

Systemdynamik und Regelungstechnik

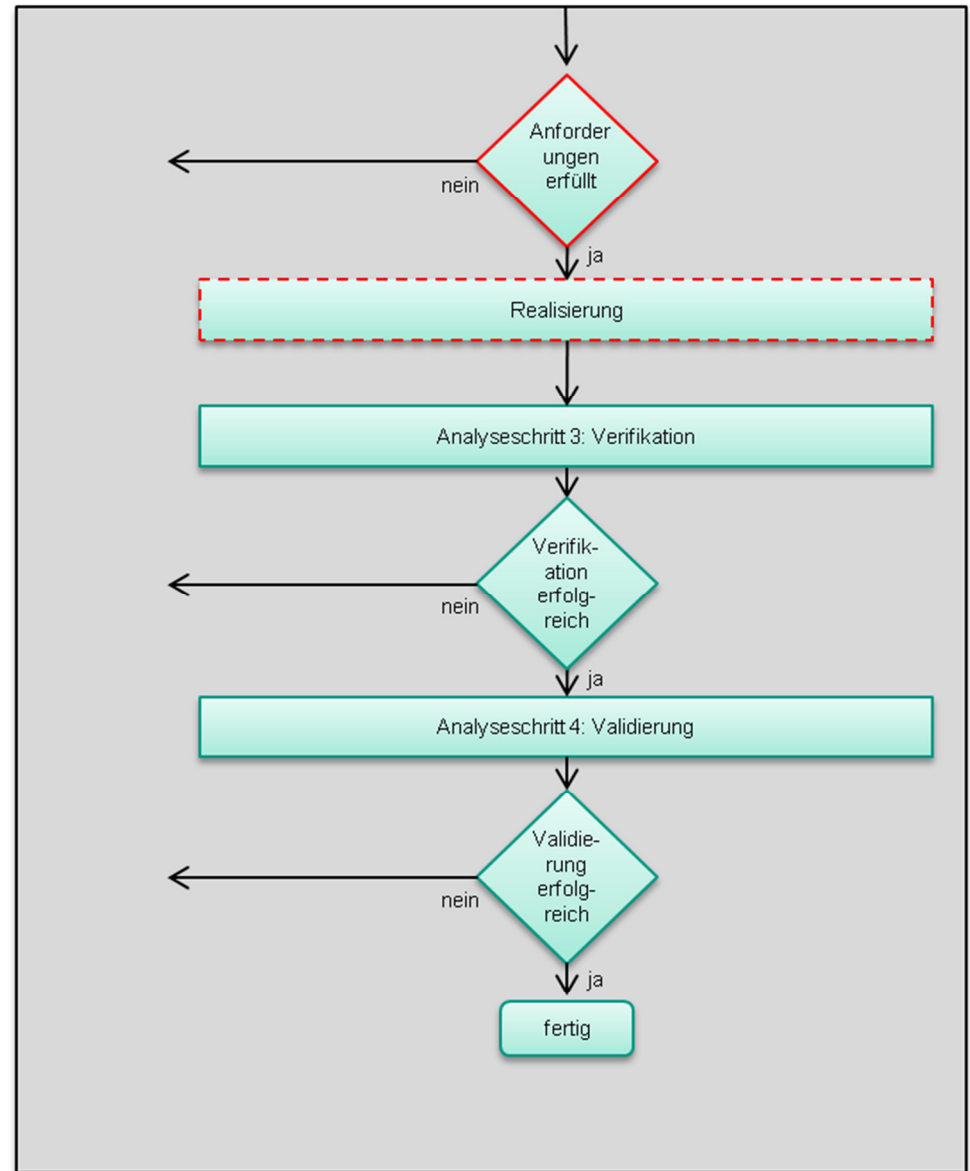
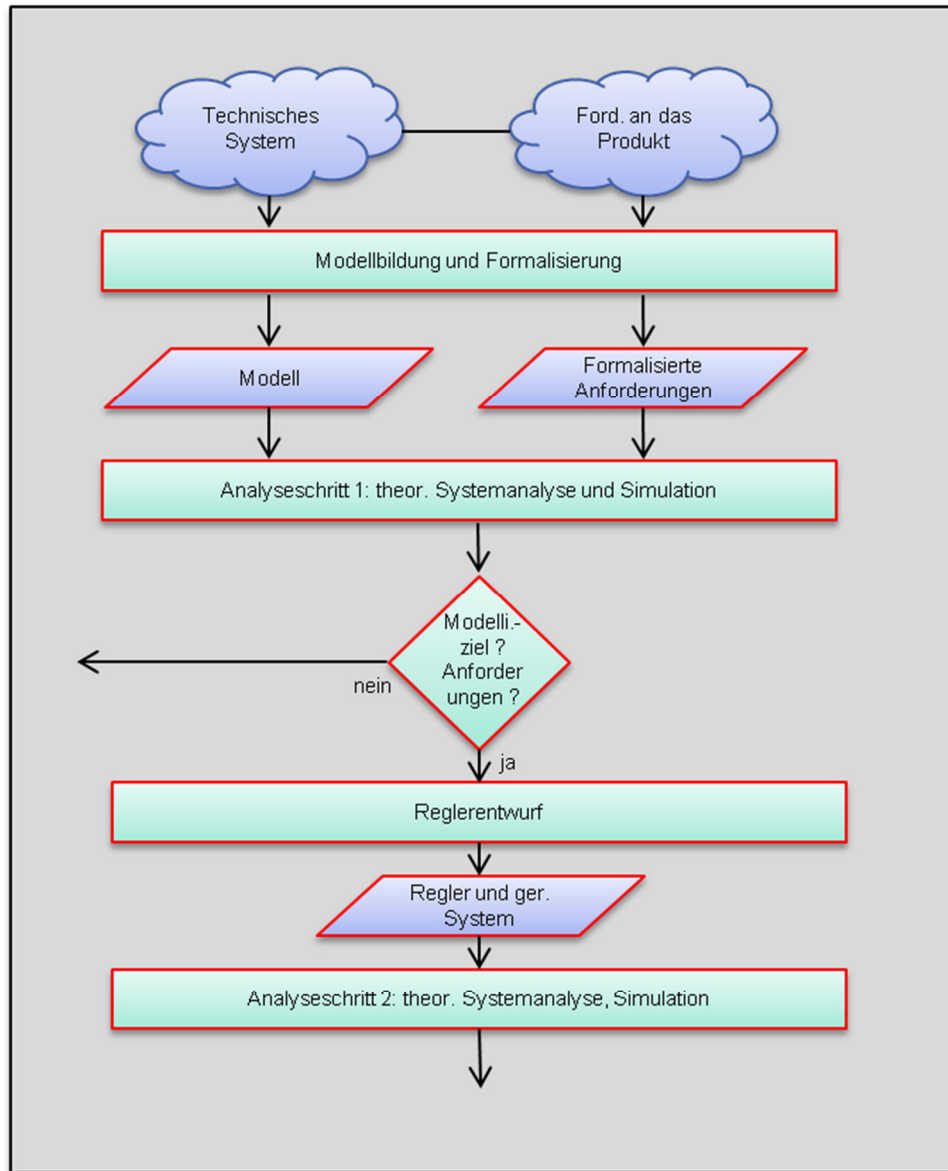
Übung 5: Entwurf linearer zeitkontinuierlicher Regler

