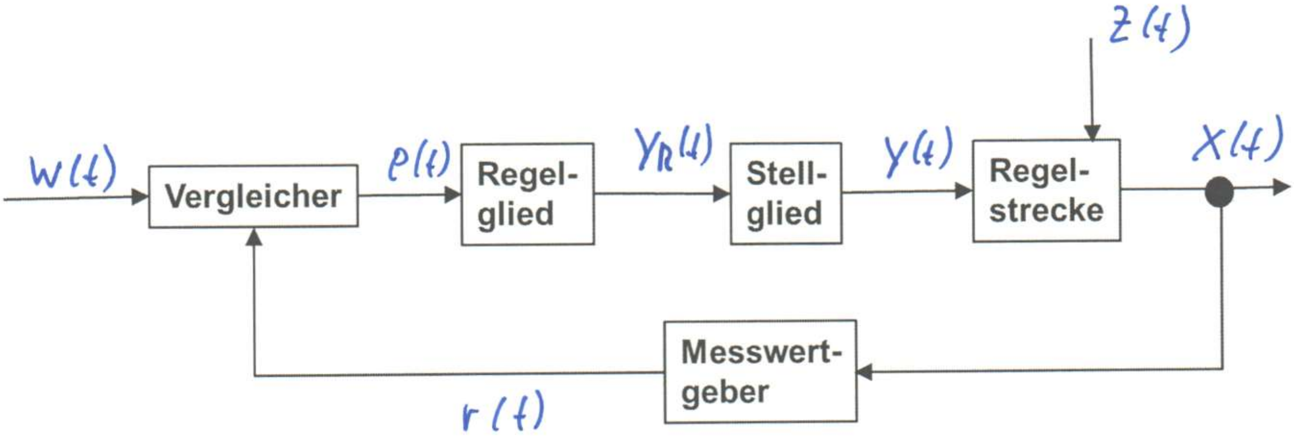
Fakultät Fahrzeugtechnik Prof. Dr.-Ing. B. Lichte Institut für Fahrzeugsystem- und Servicetechnologien	**Modulprüfung Regelungstechnik** **Kurzfragenteil** SS 2018 19.06.2018	Name:.. Vorname.. Matr.Nr.:..
Hilfsmittel: Keine Zeit: 30 Min.		

Kurzfrage 1 – (7 Punkte) Regelkreis

Tragen Sie in das nachstehende Blockschaltbild die korrekten Bezeichnungen und Symbole ein.



w(t) : Führungsgröße

e(t) : Regeldifferenz

y(t) : Stellgröße

z(t) : Störgröße

x(t) : Regelgröße

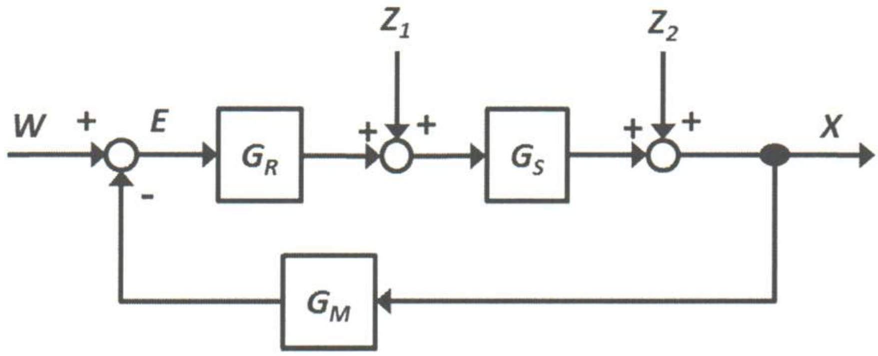
r(t) : Rückführgröße

$y_R(t)$: Reglerausgangsgröße

7 P

Kurzfrage 2 – (10 Punkte) Übertragungsverhalten/Wirkungsplan

Gegeben ist der folgende lineare einschleifige Regelkreis.



