UNIVERSITÄT DUISBURG-ESSEN
Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abt. Maschinenbau und Verfahrenstechnik
Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik
Regelungstechnik 19. Juli 2013

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	
Aufgabe 3	
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:

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
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:	**80**
Mindestprozentzahl für die Note 1,0:	**95%**
Mindestprozentzahl für die Note 4,0:	**50%**

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 anfallen positiven wie negativen Punkte werden aufsummiert. Eine negative Gesamtpunktzahl gibt es nicht.

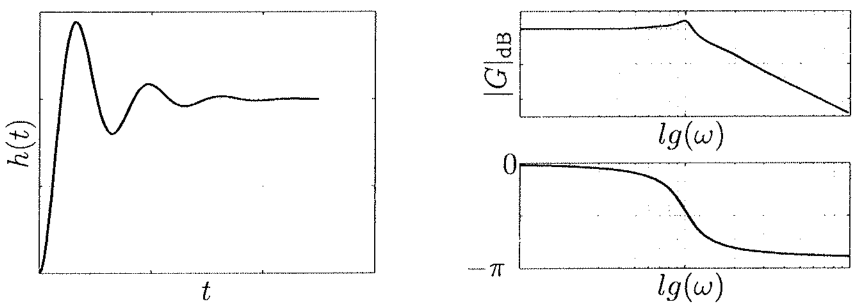
2) Sollten im Einzelfall keine zulässigen Zahlenbereiche für Zeitkonstanten, Massen etc. angegeben sein, gehen Sie immer von positiven Zahlenwerten für die Zeit und für Massen aus.

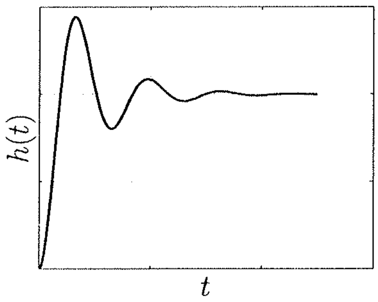
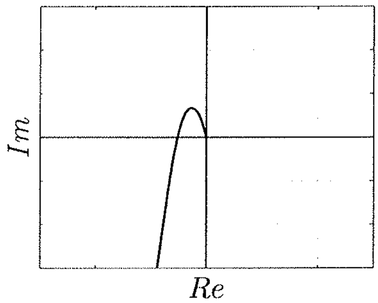
3) Sollte im Einzelfall keine Angabe zu positiver oder negativer Rückführung angegeben sein, gehen Sie immer von der üblichen negativen Rückführung aus.

Aufgabe 1 (32 Punkte)

1a) (3 × 5 Punkte, 15 Punkte)
Bestimmen Sie die Unterschiede zwischen Zeit- und Frequenzbereich an Hand der nachstehenden Beschreibungen/Behauptungen. Welche der folgenden Aussagen sind wahr und welche sind falsch? (Alle zugrundeliegenden Zusammenhänge werden im Rahmen der Veranstaltung Regelungstechnik vermittelt.)

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
a.1)	Zeitvariante Signale lassen sich unter Zuhilfenahme der Laplacetransformierten im Frequenzbereich in gleicher Qualität wie im Zeitbereich beschreiben.	⊗	○
a.2)	Das Signal $u(t) = 1(t) + \delta(t-5)$ lässt sich im Frequenzbereich durch $u(s) = \frac{1}{s} + e^{-5s}$ abbilden.	⊗	○
a.3)	Übergangsfunktionen sind Beschreibungsmittel aus dem Frequenzbereich.	○	⊗
a.4)	Das Signal $y(s) = G(s)\,u(s)$ mit $G(s) = \frac{2}{s}$ und $u(s) = \frac{1}{s}$ beschreibt mit $y(s) = \frac{2}{s^2}$ das Übergangsverhalten eines I-Systems.	⊗	○
a.5)	Das Bodediagramm beschreibt in Diagrammform den Lauf der Bode. Es wird zwischen dem großen und dem kleinen Bodediagramm unterschieden.	○	⊗

b.1)	Folgende Darstellungen beschreiben ein prinzipiell identisches Systemverhalten: 	⊗	○

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
b.2)	Folgende Darstellungen beschreiben ein prinzipiell identisches Systemverhalten:  	○	⊗
b.3)	Die Ortskurve beschreibt in einer zum Frequenzkennliniendiagramm ähnlichen Weise das frequenzabhängige Verstärkungs- und Phasenverhalten.	⊗	○
b.4)	Mit Hilfe des Anfangs- und Endwertsatzes der Laplacetransformation lassen sich die Grenzwerte des zugehörigen Zeitverhaltens aus laplacetransformierten Funktionen bestimmen.	⊗	○
b.5)	Die Laplacetransformierten für $y(s)$ für die beiden Fälle $y_1(t=0)=0$ und $y_2(t=0)=1$ sind für $u(t)=\left[\frac{1}{4}\,t\,sin(2t)+sin(4t)-4\,t\,cos(8t)\right]\cdot 1(t)$ und $G(s)=\frac{1}{s+1}$ identisch.	○	⊗

c.1)	An Hand der Pollage lässt sich die E/A-Stabilität eines linearen, zeitinvarianten SISO-Systems bewerten.	⊗	○
c.2)	Ein stabiles proportionales System wird mit einem Eingangssignal $u(t)=2e^{3t}$ beaufschlagt. Der Ausgang $y(t)$ des Systems ist beschränkt (bounded).	○	⊗
c.3)	Das E/A-Verhalten eines PI-Reglers wird im Frequenzbereich durch die Gleichung $y=K(u+\tilde{T}_I\int u\,dt)$ beschrieben.	○	⊗
c.4)	Der Zusammenhang zwischen Zeit- und Frequenzbereich ist durch $G(s)=\mathcal{L}\{g(s)\}$ gegeben.	○	⊗
c.5)	Die Stabilitätsbetrachtung linearer Systeme ist zwischen Zeit- und Frequenzbereich unterschiedlich, da auf Grund des instationären Charakters instabiler Systeme diese nur im Zeitbereich behandelt werden können.	○	⊗

1b) (7 Punkte)
Der nachstehende approximierte Verlauf einer Ortskurve ist zu analysieren.

