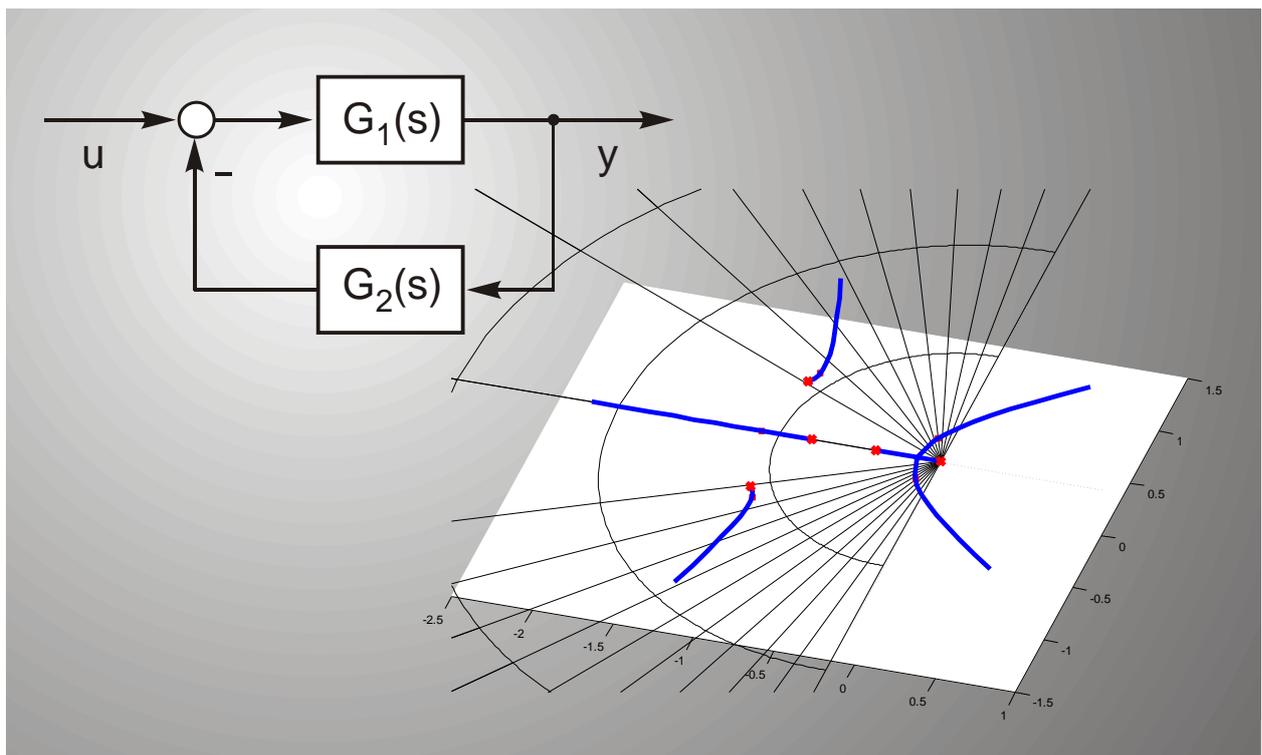


## Aufgaben zur Übung 4

# Systemdynamik und Regelungstechnik

M. Sc. Patrick Sauter



Sommersemester 2014

<http://www.irs.kit.edu/1528.php>

## Erläuterungen zu den Übungsblättern:

Die Übungsblätter enthalten verschiedene Typen von Aufgaben:

- **Anwendungsaufgaben:**

- *Übungsaufgaben* sind mit **UE** gekennzeichnet und werden in der Übung vorgerechnet. Die Lösungswege sind auf den in der Übung gezeigten Folien enthalten, welche nach der Übung im Internet herausgegeben werden.
- *Tutoriumsaufgaben* sind mit **TU** gekennzeichnet und sind ausschließlich zum selbstständigen Bearbeiten vor bzw. im Tutorium gedacht. Diese sind regelmäßig auch in MATLAB/SIMULINK zu bearbeiten. Lösungen zu Tutoriumsaufgaben werden im jeweiligen Tutorium besprochen und ggf. nach der Tutorienwoche bereitgestellt.

