

Regelungstechnik SS 2025
 Prof. Dr. Wolfgang Kröber

Zur Bewertung der Aufgaben muss der
 gesamte Lösungsweg ersichtlich sein.

- Bearbeitungszeit : 90 min
- Erlaubte Hilfsmittel :
 - selbstständige Lösung
 - keine internetfähigen Geräte
 - keine weiteren Einschränkungen

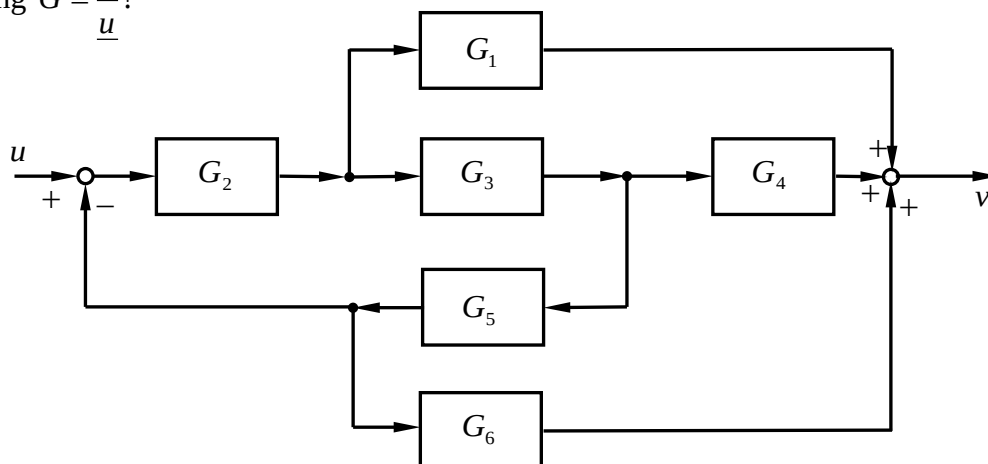
Note : _____

Aufgabe	erreichte Punkte
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
Summe	

Aufgabe 1 (12P)

Bestimmen Sie durch Einführen von Hilfsgrößen für den abgebildeten Regelkreis den

Frequenzgang $G = \frac{\underline{v}}{\underline{u}}$!



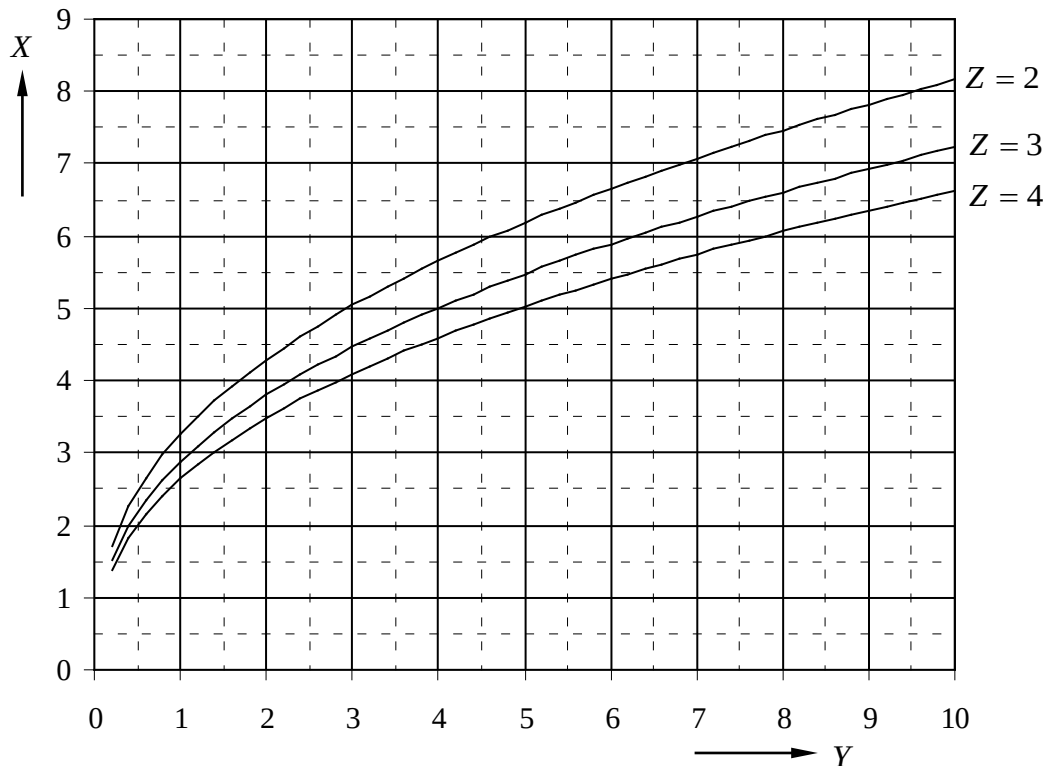
Aufgabe 2 (12P)

Bei der Entwicklung eines sogenannten "Tempomates" in einem PKW wird die erzielte Fahrgeschwindigkeit (hier Regelgröße X) in Abhängigkeit der Stellung des Gaspedals (hier Stellgröße Y) aufgetragen. Der Anstiegswinkel bzw. die Steigung der Straße wirkt als Störgröße, hier mit $Z = 2$, $Z = 3$ und $Z = 4$ bezeichnet.

Formelmäßig wird folgender Zusammenhang zugrunde gelegt:

$$X = 4 \cdot Y^{0,4} \cdot Z^{-0,3}$$

Dieses Verhalten (diese Funktion) ist auch in der Graphik dargestellt.



Als Arbeitspunkt soll $Y = Y_A = 6$ und $Z = Z_A = 3$ untersucht werden.

a. In dem Ansatz $x = K_y \cdot y + K_z \cdot z$ sollen die Parameter $K_y = \frac{\Delta X}{\Delta Y}|_A$ und $K_z = \frac{\Delta X}{\Delta Z}|_A$ aus der Graphik ermittelt werden. Bemerkung: Die Parameter können hier auch negativ sein.

b. Bestimmen Sie K_y und K_z durch Bildung der entsprechenden partiellen Ableitungen!

