

Rechnerorganisation

Prof. Dr. Wolfgang Karl

Vorlesung im Wintersemester 2025/2026 – Foliensatz: RO25-FS14



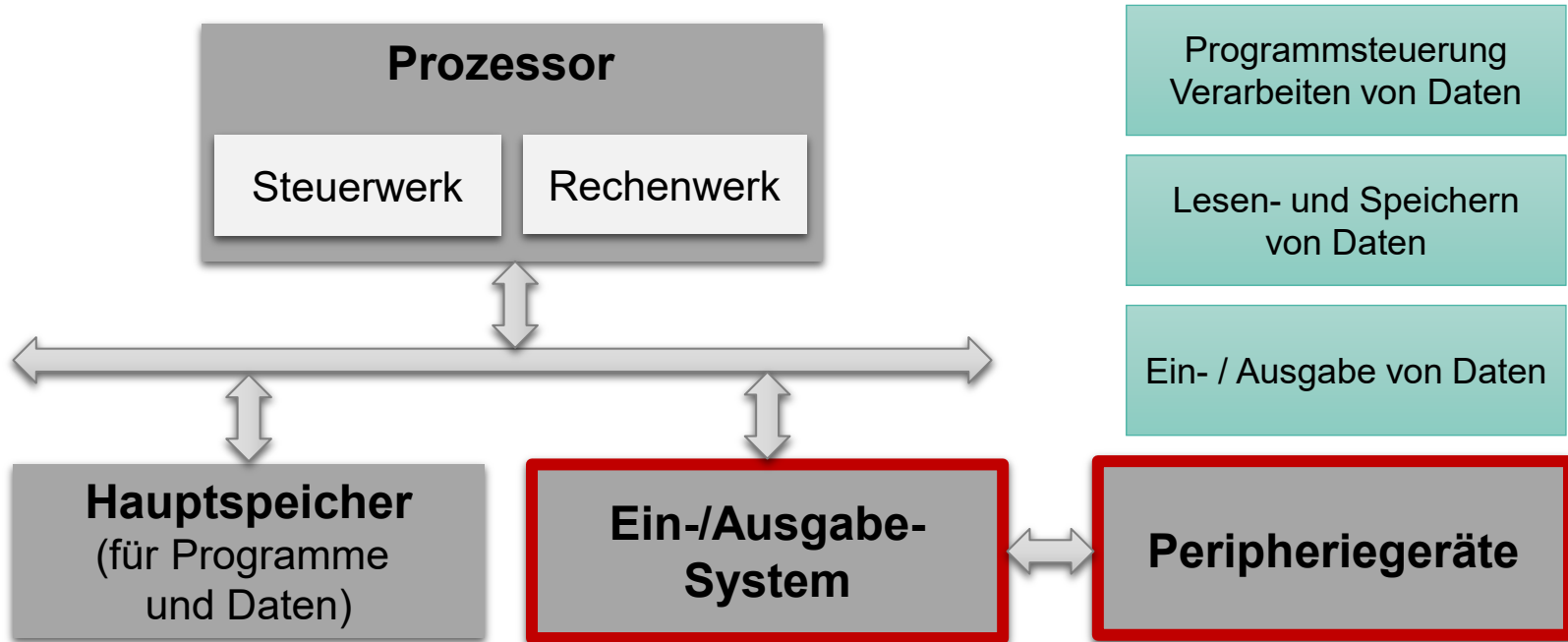
Kapitel 8

Ein-Ausgabewerk

- **Peripheriemerkmale**
- Schnittstellenbausteine
- Ein- / Ausgabeverfahren
- Adressierung der Systemkomponenten
- Universal Serial Bus

Programmierbarer Universalrechner

■ Einfaches Modell

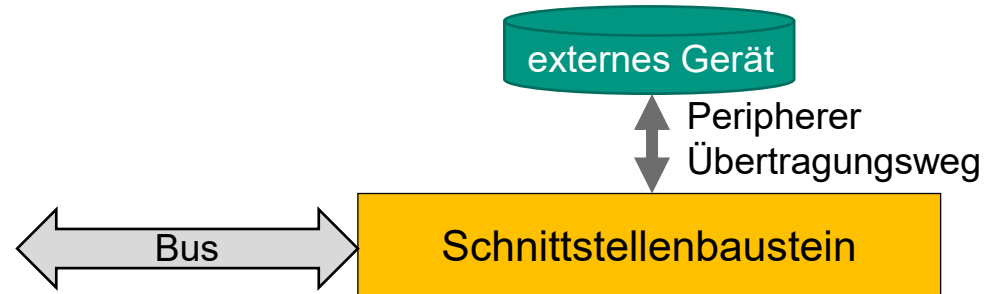


Ein-Ausgabewerk

- **Ein-/Ausgabevorgang umfasst mehrere Aufgaben in Abhängigkeit der Peripherie**
 - Starten des Ein-/Ausgabevorgangs,
 - Z. B. durch Starten des Geräts
 - Ausführen spezieller Gerätefunktionen
 - Übertragen von Daten mit Synchronisation der Übertragungspartner
 - Datenzählung und Adressfortschaltung bei Blockübertragung
 - Lesen und Auswerten von Statusinformationen
 - Fehlererkennung, Diagnose und Behandlung
 - Stoppen des Ein-/Ausgabevorgangs

Ein-Ausgabewerk

- **Menge von Schnittstellenbausteinen (I/O controller, I/O modules)**
 - Anbindung peripherer Komponenten an den Computer
- **Schnittstellenbaustein**
 - Schnittstelle zum Bus
 - Ansteuerung von ein oder mehreren externen Geräten (peripheren Komponenten)
 - Übertragung von Daten zwischen Bus und Peripherie
 - Enthält eine Steuerlogik für die Ausführung der Kommunikation zwischen dem externen Gerät und dem Bus



Ein-Ausgabewerk

- Systemstruktur mit Schnittstellenbausteinen
 - ARM Soc (System-on-a-Chip)

