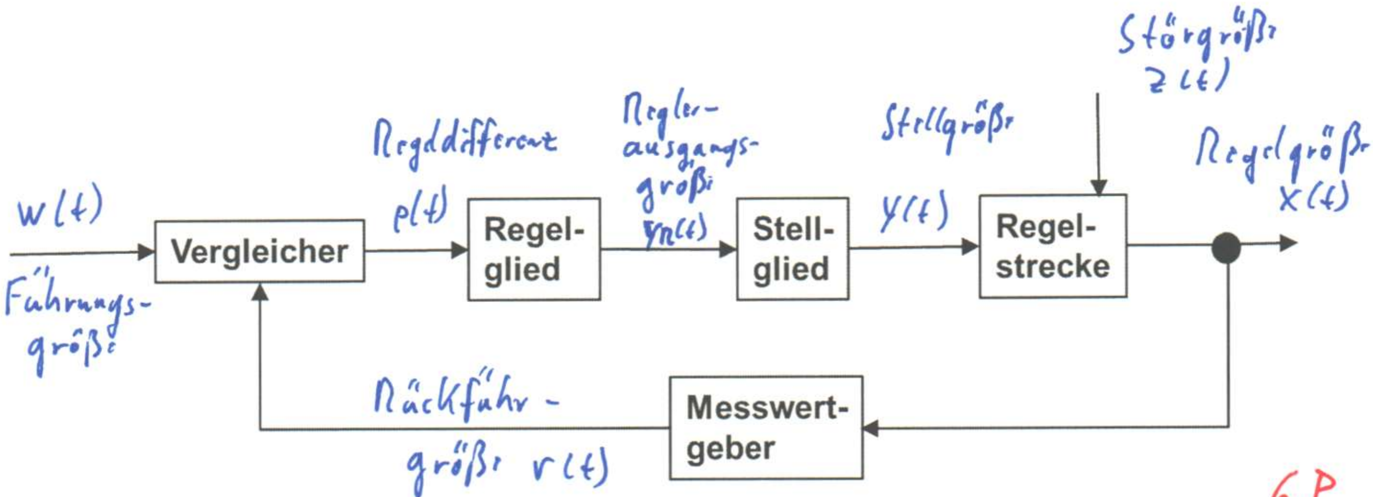
Fakultät Fahrzeugtechnik Prof. Dr.-Ing. B. Lichte Institut für Fahrzeugsystem- und Servicetechnologien	**Modulprüfung Regelungstechnik** **Kurzfragenteil**	Name:..
Hilfsmittel: Keine Zeit: 30 Min.	SS 2017 20.06.2017	Vorname... Matr.Nr.:...

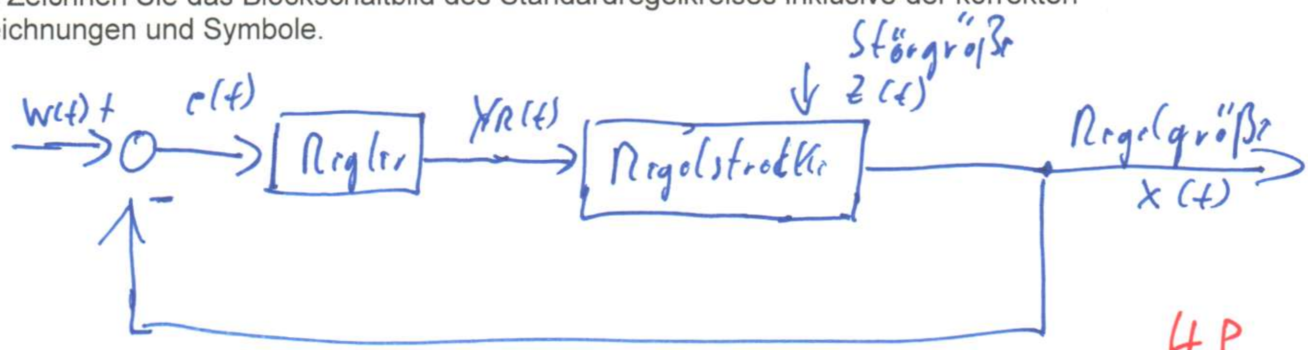
Kurzfrage 1 – (10 Punkte) Regelkreis

(6 P) Tragen Sie in das nachstehende Blockschaltbild die korrekten Bezeichnungen und Symbole ein.



6 P

(4 P) Zeichnen Sie das Blockschaltbild des Standardregelkreises inklusive der korrekten Bezeichnungen und Symbole.



4 P

Kurzfrage 2 – (11 Punkte) Wirkungsplan

Gegeben ist die folgende Übertragungsfunktion einer Regelstrecke:

$$G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{1}{T_I s(1 + T_1 s)} \ .$$

(3 P) Wie nennt man dieses Übertragungsglied? Geben Sie die zugehörige lineare Differentialgleichung an.

