

# 3 Prozeßrechner–Peripherie

## 3.1 Sensoren und Aktoren

- Meßwertgeber (Sensoren) liefern elektrische Signale als Funktion des physikalischen Werts
- Stellglieder (Aktoren, Effektoren) benötigen elektrische Signale, Impulse oder Impulsfolgen sowie Hilfsenergie (elektrisch, pneumatisch)
- Koppellemente von Sensoren und Aktoren mit dem Rechner haben u.a. folgende Aufgaben zu erfüllen:
  - ★ halten des Meßsignals
  - ★ filtern
  - ★ verstärken
  - ★ umsetzen
  - ★ regeln
  - ★ zählen
  - ★ logisch oder arithmetisch verknüpfen.

- Folge bei Eingabe Signal:  
 Meßgröße  $x \rightarrow$  Signalverarbeitung  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  A-/D-Wandler  $\rightarrow$  Rechner erhält  $\hat{x}$
- Folge bei Ausgabe Signal:  
 Rechner ermittelt Stellwert  $s \rightarrow$   
 $\rightarrow$  D-/A-Wandler  $\rightarrow$  Umsetzer/Stellantrieb  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  Stellwert  $\hat{s}$  im Prozeß
- Charakteristische Größen der Umwandlung
  - ★ Haltezeit (sample- and hold- time)
  - ★ Umsetzungszeit (conversion time)
  - ★ Quantisierungsfehler (Diskretisierungsfehler)
  - ★ Schaltungsunzulänglichkeiten
    - Verstärkungsfehler (gain error)
    - Nullpunktverschiebung (offset error)
    - Linearitätsfehler
    - (lokales) Verletzen der Monotonie
- heute oft komplexe Kompensationsschaltungen auf Chip-Ebene (Qualitätsunterschiede)

- Beispiele für Sensoren:

- ★ mechanische Schalter
  - ! mechanische Notabschalter
- ★ Potentiometer
  - Alternativen: Mehrgang-Drehpotentiometer, Lineare Weggeber
- ★ Inkremental-Winkelcodierer mit Drehrichtungserkennung
  - Alternative: absolut kodierte Systeme
- ★ Kreisel
- ★ temperaturabhängige Widerstände, Temperatur-IC
- ★ Lichtschranken, induktive Sensoren
- ★ optische Sensoren
  - Abstandssensor, Farbsensor, Kamera

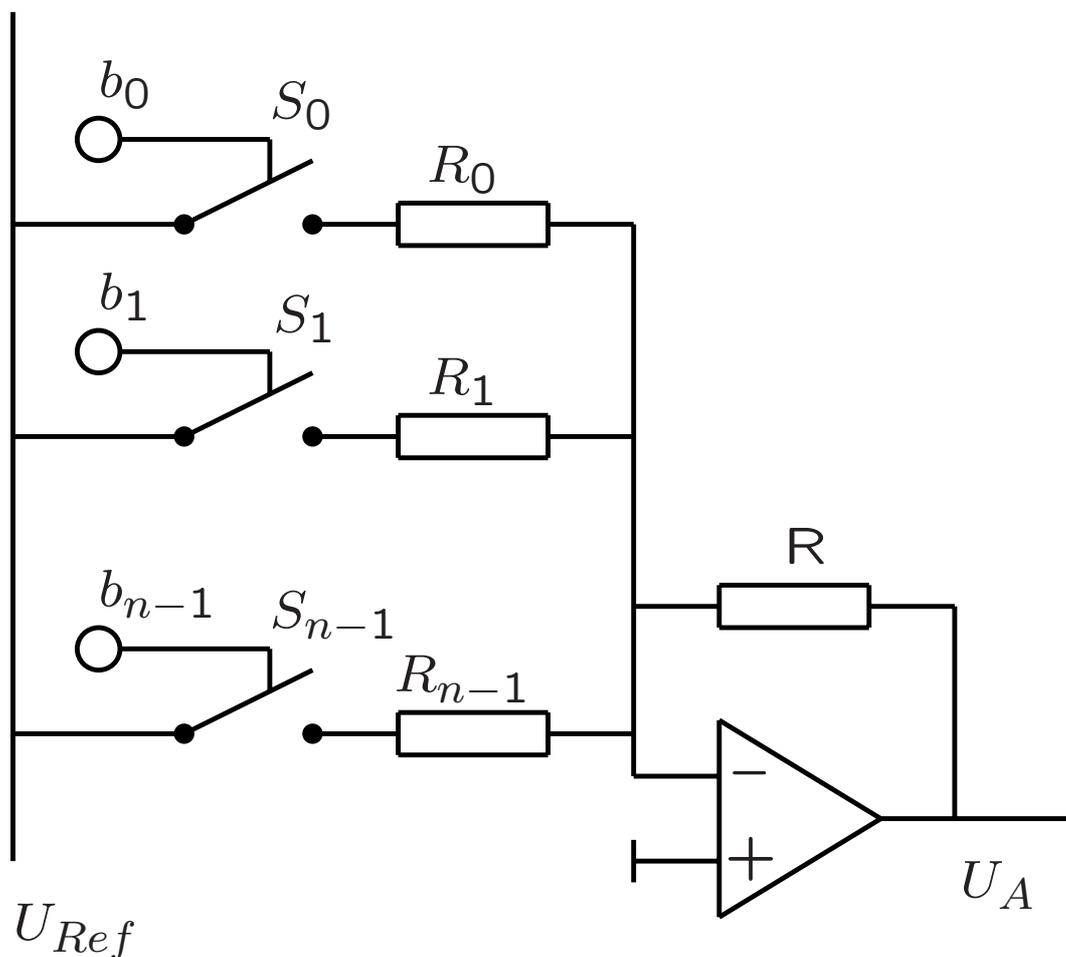
- Störungen

- ★ elektrische S. (kapazitive Einkoppelung)
  - ★ magnetische S. (induktive Einkoppelung)
  - ★ Hochfrequenz-Störungen
  - ★ elektrostatische Störungen
  - ★ Störungen durch Erdschleifen
- Abhilfe: Kabel mit Abschirmung und/oder verdrillten Adern

## 3.2 Digital–/Analog–Umsetzer (DAU)

- digital/analog converter (DAC)
- ein Digitalwert wird in ein elektrisches Signal (Strom oder Spannung) umgesetzt
- Ausgangsspannung  
z. B. 0 bis 10 V oder -5 bis 5 V
- wichtig kleine Wandlungszeit  
(10 nsec bis einige  $\mu$ sec Einschwingzeit)
- wichtig hohe Genauigkeit  
(8, 10, 12, 16 Bit)

- Realisierungsprinzip: **Stromsummenwandlung**
  - ★ Binärwert  $B = b_{n-1} \dots b_1 b_0 = \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i$
  - ★ gesuchter Analogwert  $U_A$
  - ★ gestaffelte Widerstände
  - ★ Sequenz von parallel geschalteten Widerständen  $R, R/2, R/4, R/8 \dots R/2^{n-1}$
  - ★ Widerstand  $R_i = R/2^i$  durch  $b_i$  geschaltet
  - ★ Schalter auf, falls  $b_i = 0$
  - ★ Schalter zu, falls  $b_i = 1$
  - ★ Blockschaltbild



