

§ 3 Prozessperipherie

- 3.1 Schnittstellen zwischen dem technischen Prozess und dem Automatisierungs-Computersystem
- 3.2 Sensoren und Aktoren
- 3.3 Darstellung der Prozessdaten in Automatisierungs-Computern
- 3.4 Ein-/Ausgabe von analogen Signalen
- 3.5 Ein-/Ausgabe von binären und digitalen Signalen
- 3.6 Feldbussysteme

Kapitel 3 - Lernziele

- Die Schnittstellen in einem Automatisierungssystem kennen
- Wissen, was Sensoren und Aktoren sind und wie sie aufgebaut werden
- Wissen, wie Daten in Automatisierungcomputern dargestellt werden
- Verstehen, wie eine Analog-Digital-Umsetzung und umgekehrt erfolgt
- Unterschiedliche Umsetzer-Realisierungsformen kennen
- Erklären können, wie eine digitale Eingabe und Ausgabe von Prozesssignalen erfolgt
- Wissen, was man unter Feldbussystemen versteht
- Die unterschiedlichen Bus-Zugriffsverfahren erklären können
- Verstehen, was das Besondere an der PROFIBUS-Kommunikation ist
- Die wichtigsten Eigenschaften von CAN kennen

- Tr1** In Kapitel 3 werden alle Themen behandelt, die im Zusammenhang mit der Prozessperipherie stehen. Nach Durcharbeiten dieses Kapitels sollten folgende Punkte geklärt sein:
- Man soll wissen, was die Verbindung zwischen Automatisierungssystem und technischer Prozess ist.
 - Man soll wissen, welche Arten von Sensoren und Aktoren es gibt.
 - Man sollte verstanden haben, wie eine Analog-Digital-Umsetzung abläuft. Diese Umsetzung wird benötigt, um zum Beispiel per PC digital berechnete Werte für Maschinen diesen Maschinen analog mitteilen zu können.
 - Man sollte verstanden haben, was sich hinter dem Begriff „Feldbus“ verbirgt und wie dessen wichtigste Vertreter prinzipiell arbeiten.

Traumüller; 13.11.2003

§ 3 Prozessperipherie

3.1 Schnittstellen zwischen dem technischen Prozess und dem Automatisierungs-Computersystem

- 3.2 Sensoren und Aktoren
- 3.3 Darstellung der Prozessdaten in Automatisierungs-Computern
- 3.4 Ein-/Ausgabe von analogen Signalen
- 3.5 Ein-/Ausgabe von binären und digitalen Signalen
- 3.6 Feldbussysteme

Funktionale Arten: Ein- / Ausgabeschnittstellen

Es existiert eine 2-Wege-Kommunikation bei der Übertragung von Prozess-Signalen zwischen technischem Prozess und Automatisierungs-Computersystem:

- Prozess-Signaleingabe:
Prozessgrössenerfassung **Temperatur**
- Prozess-Signalausgabe:
Ansteuerung von Stellgliedern **Ventil schließen**

- Tr2** In einem System an dem mehrere und auch unterschiedliche Teilnehmer (Geräte) beteiligt sind, müssen diese Teilnehmer, um interagieren zu können, miteinander kommunizieren. Diese Interaktion/Kommunikation erfolgt über sog. Schnittstellen. Welche dies bei einem Automatisierungssystem zwischen technischem Prozess und dem Automatisierungs-Computersystem sind, wird im folgenden Kapitel behandelt.

Traumüller; 13.11.2003

Verbindungsarten

- Direkter Anschluss über Leitungsbündel
Konventionelle Art
- Anschluss über Bus-Ankoppel-Module (E/A-Knoten)
Verwendung von Feldbuskoppler
- Anschluss über Sensor/Aktor Bus-System
Modernste Form: Verwendung intelligenter Sensoren und Aktoren

Direkter Anschluss von Sensoren und Aktoren

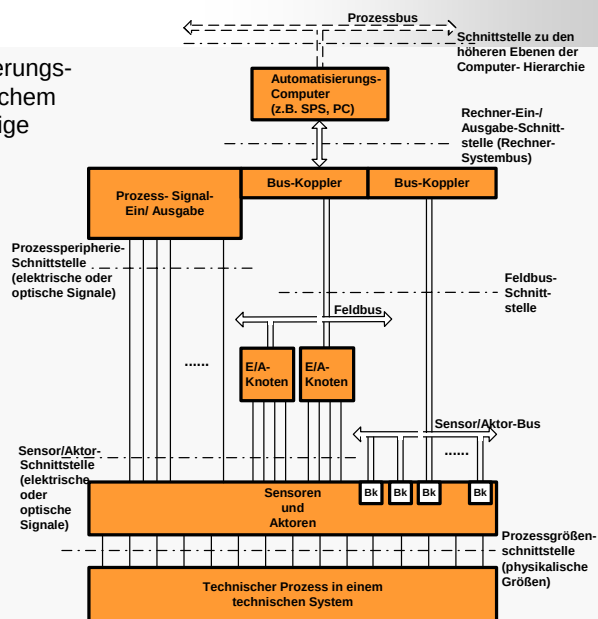
- Bei der Produktautomatisierung
- Kurze Leitungen zum Mikrocontroller

Ein/ Ausgabe über Feldbus-Systeme

- Bei der Anlagenautomatisierung
- Reduzierung der Verkabelung und Installationskosten

Übersicht

Kopplung Automatisierungs-Computer mit technischem Prozess und zugehörige Schnittstellen



Anforderungen an ein Bussystem auf Aktor-Sensor-Ebene

- Sensoren/Aktoren verschiedener Hersteller anschließbar
- Kurze Systemreaktionszeit
- Geringe Anschlusskosten
- Geringes Bauvolumen
- Einfache Handhabung bei Verkabelung und Inbetriebnahme

Ziele des Aktor-Sensor Interface (AS i)

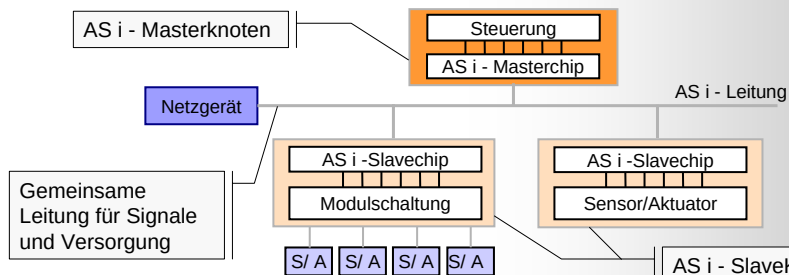
- Ausrichtung auf Aktor-Sensor-Ebene
 - ⇒ Geringe Datenmenge pro Teilnehmer
 - ⇒ Kurze Reaktionszeiten
- Ersatz der parallelen Verkabelung von binären Aktoren/Sensoren
 - ⇒ Signale und Spannungsversorgung über die gleiche Leitung

Eigenschaften von AS i

- Beliebige Netzstruktur
- Übertragungsprinzip
 - Single-Master-System mit zyklischem Polling
 - eine fixe Adresse pro Slave
 - max. 31 Slaves pro Strang
 - bis zu 4 Sensoren/Aktoren pro Slave
- Übertragungsmedium
 - ungeschirmte und unverdrillte Zweidrahtleitung
 - gemeinsame Nutzung für Daten und Energie
- Nutzdaten und Zykluszeit
 - 4 Bit Nutzdaten
 - 5 ms max. Zykluszeit
 - ⇒ Zykluszeit passt sich der Anzahl der Slaves an

AS i- Prinzipaufbau

- 1 Masterknoten Kosten für Masterchip ca. 10 €
 - Variante 1: In Steuerung integrierter Knoten
 - Variante 2: Separates Aufschaltmodul (z.B. für SPS)
 - Überwacht Buskommunikation
- Slaveknoten Kosten für Slavechip ca. 5 €
 - Variante 1: Sensoren/Aktoren mit integriertem AS i - Slavechip
 - Variante 2: Separates Aufschaltmodul

**Signal und Versorgung auf der selben Zweidrahtleitung**

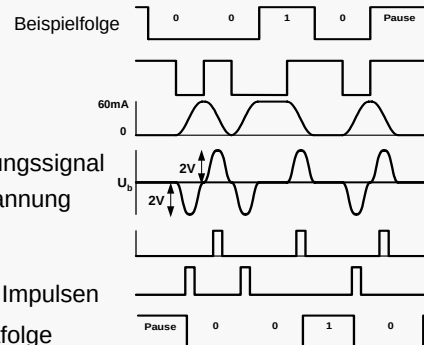
- Signal wird auf Gleichspannungsversorgung aufmoduliert
- Voraussetzung: Kein Gleichstromanteil der Signale

Realisierung mittels Alternierender Puls-Modulation (APM)Senderseite

- Soll-Bitfolge in Manchestercodierung
- Erzeugung eines Stromsignals
- Wandlung des Stromsignals in Spannungssignal
⇒ Aufschaltung auf Versorgungsspannung

Empfängerseite

- Detektion von positiven und negativen Impulsen
- Rückgewinnung der ursprünglichen Bitfolge



§ 3 Prozessperipherie

- 3.1 Schnittstellen zwischen dem technischen Prozess und dem Automatisierungs-Computersystem
- 3.2 Sensoren und Aktoren**
- 3.3 Darstellung der Prozessdaten in Automatisierungs-Computern
- 3.4 Ein-/Ausgabe von analogen Signalen
- 3.5 Ein-/Ausgabe von binären und digitalen Signalen
- 3.6 Feldbussysteme



Sensoren

Aufnehmer, Messwertaufnahmeeinrichtung

Aufgaben

- Erfassung physikalischer Prozessgrößen
- Umwandlung in eine zur Weiterverarbeitung geeignete Form
- Grenzwert-Überwachung
- Selbsttest
- Selbstkalibrierung
- Anpassung an ein Bussystem

Intelligente
Sensoren

Sinne des Automatisierungssystems



- Tr3** Die wichtigste Basis um eine Automatisierung vornehmen zu können ist die Möglichkeit Informationen aus dem technischen Prozess zu erhalten sowie aktiv in diesen einzugreifen. Die technischen Hilfsmittel dafür sind sog. Sensoren und Aktoren. Was man genau darunter versteht und wie sie arbeiten wird in diesem Kapitel erläutert.

