



# **Echtzeitsysteme**

**20.09.2019**

**Script: Prof. Dr. Jürgen Quade**

**Vorlesungsfolienoriginal: Prof. Dr. Max Fischer FK07**

**Ergänzt: Prof. Dr. Rainer Seck**

# Einführung

## (Lern-)ziele

- **Möglichst effizient eine möglichst gute Note erreichen...**
- **Erkennen, dass im Umfeld technischer Anwendungen ein riesiger Markt existiert**
- **Fundierte Überblick über die Anforderungen, Methoden, Probleme, Notwendigkeiten im Umfeld von Echtzeitsystemen**
- **Bekannte Aspekte (Betriebssysteme) aus dem Blickwinkel von Echtzeitanforderungen sehen**



# Einführung

## Fragen über Fragen...

- Was sind Echtzeitsysteme?
- Wo werden Echtzeitsysteme eingesetzt?
- Wodurch sind Echtzeitsysteme gekennzeichnet?
- Aus welchen Komponenten bestehen Echtzeitsysteme?
- Und wie wählt man diese Komponenten aus?
- Wie werden Echtzeitsysteme entwickelt?
- Wie werden Echtzeitsysteme getestet (Echtzeitnachweis)?

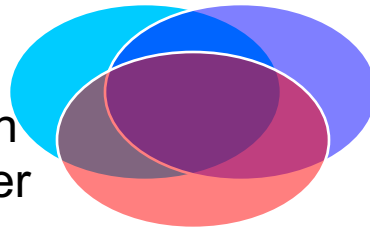


# Einführung

## Definition *Prozessrechentchnik*, *Echtzeitsysteme*, *Embedded System*, Historie

### Prozessrechentchnik

- ca. ab 1970
- Sensorik/Aktuatorik
- Anbindung von technischen Prozessen an Digitalrechner
- Digitale Regelung



### Embedded Systems

- ca. seit Ende 80er
- HW/SW-Codesign

### Echtzeitsysteme

ca. > 1975

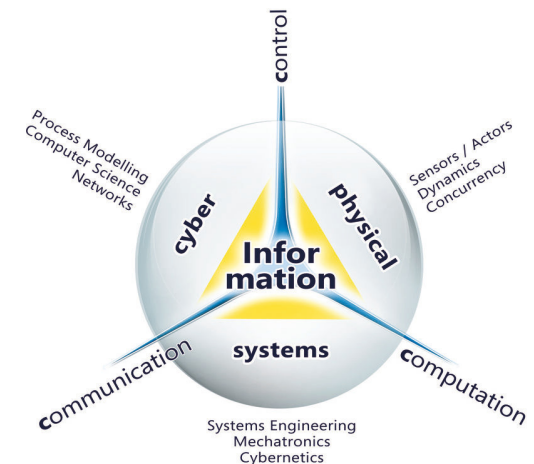
- Theoretische Konzepte
  - Echtzeitbedingungen
  - Scheduling
- Betriebssysteme (RT)



# Einführung

## Bedeutung eingebetteter Systeme für Wirtschaft:

- Wettbewerbsvorteile durch Kombination von Soft- und Hardware (schnellere Realisierung komplexer Funktionen, ... )
- Kosten der eingebetteten Elektronik eines modernen Flugzeuges mit bis zu 500 Prozessoren größer 30%, davon 80% für Software
- Kostenverteilung im Automotive-Umfeld ähnlich (inzwischen über 100 Prozessoren)
- Nahezu 90% aller elektronischen Bauelemente werden in eingebetteten Systemen eingesetzt
- Cyber-Physical-Systems mehr als eingebetteter Systeme (Master)



# Einführung

## Ein paar Beispiele:

Computerspiel mit 3D-Graphik

CD-Writer (Buffer Underrun)

Flugregelung in Flugzeugen

ABS, Airbag

Kernkraftwerk

Schrankenwärter (vor 50 Jahren)



# Einführung

## Begriffe, die wir (neu oder aus anderer Sicht) kennenlernen

- Harte und weiche Echtzeitbedingungen
- Scheduling
- Kontextswitch
- Task
- Threads
- Kritische Bereiche (*critical sections*)
- Race Condition
- Latenzzeit (*latency time*)
- Schritthaltende Verarbeitung
- Laufzeitsystem
- (Feld-)busse
- Preemption
- Embedded Systems



**Zur Steuerung und Regelung  
technischer Prozesse  
sind  
Echtzeitsysteme  
erforderlich**





# Einführung

## Definitionen

### Prozess

**"Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder Information umgeformt, transportiert oder gespeichert wird". [DIN IEC 60050-351]**



# Einführung

## Definitionen

### Technischer Prozess

- Ein technischer Prozess ist ein spezieller Prozess ▶ dessen Zustandsgrößen werden mit technischen Mitteln erfasst und beeinflusst (gemessen, gesteuert, geregelt)
- Umformen, transportieren, speichern von Material oder Energie
- Gekennzeichnet durch (physikalische) Zustandsgrößen, z.B. Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, Kraft, Geschwindigkeit, Position, ...
- Sensor (Messwertaufnehmer) erfasst Zustandsgrößen
- Aktor (Stellglied) beeinflusst Zustandsgrößen



# Einführung

## Definitionen

### Technischer Prozess, Klassifikation nach Verarbeitungsstruktur

#### kontinuierliche oder auch stetige Verarbeitung

- ▶stetiger Strom von Materie oder Energie wird transportiert oder umgewandelt
- ▶Einzelteile können technisch oder prozessbedingt nicht voneinander getrennt bzw. identifiziert werden ▶ Physikalische Größen mit (stückweise) kontinuierlichem Wertebereich.
- ablaufende Vorgänge sind zeit- und ortsabhängig
- Beispiele: Chemische Reaktoren, Drucküberwachung und Energieerzeugung in Kraftwerken.