- ★ Der ideale Verstärker regelt wegen der Rückkopplung mit  $R$  so, daß der Strom am Eingang vernachlässigbar klein ist.
- ★ die gestaffelten Widerstände haben folgenden resultierenden Wert

$$\frac{1}{R_P} = \left( \sum_{i=0}^{n-1} \frac{b_i}{R/2^i} \right) = \frac{1}{R} \left( \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i \right)$$

- ★ sei  $j$  der Strom durch  $R$ , dann gilt (Ohmsches Gesetz)

$$U_{Ref} = j * R_P$$

$$U_A = -j * R$$

- ★ daraus folgt:

$$U_A = -U_{Ref} * \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i = -U_{Ref} * B$$

- ★ die Ausgangsspannung ist also proportional dem Binärwert  $B$

## ★ Probleme

- wegen der stark variierenden Größenordnungen sind die Widerstände aus verschiedenen Materialien (abweichendes Temperaturverhalten)
- der kleinste Widerstand muß am genauesten sein (allg.:  $\Delta R_i/R_i \leq 2^{-i}$  wegen Monotonie)
- Nachweis
  - ▷ n Widerstände wie oben, alle exakt bis auf  $R_k$
  - ▷ betrachtet wird  $B = b_k 2^k$
  - ▷ Differenz zu nächstem Wert: 1
  - ▷ aufgrund Abweichungen in  $R_k$  entsteht Fehler, der einer Binärdifferenz  $\Delta B$  entspricht
  - ▷ damit muß gelten  $\Delta B \leq 1$

▷ ausgehend von Formel für  $U_{Ref}$

$$\begin{aligned}\Delta U_A &= U_{Ref} * B - U_{Ref} * R * \sum_{i=0}^{n-1} 1/R_i \\ &= U_{Ref} * \Delta B\end{aligned}$$

hieraus

$$\begin{aligned}\Delta B &= B - R * \sum_{i=0}^{n-1} 1/R_i \\ &= B - R * \sum_{i=0}^{n-1} 2^i / R + 2^k - R/R_k \\ &= 2^k - R/R_k\end{aligned}$$

mit  $R_k = R_k^{soll} + \Delta R_k$

$$\begin{aligned}\Delta B &= 2^k - R / \left( R_k^{soll} (1 + \Delta R_k / R_k^{soll}) \right) \\ &\approx 2^k - 2^k * (1 - \Delta R_k / R_k) \\ &= 2^k * \Delta R_k / R_k\end{aligned}$$

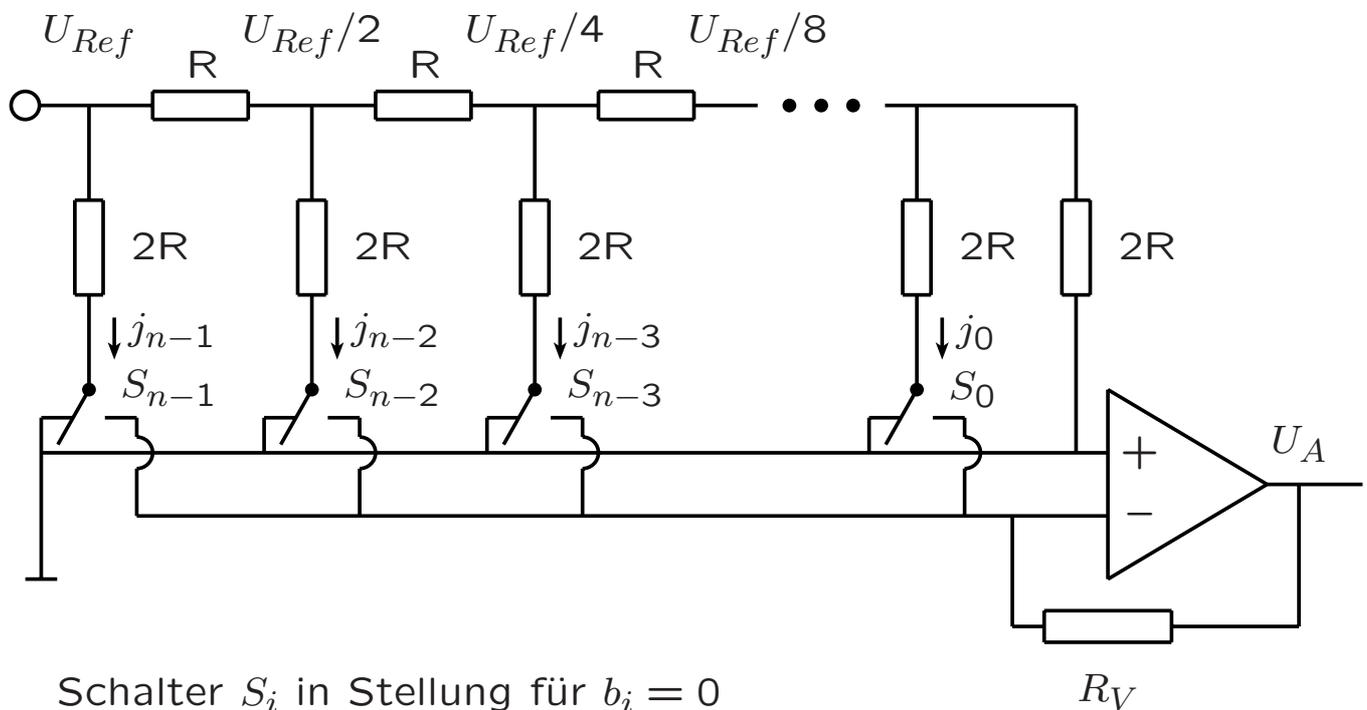
wegen  $\Delta B \leq 1$

$$\Delta R_k \leq 2^{-k} * R_k$$

- Besseres Verfahren

- ★ R-2R-Widerstandsnetzwerke

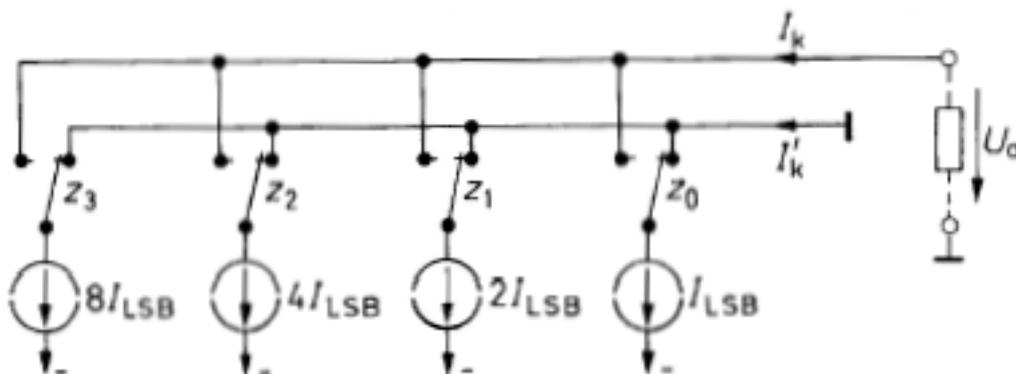
- ★ zwar  $2 \cdot n$  Widerstände, aber alle gleiche Größenordnung



