

# Echtzeitsysteme – Zusammenfassung SS97

Michael Aschke

Inhaltsverzeichnis:

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 EINLEITENDE ÜBERSICHT.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 DER BEGRIFF DES ECHTZEITSYSTEMS.....  | 1         |
| 1.1.1 Betrachtung des Sachverhalts.....   | 1         |
| 1.1.2 Zusammenhang mit dem System.....  | 2         |
| 1.1.3 Hierarchisch ereignisdiskretes System als Grundlage.....  | 2         |
| 1.1.4 Klassifizierung von Systemen.....   | 3         |
| 1.1.5 Echtzeitsysteme (Esys) und Echtzeitsystemtechnik (E syst).....  | 3         |
| <b>2 EREIGNISDISKRETE SYSTEME ALS GRUNDLAGE FÜR DAS SYSTEM-ENGINEERING ZUR<br/>MODELLIERUNG VON STRUKTUR UND VERHALTEN VON SACHVERHALTEN.....</b> | <b>3</b>  |
| 2.1 VORGEHENSWEISEN (METHODENGEBÄUDE).....  | 3         |
| 2.2 MODELLIERUNGS- UND DARSTELLUNGSWEISEN DER ERGEBNISSE.....   | 3         |
| <b>3 EREIGNISDISKRETE SYSTEME ALS GRUNDLAGE FÜR DAS SYSTEM-ENGINEERING FÜR DEN<br/>FUNKTIONALEN ENTWURF VON ECHTZEITSYSTEMEN.....</b>             | <b>4</b>  |
| 3.1 GRUNDLAGEN FÜR DAS ENGINEERING.....   | 4         |
| 3.2 GRUNDLEGENDE BEGRIFFE.....  | 5         |
| 3.3 METHODENGEBÄUDE ZUM ENGINEERING.....  | 5         |
| 3.4 DARSTELLUNGSWEISEN FÜR ERGEBNISSE DES ENGINEERINGS FÜR DEN FUNKTIONALEN ENTWURF.....  | 5         |
| <b>4 SYSTEM-ENGINEERING FÜR DEN DIENSTORIENTIERTEN (OPERATIONALEN) ENTWURF VON<br/>ECHTZEITSYSTEMEN.....</b>                                      | <b>6</b>  |
| 4.1 GRUNDLAGEN, VORGEHENSWEISEN (METHODENGEBÄUDE) UND BEGRIFFE.....   | 6         |
| 4.2 MODELLIERUNG DER DIENSTKOOPERATION.....   | 6         |
| 4.3 FUNKTION UND DARSTELLUNG DER SYSTEMPLATTFORMDIENSTE (OSA++ FRAMEWORK).....  | 7         |
| <b>5 SYSTEM-ENGINEERING FÜR DIE PHYSIKALISCHE ARCHITEKTUR VON ECHTZEITSYSTEMEN...7</b>  | <b>7</b>  |
| 5.1 BEGRIFFE UND GRUNDLAGEN.....  | 7         |
| 5.2 ARCHITEKTUR DER SYSTEMPLATTFORMEN.....  | 8         |
| 5.3 SYSTEMPLATTFORMDIENSTE ZUR STRUKTURIERUNG VON SYSTEMPLATTFORMEN FÜR DIE REALISIERUNG VON<br>AUTOMATISIERUNGSSYSTEMEN.....                     | 8         |
| <b>6 DIE SYSTEMANALYSE VON PHYSIKALISCHEN, LINEAREN, KONTINUIERLICHEN DYNAMISCHEN<br/>ZU AUTOMATISIERENDEN SYSTEMEN.....</b>                      | <b>9</b>  |
| 6.1 GRUNDLAGEN UND PRINZIPIEN ZUR BESCHREIBUNG.....   | 9         |
| 6.2 GRUNDLAGEN UND PRINZIPIEN ZUR BESCHREIBUNG DER SIGNALVERARBEITENDEN SYSTEME.....  | 9         |
| 6.3 GEWICHTSFUNKTION, SPRUNGFUNKTION UND ÜBERTRAGUNGSFUNKTION ZUR BESCHREIBUNG LINEARER SYSTEME.....  | 9         |
| 6.4 VERHALTEN VON MITTELS REIHENSCHALTUNG, PARALLELSCHALTUNG UND GEGENSCHALTUNG ZUSAMMENGESETZTER SYSTEME.....                                    | 10        |
| 6.5 BESCHREIBUNG DES SYSTEMVERHALTENS UND DER SIGNALE MIT HILFE DER FOURIER-TRANSFORMATION UND DER LAPLACE-<br>TRANSFORMATION.....                | 10        |
| <b>7 MESSEN/REGELN/STELLEN IN DER KLASSISCHEN AUTOMATISIERUNGSTECHNIK.....</b>  | <b>12</b> |
| 7.1 MESSEN.....   | 12        |
| 7.2 REGELUNGSTECHNIK.....   | 14        |
| 7.3 STELLEN.....  | 15        |

## 1 Einleitende Übersicht

### 1.1 Der Begriff des Echtzeitsystems

#### 1.1.1 Betrachtung des Sachverhalts

- **Sachverhalt:** Reale u. abstrakte Dinge der Umwelt
- **Wahrnehmung:** Erkenntnisse über Sachverhalt
- **Objekt:** Gegenstand der Wahrnehmung
- **System:** Objektanordnungen (nach Regeln gebildet)

- **Modell:** Interpretierbare Repräsentation eines Systems

### 1.1.2 Zusammenhang mit dem System

- **System:** Kognitive, interpretierbare, nach Regeln gebildete Auffassung über Sachverhalt
- **System-Engineering:** Sachverhalte als System begreifen und damit umgehen
- **System-Technik:** Methodengebäude für das System-Engineering
- **System-Analyse:** System-Engineering zur Bildung von Systemauffassungen und -Modellen
- **Sicht:** Ausschnitt eines Sachverhalts
- **ECBS:** Engineering von Computer-basierten Systemen
- **Autonomes System:** nicht explizit eingebettet

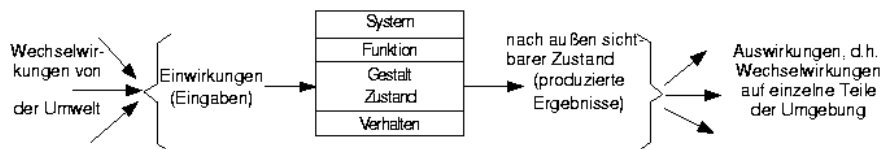
### 1.1.3 Hierarchisch ereignisdiskretes System als Grundlage

- **HDES:** zu automatisierende Systeme, automatisierte Systeme, automatisierende Echtzeitsysteme

#### 1.1.3.1 System als Ganzes (Black-Box)

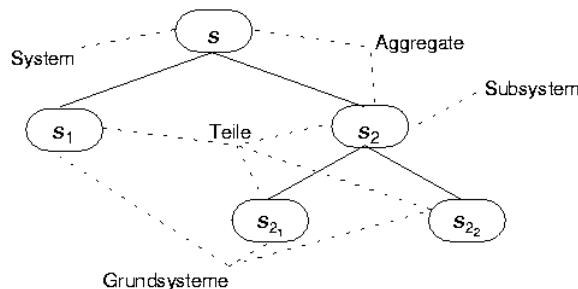
System wird in Beziehung mit nachfolgenden Eigenschaften/Objekten betrachtet:

- gleichbleibende Erscheinung (Gestalt)
- zeitinvariante Teile
- zustandsverändernde Einwirkungen