#### diskontinuierliche oder auch unstetige bzw. diskrete Prozesse

- Folgeprozess
- Ereignisse: Binäre, diskrete Informationselemente werden gemeldet oder ausgelöst
- z.B. Ampelsteuerung, Aufzugsteuerung, Prüfvorgänge von Geräten
- **Stückgutprozess**
  - Informationselemente, einzeln identifizierbaren Objekten (Stücken) zugeordnet
  - z. B. Transportvorgänge, Lagervorgänge, Fertigungsvorgänge

#### Hybride Verarbeitung

- Kombination aus Stückgut-/Folgeprozess und Fließprozess
- Am häufigsten



# Einführung

## Rechenprozess ist ein technischer Prozess:

- **Gegenstand: Umformen, transportieren, speichern von Information**
- **Ein Programm ist die statische Aufschreibung von Befehlen → der Algorithmus → die "Bedienungsanleitung" des technischen Prozesses in „allen Lebenslagen“**
- **Der Rechenprozess ist die dynamische Ausführung eines Programms → die Ausführung der „Bedienungsanleitung“ in Abhängigkeit der Anforderungen des zu bedienenden technischen Prozesses**
- **Rechenprozess (*task*): Instanz, dynamische Abarbeitung eines Programms**



# Einführung

## Beschreibung von technischen Prozessen

### Prozessgrößen

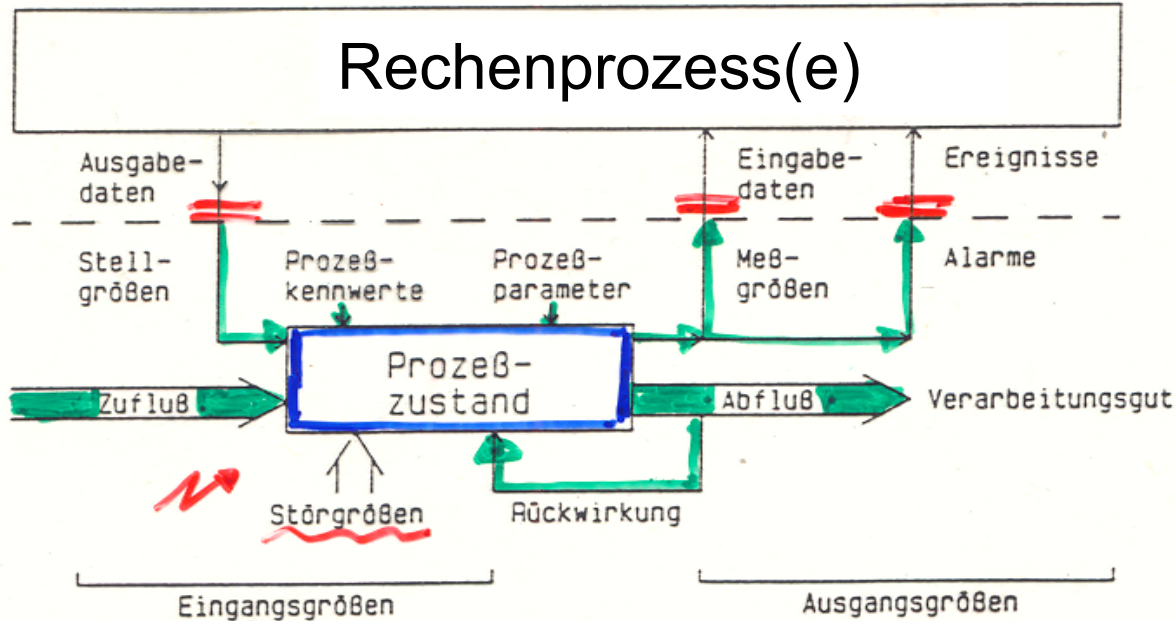
- beschreiben einen technischen Prozess, unabhängig von seiner Lenkung durch den auf einem Rechner laufenden Rechenprozessen
- sind technische, physikalische oder chemische Größen, die mit technischen Mitteln erfasst und beeinflusst werden können. Diese werden mit geeigneten Maßeinheiten durch Zahlenwerte (Daten) beschrieben.
  - *Beispiel: Geschwindigkeit in m/s, Masse in kg, Ph-Wert als reine Zahl, Drehzahl in u/min*
- sind für jeden einzelnen Prozess und sein Verarbeitungsgut verschieden, aber es gibt für jede Verarbeitungsart charakteristische Größen:
  - Speicherprozess: die Menge ( *kg, J bzw. kWh, Stück* )
  - Transport: der Durchsatz ( *in kg/s, W, Stück/Zeit* )
  - Umformung: Art und Umfang der Änderung; wobei aber nach den Erhaltungssätzen der Physik oder Chemie die Gesamtmengen unverändert bleiben.