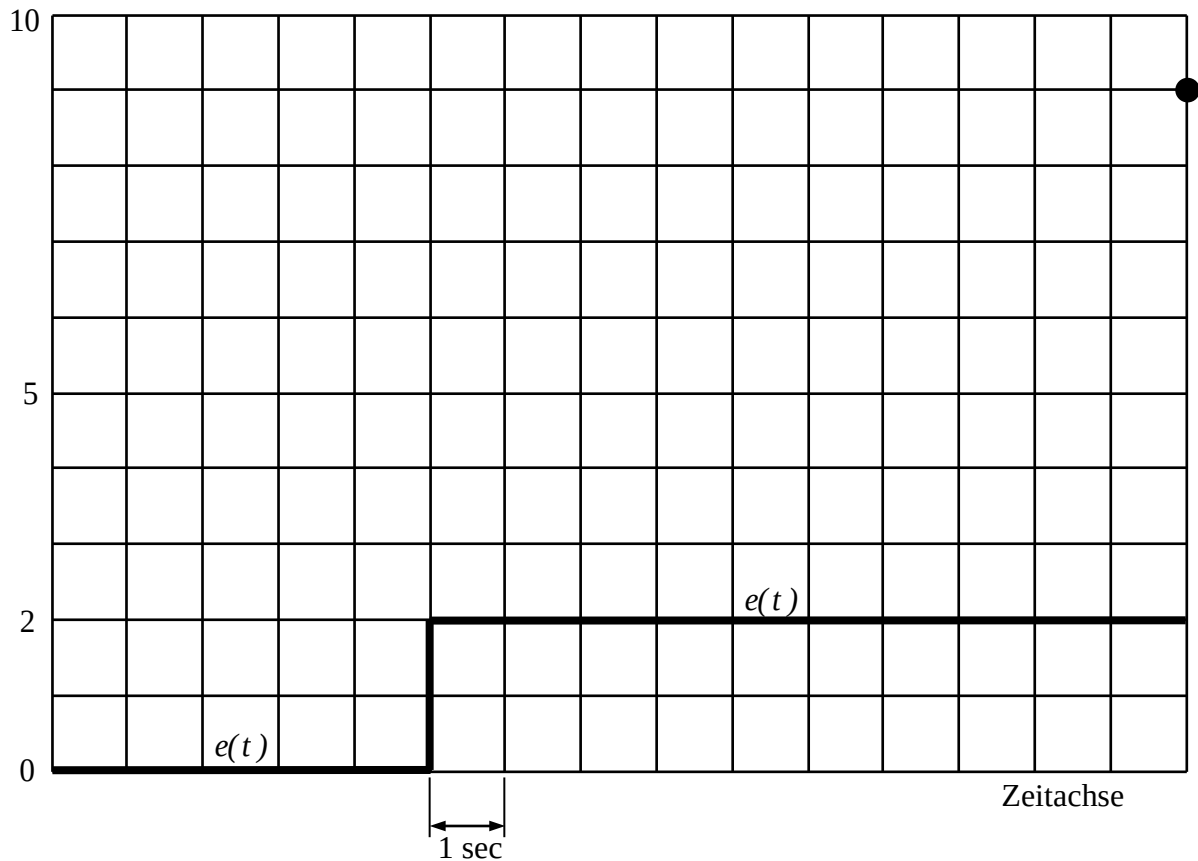
Hilfestellungen: $K_y = \frac{\partial X}{\partial Y}|_A = \dots$ und $K_z = \frac{\partial X}{\partial Z}|_A = \dots$

Hilfestellung aus der Mathematik: $\frac{d}{dx}(x^n) = n \cdot x^{n-1}$

Aufgabe 3 (12P)

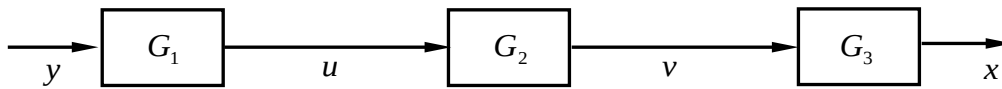
In der Abbildung ist die sprungförmige Veränderung der Regeldifferenz eingetragen. Es soll die Sprungantwort eines PI-Reglers untersucht werden. Zu Beginn der Beobachtung ist die Stellgröße $y = 0$ (ist nicht eingetragen). Der Wert der Proportionalverstärkung beträgt $K_p = 1,5$. Wie groß muss die Nachstellzeit sein, damit der Kurvenverlauf der Stellgröße genau durch den schwarzen Punkt (in der Abbildung rechts oben der schwarze Punkt) geht?

Hilfestellung: $y = K_p \cdot \left(e + \frac{1}{T_n} \cdot \int e \cdot dt \right)$



Aufgabe 4 (12P)

Eine Regelstrecke besteht aus einem I-Glied (G_1) einer Totzeit (G_2) und einem PT₁-Glieder (G_3).



$$u_{i+1} = u_i + K_I \cdot \Delta t \cdot y_i$$

$$v_i = u_{i-3}$$

$$x_{i+1} = x_i \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right) + K \cdot \frac{\Delta t}{T} \cdot v_i$$

Zahlenwerte: $\Delta t = 0,1 \text{ s}$; $K_I = 0,5 \text{ s}^{-1}$; $T = 1 \text{ s}$; $K=2$