#### 1.1.3.2 Systeme als Aggregate

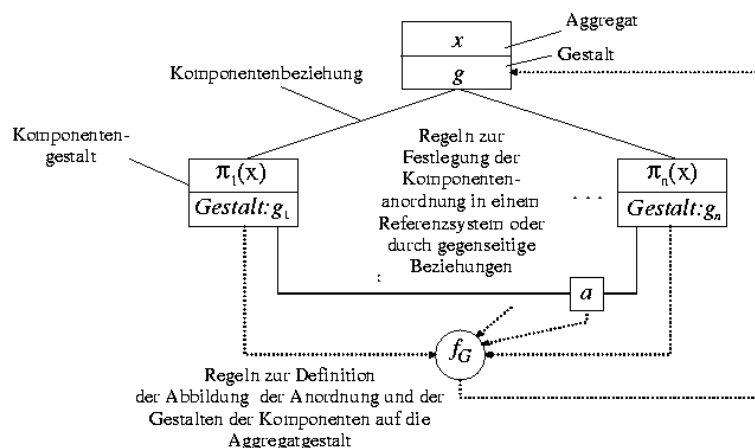
Systemhierarchie



**Begriffe:**

- **System:** ist nicht Komponente (Teil eines als Ganzes betrachteten, übergeordneten Systems)
- **Aggregat:** Gebilde, das selbst wieder Komponenten hat
- **Grundsystem:** "Blatt des Hierarchiebaumes" (quasi atomar)
- **Subsystem:** Aggregat, oder Grundsystem, das Teil eines Systems ist.

**Systemstruktur (Architektur) eines Aggregats**

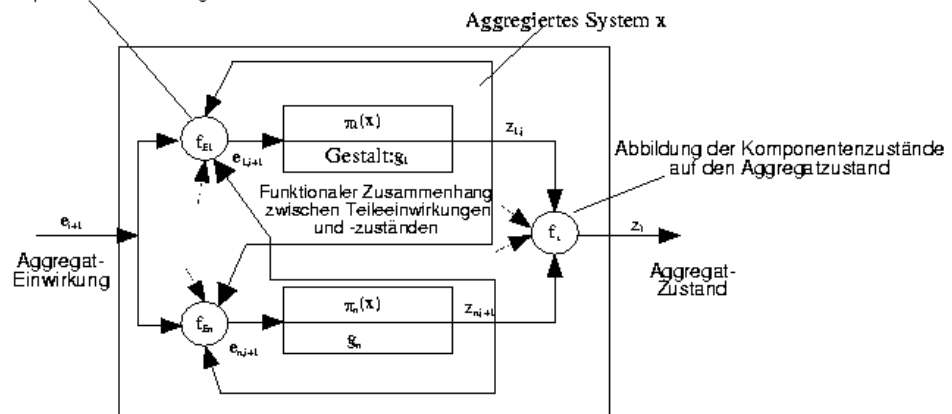


Mit diesen Begriffen, läßt sich eine "Blank-Box Betrachtung" durchführen

### Verhalten eines Aggregats:

- funktionale Beziehungen
- Einwirkungen auf die Komponenten (Bild 1.6, echt1, Folie 22)

Abbildung der Aggregateinwirkung und der Komponentenzustände auf die Komponenteneinwirkungen



#### 1.1.4 Klassifizierung von Systemen

- Echtzeitsysteme (Informatiksysteme, die zur Automatisierung schneller Prozesse dienen)
- Komplexe Systeme (tiefgestaffelte Hierarchie, rekursiv)
- Heterogene Systeme (die mit sonstigen Systemen zusammenwirken)

#### 1.1.5 Echtzeitsysteme (Esys) und Echtzeitsystemtechnik (E syst)

##### Klassifikationsmerkmale:

- Informatiksysteme
- Esys lassen sich als HDES auffassen
- repräsentieren meist eingebettete Systeme
- dienen meist zur Automatisierung der Teile von technischen Anlagen
- Bei komplexen, hierarchisch geschichteten Automatisierungssystemen gehören nur prozeßnahe Systemteile zu den Echtzeitsystemen
- E syst umfaßt Methodengebäude (Vorgehensweise), Richtlinien (Ergebnisse), fertige Teilergebnisse (wiederverwendbare Komponenten)

## 2 Ereignisdiskrete Systeme als Grundlage für das System-Engineering zur Modellierung von Struktur und Verhalten von Sachverhalten

### 2.1 Vorgehensweisen (Methodengebäude)

- Systemanalyse
- Problemanalyse
- zugehörige automatisierende Systeme Echtzeitautomatisierungssysteme
- das Ganze automatisiertes System, Echtzeitanlage

### 2.2 Modellierungs- und Darstellungsweisen der Ergebnisse

- **Einwirkungen:** externe Ereignisse auf Systeme und Teilsysteme
- **Zustandsänderungen:** interne Ereignisse im System oder Aggregat
- funktionale Beziehung:

$$f_{sy}(einw_{i+1}, g, zu_i) = zu_{i+1} \quad \text{Gl.1}$$

$$f_v(einw, g, zu) = zu'$$

mit  $einw \in \{einw \mid einw \text{ ist Element des Raums der Einwirkungsereignisse} \}$   
 $zu, zu' \in \{zu \mid zu \text{ ist ein zugehöriges Element des Raums der Zustandsereignisse} \}$   
 $g \in \{g \mid g \text{ ist Element des Raums der Gestaltsmerkmale} \}$

Gl.3

#### Modell der Funktionsspezifikation in Form eines HDES (White Box Betrachtung)

- Teilsysteme, deren Verhalten isoliert analysiert werden kann:
 
$$f_{xy:e}(e_{i+1}, z_{1,j_1}, \dots, z_{n,j_n}) = e_{s_{j_k+1}} \quad \text{Gl.5}$$

$$f_{xy:e}(\text{einw}_{xy}, z_{u_1}, \dots, z_{u_n}) = \text{einw}_{TS} \quad \text{Gl.6}$$
- Zustandsänderungen werden durch endliche Automaten definiert
- Auswirkung der Zustände:
 
$$f_{xy:z_u}(z_{u_1}, \dots, z_{u_n}, z_{\text{sgg},i}) = z_{\text{sgg},i+1}$$
- Systemklassenmodell Blockschaltbild
- Vollständige Darstellung erfordert explizite und implizite Definition der Funktionen
- Variablenbezeichner für Systeme durch reale Bezeichner ersetzen Entstehung von Blockschaltbildern für reale Systeme
- Wichtig ist die Interpretierbarkeit der Bezeichner
- Formales Modell:
  - $\text{mr}(s) = \langle\langle \text{OB}(s), \text{KB}(s), \text{VB}(s), \text{BB}(s), \text{FB}(s) \rangle, \text{SPEC}(\text{SIG}; \text{REG}) \rangle$
  - $\text{OB}(s)$  = Menge der Bezeichner für die Werte der Systeme, für Einwirkungen, Zustände, Gestaltungsparameter ( $\text{OB}$  = Objektbezeichner(menge))
  - $\text{KB}(s)$  = Klassenbezeichner, denen Werte (Objekte) angehören
  - $\text{VB}(s)$  = Variablenbezeichner
  - $\text{BB}(s)$  = Beziehungsbezeichner
  - $\text{FB}(s)$  = Funktionsbezeichner
- Gl 1–6 = Richtlinien für die Regelwerke