### Prozessdaten

- werden technischen Prozess und Rechenprozess ausgetauscht
- untergliedern sich in Ausgabedaten, Eingabedaten, Alarme als Sonderform von Eingabedaten



# Einführung



**Bild: Zusammenhang Prozessgrößen und Prozessdaten**



# Einführung

## Ein Rechenprozess realisiert einen Automaten:

- „Ein Automat ist ein künstliches System, das selbsttätig ein Programm befolgt. Auf Grund des Programms trifft das System Entscheidungen, die auf der Verknüpfung von Eingaben mit dem jeweiligen Zustand des Systems beruhen, und Ausgaben zur Folge haben“ DIN IEC 60050-351:2009-06
- EVA Struktur → kausale Folge von Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe
- Die Verarbeitung beinhaltet Entscheidungen zwischen verschiedenen Möglichkeiten die von der Eingabe und/oder!! vom aktuellen Zustand (Gedächtnis) des Systems abhängen
- Deterministisch: EVA ist zeitinvariant reproduzierbar



# Einführung

## Definitionen

### **(Prozess-)Steuerung, Steuerungssystem (*controller*)**

- **Alle zur Steuerung erforderlichen Rechenprozesse**
- **und deren Ablaufumgebung (Hardware und Software)**
- **Realisiert einen Automaten**

### **Aufgabe der Steuerung**

- **Erfassung der Zustandsgrößen des technischen Prozesses**
- **Beeinflussung des technischen Prozesses**
- **Koordination der Prozessabläufe**
- **Überwachung der Prozessabläufe**