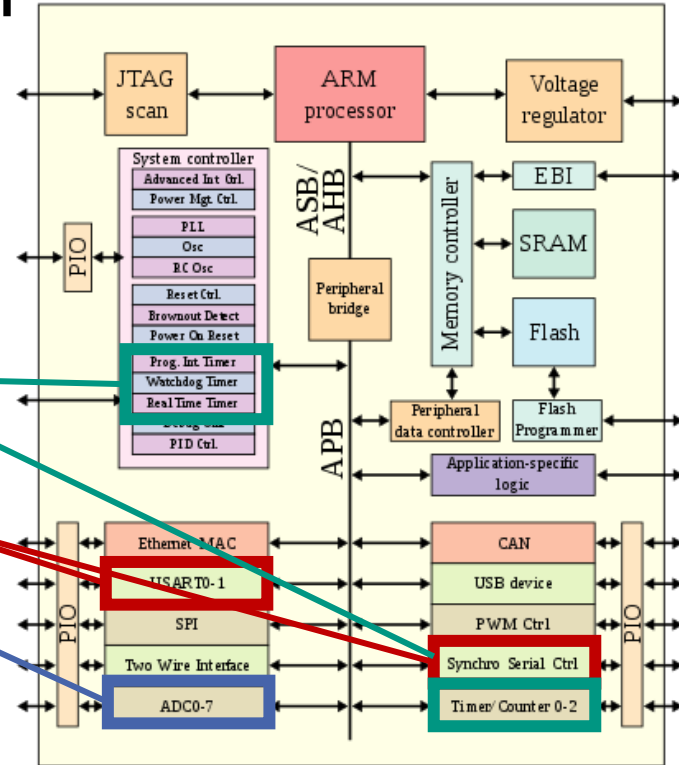
Beispiele für Schnittstellenbausteine

Zähler,
Zeitgeber,
Watchdogs

Serielle Schnittstellen

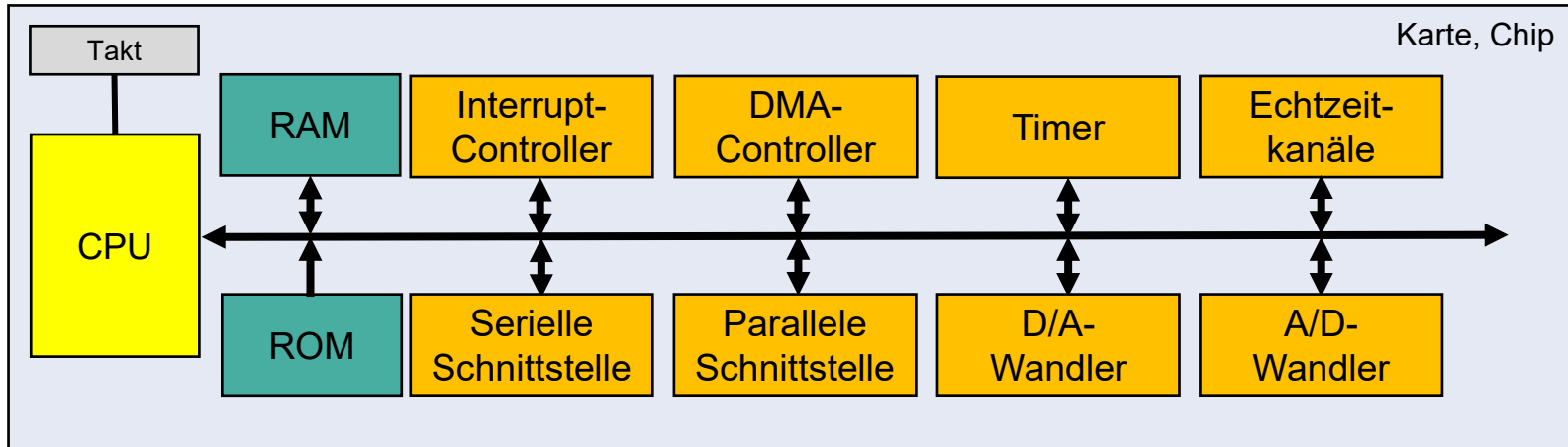
AD-Wandler

Quelle: Von en:User:Cburnett - Own work in Inkscape based on en:Image:ARMSoCBlockDiagram.gif, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2866881>



Ein-Ausgabewerk

- Systemstruktur mit Schnittstellenbausteinen
 - Einfaches Mikrosprozessorsystem mit Schnittstellenbausteinen (schematische Darstellung)



Kapitel 8

Ein-Ausgabewerk

- Peripheriemerkmale
- **Schnittstellenbausteine**
- Ein- / Ausgabeverfahren
- Adressierung der Systemkomponenten
- Universal Serial Bus

Schnittstellenbausteine

■ Serielle Schnittstellen

- Schnittstelle zur Datenübertragung zu / von Geräten, bei denen einzelne Bits zeitlich nacheinander übertragen werden
 - **bit-serielle Datenübertragung**
- Kommunikation mit Peripherie unter Verwendung möglichst weniger Leitungen
- **Beispiele:**
 - **RS-232** (Veraltet, aber immer noch verbreitet!)
 - Anschluss von peripheren Geräten (Maus, Tastatur) an den PC
 - Abgelöst durch **USB (Universal Serial Bus)**
 - **Netzwerk- und Busschnittstellen**
 - Ethernet,
 - CAN-Bus

9-polige D-Sub-Buchse



9-poliger D-Sub-Stecker



Schnittstellenbausteine

■ Serielle Schnittstellen: Fallstudie RS-232

■ RS-232-Standard

- Definiert die asynchrone Verbindung zwischen einer **Datenendeinrichtung** (DEE, engl. Data terminal equipment, DTE) und einer **Datenübertragungseinrichtung** (DÜE, Modem, engl. Data communication equipment)

■ Asynchrone serielle Kanäle

■ Asynchron

- Zeitlicher Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Zeichen ist variabel

■ Seriell:

- Übertragung der Bits eines Zeichens über eine Leitung



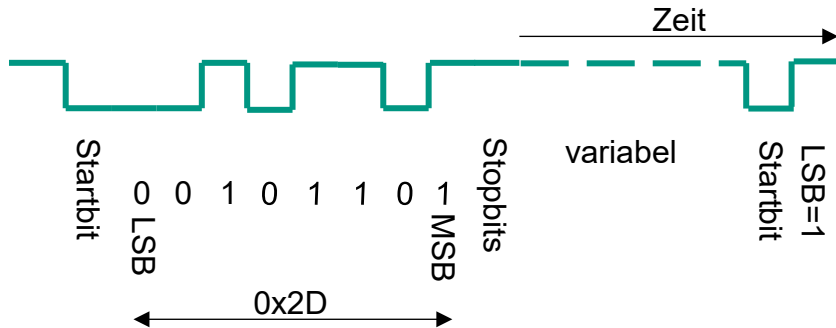
Schnittstellenbausteine

■ Serielle Schnittstellen: Fallstudie RS-232

■ Asynchrone serielle Kanäle

■ Beispiel:

■ Übertragung von 8 Bit ohne Paritätsbit



Nacheinander werden folgende Informationen übertragen:

Startbit: ist immer 0 und dient zur Synchronisierung zwischen Sender und Empfänger

7 oder 8 Datenbits, wobei das LSB (least significant bit) als erstes Bit übertragen wird

Paritätsbit: gerade, ungerade oder keine Parität

1-2 Stopbits: Mindestlänge der Pause zwischen zwei Zeichen

Parametrisierung 8N1: 8 Datenbits, *None Parity*, 1 Stopbit

Schnittstellenbausteine

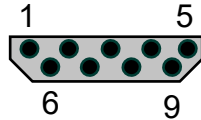
■ Serielle Schnittstellen: Fallstudie RS-232

■ Asynchrone serielle Kanäle: Eigenschaften

- Die Zeit für jeweils ein Bit richtet sich nach der Datenübertragungsrate, gemessen in Bit/s.
- Symboltakt sind bei Sender und Empfänger gleich einzustellen (Baud-Rate)
- Symbol hier gleich 1 Bit (Bitrate = Baud-Rate)
- Typische Bitraten: 300, 1.200, 2.400, ..., 19.200, 38.400, 57.600
 - Bei 57.600 Bit/s ist ein Bit etwa 17 μ s lang
- Auf kurzen Entfernungen (im Raum) sind Übertragungsraten bis knapp oberhalb von 100 Kbit/s erreichbar.
- Keine Taktleitung: asynchrone Übertragung
- Voll-Duplex-Betrieb: die Übertragung kann gleichzeitig in beide Richtungen erfolgen.