Realisierung eines DAU mit einem Widerstandsnetzwerk

- DA-Wandler in Bipolartechnik
  - ★ In Bipolartechnik lassen sich einfach Konstantstromquellen erzeugen
  - ★ Die Ströme der Quellen sind nach dem Stellenwert gerichtet

$$U_a = -R_L * I_k = -R_L * I_{LSB} * Z$$

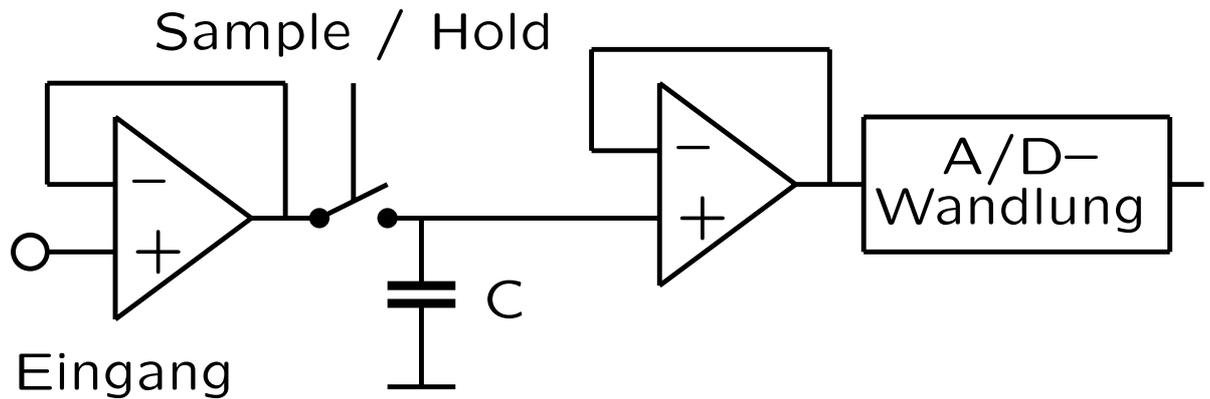


## 3.3 Analog–/Digital–Umsetzer (ADU)

- analog/digital converter (ADC)
- elektrisches Signal wird zur Verarbeitung im Rechner in einen Digitalwert gewandelt
- verschiedene Verfahren mit unterschiedlicher Genauigkeit und Geschwindigkeit (etwa 10 nsec bis 50 msec)
- **Verfahren**
  - ★ Momentanwandlung
    - direkte (parallele) Wandlung (schnell)
    - Stufenumsetzer (mittelschnell)
    - Zählverfahren (langsam)
  - ★ integrierende Wandlung
    - "Dual slope"–Verfahren (langsam)
    - Spannungs–Frequenz–Umsetzung (langsam)

- Schema eines A-/D-Ablaufs mit  
"Sample-and-Hold"-Verstärkerschaltung
  - ★ Rechner gibt Startbefehl mit Adresse des Sensors
  - ★ Steuerung und Multiplexer schalten den verstärkten Sensorwert auf die Sample-Phase
  - ★ in der Sample-Phase wird ein Kondensator aufgeladen (Akquisitionszeit), ca 0.1 nsec bis 50  $\mu$ sec bis gewünschte Genauigkeit (z.B. 0.01%) erreicht ist
  - ★ Nach Ablauf der Akquisitionszeit wird auf die Hold-Phase geschaltet und die A-/D-Wandlung beginnt
  - ★ die Hold-Phase hält den Analogwert (Spannung des Kondensators) während der Dauer der A/D-Wandlung fest (hochohmiger Verstärkereingang)
  - ★ Der A-/D-Wandler meldet das Ende der Umsetzung an die Steuerung
  - ★ Die Steuerung übergibt, evtl. mit Interrupt, den Digitalwert an den Rechner

- "Sample-and-Hold"-Verstärkerschaltung



- Direkte (parallele) Wandlung

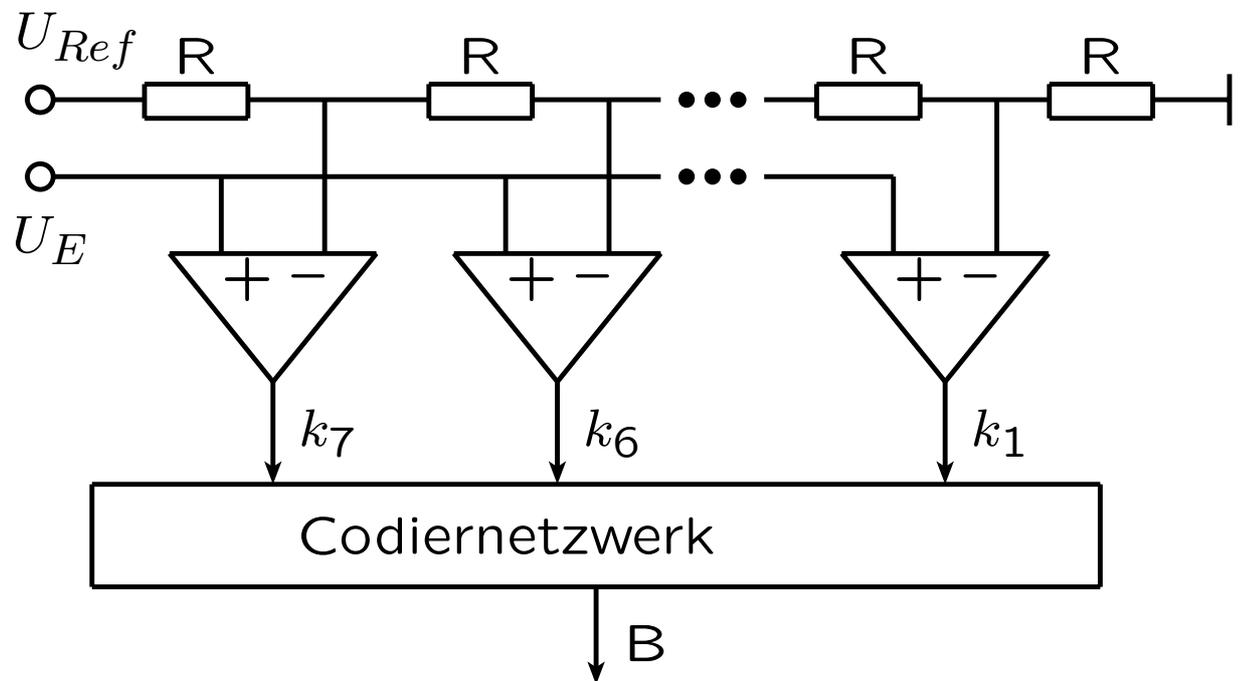
- ★ sehr schnelles Verfahren (5 bis 100 nsec Wandlungszeit)
- ★ aufwendig: für  $n$  Bits werden  $m = 2^n - 1$  Vergleichselemente (Komparatoren) eingesetzt
- ★ (z.B.  $n=8 \rightarrow m=255$ )
- ★ der Komparator  $i$  vergleicht die Eingangsspannung  $U_E$  mit einer Referenzspannung  $U_{Ref}(i) = i * U_{Ref} / 2^n$  und liefert das Ergebnis  $k_i$ :

$$k_i := \text{if } (U_E \geq U_{Ref}(i)) \text{ then } 1 \text{ else } 0;$$

- ★ die Ergebnisse werden in ein Codiernetzwerk eingespeist, das den Binärwert  $B$  für den Analogwert  $U_E$  ausgibt