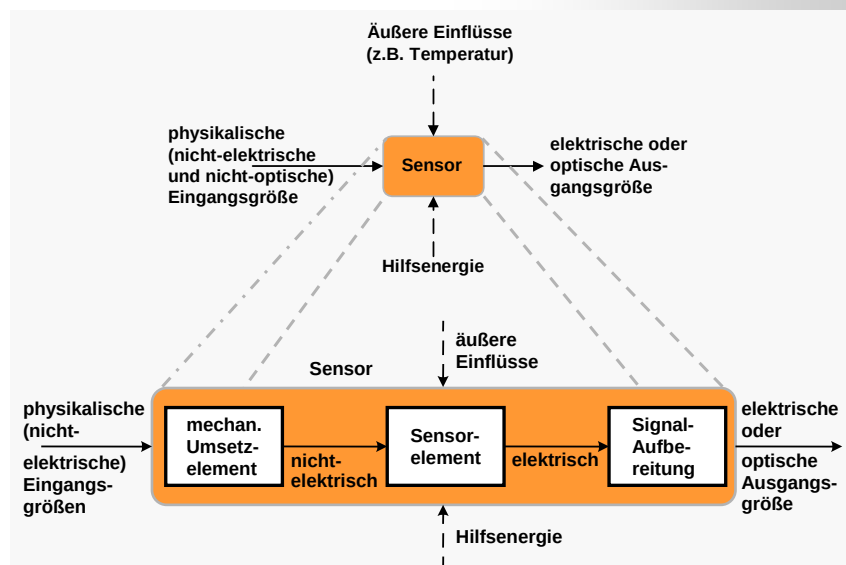
Traumüller; 13.11.2003

Sensorelement**Fühler, Geber****Aufgabe**

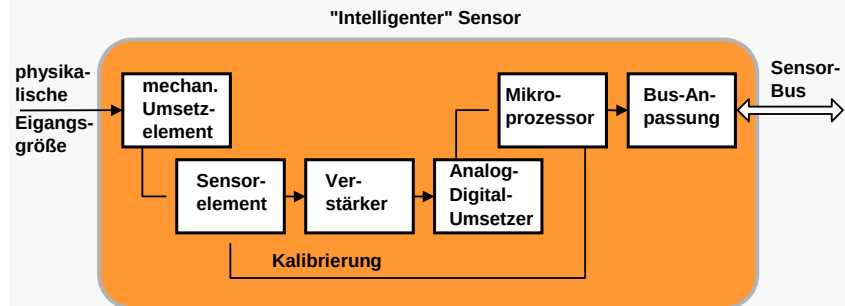
Wandlung einer nicht-elektrischen physikalischen Größe in eine elektrische oder optische Größe

Ausnutzung physikalischer Effekte

- Widerstandsänderung
- Änderung der Induktivität
- Änderung der Kapazität
- Piezoelektrischer Effekt
- Thermoelektrischer Effekt
- Photoelektrischer Effekt
- Wirbelstrom-Effekt
- Strahlungsabsorption

Sensor

Intelligenter Sensor



Klassifizierung nach der Art des Sensorausgangssignals

- binäre Sensoren
- digitale Sensoren
- amplitudenanaloge Sensoren
- frequenzanaloge Sensoren

Sensorsystem

Integration mehrerer Sensoren für verschiedene Prozessgrößen mit der Auswerteelektronik auf einem Bauelement

Binäre Sensoren

- Ja/ Nein-Information
- Grenzwertgeber/ Schwellwertgeber
- Beispiel: Endschalter, berührungslos arbeitende Gabellichtschranke

Digitale Sensoren

- Umwandlung der nichtelektrischen Messgröße in ein digitales Ausgangssignal
- Umsetzarten
 - **direkte Umsetzung**
Umwandlung des nichtelektrischen Signals mittels Codescheibe (Drehbewegung) oder Codelineal (Linearbewegung) in ein digitales Signal
 - **indirekte Umsetzung**
Umwandlung des nichtelektrischen Signals in amplituden-analoges Signal, dann Analog-Digital-Wandlung

Amplitudenanaloge Sensoren

- Umformung einer nichtelektrischen Messgröße in ein amplituden-analoges Ausgangssignal, d.h. Amplitude des elektrischen Ausgangssignals ist proportional der zu messenden physikalischen Größe
- Oft mit Umformerstufe im selben Gehäuse
 - Verstärkung
 - Normierung
 - Linearisierung
 - Temperaturkompensation
- Für alle wichtigen Messgrößen verfügbar

Frequenzanaloge Sensoren

- Liefern ein Wechselspannungssignal, dessen Frequenz der zu messenden physikalischen Größe proportional ist
- Vorteile:
 - Unempfindlichkeit gegen Störbeeinflussung auf den Übertragungsleitungen
 - einfache Frequenz-Digitalumsetzung durch Zähltechnik
 - kein Genauigkeitsverlust bei Verstärkung und Übertragung
 - einfache Potenzialtrennung mit Übertragern
- Selten im Vergleich zu amplitudenanalogen Sensoren

Arten

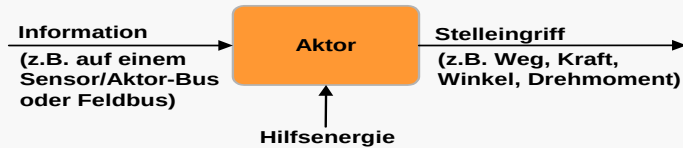
Physikalische Prozessgröße	Sensorelement	Ausgangsgröße
Temperatur	Thermoelement Metallische Widerstände Halbleiter-Widerstände (Heißleiter) Keramik-Widerstände (Kaltleiter)	mV Widerstandsänderung Widerstandsänderung Widerstandsänderung
Druck	Druckdose mit Membran und Dehnungsmessstreifen Druckdose mit Silizium-Membran (piezoresistiver Effekt)	Widerstandsänderung Widerstandsänderung
Kraft	Dehnungsmessstreifen Induktiver Kraftmessfühler Piezoelektr. Fühler	Widerstandsänderung Induktivitätsänderung Ladung
Drehzahl	Tachogenerator Impulszählung	V Impulsfolge
Beschleunigung	Silizium-Piezowiderstand Silizium-Kondensator	Widerstandsänderung Kapazitätsänderung
Durchfluss	Ringkolbenzähler Induktive Durchflussmesser	Impulsfolge mV
Annäherung	Hallelement aus Silizium	mV
Winkel	Winkelkodierer Impulsgeber	Digitalwert Impulsfolge
Feuchte	Lithiumchlorid-Feuchtefühler	mV
Lichtintensität	Photodiode Photowiderstand	µA Widerstandsänderung

Aktoren

Aufgabe von Aktoren ist die Umsetzung der vom Automatisierungs-Computersystem ausgegebenen Informationen in Stelleingriffe in dem technischen Prozess

Muskeln des Automatisierungssystems

Aktor als Wandler von Information in einen Stelleingriff



Aktoren für unterschiedliche Stellgrößen

- optische Größen
- mechanische Größen
- thermische Größen
- Durchflüsse

Aktoren mit mechanischer Ausgangsgröße

Aktorprinzip	Aktoren
Elektromechanische Bewegung	Elektromotor, Schrittmotor, Elektromagnet, Linearmotor
Hydraulischer Stellzylinder	Hydraulische Aktoren
Pneumatischer Stellzylinder	Pneumatische Aktoren
Piezoelektrischer Effekt	Piezoelektrische Aktoren, Elektrostriktive Aktoren
Magnetostriktiver Effekt	Magnetostriktive Aktoren
Elektorrheologischer Effekt	Elektorrheologische Aktoren
Magnetorheologischer Effekt	Magnetorheologischer Aktoren
elektrisch erzeugter Gasdruck	Chemische Aktoren
Bimetall-Effekt	Thermo-Bimetall-Aktoren
Memory-Metalle	Memory-Metalle-Aktoren
Silizium-Mikrotechnik	Mikromechanische Aktoren

§ 3 Prozessperipherie

- 3.1 Schnittstellen zwischen dem technischen Prozess und dem Automatisierungs-Computersystem
- 3.2 Sensoren und Aktoren
- 3.3 Darstellung der Prozessdaten in Automatisierungs-Computern**
- 3.4 Ein-/Ausgabe von analogen Signalen
- 3.5 Ein-/Ausgabe von binären und digitalen Signalen
- 3.6 Feldbussysteme

Arten von elektrischen Prozess-Signalen

- analoge Prozess-Signale
 - amplitudenanalog
 - frequenzanalog
 - phasenanalog
- binäre Prozess-Signale **Schalterstellung**
- digitale Prozess-Signale **n-Bit-Wort**
- Prozess-Signale in Form von Impulsen **Drehzahlgeber**
- Prozess-Signale in Form von Impulsflanken **Zustandsübergang einer Prozessgröße**

- Tr4** Nachdem im vorangehenden Kapitel die „Sinne“ und die „Muskeln“ des Automatisierungssystems betrachtet wurden wird nun diskutiert, wie die Informationen, die über Sensoren hereinkommen und die über Aktoren nach außen gegeben werden, in Automatisierungscomputern behandelt, gespeichert und abgelegt werden.

