

## Einlesezeit

Für die Durchsicht der Klausur wird eine „Einlesezeit“ von **10 Minuten** gewährt. Während dieser Zeitdauer ist es Ihnen **nicht** gestattet, mit der Bearbeitung der Aufgaben zu beginnen. Dies bedeutet konkret, dass sich während der gesamten Dauer der Einlesezeit keinerlei Schreibgeräte (Stifte, Füller, etc.) auf dem Tisch befinden dürfen sowie die Nutzung von mitgeführten Unterlagen respektive (elektronischer) Wörterbücher bzw. tragbarer Translater strengstens untersagt ist. Nehmen Sie Ihre Schreibgeräte und Unterlagen erst zur Hand, wenn die Prüfungsaufsicht auf das Ende der Einlesezeit hingewiesen hat und füllen Sie zunächst das Deckblatt **vollständig** aus.

*Viel Erfolg!*

NAME	
VORNAME	
MATRIKEL-NR.	
TISCH-NR.	

## Klausurunterlagen

Ich versichere hiermit, dass ich sämtliche für die Durchführung der Klausur vorgesehenen Unterlagen erhalten, und dass ich meine Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung unerlaubter Hilfsmittel und sonstiger unlauterer Mittel angefertigt habe. Ich weiß, dass ein Bekanntwerden solcher Umstände auch nachträglich zum Ausschluss von der Prüfung führt. Ich versichere weiter, dass ich sämtliche mir überlassenen Arbeitsunterlagen sowie meine Lösung vollständig zurück gegeben habe. Die Abgabe meiner Arbeit wurde in der Teilnehmerliste von Aufsichtsführenden schriftlich vermerkt.

DIE OBIGEN ANGABEN SOWIE DIE UNTERSCHRIFT  
SIND ZWINGEND ZU KLAUSURBEGINN ZU LEISTEN.

Duisburg, den \_\_\_\_\_  
(Datum) (Unterschrift der/des Studierenden)

Falls Klausurunterlagen vorzeitig abgegeben: \_\_\_\_\_ Uhr

# Bewertungstabelle

Aufgabe 1	
Aufgabe 2	
Gesamtpunktzahl	
Angepasste Punktzahl	
%	
Bewertung gem. PO in Ziffern	

---

(Datum und Unterschrift 1. Prüfer, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Söffker)

---

(Datum und Unterschrift 2. Prüfer, Dr.-Ing. Yan Liu)

---

(Datum und Unterschrift des für die Prüfung verantwortlichen Prüfers, Söffker)

Fachnote gemäß Prüfungsordnung:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	5,0
sehr gut		gut			befriedigend			ausreichend		mangelhaft

Bemerkung: \_\_\_\_\_

**Achtung:** Schreiben Sie Ihre Antwort für ALLE Aufgaben  
direkt unter die entsprechende Aufgabe in den Aufgabenbogen!

Verwenden Sie KEINE Bleistifte oder roten Stifte für die  
Beantwortung von Fragen oder für Zeichnungen!  
(Rote Stifte werden bei der Korrektur verwendet.)

Diese Prüfung lege ich ab als

Pflichtfach

Wahlfach

Auflage

(Bitte EINES ankreuzen).

Maximal erreichbare Punktzahl:	<b>50</b>
Mindestprozentzahl für die Note 1,0:	<b>95%</b>
Mindestprozentzahl für die Note 4,0:	<b>50%</b>

### Allgemeine Hinweise:

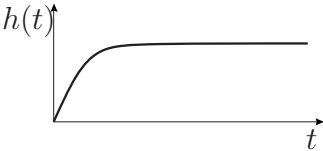
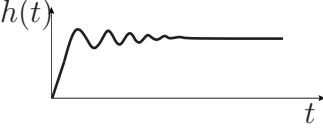
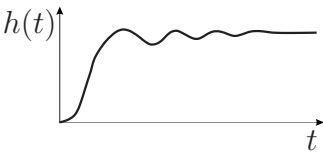
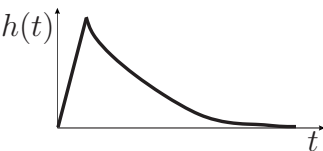
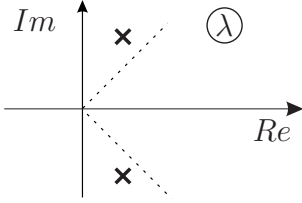
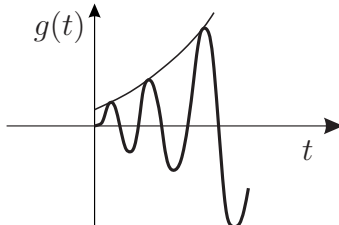
- 1) Für die Multiple-Choice and multiple-choice-ähnlichen Fragen gilt:
  - i) Korrekte Teilantworten werden mit der vorgesehenen Teilpunktzahl bewertet.
  - ii) Nichtkorrekte Teilantworten werden mit der vorgesehenen Teilpunktzahl negativ bewertet.
  - iii) Keine Willensäußerung führt weder zu einer negativen noch zu einer positiven Anrechnung.
  - iv) Die in einer Aufgabe anfallenden positiven wie negativen Punkte werden aufsummiert.  
Eine negative Gesamtpunktzahl gibt es nicht.
- 2) Sollten im Einzelfall keine zulässigen Zahlenbereiche für Zeitkonstanten, Massen etc. angegeben sein, gehen Sie immer von positiven Zahlenwerten für die Zeit und für Massen aus.
- 3) Sollte im Einzelfall keine Angabe zu positiver oder negativer Rückführung angegeben sein, gehen Sie immer von der üblichen negativen Rückführung aus.