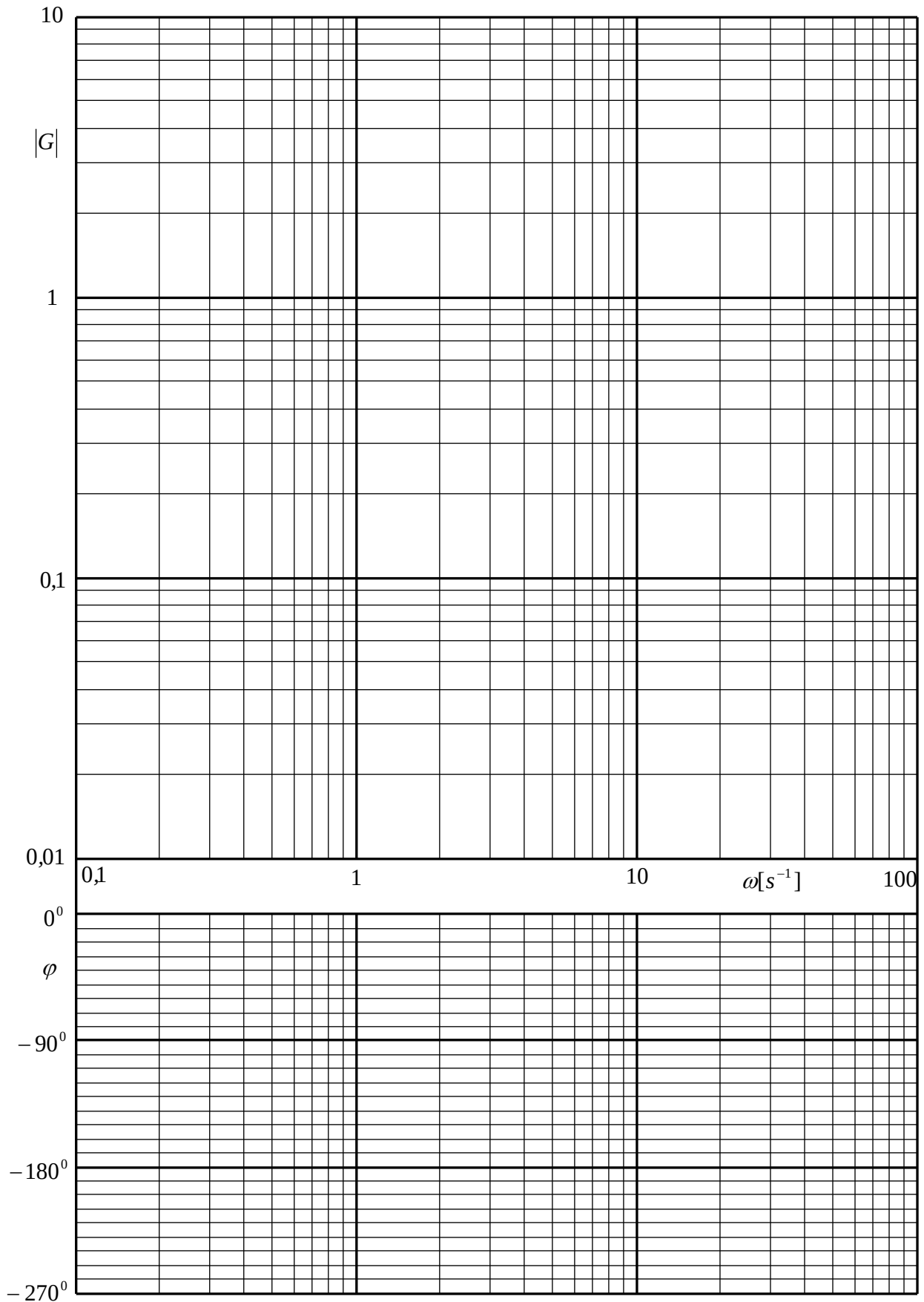
Berechnen bzw. ergänzen Sie die in der Tabelle fehlenden Werte (es sind einige Nullen dabei)!
Weshalb muss die Totzeit 0,3s betragen?

i	0	1	2	3	4	5	6	7
y_i	0	1	1	1	1	1	1	1
u_i	0	0						
v_i	0	0						
x_i	0	0						

Aufgabe 5 (13P)

Eine Regelstrecke besteht aus dem angegebenen Frequenzgang. Tragen Sie die Regelstrecke ins Bode-Diagramm ein und bestimmen Sie $K_{p \text{ krit}}$ und T_{krit} !

$$G_{\text{Strecke}} = \frac{K_s}{(1 + j\omega T)^2} \cdot e^{-j\omega T_t} \quad \text{Geg.: } K_s = 4; T = 0,5 \text{ s}; T_t = 0,1 \text{ s}$$

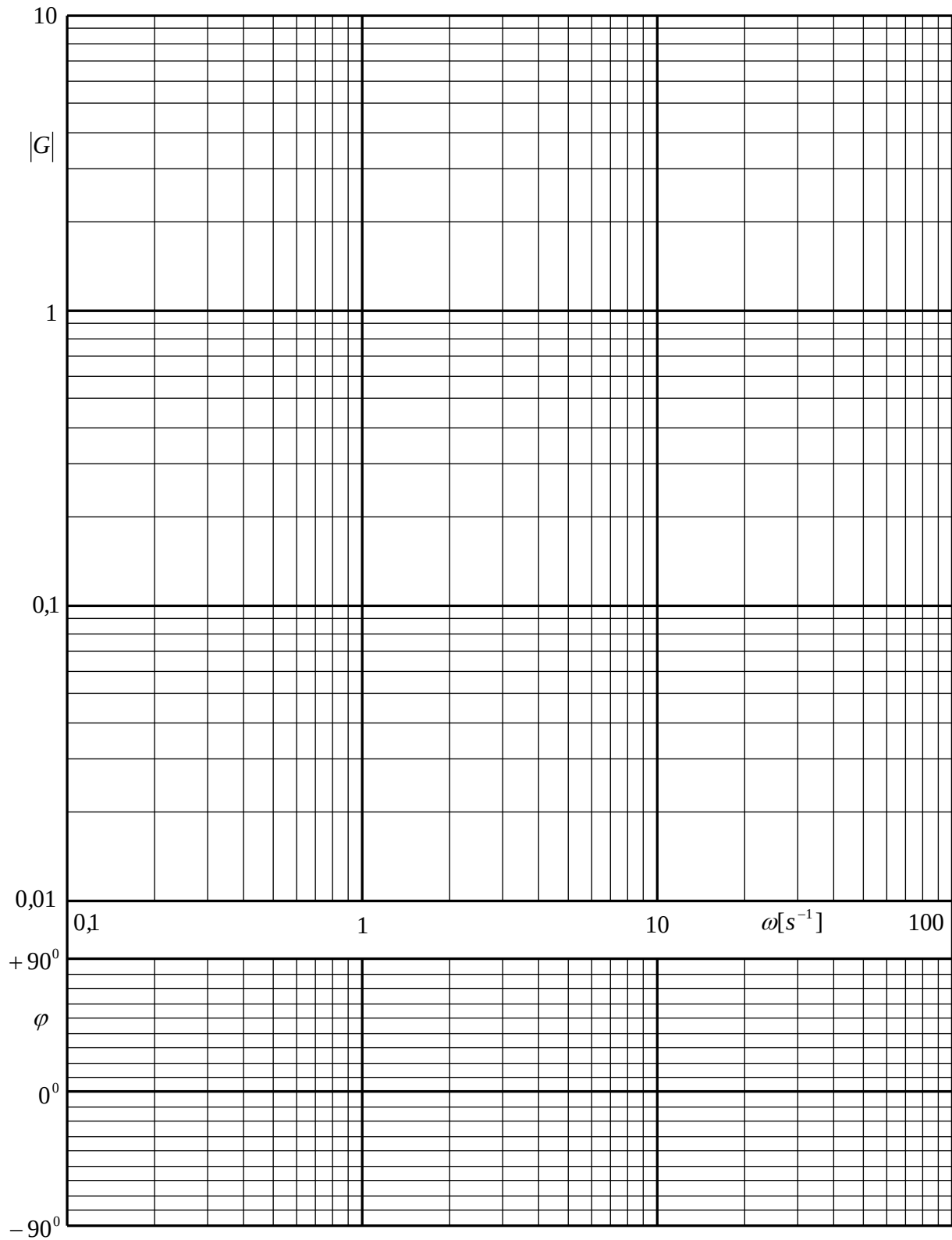


Aufgabe 6 (13P)

Der angegebene Frequenzgang besteht aus 2 elementaren Übertragungselementen. Tragen Sie die beiden Übertragungselemente und den Gesamtfrequenzgang ins Bode-Diagramm ein (Betrag und Phasengang)!