Traumüller; 13.11.2003

Umsetzung und Darstellung analoger Prozessgrößen

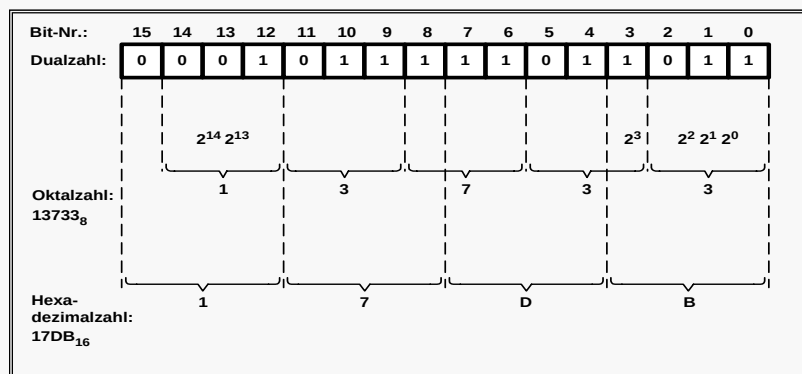
Analoge Prozessgrößen müssen vor ihrer Verarbeitung in einem Computersystem in eine digitale Größe umgesetzt werden. Dabei wird der analoge Wertebereich digital diskretisiert.

Darstellungsfehler (% vom Darstellungsintervall)	Wertverschlüsselung des Analog-Digital-Umsetzers		Erford. Wortlänge (Bytes)
	Bits	Dezimalzahlen	
0,39%	8	0 ... 255	1
0,1%	10	0 ... 1 023	2
0,025%	12	0 ... 4 095	2
0,006%	14	0 ... 16 383	2
0,0015%	16	0 ... 65 535	2

wichtig: Für die Darstellung **analoger** Prozessgrößen reicht eine Wortlänge von 16 Bit aus

Darstellung digitaler Prozessgrößen

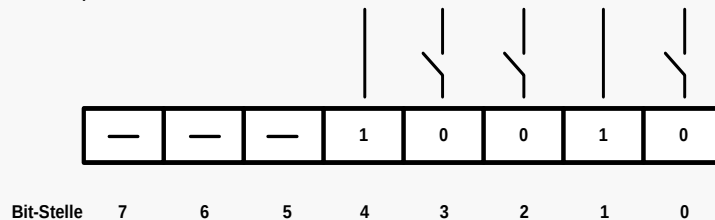
Digitale Prozessgrößen werden meist als Dual-, Oktal- oder Hexadezimalzahl angegeben. Die Abbildung veranschaulicht die Umrechnung in die einzelnen Systeme.



wichtig: Für die Darstellung **digitaler** Prozessgrößen reicht eine Wortlänge von 16 Bit in aller Regel aus

Darstellung von Kontaktstellungen

Kontaktstellungen werden häufig zu einem Rechnerwort zusammengefasst. Bei einer solchen Zusammenfassung müssen dann einzelne Bits zugreifbar und manipulierbar sein.



wichtig: Für die Darstellung **binärer** Prozessgrößen und **impulsförmiger** Prozessgrößen reicht eine Wortlänge von 16 Bit im allgemeinen völlig aus

Frage: Wozu 32-Bit-Rechner für Automatisierungsaufgaben?

größerer Adressraum, größere Rechengeschwindigkeit



§ 3 Prozessperipherie

- 3.1 Schnittstellen zwischen dem technischen Prozess und dem Automatisierungs-Computersystem
- 3.2 Sensoren und Aktoren
- 3.3 Darstellung der Prozessdaten in Automatisierungs-Computern
- 3.4 Ein-/Ausgabe von analogen Signalen**
- 3.5 Ein-/Ausgabe von binären und digitalen Signalen
- 3.6 Feldbussysteme



- Tr5** Physikalische Größen sind meist kontinuierliche Signale. Hier wird erklärt wie z.B. ein Temperaturwert tatsächlich dem Rechner zugeführt wird. Es wird besprochen wie die Eingabe und die Ausgabe analoger Signale sowie die Umsetzung/Umwandlung von analoger in digitale Information oder umgekehrt von statten geht.

Traumüller; 13.11.2003

Formen analoger Prozess-Signale

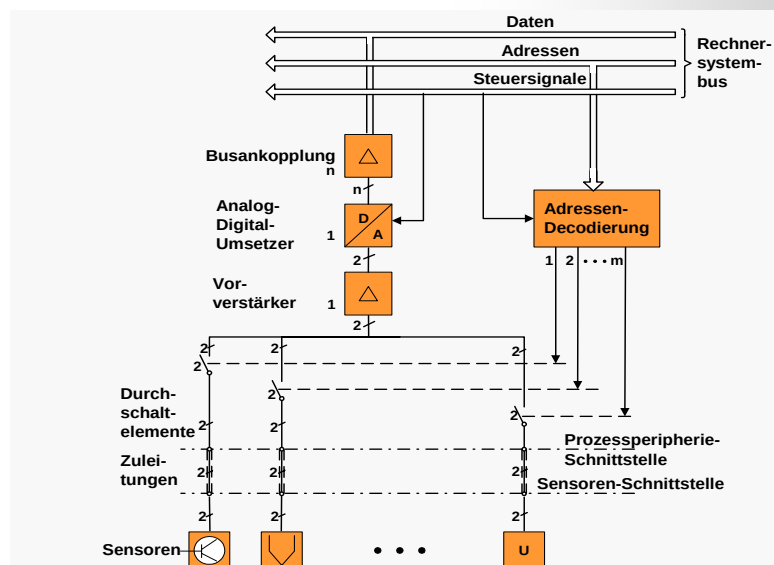
- elektrische Spannungssignale
- elektrische Stromsignale
- elektrische analoge Widerstandswerte

Formen der Signalwandlung

Realisierung ergibt sich aus Anforderungen des Gesamtsystems

- schnelle A/D-Wandlung **Signale werden sofort benötigt**
- langsame A/D-Wandlung **Ausnutzung der Verarbeitungszeit**

Grundsätzlicher Aufbau

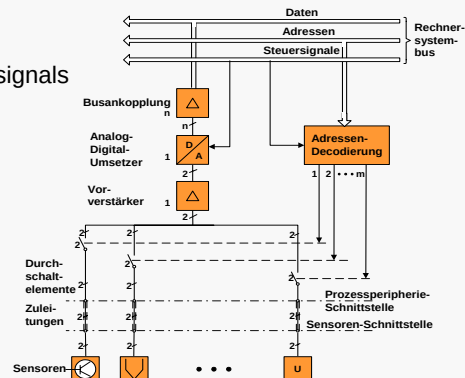


Schnelle Analog-Digital-Umsetzung

- **Schnelle** Analog-Digital-Umsetzung
ADU mit Umsetzzeit von 1-100 μ s, d.h.

Abtastfrequenz > 10.000 Werte pro Sekunde

1. Durchschaltung des Analogsignals zum ADU und Umsetzung
2. Eingabe des gewandelten Werts über den Datenbus



Langsame Analog-Digital-Umsetzung

- **Langsame** Analog-Digital-Umsetzung
ADU mit Umsetzzeit von > 100 μ s, d.h.

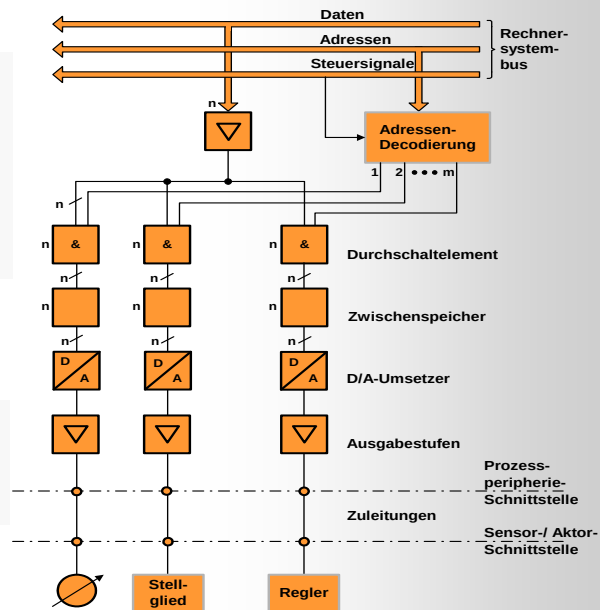
Abtastfrequenz < 10.000 Werte pro Sekunde

1. Adresse des einzugebenden Analogsignals wird zur Durchschaltung ausgegeben
2. Umsetzung in Digitalwert wird gestartet
3. Anderes Programm wird zur Ausnutzung der relativ langen Umsetzzeit gestartet
4. Wenn Umsetzung beendet ist, wird Interruptsignal erzeugt
5. Entsprechendes Interruptprogramm liest gewandelte Informationen ein

Analog-Ausgabe

Umsetzung der vom Automatisierungs-Computer kommenden digitalen, zeitdiskreten Werte in kontinuierliche Signale

Prinzipieller Aufbau eines Analog-Ausgabe-Moduls

**Hinweise zur Analog-Ausgabe**

- Zwischenspeicher wird benötigt, um Informationen am Durchschaltelement zu speichern
- Analoge Stelleingriffe sehr häufig über Stellmotoren, die mit Binärsignalen über die Digital-Ausgabe angesteuert werden
- Analoges Ausgabewert entspricht der Zeitdauer der Binärsignalausgabe

Arten von Analog-Digital-Umsetzern (ADU)