Berechnen Sie:

a) das Führungsübertragungsverhalten $G_W = \frac{X}{W}$: $Z_1 = 0 \wedge Z_2 = 0$

$$X(s) = G_S G_R (W - G_M X)$$

$$= G_S(s) G_R(s) W(s) - G_S G_R G_M X(s)$$

2P

$$\Rightarrow \quad G_W(s) = \frac{G_S(s)\, G_R(s)}{1 + G_S(s)\, G_R(s)\, G_M(s)}$$

b) das Störübertragungsverhalten $G_{Z1} = \frac{X}{Z_1}$: $W = 0 \wedge Z_2 = 0$

$$X(s) = G_S(s) Z_1(s) + G_S(s) G_R(s) (-G_M(s) X(s))$$

$$= G_S(s) Z_1(s) - G_S(s) G_R(s) G_M(s) X(s)$$

2P

$$\Rightarrow \quad G_{Z1}(s) = \frac{G_S(s)}{1 + G_S(s)\, G_R(s)\, G_M(s)}$$

c) das Störübertragungsverhalten $G_{Z2} = \frac{X}{Z_2}$: $W = 0 \wedge Z_1 = 0$

$$X(s) = Z_2(s) + G_S(s) G_R(s) (-G_M(s) X(s))$$

$$= Z_2(s) - G_S(s) G_R(s) G_M(s) X(s)$$

2P

$$\Rightarrow \quad G_{Z2}(s) = \frac{1}{1 + G_S(s)\, G_R(s)\, G_M(s)}$$

d) das Übertragungsverhalten $G_{EW} = \frac{E}{W}$: $Z_1 = 0 \wedge Z_2 = 0$

$$E(s) = W(s) - G_M(s)\, G_S(s)\, G_n(s)\, E(s)$$

$$\Rightarrow \quad G_{EW}(s) = \frac{1}{1 + G_M(s)\, G_S(s)\, G_n(s)} \qquad 2P$$

e) das Übertragungsverhalten $G_{EZ1} = \frac{E}{Z_1}$: $W = 0 \wedge Z_2 = 0$

$$E(s) = -G_M(s)\, G_S(s) \left(Z_1(s) + G_n(s)\, E(s) \right)$$

$$= -G_M(s)\, G_S(s)\, Z_1(s) - G_M(s)\, G_S(s)\, G_n(s)\, E(s)$$

$$\Rightarrow G_{EZ_1}(s) = -\frac{G_M(s)\, G_S(z)}{1 + G_M(s)\, G_S(s)\, G_n(s)} \qquad 2P$$

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**
Was gilt für die Anwendung des *vereinfachten* Nyquist-Kriteriums?		
1. Man benötigt den Frequenzgang des geschlossenen Regelkreises.		X
2. Das Kriterium kann auch bei instabilen Systemen angewendet werden.		X
3. Der Standardregelkreis ist stabil, wenn der kritischen Punkt der Nyquist-Ebene bei einer stetigen Veränderung der Kreisfrequenz von $\omega = 0$ bis $\omega = \infty$ immer links von der Nyquist-Ortskurve liegt.	X	
Wie kann die folgende Differentialgleichung im Bildbereich dargestellt werden? $$4\ddot{x}(t) + 8\dot{x}(t) + 2x(t) = 2\ddot{y}(t) + 4y(t)$$		
4. $G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{2s^2+4}{4s^2+8s+2}$	X	
5. $G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{s^2+2}{2s^2+4s+1}$	X	
6. $G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{4s^2+8s+2}{2s^2+4}$		X
Wie beeinflusst die Pollage eines Systems das dynamische Verhalten?		
7. Konjugiert komplexe Pole auf der imaginären Achse führen zu Dauerschwingungen.	X	
8. Reelle Doppelpole führen zu schwingendem Verhalten.		X
9. Instabile Systeme haben mindestens einen Pol mit positivem Realteil.	X	
Bei einer Reihenschaltung von Übertragungsfunktionen …		
10. … werden die Übertragungsfunktionen multipliziert.	X	
11. … werden die Übertragungsfunktionen addiert.		X
12. … ist die Reihenfolge egal.	X	
Welche Aussagen gelten für Systeme mit Totzeit?		
13. Zur Stabilitätsbestimmung kann das Routh-Kriterium genutzt werden.		X
14. Sie sind nichtlinear.		X
15. Sie erhöhen die Neigung des Regelkreises zur Instabilität.	X	