- Klassifizieren Sie das Systemverhalten, soweit dieses möglich ist.
- Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf des Bodediagramms für den Bereich von $\omega = 0$ bis $\omega = \infty$.
- Handelt es sich bei dem gezeigten System um ein Minimalphasensystem (Ja, Nein und Warum)?
- Handelt es sich bei dem gezeigten System um ein stabiles System (Ja, Nein und Warum)?

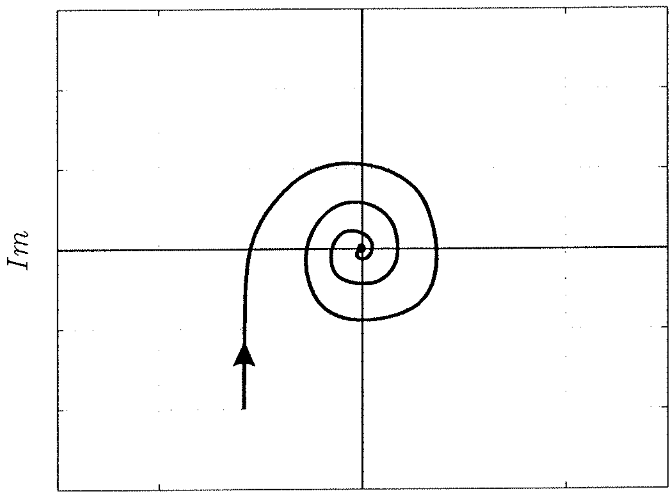
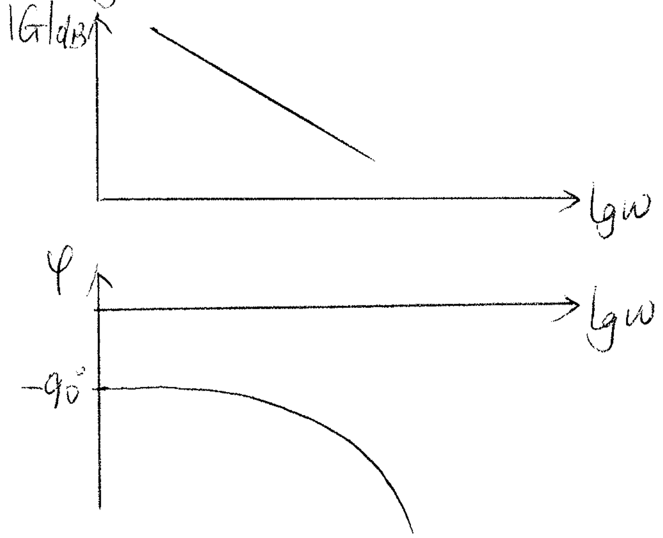


Abbildung 1.1: Ortskurve des Systems

– IT_t-System oder IT_nT_t-System

- Bode-Diagramm



- Nein, das System ist kein Minimalphasensystem, da ein Totzeit-ÜTE vorhanden ist.

- Ja, das System ist grenzstabil, da das System einen Pol im Ursprung und keine Nullstelle (nur fallende Amplitude) sowie keinen instabilen Pol (monoton fallende Phasenverschiebung) hat.

1c) (10 Punkte)
Die Übertragungsfunktion einer Regelstrecke lautet

$$G_S(s) = \frac{1}{(1+T_1 s)(1+T_2 s)}\,.$$

Zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens ist ein PI-Regler in Gegenkopplung mit

$$G_R(s) = K(1+\frac{1}{T_I s})$$

vorgesehen.

- Wie lautet die Übertragungsfunktion des offenen Kreises und welche Pol- und Nullstellen weist sie auf?
- Wie lautet der Amplitudenfrequenzgang $|G_o(j\omega)|$?
- Wie lautet der Phasenfrequenzgang $\varphi_o(\omega)$?
- Welche Bedingung muss die Nachstellzeit T_I erfüllen, damit der geschlossene Regelkreis asy. stabil ist?
- Für $K = 1$, $T_1 = T_2 = T$ und $T_I = \frac{T}{\sqrt{3}}$ ergibt sich die Amplitudendurchtrittsfrequenz $\omega_s = \frac{1}{T}$. Berechnen Sie den Phasenrand ϕ_R. (Hinweis: in der Form ϕ_R=arctan(Wert).)

– ÜTF des offenen Kreises

$$G_o(s) = G_S(s)\, G_R(s)$$

$$= \frac{K(T_I s + 1)}{T_I s(T_1 s+1)(T_2 s+1)}$$

Nullstelle: $s_0 = -\frac{1}{T_I}$

Pole: $s_1 = 0$

$s_2 = -\frac{1}{T_1}$

$s_3 = \frac{-1}{T_2}$

– Amplitudenfrequenzgang

$$|G_0(j\omega)| = \left| \frac{K(T_I\omega j+1)}{T_I\omega j(1+T_1\omega j)(1+T_2\omega j)} \right|$$

$$= \frac{K\sqrt{T_I^2\omega^2+1}}{T_I\omega\sqrt{T_1^2\omega^2+1}\sqrt{T_2^2\omega^2+1}}$$