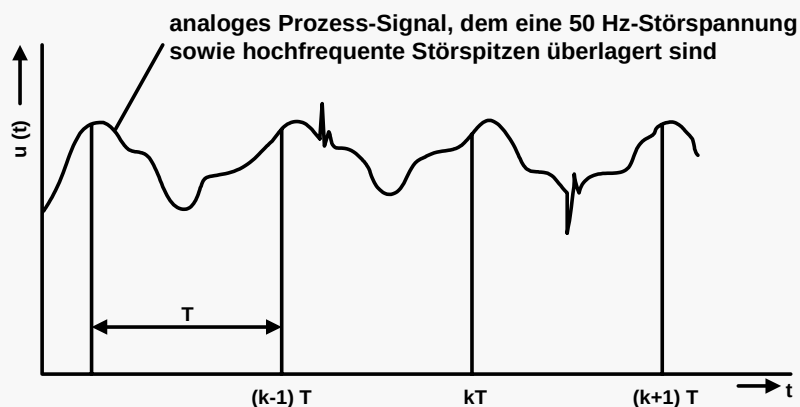
- **Momentanwertumsetzer**
 - Einzelne Werte eines analogen Prozess-Signals werden abgetastet und in digitale Werte umgesetzt
- **Integrierende Umsetzer (Mittelwertumsetzer)**
 - Analoges Prozess-Signal wird über eine Periode T der Netzfrequenz integriert und der Mittelwert gebildet
 - Mittelwert wird in digitalen Wert umgesetzt

$$u(kT) = \frac{1}{T} \int_{(k-1)T}^{kT} u(t) dt$$

- Vorteil: hohe Mess-Sicherheit
- Vergleichsweise geringer Aufwand
- Ausschaltung von hochfrequenten, aperiodischen Störspitzen
- Unterdrückung von netzfrequenten Störspannungen
- Nur für relativ langsam veränderliche Prozess-Signale anwendbar

Prinzip des integrierenden ADU

$$u(kT) = \frac{1}{T} \int_{(k-1)T}^{kT} u(t) dt$$



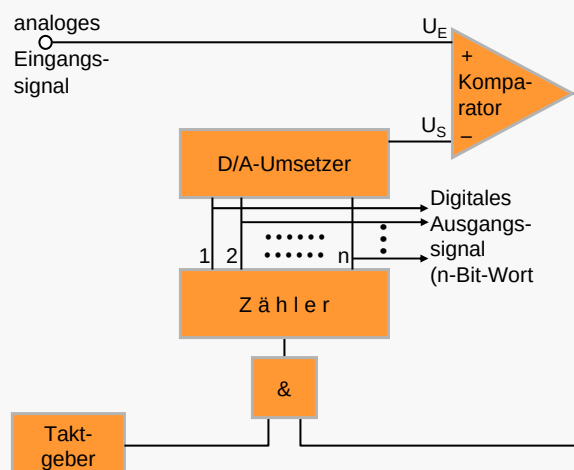
T = Vielfaches von 20 ms bei 50 Hz Netzfrequenz

Umsetzverfahren für ADU

	Momentanwertumsetzer	Mittelwertumsetzer
Vorteil	hohe Umsetzgeschwindigkeit $10^4 \dots 10^8$ Werte/s	hohe Störspannungs- unterdrückung
Nachteil	Störimpulse bewirken Verfälschung der Digitalwerte	Geringe Umsetzgeschwindigkeit
Umsetzver- fahren	Zählmethode, Stufenmethode, direkte Methode	Spannungszeit- oder Spannungsfrequenz- Umsetzer

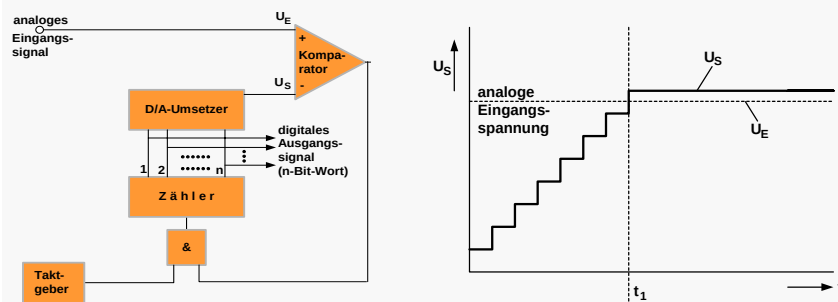
Momentanwert-ADU nach dem Zählverfahren

Prinzipieller Aufbau



Prinzipielle Vorgehensweise

- U_S am Ausgang des DAU's
- Vergleich mit U_E
- Bei Gleichheit erfolgt keine Zähleransteuerung
- anderenfalls wird Zähler (im Takt) erhöht
- neues Zählersignal wird D/A-gewandelt
- Verfahren wird solange wiederholt, bis $U_S > U_E$

**Umsetzzeit beim Momentanwert-ADU nach dem Zählverfahren**

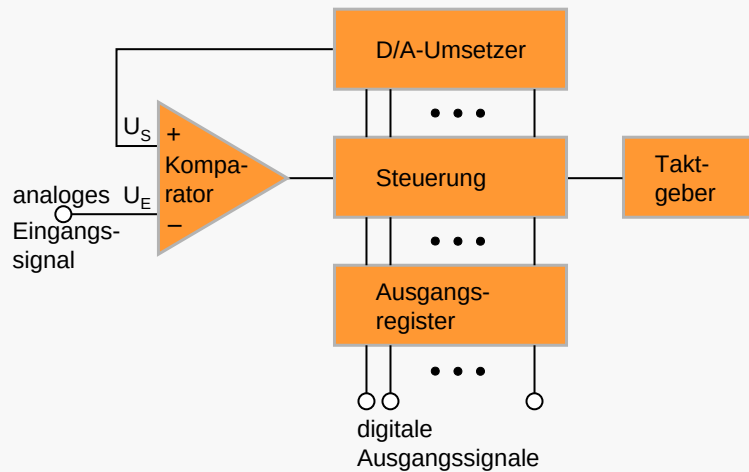
Umsetzzeit T ist abhängig von

- Einschwingverhalten DAU's
- Schaltgeschwindigkeit des Komparators
- Eingangsspannung
- Wortlänge n des digitalen Ausganges (max. 2^n Schritte)
- Taktfrequenz f

**Taktfrequenz hängt wiederum von
Einschwingzeit des DAU und Schaltgeschwindigkeit des Komparators ab**

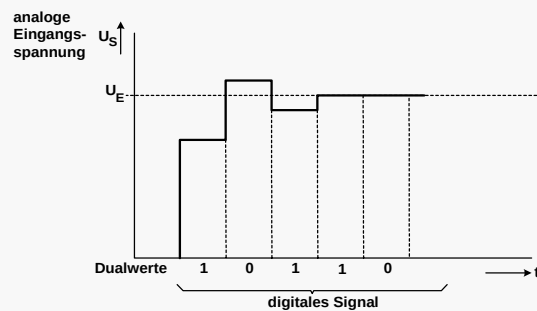
Momentanwert-ADU nach der Stufenmethode

Prinzipieller Aufbau



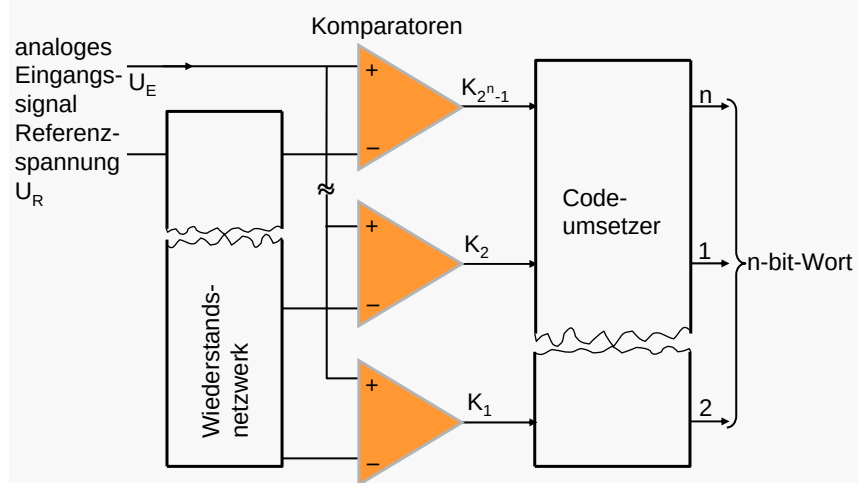
Prinzipielle Vorgehensweise

- Steuerung setzt höchstwertiges Bit (MSB = Most significant Bit)
- U_S am Ausgang des DAU's
- Vergleich mit U_E
- ist $U_E > U_S$ bleibt MSB gesetzt, sonst zurückgesetzt
- Verfahren wird für die weiteren Bits wiederholt
- nach letztem Vergleich (Bit n) steht der Wert des analogen Eingangssignals digital codiert im Ausgangsregister



Umsetzzeit beim Momentanwert-ADU nach der Stufenmethode**Umsetzzeit T**

- konstant (nach n Schritten liegt Ergebnis vor)
- $T = n/f$
- Begrenzung durch
 - Einschwingzeit des DAU
 - Schaltzeit des Komparators

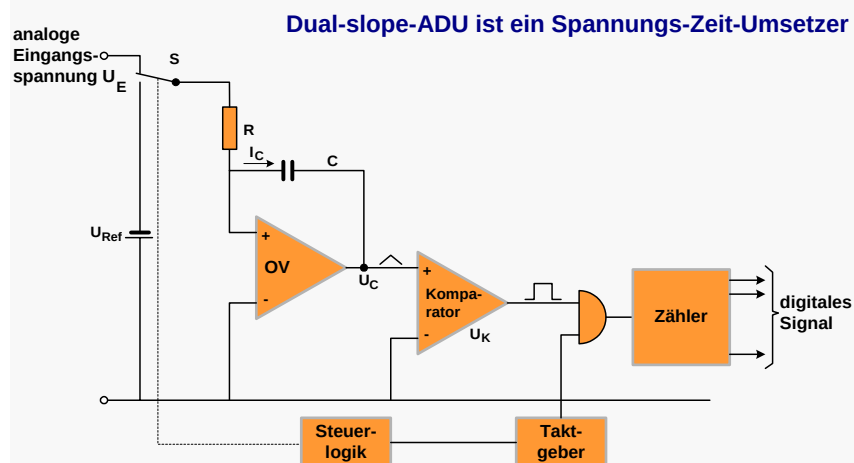
Momentanwert-ADU nach dem Parallelumsetzverfahren**Prinzipieller Aufbau**