- *Trainingsaufgaben (TR):*

Diese enthalten mehrere ähnliche Teilaufgaben zum Erlernen und Trainieren (auch im Hinblick auf die Klausur) von elementaren, klar abgegrenzten Methoden. Der Schwierigkeitsgrad innerhalb einer Trainingsaufgabe steigt zunehmend an, beginnend bei der ersten Teilaufgabe.

In der Übung werden von Trainingsaufgaben lediglich die ersten Teilaufgaben im Rahmen der Wiederholung des Stoffs behandelt. Ggf. werden die anderen Teilaufgaben teilweise oder auf Nachfrage im Tutorium besprochen.

**Es liegt in der Hand jedes einzelnen Studierenden, ob und wie viel er sich mit den restlichen Teilaufgaben beschäftigt. Es wird jedoch dringend empfohlen, auch und gerade diese Methoden selbstständig zu üben, da sie das Handwerkszeug für die SRT darstellen und oft erst in der Anwendung hinreichend verstanden werden.**

Eine Kurzlösung zu den Trainingsaufgaben wird im Anschluss an die Tutorienwoche im Internet herausgegeben.

Der Schwierigkeitsgrad von Aufgaben wird durch Pluszeichen symbolisiert.

⊕ bedeutet *leichte Aufgabe*

⊕⊕⊕(⊕) bedeutet *Klausurniveau (oder höher)*

**Aufgabe 21 (TR)**

Für die im Folgenden gegebenen Regelstrecken sollen mit Hilfe der Einstellregeln Regler entworfen werden.

$$G_{S1}(s) = \frac{2,5}{(2s+1)(25s+1)}, G_{S2}(s) = \frac{s-2}{s(s^2+1,1s+0,1)}, G_{S3}(s) = \frac{10}{(5s+5)(s+1,5)(2s+1,5)}$$

a) +

Handelt es sich jeweils um eine Strecke mit oder ohne I-Anteil? Welche Reglertypen kommen demnach in Frage?

b) +

Bestimmen Sie die relevante(n) (zu kompensierende(n)) Streckenzeitkonstante(n)!

c) ++/+

Für die Systeme  $G_{S1}(s)$  und  $G_{S2}(s)$  sollen nun auch sinnvolle Verstärkungsfaktoren bestimmt werden. Gehen Sie dazu beim Regler  $G_{R1}(s)$  von einem PI-Regler und beim Regler  $G_{R2}(s)$  von einem realen PD-Regler mit  $T_N = 0,1 \cdot T_V$  aus. Berechnen Sie nun mit Hilfe des Hurwitz-Kriteriums den jeweiligen Wertebereich für den Verstärkungsfaktor  $k_R$ , für den das geregelte System stabil ist!

**Aufgabe 22 (UE) ++**

Für ein technisches System mit PDT<sub>3</sub>-Verhalten

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

sollen zwei Regler entworfen werden, welche das Streckenverhalten (teilweise) kompensieren. Das geregelte System soll dabei möglichst Tiefpassverhalten (Knickfrequenz ca. 5 rad/s) aufweisen.

a) Entwerfen Sie einen vollständigen Kompensationsregler für diese Strecke!, Wählen Sie hierzu als Modellübertragungsfunktion

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

um die Anforderungen gut zu erfüllen.

b) Entwerfen Sie einen realen PID-Regler mit  $T_N = 0,1 \cdot T_{R2}$  nach den einfachen Einstellregeln. In welchem Bereich muss die Reglerverstärkung  $k_R$  liegen, damit der geschlossene Kreis stabil ist?

- c) Vergleichen Sie die Ergebnisse, wenn die Verstärkung des PID-Reglers zu  $k_R = 10$  gewählt wird! Welcher der beiden Regler erfüllt die Anforderungen besser?