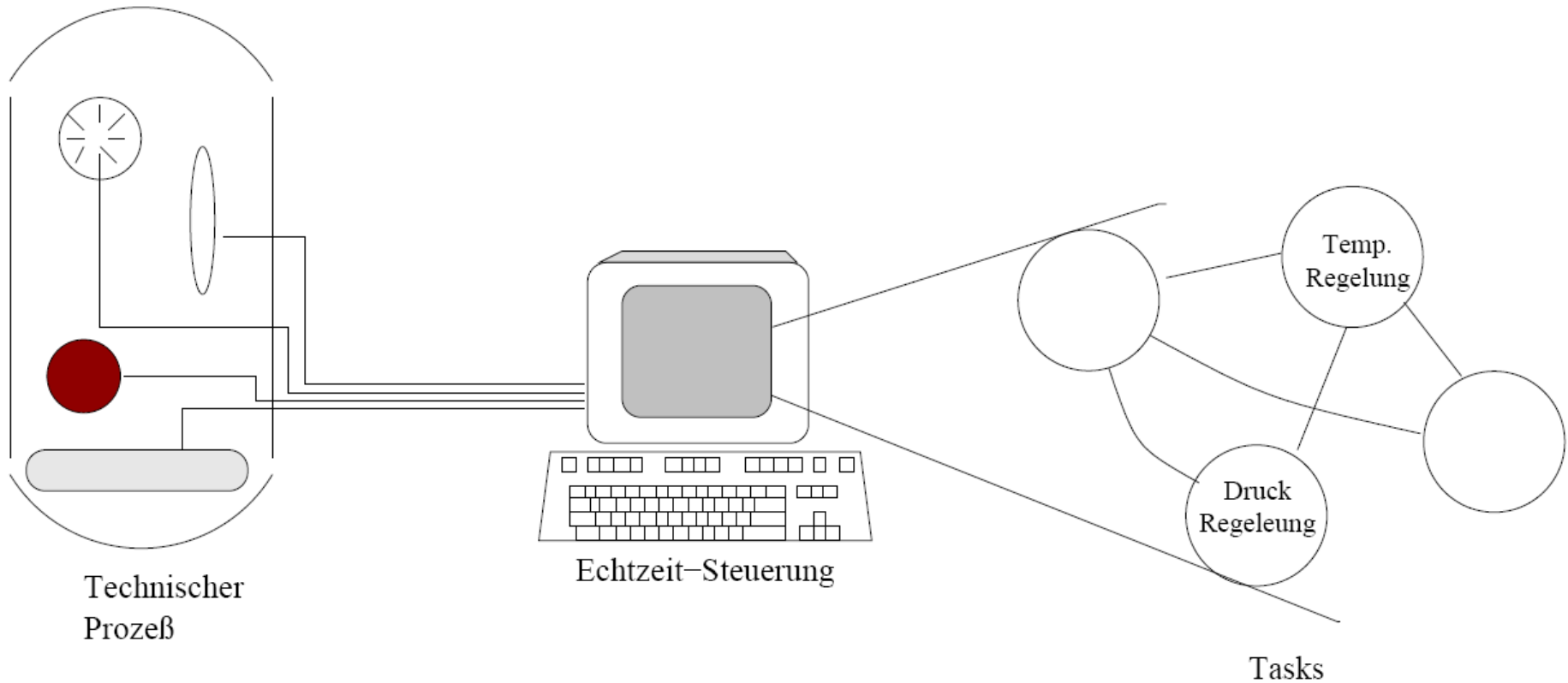




# Einführung

## Echtzeitsysteme

### Struktur Echtzeitsteuerung



# Einführung

## Definitionen

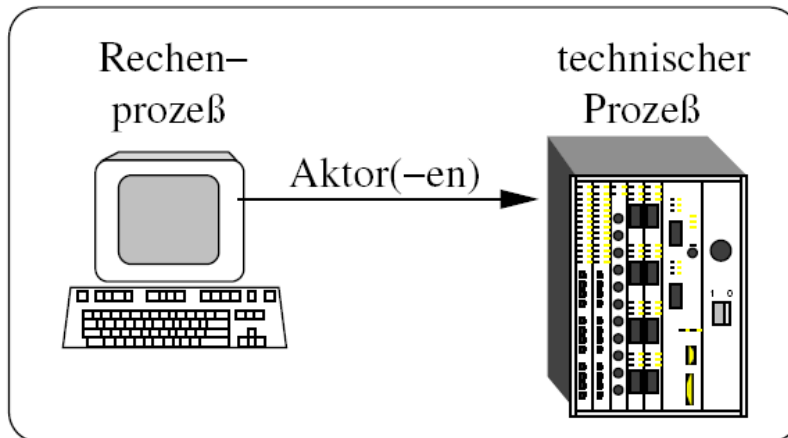
Steuerung vs. Regelung [DIN IEC 60050-351:2009-06]

### Steuerung

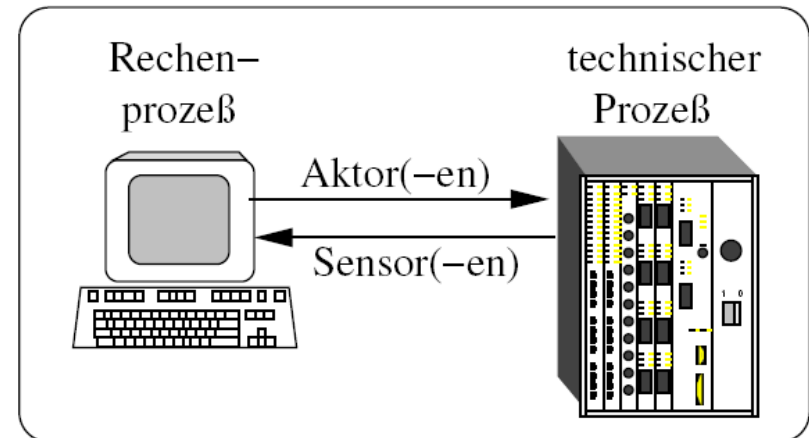
- Kein geschlossener Regelkreis
- Keine Sensoren oder nur zum Überwachen/Anzeigen, keine Reaktion auf Sensorwerte

### Regelung

- Geschlossener Regelkreis
- Sensorwerte (Messwerte) verwenden, um Stellgrößen daraus zu berechnen



