ $V + R_1 \cdot I = 0, -V = R_1 \cdot I$

☞: $-V = V_{ref} \times \frac{R_1}{R} \sum_{i=0}^3 x_i \times 2^{i-3} = V_{ref} \times \frac{R_1}{8 \times R} \times nat(x)$

$V \sim nat(x)$, mit $nat(x)$: durch x dargestellte natürliche Zahl

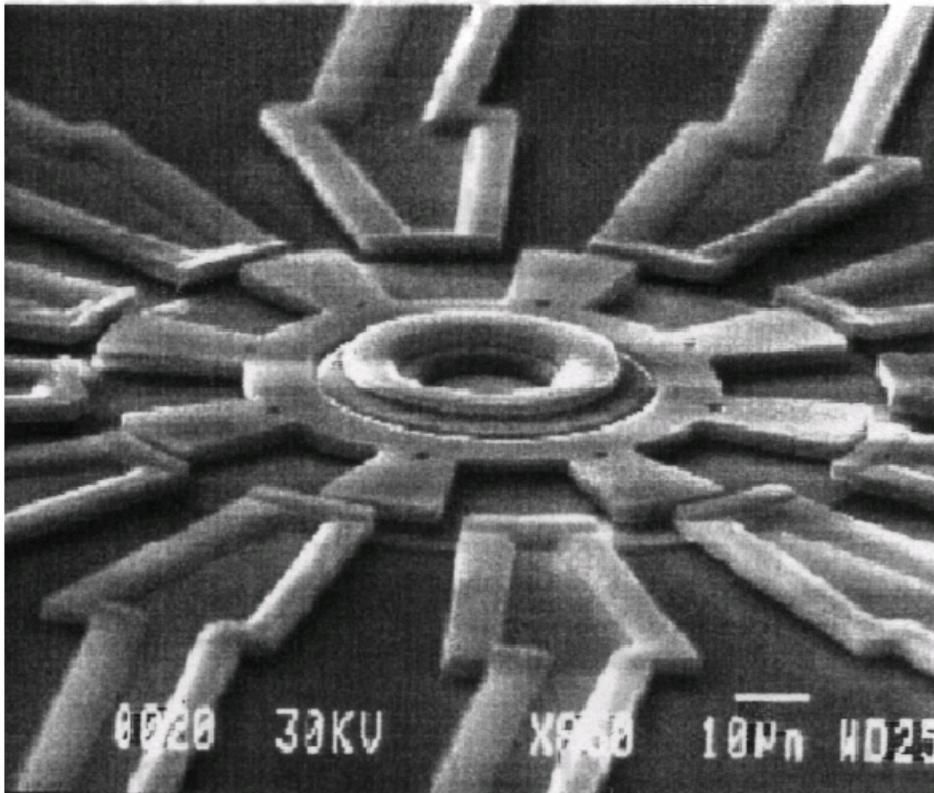
Hardware Eingebetteter Systeme

Die Hardware eingebetteter Systeme wird häufig in einer Schleife benutzt („*hardware in a loop*“):



Aktuatoren und Ausgabe

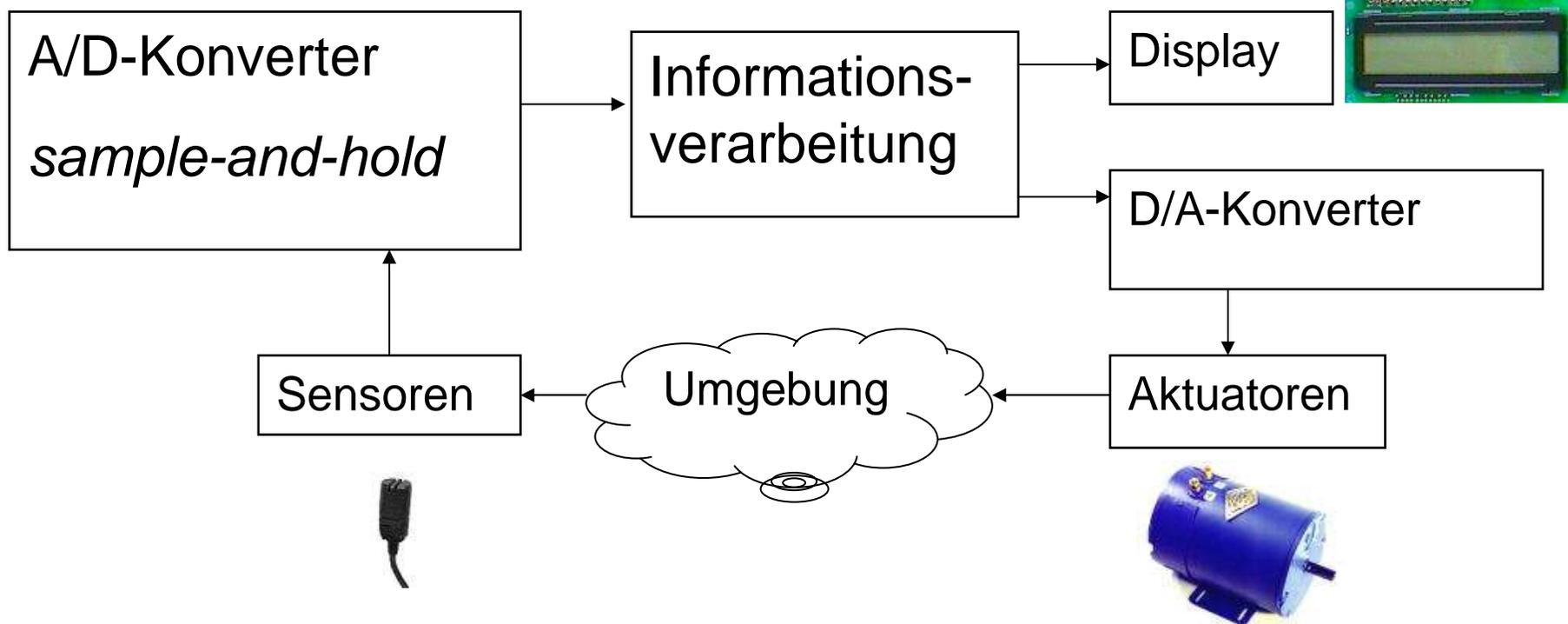
Große Vielfalt an Aktuatoren und Ausgabegeräten,
können nicht alle vorgestellt werden.
Mikrosystem-Motore als Beispiel (© MCNC):



(© MCNC)

Zusammenfassung

- Definition Eingebetteter Systeme
- Besprechung der Komponenten in der Hardware-Schleife



Verfahren zur Ermittlung der Mischfraktionierung