– Phasenfrequenzgang

$$\varphi_0(j\omega) = \arg\left(\frac{K(T_I\omega j+1)}{T_I\omega j(1+T_1\omega j)(1+T_2\omega j)} \right)$$

$$= \arctan(T_I\omega) - \frac{\pi}{2} - \arctan(T_1\omega) - \arctan(T_2\omega)$$

– Stabilitätprüfen:

mit Hurwitz

Charakteristisches Polynom: $T_1T_2T_I s^3 + (T_1+T_2)T_I s^2 + (T_I + KT_I)s + K$

Alle Koeffizienten $a_i > 0$: $T_1T_2T_I > 0$ $(T_1+T_2)T_I > 0$ $T_I + KT_I > 0$ $K > 0$

$$H = \begin{bmatrix} (T_1+T_2)T_I & K & 0 \\ T_IT_1T_2 & T_I + kT_I & 0 \\ 0 & (T_1+T_2)T_I & K \end{bmatrix}$$

$\Rightarrow K>0,\ T_I>0,\ T_1>0\ T_2>0$

$H_1 = (T_1+T_2)T_I > 0$ ✓

$H_2 = (T_1+T_2)T_I(T_I+KT_I) - K(T_IT_1T_2) > 0 \Rightarrow T_I > \dfrac{KT_1T_2}{(T_1+T_2)(1+K)}$

$H_3 = k\cdot H_2 > 0$ ✓

$\Rightarrow$ Für $T_I > \dfrac{KT_1T_2}{(T_1+T_2)(1+K)} > 0$ ist der geschlossene Regelkreis asy. stabil.

- Phasenrand

$$\phi_R = 180^\circ - |\arg(G(j\omega_s))|$$

$$= 180^\circ - \left|\arctan(T_I\,\omega_s) - \frac{\pi}{2} - \arctan(T_1\,\omega_s) - \arctan(T_2\,\omega_s)\right|$$

$$= 180^\circ - \left|\arctan\frac{1}{\sqrt{3}} - 180^\circ\right|$$

$$= \arctan\frac{1}{\sqrt{3}}$$

$\square$

$\sum \square$

Aufgabe 2 (33 Punkte)

2a) (3 Punkte)
Beurteilen Sie die Aussagen in der nachstehenden Tabelle.

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Totzeitelemente beeinflussen die Phase durch einen zusätzlichen Phasenverzug von $\Delta\varphi_{\text{tot}} = -\omega T_t$, mit T_t als Totzeit.	☒	○
2)	Ein System wird durch $$G(s) = \frac{1}{(s-3)(s+4)(s-5)s}$$ beschrieben. Das E/A-Verhalten des Systems ist ein Minimalphasensystem.	○	☒
3)	Ein System mit integralem Verhalten soll für sprungförmige Führungsgrößen verwendet werden. Für dieses Ziel kann beispielsweise problemlos ein PT_1-Regler für die Rückführung verwendet werden, eine Destabilisierung des Gesamtregelkreises ist ausgeschlossen.	☒	○

1) ✓

2) $s_1 = 3 \quad s_3 = 5 \Rightarrow$ kein Minimalphasensystem.

3) ✓

☐

2b) (5 Punkte)
Gegeben sei der typische Frequenzgang (durchgezogene Linien: reale Messung schwarz, approximierter Verlauf grau) einer Lautsprecherbox.

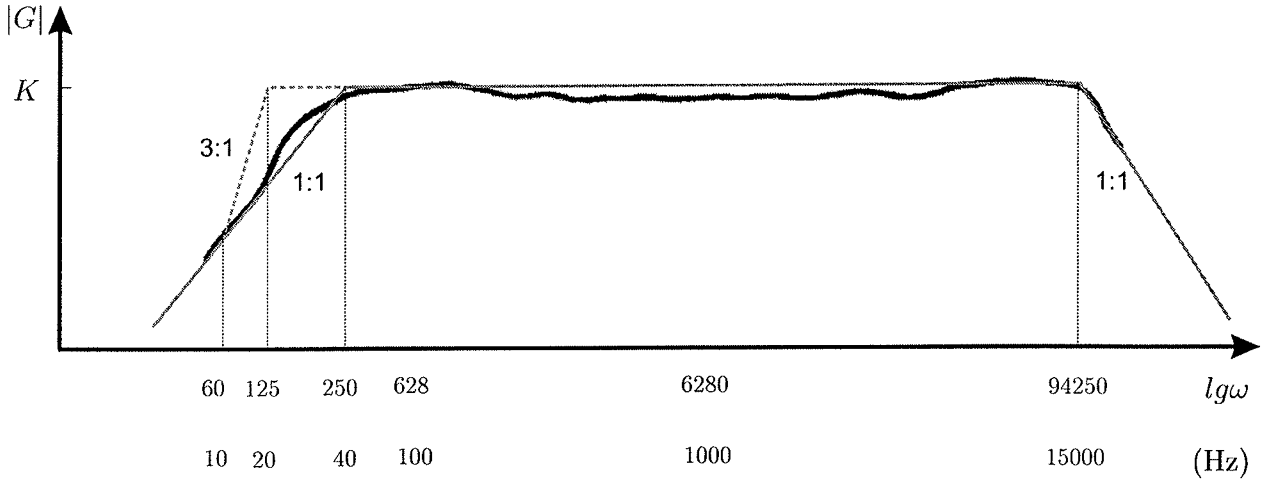


Abbildung 2.1: Typischer Frequenzgang einer Lautsprecherbox

- Ist das System stabil? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Bestimmen Sie das Übertragungsverhalten der Lautsprecherbox im Frequenzbereich (mit Pol-/Nullstellenlagen).
- Ein Bassliebhaber möchte das Verhalten der Spitzenbox im Tieffrequenzbereich verbessern. Das Ziel ist den Frequenzgang zu ändern, wie durch die graue Strichlinie dargestellt. Schlagen Sie den Entwurf eines dafür geeigneten Vorfilters mit minimaler Phasenveränderung vor.