Zahlenwerte: $K = 2$; $T_1 = 2 \text{ s}$; $K_D = 0,1 \text{ s}$; $T_2 = 0,05 \text{ s}$

$$G = \frac{K}{1 + j\omega \cdot T_1} \cdot \frac{K_D \cdot j\omega}{1 + j\omega \cdot T_2}$$



Aufgabe 7 (13P)

Der angegebene Frequenzgang besteht aus 2 elementaren Übertragungselementen. Bestimmen Sie rechnerisch den Betrag ($|G_{\text{ges}}|$) und den Phasenwinkel (φ_{ges}) für $\omega = \sqrt{10} \text{ s}^{-1}$!

Zahlenwerte: $K = 2$; $T_1 = 2 \text{ s}$; $K_D = 0,1 \text{ s}$; $T_2 = 0,05 \text{ s}$

$$G = \frac{K}{1 + j\omega \cdot T_1} \cdot \frac{K_D \cdot j\omega}{1 + j\omega \cdot T_2}$$

Hilfestellungen:

$$\text{PT}_1: \tan(\varphi) = -\omega \cdot T_1 \qquad \text{DT}_1: \tan(\varphi) = \frac{1}{\omega \cdot T_2}$$

Betrag eines Bruches = Betrag des Zählers dividiert durch Betrag des Nenners

$$\text{Betrag} = \sqrt{(\text{Re})^2 + (\text{Im})^2}$$

Aufgabe 8 (13P)

Der Frequenzgang einer Regelstrecke lautet: $G_S = \frac{K_S}{(1 + j\omega \cdot T)^2}$

Zur Regelung wird ein PI-Regler verwendet. Bestimmen Sie mit dem Hurwitzverfahren die Bedingung für eine Reglereinstellung!

Ausgangspunkt: $G_W = \frac{G_R \cdot G_S}{1 + G_R \cdot G_S}$ mit $G_R = K_P \cdot (1 + \frac{1}{T_n \cdot j\omega}) \rightarrow \text{Ziel: } \frac{T}{T_n} < \dots$

Hilfestellung: $a_1 \cdot a_2 > a_0 \cdot a_3$

Regelungstechnik SS 2025
 Prof. Dr. Wolfgang Kröber

Zur Bewertung der Aufgaben muss der gesamte Lösungsweg ersichtlich sein.

- Bearbeitungszeit : 90 min
- Erlaubte Hilfsmittel :
 - selbstständige Lösung
 - keine internetfähigen Geräte
 - keine weiteren Einschränkungen

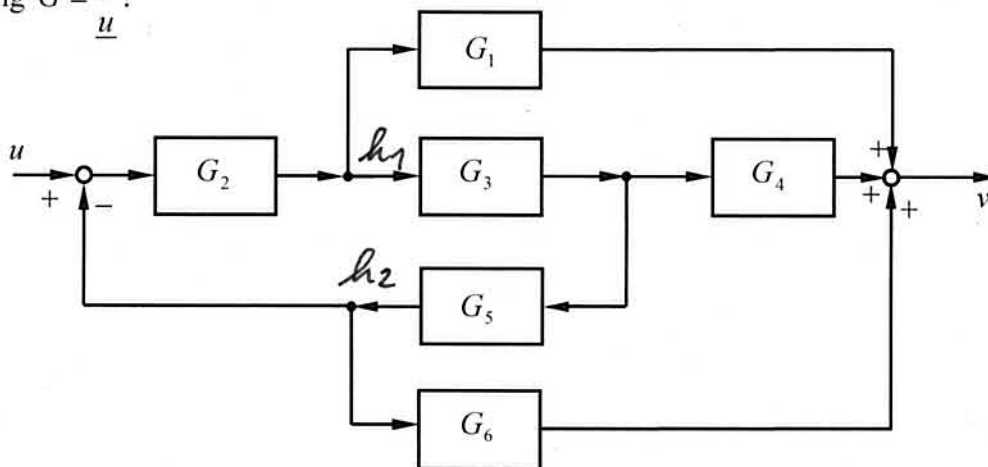
Note : _____

Aufgabe	erreichte Punkte
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
Summe	

Aufgabe 1 (12P)

Bestimmen Sie durch Einführen von Hilfsgrößen für den abgebildeten Regelkreis den

Frequenzgang $G = \frac{v}{u}$!



$$h_1 = G_2(u - h_2) \quad h_2 = G_3 \cdot G_5 \cdot h_1 \quad v = G_1 \cdot h_1 + G_3 G_4 \cdot h_1 + G_6 h_2$$

1. Schritt h_2 einsetzen (eliminieren)

$$h_1 = G_2(u - G_3 G_5 \cdot h_1)$$

linke Gleichung nach h_1 auflösen und rechts einsetzen:

$$h_1(1 + G_2 G_3 G_5) = G_2 \cdot u$$

$$h_1 = \frac{G_2 \cdot u}{1 + G_2 G_3 G_5}$$

$$v = G_1 h_1 + G_3 G_4 h_1 + G_6 G_3 G_5 \cdot h_1$$

$$v = (G_1 + G_3 G_4 + G_6 G_3 G_5) h_1$$

$$v = (G_1 + G_3 G_4 + G_6 G_3 G_5) \frac{G_2 \cdot u}{1 + G_2 G_3 G_5}$$

$$\frac{v}{u} = \frac{u}{u} = \frac{G_2 (G_1 + G_3 G_4 + G_6 G_3 G_5)}{1 + G_2 G_3 G_5}$$

