

# Skript Studierende zur Vorlesung Regeltechnik

**Prof. Dipl.-Ing. Peter F. Orłowski**  
Fachbereich ME



## Literaturhinweise

1. Mann/Schiffelgen: Einführung in die Regelungstechnik.  
Hanser, München.
2. Reuter, M.: Regelungstechnik für Ingenieure.  
Vieweg, Braunschweig.
3. Gassmann, H.: Einführung in die Regelungstechnik.  
Harri Deutsch, Frankfurt.
4. Töpfer/Besch: Grundlagen der Automatisierungstechnik - Steuerungs- und  
Regelungstechnik für Ingenieure. Hanser, München.
5. Orłowski, P. F.: Praktische Regeltechnik.  
Springer, 10. Aufl. Heidelberg 2013.  
Simulation Regeltechnik mit  
**SIMLER-PC 6.0 als Download unter: [www.prof-orłowski.jimdo.com](http://www.prof-orłowski.jimdo.com)**
6. Orłowski, P. F.: Praktische Elektronik.  
Springer, 1. Aufl., Heidelberg 2013.
  
7. Orłowski, P. F.: Wisse Vollendung nach den Wurzeln der Heilung.  
diagonal, Marburg 2007.  
**(Ausschnitt am Ende des Skriptes)**  
**(kostenloser Download unter: [www.prof-orłowski.jimdo.com/religions-philosophie](http://www.prof-orłowski.jimdo.com/religions-philosophie))**

**Ausdrucken des letzten Blattes (Formblatt BODE-Diagramm)  
für die Übungen 4.1 - 4.5 und die Klausur !!**

Name	Gleichung bzw. Differentialgleichg.	Sprungantwort $x_a(t)$	Übertragungsfunktion $F(p) = x_a(p) / x_e =$
<b>P</b>	$x_a = K_p \cdot x_e$		$K_p$
<b>I</b>	$x_a = \frac{1}{T_i} \int_0^t x_e dt$		$\frac{1}{p T_i}$
<b>D</b>	$x_a = T_D \frac{dx_e}{dt}$		$p T_D$
<b>PI</b>	$x_a = K_R (x_e + \frac{1}{T_N} \int_0^t x_e dt)$		$K_R \frac{1+p T_N}{p T_N}$
<b>PD</b>	$x_a = K_R (x_e + T_V \frac{dx_e}{dt})$		$K_R (1+p T_V)$
<b>PID</b>	$x_a = K_R (x_e + \frac{1}{T_N} \int_0^t x_e dt + T_V \frac{dx_e}{dt})$		$K_R \frac{(1+p T_N)(1+p T_V)}{p T_N}$ für $T_N \quad T_V$
<b>PT1</b>	$x_a + T_1 \frac{dx_a}{dt} = K_p \cdot x_e$		$K_p \frac{1}{1+p T_1}$
<b>PT2</b>	$x_a + 2d T_2 \frac{dx_a}{dt} + T_2^2 \frac{d^2 x_a}{dt^2} = K_p x_e$		$K_p \frac{1}{1+2dp T_2+p^2 T_2^2}$
<b>PTn</b>	$a_0 x_a + a_1 \dot{x}_a + \dots + a_n x_a^{(n)} = K_p x_e$		$\prod_{i=1}^n \frac{K_{pi}}{1+p T_i}$
<b>PTt</b>	$x_a = K_p \cdot x_e (t - T_t)$		$K_p \cdot e^{-p T_t}$
<b>PTa</b>	$x_a + T_a \frac{dx_a}{dt} = K_p (x_e - T_a \frac{dx_e}{dt})$		$K_p \frac{1-p T_a}{1+p T_a}$

Vergrößerte Tabelle 3.1 aus dem Regeltechnikbuch (Seiten 61 - 63)

