

# Regelungstechnik

Fachsemester 3

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Peter Döge

**15.10.2024**

x) Regelgröße: - die physikalische Größe, die geregelt werden soll. Das bedeutet ein physikalischer Wert in einem gewünschten Maß gehalten wird.

w) Führungsgröße: -

y) Stellgröße: - physikalische Größe, welche die Regelgröße auf eine gewünschte Weise beeinflusst. (Bsp. Volumen Strom)

e) Regelabweichung: - Differenz = Führungsgröße - Regelgröße

z) Störgröße: - Einflüsse die selbst nicht beeinflusst werden können - Größen, die eine eingestellte Regelung aus dem Gleichgewicht bringt.

Regelstrecke: - ist das zugrunde liegende System

Systemarten: (Eingang/Ursache - Ausgang/Wirkung) - Integrator: bsp. Volumenstrom wird in Volumen aufintegriert - Verstärker: bsp. Hebel

17.10.2024 (Semesteranfang muss noch nachgetragen werden)

22.10.2024 (Semesteranfang muss noch nachgetragen werden)

24.10.2024 (Semesteranfang muss noch nachgetragen werden)

29.10.2024 (Semesteranfang muss noch nachgetragen werden)

05.11.2024 (Semesteranfang muss noch nachgetragen werden)

07.11.2024 (Semesteranfang muss noch nachgetragen werden)

**12.11.2024 (muss wegen Krankheit noch nachgetragen werden)**

**14.11.2024 (muss wegen Krankheit noch nachgetragen werden)**

19.11.2024

## Wiederholung

### Merken:

- Impulsfunktion  $\delta(t) \rightarrow$  Gewichtsfunktion  $g(t)$
- Sprungfunktion  $\alpha(t)$  *falschevariablekannaberindenFoliennachgeschautwerden*  $\rightarrow$  Übergangsfunktion  $h(t)$
- (für die Rücktransformation sollte Partialbruchzerlegung sitzen)

## Operationsverstärker

(siehe Folien)

## Bode-Diagramm

(siehe Folien)  $\rightarrow$  Selbststudium

## Übergangs- und Gewichtsfunktion

(siehe Folien)  $\rightarrow$  Selbststudium

## Übergangs- und Gewichtsfunktion

(siehe Folien)  $\rightarrow$  Selbststudium

## Teil 2 - Der Regler

### Der PID-Regler: der linearer Regler

PID → besteht aus den drei basis Übertragungsgliedern

Warum PID und nicht PT1 etc.?: PT1/ PT2 sind langsamer als der P-Anteil des PID

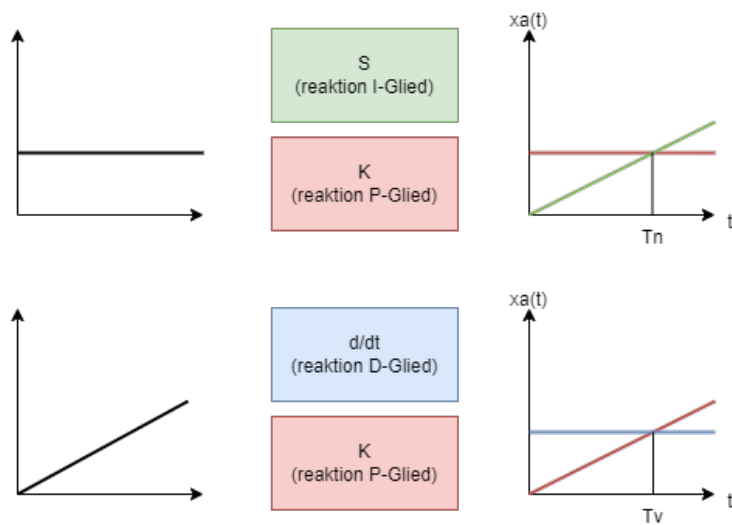
Nomenklatur lernen:

- Sprungantwort → Übergangsfunktion
- Eingangssignal  $x_e(t)$  → Regel-Abweichung
- Ausgangssignal  $x_a(t)$  → Stellgröße

$$G(s) = V(1 + \frac{1}{sT_N} + sT_V)$$

V = Verstärkung

P-Anteil: $\text{lorem} \rightarrow 1$	I-Anteil: Integration $\rightarrow \frac{1}{sT_N}$	D-Anteil: Differentiation $\rightarrow sT_V$ (Sprungänderung ist im Einschaltmoment unendlich)
--	--	---