Lukas Kölsch, M. Sc.

INSTITUT FÜR REGELUNGS- UND STEUERUNGSSYSTEME (IRS)



Entwicklungsablauf für Regelungssysteme



Übung/Tutorium 5: Themen

Übung

Tutorium

Kompensationsregler

Entwurf mit Einstellregeln

**Frequenzkennlinien-
verfahren**

**Reglerentwurf nach
Ziegler-Nichols**

reale/ideale Regler

Klassifikation der Entwurfsverfahren

- Weites Feld verschiedener Entwurfsverfahren: im Zeit-/Frequenzbereich, für Ein-/Mehrgrößensysteme, mit/ohne Gütekriterium, analytisch/heuristisch
- Wahl des Verfahrens teilweise auch abhängig vom Ziel der Regelung
 - Führungs-/Störverhalten, Überführung in bestimmte Systemzustände, Folgen von Trajektorien

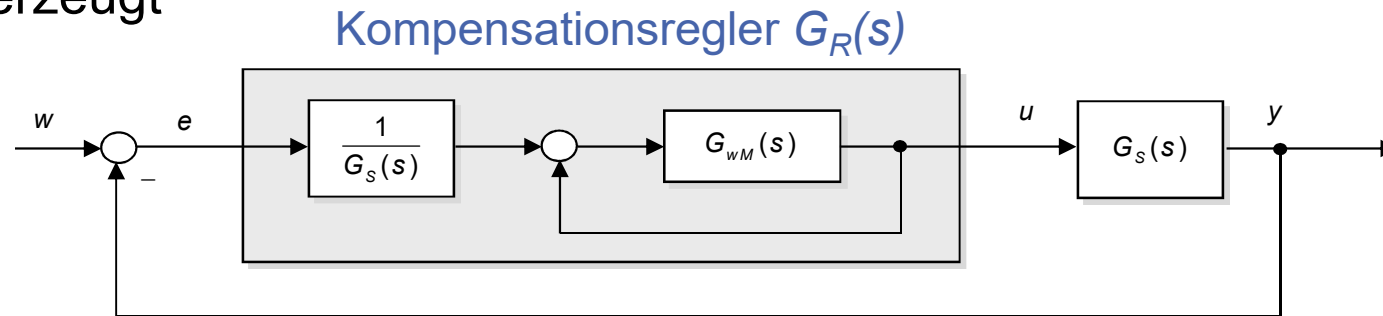
In SRT:

- Direkte Verfahren:
 - rein analytisch/mathematisch
 - Keine graphische Darstellung nötig
 - vollständige Kompensation
 - einfache Einstellregeln
 - Frequenzkennlinienverfahren
 - Wurzelortskurvenverfahren
- Indirekte Verfahren:
 - Unter Verwendung einer graphischen Darstellung
- Heuristische Verfahren:
 - Reglerparametrierung aus Erfahrungswert-Tabellen
 - Einstellregeln nach Ziegler-Nichols

A34(TU)
Nächste Übung

Vollständige Kompensation

- Streckenverhalten wird durch Regler invertiert → vollständig kompensiert
- Zusätzlich wird gewünschte Dynamik des geschlossenen Kreises durch Regler erzeugt



$$G_{wM}(s) = \frac{G_R(s)G_S(s)}{1 + G_R(s)G_S(s)} \Rightarrow G_R(s) = \frac{1}{G_S(s)} \frac{G_{wM}(s)}{1 - G_{wM}(s)}$$



Vorgehensweise:

- Voraussetzungen prüfen
 - $G_S(s)$ stabil und minimalphasig
 - Mitkopplung von $G_{wM}(s)$ stabil
- Wunschübertragungsfunktion $G_{wM}(s)$ des geschlossenen Kreises aufstellen
- Regler $G_R(s)$ aus $G_S(s)$ und $G_{wM}(s)$ berechnen

Einfache Einstellregeln

- Teilweise Kompensation des Streckenverhaltens
 - ➔ Auswahl der Streckenteile, die besonders unerwünschtes Verhalten zeigen
 - ➔ Üblicherweise schneller Regelkreis gewünscht → große Zeitkonstanten kompensieren

Vorgehensweise:



- Wahl des Reglertyps gemäß Streckenverhalten
 - I-Anteil in der Strecke → kein I-Anteil im Regler → (P-/) PD-Regler
 - Kein I-Anteil in der Strecke → I-Anteil im Regler → PI-Regler
 - PID-Regler
- Streckenzeitkonstanten bestimmen
 - Einzelne Nennerprodukte auf die Form $(1+T_N s)$ bringen !
 - Eindeutig größte Streckenzeitkonstante : diese wird kompensiert
 - Keine eindeutig größte Zeitkonstante: Summe aller Zeitkonstanten wird kompensiert