#### Skizze eines Regelwerks:

- Betrachtung des zugrundeliegenden Sachverhalts als Ganzes, sowohl Anlage als auch benötigtes Echtzeitsystem
- Je nach Komplexität Unterteilung des Systems
- Bei Dekomposition sollten Teile wieder selbst anschauliche Anlagenelemente repräsentieren
- Wenn immer möglich: Dekomposition auf bekannte und wiederverwendbare Teile
  - Falls nicht möglich: Entwurf von generalisierbaren Teilen, die sich vielfach wiederverwenden lassen
- Feststellung der systemgestaltenden, zeitinvarianten Merkmale, zeitinvarianten Zustände und Einwirkungen bei allen rekursiv gebildeten Teilen
- Funktionsspezifikation, funktionale Beziehungen festlegen
- Auf Zeitverhalten muß geachtet werden ... zwei Vorgehensweisen
  - Auswirkungen bei Funktionsspezifikation abschätzen und diese entsprechend gestalten (bei Erfahrungsmangel (bzgl des Systems) können nicht realisierbare Spezifikationen auftreten)
  - Vollständige Berücksichtigung der Einschränkungen und Aufnahme derselben in die Funktionsspezifikation (immer realisierbare Spezifikationen (bei umsichtiger Vorgehensweise))
- Funktionsspezifikation muß eindeutig und konsistent sein

## 3 Ereignisdiskrete Systeme als Grundlage für das System-Engineering für den funktionalen Entwurf von Echtzeitsystemen

### 3.1 Grundlagen für das Engineering

- Beim Engineering für den funktionalen Entwurf legt man das Verhalten in den erforderlichen Einzelheiten fest.
- Dabei muß ein Modell gebildet werden mit Teilen, die Teilautomatisierungsaufgaben lösen. Grundteile müssen als bekannt vorausgesetzt werden
- Meß-/Stell- und Regelsysteme werden a priori als bekannte Grundsysteme aufgefaßt
- Vorgehensweise zum Engineering beruht ebenfalls auf dem Konzept des HDES
  - **Erster Schritt:** Wenn bei Funktionsspezifikation noch keine Stellgrößen rekursive Erstellung eines vollständigen Modells durch fortlaufende Dekomposition
  - Grundsysteme: Stellsystem beinhaltet Stellglied und Stellgliedansteuerung, Meßsystem beinhaltet Sensor und Meßwerterfaßeinheit
  - Es wird vorausgesetzt, daß man entweder auf Zustandsereignisse sicher schließen kann, oder daß Meßsysteme existieren, aus welchen man die Zustände beobachten kann.
  - Das gewünschte Automatisierungssystem muß in Form des HDES dargestellt werden können
  - Nachprüfen, ob Werte der Zustandsänderung (erzwungen) mit den spezifischen Werten der Zustandsänderung übereinstimmen
    - Überprüfung während des Entwurfs Verifikation

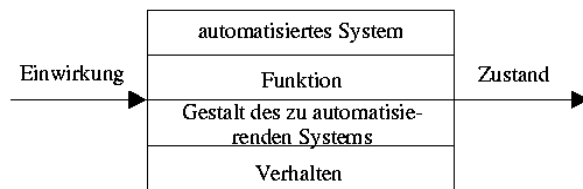
- Überprüfung während des Betriebs (maschinell) selbstständiger Diagnose
- Ablauf in 2 Schritten:
  - erster Schritt: Funktionsspezifikation, vollständiges Modell
  - zweiter Schritt: Einwirkungs-/Beobachtungsfunktionen Instanzen zuordnen.
- Das Instanzenmodell bildet das Ergebnis des Engineerings zur funktionalen Spezifikation
- Die Form des Instanzenmodells gemäß ISO/OSI-Schichtenmodell

### 3.2 Grundlegende Begriffe

- **steuerbar:** System, daß spezifische Zustände zu den damit assoziierten Zeitpunkten annimmt mit vorhandenen Stellgliedern zur Ansteuerung
- **beobachtbar:** wenn man entweder sicher auf die Zustandsgrößen schließen kann oder physikalische Größen messen und damit alle spezifizierten Zustände beobachten kann
- **Steuerung eines Systems: Wenn man** Steuerungsgrößen (Stellsignale, Stellglieder) nach dem Modell des automatisierten Systems bildet und physikalische Zustände nicht explizit mißt
- **Zustandsmessung und -Beobachtung eines Systems:** Wenn man bei Automatisierung nicht explizit mit Stellsignalen auf Stellglieder einwirkt, sondern nur Signale erfaßt und daraus auf Systemzustände zu assoziierten Zeitpunkten schließt
- **Regelung, (komplex, ereignisdiskret) rückgekoppelte Automatisierung:** Wenn man mit Stellsignalen auf Stellglieder einwirkt, Stellsignale nicht nur aufgrund der äußeren Einwirkung bildet, sondern auch aufgrund von erfaßten physikalischen und daraus beobachteten Zustandsgrößen ermittelt

### 3.3 Methodengebäude zum Engineering

Zur Anschauung:



- Bilde Modell (rekursiv)
- Modell stellt das "How" für das in Abschnitt 2 spezifizierte "What" dar
- Festlegung des Modells in Form des Instanzenmodells (auch Schichtenmodell genannt)

### 3.4 Darstellungsweisen für Ergebnisse des Engineerings für den funktionalen Entwurf

Form: Gl.3.1

$sy-zu_{i+1} = f_{eg}(sy-einw-er_{i+1}, g_r-zu_i) \leftrightarrow$  % Echtzeitsystemebene k  
 % Eingang/Ausgangsbeziehung des automatisierten Systems (Spezifikation)

$tsyl-er_{i+1} = f_{teyl-e}(sy-einw-er_{i+1}, tsyl-zu_{i_1}, \dots, tsyn-zu_{i_n})$ ,  
 % Einwirkungen auf das Teilsystem 1

$\wedge tsyl-zu_{i_1} = f_{teyl}(tsyl-er_{i_1}, g_{i_1}, tsyl-zu_{i_1})$   
 % Ein-/Ausgangsbeziehung des Teilsystems 1

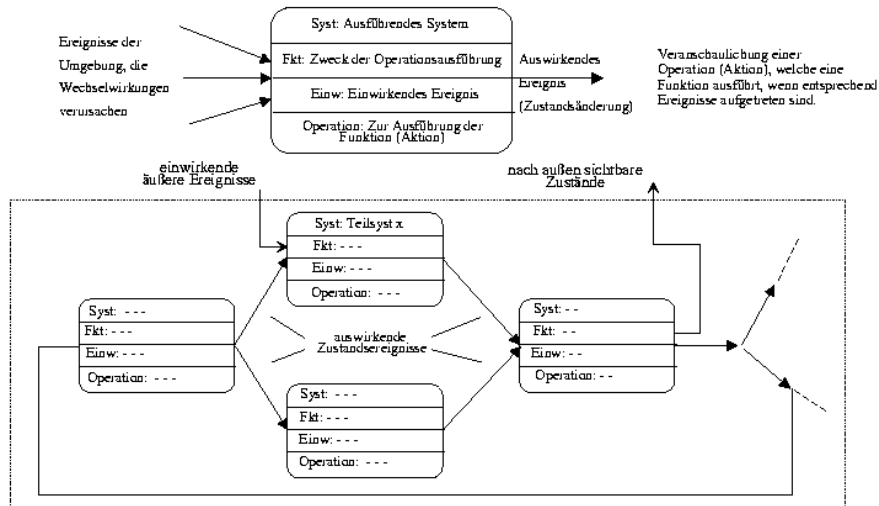
^ - - - - -  
 $\wedge tsyn-er_{i_n+1} = f_{teyn-e}(sy-einw-er_{i+1}, tsyl-zu_{i_1}, \dots, tsyn-zu_{i_n})$   
 % Einwirkungen auf das Teilsystem n

$\wedge tsyn_{i_n} = f_{teyn}(tsyn-er_{i_n+1}, g_{i_n}, tsyn-zu_{i_n})$   
 % Eingangs/Ausgangsbeziehung des Teilsystems n

$\wedge sy-zu_{i+1} = f_{eg}(sy-zu_{i_1}, sy-zu_{i_1+1}, \dots, tsyn-zu_{i_n+1})$   
 % Abbildung der Komponentenzustände auf den Systemzustand, d.h. auf den durch das Ereignis  $sy-einw_{i+1}$  implizit bewirkte Zustand  $sy-zu_{i+1}$ . Hierdurch muß die Spezifikation erfüllt werden.