★ Beispiel für  $n=3$

- $m=7$
- Schaltung

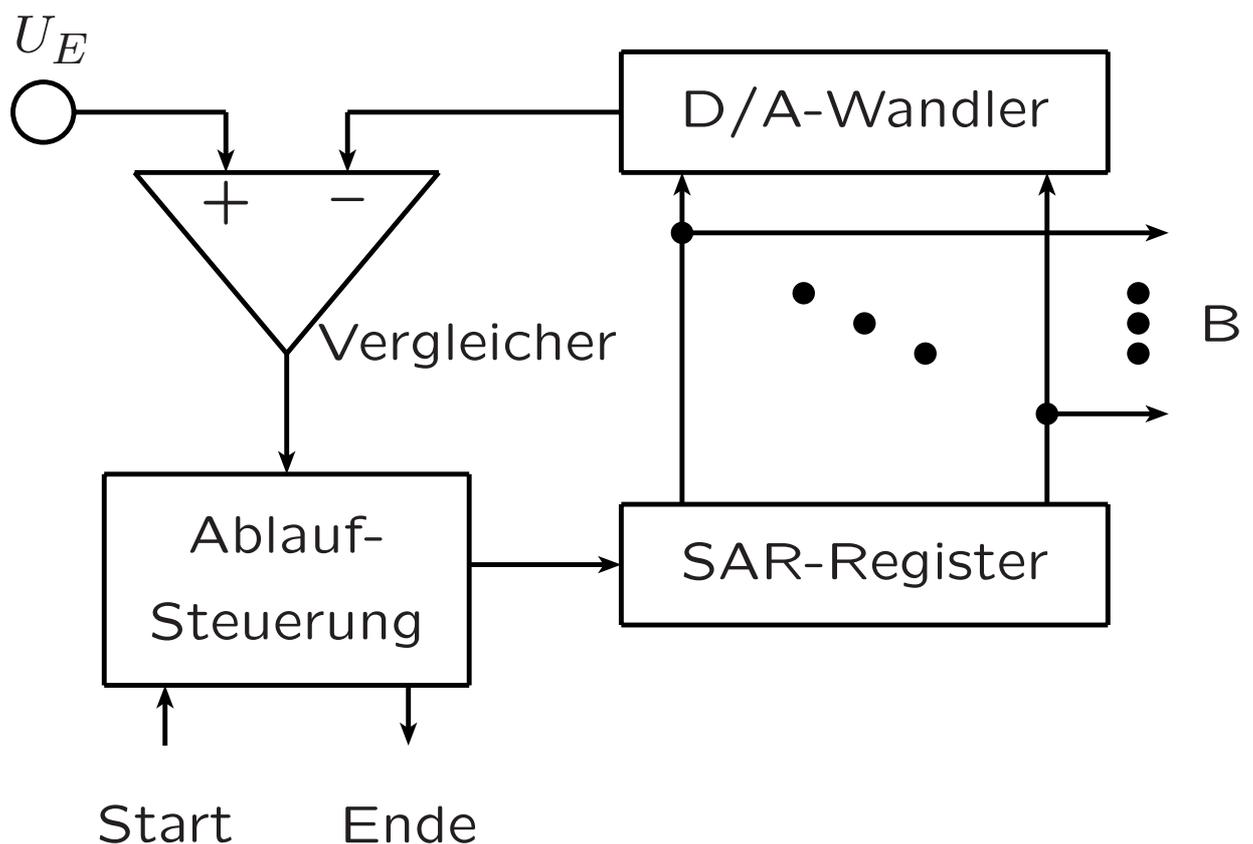


- Tabelle für Codiernetzwerk

$k_7$	$k_6$	$k_5$	$k_4$	$k_3$	$k_2$	$k_1$	B
0	0	0	0	0	0	0	000
0	0	0	0	0	0	1	001
0	0	0	0	0	1	1	010
0	0	0	0	1	1	1	011
0	0	0	1	1	1	1	100
0	0	1	1	1	1	1	101
0	1	1	1	1	1	1	110
1	1	1	1	1	1	1	111

## • Stufenumsetzer

- ★ auch Wägecodierer
- ★ sukzessive Approximation
- ★ mittelschnelles Verfahren
- ★ in  $n$  aufeinanderfolgenden Vergleichsschritten wird je 1 Bit des Ergebnisses bestimmt, beginnend bei MSB bis zu LSB
- ★ Blockschaltbild



★ Ablauf

- das SAR-Register (Successive Approximation Register) enthält einen Binärwert  $B$
- $B$  wird mit 0 initialisiert
- am Ende des Ablaufs enthält  $B$  den Digitalwert für die Analogspannung  $U_E$
- der jeweils eingestellte Wert  $B$  wird über einen DAU in einen Analogwert gewandelt und mit  $U_E$  verglichen
- im SAR-Register (Successive Approximation Register) wird zu den bereits fixierten Bits das nächstniedere Bit gesetzt und bei negativem Vergleichsergebnis zurückgesetzt

- Zählverfahren

- ★ Analogsignal  $U_E$  in Binärwert B umzuwandeln
- ★ Zähler, dessen Wert Z über einen DAU in die Analogspannung  $U_Z$  gewandelt wird
- ★ Zähler von 0 beginnend solange um 1 erhöhen, bis  $U_Z \geq U_E$
- ★ langsames Verfahren, z.B. bei  $n = 12$  und 1 MHz Oszillator max. 4 msec, im Mittel 2 msec
- ★ Variante: Folgeumsetzer (tracking)  
Zähler ist Vorwärts-/Rückwärtszähler, der vom Komparator richtungsgesteuert wird.  
Meßwert wird laufend verfolgt  
(Momentanwert in einem Register)

- Zweiflanken–Verfahren (dual slope)

- ★ relativ langsam, aber genau

- ★ viele Fehlerquellen, z.B.

