Regelungstechnik I (PO95), Regelungstechnik (PO02 Schiffstechnik)
(180 Minuten)

NAME	
VORNAME	
MATRIKEL-NR.	

Aufgabe 1

(je 2 Punkte)

a) Zeichnen Sie die Grundstruktur des klassischen Regelkreises und kennzeichnen Sie die Signale Störgröße, Führungsgröße und Regelgröße sowie die Übertragungselemente Regelstrecke und Regler.

b) Beschreiben Sie den Unterschied zwischen einer Regelung und einer Steuerung.

c) Was ist ein Eingrößen-(übertragungs)system? In Form welcher zwei typischen Beschreibungen wird das Ein-/Ausgangsverhalten abgebildet?

d) Für ein Übertragungssystem 3-ter Ordnung

$$a_3 \frac{d^3y}{dt^3} + a_2 \frac{d^2y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 u$$

mit dem Eingang u und dem Ausgang y gelten die Anfangsbedingungen $y(0) = a$, $\dot{y}(0) = b$ und $\ddot{y}(0) = c$. Geben Sie die zugehörige Laplace-transformierte Systembeschreibung an.

e) Das Lenkverhalten eines menschlichen Fahrers sei approximativ durch den Frequenzgang $G(j\omega) = K \cdot e^{-j\omega T_\mathrm{t}}/(1 + T_1 j\omega)$ angenommen. Beschreiben Sie den Charakter der Modellbeschreibungsgrößen T_1 und T_t.

Aufgabe 2

(je 2 Punkte)

a) Sie lesen in der Zeitung: „Das umlageorientierte deutsche Rentensystem soll durch ein kapitalorientiertes Rentensystem ersetzt werden. [...] Die Reserven der Rentenversicherer werden zur Stützung der Rentenversicherungsbeiträge auf den Betrag eines Auszahlmonates reduziert.“

Unter „umlageorientiert“ ist zu verstehen, dass aus den Einnahmen der Rentenversicherer die Ausgaben der Rentenversicherer finanziert werden.

Wie würden Sie im Sinne der regelungstechnischen Nomenklatur das aktuelle Ein-/Ausgangs-verhalten der Rentenversicherer benennen?

b) Was sind proportionale, integrale bzw. differenzierende Übertragungselemente bzw. -systeme?

c) Rückführungen werden in der Regelungstechnik verwendet auch um Störgrößen auszuregeln. Welchen Charakter sollten Rückführungen (Regler) bei proportionalen Strecken besitzen, um Störungen ohne große Stellgrößen vollständig auszuregeln? Warum?

d) Geben Sie im Zeit- als auch im Frequenzbereich die Grundstruktur eines als PIDT$_2$-Übertragungselement klassifizierten Reglers an und kennzeichnen Sie hierbei die Ein- und Ausgangsgröße.

e) Gegeben sei ein Übertragungssystem mit der Übertragungsfunktion

$$G(s) = K \frac{(s - T_{\mathrm{n1}})(s - T_{\mathrm{n2}})}{(s - T_{\mathrm{p1}})(s - T_{\mathrm{p2}})(s - T_{\mathrm{p3}})}$$

Unter welchen Voraussetzung ist das System stabil?

Aufgabe 3

(je 2 Punkte)

a) Gegeben sei ein Übertragungssystem mit der Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{10(s + 0.00001)(s - 10)}{s(s - 10000)(s^2 + 0.01s + 0.0001)}$$

Kennzeichnen Sie das Übertragungsverhalten durch Angabe des (qualitativen) Frequenzkennliniendiagramms unter Angabe der Pol- und Nullstellen. Geben Sie an, welchen Teil des Diagramms Sie zeichnen und achten Sie auf die Beschriftungen der Achsen.