Prinzipielle Vorgehensweise

- Eingangssignal wird auf $2^n - 1$ Komparatoren gegeben
- Über Widerstandsnetzwerk mit Referenzspannungsquellen werden Vergleichsspannungen erzeugt
- Umwandlung durch Codeumsetzer in n-Bit-Wort

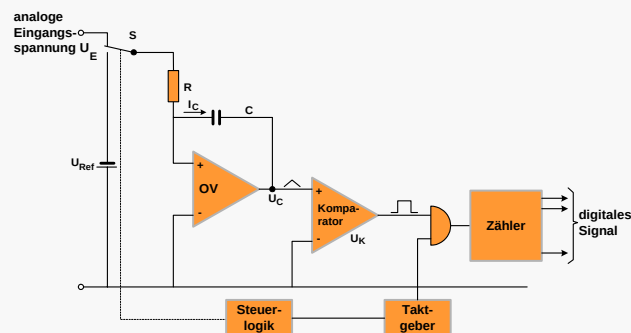
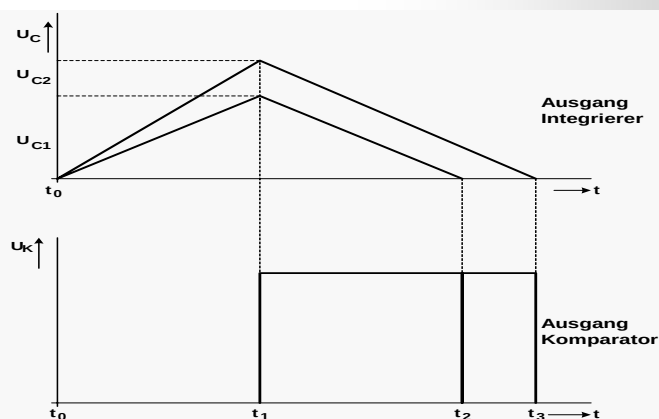
Umsetzzeit beim Parallelumsetzverfahren

- Abhängig von der Schaltgeschwindigkeit der Komparatoren und des Codeumsetzers
- 10^8 Werte/sec
- Sehr aufwändig, 8-Bit ADU benötigt $2^8 - 1$ Komparatoren

Integrierender ADU nach dem "Dual-slope-Verfahren"**Prinzipieller Aufbau**

Prinzipielle Vorgehensweise

- Kondensator C wird von t_0 bis t_1 mit dem Strom $I_C = U_E / R$ geladen
- U_{Ref} wird am Eingang des Integrierers nach t_1 angelegt
- Kondensator C wird entladen, U_E bestimmt Zeitdauer der Entladung
- Zeit bis $U_C = 0V$ ist direkt proportional zu U_E
- Zeitdauerermessung durch Zähler, der Impulse eines Taktgebers zählt

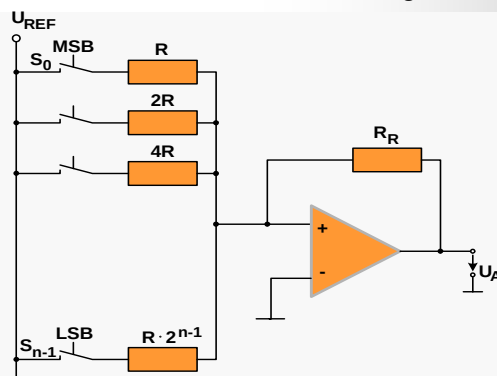
**Signalverläufe im ADU nach dem "Dual-slope-Verfahren"****Vorteile**

- Langzeitveränderungen gehen nicht in die Messung ein
- Genauigkeit ist unabhängig vom Produkt $R \cdot C$, nur abhängig von der Genauigkeit der Referenzquelle und der Operationsverstärker

Arten von Digital-Analog-Umsetzern (DAU)

- Großteil der DAUs arbeitet nach dem Direktverfahren mit Widerstandsnetzwerk
- Unterschiedliche Ausprägungen des Widerstandsnetzwerks
- Mögliche Arten der Realisierung
 - DA-Umsetzung durch Summation gewichteter Ströme
 - DA-Umsetzung mit einem Leiternetzwerk

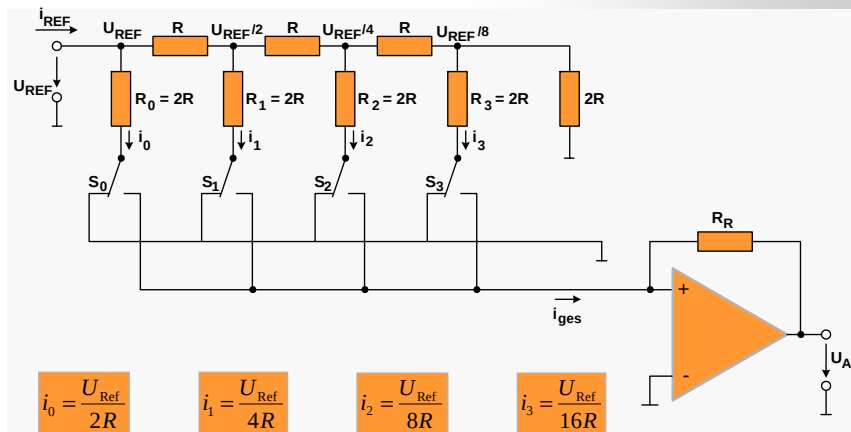
Realisierung eines DAU durch Summation gewichteter Ströme



Nachteile:

- stark unterschiedliche Potenziale an den Schaltern (Bipolare Transistoren oder Feldeffekttransistoren)
- erforderliche Genauigkeit der stark unterschiedlichen Widerstandswerte sehr schwer einzuhalten

Realisierung eines DAU's mit Hilfe eines Leiternetzwerkes



- Ströme addieren sich je nach Schalterstellung zum Strom i_{ges}
- Operationsverstärker erzeugt U_A
- Schalter sind meist bipolare Transistoren oder Feldeffekttransistoren



§ 3 Prozessperipherie

- 3.1 Schnittstellen zwischen dem technischen Prozess und dem Automatisierungs-Computersystem
- 3.2 Sensoren und Aktoren
- 3.3 Darstellung der Prozessdaten in Automatisierungs-Computern
- 3.4 Ein-/Ausgabe von analogen Signalen
- 3.5 Ein-/Ausgabe von binären und digitalen Signalen**
- 3.6 Feldbussysteme



- Tr6** Informationen für Prozesse liegen nicht nur in analoger sondern auch in digitaler oder binärer Form vor. Jetzt werden in diesem Kapitel diese letztgenannten Signale genauer betrachtet.
Traumüller; 13.11.2003

Digital-Eingabe

- Eingabe von einzelnen binären Prozess-Signalen
Bsp.: Endschalter, Maximalwertgeber
- Eingabe von Gruppen von binären Prozess-Signalen
Bsp.: Stellung mehrstufiger Schalter

Arten der binären Eingabesignale

- Binäre Spannungseingabe
- Binäre Stromeingabe
- Binäre Kontakteingabe
 - Stromversorgung für Kontaktgeber
 - Einrichtung zur Unterdrückung von Kontaktprellungen

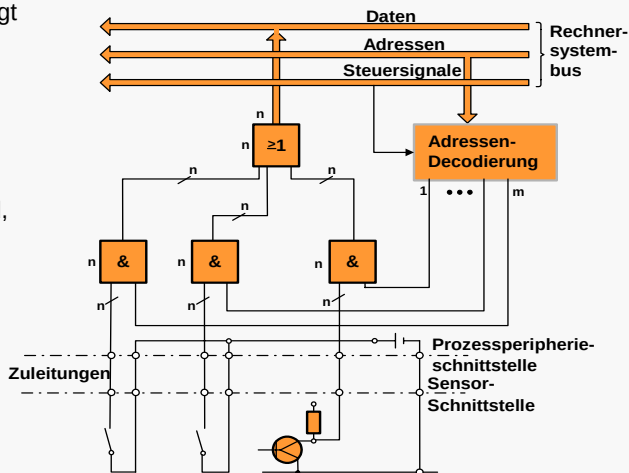
Unterscheidung bezüglich Signalparameter

- Statische Digital-Eingabe
 - High and Low für binäres Signal entsprechen den zwei Zuständen
- Dynamische Digital-Eingabe (Impulseingabe)
 - Flanken des Signals dienen als binäre Signalparameter
 - Übergang von High auf Low und umgekehrt setzt zugeordnetes Speicherelement
 - Spontane Digital-Eingabe falls Interrupt ausgelöst wird

Grundsätzlicher Aufbau einer statischen Digital-Eingabe

Eingabeoperation erfolgt in zwei Schritten:

1. Bereitstellung der Adresse der Binärsignale, die zu einer Gruppe zusammengefasst sind, auf dem Adressbus.
2. Durchschalten der adressierten Binärsignale zum Datenbus