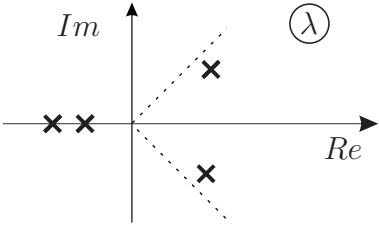
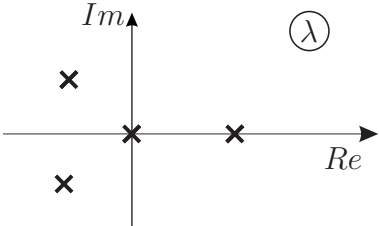
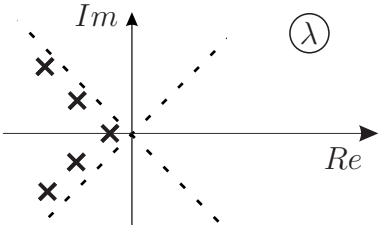
**Aufgabe 1** (23 Punkte)

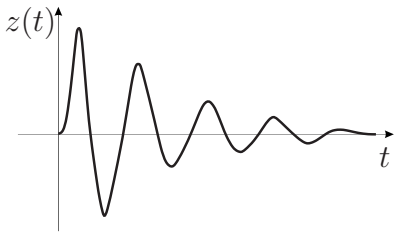
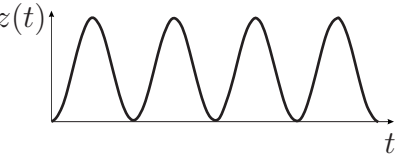
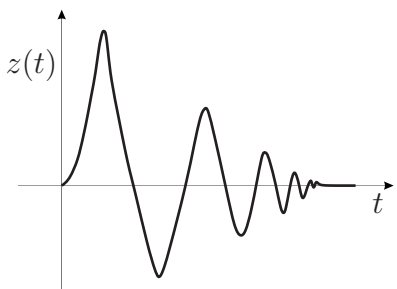
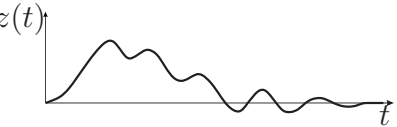
1a) (22 × 0.5 Punkte, 11 Punkte)

Welche der folgenden Aussagen sind wahr und welche sind falsch?

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Bei den in der linearen Regelungstechnik betrachteten MIMO-Systemen handelt es sich um Systeme mit linearem Übertragungsverhalten. Eine typische Ein-/Ausgangsbeschreibung lautet beispielsweise $y^{(n)} + a_{n-1}y^{(n-1)} + \dots + a_1y + a_0 = K[u(t) + \frac{1}{T} \int u dt],$ mit $\dim y^{(i)} = [1, 1]$ .	○	⊗
2)	Eine Steuerung ist auf Grund des offenen Wirkablaufes in der Lage, den Einfluss von Störgrößen zu kompensieren.	○	⊗
3)	Steuerungen benötigen weniger Sensorik/Aktorik und sind bzgl. des geringeren Geräteaufwandes vorteilhaft.	⊗	○
4)	Systeme mit differenziellem Verhalten sind typische Elemente der linearen Regelungstechnik.	⊗	○
5)	Der Eingang eines nichtlinearen Systems 'Mauspiep' wird verdreifacht. Der stationäre Ausgang des Systems verändert sich ebenfalls; konkret verzwölffacht er sich. Ein derartiges statisches Verstärkungsverhalten kann bei nichtlinearen Systemen auftreten.	⊗	○
6)	Übertragungselemente zweiter Ordnung, hier beschrieben durch $\frac{1}{\omega_0^2} \ddot{y} + \frac{2D}{\omega_0} \dot{y} + y = K[u + \frac{1}{T_I} \int u dt + T_D \dot{u}],$ sind prinzipiell schwingungsfähig (abhängig vom Einstellparameter $D$ ist dieses sichtbar oder nicht).	⊗	○
7)	Für Werte $D \geq 1$ der in 1a.6 beschriebenen E/A-Beziehung zeigt sich im Zeitverhalten kein sichtbares Schwingungsverhalten.	⊗	○