- Temperaturabhängigkeit von R oder C,  
Netzbrumm werden eliminiert

- ★ Prinzip:

- Aufladen und Entladen Kondensator

- ★ Ablauf

- Phase 1

- Ein Kondensator wird in vorgegebener Zeit  $\Delta t_i$  mit der zu messenden Spannung aufgeladen (integrierend, z.B. kann sich der Netzbrumm eliminieren, falls  $\Delta t_i$  ein Vielfaches von 20 msec ist)

- Phase 2

- Entladen des Kondensators; ein Zeitmesser (Zähler) mißt die Entladezeit  $\Delta t_E$ ; diese Zeit ist proportional zur Eingangsspannung

- **Spannungs–/Frequenz–Umwandler**

- ★ Voltage/frequency converter (VFC)

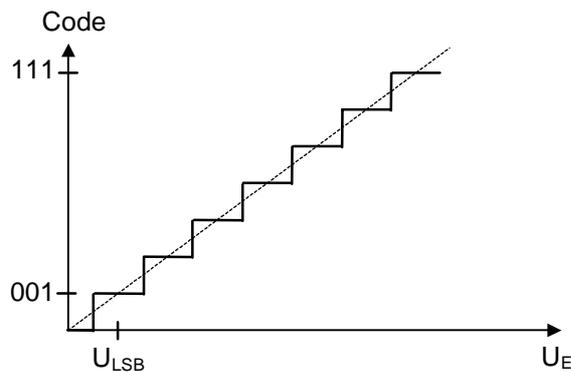
- ★ Idee

- zu messende Spannung wird in eine dem Wert proportionale Frequenz umgewandelt
- die Impulse in einem festen vorgegebenem Zeitintervall werden gezählt
- der Inhalt des Zählers ist der gesuchte Binärwert

- ★ auch hier integrierend gewandelt

- ★ Verfahren ist schnell und genau, die Frequenzübertragung wenig stör anfällig

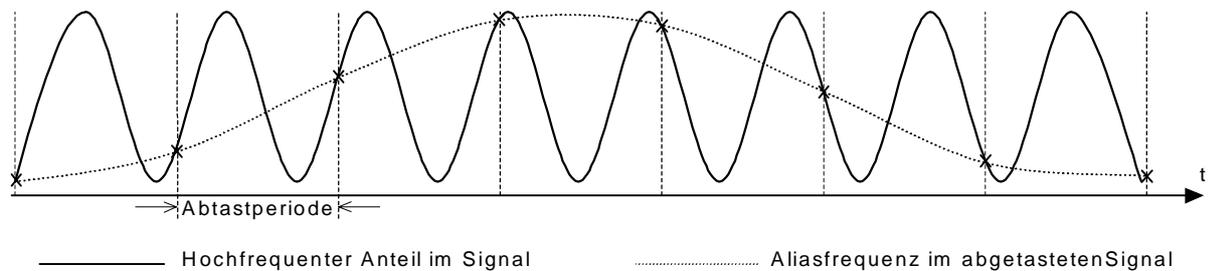
- statische Fehler bei A/D-Wandlung



**Kennlinie  
eines 3 Bit A/D-Wandlers**

- ★ Quantisierungsfehler:  
Durch die Auflösung von  $n$  Bits ergibt sich ein systematischer Quantisierungsfehler von  $\pm 0.5 * 2^{-n}$ .
- ★ Nullpunktfehler: Kennlinie horizontal verschoben ist.
- ★ Verstärkungsfehler: falschen Steigung  
Beide Fehlerarten können i.A. durch Eichung (z.B. mittels Wendelpotentiometer) hinreichend genau beseitigt werden.
- ★ Linearitätsfehler: rechnergestützte Korrektur

- dynamische Fehler bei A/D-Wandlung



### Aliasfrequenz bei Abtastung unter Verletzung des Abtasttheorems

- ★ Abtasttheorem  $f_s > 2 * f_{max}$   
 Voraussetzung für die spätere  
 Rekonstruktion des Originalsignals  
 Verletzung führt zu unerwünschten  
 Aliasfrequenzen im abgetasteten Signal  
 Abhilfe: Signal vor der Abtastung in seiner  
 Bandbreite begrenzt (aktives Tiefpaßfilter)
- ★ zeitliche Unsicherheit  $\Delta t_a$  des  
 Abtastzeitpunktes.  
 Multipliziert mit der maximalen Steilheit des  
 Signales ergibt Amplituden-Unsicherheit der  
 Messung.  
 Abhilfe: Sample- and Hold-Verstärkers zu  
 einem definierten Zeitpunkt

## 3.4 Digital–Ein–/Ausgabe

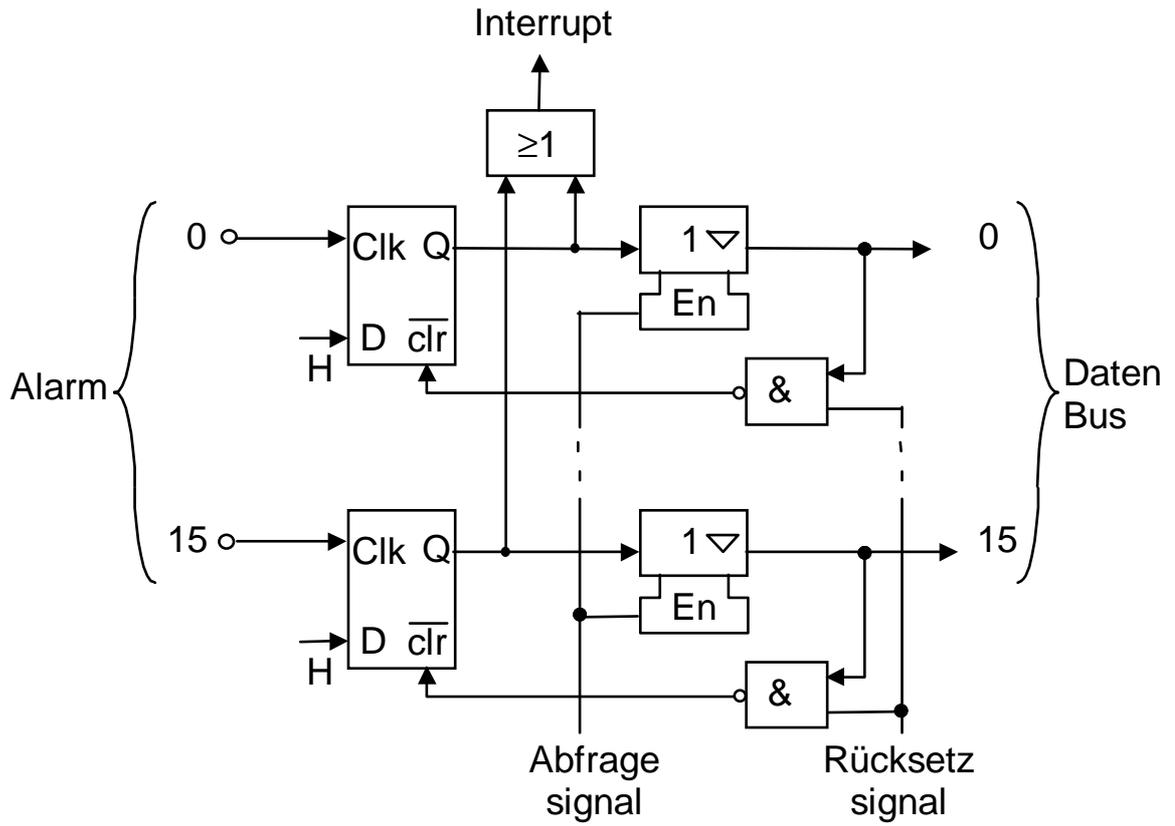
- häufig nur binäre Signale (Kontakte, Schalter), jedoch auch Byte oder Wort
- binäre Signale werden meist in Gruppen (Worte) zusammengefaßt
- programmierbare Steuerlogik  
jede Leitung parametrisierbar
- Interrupterzeugung pro Bit, Byte, Gruppe
- Einschübe in Schaltschränken
- Rangierverteiler