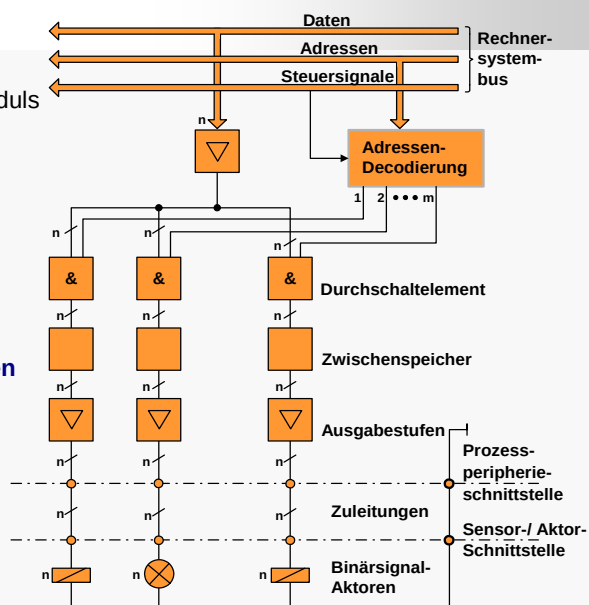


Digital-Ausgabe

Grundsätzlicher Aufbau eines Digital-Ausgabe-Moduls

- Ausgabe von einzelnen Binärsignalen
- Ausgabe einer Gruppe von Binärsignalen

Zur Realisierung von Dauersignalen



Arten der binären Ausgabesignale

- Spannungsausgabe
- Stromausgabe
- Ausgabe potenzialfreier Kontaktstellungen

Durchführung von Digital-Ausgaben

- Ausgabesignal vom Prozess-Rechner ist nur dann gültig, wenn entsprechende Adresse an Adressbus anliegt
- Ansteuerung von Geräten (Schütze, Relais, Lampen) benötigen Dauersignal als Eingangssignal
 - ⇒ Zwischenspeicher

Ausgabeoperation in drei Schritten:

1. Bereitstellung der Adresse des auszugebenden Wortes
2. Ausgabe der angewählten Binärsignale in den Zwischenspeicher
3. Ausgabe des Dauersignals aus dem Zwischenspeicher

**§ 3 Prozessperipherie**

- 3.1 Schnittstellen zwischen dem technischen Prozess und dem Automatisierungs-Computersystem
- 3.2 Sensoren und Aktoren
- 3.3 Darstellung der Prozessdaten in Automatisierungs-Computern
- 3.4 Ein-/Ausgabe von analogen Signalen
- 3.5 Ein-/Ausgabe von binären und digitalen Signalen

3.6 Feldbussysteme

Tr7 Feldbussysteme sind in der Automatisierungstechnik eine wichtige, effiziente und Kosten sparende Möglichkeit Informationen auszutauschen. Der Abschnitt enthält zuerst Informationen darüber, welche Arten von Feldbussystemen es überhaupt gibt. Dann werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Zugriffsverfahren erörtert. Anschließend werden 3 heute eingesetzten Feldbussysteme besprochen (Profibus, Interbus-S und CAN-Bus) und schließlich wird als Abschluss ein modernes, zur Zeit immer stärker in den Vordergrund tretendes zeitgesteuertes Bussystem erläutert. Es wird also diskutiert wie die oben besprochenen Informationen über Feldbussysteme abgearbeitet werden, wie die Informationen in Programme kommen und wie mit den Informationen eine Kommunikation durchgeführt werden kann.

Traumüller; 13.11.2003

Motivation für die Einführung von Feldbussystemen

Schwächen konventioneller Verbindungstechniken:

- **1 Leitung pro Bauelement sehr aufwändig**
- **unflexibel bei Änderungen und Erweiterungen**

⇒ Einsatz serieller Bussysteme für Kommunikation zwischen den Sensoren/Aktoren und dem Automatisierungs-Computersystem zur Senkung der Projektierungs- und Installationskosten

Anwendungsbereiche:

- Gebäudeautomatisierung
- Produktionsautomatisierung
- Kfz-Elektronik (Steuerung + Überwachung)
- Anlagenautomatisierung

Anforderungen an Feldbus-Systeme

Man unterscheidet zwischen allgemeinen Anforderungen wie

- Zuverlässige Kommunikation unter allen Umgebungsbedingungen,
- Einfache Handhabung durch Instandhaltungspersonal,
- Einfache und robuste Anschlusstechnik,
- Eigensicherheit in explosionsgefährdeten Bereichen,

und anwendungsbezogenen Anforderungen wie

- Anzahl der Ein-/Ausgangssignale,
- Komplexität,
- Granularität,
- Anlagenausdehnung,
- Echtzeitanforderungen.

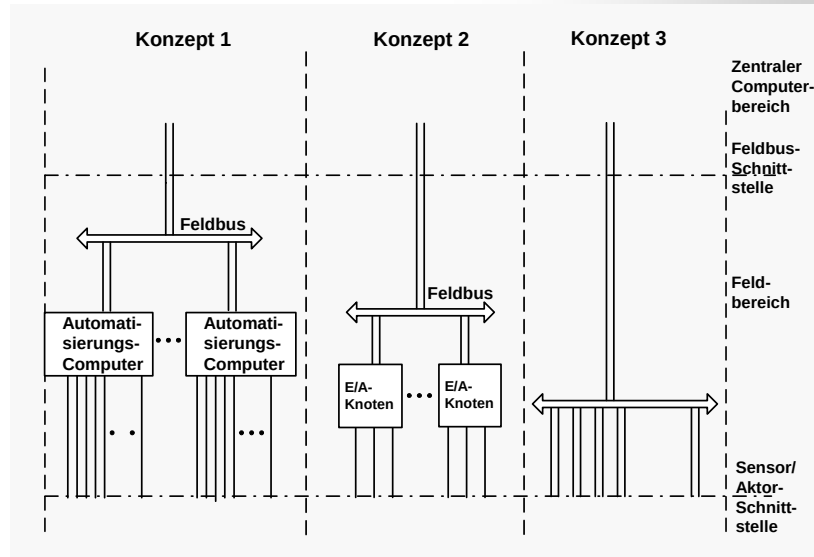
Terminologie

Feldbereich:	Jener Teil des Automatisierungssystems welcher in räumlicher Nähe oder direkter Verbindung zum technischen Prozess steht
Feldgeräte:	Mess-, Schalt- und Stellgeräte, Regeleinrichtungen und Bediengeräte, die direkt mit dem technischen Prozess in Interaktion treten
Feldbussysteme:	Serielle Datenkommunikationssysteme für den Datenaustausch im Feldbereich. Hier besonders Anforderungen an die Sicherheit der Datenübertragung: Datenintegrität, EMV-Resistenz

Feldbussysteme

Beispiele	Hersteller und Haupteinsatzgebiet
– AS-Interface	11 Aktor-/Sensorhersteller, Einfache Schnittstelle binärer Feldgeräte
– INTERBUS-S	Phoenix Contact Einsatz in Fertigungsautomatisierung
– PROFIBUS (Process Field Bus)	„Verbundprojekt Feldbus“ europäischer Feldbusstandard
– Foundation Fieldbus	Fieldbus Foundation amerikanischer Feldbusstandard
– FIP (Flux Information Processbus)	franz.- ital. Konsortium französischer Feldbusstandard
– CAN	BOSCH Haupteinsatzgebiet in Kfz-Industrie
– EIB (European Installation Bus)	Hersteller Elektroinstallationstechnik Gebäudeautomatisierung

Klassifizierung von Feldbuskonzepten



Arten von Bus-Zugriffsverfahren

Bus-Zugriffsverfahren = Regeln für das Senden von Nachrichten

- Deterministischer Buszugriff
 - Festgelegtes Verfahren für Sendeberechtigung
 - Antwortzeitverhalten vorhersagbar

Bsp.: Master/Slave-Verfahren, Token-Passing-Verfahren, TDMA-Verfahren
- Zufälliger Buszugriff
 - Permanentes Mithören
 - Ereignisgesteuerte Kommunikation
 - Niedrige mittlere Busbelastung
 - Antwortzeitverhalten nicht vorhersagbar

Bsp.: CSMA-Verfahren (CSMA/CD, CSMA/CA)

Master /Slave-Verfahren

– Prinzip

- Übergeordneter Busteilnehmer (Master) steuert Buszugriff
- Kommunikation immer zwischen Master und Slaves

– Vorteile:

- Einfache Organisation
- Sichergestellte Maximalzeit

– Nachteile:

- Maximale Latenzzeit proportional zur Anzahl der Busteilnehmer
- Bei Ausfall des Masters keine Kommunikationsbeziehung mehr möglich

Beispiele: AS-Interface, Bitbus, Profibus

Token-Passing-Verfahren

Weitergabe des Token (Senderecht) von Teilnehmer zu Teilnehmer nach einer maximalen Zeitdauer.

Arten des Token-Passing-Verfahrens

- Token Bus
 - Linientopologie
 - logische Folge von Teilnehmern
- Token Ring
 - Ringtopologie
 - Reihenfolge des Senderechts entspricht physikalischer Reihenfolge

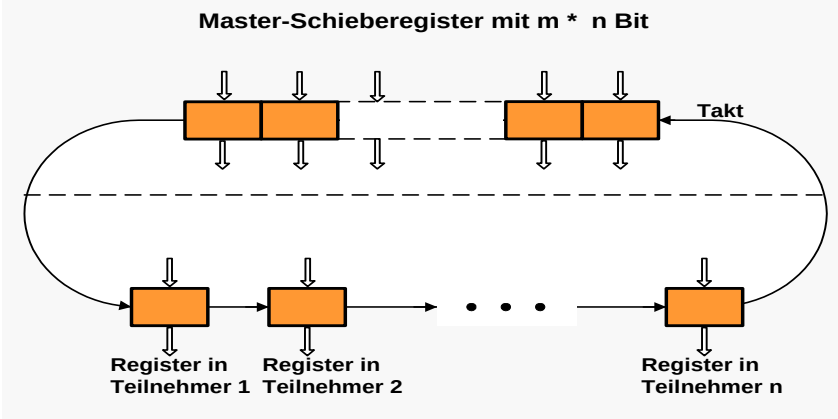
Vorteile + gutes, vorhersagbares Echtzeitverhalten
 + sehr gute Hochlasttauglichkeit

Nachteile - lange Verzögerungszeiten im Fehlerfall
 - Überwachung der Tokenweitergabe
 - Reinitialisierung nach Tokenverlust

Beispiel: Profibus

TDMA-Verfahren (1)**Time Division Multiple Access**

- Jeder Teilnehmer innerhalb einer Periode (TDMA-Zyklus) bekommt einen oder mehrere Zeitschlitz bestimmter Länge
- Prinzip des verteilten Schieberegisters