Schnittstellenbausteine

- **Serielle Schnittstellen: Fallstudie RS-232**
 - **Asynchrone serielle Kanäle: Eigenschaften**
 - **Pin-Belegung bei 9-poligem Stecker**



Pin-Belegung bei 9-poligem Stecker

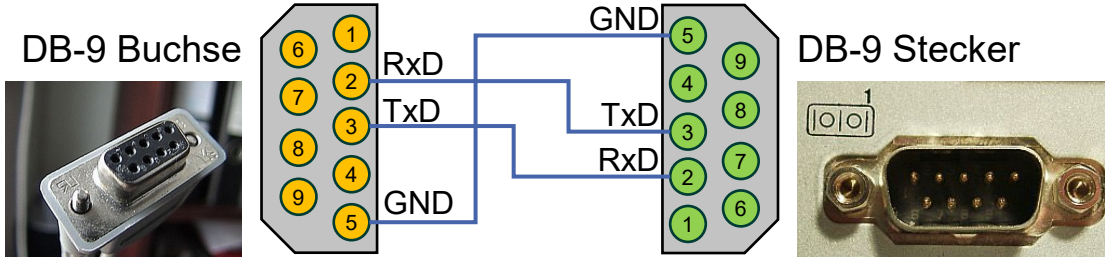
- | | |
|--------|----------------------------------|
| 1 DCD: | Partner empfängt analoges Signal |
| 2 RxD: | Transmit Data, sende Daten |
| 3 TxD: | Receive Data, empfangen Daten |
| 4 DTR: | DEE ist betriebsbereit |
| 5 GND: | Masse |
| 6 DSR: | Partner ist betriebsbereit |
| 7 RTS: | DEE möchte Daten senden |
| 8 CTS: | Partner kann Daten empfangen |
| 9 RI: | Rufsignal (ring indicator) |

Datenleitungen

Steuerleitungen

Schnittstellenbausteine

- **Serielle Schnittstellen: Fallstudie RS-232**
 - **Asynchrone serielle Kanäle: Eigenschaften**
 - **Verbindung**



Schnittstellenbausteine

■ Serielle Schnittstellen: Fallstudie RS-232

■ Asynchrone serielle Kanäle: Eigenschaften

■ Spannungsschnittstelle:

- Die binären Zustände werden durch verschiedene elektrische Spannungspegel realisiert.

■ Logik aller Leitungen:

- Wert „Logisch 1“: Spannung zur Masse -12 V
- Wert „Logisch 0“: Spannung zur Masse +12 V
- Werterkennung auf Empfängerseite von +/-3 V bis +/-15 V
- Ermöglicht lange Leitungen und guten Störabstand

Schnittstellenbausteine

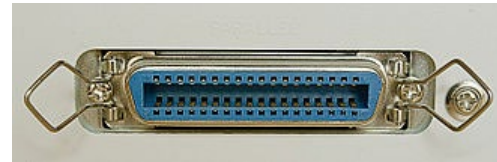
■ Parallele Schnittstellen

- Über parallele Ein- / Ausgabekanäle kann eine bestimmte Anzahl digitaler Signale gleichzeitig übertragen werden (bit-parallele Datenübertragung)
- Beispiel: Centronics-Schnittstelle
 - Unidirektionale Datenübertragung
 - Anschluss von Druckern an PCs (line printing terminal, LPT)
- Beispiel: IEEE 1284 Standard (ab etwa 1994)
 - Definiert eine parallele Schnittstelle zur bidirektionalen Übertragung von Daten zwischen PCs und unterschiedlichen Peripheriegeräten (Drucker, Fax, Scanner, Laufwerke, auch CNC-Maschinen)

Parallelport (25-polige Sub-D-Buchse)



Parallele Schnittstelle an einem Peripheriegerät (36-polige „Centronics“-Buchse)



Schnittstellenbausteine

■ Zähler (counter)

■ Aufgaben:

- Zählen von Ereignissen oder Messen von Zeiten

- Pulsweitenmodulation (PWM), Schrittmotorsteuerungen, Frequenz-, Drehzahl- oder Periodenmessungen

■ Eigenschaften:

- Breite: 16, 24, oder 32 Bits

- Auf- oder abwärts zählen

- Zählereignis wird durch Spannungswechsel (positive oder negative Flanke) an einem Zählereingang erkannt;

- Auslösen von Aktionen bei Erreichen eines bestimmten Zählerzustandes;

Schnittstellenbausteine

- **Zeitgeber (timer)**
 - Anschluss eines Zählers an Takt

Schnittstellenbausteine

■ Watchdogs

- Zeitgebereinheit, die einen Alarm auslöst, wenn sie nicht regelmäßig von einem aktiven Programm daran gehindert wird
- In der Echtzeitverarbeitung eingesetzte Komponenten zur Überwachung der Programmaktivitäten
- Erkennen von Programmverklemmungen und von Abstürzen
- **Prinzip:**
 - Senden von „Lebenszeichen“ an den Watchdog, z. B. durch Schreiben oder Lesen eines bestimmten Ein-/Ausgabekanals in regelmäßigen Abständen
 - Bleibt „Lebenszeichen“ aus, dann geht der Watchdog von einer abnormalen Programmsituation aus und leitet Gegenmaßnahmen ein.
 - Z.B. Zurücksetzen des Microcontrollers

Schnittstellenbausteine

■ Echtzeitkanäle

- Spezielle Erweiterungen von parallelen Ein-/Ausgabekanälen für Echtzeitsysteme;
- Kopplung eines parallelen Kanals mit einem Zeitgeber
- Unterscheidung:
 - **Normaler Ein-/Ausgabekanal**
 - Zeitpunkt der Ein- oder Ausgabe wird vom Programm bestimmt.
 - Die Ein- oder Ausgabe erfolgt durch Ausführung des entsprechenden Befehls.
 - Ein- oder Ausgabe kann sich durch verschiedene Programmereignisse verzögern, was bei periodischen Abläufen zu einem unregelmäßigen Ein-/Ausgabeverhalten führen kann (**Jitter**).
 - **Echtzeitkanäle**
 - Der Zeitpunkt der Ein- oder der Ausgabe wird nicht vom Programm sondern von einem Zeitgeber bestimmt.
 - Vermeidung von einem Jitter.

Schnittstellenbausteine

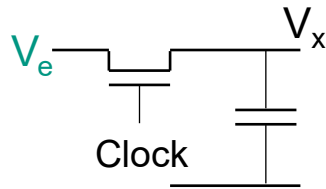
■ A/D-Wandler (Analog/Digital-Wandler)

- Wandelt anliegende elektrische Analogsignale in digitale Werte (digitaler Datenstrom) um, die z. B. von einem Mikroprozessor verarbeitet werden können;

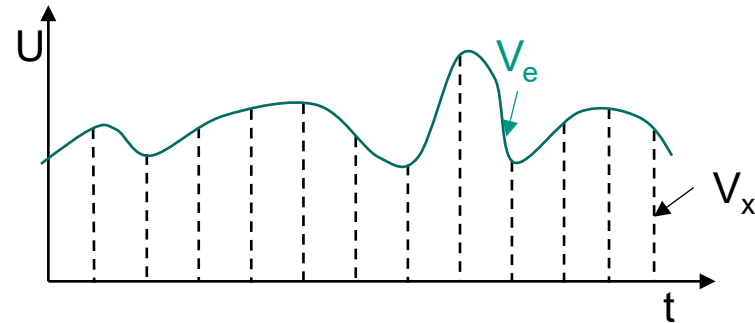
■ Charakteristika:

■ Zeitdiskretisierung, Abtastfrequenz

- Häufig im Millisekundenbereich ($1\text{ms} \triangleq 1 \text{ kSamples/s}$) oder
- Mikrosekundenbereich ($1\mu\text{s} \triangleq 1 \text{ MSamples/s}$)



Sample-and-hold-Schaltung



Schnittstellenbausteine

■ A/D-Wandler (Analog/Digital-Wandler)

■ Charakteristika:

■ Quantisierung

- Diskretisierung der Werte
- Die Umwandlung des zeitdiskretisierten Signals stellt den eigentlichen Übergang von einem analogen Signal zu einem digitalen Signal dar.
- Auflösung (in Bit) z.B. 12-Bit Wandler setzt einen Analogwert in eine 12 Bit breite Zahl um
 - Theoretisch bis zu 2^{12} Werte
- Effektive Auflösung durch Fehlermöglichkeiten und Ungenauigkeiten eingeschränkt