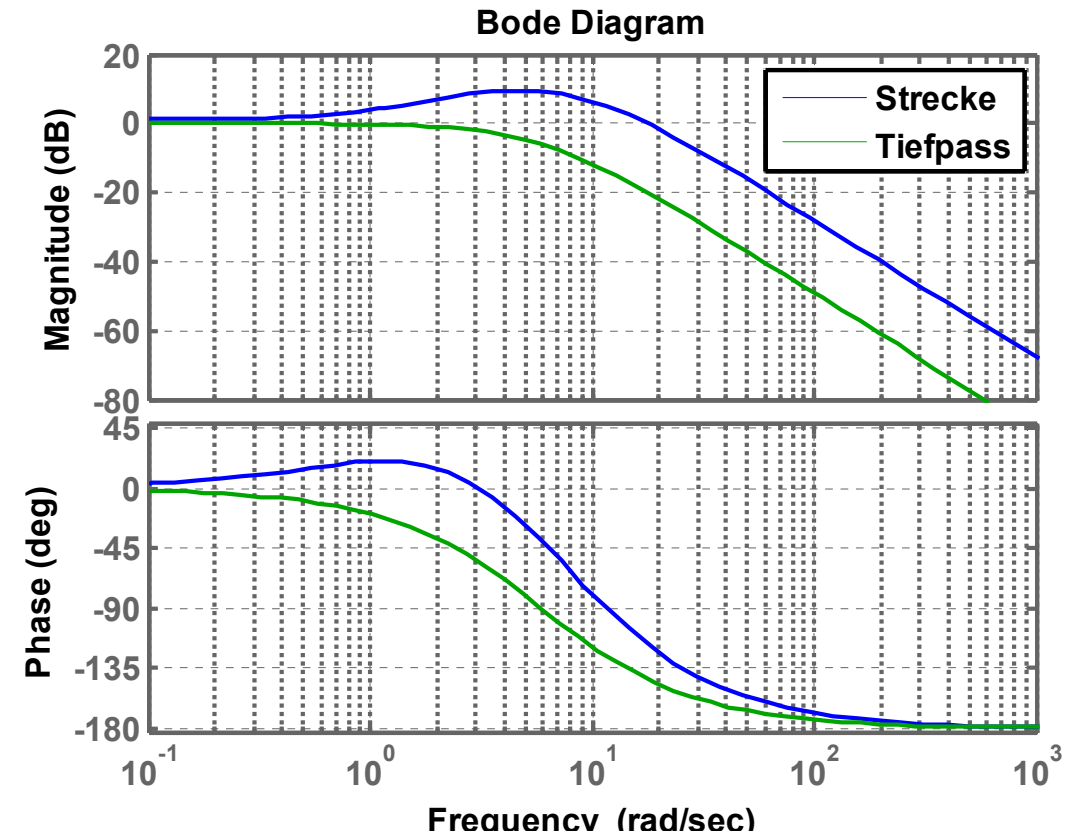
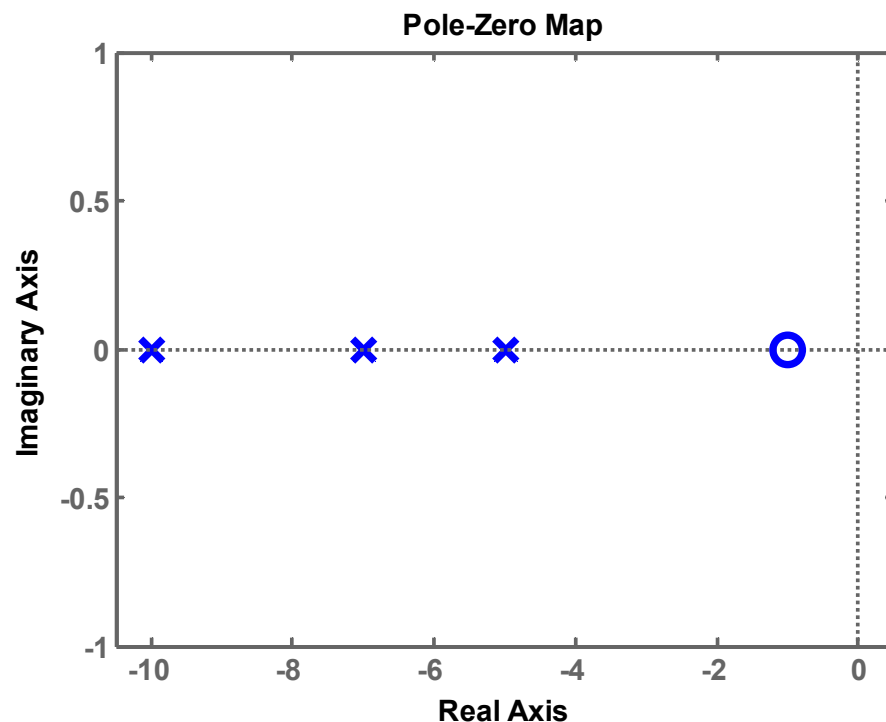
➔ damit Regler bis auf k_R bestimmt
- Verstärkungsfaktor k_R
 - durch Berechnung, sodass geschlossener Kreis stabil oder dass geforderte Dämpfung erreicht
 - Im Bodediagramm, sodass geforderte Phasenreserve erreicht wird

Aufgabe 32 (TR)

- Strecke: $G_{S1}(s) = \frac{2,5}{(2s+1)(25s+1)}$
- a) kein I-Anteil enthalten $\rightarrow$ PI- oder PID-Regler
- b) Nennerprodukte bereits auf Form $(1+T_N s)$
 - $\rightarrow$ Zeitkonstanten können direkt abgelesen werden
 - $\rightarrow T_{N1}=2, T_{N2}=25 \rightarrow T_{N2} \gg T_{N1} \rightarrow$ Kompensation von T_{N2}
 - $\rightarrow G_R(s) = k_R \frac{1+25s}{s}$
- c) sinnvoller Bereich für k_R aus Hurwitzkriterium berechenbar:
 - $\rightarrow$ geschlossener Kreis stabil für $k_R > 0$

Aufgabe 33 (UE)

- Gegeben: Strecke mit PDT₃-Verhalten $G_S(s) = \frac{400(s+1)}{(s+5)(s+7)(s+10)}$
- Gesucht: Regler, der für Tiefpassverhalten des geschlossenen Kreises sorgt (Knickfrequenz ca. 5 rad/s)



Aufgabe 33 (2)