(8 P) Zeichnen Sie aus den elementaren Übertragungsgliedern (P-,I-,D- und T_t-Glied) einen zugehörigen Wirkungsplan. Geben Sie die benötigten Gleichungen an.

I-T_1-Glied

$$X(s) = G(s)\, Y(s)$$

$$T_I s\,(1 + T_1 s)\, X(s) = Y(s)$$

$$T_1 T_I s^2 X(s) + T_I s\, X(s) = Y(s)$$

$\mathcal{L}^{-1}$

$$T_I T_1\, \ddot{x}(t) + T_I\, \dot{x}(t) = y(t)$$

3 P

Wirkungsplan:

$x_1 = x \qquad x_2 = \dot{x}_1 = \dot{x} \qquad \dot{x}_2 = \ddot{x}$

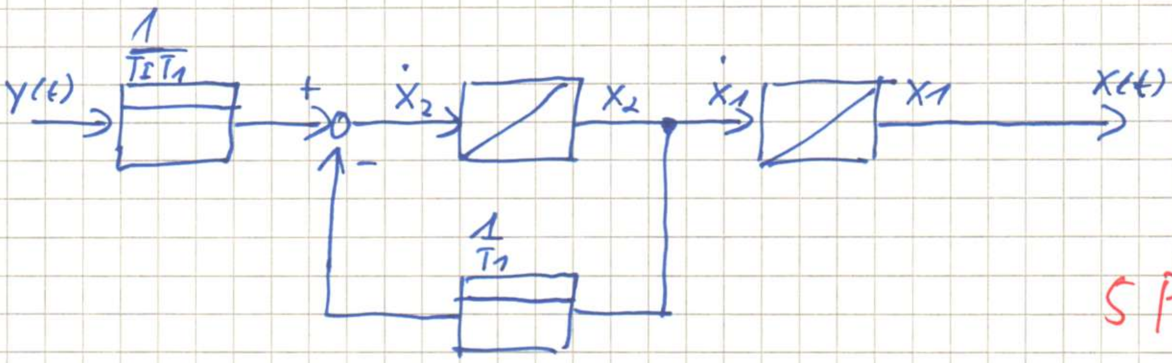
ALSO:

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \ddot{x} = + \frac{1}{T_I T_1} y - \frac{1}{T_1} \dot{x}$$

$$= \frac{1}{T_I T_1} y - \frac{1}{T_1} x_2$$

3 P



5 P

Kurzfrage 3 – (15 Punkte) Verständnisfragen

Kreuzen Sie an, ob die folgenden Aussagen richtig oder falsch sind. **Falsche** Antworten führen zu einem **Punktabzug**.

Aussage	richtig	falsch
Wie kann ein Flüssigkeitsbehälter mit der Ausgangsgröße $X(s)$ (Füllstandshöhe in m) und der Eingangsgröße $Y(s)$ (Volumenstrom in $\frac{m^3}{sec}$) als Übertragungsfunktion prinzipiell beschrieben werden?		
1. $G_S(s) = \frac{1}{s\,T_1}$.	X	
2. $G_S(s) = s\,T_1$.		X
3. $G_S(s) = \frac{K_S}{1+s\,T_1}$.		X
Welche Aussagen gelten für die Wurzelortskurve?		
4. Sie ist immer symmetrisch zur reellen Achse.	X	
5. Sie wird benutzt, um die Stabilität mit dem Nyquist-Kriterium zu bestimmen.		X
6. Die WOK stellt den Zusammenhang zwischen den Nullstellen und Polen des offenen Kreises und den Polen des geschlossenen Kreises dar.	X	
Was sind die Merkmale einer Regelung?		
7. Kennzeichen einer Regelung ist ein offener Wirkungsablauf.		X
8. Entscheidend für die Wirkungsweise einer Regelung ist die Vorzeichenumkehr im Vergleichsglied.	X	
9. Zumindest für die Regelgröße wird eine Messeinrichtung benötigt.	X	
Welche Aussagen über bleibende Regeldifferenzen sind richtig?		
10. Bei Reglern ohne I-Anteil kommt es immer zu bleibenden Regelabweichungen.		X
11. Um einen bleibenden Regelfehler bei rampenförmiger Führungsgröße zu vermeiden, muss der offene Regelkreis 2 Integratoren enthalten.	X	
12. Eine bleibende Regelabweichung kann durch Erhöhen der Verstärkung des offenen Regelkreises reduziert werden (Stabilität vorausgesetzt).	X	
Was ist bezüglich des D-Anteils im PID-Regler zu beachten?		
13. Der D-Anteil verstärkt das Messrauschen. Je nach Stärke des Messrauschens ist daher eine geeignete Filterung des Messsignales notwendig, um eine verrauschte Stellgröße zu vermeiden.	X	
14. Der D-Anteil in einem PID-Regler wirkt sich stets destabilisierend auf die Regelung aus.		X
15. Besitzt die Regelstrecke bereits 2 Integratoren, so ist der D-Anteil zur Stabilisierung des Regelkreises notwendig.	X	

Fakultät Fahrzeugtechnik Prof. Dr.-Ing. B. Lichte Institut für Fahrzeugsystem- und Servicetechnologien	**Modulprüfung** **Regelungstechnik** **Aufgabenteil**	Name:..
Hilfsmittel: Schriftl. Unterlagen Taschenrechner (n. program.) kein PC/Mobiltelefon Zeit: 60 Min.	SS 2017 20.06.2017	Vornname.. Matr.Nr.:..