- **Digitalausgabe**

- ★ Ausgabe von Zustandsinformation
- ★ einfachste Variante der Prozeßperipherie
- ★ Bits eines Registers an Schnittstelle
- ★ Pegelwandlung, Verstärkung
- ★ Ansteuerung von Schaltern, Relais, Anzeigen, Motoren, Schrittmotoren, Ventilen usw.
- ★ Techniken
  - statische Ausgänge (Ausgaberegister)
  - dynamische Ausgänge
    - Impulsausgänge mit (wählbarer) Pulsdauer
  - Impulsfolgen
    - programmierbare Anzahl von Impulsen
  - Pulsweitenmodulation (variable Impulsbreite),
    - Pulsfolgemodulation (variable Frequenz)

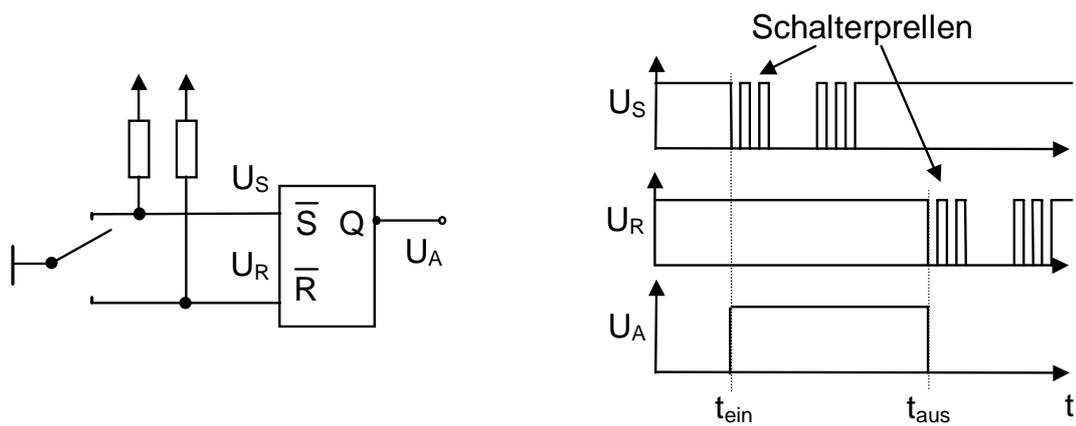
- **Digitaleingabe**

- ★ Schalter, Taster, Zustandsanzeigen (Kontaktstellungen, Grenzwertüberwacher), Zähler, Digitalmeßwerte (Binärcode), Strichcode usw.
- ★ Eingangssignale auf Bits eines Registers, Schwelle
- ★ statische Eingänge  
Momentanwert in einem Register
- ★ gepufferte Eingänge  
Setzen durch externes Signal; der Rechner erhält beim Lesen nicht unbedingt den Momentanwert; Signal geht nicht verloren.
- ★ dynamische Eingänge  
Nur Signaländerungen (Flankenübergänge) werden als "1" in einem Register gespeichert, evtl. mit Interruptmeldung. Die Hardware/Software muß die gelesenen Bits im Byte/Wort individuell zurücksetzen

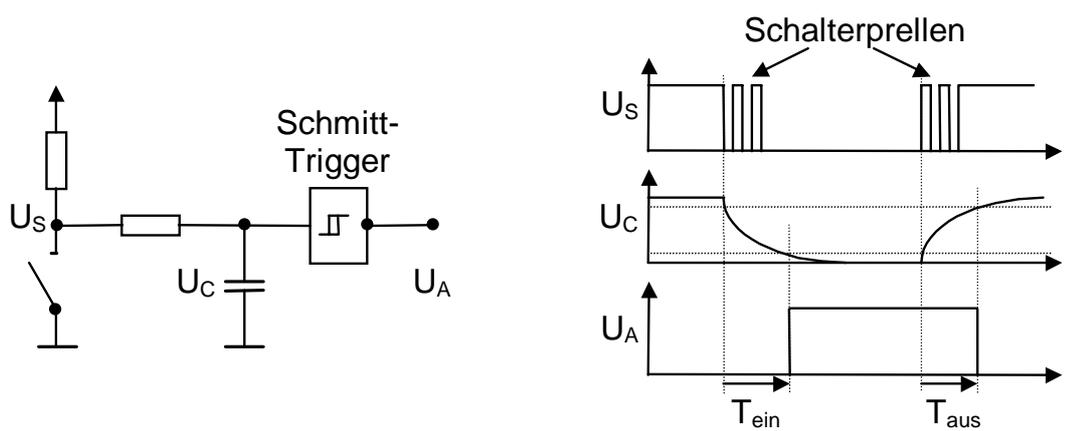


Alarm-Eingabe-Gruppe (aus: Färber)

- ★ Galvanische Trennung (Optokoppler, Trafo)
- ★ Entprellung



*Entprellen durch ein RS-Flip Flop (aus: Färber)*



*Entprellen durch RC-Glied mit Schmitt-Trigger (aus: Färber)*

## 3.5 Echtzeituhren

- Netzuhr (20 msec)
- Uhren mit programmierbarer hoher Auflösung (bis zu 1  $\mu$ sec)
- kaskadierbare Zähler am Prozessortakt
- Aufgaben
  - ★ Absolutzeitgeber (batteriegepuffert)  
Datum, Uhrzeit,  
zeitabhängige Aufträge,  
Zeitstempel, Logbuch,  
Ursache–Wirkung–Feststellung
  - ★ Relativzeitgeber  
verzögern, messen von Zeitintervallen,  
zyklisch anstoßen, abtasten,  
Zeitüberwachung von Wartezuständen
- Synchronisierung der Uhren in Rechnernetzen  
nichttrivial, schwierig;  
evtl. nur Näherungen mit grober Toleranz