Typische Anwendung der Glieder:

P-Regler nehmen weil?	PI-Regler falls P nicht möglich weil?	PID-Regler falls PI nicht möglich weil?
--------------------------	---	---

21.11.2024

## Standardregelkreis

Regelkreis nach DIN 19226

(Grafik im Script zu finden und bereits angefangen)

## Führungs und Störverhalten (Thema 11)

Führungsverhalten: Wie reagiert der Regelkreis auf eine Änderung der Führungsgröße ( $w(t)$ )?

Störverhalten: Wie reagiert der Regelkreis auf eine Änderung der Störgröße ( $z(t)$ )?

(Grafik im Script zu finden und bereits nachgebastelt)

## Berechnung der Regelgröße in Abhängigkeit der Führungsgröße

$w(s) \rightarrow x(s)$

$$X(s) = (W(s) - X(s)) * G_0(s)$$

$$G_0(s) = \frac{X(s)}{E(s)} = \frac{X(s)}{W(s) - X(s)}$$

$$X_W(s) = \frac{G_0(s)}{1 + G_0(s)} * W(s)$$

$$G_{WX}(s) = \frac{X(s)}{W(s)} = \frac{G_0(s)}{1 + G_0(s)}$$

## Berechnung der Regelgröße in Abhängigkeit der Führungsgröße

$w(s) \rightarrow \epsilon(s)$  (oder auch  $E(s)$ )

$$E(s) = W(s) - X(s); X(s) = E(s) * G_0(s)$$

$$E(s) = W(s) - (E(s) * G_0(s))$$

$$E_W(s) = \frac{1}{1 + G_0(s)} * W(s)$$

$$G_{WE}(s) = \frac{E(s)}{W(s)} = \frac{1}{1 + G_0(s)}$$

## Berechnung der Regelgröße in Abhängigkeit der Störgröße

$z(s) \rightarrow x(s)$

$$X(s) = -X(s) * G_0(s) + Z(s)$$

$$X_Z(s) = \frac{1}{1 + G_0(s)} * Z(s)$$

$$G_{ZX}(s) = \frac{X_Z(s)}{Z(s)} = \frac{1}{1 + G_0(s)}$$

## Berechnung der Regelabweichung in Abhängigkeit der Störgröße

$z(s) \rightarrow \epsilon(s)$  (oder auch  $E(s)$ )

$$E(s) = -X(s); X(s) = E(s) * G_0(s) + Z(s)$$

$$E(s) = -(E(s) * G_0(s) + Z(s))$$

$$E_Z(s) = -\frac{1}{1 + G_0(s)} * Z(s)$$

$$G_{ZE}(s) = \frac{E_Z(s)}{Z(s)} = -\frac{1}{1 + G_0(s)}$$

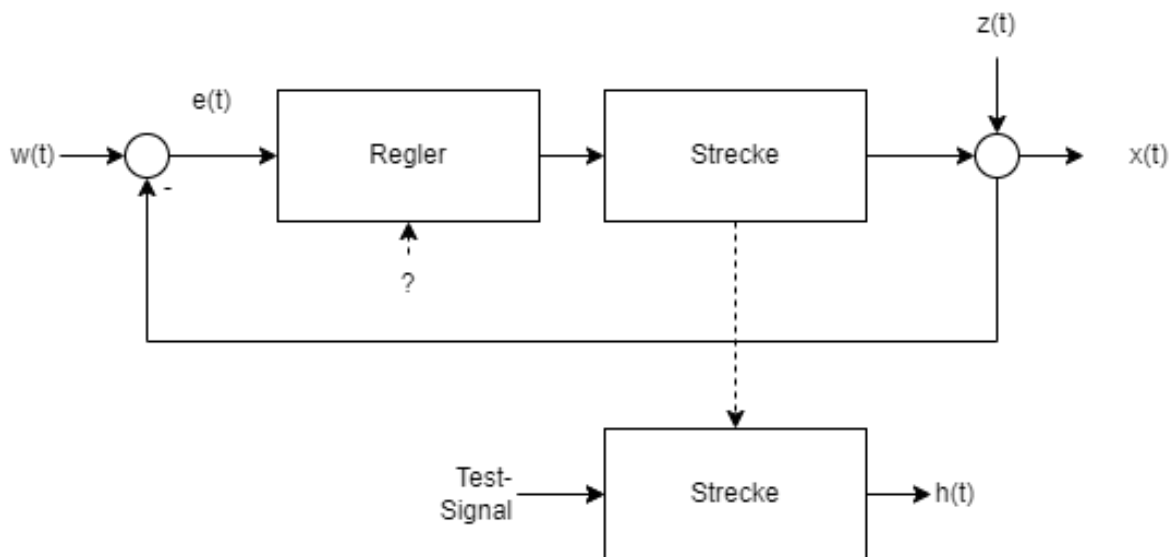
### Kombination von Störungs- und Führungsverhalten