■ a) vollständige Kompensation

■ Modellübertragungsfunktion

$$G_{wM}(s) = \frac{35}{(s+5)(s+7)} = \frac{35}{s^2 + 12s + 35}$$

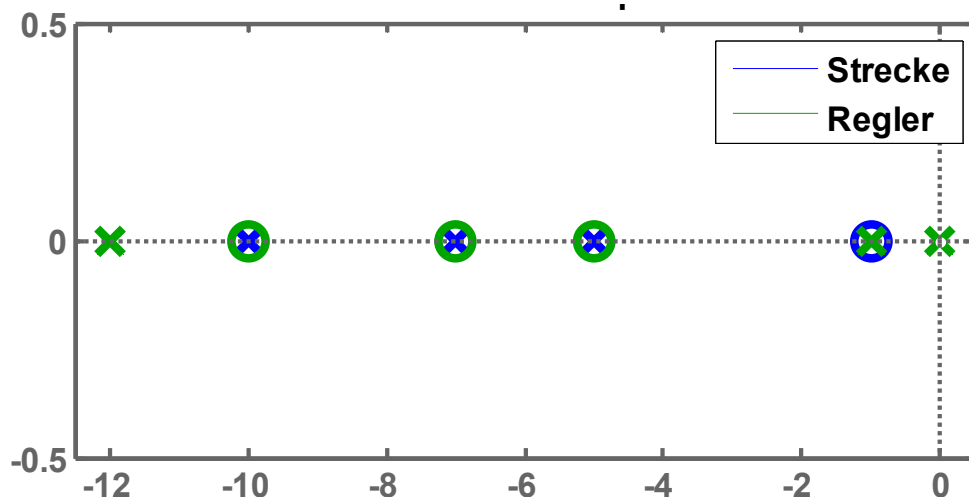
→ Regler:
$$G_R(s) = \frac{1}{G_S(s)} \frac{G_{wM}(s)}{1 - G_{wM}(s)} = \frac{(s+5)(s+7)(s+10)}{400(s+1)} \frac{35}{s^2 + 12s}$$

$$= \frac{35}{400} \frac{(s+5)(s+7)(s+10)}{s(s+1)(s+12)}$$

■ Somit $F_o(s)$:

$$F_o(s) = G_R(s)G_S(s)$$

$$= 35 \frac{\cancel{(s+1)}\cancel{(s+5)}\cancel{(s+7)}\cancel{(s+10)}}{s\cancel{(s+1)}\cancel{(s+5)}\cancel{(s+7)}\cancel{(s+10)}(s+12)} = \frac{35}{s(s+12)}$$



$$G_w(s) = G_{wM}(s) = \frac{35}{(s+5)(s+7)}$$

Aufgabe 33 (3)

■ b) einfache Einstellregeln: - realer PID-Regler

$$- T_N = 0,1 \cdot T_{R2}$$

$$G_R(s) = k_R \frac{(1+T_{R1}s)(1+T_{R2}s)}{s(1+T_Ns)}$$

- Streckenzeitkonstanten: $\frac{1}{5}, \frac{1}{7}, \frac{1}{10}$

- Kompensation der beiden größten: $T_{R1} = \frac{1}{5}, T_{R2} = \frac{1}{7} \rightarrow T_N = \frac{1}{70}$

➔ Regler:

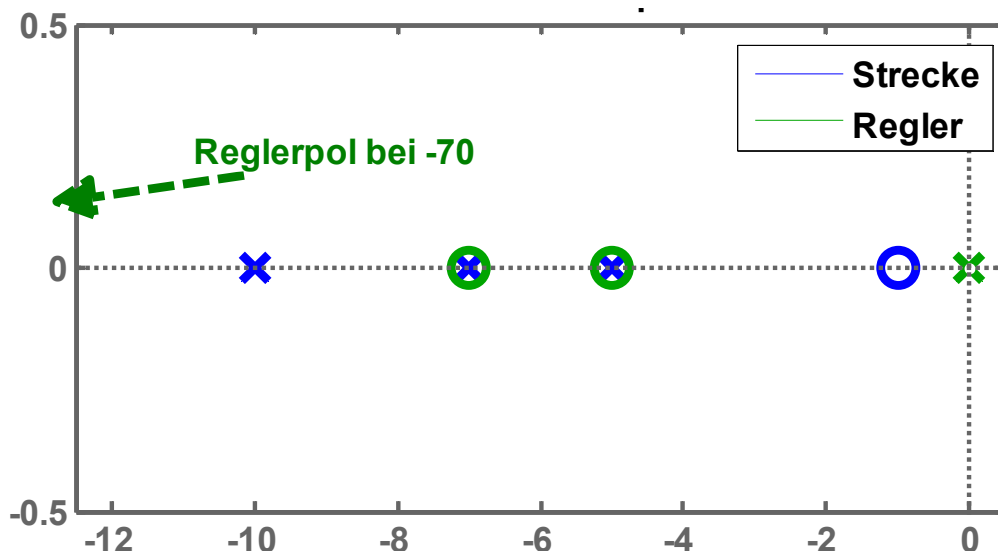
$$G_R(s) = k_R \frac{(1+1/5s)(1+1/7s)}{s(1+1/70s)} = 2k_R \frac{(s+5)(s+7)}{s(s+70)}$$

- Somit $F_o(s)$:

$$F_o(s) = G_S(s)G_R(s) = 800k_R \frac{(s+1)(s+5)(s+7)}{s(s+5)(s+7)(s+10)(s+70)}$$