Schnittstellenbausteine

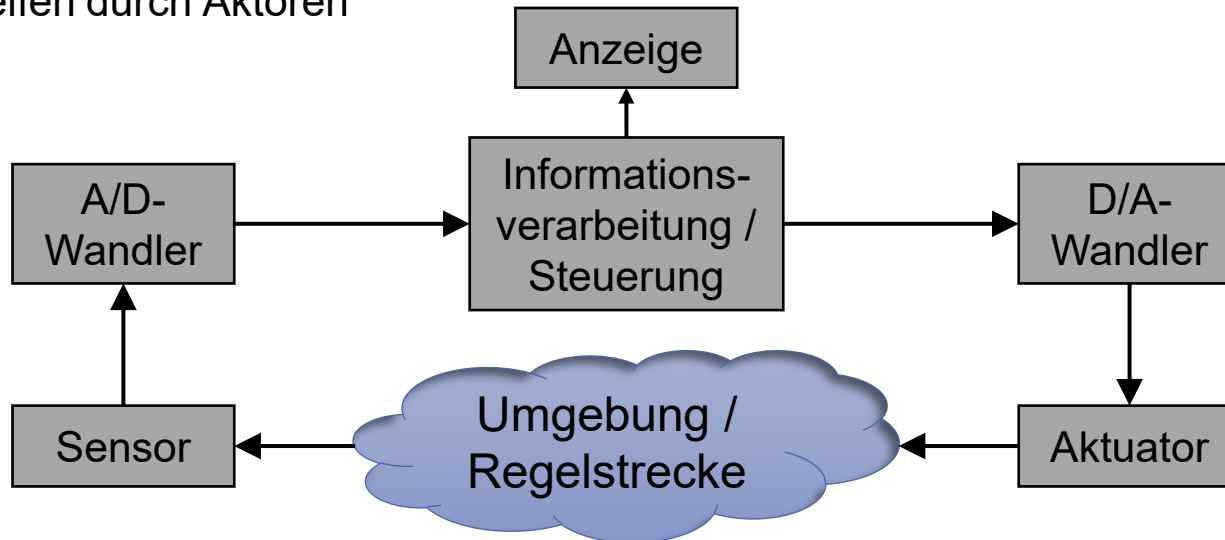
- **D/A-Wandler (Digital/Analog-Wandler)**
 - Wandelt digitale Signale in analoge Werte bzw. Signale um
 - Gegenstück zum A/D-Wandler

Schnittstellenbausteine

■ A/D-Wandler bzw. D/A-Wandler: Einsatz

■ Fallstudie Regelsystem: Messen, Stellen, Regeln

- Beobachtung des Systems durch Sensoren
- Vergleich des gemessenen Verhaltens mit dem vorgegebenen (angestrebten) Verhalten
- Eingreifen durch Aktoren

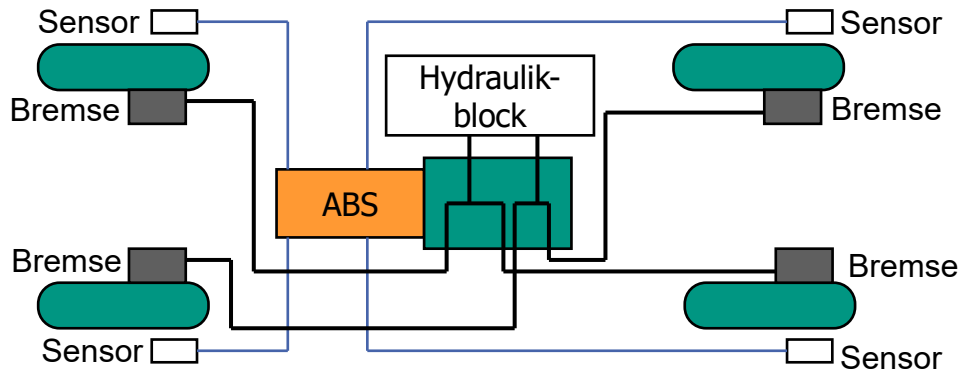


Schnittstellenbausteine

■ A/D-Wandler bzw. D/A-Wandler: Einsatz

■ Fallstudie Regelsystem: Beispiel Brems- und Stabilitätskontrolle (ABS, ASC+T)

- Verhindert das Blockieren der Räder und stabilisiert den Bremsvorgang, Fahrverhalten
- Wird durch wiederholtes und intelligentes Absenken und Anheben des Bremsdrucks, der sogenannten „Druckmodulation“, erreicht



Sensor: Raddrehzahlsensoren ermittelt die aktuelle Raddrehzahl in Form eines elektrischen Signals

ABS-Steuergerät: wertet die vom Sensor ermittelten Signalwerte aus und regelt die Bremskraft für jedes Rad

Aktuator: Hydraulikblock mit Ventil, integrierter Pumpe mit Elektromotor und Steuergerät

Regelsystem

■ Messen: Aufgaben

■ Erfassen von analogen und digitalen Sensordaten

- über die seriellen und parallelen Ein-/Ausgabekanäle
- oder mit Hilfe der **A/D-Wandler**;
- Die gemessenen Werte gehen in digitaler Form an das Mikroprozessorsystem / den Microcontroller.

■ Sensoren

- Erfassen physikalische, chemische oder biologische Größen einer Umgebung quantitativ als Messgrößen;
- Zur Konstruktion von Sensoren werden physikalische, licht-elektrische oder chemische Effekte ausgenutzt.
- Messgrößen werden in elektrische Signale zur Weiterverarbeitung umgewandelt.

Regelsystem

■ Messen: Aufgaben

■ Erfassen von analogen und digitalen Sensordaten

■ Sensoren

■ Beispiele für physikalische Größen:

- Gewicht, Druck, Geschwindigkeit, Temperatur
- Beschleunigungssensoren in Smartphones
- Regensensoren in Automobilen
- Bildsensoren in digitalen Kameras
- Biometrische Sensoren für Authentifizierungsmaßnahmen
- ...

Regelsystem

■ Messen: Aufgaben

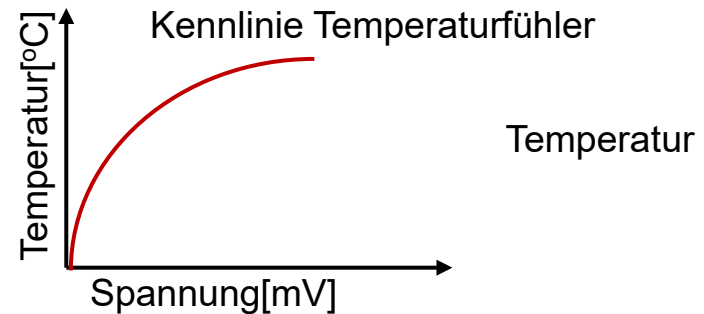
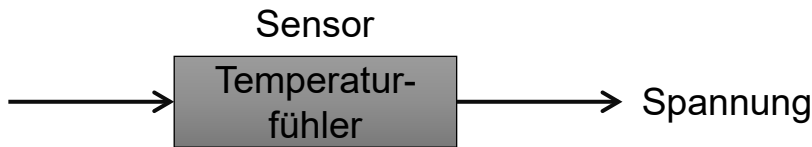
■ Umrechnen von elektrischen in physikalische Werte nach vorgegebenen Kennlinien

■ Sensor:

- wandelt die zu messende Größe in eine elektrische Größe um

■ Kennlinie:

- Gibt an, wie sich die gemessene physikalische Größe aus dem erzeugten elektrischen Wert ermittelt