gesteuerter Prozeß



geregelter Prozeß



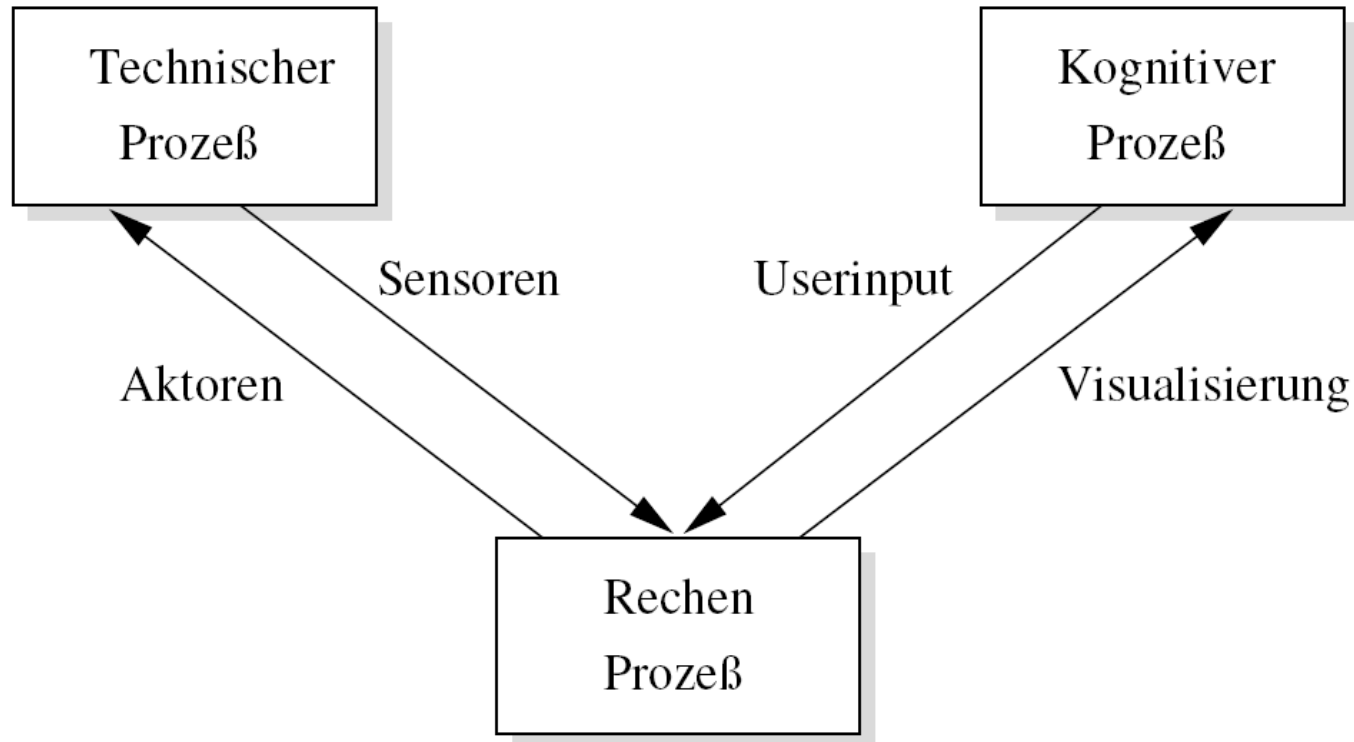
# Einführung

## Definitionen

### Kognitiver Prozess

Umformen, transportieren, verarbeiten von Information im menschlichen Bediener

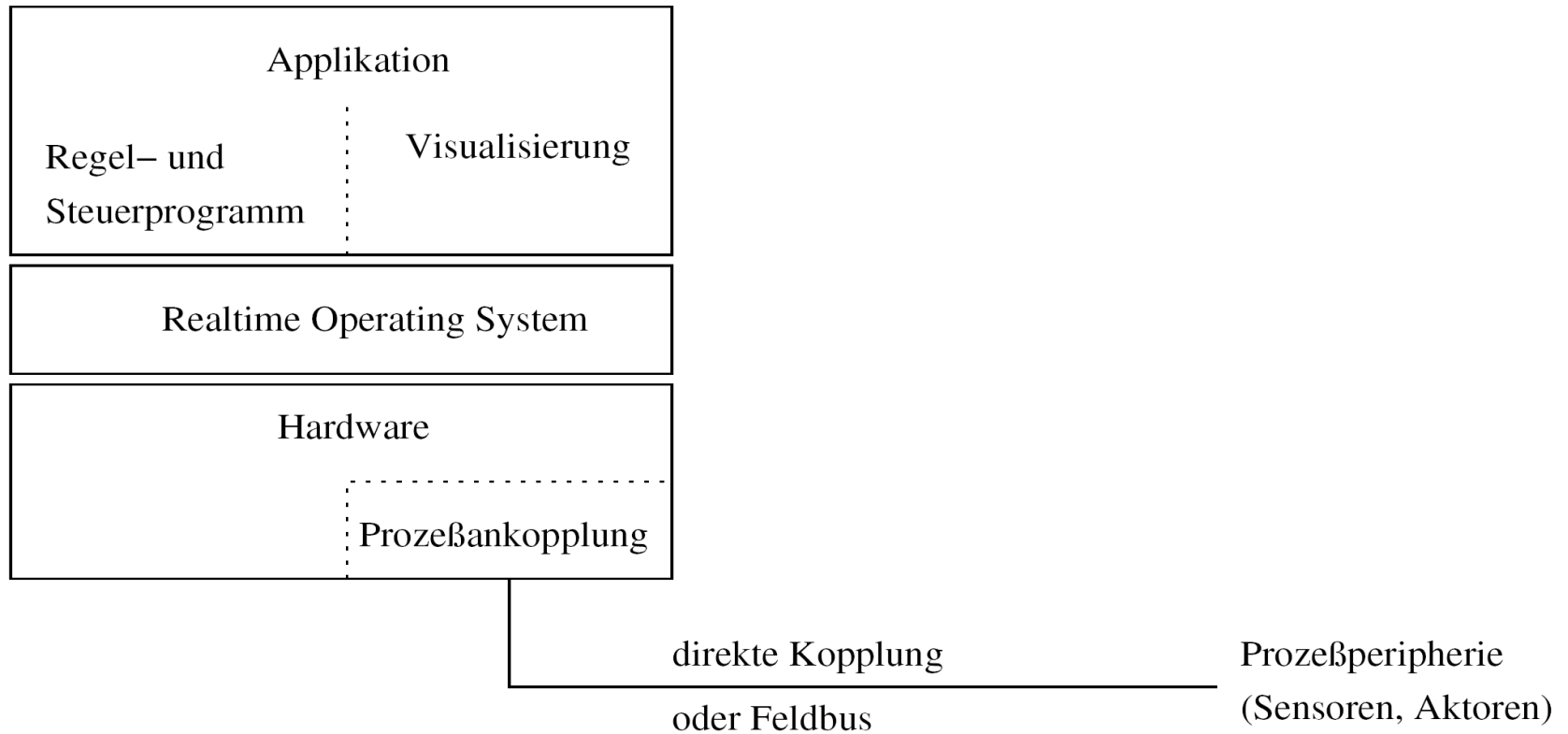
Einflussnahme auf Rechenprozess durch Menschen via MMI (*man machine interface, Benutzerschnittstelle*)