b) Dem System unter Aufgabe 3a) werde ein Totzeitsystem mit $T_\mathrm{t} = 0.1\,\mathrm{s}$ nachgeschaltet. Geben Sie zunächst das prinzipielle Übertragungsverhalten eines Totzeitsystems durch Angabe des zugehörigen Frequenzkennliniendiagramms an. Zeichnen Sie nun qualitativ die durch das Totzeitsystem auftretenden Änderungen an dem unter Aufgabe 3a) angegebenen Übertragungsverhalten an (Skizze von Aufgabe 3a) verwenden).

c) Bei der Auslegung eines Regelkreises sei zunächst nur das Verhalten der Regelstrecke durch experimentelle Bestimmung der Ortskurve bekannt. Die gewählte Reglerstruktur sei die eines PI-Reglers mit den bekannten Reglerkoeffizienten K und T_I. Mit Hilfe welchen Verfahrens lässt sich in welcher Weise die Stabilität des gesamten Regelsystems prüfen und die approximative Auslegung der Reglerkoeffizienten z.B. graphisch vornehmen?

d) Bei der Auslegung eines Regelkreises sei zunächst nur das Verhalten der Regelstrecke durch theoretische Modellbildung in Form einer Differenzialgleichung bekannt. Die gewählte Reglerstruktur sei die eines PIDT$_2$-Reglers mit den Reglerkoeffizienten K, T_I, T_D, T_1 und T_2. In welcher Weise lässt sich die Stabilität des gesamten Regelsystems prüfen und im Detail die quantitative (d.h. zahlenmäßige) Auslegung der zu bestimmenden Reglerkoeffizienten vornehmen?

e) Bei der Auslegung eines Regelkreises sei zunächst nur das Verhalten der Regelstrecke durch theoretische (oder experimentelle) Modellbildung in Form der analytischen (oder der approximativ angenäherten) Übertragungsfunktion bekannt. Die gewählte Reglerstruktur sei die eines PDT$_1$-Reglers mit den Reglerkoeffizienten K, T_D, T_1. In welcher Weise lässt sich sich die Stabilität des gesamten Regelsystems in Abhängigkeit eines einzelnen Koeffizienten graphisch abbilden? In welcher Weise lassen sich Forderungen bzgl. der Dynamik des Gesamtsystems hinsichtlich der Dämpfung einzelner Eigenwerte des geschlossenen Regelkreises bei diesem Verfahren integrieren?

Aufgabe 4

(15 Punkte)

a) Die Modellbildung der Elemente eines technischen Systems führt auf die folgenden Zusammenhänge

$$\begin{aligned} G_1(s) &= \frac{K_1}{1+T_1 s} \ , \\ G_2(s) &= K_\mathrm{p} \ , \\ G_3(s) &= \frac{K_\mathrm{I}}{s(1+T_\mathrm{I} s)} \qquad \text{und} \\ G_4(s) &= \frac{K_2}{1+T_2 s+T_3^2 s^2} \ . \end{aligned}$$

Die Elemente seien in folgender Weise verknüpft:

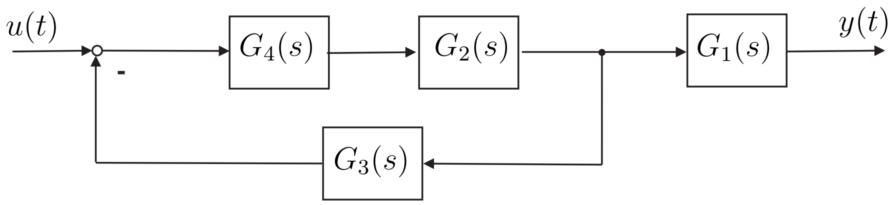

Abbildung 4.1: Technisches System

Bitte geben Sie die Übertragungsfunktion $G(s)$ des technischen Systems an.

b) Für das unter Aufgabe 4a) angegebene System gelten die folgenden Parameter:

$$\begin{aligned} T_\mathrm{I} = T_1 = T_2 &= 0.5\,\mathrm{s} \\ K_\mathrm{p} &= 2 \\ K_\mathrm{I} = K_1 &= 1 \\ K_2 &= 2 \\ T_3 &= 1\,\mathrm{s} \end{aligned}$$

Klassifizieren Sie das Übertragungssystem. Ist das System stabil?

c) Das unter Aufgabe 4a) angegebene System werde vereinfacht mit

$$\begin{aligned} G_1(s) &= 1 \ , \\ G_2(s) &= K_\mathrm{p} \ , \\ G_3(s) &= \frac{K_\mathrm{I}}{s} \ , \\ G_4(s) &= 1 \ , \end{aligned}$$

wobei für $K_{\mathrm{p}} = -4, K_{\mathrm{I}} = 3$ angenommen wird.