**TDMA- Verfahren (2)****Vorteile**

- kurze, konstante Zykluszeit
- geringer Protokoll Overhead

Nachteile

- zeitliche Synchronisierung der Teilnehmer notwendig
- ungeeignet für autonome Teilnehmer
- wenig flexibel, keine dynamische Anpassung

Beispiel: INTERBUS-S

Verfahren mit zufälligem Bus-Zugriff

CSMA-Verfahren

Carrier Sense Multiple Access

- Prinzip:
Jeder Teilnehmer hat Buszugriff ohne explizite Senderechtszuteilung.
(Multiple Access)
- Ablauf eines Sendevorgangs:
 - 1) jeder Teilnehmer prüft, ob Bus frei (Carrier Sense)
 - 2) wenn frei, Sendeversuch
 - 3) im Falle von Kollisionen, Wiederholung des Sendeversuchs
- Unterschiedliche Arten des CSMA-Verfahrens:
 - CSMA-CD (Collision Detection)
 - CSMA-CA (Collision Avoidance)

CSMA/CD-Verfahren (Collision Detection)

- Erkennung von Kollisionen durch Datenabgleich
- Sendewiederholung nach teilnehmerspezifischer Wartezeit

Vorteile

- niedrige Busbelastung
- kurze Latenzzeit im Niederlastbereich

Nachteile

- im Hochlastbereich lange Wartezeiten

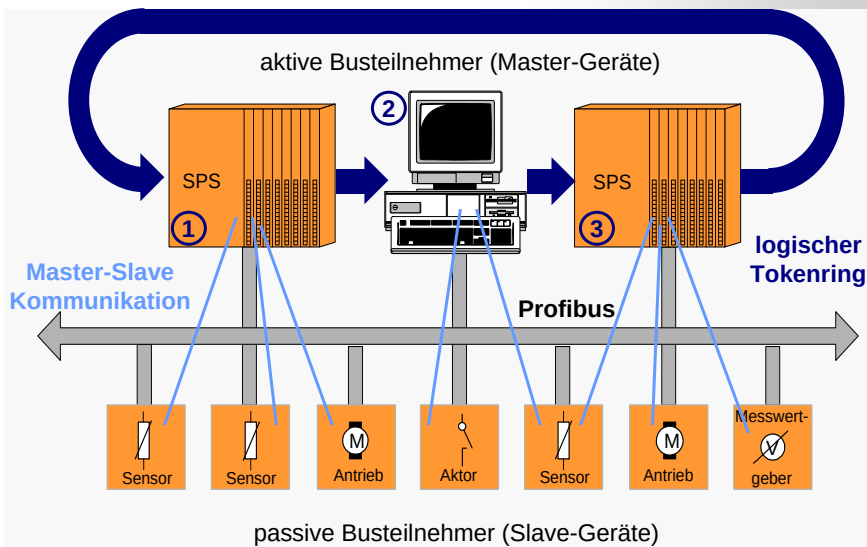
CSMA/CA-Verfahren (Collision Avoidance)**Vermeidung von Kollisionen durch Prioritätsregeln****Prioritätsregeln**

- Adress-Arbitrierung
Teilnehmer mit niedrigster/ höchster Adresse setzt sich bei gleichzeitigem Sendeversuch durch.
Beispiel: CAN- Bus
- Zeitspanne-Zuordnung
Nach Beendigung einer Sendung teilnehmerspezifische Wartezeitspanne

PROFIBUS

- Feldbusfamilie:
 - PROFIBUS - DP (Dezentrale Peripherie)
 - PROFIBUS - FMS (Field Message Specification)
 - PROFIBUS - PA (Prozess-Automatisierung)
- Unterscheidung von Master- und Slave-Teilnehmern
- Master-Teilnehmer (aktive Teilnehmer)
 - Sendung von Nachrichten ohne Aufforderung bei Tokenbesitz**Token-Passing-Verfahren für aktive Teilnehmer**
- Slave-Teilnehmer (passive Teilnehmer)
 - kein Tokenbesitz möglich
 - Quittierung von Nachrichten
 - auf Anfrage Nachrichtenübermittlung**Master-Slave-Verfahren zwischen aktiven und passiven Teilnehmern**

Hybrides Zugriffsverfahren beim PROFIBUS



Interbus-S

– Zielsetzung:

Zyklisch anfallende Daten im Sensor-Aktor-Bereich ohne großen Overhead zu übertragen.

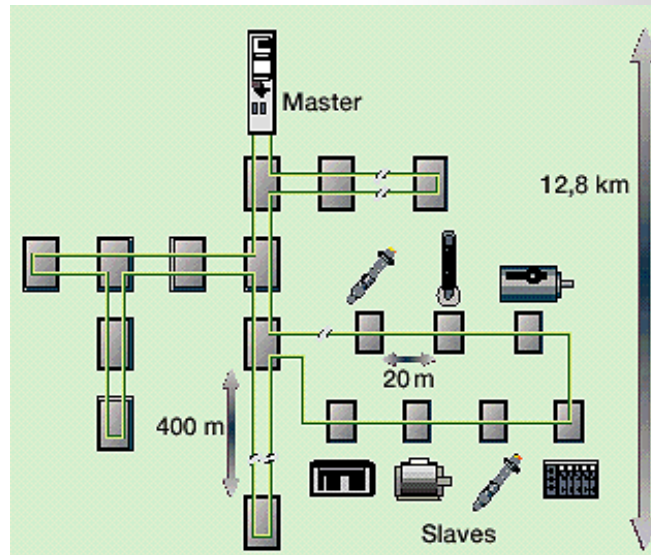
– Topologie:

- aktiver Ring
- Master-Slave-Verfahren, feste Telegramm-Länge, deterministisch Ring
- Übertragungsrate: 500 kBit/s
- max. 4096 E/A-Punkte
- Buslänge: 400m (zwischen zwei Fernbus-Teilnehmern)
- Gesamtlänge: 13km

– Physikalische Adressierung:

Die Zuweisung der Daten zu den einzelnen Teilnehmern erfolgt nicht, über die Vergabe einer Busadresse, sondern automatisch über die physikalische Lage der Teilnehmer im System.

Beispiel einer Interbus-Anordnung



Prinzip des Schieberegisters

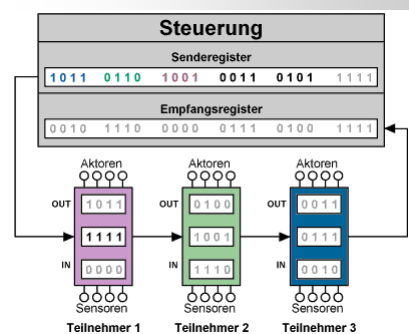
- Der Interbus ist ein geschlossener Schieberegisterring.
- Die Informationen fließen nur in eine Richtung.
- Die Informationen werden nacheinander durch den gesamten Ring geschoben.

Protokoll

Im Senderegister liegen die Daten für die Teilnehmer bereit (TN1, TN2 und TN3).

Am Anfang der Datenkette steht das Loopback, am Ende das FCS und Control.

[Quelle: Interbus ONLINE-Seminar, www.interbus.com]



CAN (Controller Area Network)

von Bosch/Intel für den Einsatz im **Automobilbereich** entwickelt

- Airbag
- ABS
- Motormanagement
- Klimaanlage

**Gebäudeleittechnik**

- Aufzugsteuerung
- Überwachung
- Alarmanlagen
- Klima

Industrie-Automatisierung

- Verfahrenstechnik
- Werkzeugmaschinen

Eigenschaften des CAN

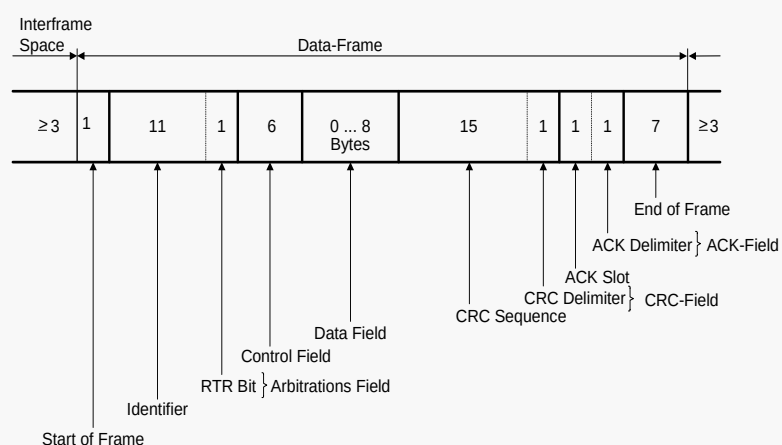
- Nachrichtenorientierte Adressierung
Auf einem Knoten können mehrere Objekte liegen, Objekt wird adressiert, nicht der Knoten.
- Multimaster-Buszugriffstechnik
- Busvergabe nach Prioritäten bei Zugriffskonflikt durch nichtzerstörende, bitweise Arbitrierung nach dem CSMA/CA-Verfahren
- Kurze Botschaftslänge (0...8 Byte)
- Übertragungsraten bis 1Mbit/s (bei max. 40m Buslänge)
- Verschiedene Fehlererkennungsmechanismen
- Selbsttest durch Fehlerzähler
Verursacht ein Knoten zu viele Fehler, so koppelt er sich schrittweise vom Bus ab.

