Zusammenfassung der 3. Vorlesung

- Simulation eines Feder-Dämpfer-Masse-Systems mit Hilfe von Matlab/Simulink
- Grundstruktur einer Regelung (Messen, Vergleichen, Stellen)
- Ziele einer Regelung
  - Änderung der dynamischen Eigenschaften
  - Ausgleich von Störungen
  - Folgen einer veränderlichen Führungsgröße
- Blockschaltbilder von Störgrößen- und Folgeregelungen
- Beispiel: Antennen-Folgeregelung

Zusammenfassung der 3. Vorlesung

- **Grundstruktur einer Steuerung**
  - Beispiele
  - Wann sind Regelungen notwendig?
  - Vor- und Nachteile von Steuerungen und Regelungen

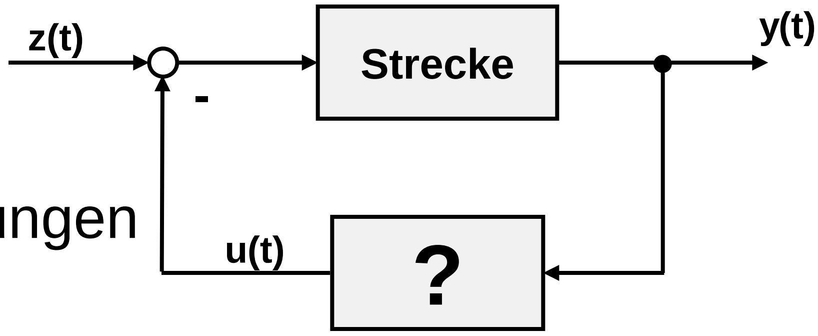
Bei der Lösung einer Regelungsaufgabe können zwei Phasen unterschieden werden:

Vorbereitungsphase: Das Regelgesetz wird ermittelt und durch eine Funktionseinheit technisch realisiert.

Arbeitsphase: Der gerätetechnisch realisierte Regler bestimmt kontinuierlich aus dem aktuellen Wert der Regelabweichung $e(t)$ den aktuellen Wert $u(t)$ der Stellgröße.