Aufgabe 1 – (15 Punkte) Bode-Diagramm

Gegeben ist die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises:

$$G_O(s) = \frac{0.1(1 + 5\,s)}{s\left(1 + \frac{1}{80}\,s\right)^2}$$

(15 P) Zeichnen Sie die asymptotischen Amplitudengänge in das unten abgebildete Diagramm. Kennzeichnen Sie die Eckfrequenzen und geben Sie die Asymptoten-Steigungen an.

Aufgabe 1

$$G_0(j\omega) = \frac{\frac{1}{10}(1+5j\omega)}{j\omega\left(1+\frac{1}{80}j\omega\right)^2}$$

$$|G_0(j\omega)| = \frac{\frac{1}{10}\sqrt{1+(5\omega)^2}}{\omega\left(\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{80}\right)^2}\right)^2}$$

$$|G_0(j\omega)|\,dB = 20\log\frac{1}{10} + 20\log\sqrt{1+(5\omega)^2} - 20\log(\omega) - 40\log\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{80}\right)^2}$$

Knickfrequenzen: $\omega_1 = 0{,}2\ \frac{rad}{sec}$ $\quad \omega_2 = 80\ \frac{rad}{sec}$ 3 P

$\omega < \omega_1$:

$$|G_0(j\omega)|\,dB \approx 20\log\frac{1}{10} - 20\log(\omega)$$

$\Rightarrow$ $-20\,dB$ / Dekade

Startwert: $|G_0(j\omega)|\,dB \approx 0$ für $\omega = \frac{1}{10}\ \frac{rad}{sec}$ 3 P

$\omega = \omega_1$: $+3\,dB$ Knickstelle ½ P

$\omega_1 < \omega < \omega_2$:

$$|G_0(j\omega)|\,dB \approx -20\,dB - 20\log(\omega) + 20\log(5\omega)$$

$\Rightarrow$ $0\,dB$ / Dekade 2 P

$\omega = \omega_2$: $-6\,dB$ Knickstelle ½ P

$\omega_2 < \omega$:

$$|G_0(j\omega)|\,dB \approx -20\,dB - 20\log(\omega) + 20\log(5\omega) - 40\log\frac{\omega}{80}$$