- stabil, da der Frequenzgang gemessen wurde.

- $$G(s) = \frac{K_s s}{(s+s_1)(s+s_2)}$$

$$= \frac{K s}{(s+250)(s+94250)}$$

Nullstelle: $s_0 = 0$

Pole: $s_1 = -250$, $s_2 = -94250$

- Vorfilter:

$$G_F(s) = \frac{K_F\,(s+60)^2(s+250)}{(s+125)^3}$$

2c) (19 Punkte)
Die Dynamik eines technischen Systems wird durch nachstehendes Bodediagramm approximativ beschrieben (vgl. Abb. 2.2).

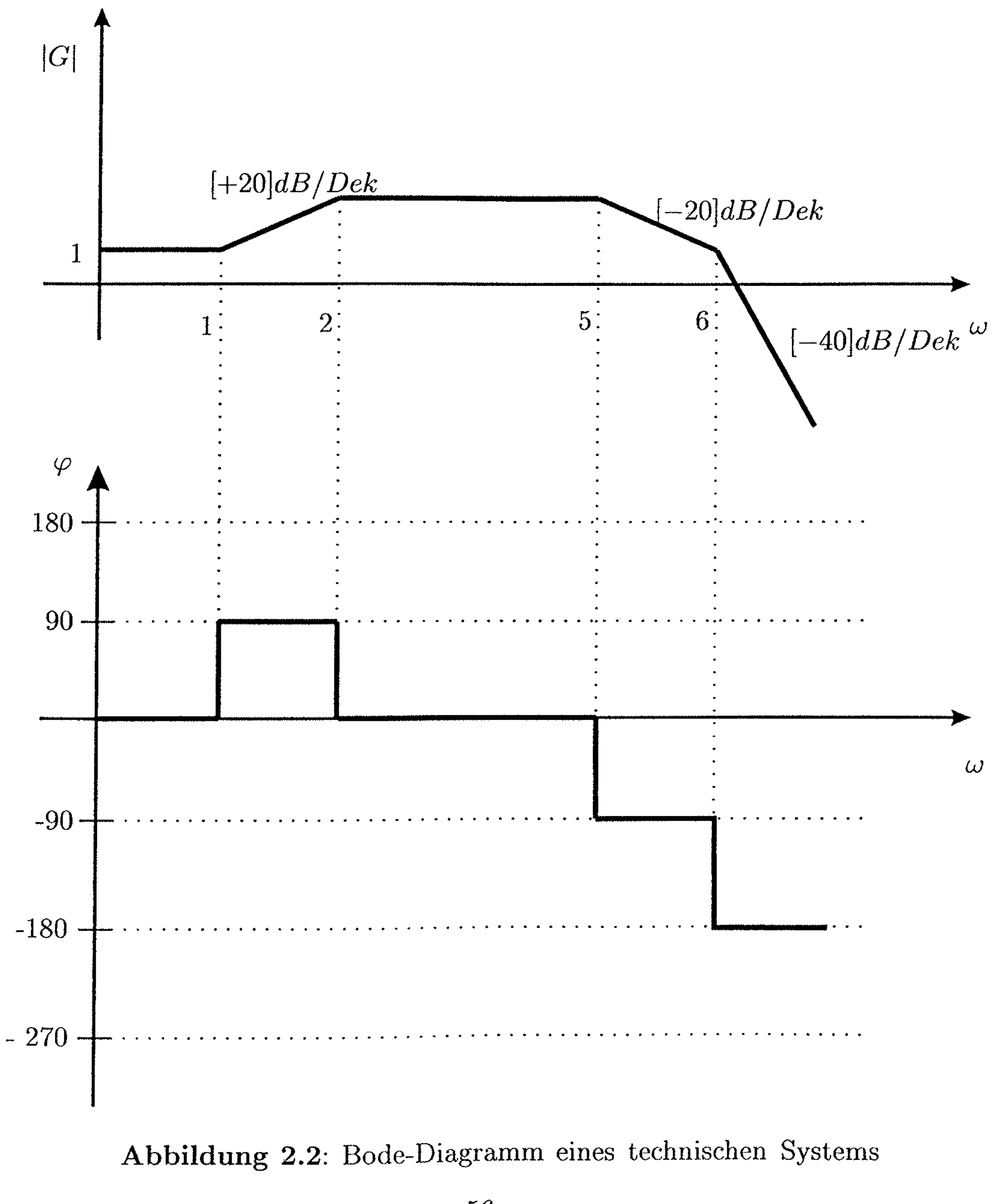


Abbildung 2.2: Bode-Diagramm eines technischen Systems

Das System wird mit einem Filter $G_{\mathrm{R}}(s) = \dfrac{\frac{56}{3}(s-3)}{(s+4)(s+7)}$ in Rückkopplung geregelt.

- Berechnen Sie die Pole und Nullstellen des offenen Regelkreises.
- Zeichnen Sie approximativ das Bodediagramm des offenen Regelkreises. Geben Sie hierzu alle Kennwerte (Pol-/Nullstellenlagen) an.
- Zeichnen Sie qualitativ den Phasenrand ϕ_R des geschlossenen Regelkreises ein.

- Ist bzgl. der Amplituden- und Phasenreserve stabiles oder instabiles Verhalten zu erwarten? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Angenommen die Nullstelle des Filters wurde mit einem negativen Realteil realisiert. Welches Verhalten des geschlossenen Regelkreises erwarten Sie hinsichtlich der Stabilität? Begründen Sie Ihre Antwort mit Hilfe einer WOK-Skizze.
- Ein Bekannter empfiehlt als Regler $G_{R2}(s) = \frac{1}{T_1 s^2}$. Prüfen und begründen Sie unter Nutzung einer WOK-Skizze die Sinnhaftigkeit des Vorschlages im Vergleich zur vorherigen Lösung.