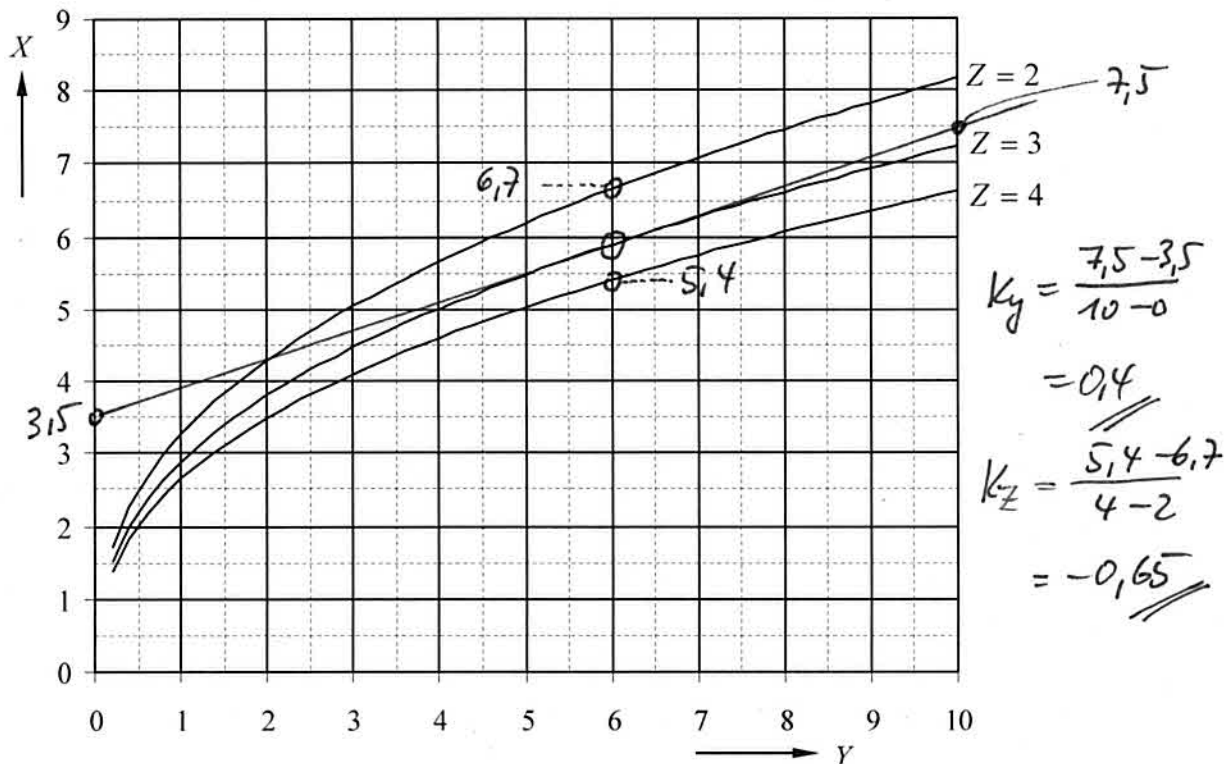
Aufgabe 2 (12P)

Bei der Entwicklung eines sogenannten "Tempomates" in einem PKW wird die erzielte Fahrgeschwindigkeit (hier Regelgröße X) in Abhängigkeit der Stellung des Gaspedals (hier Stellgröße Y) aufgetragen. Der Anstiegswinkel bzw. die Steigung der Straße wirkt als Störgröße, hier mit $Z = 2$, $Z = 3$ und $Z = 4$ bezeichnet.

Formelmäßig wird folgender Zusammenhang zugrunde gelegt:

$$X = 4 \cdot Y^{0,4} \cdot Z^{-0,3}$$

Dieses Verhalten (diese Funktion) ist auch in der Graphik dargestellt.



Als Arbeitspunkt soll $Y = Y_A = 6$ und $Z = Z_A = 3$ untersucht werden.

a. In dem Ansatz $x = K_Y \cdot y + K_Z \cdot z$ sollen die Parameter $K_Y = \frac{\Delta X}{\Delta Y}|_A$ und $K_Z = \frac{\Delta X}{\Delta Z}|_A$ aus der Graphik ermittelt werden. Bemerkung: Die Parameter können hier auch negativ sein.

b. Bestimmen Sie K_Y und K_Z durch Bildung der entsprechenden partiellen Ableitungen!

Hilfestellungen: $K_Y = \frac{\partial X}{\partial Y}|_A = \dots$ und $K_Z = \frac{\partial X}{\partial Z}|_A = \dots$

Hilfestellung aus der Mathematik: $\frac{d}{dx}(x^n) = n \cdot x^{n-1}$

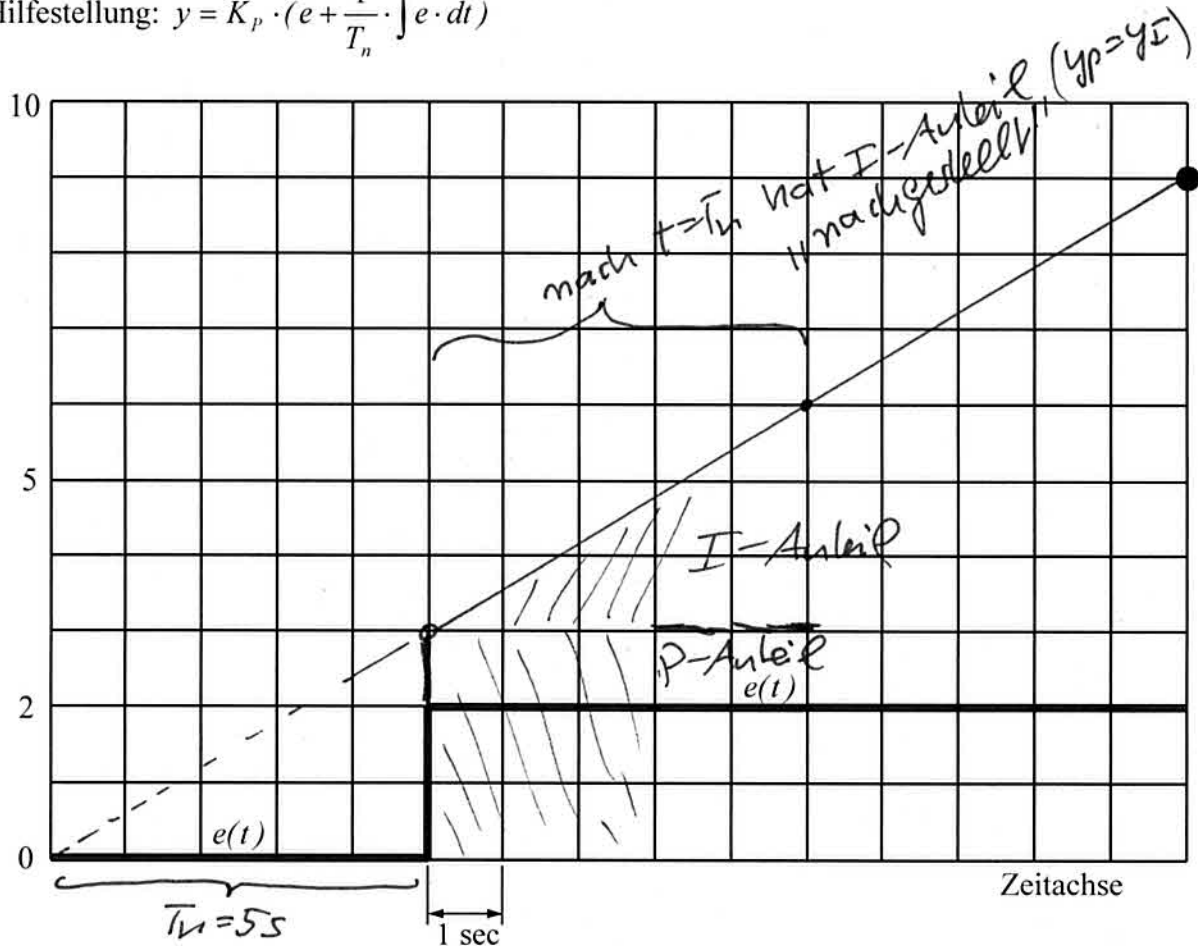
$$K_Y = \frac{\partial X}{\partial Y}|_A = 4 \cdot 0,4 \cdot Y_A^{-0,6} \cdot Z_A^{-0,3} = 4 \cdot 0,4 \cdot 6^{-0,6} \cdot 3^{-0,3} = 0,3927$$