Regelsystem

■ Messen: Aufgaben

■ Linearisierung von nichtlinearen Sensoren

- Kennlinien sind vielfach nichtlinear, d. h. physikalischer Wert und elektrische Größe sind nicht proportional zueinander
 - Exponentielle, logarithmische oder andere komplexe Abhängigkeiten
- Berechnung der Nichtlinearitäten durch Microcontroller

■ Korrektur von Messfehlern

- Beispiel: Nullpunktfehler
 - Nullpunkt der physikalischen Größe ist nicht identisch mit dem Nullpunkt der elektrischen Größe (z. B. 0 V Spannung entsprechen nicht 0 Grad Celsius)
 - Ausgleich durch Kennlinienberechnung im Microcontroller
- Beispiel: Temperatur-Drift
 - Kennlinie eines Sensors ändert sich mit der Temperatur

Regelsystem

■ Messen: Aufgaben

■ Datenerfassung von multiplen Sensoren

- Parasitären Effekten kann durch multiple Sensoren begegnet werden
- Erfassung der Nutzgröße sowie der Störgrößen
- Beispiel: temperaturempfindlicher Drucksensor
 - Mit zusätzlichem Temperatursensor kann gleichzeitig die Temperatur neben dem Druck gemessen werden.
 - Der Microcontroller rechnet Temperaturfehler heraus.

■ Auswerten der erfassten und korrigierten Daten

Regelsystem

■ Stellen

- **Einstellen von Werten, um einen zu automatisierenden Prozess zu beeinflussen**

■ Aktuatoren

- wandeln elektrische Größen in physikalische Werte (z. B. Druck, Temperatur) oder in mechanische Bewegungen um.
- Gegenstück zu Sensoren;
- Stellglieder im Regelkreis;

Regelsystem

■ Stellen: Aufgaben

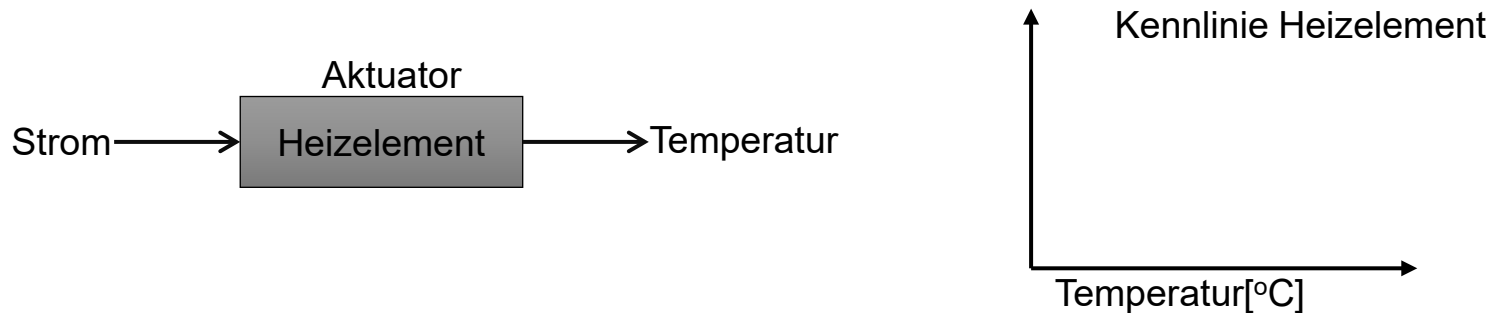
■ Umrechnen von elektrischen in physikalische Werte nach vorgegebenen Kennlinien

■ Aktuator:

- wandelt eine elektrische Größe in eine physikalische Größe um.

■ Kennlinie:

- gibt an, wie die zu der angestrebten physikalische Ausgangsgröße gehörende elektrischen Eingangsgröße ermittelt werden kann.



Regelsystem

■ Stellen: Aufgaben

■ Linearisierung von nichtlinearen Sensoren

- Kennlinien sind vielfach nichtlinear, d. h. physikalischer Wert und elektrische Größe sind nicht proportional zueinander.
- Exponentielle, logarithmische oder andere komplexe Abhängigkeiten.
- Berechnung der Nichtlinearitäten durch Microcontroller;

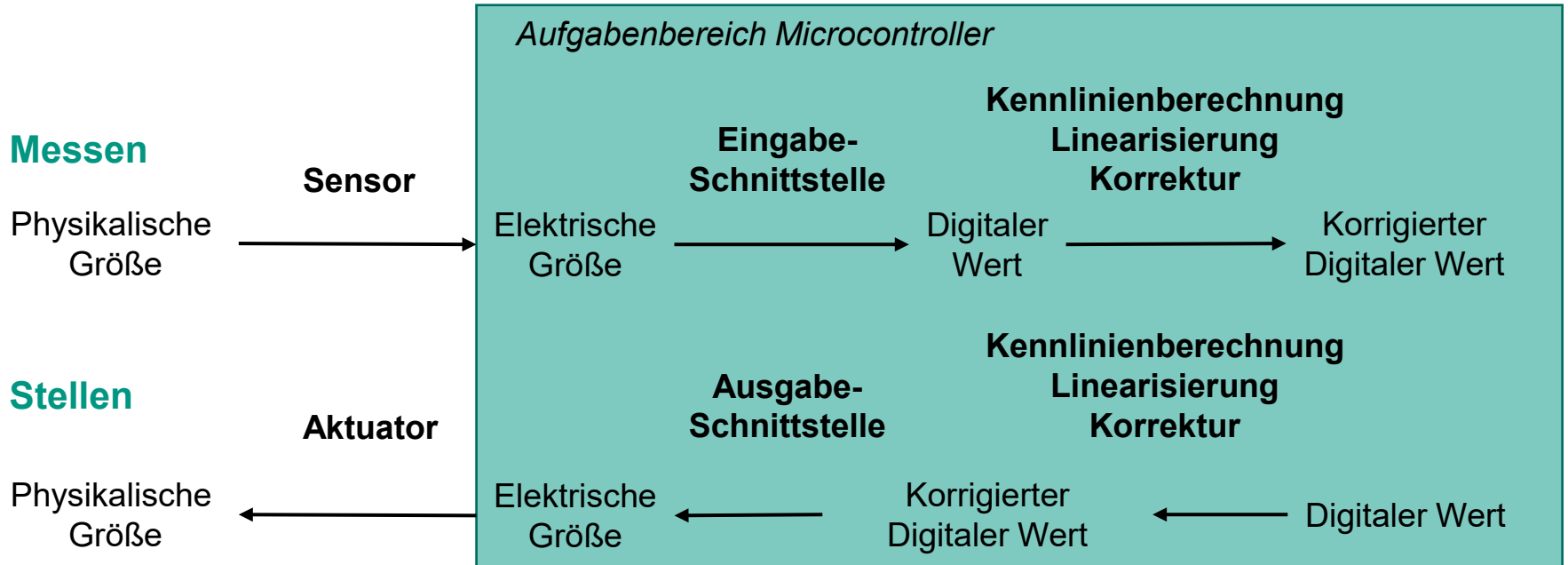
■ Ausgabe digitaler und analoger Steuerdaten an Aktuatoren

- Digitalisierte Werte können an die den Aktuator ansteuernde Peripherieeinheit übergeben werden.
 - Digitale Aktuatoren werden beispielsweise über parallele E/A-Kanäle angesprochen;
 - Analoge Aktoren werden mittels Digital-/Analog-Wandler (DA-Wandler) angesprochen;