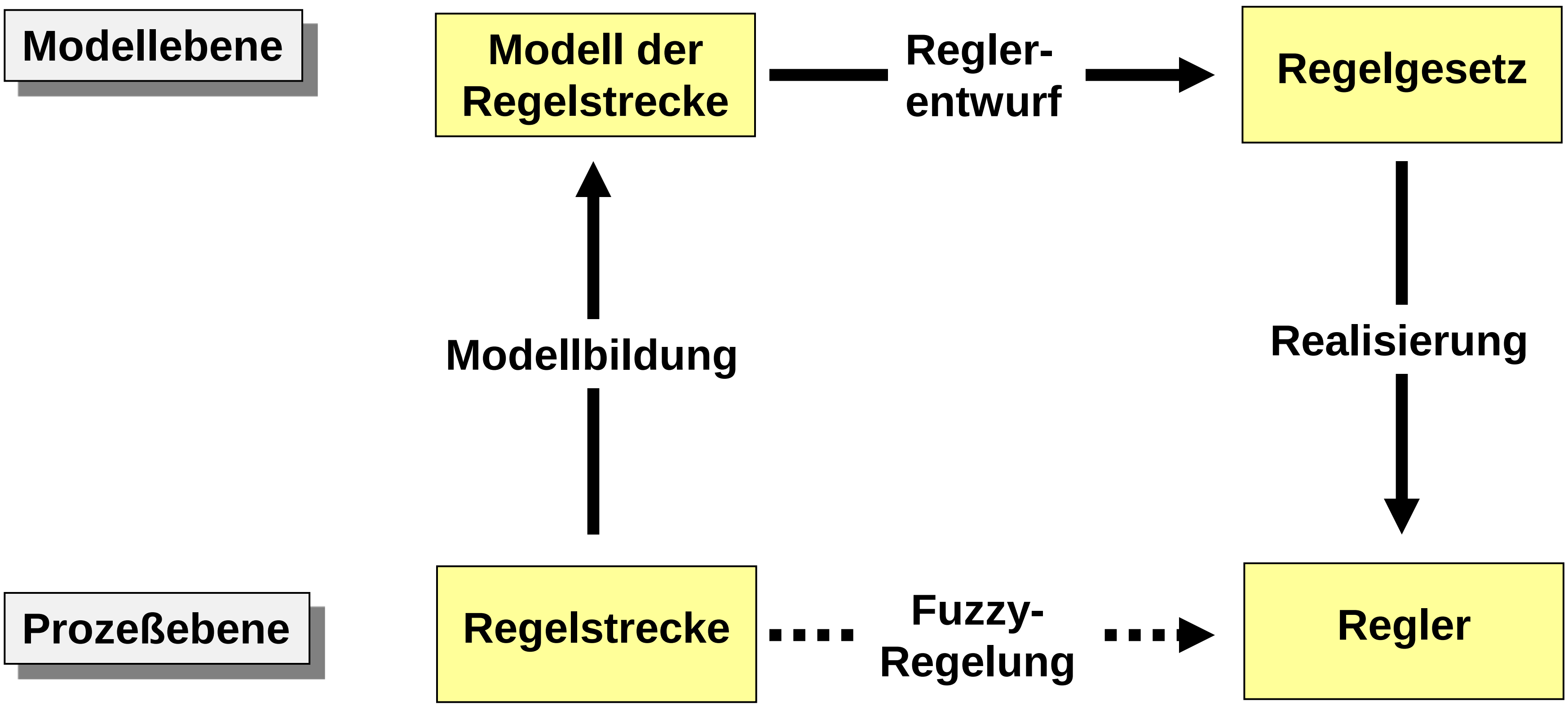
Vorbereitungsphase

- **Modellbildung**
  - Modell der Regelstrecke
  - Modell der Güteanforderungen



- **Analyse der Regelstrecke**
  - Stabilität, Dämpfung, Steuer- und Beobachtbarkeit
- **Auswahl der Reglerstruktur**
  - Reglerordnung, Meß- und Stellgrößen
- **Festlegung der Reglerparameter**
- **Erprobung des Reglers in der Simulation**
  - Überprüfung der Güteanforderungen mit Matlab/Simulink