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
8)	<p>Nachstehende Übergangsfunktionen weisen auf lineare Systeme der Ordnung 2 (und größer) mit einer Dämpfung <math>D &lt; 1</math> hin (<math>D &lt; 1</math>: konjugiert komplexes Polpaar, sichtbares Schwingungsverhalten).</p>		
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
9)	<p>Ein System mit der Eigenwertlage</p>  <p>weist folgendes Verhalten auf.</p> 	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
10)	Die Übergangsfunktion eines Systems lässt sich messtechnisch durch dauerhaftes Anlegen einer Eingangsgröße, die sprunghaft auf das System wirkt, erfassen, und kann zur Systemcharakterisierung verwendet werden.	⊗	○
11)	Die Gewichtsfunktion linearer Systeme lässt sich aus einer gemessenen Übergangsfunktion ableiten.	⊗	○
12)	SISO-Systeme sind immer stabil.	○	⊗
	<p>Das SISO-System mit der EW-Verteilung</p>  <p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der horizontalen Achse <math>Re</math> (Realteil) und der vertikalen Achse <math>Im</math> (Imaginärteil). Ein Kreis <math>\lambda</math> markiert die Eigenwertverteilung. Es gibt zwei reelle Eigenwerte auf der negativen Realachse (links von der Nulllinie) und ein Paar komplex konjugierter Eigenwerte in der linken Halbebene (links von der Imaginärachse). Gestrichelte Linien verlaufen durch die komplexen Eigenwerte.</p> <p>hat konjugiert komplexe Eigenwerte.</p>	⊗	○
13)	<p>Das System mit der EW-Verteilung</p>  <p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der horizontalen Achse <math>Re</math> (Realteil) und der vertikalen Achse <math>Im</math> (Imaginärteil). Ein Kreis <math>\lambda</math> markiert die Eigenwertverteilung. Es gibt einen reellen Eigenwert auf der positiven Realachse (rechts von der Nulllinie) und ein Paar komplex konjugierter Eigenwerte in der linken Halbebene (links von der Imaginärachse).</p> <p>ist grenzstabil.</p>	○	⊗
	<p>Das System mit der EW-Verteilung</p>  <p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der horizontalen Achse <math>Re</math> (Realteil) und der vertikalen Achse <math>Im</math> (Imaginärteil). Ein Kreis <math>\lambda</math> markiert die Eigenwertverteilung. Alle Eigenwerte (reelle und komplex konjugierte Paare) liegen in der linken Halbebene (links von der Imaginärachse).</p> <p>ist asymptotisch stabil.</p>	⊗	○

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
14)	<p>Abhängig von den Parametern <math>m, d</math> und <math>k</math> kann das Übertragungssystem beschrieben durch</p> $m\ddot{z} + d\dot{z} + kz = a \cdot \delta(t) \text{ mit } m, d, k > 0; a \neq 0$ <p>folgendes Ausgangsverhalten aufweisen.</p>		
		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	



1b) (7.5 Punkte)

In der nachstehenden Abbildung sind die Eigenwerte des E/A-Verhalten von vier verschiedenen linearen Systemen ohne Totzeit grafisch dargestellt. Gemessen wurden die Übergangsfunktionen  $h(t)$  der Systeme. Beurteilen Sie die Aussagen in den nachstehenden Tabellen.