# Einführung

## Echtzeitsysteme

### Komponenten Echtzeitsteuerung



# Einführung

## **Echtzeit-Gerätesysteme und Strukturen**

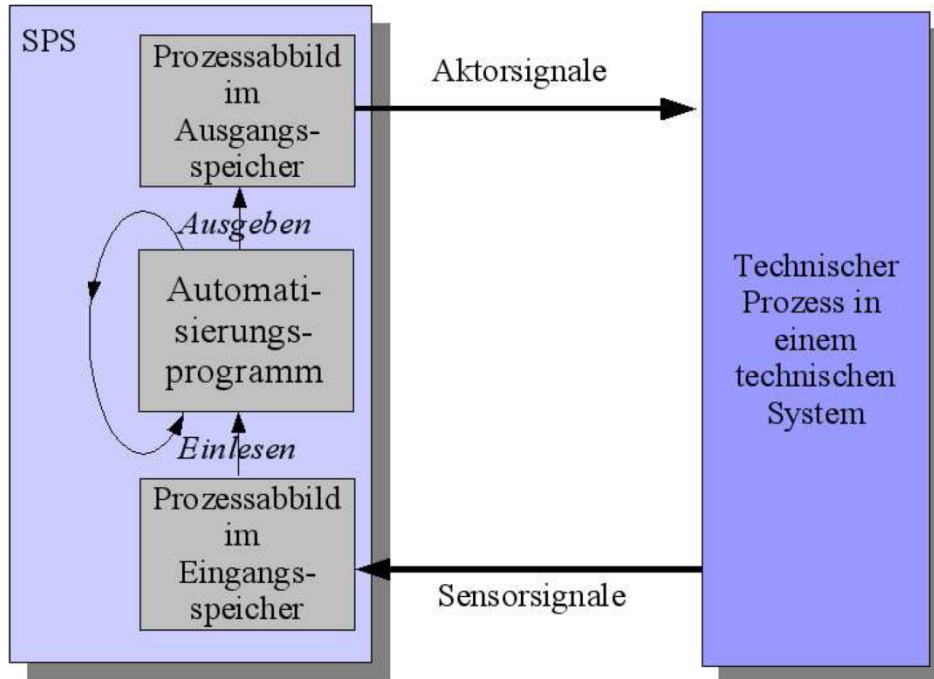
- **Mensch als Echtzeitsteuerung**
- **„Hart verdrahtet“ (Schütz-Steuerung, Relais, Logik-Bausteine, dedizierter Chip [Taschenrechner, Digitaluhr])**
- **Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)**
- **Eingebettete Systeme**
- **Echtzeitsysteme mit Standardarchitekturen (PC)**
- **Verteilte Echtzeitsysteme (Cyber Physical Systems)**



# Einführung

## Echtzeit-Gerätesysteme und Strukturen

- Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)
  - Fabrikautomatisierung, Verkehrsleitsysteme, Aufzugsteuerung,...



# Einführung

## Echtzeit-Gerätesysteme und Strukturen

- **Eingebettete Systeme**



>10 KLOC  
(KLOC: kilo lines of code,  
1000 Zeilen Code)



>2000 KLOC



>3500 KLOC  
(Steuerung,  
nicht Datenaufbereitung)

> 6 MLOC B787 Avionics + online Systems



# Einführung

## Echtzeit-Gerätesysteme und Strukturen

- **Eingebettetes System (*embedded system*)**
  - integrierte, mikroelektronische Steuerung eines technischen Prozesses, mit der der Benutzer nur indirekt in Verbindung kommt
  - Eingebettetes System wurde für eine spezifische Aufgabe entwickelt (oft: Massenprodukt, z.B. Armbanduhr, Taschenrechner, Mobiltelefon,...).
  - Eingebettetes System ist Teil eines Gesamtsystems (in das Gesamtsystem eingebettet).
  - Stark beschränkter Ressourcenverbrauch (Energie, Speicher, CPU-Takt)!!!
  - Eingebettetes System besteht aus Hard- und Software (mit/ohne RT-BS).
  - Das Mensch-Maschine-Interface ist im Regelfall eingeschränkt (keine Tastatur/Monitor/Maus, stattdessen z.B. LCD-Zeilen/Taster).
  - Eingebettete Systeme weisen keine (kaum) bewegte Teile auf (z.B. Flash-Speicher statt Platten, fanless)





# Einführung

## Echtzeit-Gerätesysteme und Strukturen

- **Bedeutung eingebetteter Systeme für Wirtschaft:**
  - **Wettbewerbsvorteile durch Kombination von Soft- und Hardware (schnellere Realisierung komplexer Funktionen, ... )**
  - **Kosten der eingebetteten Elektronik eines modernen Flugzeuges mit bis zu 500 Prozessoren größer 30%, davon 80% für Software**
  - **Kostenverteilung im Automotive-Umfeld ähnlich (inzwischen bis zu 100 Prozessoren)**
  - **Nahezu 90% aller elektronischen Bauelemente werden in eingebetteten Systemen eingesetzt**
  - **Prozessormarkt bereits 2003:**
    - **200 Mio. Prozessoren in PCs und Server**
    - **8.000 Mio. Prozessoren in eingebetteten Systeme**