—

ÜTF des offenen Kreises

$$G_0(s) = G_S(s)\,G_R(s) = \frac{2\,(s+1)\left(\frac{1}{3}s-1\right)}{\left(\frac{1}{2}s+1\right)\left(\frac{1}{4}s+1\right)\left(\frac{1}{5}s+1\right)\left(\frac{1}{6}s+1\right)\left(\frac{1}{7}s+1\right)}$$

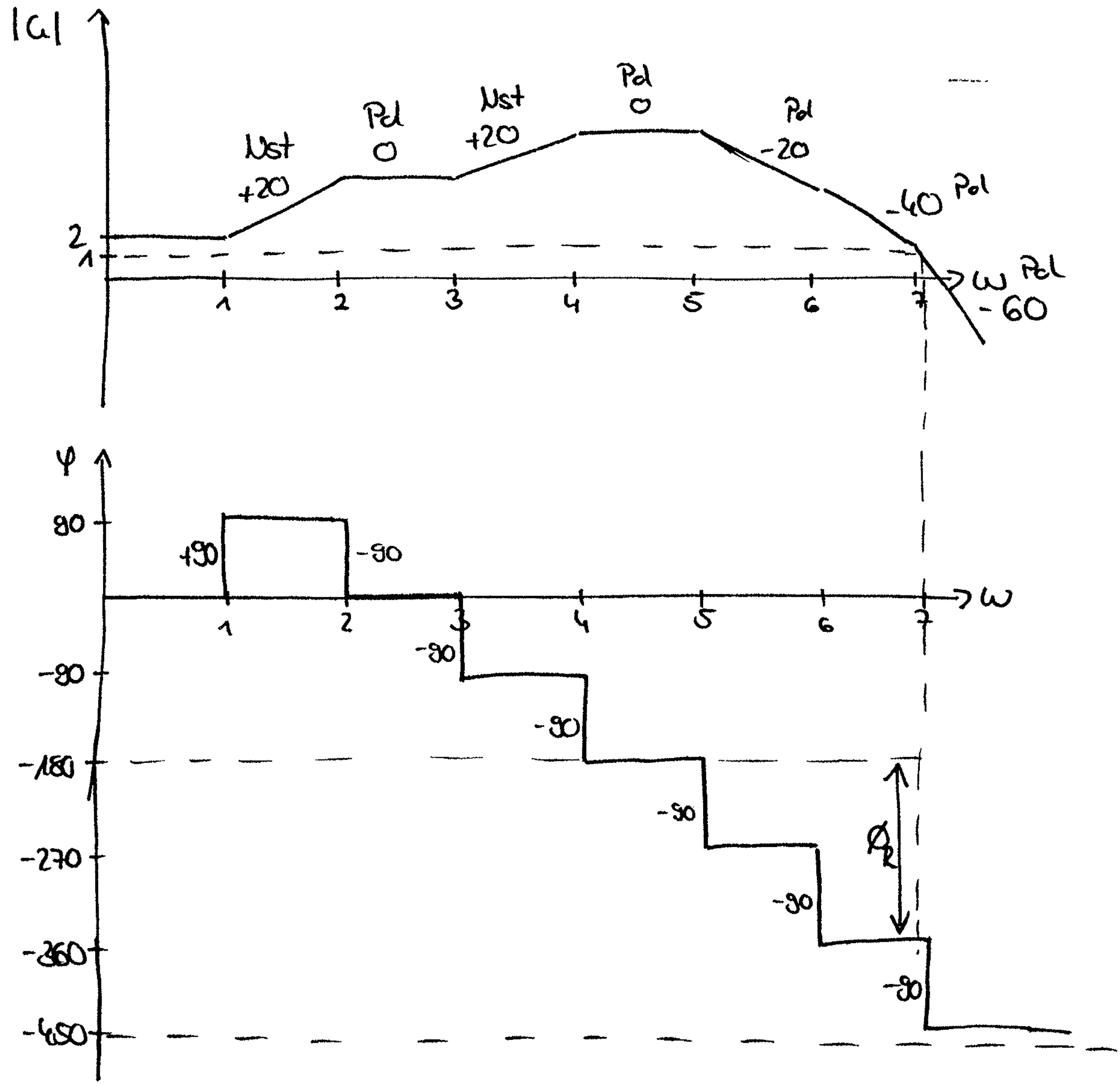
Nullstellen: $s_{01} = -1$, $s_{02} = +3$

Pole: $s_1 = -2$, $s_2 = -4$

$s_3 = -5$, $s_4 = -6$

$s_5 = -7$

Bode-Diagramm



instabiles Verhalten:

für stabiles Verhalten müsste gelten:

$|G(j\omega_c)| < 1$ → hier $|G(j\omega_c)| > 1$

instabil

$\phi_R > 0°$

$\phi_R = 180° - |\varphi(\omega_s)| = 180° - 360° \approx -180° < 0°$

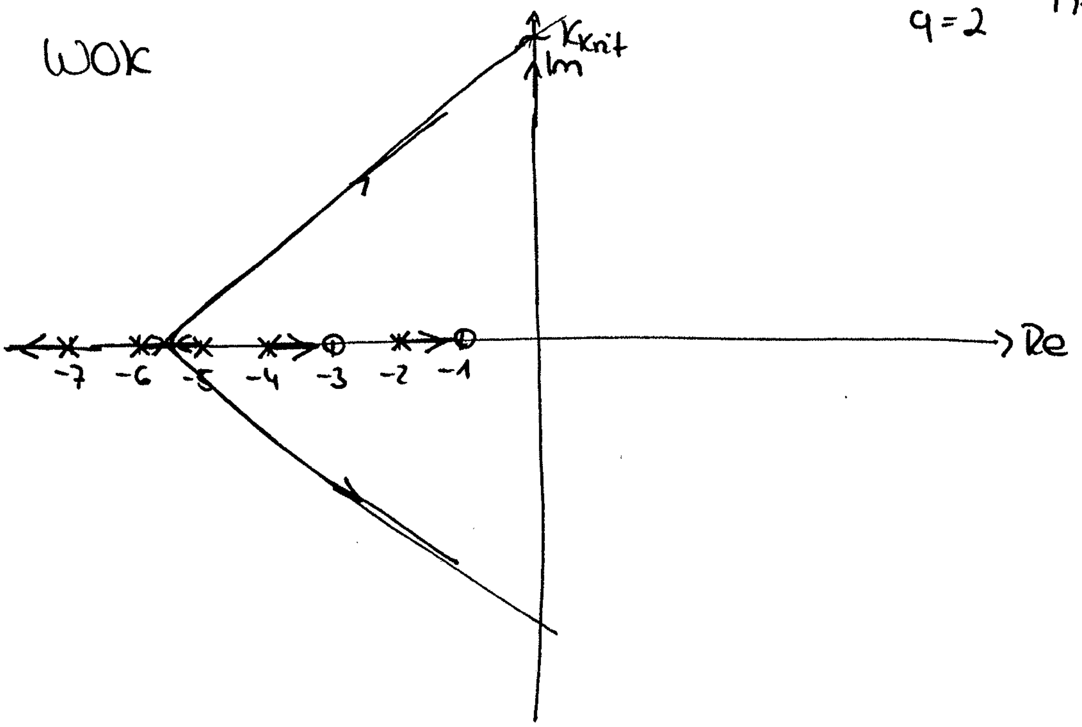
instabil

jetzt:

$s_{02} = -3$

$n=5$
$q=2$ $\quad n-q=3$

WOK



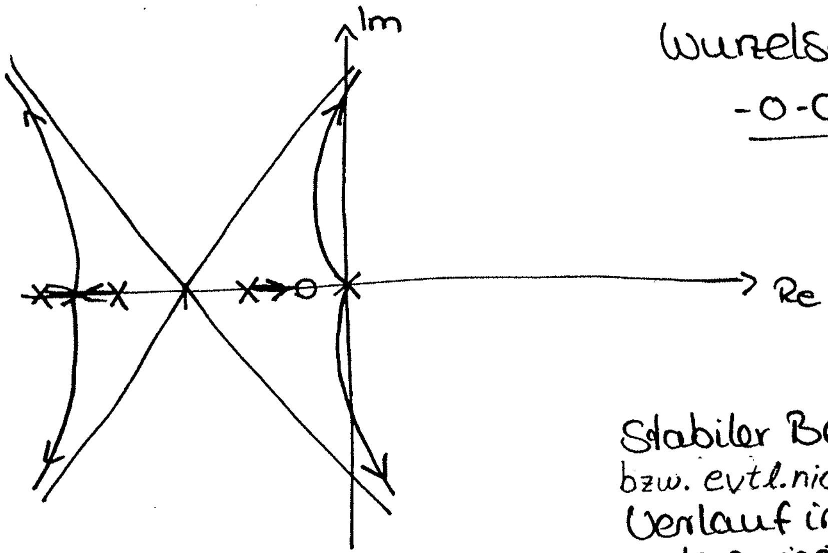
für $K < K_{krit}$ ist das Verhalten des geschlossenen Regelkreises stabil. Es ergibt sich ein Bereich stabilen Verhaltens für $0 < K < K_{krit}$.

jetzt:

$$G_{R2}(s) = \frac{1}{T_1 s^2}$$

$$G_0(s) = \frac{(s+1)}{T_1 s^2 (\frac{1}{2}s+1)(\frac{1}{5}s+1)(\frac{1}{6}s+1)}$$

$n=5$
$q=1$ $\quad n-q=4$



Wurzelschwerpunkt:

$$\frac{-0-0-2-5-6+1}{4} = -3$$

Stabiler Bereich deutlich kleiner, bzw. evtl. nicht vorhanden als beim ersten Regler.
Verlauf im stabilen Bereich näher an Imaginärer Achse → weniger robust
↳ $G_{R2}(s)$ somit nicht sinnvoll als alternativer Regler

2d) (6 Punkte)
Ein System mit der Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{K}{s^2 + \tilde{D}s + 1}$$

soll durch einen I-Regler mit der Zeitkonstante T_I in Gegenkopplung geregelt werden. Bewerten Sie die Aussagen in der folgenden Tabelle.

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Das geregelte System weist eine stationäre Genauigkeitsabweichung für das Führungsverhalten von $e(t \to \infty) = \frac{K}{1+K}$ auf.	○	⊗
2)	Der Regler führt zu einem stationären Verhalten ohne Genauigkeitsabweichung und perfektem Ausgleich von Störungen.	⊗	○
3)	Mit dem Einstellparameter $\tilde{D}$ der Strecke lässt sich das Schwingungsverhalten des offenen Regelkreises beeinflussen.	⊗	○
4)	Mit dem Reglerparameter T_I lässt sich das Schwingungsverhalten des offenen Regelkreises beeinflussen.	○	⊗
5)	Eine zusätzliche Nullstelle hat einen großen Einfluss auf das Dämpfungsverhalten des geschlossenen Kreises.	○	⊗
6)	Eine weitere zusätzliche Nullstelle bewirkt eine weitere Verbesserung des Dämpfungsverhaltens des geschlossenen Regelkreises.	⊗	○