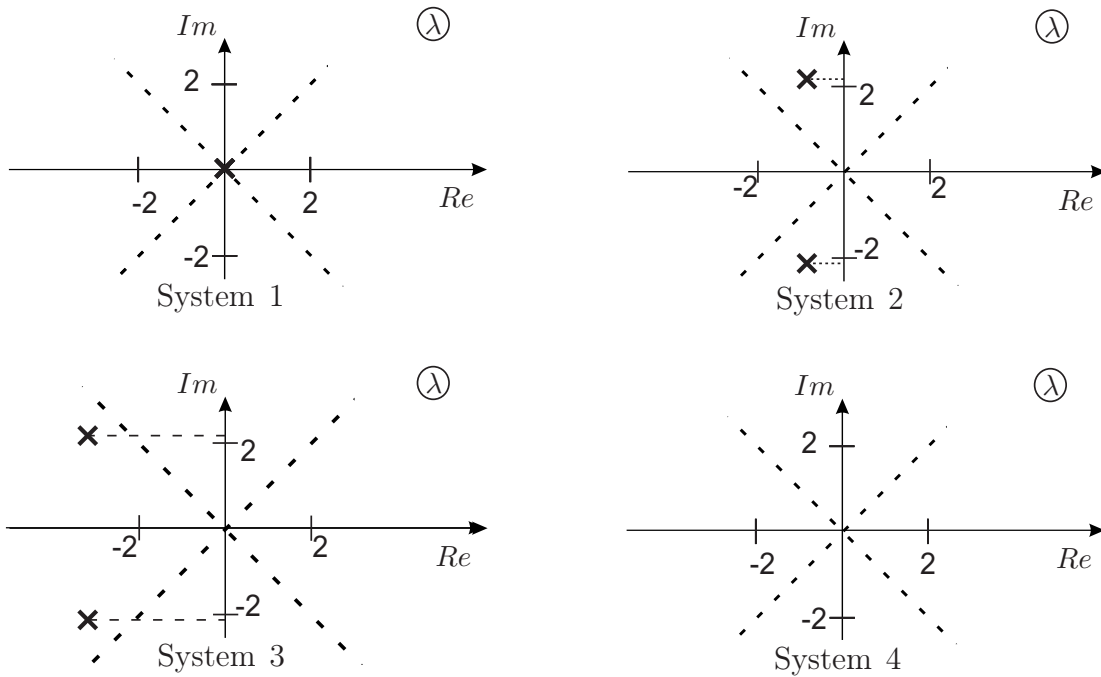


Abbildung 1.1: Eigenwertverteilungen von vier verschiedenen Systemen

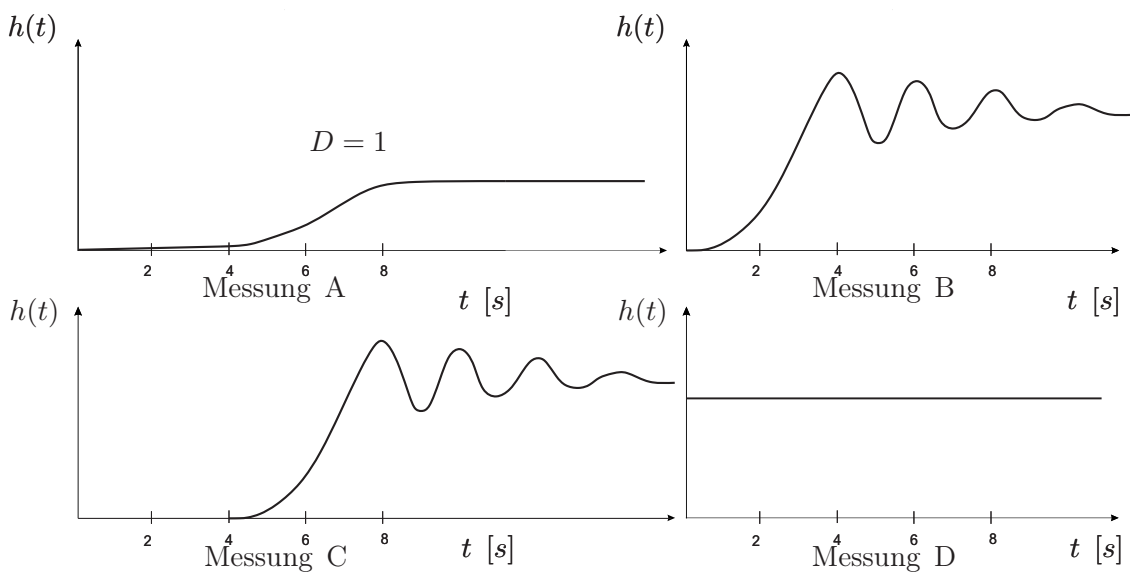


Abbildung 1.2: Übergangsfunktionen



i) (2,5 Punkte)

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Das System 1 lässt sich durch die Gleichung $\ddot{y} + y = K \left( \frac{1}{T_I} \int u dt \right)$ beschreiben.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
2)	Das System 4 lässt sich durch die Gleichung $y = Ku$ beschreiben.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
3)	Das System 3 entspricht einem System mit einer Dämpfung $D > 1$ .	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
4)	Die Systeme 2 und 3 weisen eindeutig eine identische statische Verstärkung $K$ ihres stationären Zeitverhaltens auf.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
5)	Das System 1 ist asymptotisch stabil.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>



ii) (2,5 Punkte)

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Die Messung B weist ein Dämpfungsverhalten mit $D < 1$ auf.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2)	Die Messung A weist ein Totzeitverhalten auf.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
3)	Die Messung C weist ein Totzeitverhalten auf.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
4)	Die Messung D zeigt, dass das zugrundeliegende System keinerlei Dynamik (im Sinne von Verzögerungen, Trägheiten) besitzt.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
5)	Die Messung C könnte einem Verhalten eines $PT_2T_t$ -Systems entsprechen.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>



iii) (2,5 Punkte)

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Die Messung D und das System 4 entsprechen einander.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2)	Die Messung B und das System 3 entsprechen einander.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
3)	Die Messung A und das System 3 entsprechen einander.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
4)	Wird dem System 2 ein Totzeitsystem vorweggeschaltet, lässt sich Messung C erzielen.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
5)	Wird dem System 2 ein Totzeitsystem nachgeschaltet, lässt sich Messung C erzielen.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>



1c) (4.5 Punkte)

Gegeben ist nachfolgendes Regelungssystem.