Frequenzgang $F(j\omega) = x_a(j\omega) / x_e =$	Frequenzgangbetrag $ F(j\omega)  =$
$K_p$	$K_p$
$-j \frac{1}{\omega T_i}$	$\frac{1}{\omega T_i}$
$j\omega T_D$	$\omega T_D$
$K_R \left(1 + j \frac{-1}{\omega T_N}\right)$	$K_R \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 T_N^2}}$
$K_R (1 + j\omega T_V)$	$K_R \cdot \sqrt{1 + \omega^2 T_V^2}$
$K_R \left[1 + j\left(\omega T_V - \frac{1}{\omega T_N}\right)\right]$	$K_R \cdot \sqrt{1 + \left(\omega T_V - \frac{1}{\omega T_N}\right)^2}$
$K_p \frac{1 - j\omega T_1}{1 + \omega^2 T_1^2}$	$K_p \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T_1^2}}$
$K_p \frac{1 - \omega^2 T_2^2 - j2d\omega T_2}{(1 - \omega^2 T_2^2)^2 + 4d^2\omega^2 T_2^2}$	$K_p \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 T_2^2)^2 + 4d^2\omega^2 T_2^2}}$
—	—
$K_p (\cos \omega T_t - j \sin \omega T_t)$	$K_p$
$K_p \frac{1 - \omega^2 T_a^2 - j2\omega T_a}{1 + \omega^2 T_a^2}$	$K_p$

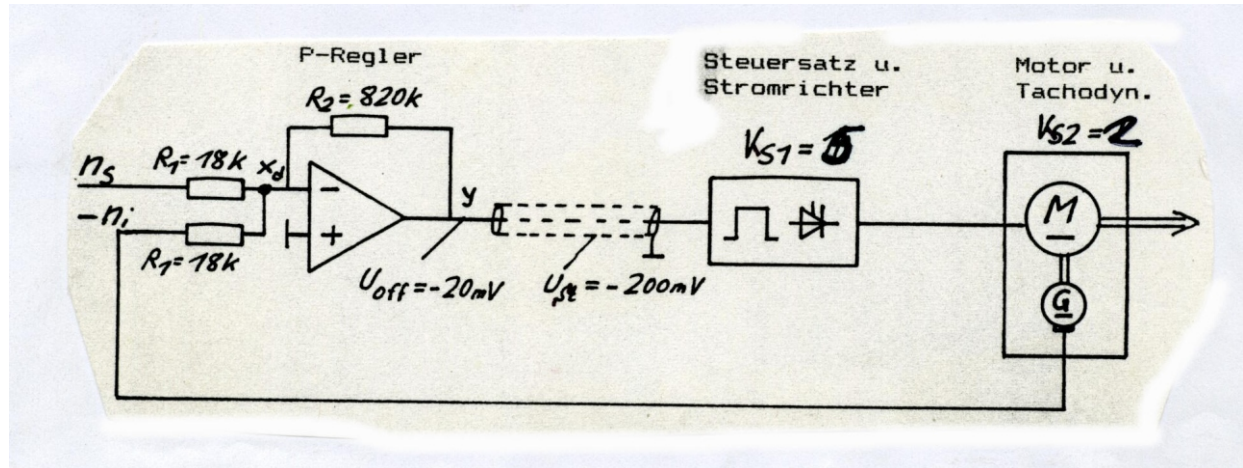
Darstellung $ F(j\omega)  / \text{dB}$	Phasenwinkel		Ortskurve
	Gleichung $\varphi =$	Darstellung	
	$0^\circ$		
	$-90^\circ$		
	$+90^\circ$		
	$-\arctan \frac{1}{\omega T_N}$		
	$\arctan \omega T_V$		
	$\arctan (\omega T_V - \frac{1}{\omega T_N})$		
	$-\arctan \omega T_1$		
	$-\arctan \frac{2d\omega T_2}{1 - \omega^2 T_2^2}$		
	—	—	
	$-\frac{\omega T_t \cdot 180^\circ}{\pi}$		
	$-\arctan \frac{2\omega T_a}{1 - \omega^2 T_a^2}$		

$k$ :  $20 \text{lg } K_R$  bzw.  $20 \text{lg } K_S$  oder allgemein  $20 \text{lg } K_p$   
 $m1$ :  $-20 \text{dB/Dekade}$        $m2$ :  $+20 \text{dB/Dekade}$

## RT-Ü 1.1

Der folgende Wirkschaltplan stellt eine **stark vereinfachte** Drehzahlregelung für einen GS-Motor dar. Auf den Regelkreis wirken zwei Störgrößen ein, am Reglerausgang die Verstärker-Offsetspannung  $U_{off}$  und auf die Übertragungsleitung zum Stromrichter eine induktiv eingekoppelte (konst. angenommene) Störspannung  $U_{st}$ .