Berechnen Sie die Pole und Nullstellen des Systems. Ist das System stabil?

Für die Rückführung werde ein PI-Regler mit der Übertragungsfunktion $K(s) = K_{\mathrm{R}} \frac{1+T_{\mathrm{R}}s}{T_{\mathrm{R}}s}$ gewählt. Zeichnen Sie das Blockschaltbild des Regelkreises. Geben Sie die Übertragungsfunktion des Regelkreises an. Geben Sie den Bereich für K_{R} an, so dass das geregelte System für $T_{\mathrm{R}} = 1$ stabil ist.

d) Zeichnen Sie für die unter Aufgabe 4c) genannten Übertragungssysteme (das vereinfachte, ungeregelte System und das mit PI-Regler geregelte System für $K_{\mathrm{R}} = -3.001$) die Frequenzkennliniendiagramme.

e) Für ein technisches System werde für den offenen Kreis und für negative Rückführung die nachstehende Ortskurve gemessen. Von dem System ist bekannt, dass es einen Pol im Ursprung besitzt. Auf Basis welchen Ansatzes lassen sich die Stabilitätsbereiche für den geschlossenen Regelkreis in Abhängigkeit der Systemverstärkung K angeben? Ist das durch Bild 4.2 beschriebene System bei Kreisschließung stabil? Begründen Sie Ihre Antwort.

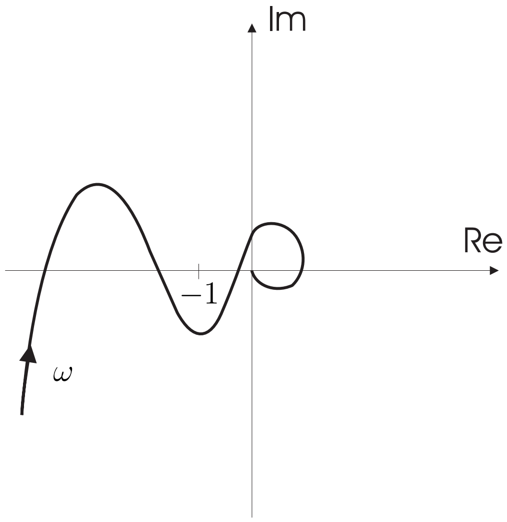

Abbildung 4.2: Ortskurve

Aufgabe 5

(15 Punkte)

a) Das Übertragungsverhalten einer Regelstrecke sei durch das IT_1-Element $G(s) = \frac{K_\mathrm{I}}{s(1+T_1 s)}$ beschrieben. Für die Regelung soll ein PI-Regler $G_\mathrm{R}(s) = \frac{K_\mathrm{p}(1+T_\mathrm{n}s)}{T_\mathrm{n}s}$ verwendet werden.

Geben Sie in abhängig von den Reglerkoeffizienten $(T_1, T_\mathrm{n} > 0)$ die Bedingungen für die Stabilität des Regelkreises an. Hinweis: Hier bietet sich eine Vorgehensweise mit Hilfe des Hurwitz-Kriteriums an.

b) Für das gemessene Bode-Diagramm (siehe unten) einer offenen Regelstrecke soll die Amplitudenreserve des zugehörigen Regelkreises bestimmt werden. Zeichnen Sie die zugehörige Ortskurve und zeichnen Sie in beide Darstellungen die Amplitudenreserve ein. Beurteilen Sie anhand des Amplitudenreserve-Kriteriums die Stabilität des Regelkreises.