Vorgehensweise bei Regelungsaufgaben

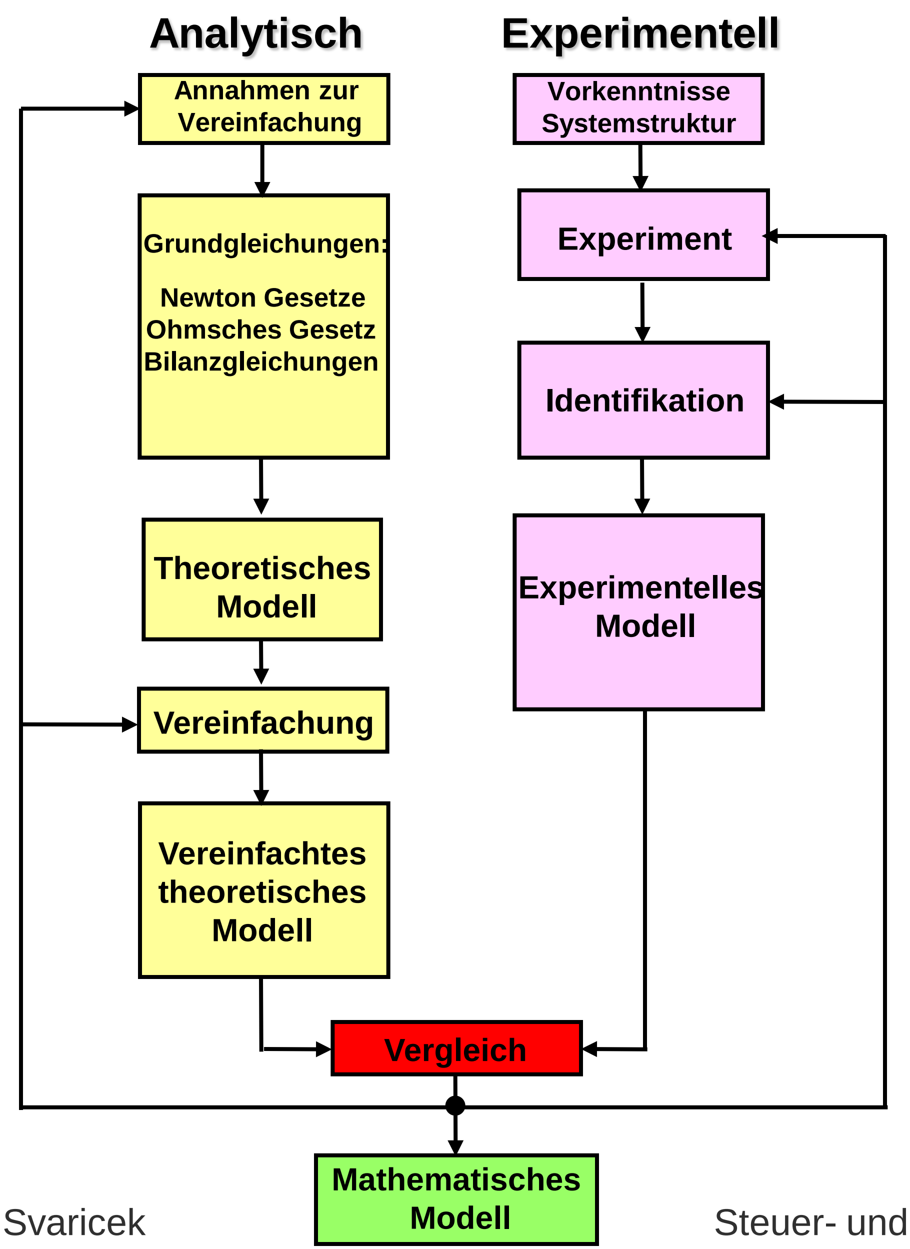


Analytisch: Aufstellen der Systemgleichungen unter Verwendung bekannter physikalischer und /oder chemischer Gesetze

- **Modellierung im Zeitbereich**
  - Differentialgleichungen höherer Ordnung
  - Zustandsraummodelle (Differentialgleichungen 1-ter Ordnung)
- **Modellierung im Bild- und Frequenzbereich**
  - Differentialgleichungen werden mit Hilfe der **Laplace-Transformation** zu algebraischen Gleichungen
  - Übertragungsfunktion

Experimentell: Messung der Antwort der Regelstrecke auf geeignete Testsignale

Modellbildung (2)



$$y_1(t) = L\{u_1(t)\} \qquad y_2(t) = L\{u_2(t)\}$$

$$u(t) \longrightarrow \boxed{L\{u(t)\}} \longrightarrow y(t)$$

$$u(t) = a_1 u_1(t) + a_2 u_2(t)$$

$$y(t) = a_1 y_1(t) + a_2 y_2(t)$$

Bild 2.2: Lineares Übertragungssystem $L\{u(t)\}$

Lineare Übertragungsoperation:

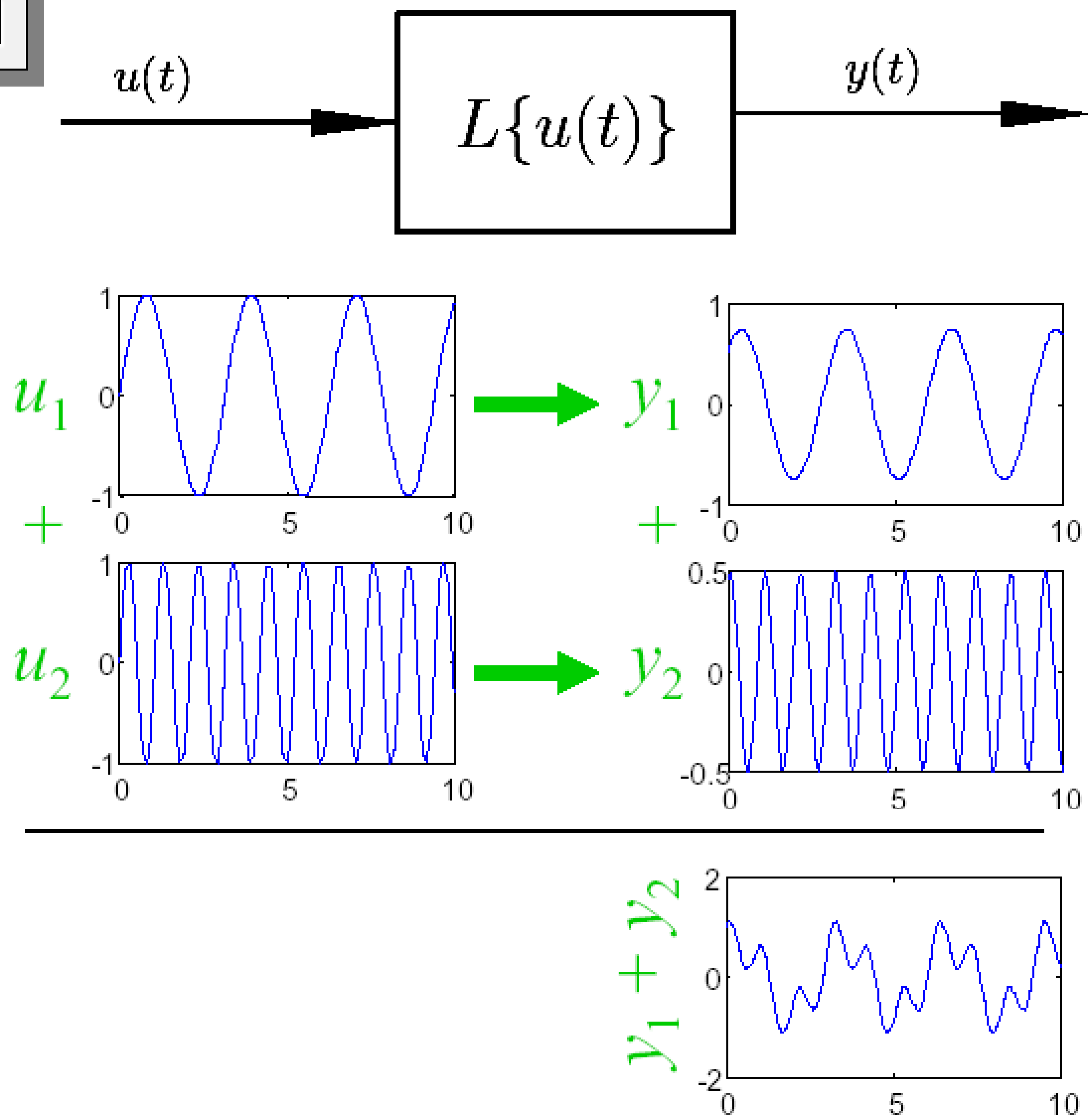
$$y(t) = L\{u(t)\}$$

Definition 2.1

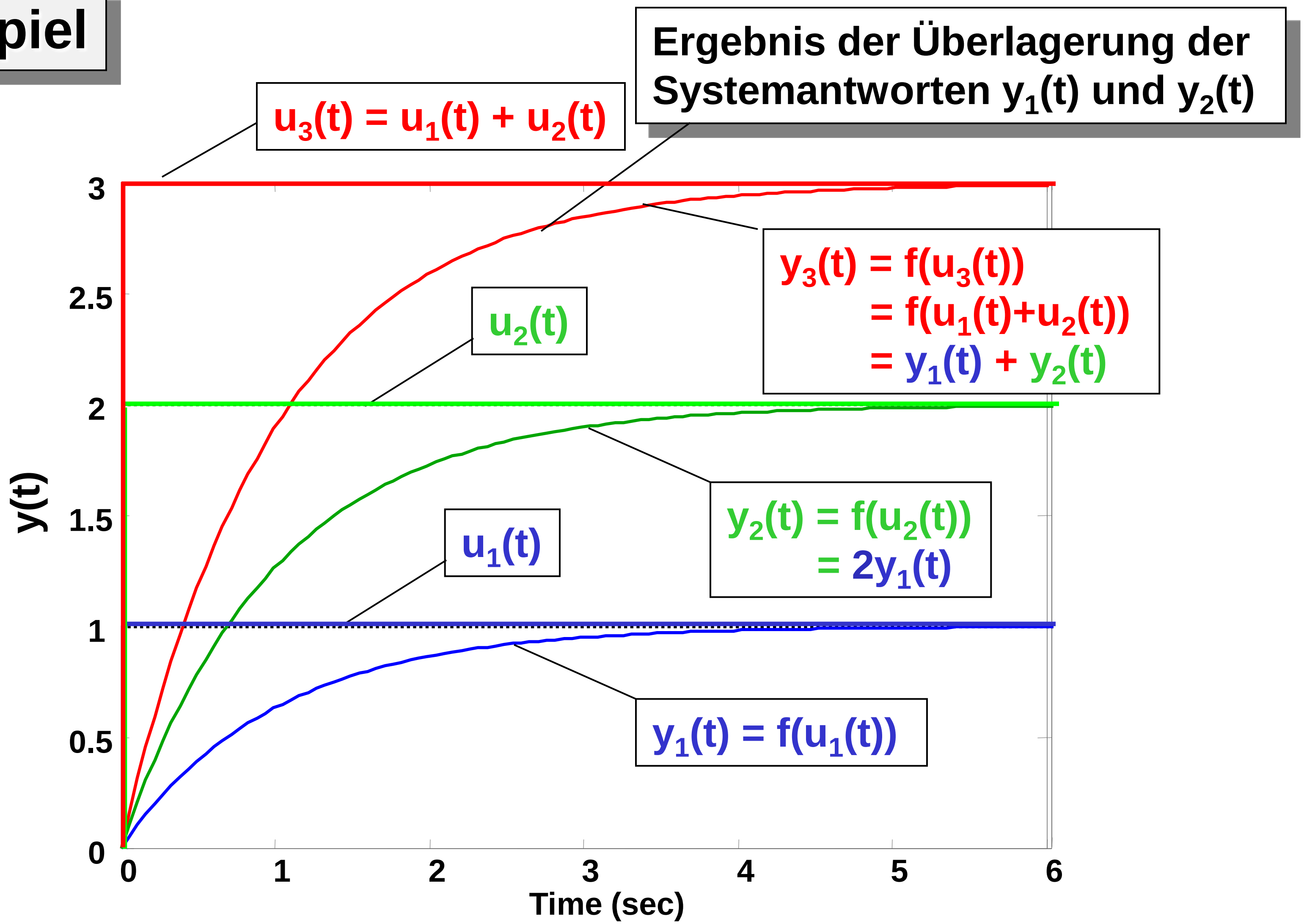
Ein System heißt **linear**, wenn für die Ursache–Wirkung–Beziehung zwischen Ein– und Ausgang das **Superpositionsprinzip** gültig ist. □

Im weiteren wird vorausgesetzt, daß das Verhalten der betrachteten Systeme linear ist !!!!

Beispiel



Beispiel



$u_3(t) = u_1(t) + u_2(t)$
Ergebnis der Überlagerung der Systemantworten $y_1(t)$ und $y_2(t)$
$y_3(t) = f(u_3(t))$
$= f(u_1(t)+u_2(t))$
$= y_1(t) + y_2(t)$
$u_2(t)$
$y_2(t) = f(u_2(t))$
$= 2y_1(t)$
$u_1(t)$
$y_1(t) = f(u_1(t))$
y(t)
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
1
2
3
4
5
6
Time (sec)

Voraussetzungen

- Es werden nur **kleine** Abweichungen um **feste Arbeitspunkte** betrachtet.
- Die Werte der Variablen am Arbeitspunkt werden durch den Index „0“ gekennzeichnet.
- Die Abweichungsgrößen werden durch **kleine** Buchstaben gekennzeichnet:

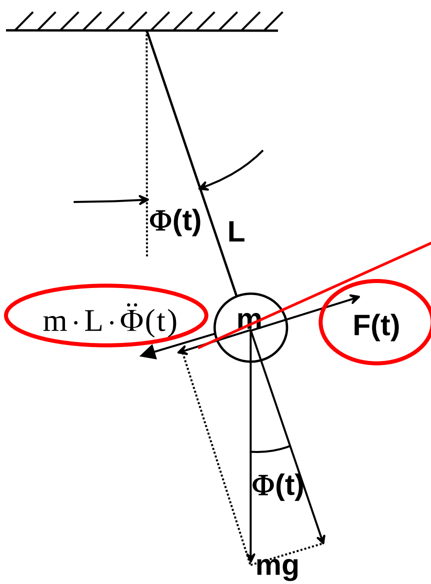
$$y = \Delta Y = Y - Y_0$$

- Unterscheidung: Linearisierung des **statischen** und des **dynamischen** Verhaltens.

Linearisierung: Dynamisches Verhalten

Linearisierung einer nichtlinearen Differentialgleichung in der Umgebung einer Ruhelage durch Taylor-Reihen-entwicklung und Vernachlässigung der Terme höherer Ordnung.

Beispiel



$$m\cdot L\cdot\ddot{\Phi}(t)+m\cdot g\cdot\sin\big(\Phi(t)\big)=F(t)$$

$$\left.\frac{\partial(m\cdot L\cdot\ddot{\Phi})}{\partial\ddot{\Phi}}\right|_{\Phi_0=0}\cdot\ddot{\varphi}+\left.\frac{\partial\big(m\cdot g\cdot\sin(\Phi)\big)}{\partial\Phi}\right|_{\Phi_0=`0}\cdot\varphi=f$$

$$m\cdot L\cdot\ddot{\varphi}+m\cdot g\cdot\underbrace{\cos\big(\Phi_0=0\big)}_{=1}\cdot\varphi=f$$

$$\boxed{m\cdot L\cdot\ddot{\varphi}(t)+m\cdot g\cdot\varphi(t)=f(t)}$$

Linearisierung: Statisches Verhalten

Linearisierung einer statischen Kennlinie:

- a) graphische Linearisierung
- b) analytische Linearisierung

Steigung der Tangente im Arbeitspunkt.

a)