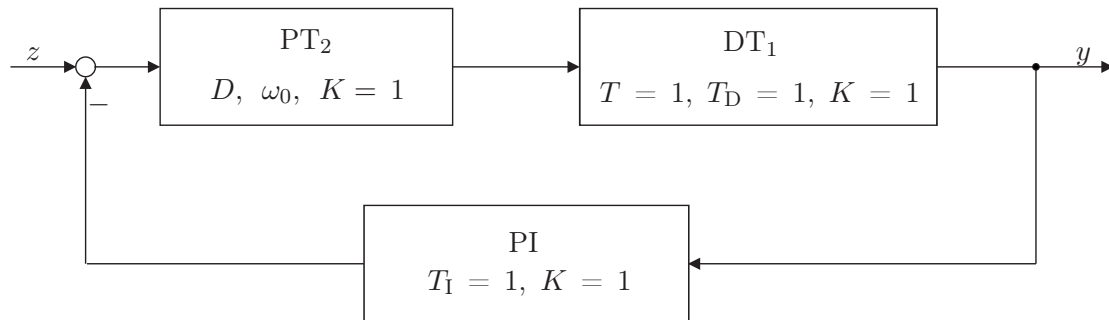


Abbildung 1.3: System

- Geben Sie die das Störübertragungsverhalten ( $z \rightarrow y$ ) beschreibende Gleichung an.
- Klassifizieren Sie das Verhalten.
- Welchen stationären Verstärkungsfaktor weist das Störübertragungsverhalten auf?

**Antwort**

–

$$\frac{1}{2\omega_0^2} \ddot{y} + \left( \frac{1}{2\omega_0^2} + \frac{D}{\omega_0} \right) \dot{y} + \left( \frac{D}{\omega_0} + 1 \right) y = \frac{\dot{z}}{2} \quad (1.1)$$

– DT<sub>3</sub>–  $K_{stat.} = 0$  ( $\ddot{y} = \dot{y} = y = 0$ )

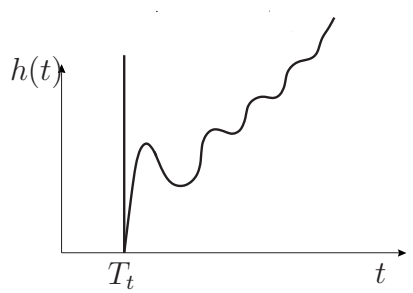
||

| □

**Aufgabe 2** (27 Punkte)

2a) (1.5 Punkte)

Welche der folgenden Aussagen sind wahr und welche sind falsch?

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	<p>Mit der Beschreibung des Zustandsverhaltens</p> $x(t) = \phi(t)x_0(t=0) + \int_{t=0}^t \phi(t-\tau)bu(\tau)d\tau,$ <p>lässt sich der Zeitverlauf des Ausgangs <math>y(t)</math> als <math>y = C \cdot x(t)</math> berechnen. Für ein stabiles und proportionales Systemverhalten <math>\phi(t)</math> weist <math>y(t \rightarrow \infty)</math> mit <math>u(t) = a \cdot 1(t)</math>, <math>a \neq 0</math> ein stationäres Verhalten <math>y(t \rightarrow \infty) = 0</math> auf.</p>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
2)	<p>Das System beschrieben durch</p> $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ k & -d \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 1], \quad \text{und} \quad D = 0$ <p>ist identisch zur E/A-Beschreibung</p> $\ddot{y} - d\dot{y} + ky = u,$ <p>wobei <math>\dot{y}</math> gemessen wird.</p>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
3)	<p>Ein System mit</p>  <p>lässt sich als PIDT<sub>2</sub>T<sub>t</sub>-Verhalten klassifizieren.</p>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

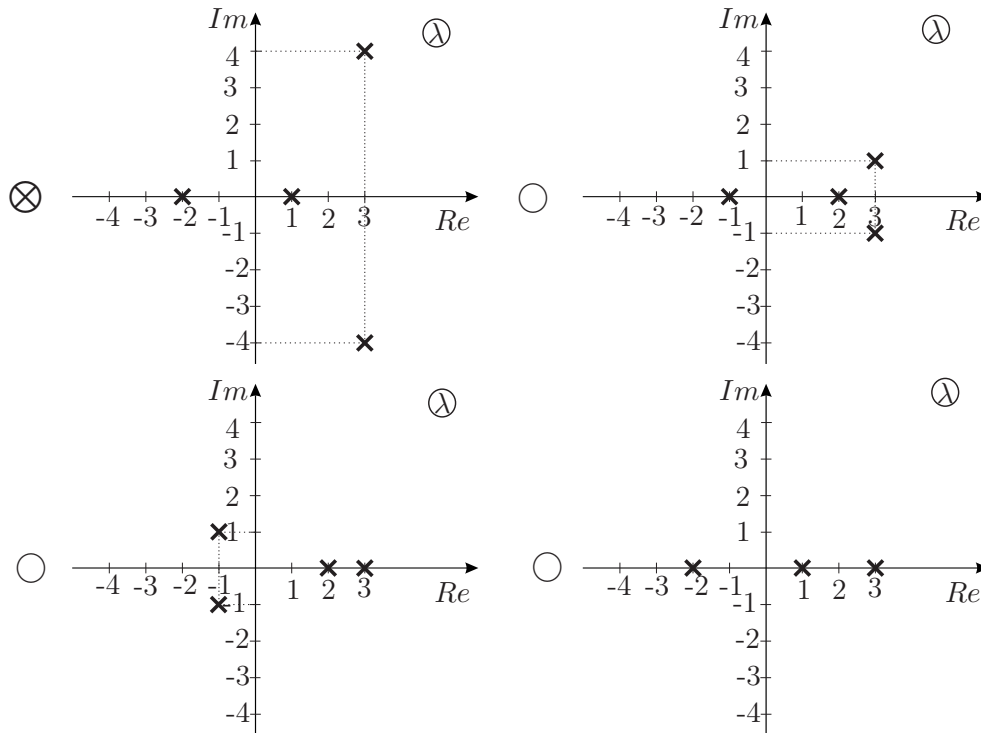


2b) (3 Punkte)

Das E/A-Übertragungsverhalten

$$\ddot{y} - 5\dot{y} + 17y + 37\dot{y} - 50y = 30u - \dot{u}$$

weist folgende Eigenwertverteilungen auf.