- Prädikatenkalkül erster Stufe
- Bei Instanzenmodell:
  - Rekursiv absteigend Sollvorgaben, Bildung der Stellsignale
  - Rekursiv aufsteigend Beobachtung der Aggregate und des Systemzustands
  - Signatur [mr(s)] muß um die Bezeichner der Instanzen erweitert werden

- Graphische Darstellung des funktionalen Ablaufs: Abb 3.6



## 4 System-Engineering für den dienstorientierten (operationalen) Entwurf von Echtzeitsystemen

### 4.1 Grundlagen, Vorgehensweisen (Methodengebäude) und Begriffe

- Hier "What" nicht "How"
- Zweckmäßig wird eine Zwischenphase zwischen Entwurf und Transformation des funktionalen Modells, welche **dienstorientier Entwurf** heißt und zu einem **Dienstmodell** führt.
- Transformation (Realisierung mit informationstechnischen Mitteln) des funktionalen Modells in ein Dienstmodell
- **Dienst:** abstrakte informationstechnische Einheit nach Vorschrift, kann mit anderen Diensten kooperieren
- Zum Dienst gehört eine **Ablage** für **Aufträge** (auch an untergeordnete Dienste) und **Ergebnisse**
- **Dienststeuerung:**
  - **Start**
  - **Unterbrechung**
  - **Fortführung**
  - **Beendigung**
- **Betriebsparameter**
- **Betriebsunterbrechung:** Auftrag, der in Bearbeitung ist, wird zuendegeführt, dann der Betrieb unterbrochen
- **Dienstbeendigung:** Alle bis dahin übergebenen Aufträge werden noch bearbeitet (vgl. Xerox)

#### Vorgehensweisen:

- Einzelnen Instanzen werden Dienste zur Ausführung zugeordnet
- Einem Dienst obliegt damit die Ausführung der Funktion
- Grundautomatisierungsinstanzen meist: Meß-/Stell- oder Regelsysteme werden meist autonom arbeitenden Diensten zugeordnet.
- Dienstbeauftragung, Ergebnismeldung
  - Ergebnisse werden entweder in der Ablage des auftraggebenden Dienstes hinterlegt, oder verbleiben in der Ablage des ausführenden Dienstes (bei letzterem: aktiver Zugriff darauf von anderen Diensten möglich)

### 4.2 Modellierung der Dienstkooperation

- Systemplattformdienste = Dienste zur Ausführung der Dienstkooperation
- Dienstarchitektur = Dienstmodell, welches präzise angibt, wie das spezifische, funktionale Verhalten auszuführen ist und Systemplattform, welche dieses Dienstmodell ausführen kann.
- Festlegung der Dienstarchitektur setzt Definition des Systemplattformdienste und Regeln zum Aufbau einer Dienstarchitektur voraus.
- OSA++ (Open System Architecture)
- CORBA (Common Object Request Broker Architecture) (von der OMG (Object Management Group) festgelegt) [Aussagen über einzuhaltende Funktionalität (aus Flexibilitätsgründen)]
- CORBA ist im Gegensatz zu OSA++ nicht für Echtzeitanforderungen gedacht.

## 4.3 Funktion und Darstellung der Systemplattformdienste (OSA++ Framework)

- zur Dienststeuerung
  - $\text{btr-steu}(\text{di}, \text{btr-inf}) = \text{btr-def}$        $\text{btr-def} \in \{\text{True}, \text{False}\}$
  - $\text{di-start}(\text{di}, \text{btr-inf}) = \text{start}$ ,       $\text{start} \in \{\text{True}, \text{False}\}$
  - $\text{di-unterbr}(\text{di}) = \text{unterbr}$ ,       $\text{unterbr} \in \{\text{True}, \text{False}\}$
  - $\text{di-fortf}(\text{di}) = \text{fortf}$ ,       $\text{fortf} \in \{\text{True}, \text{False}\}$
  - $\text{di-beendg}(\text{di}) = \text{beendg}$ ,       $\text{beendg} \in \{\text{True}, \text{False}\}$
- Informationsfunktion
  - $\text{betr-inf}(\text{di}) = \text{di-betr-inf}$
- Explizite Darstellung der Beauftragung
  - $\text{auftr-ert}(\text{di}, \text{auftr-inf}) = \text{vorg}$
- Der gesamte Prozeß für die Ausführung des Auftrags wird **Vorgang** genannt
- Explizite Ergebnismeldung
  - $\text{erg-meld}(\text{di}, \text{vorg}, \text{erg-inf}) = \text{vorg-abschl} \in \{\text{True}, \text{False}\}$
- Dienstkooperation
  - $\text{ert-auftr/erg}(\text{di}, \text{auftr-inf}) = \text{erg-inf}$
- Flexible Modellierung der Kooperation
  - $\text{erw-atr}(\text{di}) = \text{auftr-inf}$
- Tätigkeit solange unterbrechen, bis ein durch einen Vorgang gekennzeichnetes Ergebnis eintrifft
  - $\text{erw-erg}(\text{di}, \text{vorg}) = \text{erg-inf}$
- Modellierung (dienstablauf (Befehle beziehen sich auf Ablage))
  - $\text{exist-atr}(\text{di}, \text{auftr-inf}) = x$        $x \in \{\text{True}, \text{False}\}$
  - $\text{exist-erg}(\text{di}, \text{vorg}) = x$        $x \in \{\text{True}, \text{False}\}$
- Ablage
  - $\text{lese}(\text{di}, \text{cond}, \text{erg-inf}) = \text{inf}$ 
    - Angabe der Position
      - $\text{pos} \in \{\text{Erster}, \text{Letzter}, \text{Vorletzter}, \text{Nächster}\}$
      - Erster = zuerst erfolgter Eintrag
      - Nächstes = trivial
      - Letztes = zuletzt erfolgter Eintrag
      - Vorletztes = vorher erfolgter Eintrag
    - Zahl n, über die Mittelwert zu bilden ist
      - $\text{mittelwert} \in \langle n, \text{pos} \rangle$
    - n gemessene Werte, im Intervall  $x_1 \geq x > x_2$ 
      - $\text{wertrelation} \in \{x_1, x_2, n\}$
    - Überprüfung, ob Ergebnis mit Wert übereinstimmt
      - $x = x_1$
  - $\text{schreibe}(\text{di}, \text{inf}, \text{pos}) = x$        $x \in \{\text{True}, \text{False}\}$ 
    - $\text{pos} \in \text{IN} \cup \{\text{zt} \mid \text{zt} = \text{auszuführender Zeitpunkt}\}$