1) $G_o(s) = G_R G_S = \frac{K}{s^2+\underline{\tilde{D}}s+1} \cdot \frac{1}{\underline{T_I} s}$ 3) =   4) ≈

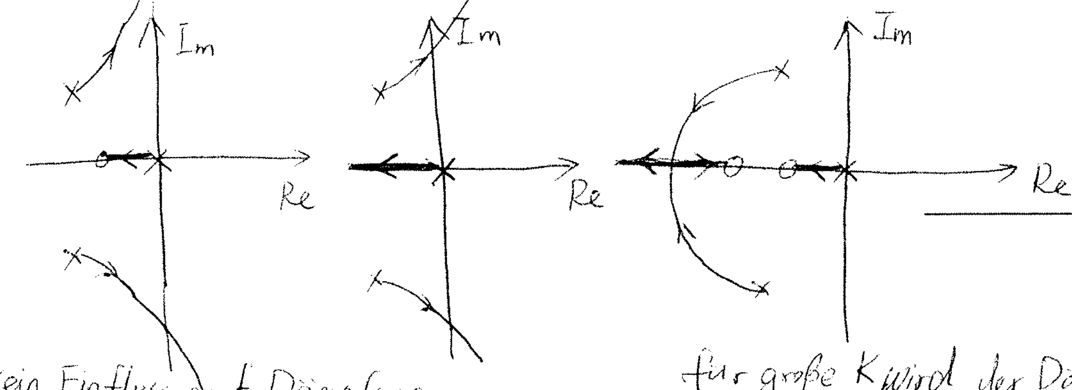
$G_w(s) = \frac{G_o}{1+G_o} = \frac{K}{T_I s(s^2+\tilde{D}s+1)+K}$

wenn $\frac{1}{s} = w(s)$

$e(t\to\infty) = \lim_{s\to 0} s e(s) = \lim_{s\to 0} s[G_w(s)-1]\,w(s) = \frac{K}{K} - 1 = 0 \neq \frac{K}{1+K}$

2) $e(t\to\infty) = 0$, ja.

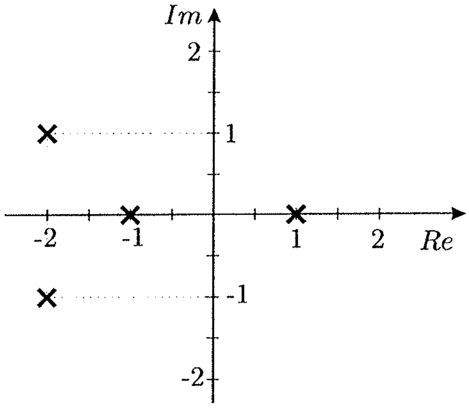
5) mit einer NST   ohne NST   mit zwei NST



kein Einfluss auf Dämpfung.

für große K wird der Dämpfungsgrad >1
⇒ Ja Verbesserung des Dämpfungsverhalten.

Aufgabe 3 (15 Punkte)
Gegeben sei folgende Pol-/Nullstellenverteilung eines zu regelnden Systems:



Das System wird zunächst mit einem PDT_1-Regler geregelt.

3a) (5 Punkte)

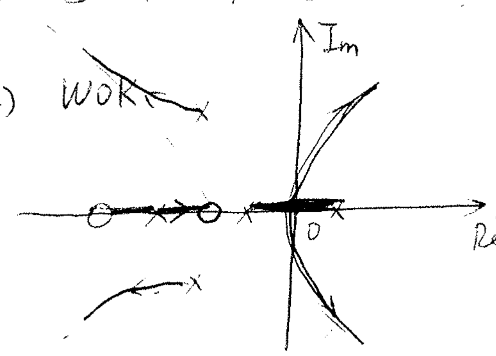
Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Das ungeregelte System ist instabil.	⊗	○
2)	Das geregelte System ist für große Reglerverstärkungen instabil.	⊗	○
3)	Der PDT_1-Regler kann das System für beliebige Verstärkungen stabilisieren.	○	⊗
4)	Das Filter $G_F(s) = \dfrac{(s+3)(s+4)}{(s+7)}$ als Regler stabilisiert für einen gewissen Parameterbereich das System.	⊗	○
5)	Prinzipiell könnte auch bereits ein Regler der Art $G_R = (s-T)$ mit $T > 0$ das System stabilisieren.	○	⊗