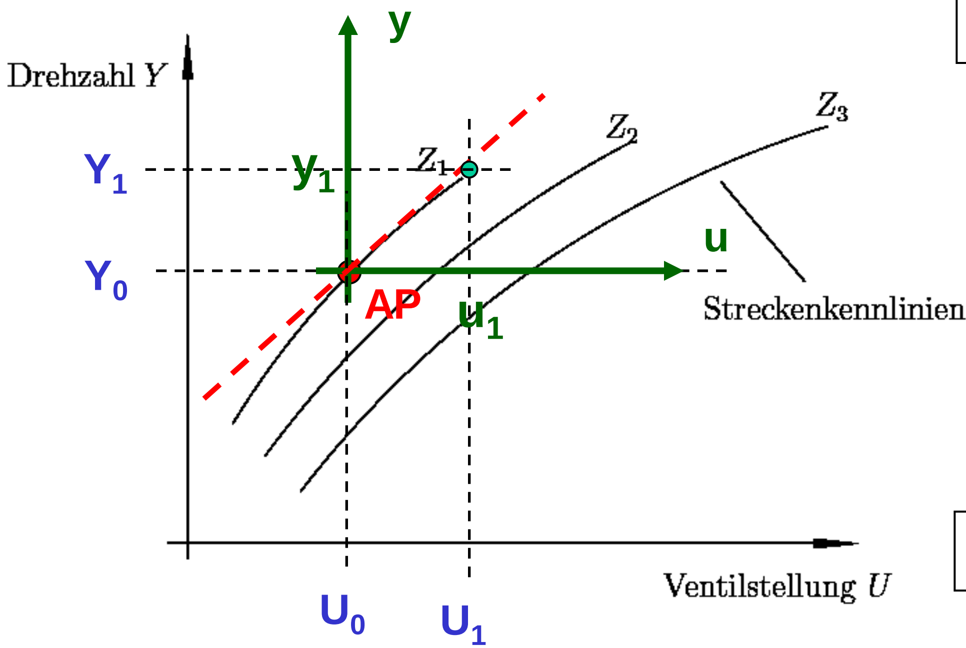


Bild 1.7: Typisches Kennlinienfeld einer Dampfturbine

Originalkoordinaten

$$Y_1 \approx Y_0 + K \cdot (U_1 - U_0)$$

$$\underbrace{Y_1 - Y_0}_{y_1} \approx K \cdot (\underbrace{U_1 - U_0}_{u_1})$$

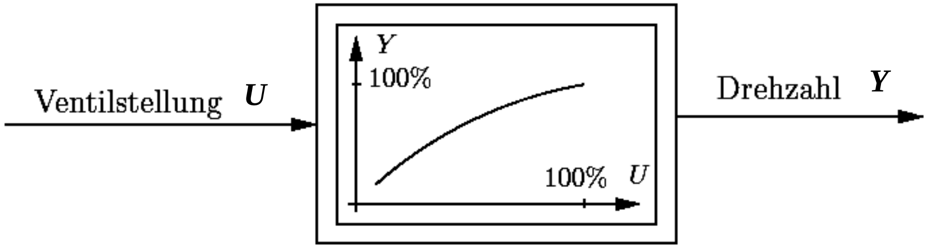
Lineare Koordinaten

$$\boxed{y_1 = K \cdot u_1}$$

Linearisierung nichtlinearer Systeme (4)

a) Fortsetzung

Der nichtlineare Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgang



wird durch die lineare Beziehung

$$u \longrightarrow \boxed{K} \longrightarrow y$$

im Arbeitspunkt ersetzt.

$$K = \frac{\partial Y}{\partial U}\Big|_{U_0}$$

ist die Steigung der Tangente im Arbeitspunkt.

Linearisierung nichtlinearer Systeme (5)

b) Analytische Linearisierung

Analytische Beschreibung des nichtlinearen Zusammenhangs

$$Y = f(U, Z_1, Z_2, \ldots)\ ,$$

wird in der Umgebung des Arbeitspunktes A durch den linearen Ausdruck

$$y = K_u \cdot u + K_1 z_1 + K_2 z_2 + \cdots$$

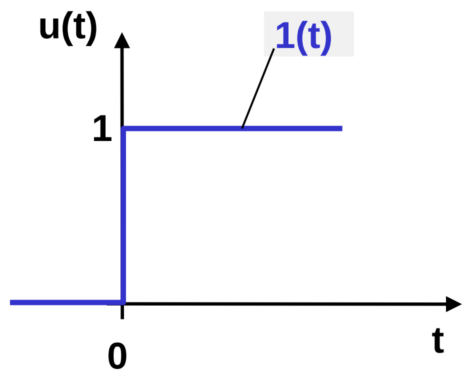
ersetzt, wobei die Koeffizienten K_i die linearen Terme der Taylor-Reihenentwicklung sind:

$$y = \underbrace{\left.\frac{\partial Y}{\partial U}\right|_A}_{K_u} \cdot u + \underbrace{\left.\frac{\partial Y}{\partial Z_1}\right|_A}_{K_1} \cdot z_1 + \underbrace{\left.\frac{\partial Y}{\partial Z_2}\right|_A}_{K_2} \cdot z_2 + \cdots$$

Modellierung mit Testsignalen: Sprungfunktion

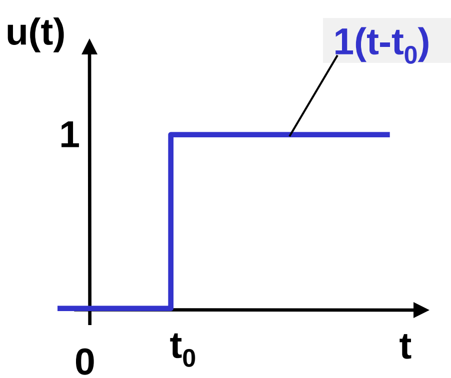
$$1(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ 1 & \text{für } t \geq 0 \end{cases}$$

Definition: Sprungfunktion 1(t)
(Einheitssprungfunktion)