## 5 System-Engineering für die physikalische Architektur von Echtzeitsystemen

### 5.1 Begriffe und Grundlagen

- **Systementwurf:** Transformation des dienstorientierten Modells in ein physikalisches Modell, Dienstbausteine festlegen und diese physikalischen, informationsverarbeitenden Einheiten zuzuordnen (Systemplattformen zu strukturieren)
- Es ist möglich einer Plattform mehrere Dienstbausteine zuzuordnen (paralleles Arbeiten)
- Systemplattformen müssen in beliebiger Weise miteinander vernetzt werden können
- Dienstbausteine müssen allozierbar und so die Systemplattformen strukturierbar sein
- Die Allokierung erfordert entweder eine feste Verdrahtung des Speichers, oder läuft programmgesteuert über einen programmierbaren Speicher (wird heutzutage meist gemacht)
- Im Speicher muß eine dienstspezifische Ablage eingerichtet werden

#### Vorgehensweise zur Bildung eines Modells für die physikalische Automatisierungsarchitektur

- erster Schritt: Festlegung der Systemplattformarchitektur aufgrund der Anforderungen der auszuführenden Dienste und nichtfunktionaler Anforderungen (z.B. Verteilung der Plattformen)
  - Dabei sind die Architekturen bzgl. Peripherie und Prozessor zu beachten, sowie die Art der Vernetzung

- zweiter Schritt: Festlegung der Dienstbausteine und Dienste und Bestimmung, auf welchen Systemplattformen die Dienstbausteine zu allokiert sind
- dritter Schritt: Erstellung einer Vorschrift, nach der nacheinander das Automatisierungssystem aufgebaut und strukturiert wird
  - heute: struktureller Aufbau meist softwaregesteuert

## 5.2 Architektur der Systemplattformen

- Nachrichtenaustausch über Standardschnittstellen (z.B. TCP/IP)
- Bei Echtzeitanforderungen ist ein entsprechendes Betriebssystem vonnöten
- Wichtig: Physikalische Schnittstellen, Eigenschaften der Betriebssystemebene und der Prozessorleistung
- Die Systemplattformarchitektur entspricht im wesentlichen dem ISO/OSI Schichtenmodell.
  - Nachrichtentransportschicht (Ebene 4)
  - Systemplattformschicht (Ebenen 5–7)
  - Schicht 7 nur nach außen zugänglich
- Alle Dienste, die auf einer Systemplattform konfiguriert sind, kommunizieren über diese. Die Systemplattform gewährleistet die Unabhängigkeit von Betriebssystem und Prozessoren
- Ein Echtzeitsystem ist **offen**, wenn es möglich ist, jederzeit zusätzliche Dienste hinzuzufügen oder wegzunehmen bzw. zu ändern
- OSA++ erlaubt im Gegensatz zu CORBA–ORB die Verwendung verschiedener Nachrichtentransportdienste (nicht nur TCP/IP). Beim Einsatz dieser muß auf die Echtzeiteigenschaften geachtet werden. Wenn Echtzeitanforderungen vorliegen, werden RS485 Schnittstellen oder Feldbusse eingesetzt, sonst Standard–Netzwerke

## 5.3 Systemplattfordienste zur Strukturierung von Systemplattformen für die Realisierung von Automatisierungssystemen

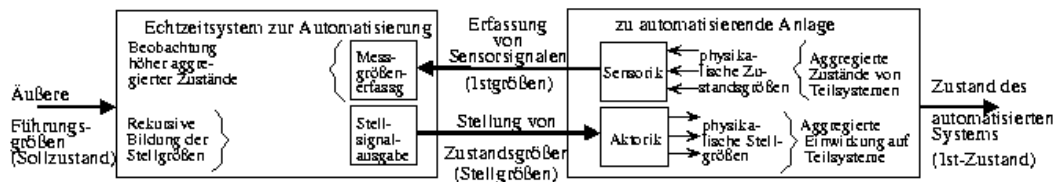
- Dienstbausteinallokierung (plf = Systemplattform)
  - create-service-brick(plf,brick-inf)=brick
  - delete-service-brick(plf,brick) ∈ {True, False}
- Einrichten von Diensten
  - config-service(brick,serv-inform)=service
  - deconfig-service(brick,service) ∈ {True, False}
- Verknüpfung von Diensten
  - define serv-access(serv,acc-inf)=acc-port (acc-port = Zugang/rechte)
  - define message-port(serv,message-def)=m-port (m-port Zugangsstelle für Ergebnisse)
- Dienste initialisieren
  - init-serv(serv,init-inform) ∈ {True, False}
  - start-serv(serv) ∈ {True, False}
  - stop-serv(serv) ∈ {True, False}
  - continue-serv(serv) ∈ {True, False}
  - end-serv(serv) ∈ {True, False}
- Dienstkooperation während des Betriebs (wie in Kap 4, nur auf "angelsächsisch")
  - place-order(serv,order-inf)=ref
  - await-order(serv,order-inf)=ref
  - send-result(serv,ref,result-inf) ∈ {True, False}
  - await-result(serv,ref)=result-inf
  - exist-order(serv,ref)=order-inf
  - exist-result(serv,ref)=result-inf
  - write-order-inf(serv,order-inf) ∈ {True, False}
  - read-result-inf(serv-cond)=result-inf



# 6 Die Systemanalyse von physikalischen, linearen, kontinuierlichen dynamischen zu automatisierenden Systemen

## 6.1 Grundlagen und Prinzipien zur Beschreibung

- Ist-Wert soll dem geforderten Sollwert nachgeführt werden (Abb. 6.1 echt6, Folie 5)



- Problemanalyse
- Systemanalyse

### Lagrange'sche Zustandsfunktion

- $L(q', q) = I(q', q) - P(q)$ 
  - $q'$  und  $q$  = generalisierte Koordinaten, welche den Energiezustand in einem Referenzsystem beschreiben und deren zeitliche Ableitungen
  - $I$  = kinetische Energie,  $P$  = potentielle Energie
- Gl.6.2 beinhaltet die zeitliche Änderung der Energiezufuhr:

## 6.2 Grundlagen und Prinzipien zur Beschreibung der signalverarbeitenden Systeme

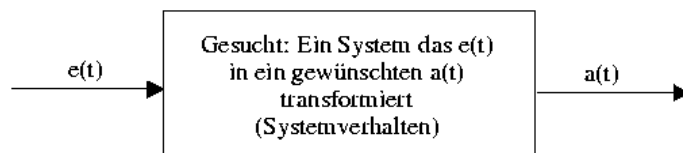
### Der Begriff des Signals:

- Die rechte Seite der Differentialgleichungen, d.h. Kräfte, Momente und andere physikalische Größen sind Eingangssignale. Die sich durch Integration ergebenden physikalischen Größen stellen die Ausgangssignale dar

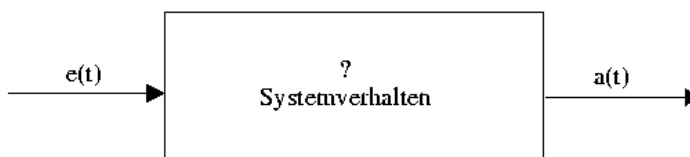
## 6.3 Gewichtsfunktion, Sprungfunktion und Übertragungsfunktion zur Beschreibung linearer Systeme

### Prinzipielle Fragen:

- Systemsynthese (Abb. 6.8)