Aufgabe 1

a) $G_1(j\omega) = \frac{4}{1+5j\omega}$ $\qquad G_2(j\omega) = \frac{1-5j\omega}{1+5j\omega}$ 1P

$$|G_1(j\omega)| = \frac{4}{\sqrt{1+(5\omega)^2}} \qquad |G_2(j\omega)| = \frac{\sqrt{1+(5\omega)^2}}{\sqrt{1+(5\omega)^2}} = 1$$

$$|G_1(j\omega)|_{dB} = 20\log(4) - 20\log(\sqrt{1+(5\omega)^2})$$

$$|G_2(j\omega)|_{dB} = 20\log(1) = 0\,dB$$

Knickfrequenz : $\omega_1 = \frac{1}{5}\frac{rad}{sec}$ $\qquad 20\log(4) \approx 12\,dB$

$$\varphi_1(\omega) = -\arctan(5\omega)$$

$$\varphi_2(\omega) = -\arctan(5\omega) - \arctan(5\omega) = -2\arctan(5\omega)$$

6P

c) Die Phasengänge können leicht an ihrem Wert für $\omega \to \infty$ unterschieden werden. G_1 fällt auf $-90°$ ab. G_2 fällt auf $-180°$ ab. Die Serienschaltung $G_1 \cdot G_2$ fällt auf $-270°$ ab. Siehe Skizze