Führ die Formelsammlung: (Graftk/Zusammenfassung im Script zu finden)

Addition/Überlagerung von Signalen dürfen in linearen Systemen vollzogen werden.

### Einstellregel (Thema 15)

Wie stellt man einen Regler ein?



(weitere Grafik im Script)

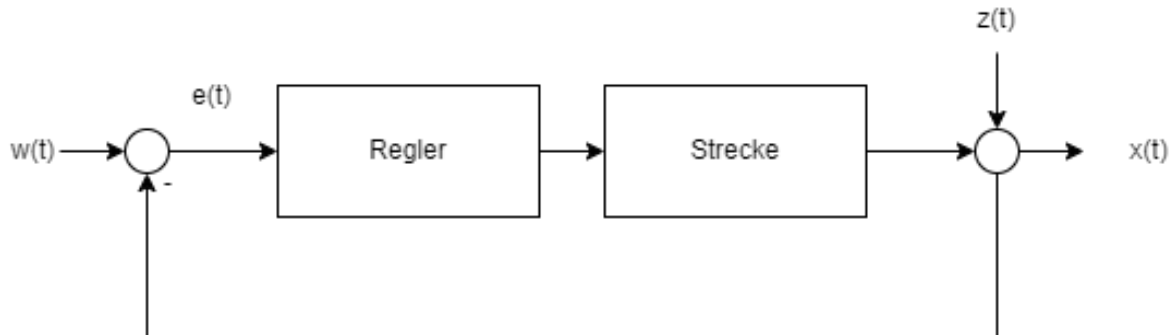
- $T_U$  ist eine Ersatz tot-Zeit
- $T_G$  ist eine Ersatz-Zeit-Konstante

Zwei Varianten weil eine Regelstrecke mit I-Anteil (ohne Ausgleich) ist nicht begrenzt  
(rest ist im Script zu finden)



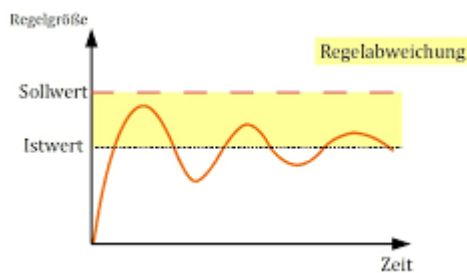
## Regelabweichung (Thema 12)

(für weitere Grafiken oder Unklarheiten durch fehlende Grafiken bitte in das Script der Vorlesung schauen)



$$(W(s) = \frac{W_0}{s})$$

Der Standardregelkreis fasst kein Messglied. (Es wird trotzdem gemessen. Es wird nur nicht abgebildet)



$$e = w - x$$

Die Berechnung der Regelabweichung erfolgt im stationären Zustand. → Bleibende Regelabweichung

(Berechnung des Vorlesungs / Script Bsp.)

- P-Regler

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} E(s) \cdot s$$

$$E_w(s) = \frac{1}{1+G_0(s)} \cdot W(s) \text{ mit } G_0(s) = G_R(s) \cdot G_S(s); G_R(s) = K$$

$$E_W(s) = \frac{1}{1+a \cdot K} \cdot \frac{W_0}{s}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1+a \cdot K} * \frac{W_0}{s} \cdot s = \frac{W_0}{1+a \cdot K}$$

a - Verstärkung des Öldruckpresse

(Vorlesungs/Script Bsp. würde vermutlich ein I-Anteil beinhalten, um mehr Genauigkeit zu erhalten.)