$$K_Z = \frac{\partial X}{\partial Z}|_A = 4 \cdot Y_A^{0,4} \cdot (-0,3) \cdot Z_A^{-1,3} = 4 \cdot 6^{0,4} \cdot (-0,3) \cdot 3^{-1,3} = -0,5891$$

Aufgabe 3 (12P)

In der Abbildung ist die sprunghörmige Veränderung der Regeldifferenz eingetragen. Es soll die Sprungantwort eines PI-Reglers untersucht werden. Zu Beginn der Beobachtung ist die Stellgröße $y = 0$ (ist nicht eingetragen). Der Wert der Proportionalverstärkung beträgt $K_p = 1,5$. Wie groß muss die Nachstellzeit sein, damit der Kurvenverlauf der Stellgröße genau durch den schwarzen Punkt (in der Abbildung rechts oben der schwarze Punkt) geht?

Hilfestellung: $y = K_p \cdot \left(e + \frac{1}{T_n} \cdot \int e \cdot dt \right)$



$$y = K_p \left(e + \frac{1}{T_n} \int e dt \right); e = e_0 (=2)$$

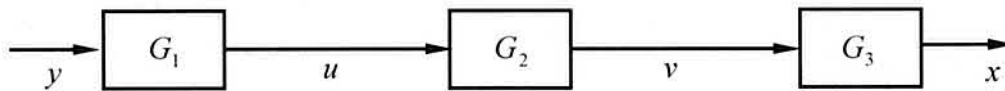
$$y = K_p \left(e_0 + \frac{1}{T_n} e_0 \cdot \Delta t \right); \Delta t = 10s$$

$$y = 1,5 \left(2 + \frac{1}{T_n} \cdot 2 \cdot 10s \right) \Rightarrow \text{Auflösen nach } T_n \dots T_n = 5s$$

Zusatz y -Verlauf eingezeichnet, T_n graphisch ersichtliche

Aufgabe 4 (12P)

Eine Regelstrecke besteht aus einem I-Glied (G_1) einer Totzeit (G_2) und einem PT_1 -Glied (G_3).



$$u_{i+1} = u_i + K_I \cdot \Delta t \cdot y_i$$

$$v_i = u_{i-3}$$

$$x_{i+1} = x_i \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right) + K \cdot \frac{\Delta t}{T} \cdot v_i$$

Zahlenwerte: $\Delta t = 0,1$ s; $K_I = 0,5$ s⁻¹; $T = 1$ s; $K = 2$

3 Zeitschritte mal $\Delta t = 0,1$ s $\Rightarrow T_t = 0,3$ s

Berechnen bzw. ergänzen Sie die in der Tabelle fehlenden Werte (es sind einige Nullen dabei)!
Weshalb muss die Totzeit 0,3s betragen?

i	0	1	2	3	4	5	6	7
y_i	0	1	1	1	1	1	1	1
u_i	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
v_i	0	0	0	0	0	0,05	0,1	0,15
x_i	0	0	0	0	0	0	0,01	0,029

I-Glied: $u_2 = u_1 + K_I \cdot \Delta t \cdot y_1 = u_1 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot y_1 = u_1 + 0,05 \cdot y_1$
 $= 0 + 0,05 \cdot 1 = 0,05$

dann steigt u_i bei jedem Schritt um 0,05

Totzeit: Verschiebung um 3 Zellen nach rechts

PT_1 : $i = 4$ $x_5 = x_4 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right) + K \cdot \frac{\Delta t}{T} \cdot v_4$