# Einführung

## Echtzeit-Gerätesysteme und Strukturen

### Echtzeitsysteme mit Standardarchitekturen (PC)

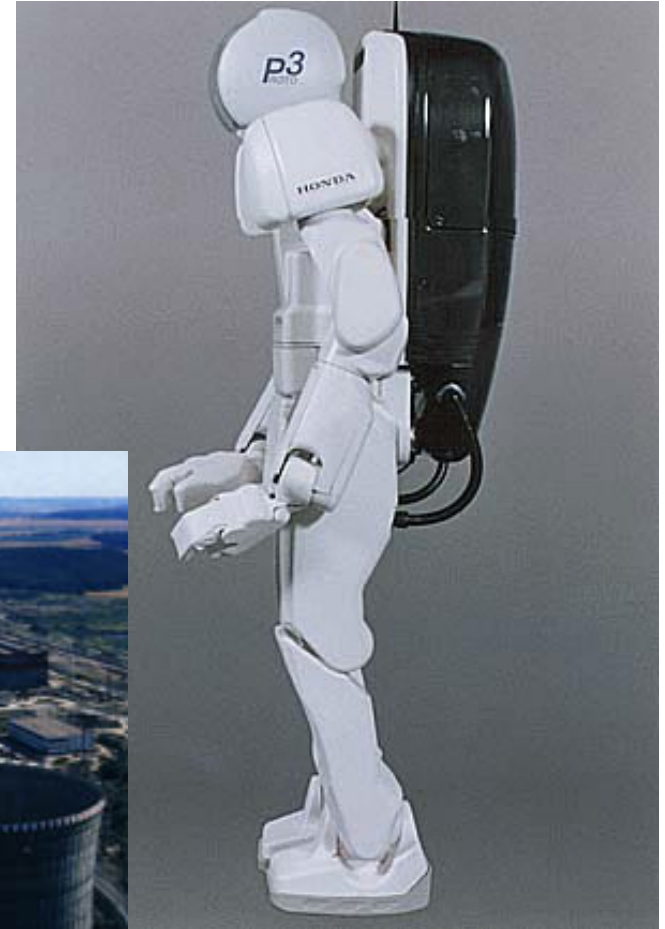
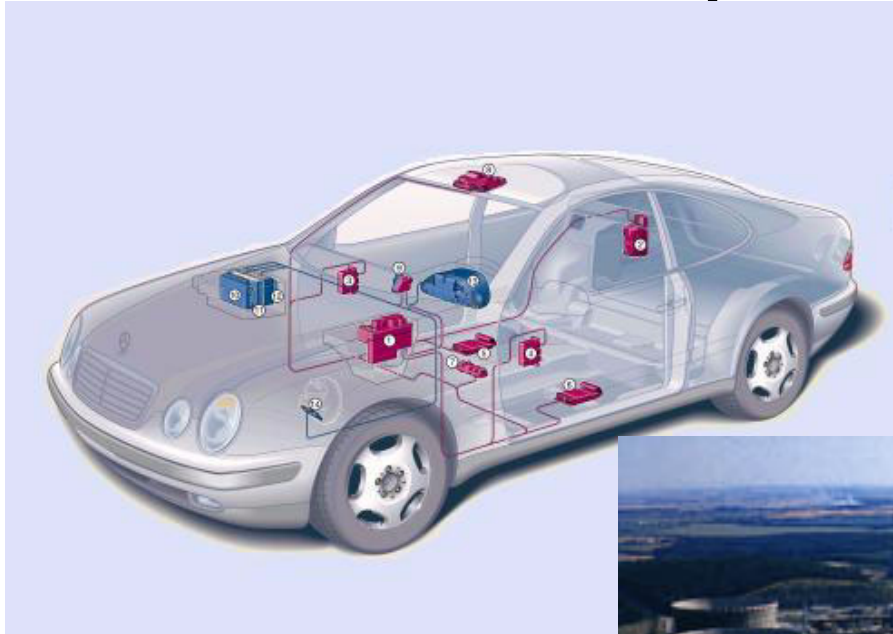
- Preiswerte Hardware (wenn nicht industrietauglich), preiswerte Standard-Software, bekanntes Look-and-Feel (MS-GUI, Weiterverarbeitung von Prozessdaten)
- Industrie-PC mit Echtzeitbetriebssystem (z.B. Robotersteuerungen)
- Standard-PC (z.B. CD-Brenner, VoiceOverIP) mit Standardbetriebssystem
  - Echtzeitfähigkeiten stark eingeschränkt, mit Tricks (Buffer Underrun)