Es ist der Blockschaltplan zu entwerfen und die Regeldifferenz  $x_d/V$  sowie  $x_d$  in U/min auszurechnen ( $n_s=400/\text{min} \wedge 4V$ ).



RT-Ü 1.2 (entspricht Aufg. 2.1 Seite 16, 17 u. 405 im Regeltechnikbuch)

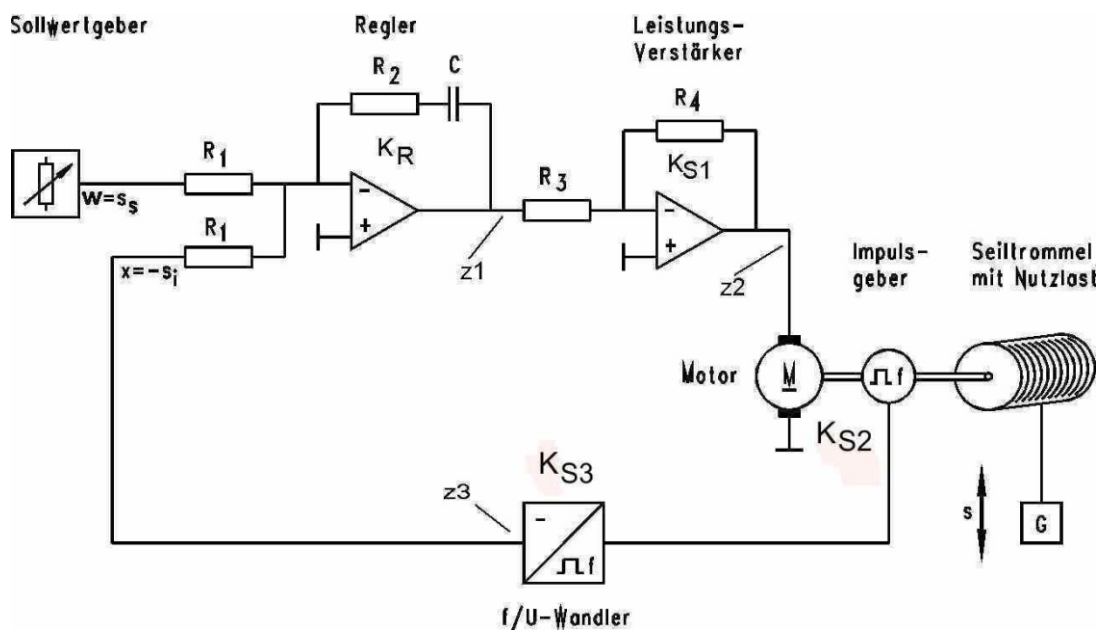
**Mit den Kenntnissen aus RT-Ü 1.1 selbst durchrechnen.**

RT-Ü 1.3 (ähnlich Aufgabe 2.2 Seite 17 u. 406 im Regeltechnikkbuch)

Positionsregelung. Regler und Leistungsverstärker mit Offsetspannung von  $z_1=z_2=20\text{mV}$ . Der f/U-Wandler mit Umsetzfehler  $z_3=30\text{mV}$ .

geg.:  $K_R = \frac{R_2}{R_1} = 10$  / ;  $K_{S1} = \frac{R_4}{R_3} = 20$  /  $s_2 = 2 \text{ Imp./V}$  (Motor + Impulsgeber);  
 $K_{S3} = 1 \text{ V/Imp.}$  (Frequenz-Spannungswandler);  $w = 10\text{V} \wedge 4\text{m}$ .

ges.: Blockschaltbild der Positionsregelung sowie  $x_d/\text{V}$  und  $x_d/\text{m}$ .





RT-Ü 2.1

Es ist die Differentialgleichung  $\ddot{x}_a + 2b\dot{x}_a + b^2x_a = \dot{x}_e$  gegeben.  
ges.:  $F(p)$ ,  $f(t)$ ,  $|F(j\omega)|$

RT-Ü 2.2

Es ist die Differentialgleichung  $\ddot{x}_a + 2k\dot{x}_a + \omega_0^2 x_a = 3 \dot{x}_e$  für  $\omega_0 > k$  gegeben.  
ges.:  $F(p)$ ,  $f(t)$ ,  $|F(j\omega)|$

RT-Ü 2.3 (Schaltung aus Aufgabe 2.9 Seite 50 und 413 im RT-Buch)

Ein Operationsverstärker hat im Eingang und der Gegenkopplung je ein R-C-Netzwerk.

geg.:  $R_1, R_2, C_1, C_2$  und  $U_e(t) = \textit{konst.}$

ges.:  $F(p), |F(j\omega)|, \text{Graph } |F(j\omega)|/\text{dB}$

# Handhabung von SIMLER-PC

(RT-Buch S. 354 oder vom Download *Simler-PC-Anleitung.PDF*)

## Installation und Start:

Simler-PC\*.ZIP downloaden und entpacken.