- Zeitcode-Geräte

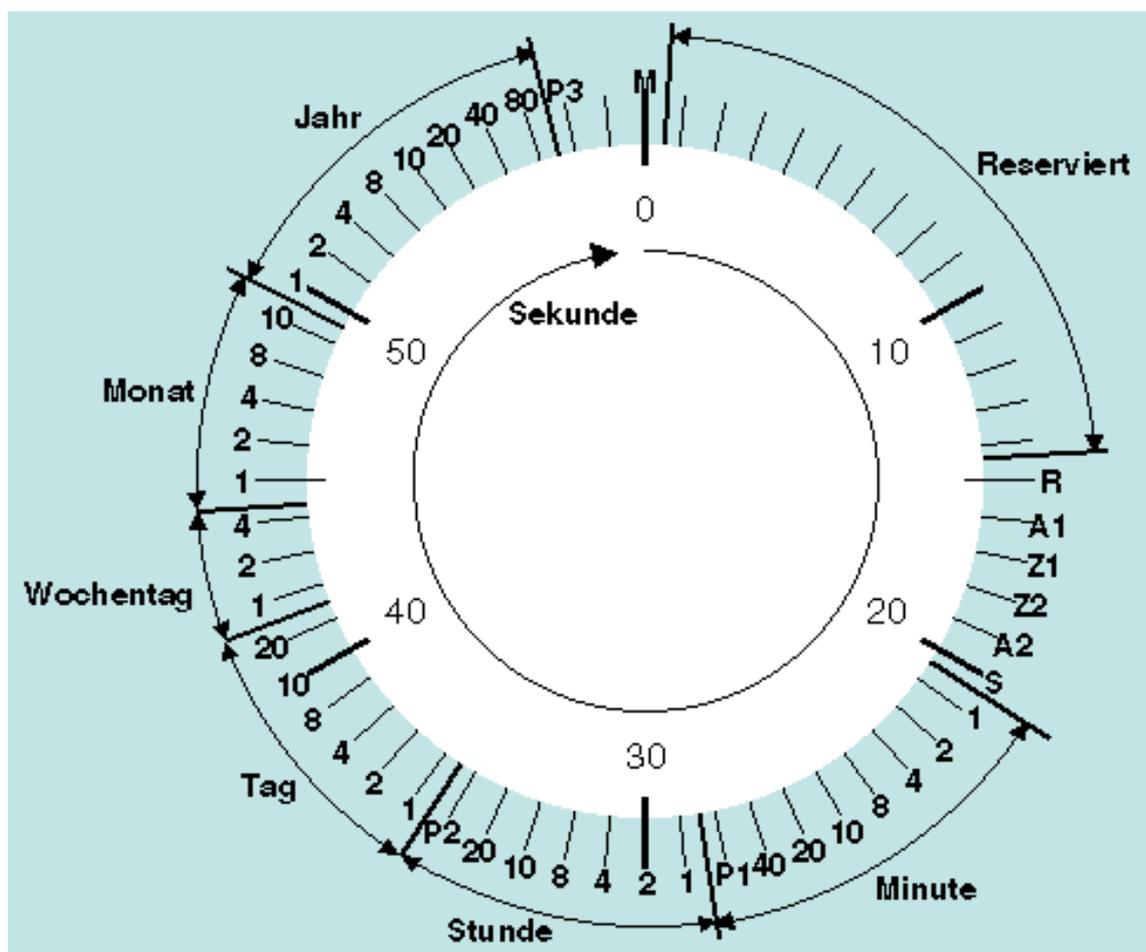
- ★ Funkuhr der Physikalisch Technischen Bundesanstalt

- Zeitinformation: Minute, Stunde, Tag im Jahr, Wochentag (1 bis 7), Jahr (00 bis 99)
- jede Dezimalziffer wird für sich codiert (4-Bit-Code); bei eingeschränktem Ziffernbereich weniger als 4 Bit

Minute	$3+4=7$
Stunde	$2+4=6$
Tag im Jahr	$2+4+4=10$
Wochentag	3
Jahr	$4+4=8$
<hr/> Summe	<hr/> 34

- Zeitinformation benötigt also 34 Bit; plus ein Startbit und drei Prüfbits
- die 3 Prüfbits ergänzen Minute, Stunde, Jahr je auf gerade Anzahl von "1"
- jede Sekunde ein Bit der Zeitinformation gesendet, Zeitinformation in 38 Sekunden einer Minute

- Sekunde nicht in Zeitinformation, da Sekunde beim Empfänger mitgezählt werden kann
- in der 60. Sekunde keine Information übertragen, dies ist Zeichen für Nullstellen des Zählers
- laufend 77.5 KHz-Signal
- Impulsmodulation (0.2 sec hohe Amplitude je sec ist "1", 0.1 sec hohe Amplitude je sec ist "0")