3P

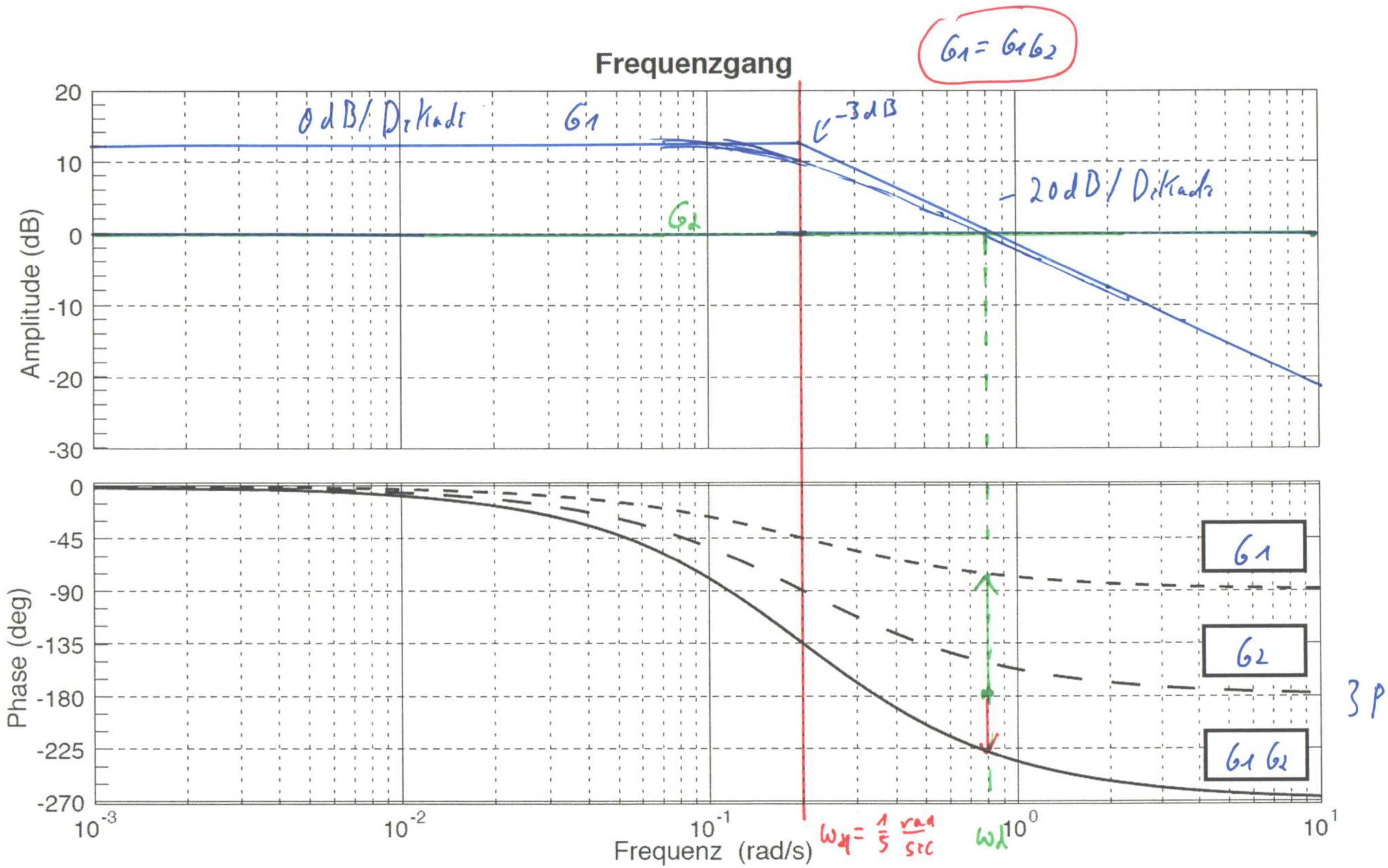
d) Siehe Diagramm : 2P

G_1: $\varphi_R \approx 180° - 75° = 105°$ $\leadsto$ stabil

$G_1 G_2$: $\varphi_R = 180° - 225° = -45°$ $\leadsto$ instabil

2P

1P 1P 2P


G1 = G1G2
Frequenzgang
Amplitude (dB)
20
10
0
-10
-20
-30
0dB/Dekade
G1
-3dB
-20dB/Dekade
G2
Phase (deg)
0
-45
-90
-135
-180
-225
-270
G1
G2
G1 G2
3P
10^-3
10^-2
10^-1
10^0
10^1
Frequenz (rad/s)
ωg = 1/5 rad/sec
ωd

Aufgabe 2

a) Bezogene Sprungantwort (Eingangsgröße = Einheitssprung)

$$H(s) = G(s)\,\frac{1}{s} = \frac{8(s+2)}{s(s-4)^2}$$

↳ Polstellen $s_{P1} = 0 \quad s_{P1} = s_{P2} = 4$ 2 P

Rücktransformation über Partialbruchzerlegung

$$H(s) = \frac{8(s+2)}{s(s-4)^2} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s-4} + \frac{C}{(s-4)^2}$$

$$\Rightarrow \quad 8(s+2) = A(s-4)^2 + B\,s(s-4) + C\,s$$ 2 P

$\underline{s \to 0:}\quad 16 = 16\,A \quad \Rightarrow \quad \underline{A = 1}$

$\underline{s \to 4:}\quad 48 = C \cdot 4 \quad \Rightarrow \quad \underline{C = 12}$

$\underline{s = 2:}\quad 32 = 4 \cdot A - 4B + 2C$

$\qquad\qquad = 4 + 24 - 4B$

$\qquad \Rightarrow \quad 4 = -4B \quad \Rightarrow \quad \underline{B = -1}$ 4 P

ALSO gilt:

$$H(s) = \frac{1}{s} - \frac{1}{s-4} + 12\,\frac{1}{(s-4)^2}$$

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

$$h(t) = \left(1 - e^{4t} + 12\,t\,e^{4t}\right)\sigma(t)$$ 3 P

b) $\lim\limits_{t \to \infty} h(t) = \infty$

$$\lim_{t \to \infty} h(t) \neq \lim_{s \to 0} s\,H(s) = \lim_{s \to 0} \frac{\cancel{s}\,8\,(s+2)}{\cancel{s}(s-4)^2} = \frac{16}{16} = 1$$

Der Endwertsatz gilt nur, wenn der Endwert existiert, aber der Endwert existiert nicht.