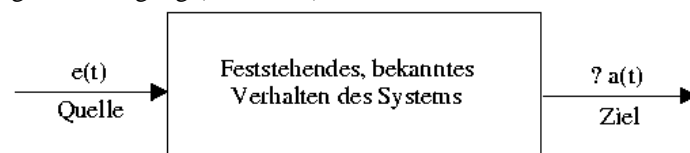


- Systemanalyse (Abb. 6.9)



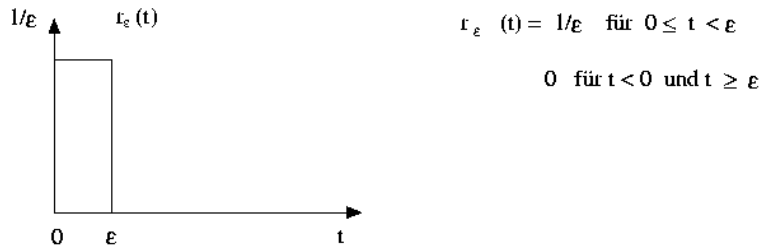
- Kenntnis wichtig, wie Eingangssignale bei der Übertragung verformt werden

- Signalübertragung (Abb. 6.10)

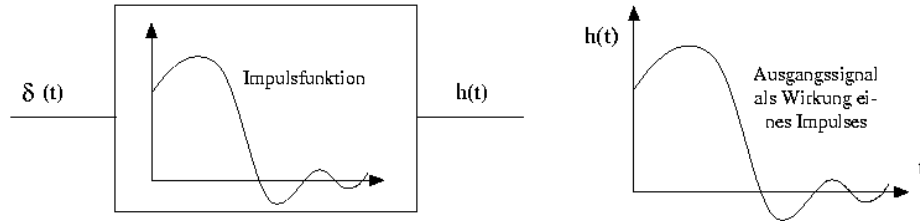


### Impulsantwort von linearen kontinuierlichen dynamischen Systemen

- Abb 6.11 (Was ist eine Impulsfunktion?)



- Abb 6.12 (Was ist eine Impulsantwort?)



- Die dem Impuls innewohnende Energie ist per definitionem 1
- Voraussetzung für die Verknüpfung jedes Eingangssignals  $e(t)$  mit dem dazugehörigen Ausgangssignal ist das Prinzip der Superposition (setzt Linearität der Systeme voraus)
- Faltungsintegral:
- Sprungfunktion (Amplitude nimmt konstant den Wert 1 an)

## 6.4 Verhalten von mittels Reihenschaltung, Parallelschaltung und Gegenschaltung zusammengesetzter Systeme

### Hintereinanderschaltung

- Abb 6.15

$$a(t) = \int_{-\infty}^t h_2(t-\tau_1) \int_{-\infty}^{\tau_1} h_1(\tau_1-\tau_2) x(\tau_2) d\tau_2 d\tau_1$$

$$= \int_{-\infty}^t \int_{-\infty}^{\tau_1} h_2(t-\tau_1) h_1(\tau_1-\tau_2) x(\tau_2) d\tau_2 d\tau_1$$

### Parallelschaltung

- Abb 6.16:

$$a(t) = \int_0^t h_1(t-\tau) e(\tau) d\tau + \int_0^t h_2(t-\tau) e(\tau) d\tau$$

### Gegenschaltung

- Abb 6.17

$$a(t) = \int_{-\infty}^t h_1(t-\tau_1) e(\tau_1) d\tau_1 - \int_{-\infty}^t \int_{-\infty}^{\tau_1} h_1(t-\tau_1) h_2(\tau_1-\tau_2) a(\tau_2) d\tau_2 d\tau_1$$

## 6.5 Beschreibung des Systemverhaltens und der Signale mit Hilfe der Fourier-Transformation und der Laplace-Transformation

- $e(t) = e^{j\omega t}$  mit  $\omega = 2\pi f$
- Fourier-Transformation der Impulsantwort:

$$H(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

- Hierbei gilt:

$$A(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$E(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} e(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$H(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) e^{-j\omega t} dt$$

- Einfache Beschreibung des Eingangs-/Ausgangsverhalten:

$$\frac{A(j\omega)}{E(j\omega)} = H(j\omega)$$

- Bei instabilen Systemen zeigt  $a(t)$  exponentiell anklingende Schwingungen auf. In diesem Fall ist die Beschreibung mit der Fourier-Transformation nicht mehr möglich, da sie bei  $t \rightarrow \infty$  nicht konvergiert.

- In diesen Fällen wird links und rechts mit einem exponentiell abklingenden Signal  $e^{j\omega - p t}$  multipliziert, so daß alle Schwingungen mit  $t \rightarrow \infty$  gegen den Wert 0 konvergieren. Dann:  $s = j\omega + p$

- $A(s), E(s), H(s)$  repräsentieren die Laplace-Transformierten:

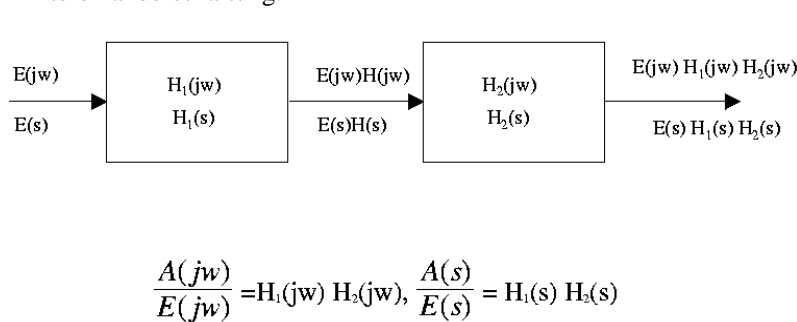
$$E(s) = \int_0^{\infty} e(t) e^{-st} dt$$

$$A(s) = \int_0^{\infty} a(t) e^{-st} dt$$

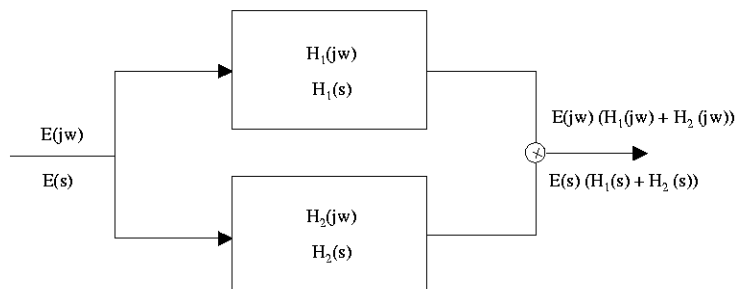
$$H(s) = \int_0^{\infty} h(t) e^{-st} dt$$

### Die Laplace- und Fourier-Transformierten der Hintereinander-, Parallel- und Gegenschaltung von Systemkomponenten:

- Hintereinanderschaltung:

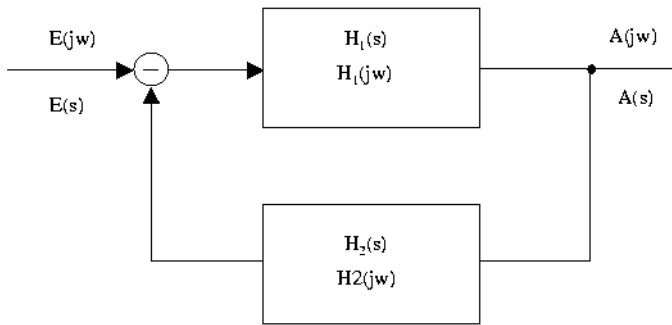


- Parallelschaltung:



$$\frac{A(j\omega)}{E(j\omega)} = H_1(s) + H_2(s), \quad \frac{A(s)}{E(s)} = H_1(s) + H_2(s)$$