- I-Regler

$$G_R(s) = \frac{1}{sT_N}$$

$$E_W(s) = \frac{1}{1+G_0(s)} \cdot W(s) = \frac{1}{1+a \cdot \frac{1}{T_N s}} \cdot \frac{W_0}{s}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1+a \cdot \frac{1}{T_N s}} \cdot \frac{W_0}{s} \cdot \textcolor{red}{s}$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{1W_0}{1+\frac{a}{T_N s}} = 0$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{s \cdot W_0}{s + \frac{a}{T_N}} = 0$$

(I-Regler ist für die meisten Fälle zu langsam)

- PI-Regler

Dieser Regler ist schnell und genau genug.

### Ein weiteres Beispiel für das Selbststudium (im Script)

PT2-Glied → Nicht Schwingungsfähig

$$E(s) = W(s) - [\textit{uebertragungsfunktionen}]E(s)$$

## Das Nyquist-Verfahren (Thema 14)

### Hurwitz

Prüfung: an geschlossener Kette

### Nyquist

Prüfung: an offener Kette

Vorteil: Experimentelle Herangehensweise

### Erklärung



Abbildung 1: Offene Regelkette

$$G_0(j\omega) = \frac{X_a(j\omega)}{X_e(j\omega)} = -1$$

Der geschlossene Regelkreis ist stabil, wenn die Ortskurve des Frequenzgangs der offenen Kette den kritischen Punkt nicht umschließt. Bzw. links davon sind.

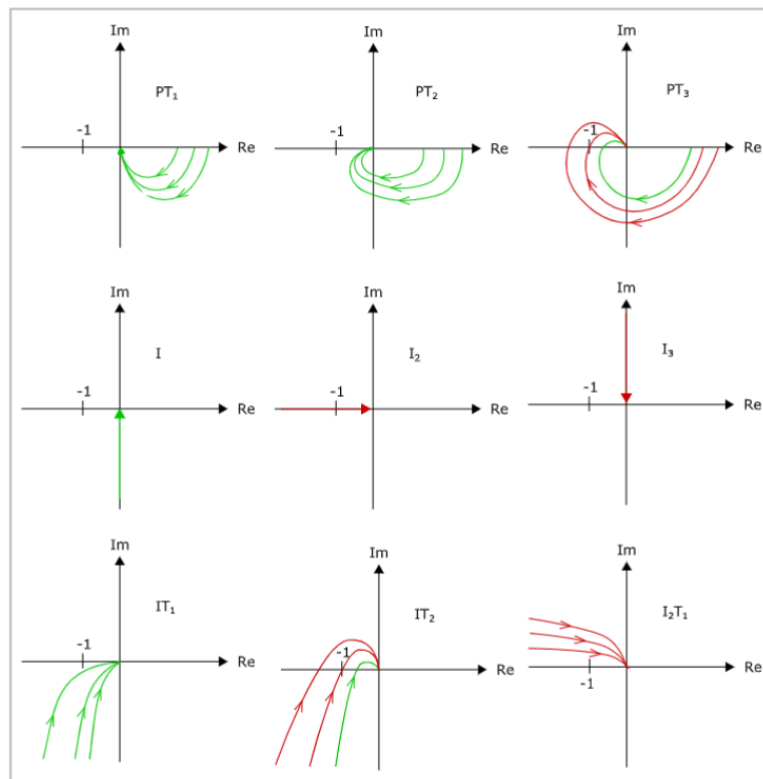


Abbildung 2: Niquist Ortskurven

Randnotiz:  $I_1\text{-Glieder} = \frac{1}{s} = \frac{1}{j\omega}$

Hausaufgabe: Berechnen sie die Übertragungsfunktion einer Rückgekoppelten I-Gliedes

$$G_0(s) = G_R(s) \cdot G_S(s) = \frac{1}{sT_N(1+2s)(1+4s)}$$

$$s = \delta + j\omega, \delta = 0$$

$$G_0(j\omega) = \frac{1}{j\omega T_N(1+2j\omega)(1+4j\omega)} = \frac{-j\omega T_N(1-2j\omega)(1-4j\omega)}{-j\omega T_N(1-2j\omega)(1-4j\omega)}$$