Klassifizieren Sie zusätzlich das E/A-Verhalten des beschriebenen Systems.

$\Rightarrow$  PDT<sub>4</sub>



2c) (2.5 Punkte)

Die Messung des Übergangsverhaltens eines Regelkreiselementes ist in nachstehender Darstellung wiedergegeben:

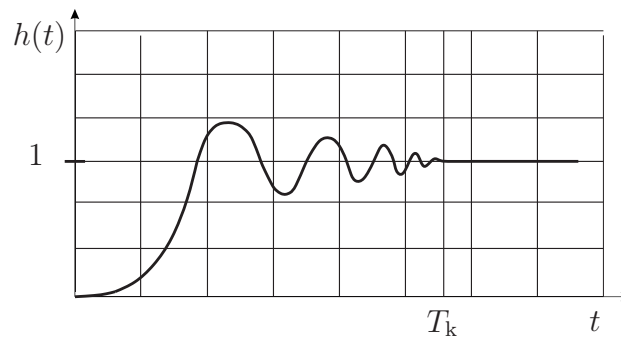


Abbildung 2.1: Übergangsverhalten

Was kann aus der Darstellung entnommen werden bzw. liegt dieser zu Grunde?

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Es handelt sich zweifelsfrei um ein nichtlineares System.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2)	Es handelt sich um ein stabiles Systemverhalten (BIBO = Bounded-Input Bounded-Output), im Fall des hier vorliegenden linearen Systems daher um ein stabiles System.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
3)	Bis zum Zeitpunkt $t = T_k$ lässt sich das Verhalten als $PT_2$ -Systemverhalten klassifizieren.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
4)	An $\frac{h(t)}{dt} _{t=0}$ aus Abb. 2.1 lässt sich zweifelsfrei erkennen, dass es sich bei dem zugrundeliegenden System um ein sprungfähiges System handelt.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
5)	Aus gemessenen Übergangsverhaltensverweisen linearer Systeme 2. Ordnung lässt sich in der Praxis die Eigenfrequenz $\omega_e$ sowie die Dämpfung $D$ bestimmen.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>



2d) (6 Punkte)

Gegeben ist das Blockschaltbild eines neuartigen Reglers bestehend aus vier Übertragungselementen mit  $y$  als Eingang und  $u$  als Ausgang (siehe Abbildung 2.2).

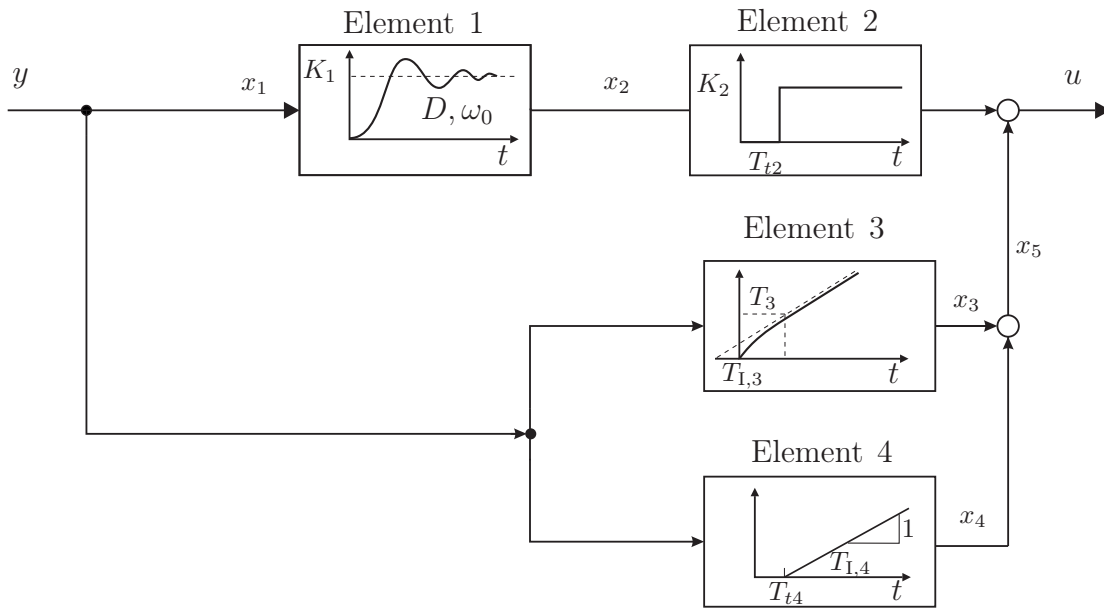


Abbildung 2.2: Blockschaltbild eines neuartigen Reglers

i) (3 Punkte)

Geben Sie für die Elemente 1 und 4 den jeweiligen Typ des Einzelübertragungsverhaltens an. Geben Sie das Gesamtübertragungsverhalten  $y \rightarrow x_5$  an. Falls eine Klassifizierung möglich ist: Um welchen Typ des  $PIDT_nT_t$ -Verhaltens handelt es sich?