$$x_5 = 0 \left(1 - \frac{0,1}{1}\right) + 2 \cdot \frac{0,1}{1} \cdot 0 = 0$$

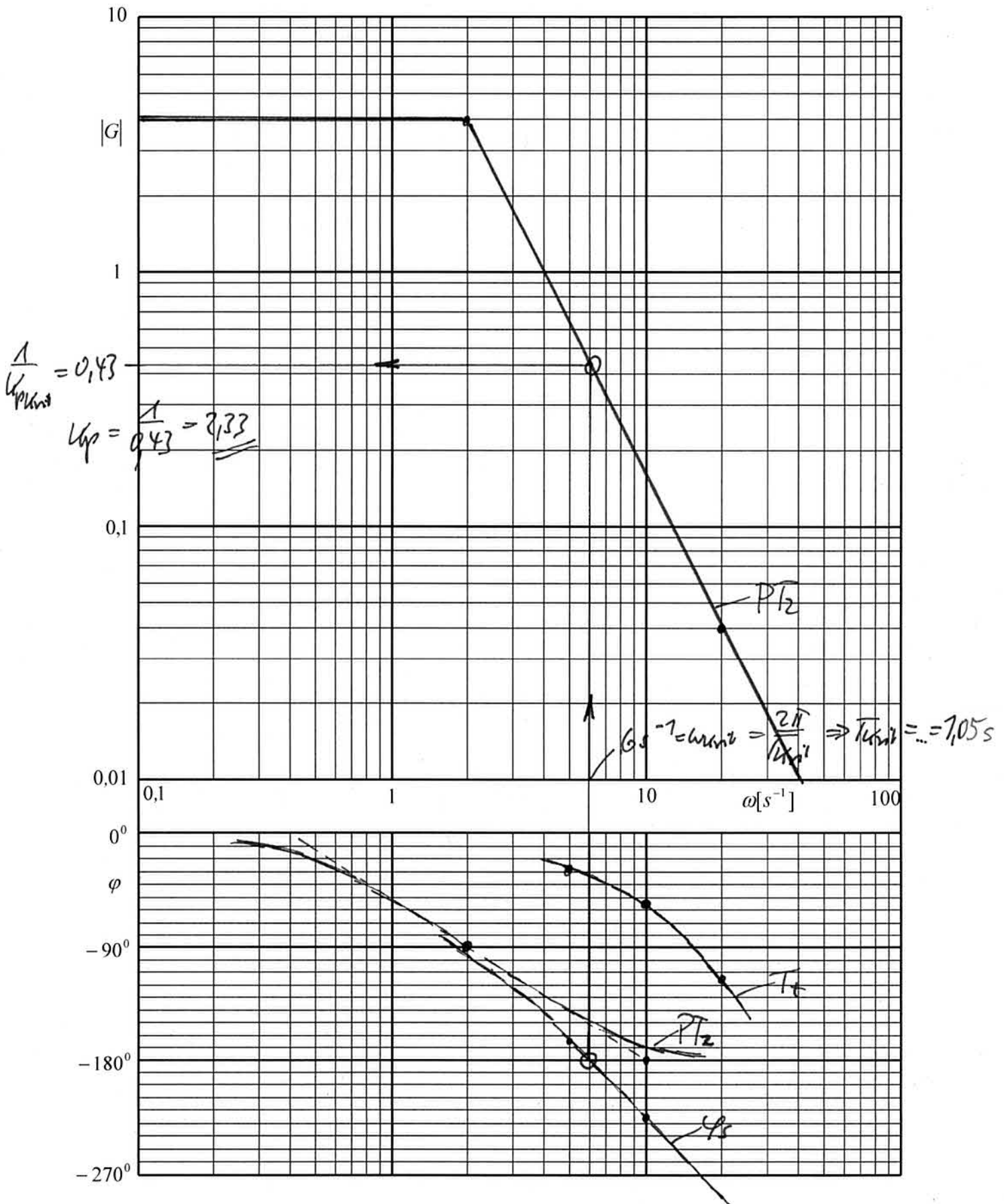
$$x_6 = x_5 \cdot 0,9 + 0,2 \cdot v_5 = 0 \cdot 0,9 + 0,2 \cdot 0,05 = 0,01$$

$$x_7 = x_6 \cdot 0,9 + 0,2 \cdot v_6 = 0,01 \cdot 0,9 + 0,2 \cdot 0,1 = 0,029$$

Aufgabe 5 (13P)

Eine Regelstrecke besteht aus dem angegebenen Frequenzgang. Tragen Sie die Regelstrecke ins Bode-Diagramm ein und bestimmen Sie $K_{p \text{ krit}}$ und T_{krit} !

$$G_{\text{Strecke}} = \frac{K_S}{(1+j\omega T)^2} \cdot e^{-j\omega T_t} \quad \text{Geg.: } K_S = 4; T = 0,5 \text{ s}; T_t = 0,1 \text{ s}$$