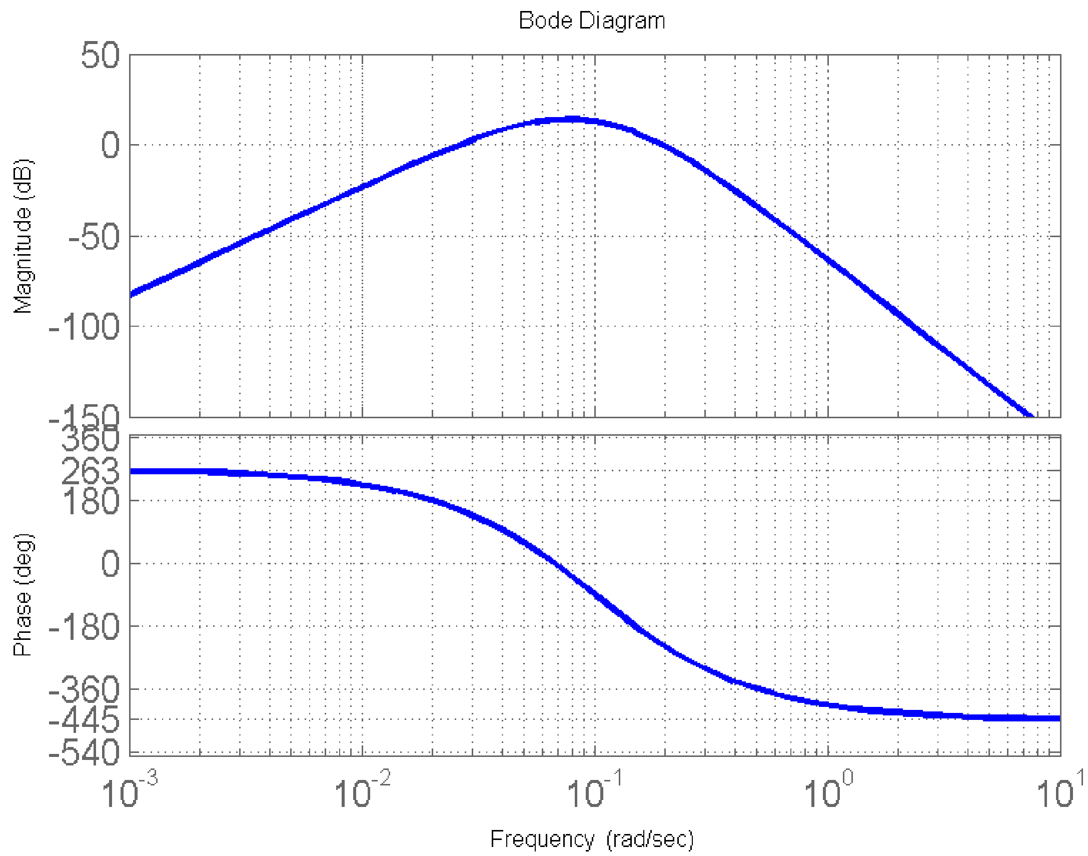

Abbildung 5.1: Bode-Diagramm zu Aufgabe 5b)

c) Gegeben sei das Übertragungsverhalten einer Regelstrecke mit

$$G_\mathrm{s}(s) = \frac{K}{(s+a-ib)(s+a+ib)(s+4)} \ .$$

Das System wird mit einem PIDT$_1$-Regler mit

$$G_\mathrm{R}(s) = \frac{K_\mathrm{p}(T_\mathrm{n}s + T_\mathrm{n}s^2 T_\mathrm{D} + 1 + T_\mathrm{D}s + T_\mathrm{v}s^2 T_\mathrm{n})}{T_\mathrm{n}s(1+T_\mathrm{D}s)}$$

geregelt. Für die Koeffizienten gelte: $T_\mathrm{n} = 1,\ T_\mathrm{v} = 2,\ T_\mathrm{D} = 4,\ a = 2,\ b = 2,\ K = 2.$ Geben Sie die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises an. Berechnen Sie die Pole und Nullstellen. Ist der offene Kreis stabil?

d) Erstellen Sie für das unter Aufgabe 5c) genannte System die Wurzelortskurve.

e) Zeichnen Sie die Stabilitätsgrenze ein und zeigen Sie einen Weg zur Berechnung der kritischen Verstärkung K_krit auf.