- Gegenschaltung:



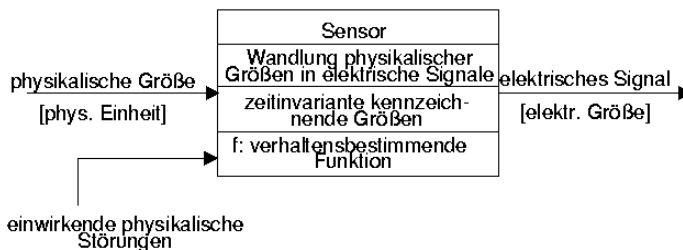
$$A(j\omega) = E(j\omega) H_1(j\omega) - A(j\omega) H_2(j\omega) H_1(j\omega)$$

$$\frac{A(j\omega)}{E(j\omega)} = \frac{H_1(j\omega)}{1 + H_1(j\omega)H_2(j\omega)}; \quad \frac{A(s)}{E(s)} = \frac{H_1(s)}{1 + H_1(s)H_2(s)}$$

## 7 Messen/Regeln/Stellen in der klassischen Automatisierungstechnik

### 7.1 Messen

- Umwandlung physikalischer Größen in elektrische Signale
- Illustration eines Sensors als signalverarbeitendes System:

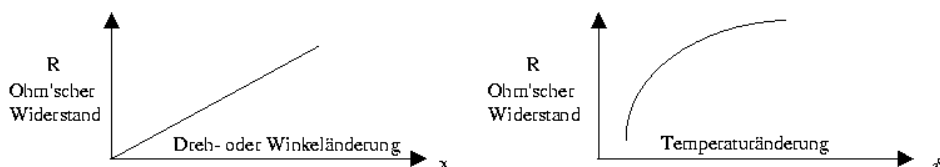


- Physikalische Größen:
  - Widerstand
  - Induktivität
  - Kapazität

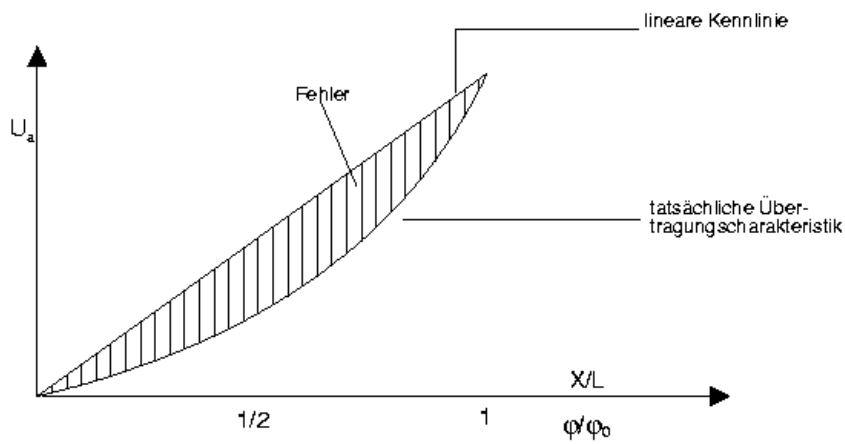
### Beispiele für ohm'sche Meßgeber und für Meßfühleranordnungen

| Ohm'scher Meßgeber      | Potentiometer        | Dehnmeßstreifen                              | Widerstandsthermometer | Fotowiderstand           | Feldplatte                      |
|-------------------------|----------------------|--|------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Meßgröße                | Weg, Winkel          | Dehnung, Kraft, Druck, Weg, Winkel, Thorsion | Temperatur, Strömung   | Lichtgrößen, Weg, Winkel | Magnetische Größen, Weg, Winkel |
| sichveränderliche Größe | Ohm'scher Widerstand | Ohm'scher Widerstand                         | Ohm'scher Widerstand   | Ohm'scher Widerstand     | Ohm'scher Widerstand            |

- Übertragungseigenschaften von Meßfühlern und Feldplatten

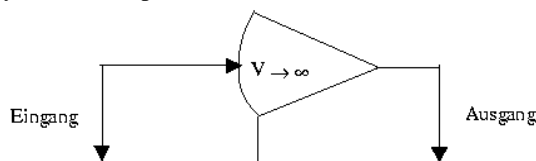


- Übertragungscharakteristik eines Potentiometers

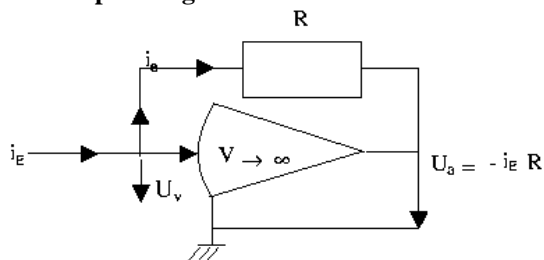


- **Meßwertaufbereitung:**

- Operationsverstärker: Hoher Widerstand und sehr hohe Verstärkung, die als  $\infty$  betrachtet werden kann
- Symbol des Operationsverstärkers:



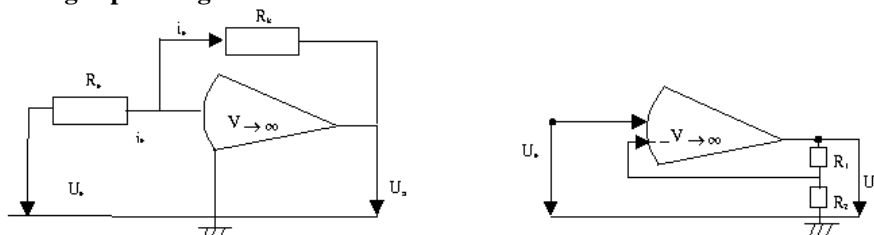
- **Strom/Spannungswandler**



$$U_a = i_E R$$

Stromspannungswandlung ist z.B. bei der Messung von Helligkeiten mit Hilfe von Photoelementen bedeutsam.

- **Spannungs/Spannungswandler**



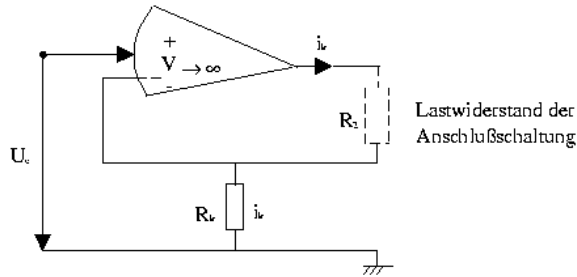
Bei der linken Schaltung:

$$i_e = \frac{U_e}{R_e}; \quad u_a = -i_e R_s = -u_e \frac{R_s}{R_e}$$

Bei der rechten Schaltung (annähernd):

$$V \left( U_e - \frac{U_a R_2}{R_1 + R_2} \right) = U_a \quad \text{mit } V \rightarrow \infty \quad U_a = U_e \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