Nach Installation Programm starten aus:

Startmenü Programme Simler PC Simler PC 6.0

oder doppelklick auf ICON Simler PC



## Grafik auffinden und Drucken:

Mit Strg+F5 oder AltGr+Druck wird die Bildschirmgrafik abgelegt

im Ordner: *SimlerPC/ DOSBOX / capture*

im Startmenü: *Programme / Simler PC/ Screenshots*

Grafik in irgend ein "Malprogramm" einfügen und ausdrucken.

## Für Vollbild oder Fensterdarstellung von SIMLER-PC

Simler-PC-Anleitung60.PDF lesen

bzw.

mit Alt+Enter zwischen Vollbild und Fensterdarstellung umschalten.

### Hilfe bei der Parameter-Eingabe:

$$F_R(p) = K_R \left( 1 + \frac{1}{pT_N} + pT_V \right) \quad \text{PID-Regler}$$

mit  $T_V=0$  folgt

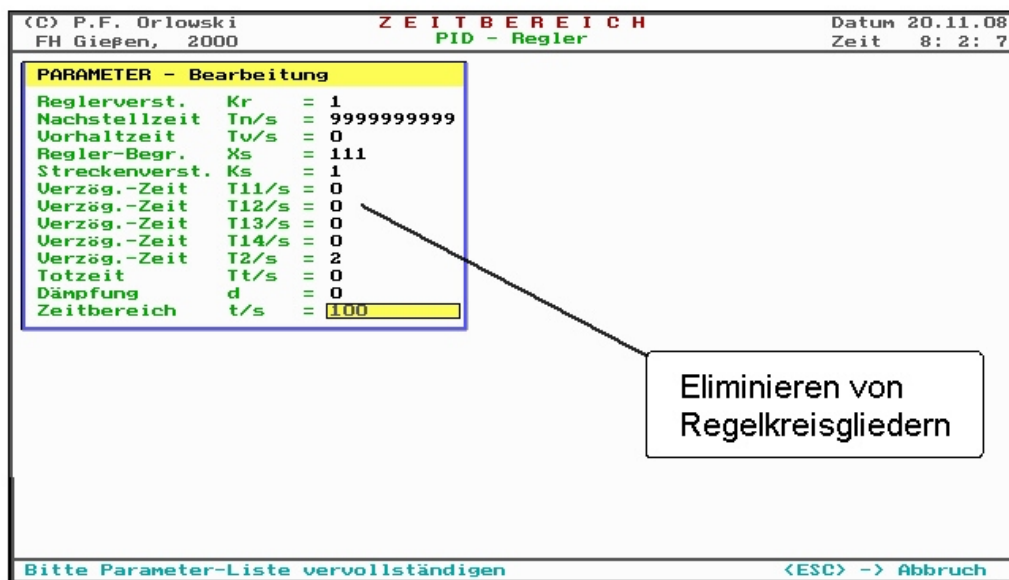
$$F_R(p) = K_R \left( 1 + \frac{1}{pT_N} \right) \quad \text{PI-Regler}$$

mit  $T_N$  (Finger auf der 9) folgt

$$F_R(p) = K_R (1 + pT_V) \quad \text{PD-Regler}$$

mit  $T_V=0, T_N$  folgt

$$F_R(p) = K_R \quad \text{P-Regler}$$



### Eliminieren von $PT_1$ -Gliedern:

$$F_S(p) = K_S \frac{1}{1 + pT_{11}}$$

Setzt man  $T_{11}=0$ , verschwindet das  $PT_1$ -Glied

### Eliminieren von $PT_2$ -Gliedern:

$$F_S(p) = K_S \frac{1}{1 + 2d pT_2 + p^2 T_2^2}$$

Setzt man  $T_2=0$ , verschwindet das  $PT_2$ -Glied

### Eliminieren des $PT_t$ -Gliedes:

$$F_S(p) = K_S e^{-pT_t}$$

Setzt man  $T_t=0$ , verschwindet das  $PT_t$ -Glied

## RT-Ü 3.1

Es ist eine  $PT_1$ - $PT_1$ -Strecke gegeben, für die ein PI-Regler eingesetzt werden soll.