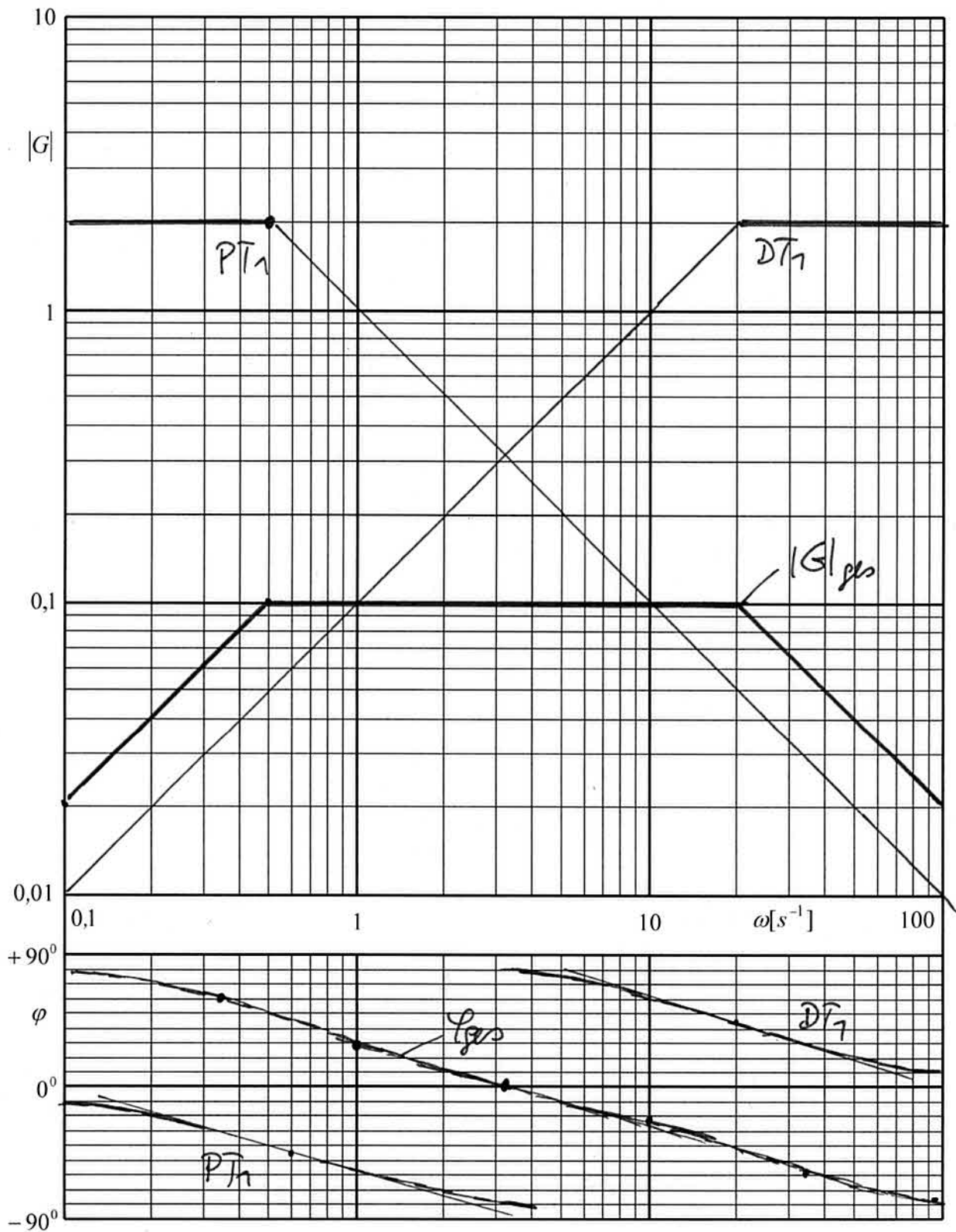


Aufgabe 6 (13P)

Der angegebene Frequenzgang besteht aus 2 elementaren Übertragungselementen. Tragen Sie die beiden Übertragungselemente und den Gesamtfrequenzgang ins Bode-Diagramm ein (Betrag und Phasengang)!

Zahlenwerte: $K = 2$; $T_1 = 2$ s; $K_D = 0,1$ s; $T_2 = 0,05$ s

$$G = \frac{K}{1 + j\omega \cdot T_1} \cdot \frac{K_D \cdot j\omega}{1 + j\omega \cdot T_2}$$



Ausgabe 7 (13P)

Der angegebene Frequenzgang besteht aus 2 elementaren Übertragungselementen. Bestimmen Sie rechnerisch den Betrag ($|G_{\text{ges}}|$) und den Phasenwinkel (φ_{ges}) für $\omega = \sqrt{10} \text{ s}^{-1}$!

Zahlenwerte: $K = 2$; $T_1 = 2 \text{ s}$; $K_D = 0,1 \text{ s}$; $T_2 = 0,05 \text{ s}$

$$G = \frac{K}{1 + j\omega \cdot T_1} \cdot \frac{K_D \cdot j\omega}{1 + j\omega \cdot T_2}$$

Hilfestellungen:

$$\text{PT}_1: \tan(\varphi) = -\omega \cdot T_1 \qquad \text{DT}_1: \tan(\varphi) = \frac{1}{\omega \cdot T_2}$$

Betrag eines Bruches = Betrag des Zählers dividiert durch Betrag des Nenners

$$\text{Betrag} = \sqrt{(\text{Re})^2 + (\text{Im})^2}$$

Aufgabe 8 (13P)

Der Frequenzgang einer Regelstrecke lautet: $G_S = \frac{K_S}{(1 + j\omega \cdot T)^2}$

Zur Regelung wird ein PI-Regler verwendet. Bestimmen Sie mit dem Hurwitzverfahren die Bedingung für eine Reglereinstellung!

Ausgangspunkt: $G_W = \frac{G_R \cdot G_S}{1 + G_R \cdot G_S}$ mit $G_R = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_n \cdot j\omega}\right)$ $\rightarrow$ Ziel: $\frac{T}{T_n} < \dots$

Hilfestellung: $a_1 \cdot a_2 > a_0 \cdot a_3$

Prüfung Regelungstechnik 07.07.2025

$$\text{zu 7) } |G| = \frac{K}{\sqrt{1+(\omega T_1)^2}} \cdot \frac{K_D \omega}{\sqrt{1+(\omega T_2)^2}} = \frac{2}{\underbrace{\sqrt{1+(1/10 \cdot 2)^2}}_{0,31235}} \cdot \frac{0,1 \cdot \sqrt{10}}{\underbrace{\sqrt{1+(1/10 \cdot 0,05)^2}}_{0,31235}}$$

$$= 0,03756 \quad (= \frac{4}{107})$$

$$\left. \begin{aligned} \tan \varphi_{PT_1} &= -\omega T_1 = -1/10 \cdot 2 \Rightarrow \varphi_{PT_1} = -81,015^\circ \\ \tan \varphi_{DT_2} &= \frac{1}{\omega T_2} = \frac{1}{1/10 \cdot 0,05} \Rightarrow \varphi_{DT_2} = +81,015^\circ \end{aligned} \right\} \varphi_{PT_1} = \varphi_{DT_2} = \dots = 0^\circ$$

$$\text{zu 8) } G_w = \frac{K_p(1 + \frac{1}{T_n s}) \cdot \frac{K_s}{(1+j\omega T)^2}}{1 + K_p(1 + \frac{1}{T_n s}) \cdot \frac{K_s}{(1+j\omega T)^2}} \cdot \frac{T_n j\omega}{T_n j\omega} \cdot \frac{(1+j\omega T)^2}{(1+j\omega T)^2}$$

$$= \frac{K_p(T_n j\omega + 1) \cdot K_s}{T_n(j\omega)(1+j\omega T)^2 + K_p(T_n j\omega + 1) \cdot K_s}$$

$$= \frac{\overset{\infty}{K_p(T_n j\omega + 1) \cdot K_s}}{T_n(j\omega)(1+2j\omega T + (j\omega)^2 T^2) + K_p(T_n j\omega + 1) \cdot K_s}$$

$$= \frac{\overset{\infty}{K_p(T_n j\omega + 1) \cdot K_s}}{T_n(j\omega) + \underbrace{2T_n T(j\omega)^2}_{a_2} + \underbrace{T_n T^2(j\omega)^3}_{a_3} + K_p K_s T_n j\omega + \underbrace{K_p K_s}_{a_0}}$$

$$a_0 = K_p K_s$$

$$a_1 = T_n(1 + K_p K_s)$$

$$a_2 = 2T_n T$$

$$a_3 = T_n T^2$$

$$1. \text{ Bed. } a_i > 0 \Rightarrow \text{erfüllt}$$

$$a_1 a_2 > a_0 a_3$$

$$T_n(1 + K_p K_s) 2T_n T > K_p K_s \cdot T_n T^2$$

$$\frac{(1 + K_p K_s)^2}{K_p K_s} > \frac{T}{T_n}$$

$$\text{bzw. } \frac{T}{T_n} < \frac{2(1 + K_p K_s)}{K_p K_s}$$