## Aufgabe 23 (TU) ++

Für ein technisches System mit der Übertragungsfunktion  $G(s) = \frac{5}{(s+4)(2s+1)}$  soll mit Hilfe des Frequenzkennlinienverfahrens ein PI-Regler  $G_R(s) = k_R \frac{1+T_R s}{s}$  so bestimmt werden, dass der geschlossene Regelkreis möglichst schnell wird und eine Phasenreserve von  $50^\circ$  eingehalten wird.

- Wie ist die Zeitkonstante  $T_R$  des Reglers zu wählen? Begründen Sie!
- Zeichnen Sie nun das Bodediagramm (Geradennäherung) des offenen Kreises bei einer Gesamtverstärkung von 1 in das vorbereitete Diagramm am Ende des Übungsblattes ein!
- Bestimmen Sie die maximale Gesamtverstärkung, bei der die Forderung nach der Phasenreserve gerade noch erfüllt ist!
- Berechnen Sie die zugehörige Reglerverstärkung und geben Sie die Übertragungsfunktion des ermittelten Reglers  $G_R(s)$  an!

## Aufgabe 24 (TR) ++

Für die totzeitbehaftete Strecke 4. Ordnung

$$G_S(s) = \frac{10}{(1+10s)\left(1+\frac{10}{3}s\right)\left(1+\frac{1}{2}s\right)\left(1+\frac{1}{4}s\right)} e^{-s}$$

soll mit MATLAB ein PID-Regler nach den Einstellregeln von Ziegler-Nichols entworfen werden. Ermitteln Sie dazu die Werte  $k_{R,krit}$  und  $T_{krit}$  durch Simulation mit SIMULINK. Der geschlossene Regelkreis sei stationär genau und möglichst schneller als die unregelte Strecke.

## Aufgabe 25 (TR) +/-

- Was wird durch eine Wurzelortskurve dargestellt?
- Was wird durch eine Frequenzgangsortskurve (oder Nyquist-Ortskurve) dargestellt?
- In welchen Ebenen werden die Graphen bei der Nyquist-Ortskurve, dem Bodediagramm und der Wurzelortskurve jeweils dargestellt bzw. welche Ebenen spannen die Koordinatenachsen jeweils auf?

**Aufgabe 26 (UE) +++**

Für einen Regelkreis mit  $G_S(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+5)}$

soll ein realer PD-Regler  $G_R(s) = k \cdot \frac{1+T_R s}{1+T_N s}$ ,  $k \geq 0$  entworfen werden.

Abbildung 1 zeigt die Wurzelortskurve des mit einem P-Regler  $G_R(s) = k$ ,  $k \geq 0$ , geregelten Systems.