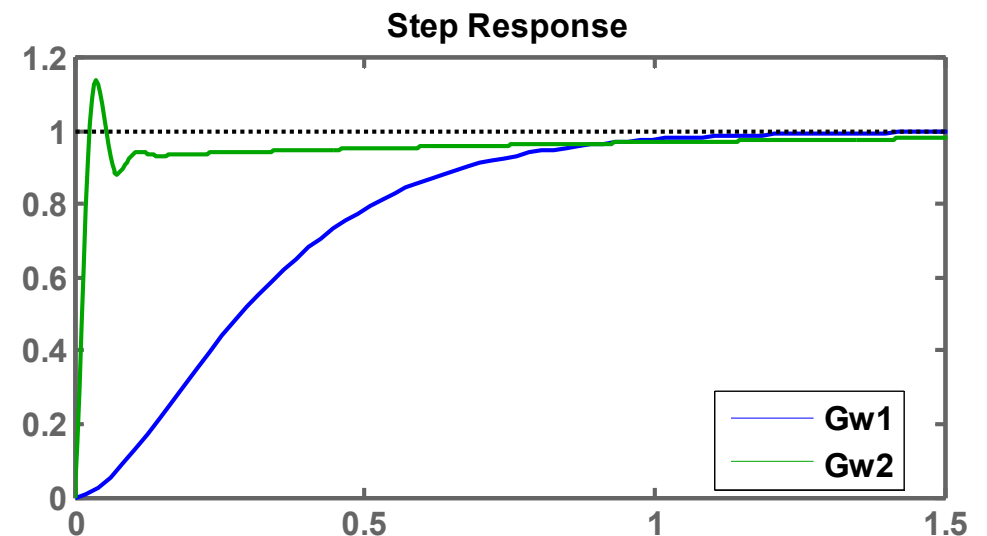
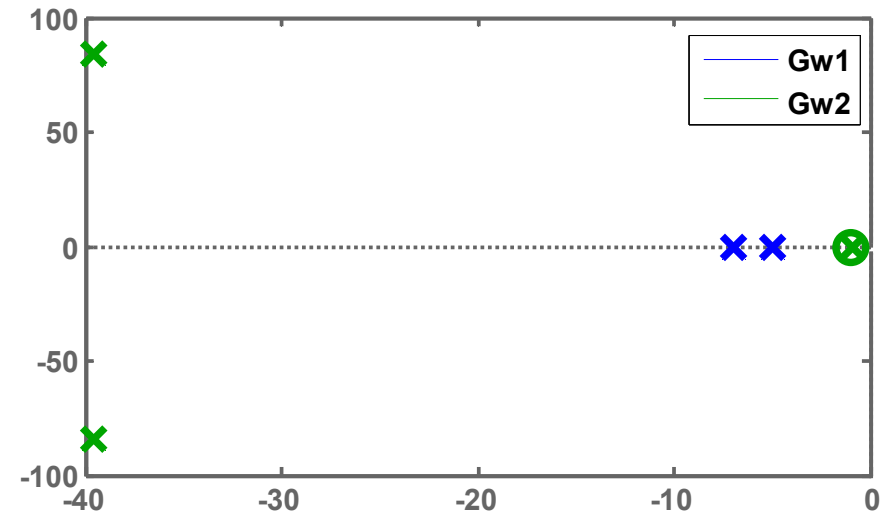
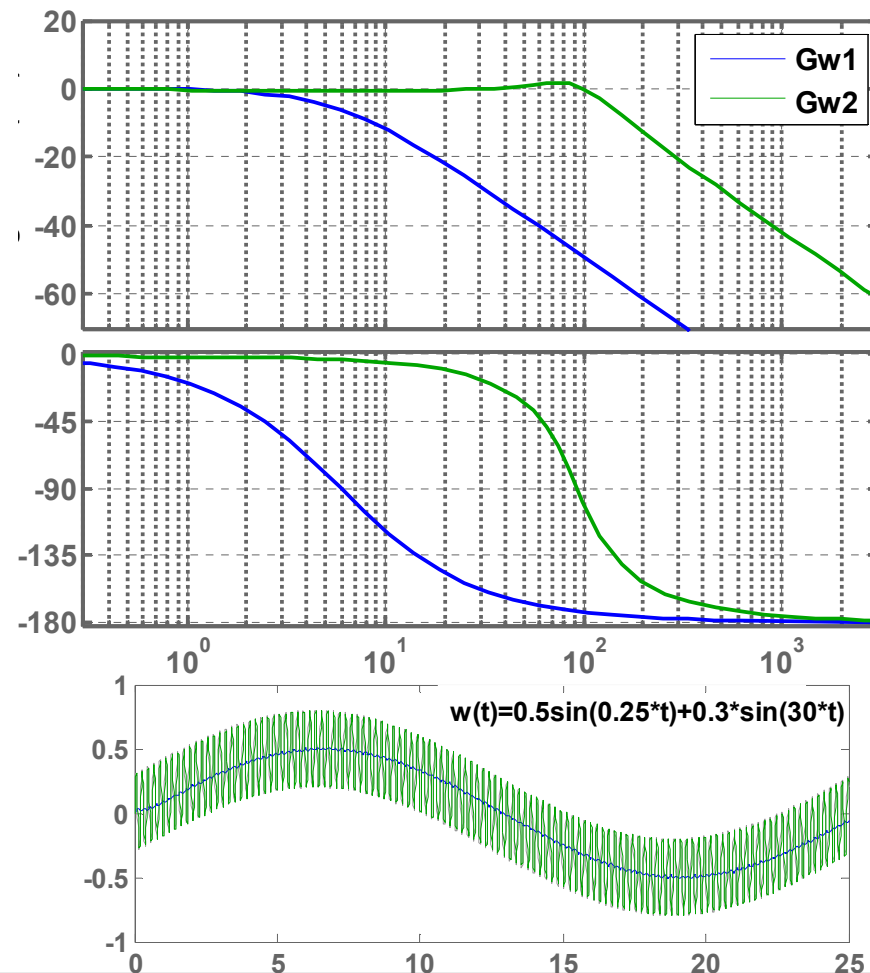
$$= 800k_R \frac{(s+1)}{s(s+10)(s+70)}$$