Regelsystem

■ Messen und Stellen

- Aufgaben der Umwandlungskette können von Mikrocontroller übernommen werden



Regelsystem

■ Regeln

- Beim Stellen alleine kann das Problem auftreten, dass ein fester Zusammenhang zwischen elektrischer Eingangsgröße und physikalischer Ausgangsgröße nicht angenommen werden kann
- *Messen* und *Stellen* muss mit **Regeln** kombiniert werden

Regelsystem

■ Regeln

■ Teilschritte

■ Messen des Istwertes

- Messen des Istwertes der zu regelnden Ausgangsgröße

■ Soll-/Istwerte-Vergleich

- Vergleich des gemessenen Ist-Wertes mit dem angestrebten Sollwert
- Differenz der Werte heißt **Regelabweichung**

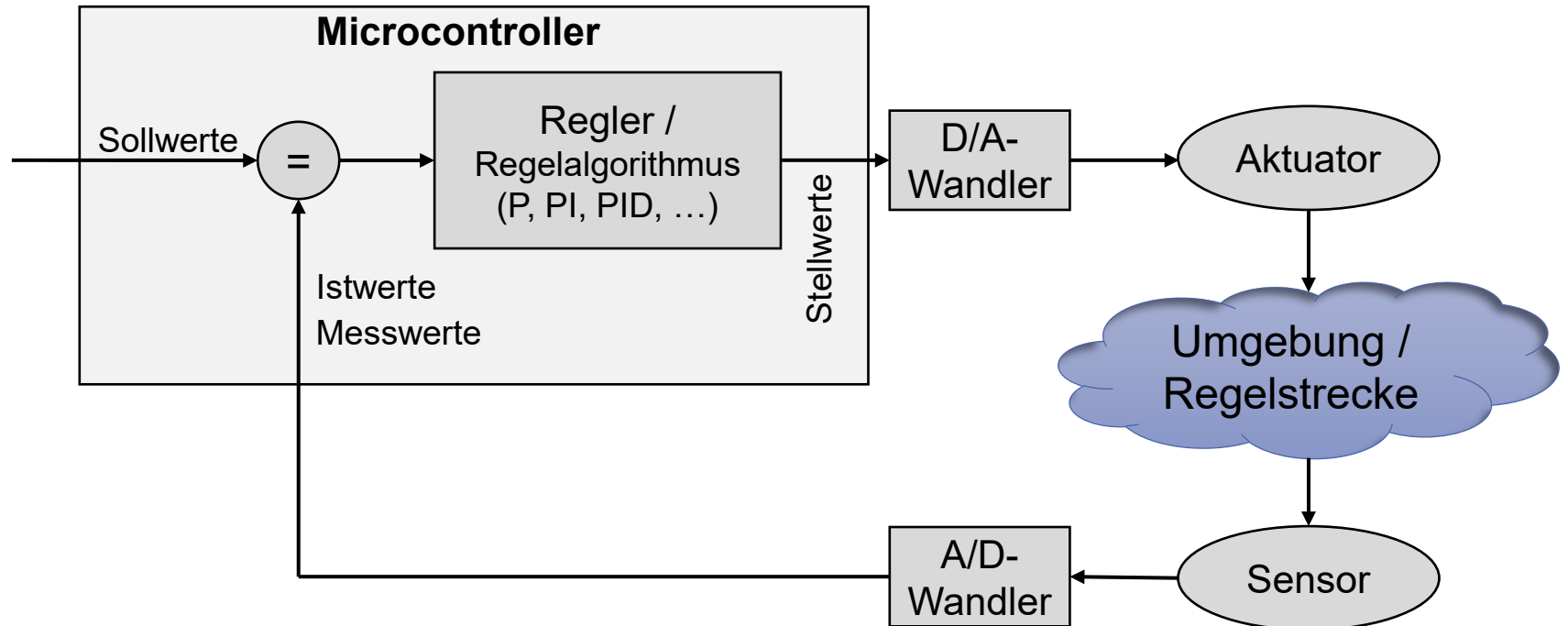
■ Ermittlung der Stellgröße

- Berechnung der Stellgröße aus der Regelabweichung
- Ziel: Minimierung der Regelabweichung, d. h. den Istwert möglichst nahe an den Sollwert heranführen

Regelsystem

■ Regeln

■ Regelkreis



Regelsystem

■ Regeln

■ Ermittlung der Stellgröße

■ Regelalgorithmus: Minimierung der Regelabweichung

■ P-Regler (Proportional)

- Berechnung der Stellgröße durch Multiplikation der Regelabweichung mit Hilfe einer Konstanten, dem **Proportionalfaktor**
- Regelabweichung kann nie vollständig beseitigt werden
- Tendiert zu Instabilität

Regelsystem

■ Regeln

■ Ermittlung der Stellgröße

- **Regelalgorithmus:** Minimierung der Regelabweichung

- **PI-Regler (Propotional, Integralanteil)**

- Hinzufügen eines Integralanteils zum P-Regler

- Integration über vergangene Regelabweichungen

- Regelabweichung kann beseitigt werden

- Reagiert langsam

Regelsystem

■ Regeln

■ Ermittlung der Stellgröße

- **Regelalgorithmus:** Minimierung der Regelabweichung

- **PID-Regler** (**P**roportional, **I**ntegralanteil, **D**ifferentialanteil)