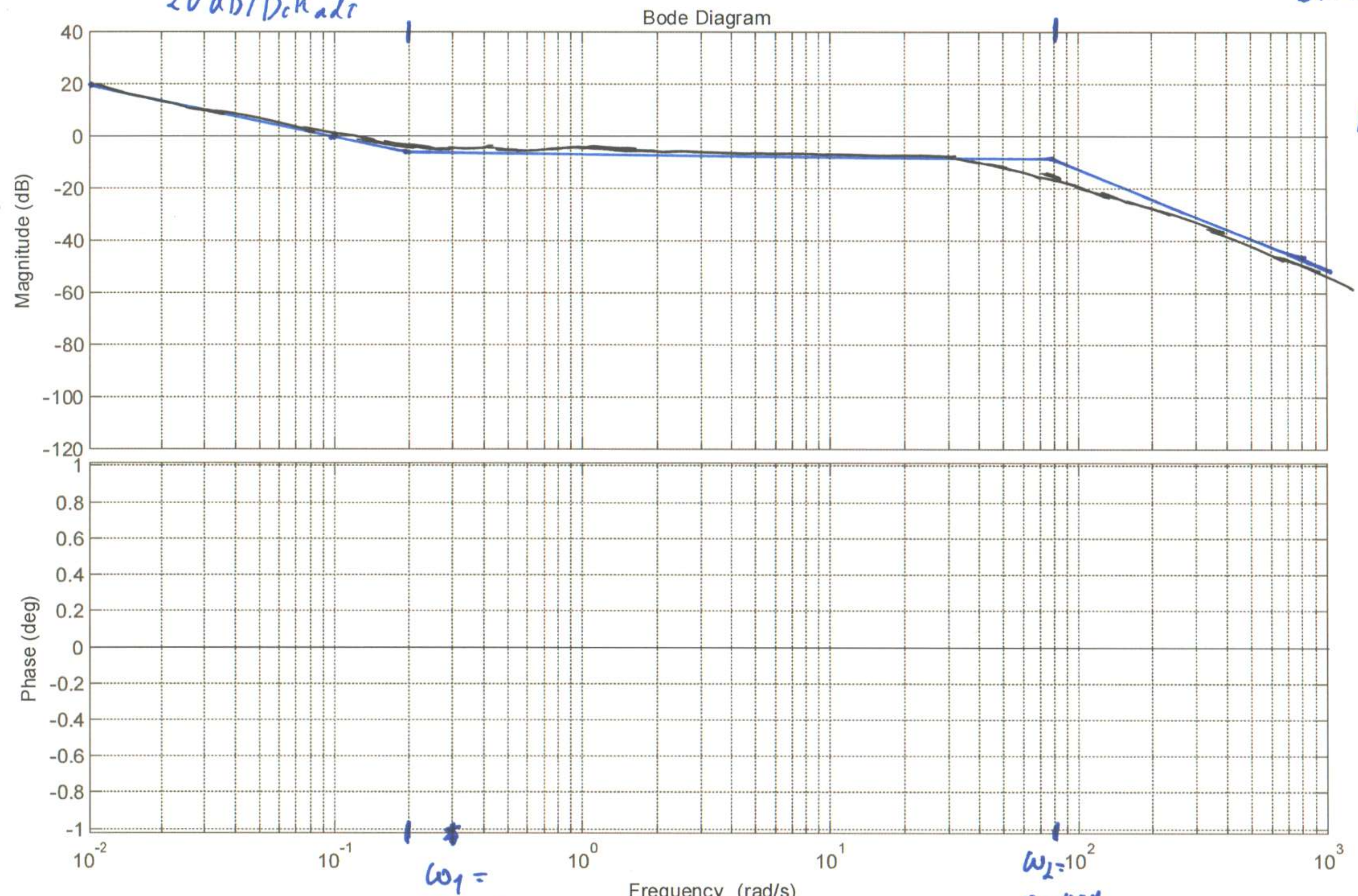
$\Rightarrow$ $-40\,dB$ / Dekade 2 P

Σ 11 P

-20 dB/Dekade

0 dB/Dekade

-40 dB/Dekade $\frac{3}{2}$ P



Knickstellen $2 \cdot \frac{1}{2}$ P

$\omega_1 = 0{,}2 \frac{rad}{sec}$

$\omega_2 = 80 \frac{rad}{sec}$

1P

Aufgabe 2

a) $P\text{-}T_1\text{-}T_t$ - Glied 1 P

b) Bezogene Sprungantwort: $x(t) = \sigma(t) \circ\!\!-\!\!\bullet\, X(s) = \frac{1}{s}$

$$H(s) = \frac{4}{s+2} \frac{1}{s} e^{-\frac{1}{2}s}$$

$$\frac{4}{s(s+2)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2}$$

$$4 = A(s+2) + Bs$$ 4 P

$\underline{s \to 0:}$ $4 = A \cdot 2 \Rightarrow A = 2$ 1 P

$\underline{s \to -2:}$ $4 = B(-2) \Rightarrow B = -2$ 1 P

$$\tilde{H}(s) = \frac{4}{s(s+2)} = \frac{2}{s} - \frac{2}{s+2}$$

$$\bullet\!\!-\!\!\circ$$

$$\tilde{h}(t) = (2 - 2e^{-2t})\,\sigma(t)$$ 2 P

Mit dem Verschiebungssatz folgt schließlich:

$$h(t) = \left(2 - 2e^{-2(t-\frac{1}{2})}\right)\sigma(t - \tfrac{1}{2})$$ 1 P

c)

$$\lim_{t \to 0} h(t) = 0$$

$$\lim_{t \to \infty} h(t) = 2$$

$$\lim_{s \to \infty} s\,H(s) = \lim_{s \to \infty} \frac{4}{s+2} e^{-\frac{1}{2}s} = 0$$

$$\lim_{s \to 0} s\,H(s) = \lim_{s \to 0} \frac{4}{s+2} e^{-\frac{1}{2}s} = 2$$ 4 P

Aufgabe 2 – (16 Punkte) Laplace-Transformation

Gegeben ist die folgende Übertragungsfunktion:

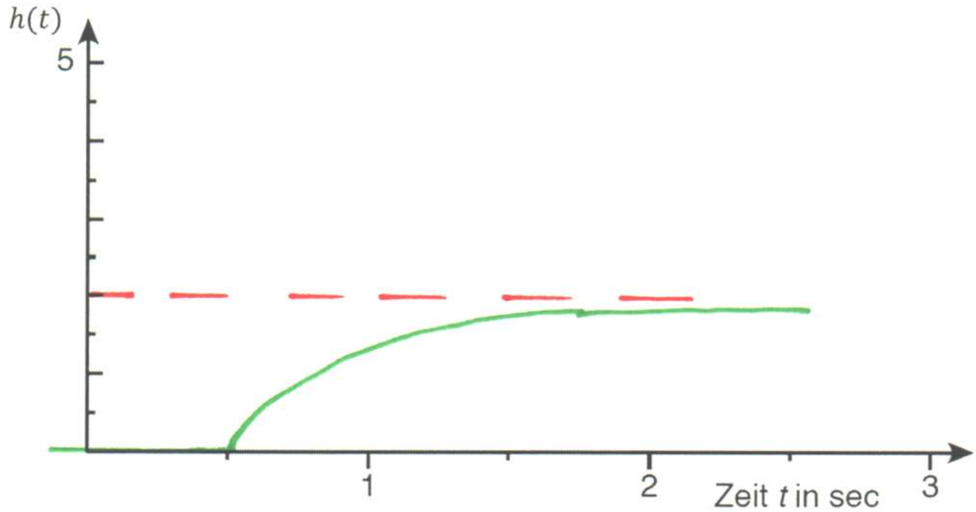
$$G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{4}{s+2} e^{-\frac{1}{2}s}$$

a) (1 P) Wie heißt dieses System?

b) (11 P) Berechnen Sie die bezogene Sprungantwort $h(t)$ des Systems.

Hinweis: Zeitverschiebungssatz: $f(t-T) \circ\!-\!\bullet\, F(s)e^{-sT}$

Skizzieren Sie die bezogene Sprungantwort $h(t)$ im nachstehenden Diagramm:



2 P

c) (4 P) Berechnen Sie Anfangs- und Endwert der Sprungantwort sowohl mit Hilfe des Endwertsatzes der Laplace-Transformation als auch direkt aus der Lösung im Zeitbereich.

Aufgabe 3 – (29 Punkte) Wurzelortskurve

Gegeben ist ein Standard-Regelkreis. Die Regelstrecke lautet:

$$G_S(s) = \frac{1}{(s+5)(s+4)(s+3)} \quad .$$

Es stehen die folgenden beiden Regler zur Verfügung:

$$G_{R_1}(s) = K_R(1 + s\,T_D)$$

und

$$G_{R_2}(s) = K_R\frac{(1 + s\,T_D)}{1 + s\,T_1} \quad .$$

Dabei gilt für die Regler-Parameter: $K_R = 1$, $T_D = 1$ und $T_1 = \frac{1}{5}$.

a) (1 P) Wie nennt man diese Regler?

b) (2 P) Berechnen Sie die Übertragungsfunktionen $G_{O1}(s)$ und $G_{O2}(s)$ der offenen Regelkreise.

c) (25 P) Skizzieren Sie die zugehörigen Wurzelortskurven (WOK). Tragen Sie die Lage der Pol- und Nullstellen ein und skizzieren sie jeweils qualitativ den Verlauf der WOK für positive Verstärkungen. Markieren Sie die Richtung der Äste eindeutig. Benutzen Sie dazu die **vorbereiteten** Diagramme. Eine Berechnung von Verzweigungspunkten o.ä. ist nicht notwendig.

d) (1 P) Wie lässt sich für diese beiden Regelkreise bezüglich der stationären Genauigkeit sagen?

Aufgabe 3

a) PD-Regler (idealer PD-Regler)

PD-T1-Regler (realer PD-Regler) 1 P

b)

$$G_{o1}(s) = G_{R1}(s)\,G_S(s) = \frac{1+s}{(s+5)(s+4)(s+3)}$$

$$G_{o2}(s) = G_{R2}(s)\,G_S(s) = \frac{1+s}{(s+5)(s+4)(s+3)(1+\frac{s}{5})}$$ 2 P

c) Nullstellen: $m = 1$ $s_N = -1$

Polstellen:

System 1: $s_{P1} = -5$ $s_{P2} = -4$ $s_{P3} = -3$ $n_1 = 3$

System 2: $s_{P1/2} = -5$ $s_{P3} = -4$ $s_{P4} = -3$ $n_1 = 4$

4 P

System 1: $\varphi_{01} = \frac{1}{2}\,180° = 90°$ 1P

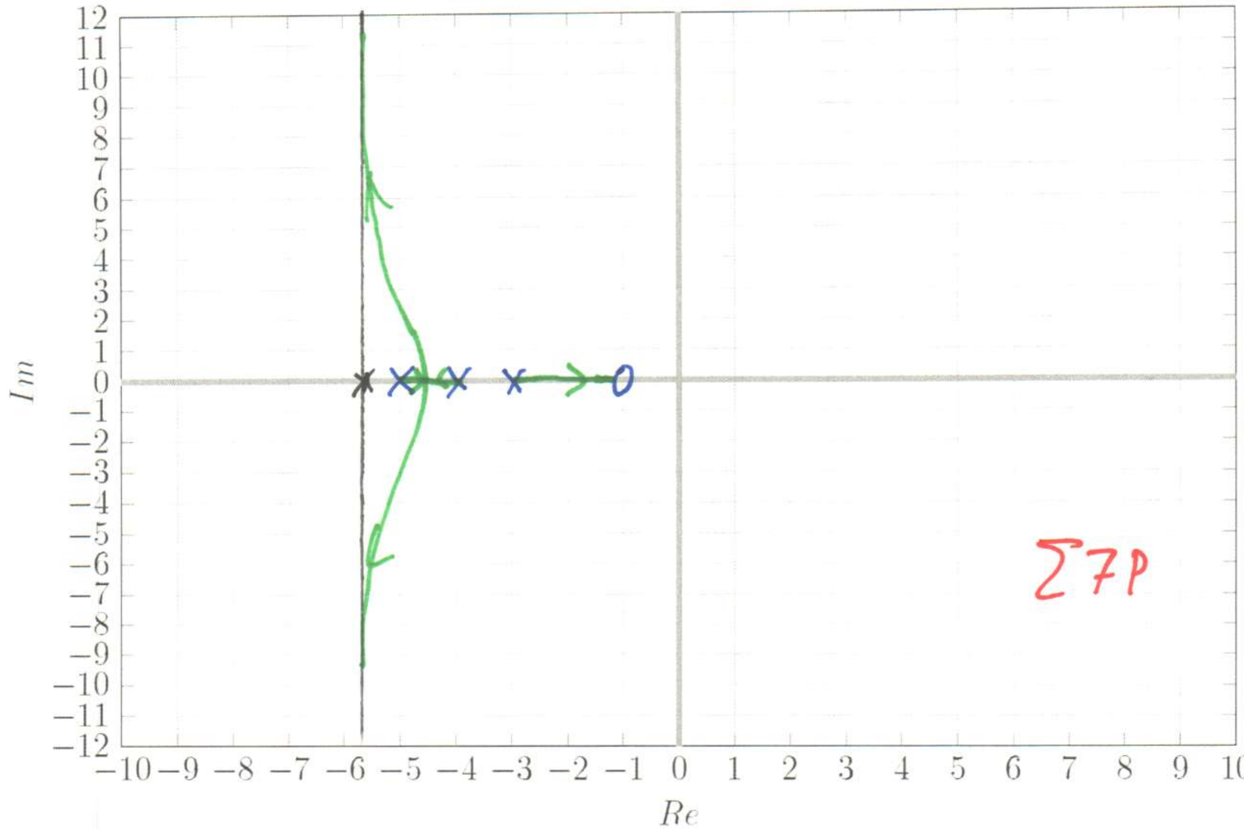
$\varphi_{11} = \frac{3}{2}\,180° = 270°$ $\frac{1}{2}$P $\sigma_{w1} = \frac{-12+1}{2} = -5{,}5$ 1P

System 2: $\varphi_{02} = \frac{1}{3}\,180° = 60°$ 1P

$\varphi_{12} = \frac{3}{3}\,180° = 180°$ $\frac{1}{2}$P $\sigma_{w2} = \frac{-17+1}{3} = -5\frac{1}{3}$ 1P

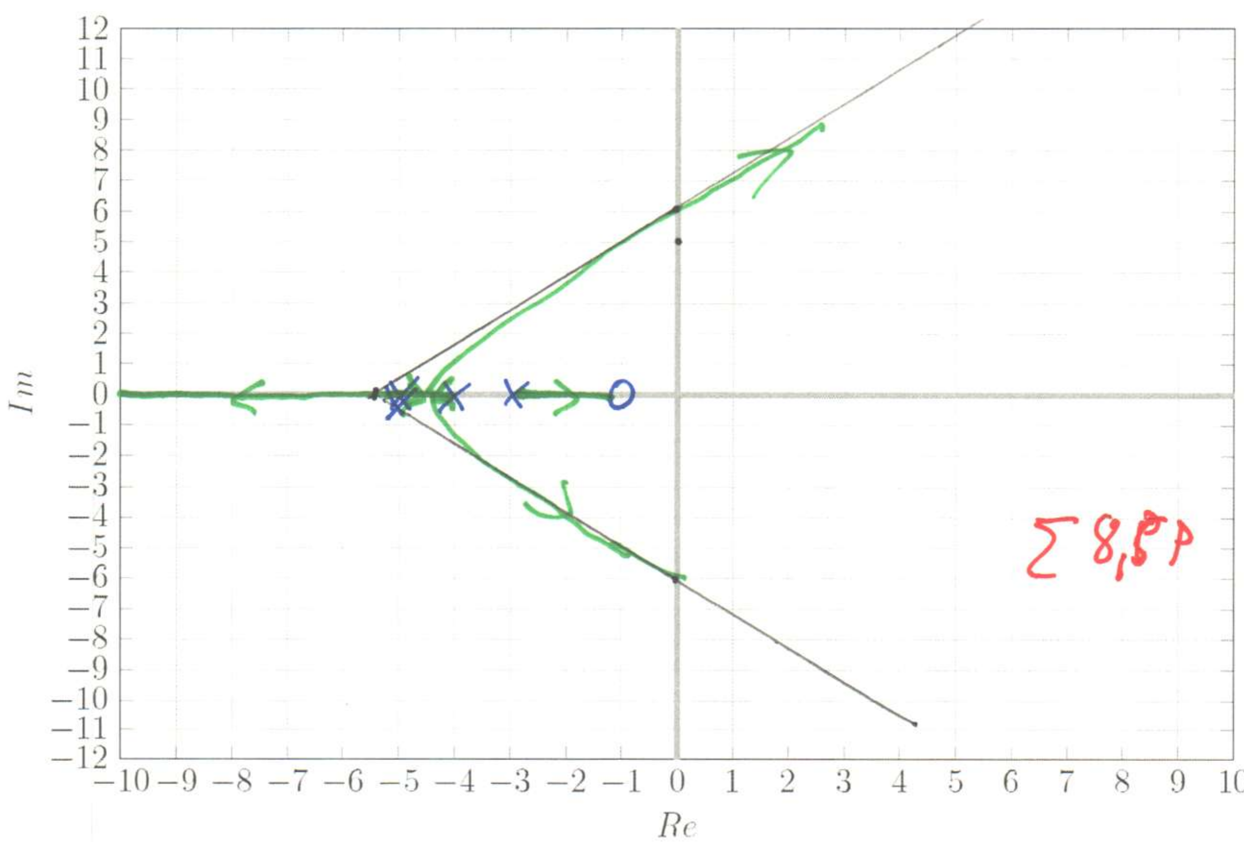
$\varphi_{22} = \frac{5}{3}\,180° = 300°$ $\frac{1}{2}$P