$G_w(s)$ abhängig von k_R



Aufgabe 33 (4)

- c) $k_R = 10$: $G_{w2}(s) \approx \frac{8000(s+1)}{(s+0.93)(s+39.5+j84)(s+39.5-j84)}$
- Zum Vergleich: $G_{w1}(s) = \frac{35}{(s+5)(s+7)}$





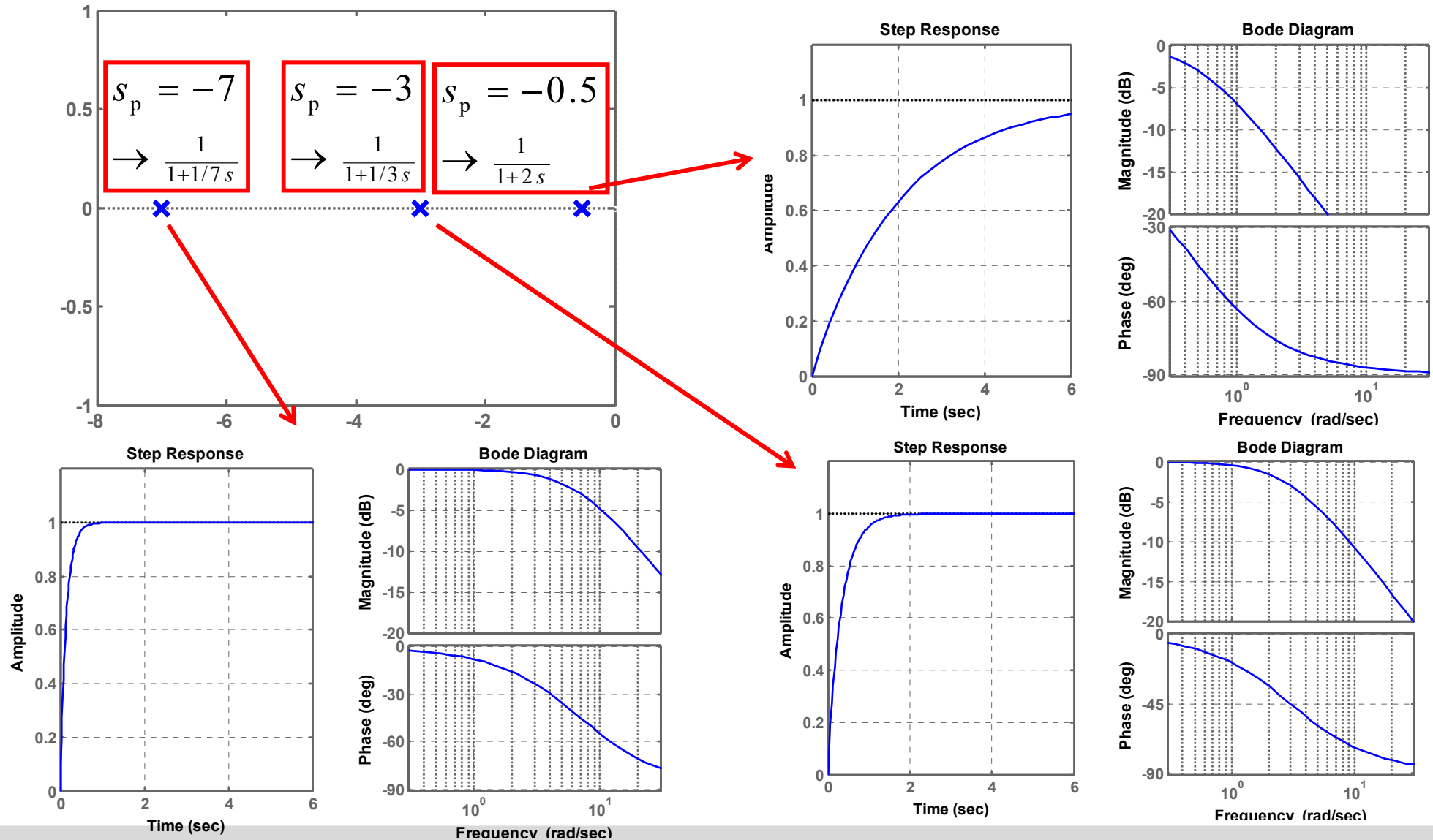
Reale/ideale Regler

- Ideale Regler haben teilweise mehr Nullstellen als Polstellen
 - Idealer PD-Regler: $G_{PD,ideal}(s) = k_R (1 + T_V s)$
 - Idealer PID-Regler: $G_{PID,ideal}(s) = k_R \frac{(1+T_{R1}s)(1+T_{R2}s)}{s}$
- Problem: Differenzierende Systeme tatsächlich nicht realisierbar
 - Sprungantwort bei $t=+0$ müsste sonst unendlich hohen Wert annehmen
- Lösung: Einführen weiterer Pole bis ZG=NG
 - Diese Pole so legen, dass sie keinen nennenswerten Einfluss auf Systemverhalten haben
 - Ihr Einfluss muss also sehr schnell verschwinden
 - Daher Nennerzeitkonstante sehr klein (deutlich kleiner als kompensierte Zeitkonstanten) bzw. Pol weit links

- Reale Regler
$$G_{PD,real}(s) = k_R \frac{1+T_V s}{1+T_N s}, \quad T_N < T_V$$
$$G_{PID,real}(s) = k_R \frac{(1+T_{R1}s)(1+T_{R2}s)}{s(1+T_N s)}, \quad T_N < T_{R1}, T_{R2}$$

Reale/ideale Regler (2)

■ Zusammenhang von Polen, Knickfrequenz und Sprungantwort



Reglerentwurf nach Ziegler-Nichols