- **Spannungs/Stromwandlung**



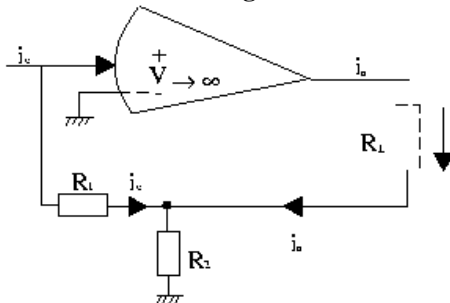
$$V (U_e - i_k \cdot R_k) = i_k (R_k + R_2)$$

mit  $V \rightarrow \infty$

$$i_k = \frac{U_e}{R_k}$$

Eine Anwendung: Wenig fehlerhafte Gleichrichtung einer Wechselspannung

- **Strom/Stromwandlung**



$$V (i_e (R_1 + R_2) + i_o R_2)$$

$$= i_o R_1 + (i_e + i_o) R_2$$

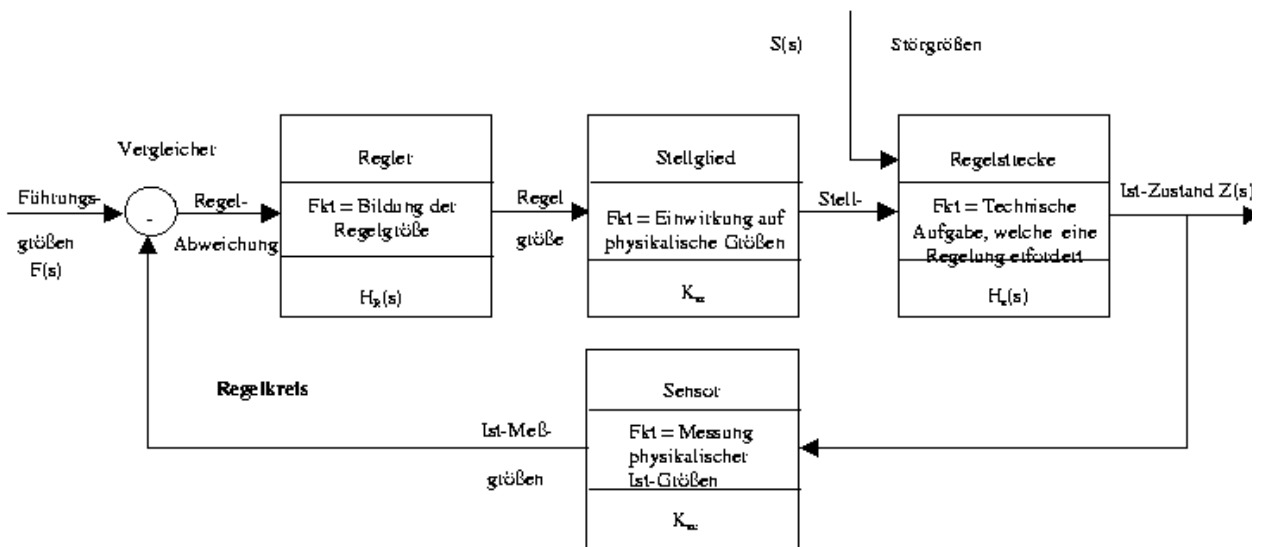
mit  $V \rightarrow \infty$

$$i_o = i_e \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

## 7.2 Regelungstechnik

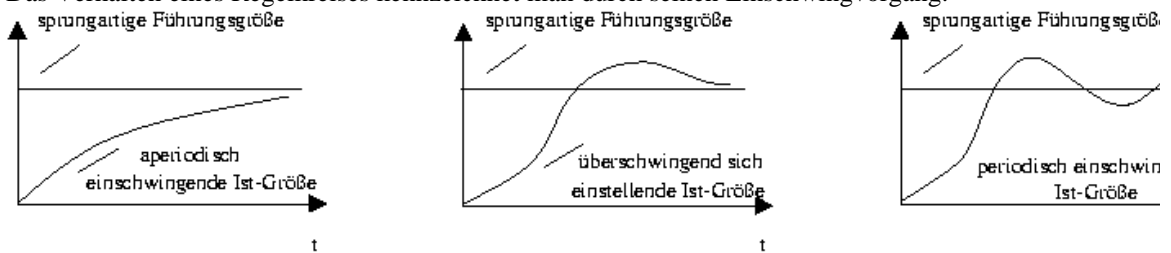
- Die Methodik zur selbständigen Regelung von physikalischen Systemen
- Regeln heißt, physikalische Ist-Zustände zu messen, sie mit vorgegebenen Führungsgrößen (Soll-Werte) zu vergleichen und bei Regelabweichungen durch einen Regler eine Regelgröße zu bilden. Damit muß über Stellglieder auf das physikalisch/technische System eingewirkt werden, daß sich die Ist-Zustandsgrößen den gewünschten Soll-Größen fortlaufend annähern.

**Regelkreis:**



- Bei Regelung einer physikalischen Größe (Fahrzeuggeschwindigkeit): **einschleifiger Regelkreis**
- Bei mehreren zu regelnden Größen (Flugzeug: v, h, Rollage, etc): **Mehrgrößenregelung** oder **gekoppelter Regelkreis**

- Wenn Ist-Größe konstant ist: **Haltepunktregelung**
- Das Verhalten eines Regelkreises kennzeichnet man durch seinen Einschwingvorgang:



- Wenn Regler, Regelstrecke, Stellglied und Sensor definiert sind und ihr Verhalten bekannt ist:

$$\frac{Z(s)}{F(s)} = \frac{H_R(s)K_S H_i(s)}{1 + H_R(s)K_S H_i(s)K_S}$$

- Störübertragungsgröße:

$$\frac{Z(s)}{S(s)} = \frac{H_S(s)}{1 + H_R(s)K_S H_i(s)K_S}$$

### Einzel Schritte zur Lösung von Regelungsaufgaben:

- Zunächst 2 Schritte
  - Analyse des zeitlichen Verhaltens der zu regelnden Systems Übertragungsfunktion  $H_S(S)$
  - Problemanalyse, welche die Spezifikation des zeitlichen Verhaltens des geregelten Systems beinhaltet.
- dritter Schritt: Festlegung der Übertragungsfunktion des Reglers (dabei ergibt sich:
$$H_R(s) = \frac{H_{RK}}{K_{St} H_S(s) (1 - H_{RK} K_S)}$$
- vierter Schritt: Abbildung der Übertragungsfunktion auf ein Netz hintereinandergeschalteter, parallelgeschalteter und gegengeschalteter elementarer Funktionsblöcke mit elementaren Übertragungsfunktionen. (Dieser Schritt entspricht dem Engineering für ein CBS Service-Modell von Abschnitt 4)
- fünfter Schritt: Entwurf der physikalischen Regler. Zur Realisierung werden in der Regel Operationsverstärker verwendet

## 7.3 Stellen

- Stellen bedeutet die Umwandlung von elektrischen Signalen in die zur Automatisierung erforderlichen physikalischen Größen
  - Hubmagnete, Antriebsmotoren, Ventile (Durchflüsse, Drücke in Behältern, Erzeugen von Impulsen)
  - Anstelle "Stellglied" sagt man auch "Aktor"
  - Wichtig für die Anwendung ist die Struktur und das Verhalten
    - Verhalten: Zusammenhang zwischen ansteuernder elektrischer Größe und resultierender physikalischer Größe (z.B. statisch)
  - Bei Stellgliedern muß häufig das zeitliche Verhalten bei dem Einsatz in einer Automatisierungsaufgabe mitbetrachtet werden
  - Wenn das Stellsystem selbst geregelt ist (meist wegen Überschaubarkeit), bezeichnet man es auch als **Servosystem**
  - Es kann erforderlich sein, elektrische Größen mehrfach in physikalische Größen zu wandeln (Pneumatik, Hydraulik) Solche Systeme sind u.a. in explosionsgeschützten Anlagen notwendig