Aufgabe 6

(40 Punkte)
Zu untersuchen ist der in Bild 6.1 dargestellte Regelkreis:

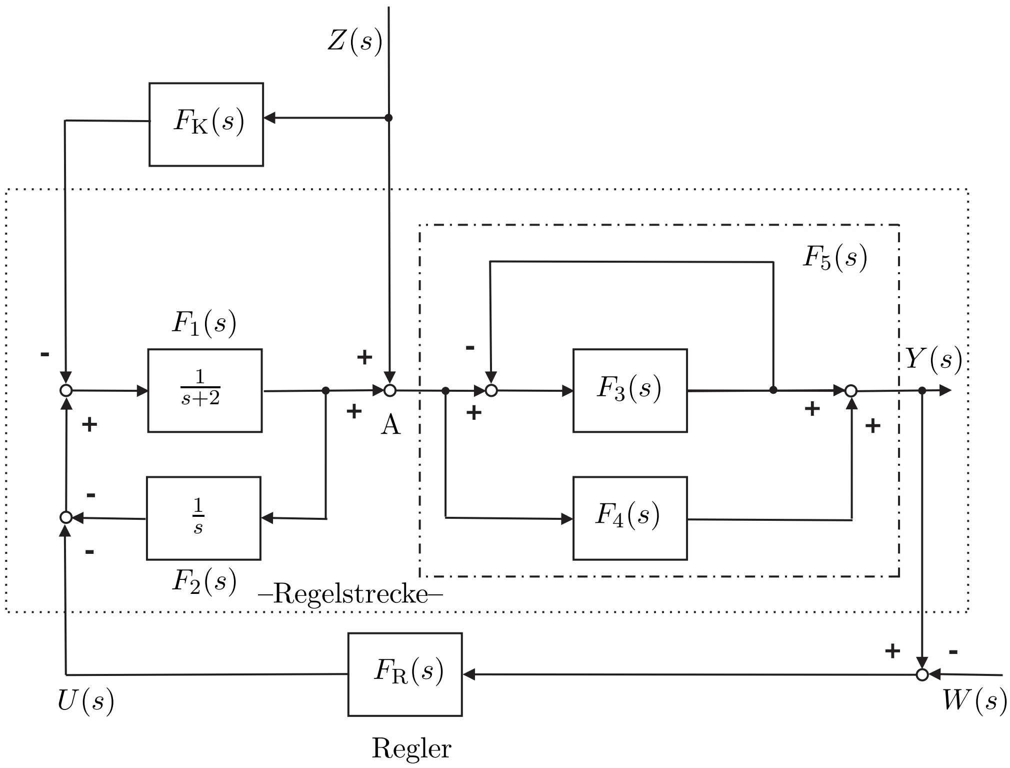

Abbildung 6.1: Blockschaltbild

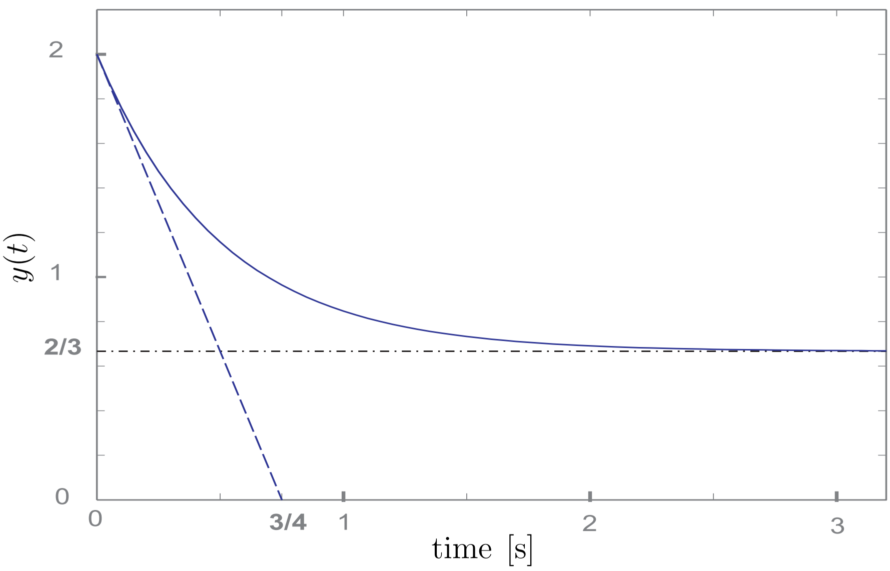

Abbildung 6.2: Gewichtsfunktion (Impulsantwort)

Von dem durch die Übertragungsfunktion $F_5(s)$ beschriebenen Teilsystem der Regelstrecke ist bekannt, dass es sich um ein PIT_1-System mit

$$F_5(s) = K\frac{1+\frac{1}{T_\mathrm{I}s}}{1+T_1 s}$$

handelt. Die gemessene Impulsantwort dieses Teilsystems zeigt Bild 6.2.

a) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion $F_5(s)$ mit den aus Bild 6.2 zu ermittelnden Kenngrößen K und T_I für gegebenes $T_1 = 0.5\,s$. Hinweis: Nutzen Sie die Grenzwertsätze der Laplacetransformation!

b) Geben Sie die Übertragungsfunktionen $F_3(s)$ und $F_4(s)$ an. Es ist bekannt, dass die hierdurch beschriebenen Blöcke jeweils einen Integralanteil besitzen.

Für die weiteren Untersuchungen sind folgende Kenngrößen für die Übertragungsfunktion $F_5(s)$ zu wählen: $K = 1,\ T_\mathrm{I} = 1, T_1 < T_\mathrm{I}$.

c) Wie lautet die Übertragungsfunktion $F_\mathrm{s} = Y(s)/U(s)$ der gesamten Regelstrecke? Skizzieren Sie die Ortskurve des zugehörigen Frequenzganges $F(\mathrm{j}\omega)$.