1) $S = +1 \Rightarrow$ instabil

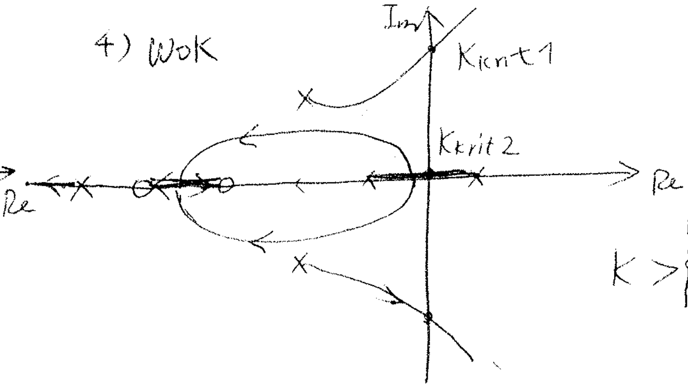
3) für K große nicht

2) WOK

PDT1: $\dfrac{K(1+T_D s)}{T_1 s+1}$

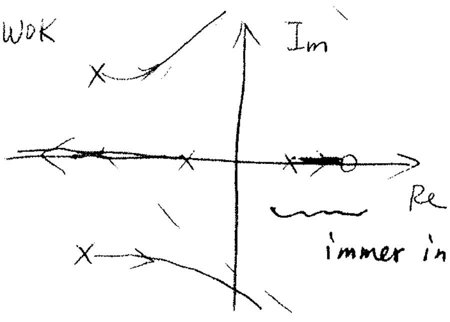


4) WoK



$K > \max\{K_{krit1}, K_{krit2}\}$

5) WOK

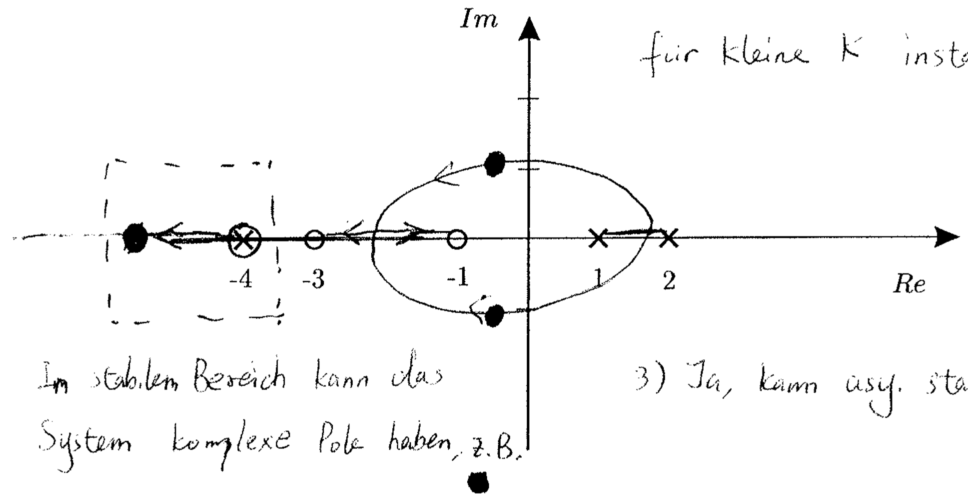


immer instabil

3b) (5 Punkte)

Das System wird durch einen Regler so geregelt, dass sich die folgende Pol-/Nullstellenverteilung des offenen Regelkreises ergibt:

1)



für kleine K instabil

2) Im stabilen Bereich kann das System komplexe Pole haben, z.B.

3) Ja, kann asy. stabil, z.B.

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Das geregelte System ist für kleine Verstärkungen $\tilde{K}$ asymptotisch stabil.	○	⊗
2)	Das geregelte System weist im Bereich stabilen Verhaltens abhängig von der Verstärkung $\tilde{K}$ keine konjugiert komplexen Pole auf.	○	⊗
3)	Das geregelte System kann asymptotisch stabil sein.	⊗	○
4)	Das geregelte System ist ein Minimalphasensystem.	○	⊗
5)	Eine zusätzliche Nullstelle bei s_n = - 4 verändert grundsätzlich das Gesamtsystemverhalten.	○	⊗

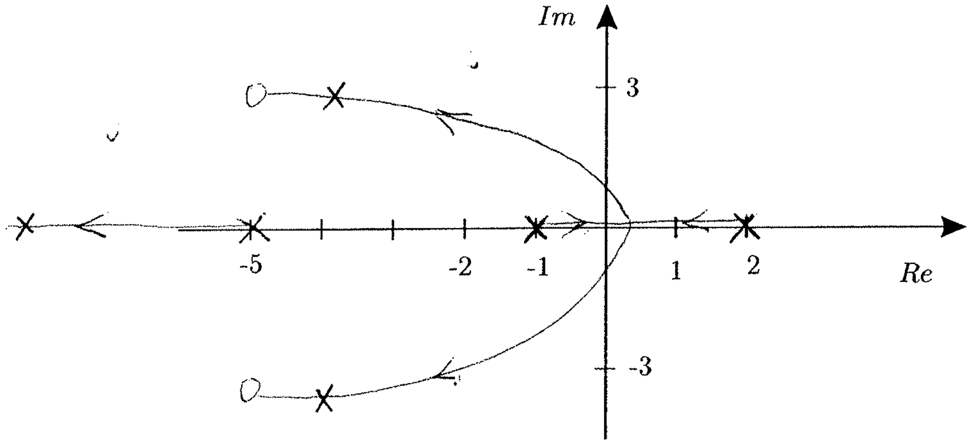
4) für kleine K, ist das System instabil und kein Minimalphasensystem.

5) Nein, weil nur die Äste im ändert sich und das Verhalten vom System bleibt.

3c) (5 Punkte)

Das System wird durch einen Regler so geregelt, dass sich für den offenen Regelkreis $G_0(s)$

$$G_0 = \frac{(s+5+3j)(s+5-3j)}{(s+1)(s-2)(s+5)} \text{ ergibt.}$$



Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Der offene Regelkreis ist instabil.	⊗	○
2)	Für große $\tilde{K}$ zeigt das geregelte System einen Dämpfungsgrad $D < 1$.	⊗	○
3)	Für große $\tilde{K}$ wird das geregelte System instabil.	○	⊗
4)	Für große $\tilde{K}$ sind alle Pole konj. komplex.	○	⊗
5)	Prinzipiell gilt für den gesammten Bereich von $\tilde{K}$: Je größer $\tilde{K}$ desto größer der Dämpfungsgrad.	○	⊗

1) Ja, weil $S_2 = +2$.

2) für große $\tilde{K}$ $\Rightarrow$ X $D<1$

3) " $\Rightarrow$ stabil

4) " $\Rightarrow$ ein Pol ist auf realer Achse.

5) " $\Rightarrow$ je größe $\tilde{K}$, desto kleine D.

$\sum$ ☐