Σ 9,5 P



2P
2,5 P
1,5 P
1 Pfrik

$\sum$ 7P



2,5 P
3,5 P
1,5P
1P

$\sum$ 8,5P

Aufgabe 4 – (17 Punkte) DGL und Routh-Kriterium

Gegeben sind folgende Differentialgleichungen der Strecke:

$$\dot{x}_1(t) = -\frac{1}{2}x_1(t) + \frac{1}{2}y(t)$$

$$\dot{x}_2(t) = -\frac{1}{2}x_2(t) + \frac{1}{2}x_1(t)$$

Dabei ist $y(t)$ die Stellgröße und $x(t) = x_2(t)$ die Regelgröße.

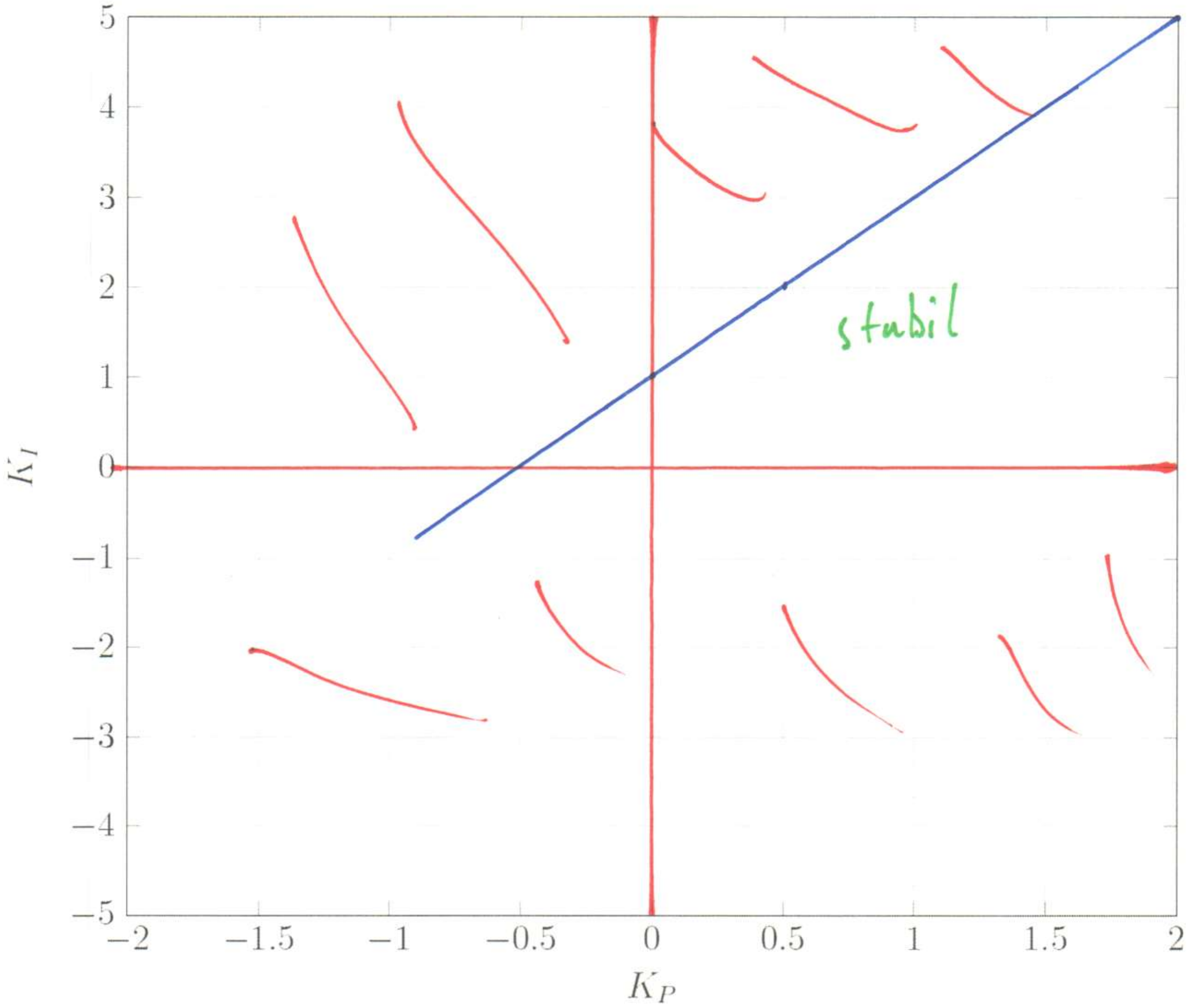
Die Regelstrecke soll mit einem PI-Regler geregelt werden:

$$G_R(s) = K_P + K_I\frac{1}{s}$$

a) (7 P) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion $G_S(s)$ der Regelstrecke (Transformieren Sie dazu die obigen Differentialgleichungen in den Laplace-Bereich).

b) (4 P) Es liegt ein Standard-Regelkreis vor. Die Regelstrecke soll mit dem angegebenen PI-Regler geregelt werden (keine Kompensation). Berechnen Sie die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises und die Führungsübertragungsfunktion.

c) (6 P) Berechnen Sie mit Hilfe des Routh-Kriteriums den Stabilitätsbereich für die Regler-Parameter K_P und K_I. Zeichnen Sie das Stabilitätsgebiet in das nachstehende Bild ein.



2P

Aufgabe 4

a) Laplace-Transformation der ersten DGL liefert:

$$s X_1(s) = -\frac{1}{2} X_1(s) + \frac{1}{2} Y(s)$$

$x_1(t) \circ\!\!-\!\!\bullet X_1(s)$

$x_2(t) \circ\!\!-\!\!\bullet X_2(s)$

$y(t) \circ\!\!-\!\!\bullet Y(s)$

$$\Rightarrow \left(s + \frac{1}{2}\right) X_1(s) = \frac{1}{2} Y(s)$$

$$\Rightarrow X_1(s) = \frac{1}{2(s+\frac{1}{2})} Y(s)$$

$$= \frac{1}{2s+1} Y(s) \qquad (1)$$

3 P

Laplace-Transformation der zweiten DGL liefert:

$$s X_2(s) = -\frac{1}{2} X_2(s) + \frac{1}{2} X_1(s)$$

$$\Rightarrow X_2(s) = \frac{1}{2s+1} X_1(s)$$

2 P

Einsetzen von Gl. (1) ergibt:

$$X(s) = X_2(s) = \frac{1}{(2s+1)^2} Y(s)$$

$$G_S(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{1}{(2s+1)^2}$$

2 P

b) $$G_0(s) = G_R(s)\, G_S(s) = \frac{K_P + K_I \frac{1}{s}}{(2s+1)^2} = \frac{K_P s + K_I}{s(4s^2+4s+1)}$$

$$= \frac{K_P s + K_I}{4s^3 + 4s^2 + s}$$

$$G_W(s) = \frac{G_0(s)}{1 + G_0(s)} = \frac{K_P s + K_I}{4s^3 + 4s^2 + s + K_P s + K_I}$$

$$= \frac{K_P s + K_I}{4s^3 + 4s^2 + (K_P+1)s + K_I}$$

4 P

c) Notw. Bdg.: Alle Koeffizienten vorhanden + gleiches Vorzeichen

$\Rightarrow K_I > 0$ und $K_p > -1$ typischerweise aber $K_p > 0$, also immer erfüllt.

1 P

Polynom 3.ter Ordnung ⇝ hinreichende Bdgen

Routh-Schema:

$$\begin{array}{cc} 4 & K_p+1 \\ 4 & K_I \\ \hline A & 0 \\ K_I & \end{array}$$

$$A = \frac{4(K_p+1) - 4K_I}{4} = K_p + 1 - K_I$$

$\Rightarrow K_p + 1 - K_I > 0 \Rightarrow \boxed{K_I < K_p + 1}$

3 P