d) Zur Regelung der Strecke wird ein PI-Regler eingesetzt mit

$$F_\mathrm{R}(s) = K_\mathrm{R}(1+\frac{1}{s}) \ .$$

Skizzieren Sie die Ortskurve des offenen Regelkreises (Führungsverhalten). Überprüfen Sie die Stabilität des geschlossenen Systems und begründen Sie Ihre Beurteilung.

e) Im weiteren wird das Störverhalten der Regelstrecke untersucht. Am Streckenort A wirkt die messbare Störgröße $Z(s)$. Mit Hilfe einer Störgrößenaufschaltung über $F_K(s)$ kann der Einfluß von $Z(s)$ auf die Regelgröße $Y(s)$ kompensiert werden.

Ist diese Störgrößenaufschaltung notwendig, wenn sich die Störgröße lediglich im stationären Zustand nicht auswirken soll ($K_R < \infty$)? Geben Sie erforderlichenfalls die Übertragungsfunktion $F_\mathrm{K}(s)$ an.

Hinweis: Bestimmmen Sie zunächst die Störübertragungsfunktion. Nutzen Sie dann die Grenzwertsätze der Laplacetransformation und untersuchen die den Fall $w(t) \equiv 0,\ z(t) = 1(t)$ und $0 < K_\mathrm{R} < \infty$.

Maximal erreichbare Punktzahl:	**100**
Mindestpunktzahl für die Note 1,0:	**95**
Mindestpunktzahl für die Note 4,0:	**50**