**Antwort**

– Elemente 1:  $PT_2$

– Elemente 2:  $IT_t$

$$T_3 \dot{x}_5 + x_5 = \frac{T_3}{T_{I4}} y(t - T_{t4}) + \frac{1}{T_{I4}} \int y(t - T_{t4}) dt + \frac{1}{T_{I3}} \int y dt \quad (2.1)$$

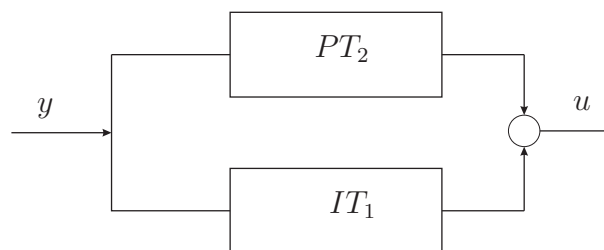
– Es ist keine Klassifizierung entsprechend der Konvention möglich.



ii) (3 Punkte)

Das in Abb. 2.2 beschriebene System weist hinsichtlich seines Streckenverhaltens  $y \rightarrow u$  ein spezifisches Verhalten auf. Klassifizieren Sie grob dieses Verhalten (hierbei werden  $T_{t2,4} = 0$  angenommen) und geben Sie eine Empfehlung zur Wahl des Reglerverhaltens (hinsichtlich der Reglerstruktur) hinsichtlich stationär genauen Regelverhaltens ab.

### Antwort



- PIDT<sub>n</sub>
- P order PD



2e) (4 Punkte)

Gegeben sei die experimentell bestimmte E/A-Kennlinie einer Feder nach Abb. 2.3.

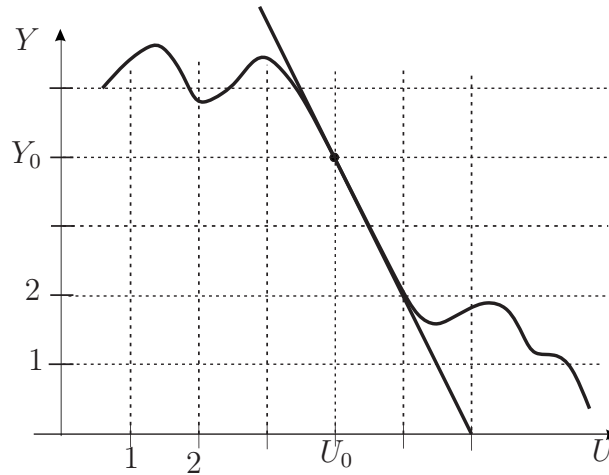


Abbildung 2.3: Kennlinie

Bestimmen Sie das linearisierte E/A-Verhalten im Arbeitspunkt  $(U_0, Y_0)$  als  $\tilde{y} = k\tilde{u}$  in den linearisierten Koordinaten des Arbeitspunktes. Bitte beachten Sie die Achsenskalierung. Geben Sie das Verhalten des Systems als DGL mit geeigneten Koeffizienten an.

**Antwort**

$$\tilde{y} = -2\tilde{u} \quad (2.2)$$





2f) (9 Punkte)

Gegeben ist das Blockschaltbild eines Systems von Übertragungselementen (siehe Abb. 2.4).

Beantworten Sie die folgenden Fragen bezogen auf das genannte System:

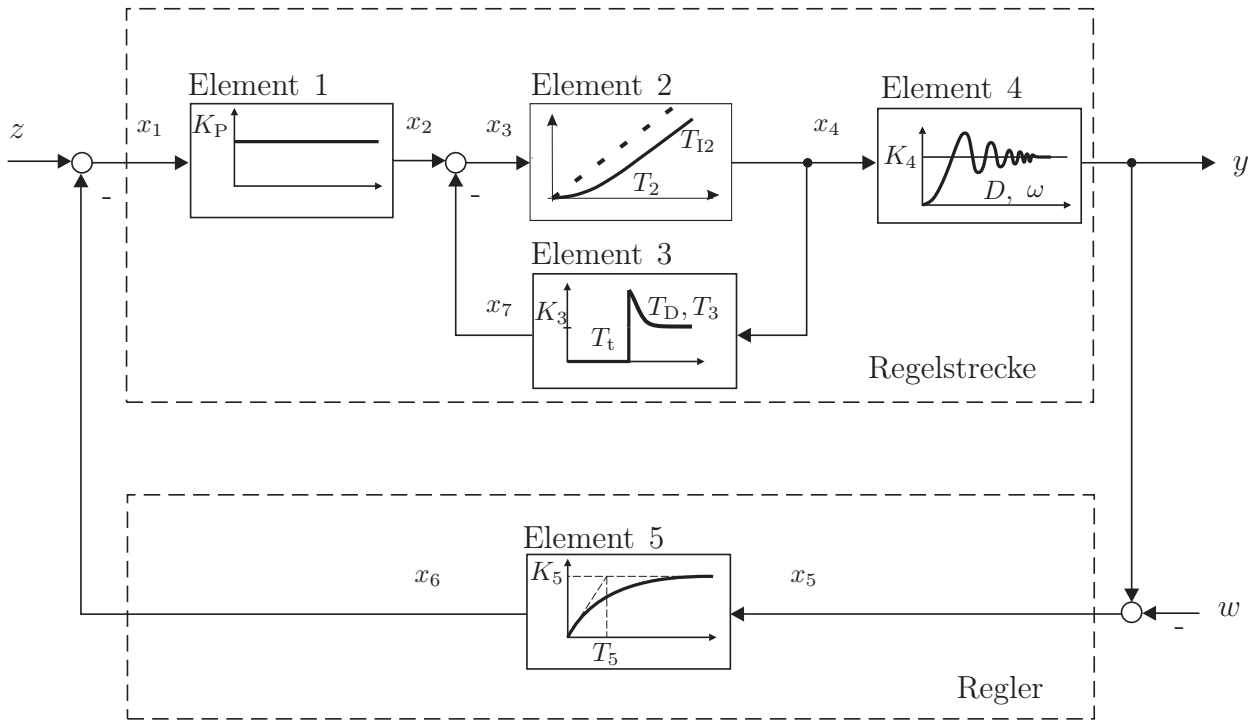


Abbildung 2.4: Blockschaltbild

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Beim Element 5 handelt es sich um ein System mit proportionalem Verhalten.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2)	Beim Element 3 handelt es sich um ein PDT <sub>1</sub> T <sub>t</sub> -System.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
3)	Das Systemverhalten von x <sub>2</sub> zu x <sub>4</sub> enthält keine Totzeit.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
4)	Das Systemverhalten von x <sub>2</sub> zu x <sub>4</sub> lässt sich durch $\frac{T_3 T_2 T_{I2}}{K_3} \ddot{x}_4 + \frac{T_3 T_{I2} + T_{I2}}{K_3} \ddot{x}_4 + \frac{T_{I2}}{K_3} \dot{x}_4 + T_D \dot{x}_4 (t - T_t) + x_4 (t - T_t) = T_3 \dot{x}_2 + x_2 \cdot$	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
5)	Element Nr. 2 ist grenzstabil.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
6)	Abhängig von den Parametern (K <sub>5</sub> , T <sub>5</sub> ) kann das Element 5 ein instabiles Verhalten aufweisen.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
7)	Angenommen, das Systemverhalten x <sub>1</sub> → y lässt sich durch ein proportionales Verhalten beschreiben: Die gegebene Wahl des Elementes 5 ist geeignet zur stationär genauen Regelung des Systems, sofern ein Element x <sub>5aus</sub> = $\frac{1}{T_{I5}} \int x_{5ein} dt$ vorgeschaltet wird.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
8)	Das Element 4 weist auf Grund der veränderlichen Frequenz bei kleinen Amplituden ein nicht der linearen Theorie entsprechendes Verhalten auf.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
9)	Für die Einstellung des Reglers (Element 5) lässt sich die Vorgehensweise nach Ziegler-Nichols anwenden.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Antwort**

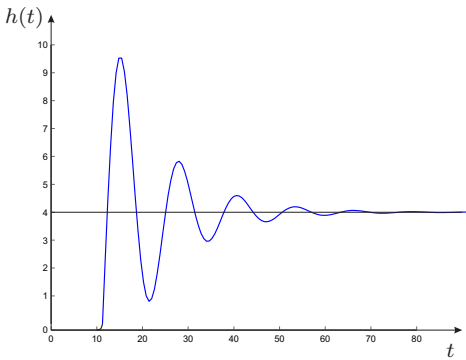
2f)4.

$$\frac{T_2 T_3 T_{I2} \dots}{K_3} \ddot{x}_4 + \frac{T_2 T_{I2} + T_3 T_{I2}}{K_3} \ddot{x}_4 + \frac{T_{I2}}{K_3} \dot{x}_4 + T_D \dot{x}_4(t - T_t) + x_4(t - T_t) = \frac{T_3}{K_3} \dot{x}_2 + \frac{1}{K_3} x_2 \quad (2.3)$$



2g) (1 Punkte)

Ist die Aussage wahr oder falsch? (Alle zugrundeliegenden Zusammenhänge werden im Rahmen der Veranstaltung Systemdynamik vermittelt).

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	<p>Ein System mit dem Übergangsverhalten</p>  <p>lässt sich durch</p> $4\ddot{y} + 0.7\dot{y} + y = 4u + 15\dot{u}$ <p>beschreiben.</p>	○	⊗