=> Endwertsatz darf nicht angewandt werden

=> Lösung im Zeitbereich korrekt: $\lim\limits_{t \to \infty} h(t) = \infty$

4P

Aufgabe 3

a) Es werden die Pole und Nullstellen des offenen Kreises benötigt. Man schließt damit auf die Lage der Pole des geschlossenen Regelkreises. Dazu muss der Regelkreis in Standardform vorliegen.

1P

(1) Pole: $s_{P_1} = -6 \quad s_{P_2} = -4 \quad s_{P_3} = -3 \quad s_{P_4} = -1$

Nullstellen: –

$n = 4 \quad m = 0$

(2) Intervalle auf der reellen Achse, s. Diagramm

(3) $n - m = 4$

$\varphi_0 = \frac{1}{4}\,180° = 45° \qquad \varphi_1 = \frac{3}{4}\,180° = 135°$

$\varphi_2 = \frac{5}{4}\,180° = 225° \qquad \varphi_3 = \frac{7}{4}\,180° = 315°$

Wurzelschwerpunkt:

$$\sigma_W = \frac{-6-4-3-1}{4} = -3\tfrac{1}{2}$$

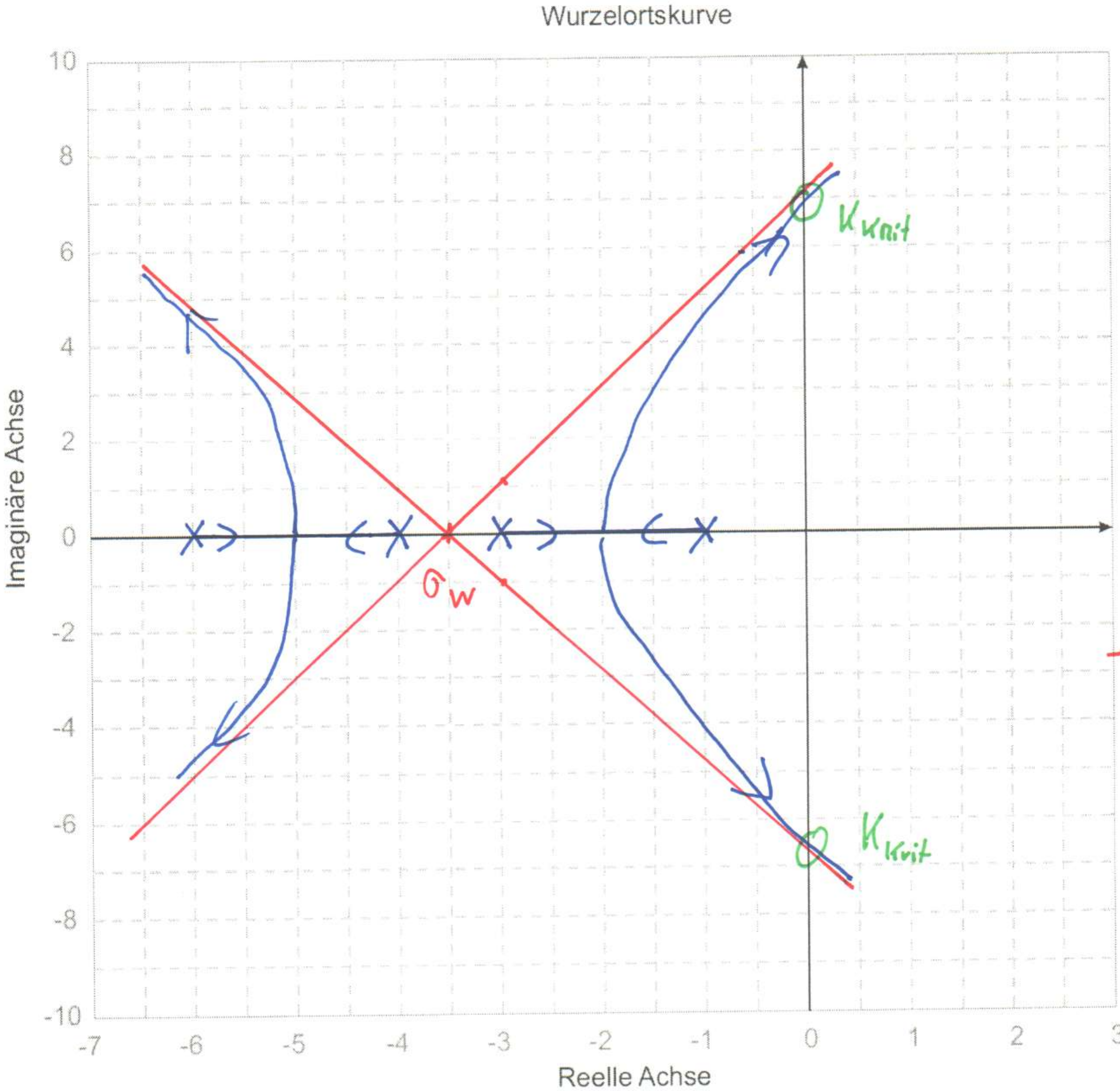
$5\frac{1}{2}$ P

Σ 16 P

b) Wenn $K_R > K_{krit}$ gewählt wird (s. Diagramm), dann ist der Regelkreis instabil.

Für $0 < K_R < K_{krit}$ ist der Regelkreis stabil.

Σ 2 P



2P
3P
$1\frac{1}{2}$
4P

1P

Aufgabe 4

a) Die Regelstrecke ist instabil, da nicht alle Koeffizienten vorhanden sind. Zudem haben nicht alle Koeffizienten das gleiche Vorzeichen.

1 P

b) PD – Regler. Der D-Anteil ist nicht realisierbar.

2 P

c)