CAN für elektromagnetisch stark gestörte Umgebungen

Störungserkennungsmechanismen

- Bit stuffing und destuffing nach 5 Bits gleichen Logikzustands ein Bit des entgegengesetzten Logikzustands, stuffing durch den Sender destuffing durch den Empfänger
- 15 BIT CRC (Cyclic Redundancy Check)
zyklischer Binärcode mit
64 Nachrichtenstellen
15 Kontrollstellen
Hammingdistanz $d = 6$
⇒ Restfehlerwahrscheinlichkeit $P = 4.7 \times 10^{-16}$
Ethernet $P_{RE} = 10^{-7}$
- Buspegelüberprüfung
simultanes Zurücklesen
- Botschaftsrahmensicherung
Prüfung des Rahmens auf Richtigkeit

Datenrahmen



Prinzip der Zeitsteuerung

Zeitsteuerung = Aktionen werden durch das Fortschreiten der Zeit ausgelöst

Vorteile der Zeitsteuerung

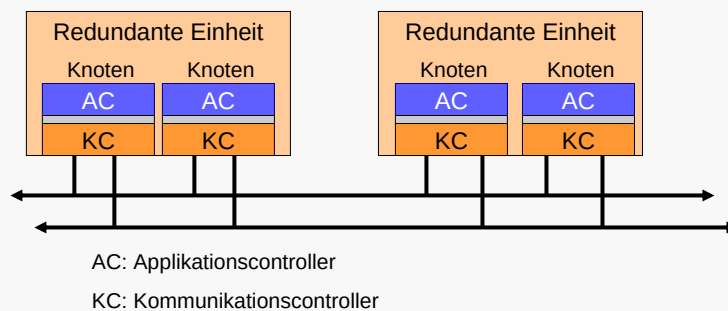
- Determinismus:
 - Sicherheitseigenschaften einfacher nachprüfbar
- Synchronisierung der Applikationen auf verschiedenen Knoten
 - Kopplung von Redundanzen zur Realisierung von Fehlertoleranz
 - Verteilung einer geschlossenen Wirkungskette zur Realisierung von verteilten Regelungsanwendungen

→ Einsatz in sicherheitskritischen Bereichen, z.B. x-by-wire

Nachteile der Zeitsteuerung

- Unflexibel bzgl. unvorhergesehener Ereignisse
- Unflexibel bzgl. nachträglichen Erweiterungen und Veränderungen des Systems

Aufbau einer zeitgesteuerten Architektur



- *verteiltes System (Cluster)*: Menge von *Knoten*, die über ein *Bussystem* kommunizieren
- statische Hardware-Redundanz: zwei oder mehrere Knoten nehmen dieselbe Aufgabe wahr
 ↓ Bildung von redundanten Einheiten
- Bussystem ebenfalls redundant ausgelegt

Eigenschaften des zeitgesteuerten Kommunikationssystems

- Synchronität:
Alle Busteilnehmer beziehen sich auf eine globale Uhr
- Zeitschlitzverfahren:
Jeder Busteilnehmer hat Zugriff auf den Bus zu einem bestimmten vorher festgelegten Zeitintervall
- Statisches Nachrichtenscheduling:
Die Sendezeitschlitze (Nachrichtenfahrplan) werden vor der Laufzeit statisch festgelegt
- Integriertes Netzwerkmanagement:
Erkennen eines Knotenausfalls, Integration von Knoten
- Redundanzmanagement:
Jeder beliebige Einfachfehler wird toleriert

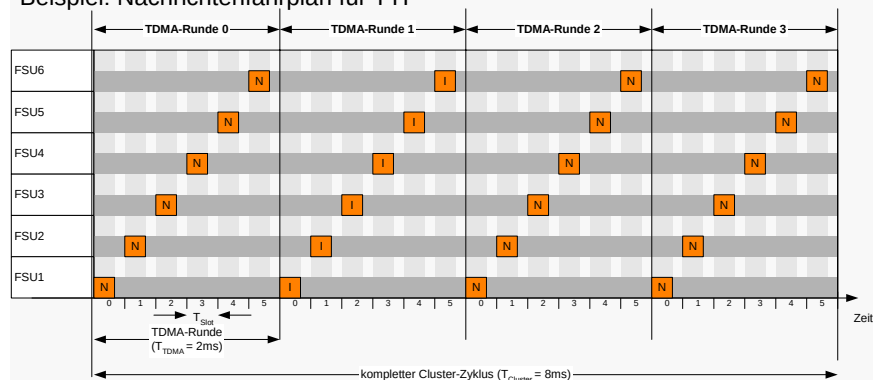
Beispiele:

TTP: TU Wien, TTTech

FlexRay: FlexRay-Consortium (BMW, DC, Bosch, Motorola, Philips)

Nachrichtenfahrplan

Beispiel: Nachrichtenfahrplan für TTP



Legende: N Normal-Frame I Initialization-Frame

Nachteil: Unflexibilität bzgl. unvorhergesehener Ereignisse

→ Ansätze wie z.B. FlexRay:
Integration zusätzlicher Nachrichtenframes für dynamische Inhalte

Frage zu Kapitel 3.2

Sie sollen einen Füllstandssensor für einen Wassertank entwerfen.

Welche Größen können zur Füllstandbestimmung herangezogen werden?
Welche Arten von Sensorelementen können Sie verwenden ?

Antwort

- **Abstands-Messung**
 - Schwimmer mit Potenziometerschaltung
 - Ultraschall-Sensor
 - kapazitiver Sensor
- **Druck-Messung**
 - Druckdose mit Membran und Dehnmessstreifen
 - Druckdose mit piezoelektrischen Element
- **Gewichts-Messung**
 - Gleichgewichtsmessung mittels Kraftmesser
(Dehnmessstreifen oder piezoelektrisches Element)

Frage zu Kapitel 3.3

Ein Motor soll drehzahl geregelt werden. Dafür wird der Eingangsstrom mit einem induktiven Sensor und die Drehzahl an der Welle mit einer Lichtschranke erfasst. Im Falle eines zu starken Eingangsstroms soll der Motor über einen Schütz automatisch abgeschaltet werden.

Welche Arten von Prozess-Signalen können Sie identifizieren ?

Antwort

- Die Erfassung des Eingangsstroms mit einem induktiven Sensor liefert ein **analoges** Prozess-Signal.
- Die Erfassung der Drehzahl mittels Lichtschranke liefert ein **impulsförmiges** Prozess-Signal.
- Der Abschaltbefehl stellt ein **digitales** Prozess-Signal dar.

Frage zu Kapitel 3.4

Der Mittelwert-Umsetzer ist ein Analog-Digital-Umsetzer. Welche der folgenden Aussagen trifft zu?

Antwort

- ☐ Es werden immer die Werte in der Mitte eines Intervalls abgetastet.
- ☒ Netzfrequente Störspannung werden unterdrückt.
- ☐ Der Umsetzer ist nur bei sehr schnell veränderlichen Signalen anwendbar.
- ☒ Die Integration erfolgt über ein Vielfaches der Periode der Netzfrequenz.
- ☒ Es wird ein vergleichsweise geringer Aufwand zur Realisierung benötigt.
- ☒ Es handelt sich um ein zeitdiskretes Verfahren.

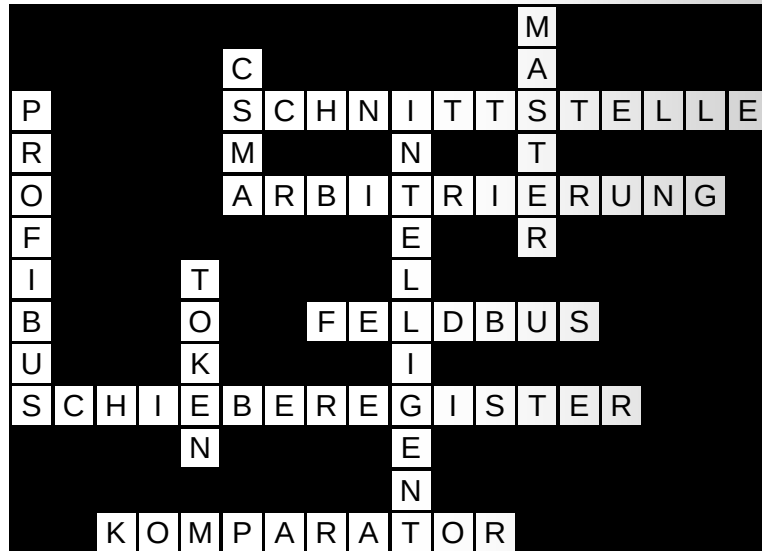
Frage zu Kapitel 3.6

Welche der folgenden Aussagen zum Thema deterministischer / zufälliger Buszugriff stimmen Sie zu?

Antwort

- ☒ Beim deterministischen Buszugriff existiert ein festgelegtes Verfahren für den Zugriff eines Teilnehmers.
- ☐ Beim zufälligen Buszugriff kann jeder Teilnehmer zu jedem Zeitpunkt schreibend auf den Bus zugreifen.
- ☒ Es können beim deterministischen Buszugriff Aussagen zum Antwortverhalten gemacht werden.
- ☐ Der deterministische Buszugriff ermöglicht schnellere Antwortzeiten.
- ☐ Das Token-Passing-Verfahren gehört zu den Verfahren mit zufälligem Buszugriff.
- ☐ Bei Verfahren mit zufälligem Buszugriff bedeutet ein gleichzeitiger Schreibzugriff mehrerer Teilnehmer immer die Zerstörung der Nachricht.

Kreuzworträtsel zu Kapitel 3



Kreuzworträtsel zu Kapitel 3

Waagerecht

- 4 Verbindung zw. Systemen (13)
- 6 Verfahren zur Kollisionsvermeidung beim CAN-Bus (12)
- 8 Kommunikationssysteme in unmittelbarer Anlagennähe (7)
- 9 Prinzip der Datenübertragung beim Interbus-S (15)
- 10 Schaltung zum Spannungsvergleich (10)

Senkrecht

- 1 Kommunikationssteuernde Einheit bei deterministischen Buszugriffsverfahren (6)
- 2 Verfahren mit zufälligem Buszugriff (4)
- 3 Bussystem mit hybrider Kommunikation (8)
- 5 Bezeichnung für Sensoren/Aktoren mit integrierter Busankopplung (11)
- 7 Spezifische Nachricht für Senderechtserteilung (5)