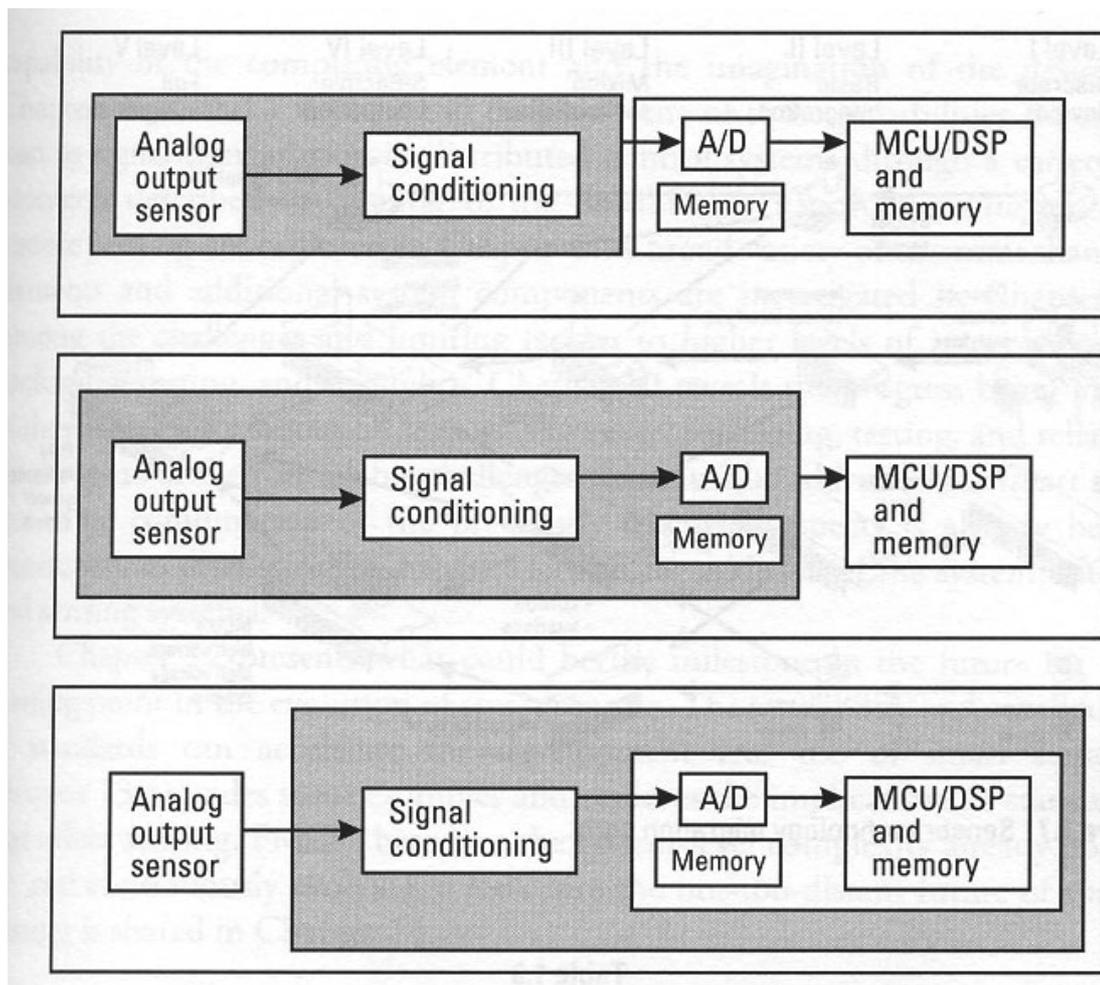


## ★ Zeitcode-Geräte am Bus

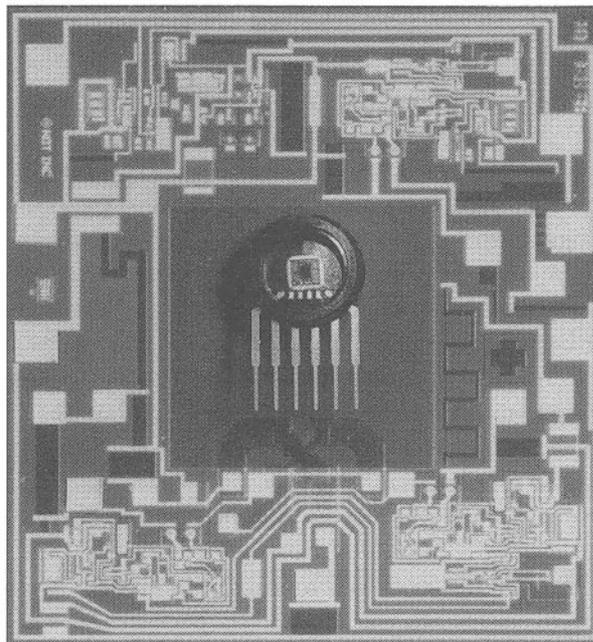
- internationale InteRange Instrumentation Group
- IRIG-A (0.1 sec),  
IRIG-B (1 sec),  
IRIG-G (0.01 sec)
- Beispiel IRIG-B
  - ▷ 1 KHz Trägerfrequenz
  - ▷ amplitudenmoduliert in 100 Pulse à 10 Signale pro sec
  - ▷ "0"  $\equiv$  2 hohe + 8 niedere Impulse
  - ▷ "1"  $\equiv$  5 hohe + 5 niedere Impulse
  - ▷ "Positions-Identifizier"  $\equiv$  8 hohe + 2 niedere Impulse (zwei Positions-Identifizier jede sec am Rahmenanfang)

## 3.6 Mikroperipherik

- Neue Materialtechniken erlauben den Einsatz von neuen physikalischen Effekten in der Sensorik und Aktorik. Vor allem die Kombination mit Halbleitern ermöglicht die Miniaturisierung und Integration der Verarbeitungsschaltung auf Chip-Ebene.
- Intelligenter Mikrosensor (Smart Sensor) Sensorelement und Signalverarbeitung sind in einem miniaturisierten Gehäuse.



- Vorteil: Das Ausgangssignal ist weitgehend frei von Ungenauigkeiten, die im Meßprinzip oder der Fertigung begründet sind.
- Mikrosensoren zum Messen von Kraft, Druck, Beschleunigung, Lage, Temperatur, Feuchte, el. und magn. Felder, Rezeptoren für chemische Stoffe



*Integrierter Drucksensor (Motorola)*

- physikalische Konzepte für Mikroaktoren
  - ★ Piezo–Aktoren  
Verformung von Kristallen durch elektrisches Feld; feinste Hubbewegungen mit großen Kräften bei kurzen Stellzeiten (msec)
  - ★ Magnetostriktive Aktoren  
Eisenlegierungen und Seltene Erden; in magnetischen Feldern Ausdehnung oder Kontraktion
  - ★ Elektrorheologische Flüssigkeiten  
Suspensionen ändern im elektrischen Feld im sec–Bereich ihre Viskosität (erstarren bzw. werden dünnflüssig); Einsatz z.B. Kraftkopplungen, Stoßdämpfer
  - ★ Chemische Aktoren  
Gasentwicklung beim Anlegen von Gleichspannungen erzeugt Druck; Umpolen baut Druck ab (Einsatz z.B. Lüftungsklappen, Dosierung)
  - ★ Memory–Metalle  
Sie ändern bei bestimmter Temperatur ihre Form in genau vorhersagbarer Weise (Einsatz z.B. beim Brandschutz); keine Hilfsenergie nötig

- Anwendungen Mikroperipherik  
Prozeßautomatisierung,  
Medizin,  
Kfz,  
Haushalt,  
Umwelt usw.
- Probleme:
  - ★ Montage  
(Halbleiter sind empfindlich gegen  
mechanische Spannungen)
  - ★ Umweltstabilität  
(vor allem temperatur– und  
feuchtigkeitsempfindlich)
  - ★ Lebensdauer

## 3.7 Identifikationssysteme

- **Identifikation** ist Erkennen individueller Objekte anhand von Codierungen
- **Ziele**
  - ★ eindeutige Zuordnungen
  - ★ Produktverfolgung
  - ★ Betriebsdatenerfassung
  - ★ permanente Übersicht (Inventur).
- **Verfahren**
  - ★ mechanisch: Abtasten, Kontakte mit Spulen
  - ★ Codierleisten: Lesen mit Reflex-Lichtschranken
  - ★ Strichcodes, Bar-Codes (auch matrixartige 2-dimensionale "dot codes" )
    - z.B. 16-Bit Information in 10 msec
  - ★ Auslesen von elektronischen Datenträgern mit Hochfrequenz
    - Radio frequency ID (RF-ID), Transponder
    - 125KHz – Meistverbreitete Frequenz für preisgünstige, passive RFID-Transpondersysteme
    - 13,56MHz – Diese Frequenz wird hauptsächlich von RFID-Transponder Etiketten verwendet
    - 2,4GHz – Häufig für LongRange Systeme verwendete Frequenz.

- zum Auslesen mit Hochfrequenz
  - ★ Arten
    - passive Datenträger
      - ▷ ohne eigene Energiequelle
      - ▷ Energie durch Strahlung des Lesers
      - ▷ geben in ROM oder EPROM gespeicherte Information (meist unter 128 Bit) über Antenne zurück
    - aktive ID-Systeme
      - ▷ mit Hilfsenergie (z.B. Batterie)
      - ▷ auslesen, speichern, löschen oder ändern größerer Datenmengen
      - ▷ EEPROM mit bis zu 32 KBit Speicher

## 3.8 Industrieterminals

- Mensch/Maschine-Schnittstelle
- BDE-Terminals (*Betriebsdatenerfassung*)
- LCD-Displays, CRT-Displays  
gegen Staub, Flüssigkeiten, Erschütterungen  
geschützt
- große Tastaturen



## 3.9 Spezielle Prozessoren

- Schnittstellen für Aktoren und Sensoren meist im Prozeßrechner(-chip) integriert, z.B.
  - ★ Digital-Ausgänge
  - ★ Digital-Eingänge
  - ★ Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler)
  - ★ Digital-Analog-Wandler (D/A-Wandler)
  - ★ Zähler, Uhren
- Einsatz von Zusatzprozessoren (ASIC-Chips), z.B. für
  - ★ Gleitpunktarithmetik
  - ★ Signalverarbeitung (digital signal processors, DSP)
  - ★ Fast-Fourier-Transformation (FFT)
  - ★ Fuzzy-logic Regelung
  - ★ Mustererkennung (u.a. Transputer-Netzwerke)
  - ★ Feldbus-Protokolle
- für Leistungsansteuerung von Geräten und komplexere Steuerungsaufgaben wird Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) zwischen Prozeßrechner und Gerät eingesetzt