# Einführung

## Echtzeit-Gerätesysteme und Strukturen

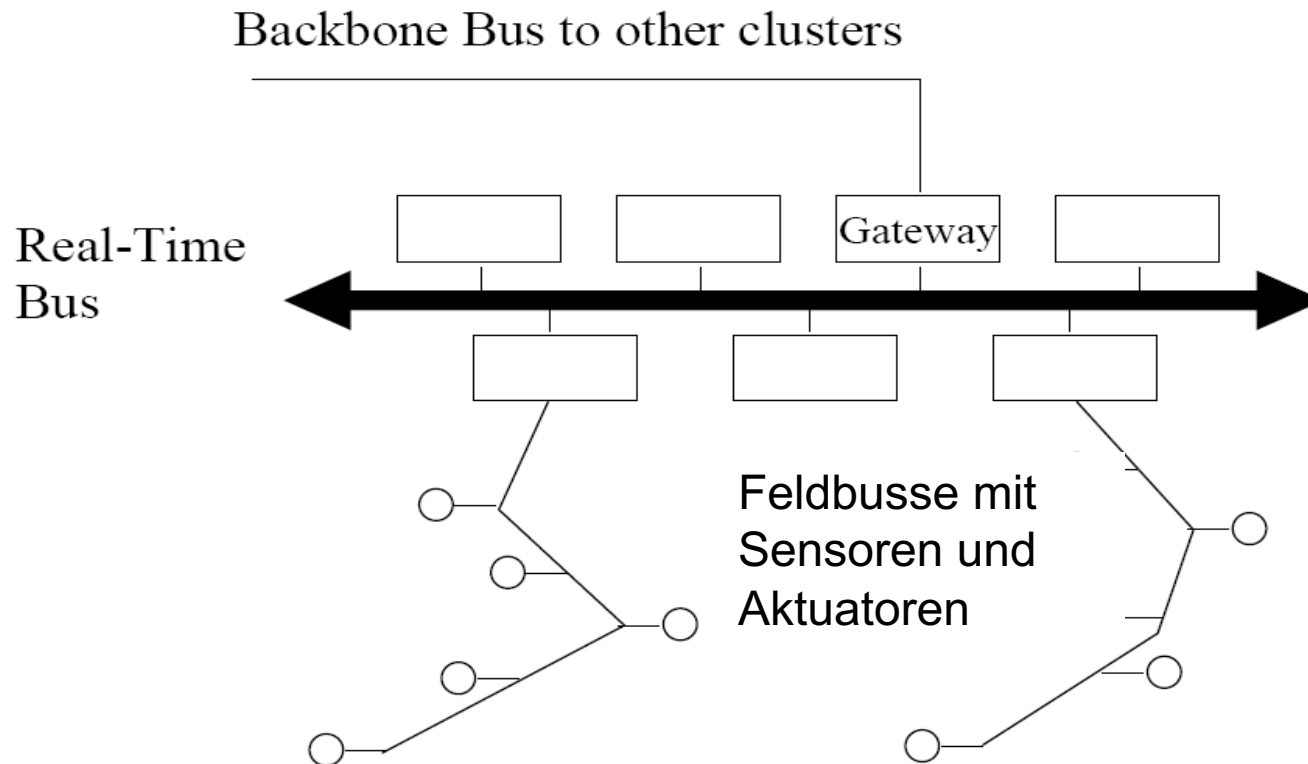
- Verteilte Echtzeitsysteme



# Einführung

## Echtzeit-Gerätesysteme und Strukturen

### Verteilte Echtzeitsysteme

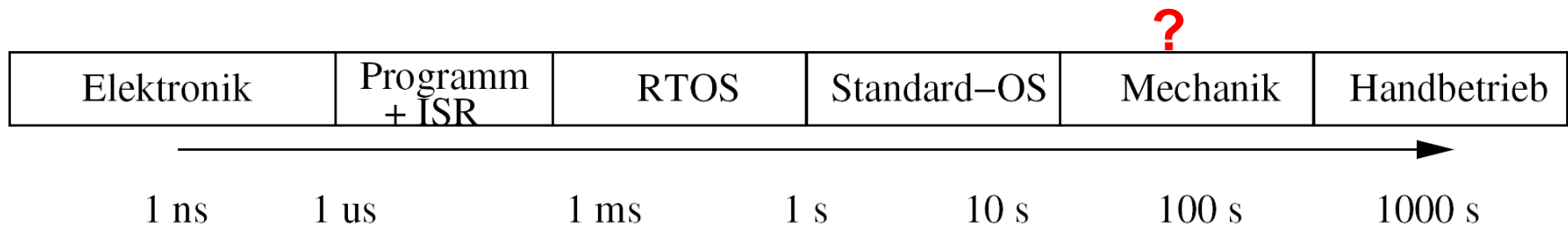


# Einführung

## Echtzeitsysteme

### Kriterien

- Pünktlichkeit/Rechtzeitigkeit (*timeliness*)
- Sicherheit (*safety*) (fail safe; Automotive, Luft/Raumfahrt)
- Verfügbarkeit
- Deterministisch (in geg. Zustand liefert System bei geg. Eingabe immer dieselbe Ausgabe; bei EZ-Systemen nicht trivial wg. Nebenläufigkeit)
- **!!!NICHT!!! Schnelligkeit, Geschwindigkeit!!!!**



# Einführung

**Genug als Einführung, jetzt wird's formaler...**