Graphische Darstellung

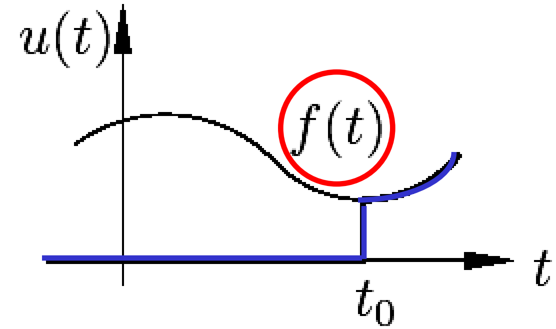
$$1(t - t_0) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < t_0 \\ 1 & \text{für } t \geq t_0 \end{cases}$$



Zeitverschobene Sprungfunktion $1(t-t_0)$

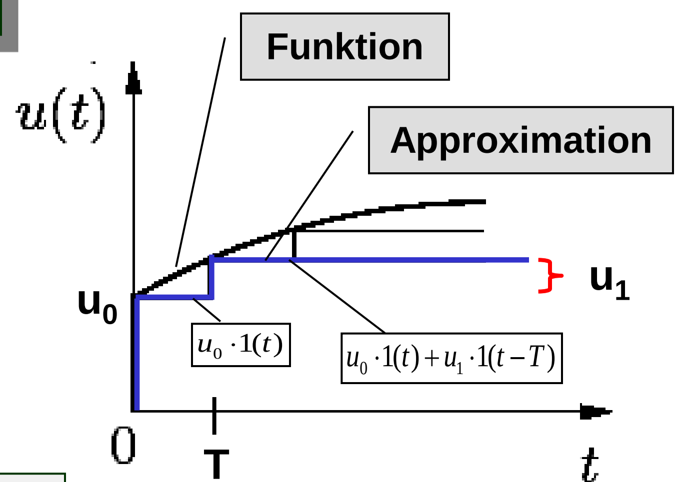
Testsignal Sprungfunktion (2)

$$u(t) = f(t)1(t - t_0) = \begin{cases} 0 & \forall \quad t < t_0 \\ f(t) & \forall \quad t \geq t_0 \end{cases} \quad \Rightarrow$$



Einschalten von Zeitfunktionen durch 1(t-t_0)

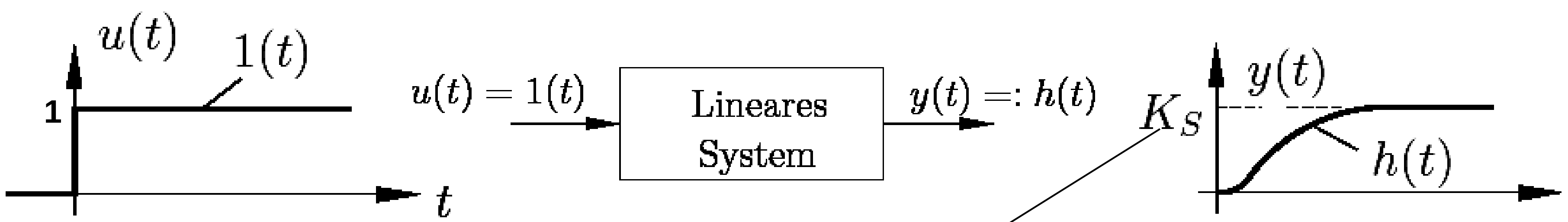
$$u(t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_i 1(t - kT) \quad \Rightarrow$$



Approximation beliebiger Funktionen

Sprungantwort

Definition 2.4 Ein dynamisches System sei zu einem Zeitpunkt $t = t_0$ energiefrei, d.h. alle Anfangsbedingungen der beschreibenden Differentialgleichung sind Null. Die Systemantwort des durch die Einheitssprungfunktion $u(t) = 1(t)$ erregten Systems heißt die **Sprungantwort** oder Übergangsfunktion $h(t)$. □



Sprungfunktion 1(t)

Sprungantwort h(t)

$$K_S = h(\infty) = \lim_{t \to \infty} h(t)$$

Systemverstärkung