- Hinzufügen eines Differentialanteils zum PI-Regler

- Ermittelt die Veränderung der Regelabweichungen in der Vergangenheit

- Erlaubt schnellere Reaktion in der Zukunft

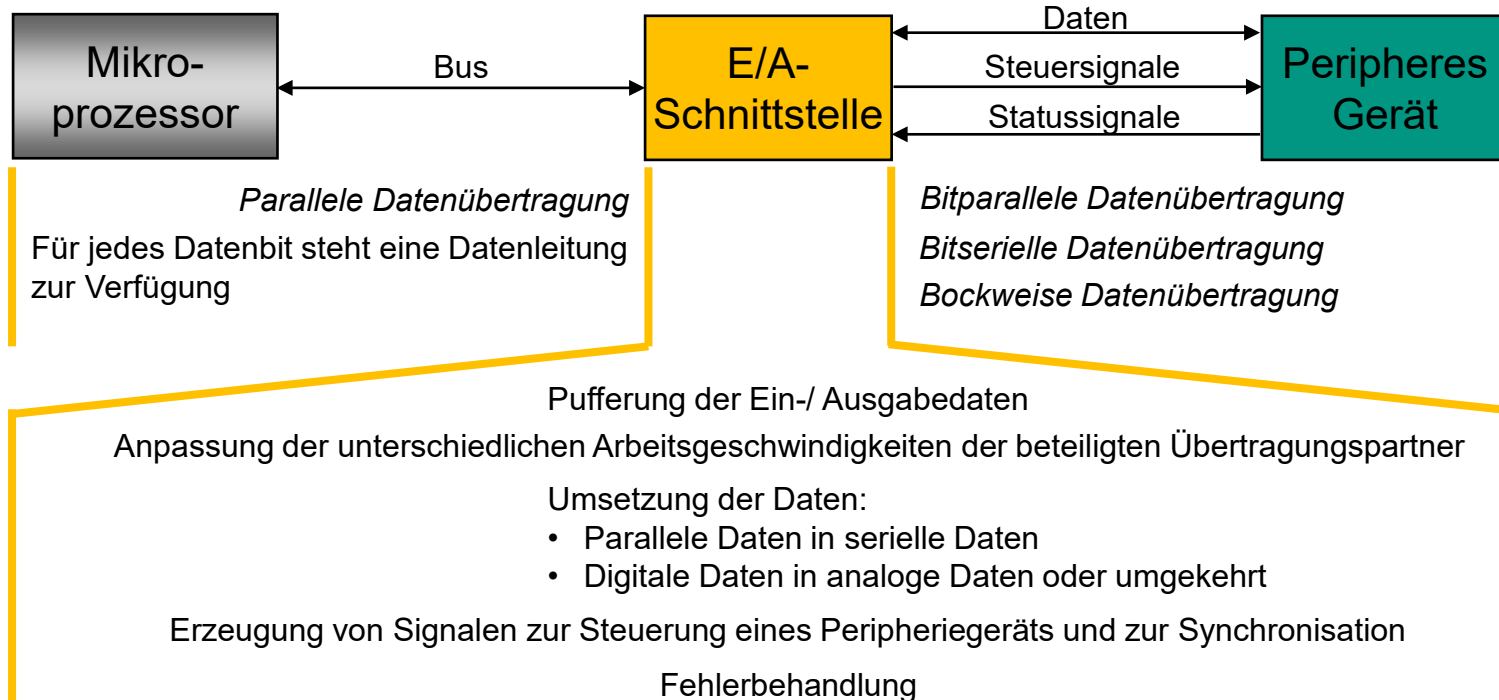
Regelsystem

■ Regeln

- Vereinfachte Darstellung sollte kurz die Aufgaben des Mikroprozessors / Mikrocontroller aufzeigen!
- Theoretische Grundlagen: Regelungstechnik

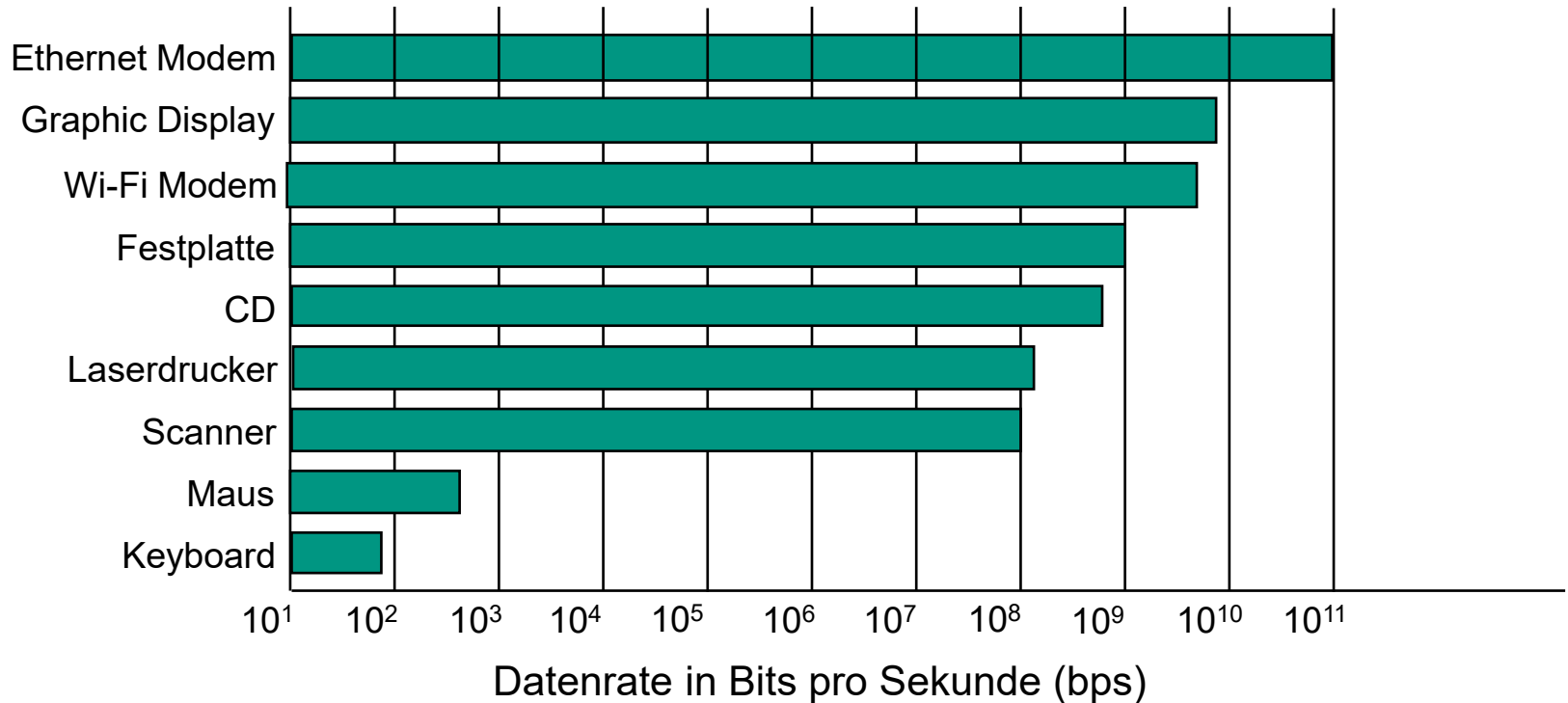
Schnittstellenbausteine

■ Schematische Darstellung der Aufgaben



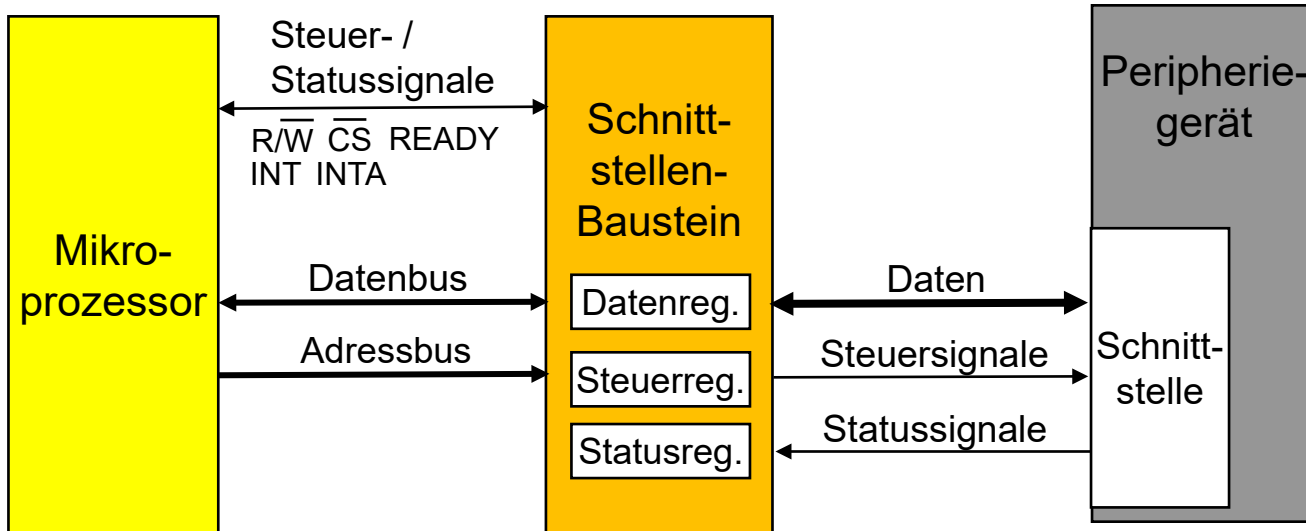
Schnittstellenbausteine

■ Schematische Darstellung der Aufgaben



Schnittstellenbausteine

■ Anbindung eines peripheren Geräts



Anbindung des Peripheriegeräts:

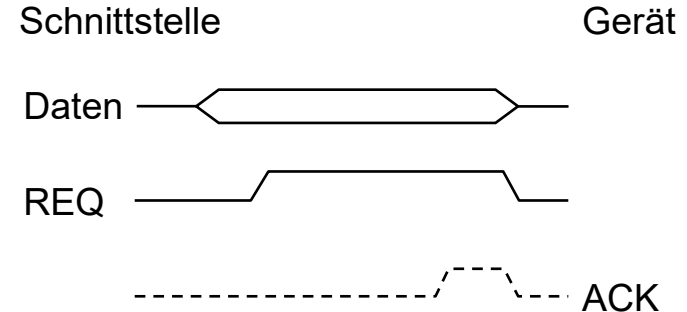
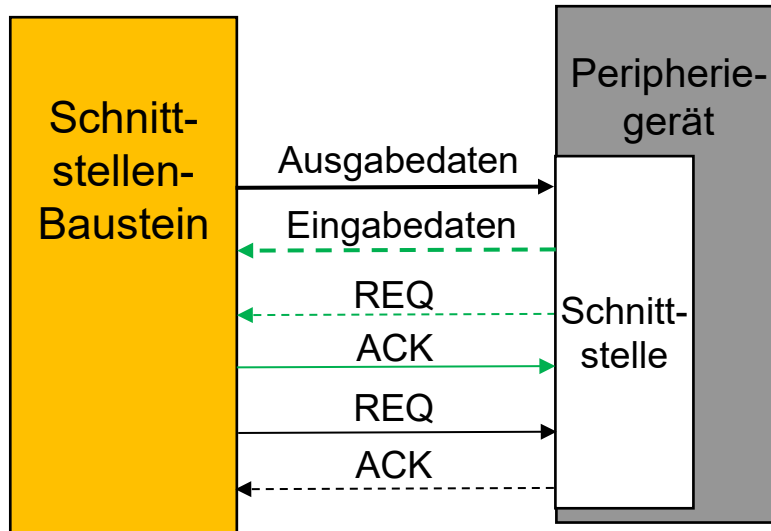
Datenleitungen: unidirektional, bidirektional, parallel/seriell, analog

Steuersignale: Ansteuern des Peripheriegeräts (Ein-/Ausschalten), Synchronisation der Übertragung, ...

Statussignale: Informationen über den Zustand des Peripheriegeräts (Peripheriegerät bereit, Störung, ...)

Schnittstellenbausteine

- Anbindung eines peripheren Geräts
 - Synchronisation der Datenübertragung
 - Erfolgt in Hardware- oder mit Software
 - Beispiel für eine Synchronisation in Hardware



Schnittstellenbausteine

■ Anbindung eines peripheren Geräts

■ Synchronisation der Datenübertragung

- Beispiel für eine Synchronisation in Hardware

■ Vollduplex-Betrieb (im Beispiel)

- Getrennte Datenwege für beide Übertragungsrichtungen

■ Halbduplex-Betrieb

- Daten werden bidirektional über dieselben Leitungen ausgetauscht

■ Für jede Richtung eine Request-Leitung (REQ) und eine Acknowledge-Leitung (ACK)

- Schnittstellenbaustein legt das Datum auf seine Datenleitungen; durch das REQ-Signal zeigt er, dass er die Übernahme der Daten durch das Peripheriegerät erwartet;
- Das Gerät zeigt die Übernahme der Daten durch das ACK-Signal.

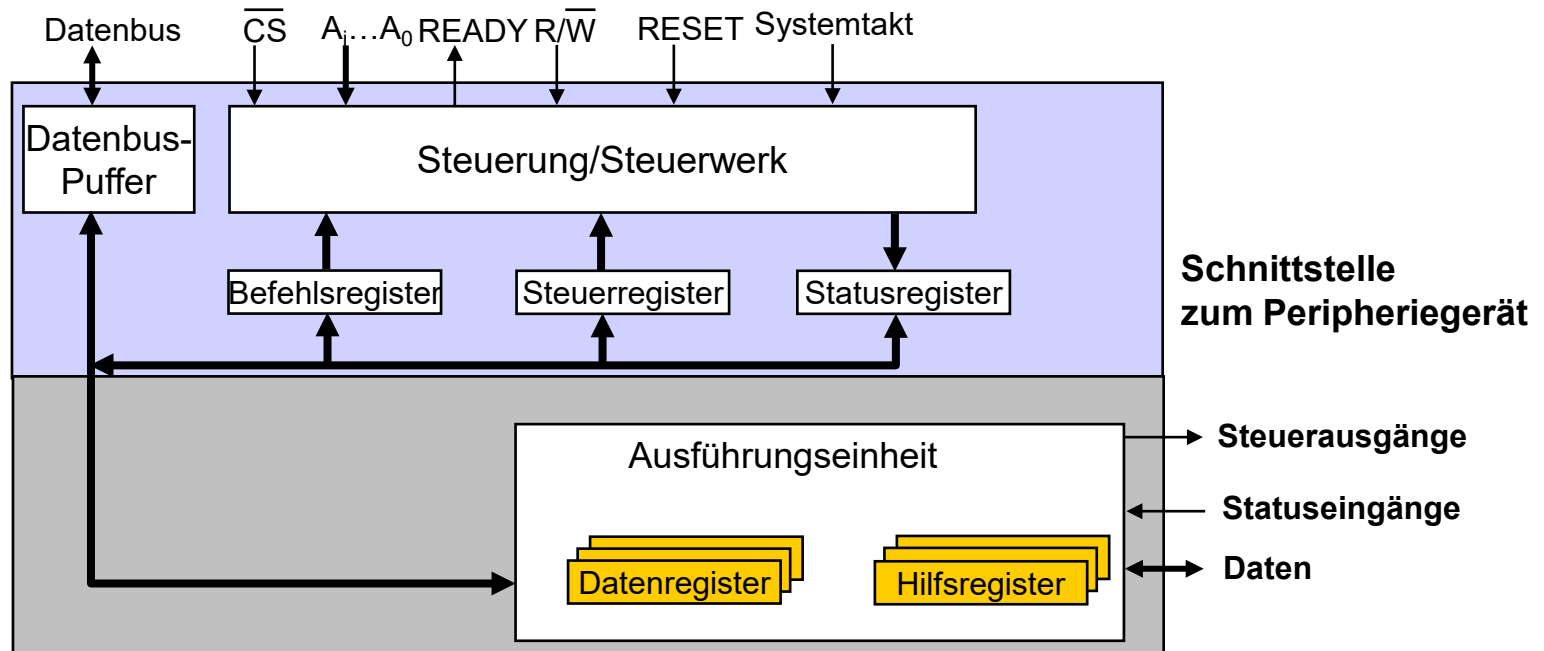
Schnittstellenbausteine

■ Kommunikation mit dem Prozessor

- Ein-/Ausgabekommando
 - Schnittstelle empfängt ein E-/A-Kommando vom Prozessor, z. B. über Steuerleitungen
- Adressierung der Schnittstellenkomponenten
- Datentransfer
- Austausch von Statusinformationen
- Synchronisation mit dem Schnittstellenbaustein

Schnittstellenbausteine

■ Grundlegender Aufbau



Schnittstellenbausteine

■ Grundlegender Aufbau

■ Steuerwerk:

- Steuerung der internen Komponenten (Register, Multiplexer, ...) und Datenpfade
- Schnittstelle zum Prozessor
- Register zur Bausteinprogrammierung:
 - Statusregister (Bausteinstatus),
 - Steuerregister (Betriebsart),
 - Befehlsregister (aktuelle Operation)

■ Ausführungseinheit:

- Stellt die spezifischen Bausteinfunktionen zur Verfügung
- Verschiedene Daten- und Hilfsregister (je nach Funktion)
- Schnittstelle zum Peripheriegerät