Zähler → ausmultipliziert; Nenner → 3. Binomische Formel

$$G_0(j\omega) = \frac{-6\omega^2}{\omega^2 T_N(1+4\omega^2)(1+16\omega^2)} + j \frac{-\omega + 8\omega^3}{\omega^2 T_N(1+4\omega^2)(1+16\omega^2)}$$

$$G_0(j\omega) = \frac{-6}{T_N(1+4\omega^2)(1+16\omega^2)} + j \frac{8\omega^2 - 1}{\omega T_N(1+4\omega^2)(1+16\omega^2)}$$

$$G_0(j\omega) = -1 + 0$$

### Grafische Variante des Niquist-Kriterikums

$\omega$	Re / $T_N = 2$	Re / $T_N = \frac{4}{3}$	Re / $T_N = 1$	Im
0	-3	-4.5	-6	$-\infty$
$\sqrt{\frac{1}{8}}$	$-\frac{2}{3}$	-1	$-\frac{4}{3}$	0
$\infty$	0	0	0	0
	stabil	instabil	instabil	

Tabelle 1: Grafik Fehlt

### Analytische Variante des Niquist-Kriterikums

$$1. \operatorname{Im}\{G_0(j\omega)\} = 0$$

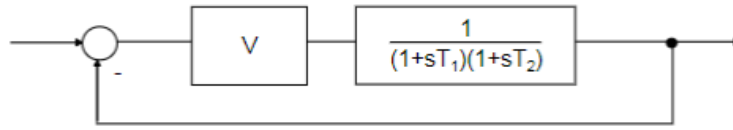
$$8\omega^2 - 1 = 0; \omega_{kritisch} = \pm \sqrt{\frac{1}{8}}$$

$$2. \operatorname{Re}\{G_0(j\omega_{kritisch})\} = -1$$

$$T_{N_{kritisch}} = \frac{4}{3}$$

## Übung 5 - Hurwitz-Kriterium

**1. Aufgabe:** Prüfen Sie, ob der gezeigte Regelkreis stabil arbeitet!



Übertragungsfunktion aufstellen

$$G_0(s) = V \cdot \frac{1}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$

$$G_w(s) = \frac{V \cdot \frac{1}{(1+sT_1)(1+sT_2)}}{1 + (V \cdot \frac{1}{(1+sT_1)(1+sT_2)})} \quad (1)$$

Gleichung auflösen

$$\text{lorem ipsum} \quad (2)$$

Nenner koeffizienten notieren

$$\text{lorem ipsum}$$

Hurwitz-Determinanten aufstellen

$$\text{lorem ipsum}$$

**2 Aufgabe:** Eine nichtschwingungsfähige  $IT_2$  -Regelstrecke

$$G_S(s) = \frac{k}{(1+sT_1)(1+sT_2)sT_3}$$

soll mit einem Proportionalregler stabilisiert werden.

1. Berechnen Sie mit Hilfe des Hurwitz-Kriteriums den allgemeinen Zusammenhang zwischen der kritischen Reglerverstärkung und den Streckenparametern.
2. Berechnen sie nun die kritische Reglerverstärkung für die Streckenparameter  $k = 0, 1$ ,  $T_1 = 2 \text{ s}$ ,  $T_2 = 10 \text{ s}$  und  $T_3 = 1 \text{ s}$ .
3. Zeichnen Sie den Pol-Nullstellenplan des Regelkreises für die Fälle:  $V < V_{kr}$ ,  $V = V_{kr}$  und  $V > V_{kr}$ .
4. Skizzieren sie den prinzipiellen Verlauf der Übergangsfunktionen des Regelkreises für die genannten Fälle.

**3. Aufgabe:** Eine prinzipiell schwingungsfähige  $IT_2$  -Regelstrecke

$$G_S(s) = \frac{k}{(T^2s^2 + 2DTs + 1)T_3s}$$

soll mit einem Proportionalregler stabilisiert werden.

Berechnen Sie mit Hilfe des Hurwitz-Kriteriums den allgemeinen Zusammenhang zwischen der kritischen Reglerverstärkung und den Streckenparametern.

**4. Aufgabe:** Eine prinzipiell schwingungsfähige  $PT_2$ -Regelstrecke

$$G_S(s) = \frac{k}{T^2s^2 + 2DTs + 1}$$

soll mit einem Proportionalregler stabilisiert werden.

Berechnen Sie mit Hilfe des Hurwitz-Kriteriums den allgemeinen Zusammenhang zwischen der kritischen Reglerverstärkung und den Streckenparametern.