- Heuristisches Verfahren – Reglerentwurf nach Erfahrungswerttabelle

- Voraussetzung:
stark verzögernde Strecke
- Notwendig: Wissen über
Stabilitätsgrenze der Strecke

Reglertyp	$G_R(s)$	K_R	T_n	T_v
P	K_R	$0,5 \cdot K_{Rkrit}$	—	—
PI	$K_R \left(1 + \frac{1}{T_n s} \right)$	$0,45 \cdot K_{Rkrit}$	$0,85 \cdot T_{krit}$	—
PID	$K_R \left(1 + \frac{1}{T_n s} + T_v s \right)$	$0,6 \cdot K_{Rkrit}$	$0,5 \cdot T_{krit}$	$0,12 \cdot T_{krit}$



Vorgehensweise:

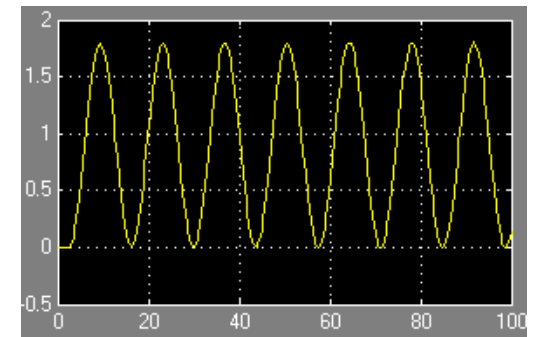
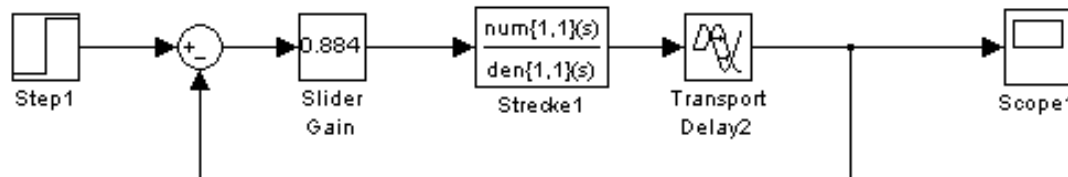
- Ermitteln der kritischen Parameter $k_{R,krit}$ und T_{krit} durch Betrieb mit P-Regler und Austesten der Grenzstabilität (Dauerschwingung)
 - Oft Testen von Dauerschwingungen an realer Anlage nicht möglich → Simulation !
- Gewünschten Regler einstellen nach Tabelle

Aufgabe 35 (TR)

- Strecke:
$$G_S(s) = \frac{10}{(1+10s)(1+\frac{10}{3}s)(1+\frac{1}{2}s)(1+\frac{1}{4}s)} e^{-s}$$
- Regler: PID-Regler nach Ziegler-Nichols

```
tf([...,a2,a1,a0],[...,b1,b0])
[num,den]=tfdata(sys)
```

- Simulation des mit P-Regler geschlossenen Kreises zur Ermittlung der kritischen Parameter



- Simulation des geregelten Kreises zum Vergleich