$$G_0(s) = G_R(s)\, G_S(s) = \frac{K_R(1+T_V s)}{s^3+2s^2-16}$$

$$G_W(s) = \frac{G_0(s)}{1+G_0(s)}$$

$$= \frac{\frac{K_R(1+T_V s)}{s^3+2s^2-16}}{1+\frac{K_R(1+T_V s)}{s^3+2s^2-16}}$$

$$= \frac{K_R(1+T_V s)}{s^3+2s^2-16+K_R T_V s+K_R}$$

$$= \frac{K_R(1+T_V s)}{s^3+2s^2+K_R T_V s+K_R-16}$$

4 P

d) Es wird die Führungsübertragungsfunktion bzw. der Nenner der Führungsübertragungsfunktion bzw. das charakteristische Polynom benötigt:

$$s^3 + 2s^2 + (K_R T_V)s + (K_R - 16)$$ 1P

Aus der notwendigen Bedingung des Routh-Kriteriums:

$$K_R - 16 > 0 \qquad K_R T_V > 0$$

Die zweite Anforderung ist immer erfüllt, da $K_R > 0 \wedge T_V > 0$.

Es bleibt also:

$$\underline{K_R > 16}$$ 2P

Routh-Tabelle:

1	$K_R T_V$
2	$K_R - 16$
A	0
$K_R - 16$	0

$$A = \frac{2 K_R T_V - K_R + 16}{2} = K_R T_V - \frac{1}{2} K_R + 8$$ 3P

Aus der hinreichenden Bedingung verbleibt ($K_R > 16$ schon nach notw. Bdg. erfüllt):

$$A \geq 0 \quad \Rightarrow \quad 2 K_R T_V - K_R + 16 > 0$$

$$\Rightarrow \quad 2 K_R T_V > K_R - 16$$

$$\Rightarrow \quad T_V > \frac{K_R - 16}{2 K_R} = \frac{1}{2} - \frac{8}{K_R} \quad (K_R >$$

Insgesamt ergeben sich folgende Bedingungen:

$$K_R > 16 \quad \text{und} \quad T_V > \frac{1}{2} - \frac{8}{K_R}$$ 3P