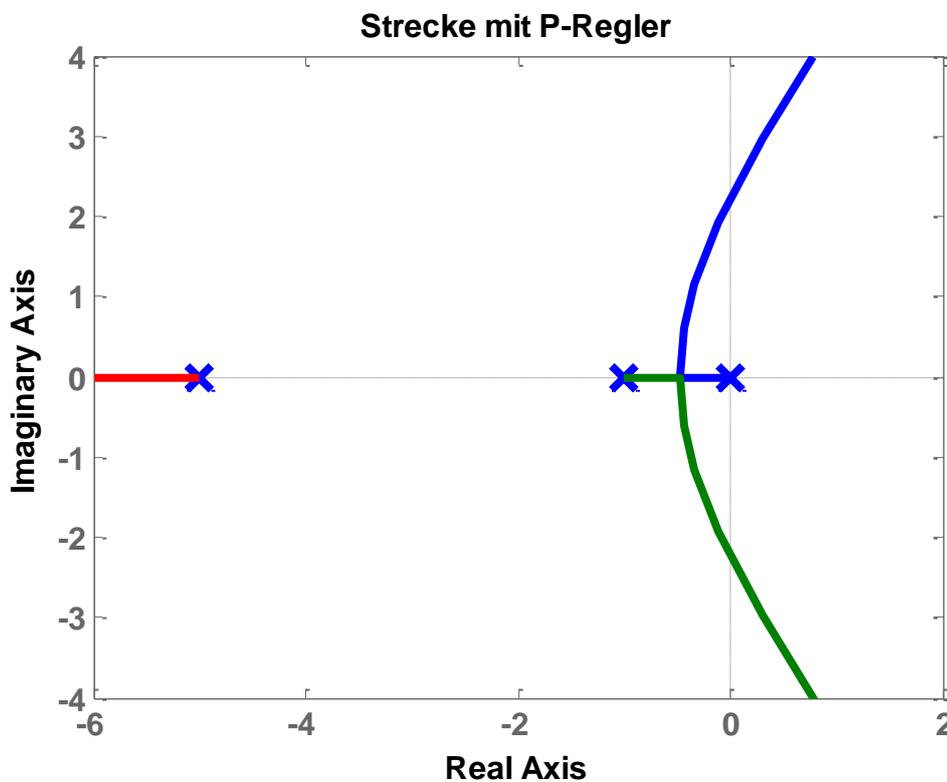


Abbildung 1

- a) • Markieren Sie die Richtung, in der die einzelnen Äste der Wurzelortskurve durchlaufen werden!
- Kann das System instabil werden? Wenn ja, berechnen Sie die Eigenfrequenz des Systems an der Stabilitätsgrenze!
  
- b) Berechnen Sie zunächst einen idealen PD-Regler ( $T_N = 0$ ) so, dass das geregelte System eine Dämpfung  $d = \frac{1}{\sqrt{2}}$  aufweist! Nehmen Sie hierzu an, dass die Äste der Wurzelortskurve des mit dem idealen PD-Regler geregelten Systems

zunächst aufeinander zu streben und dann vom Schnittpunkt aus orthogonal zur reellen Achse wieder auseinander laufen.

- Wo müssen also die Pole des geregelten Systems liegen, damit sich die geforderte Dämpfung einstellt?
  - Wie ist demnach die Reglerverstärkung  $k_R$  zu wählen? Geben Sie die Übertragungsfunktion  $G_R(s)$  des idealen PD-Reglers an!
  - Gibt es andere Verstärkungsfaktoren, für die das mit dem idealen PD-Regler geregelte System instabil ist?
- c) Wie verändert sich die Wurzelortskurve des nach b) geregelten Systems, wenn ein realer PD-Regler mit  $T_N = 0.1 \cdot T_R$  zum Einsatz kommt? Gibt es auch in diesem Falle noch Werte von  $k_R$ , für die das System stabil ist?

### Aufgabe 27 (TR)

Zeichnen Sie für die folgenden Systeme die Pole (Kreuze) und Nullstellen (Kreise) des offenen Kreises in der komplexen s-Ebene! Wie könnten die Äste der zugehörigen Wurzelortskurven verlaufen? Markieren Sie insbesondere auch die Richtung, in der die Äste durchlaufen werden. Sind die einzelnen Systeme nur durch Variation der Verstärkung stabilisierbar?

a) +

$$F_o(s) = \frac{k_R s}{s+1}$$

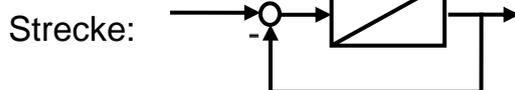
b) +

$$G_S(s) = \frac{(s-2)}{(s+1)}, G_R(s) = k_R \frac{(s+3)}{(s+5)}$$

c) ++

$$F_o(s) = \frac{k_R}{s(s+4)}$$

d) +



Regler: idealer PID-Regler mit  $T_{R1}=0,5$  und  $T_{R2}=2$

e) +++

$$G_S(s) = \frac{s^2 + 2s - 3}{(s+2)^2}, G_R(s) = \frac{k_R}{s}$$

**Hinweis:** Sie können sich die Wurzelortskurven der Systeme zur Kontrolle von MATLAB anzeigen lassen. Verwenden Sie hierzu den Befehl `rlocus`.