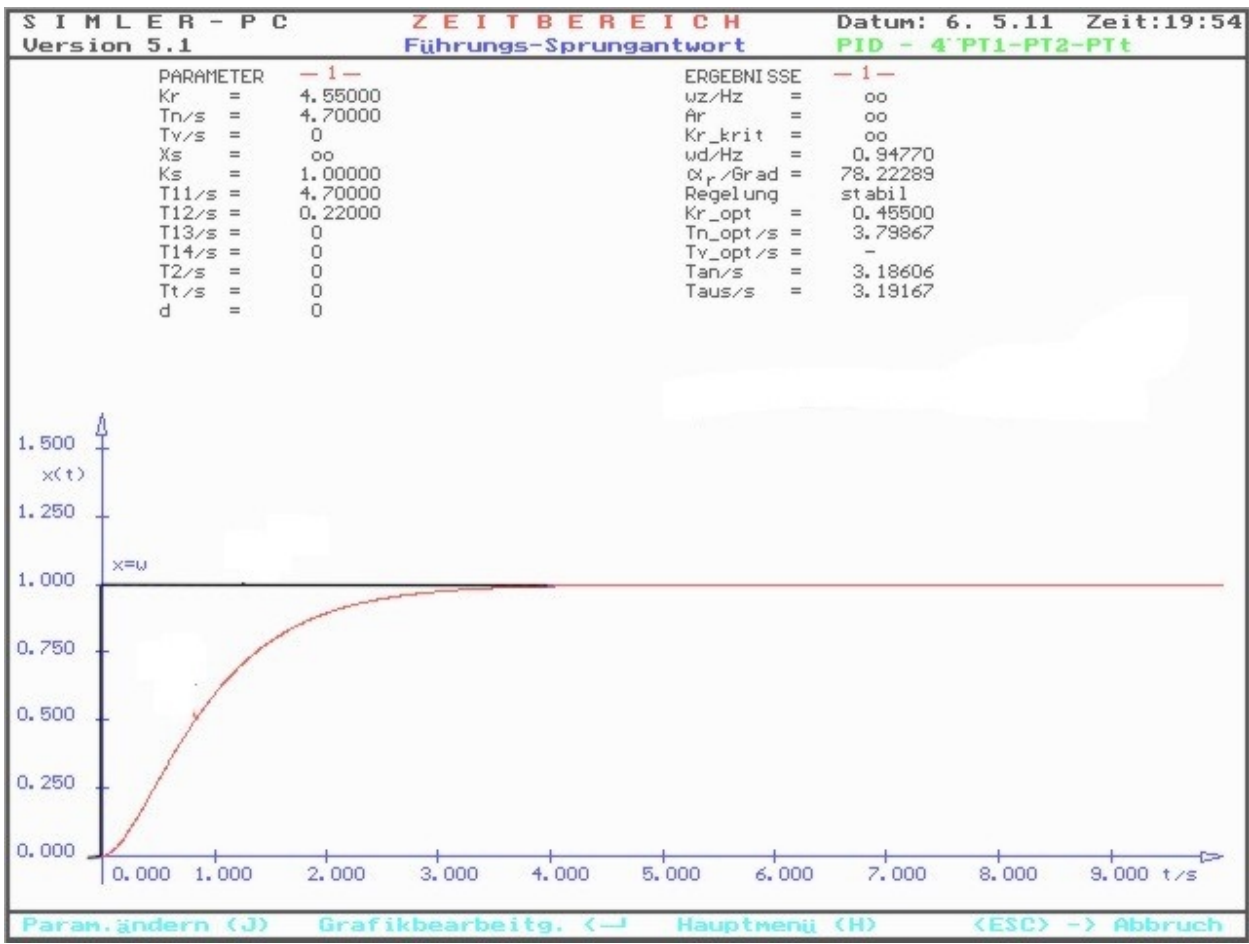
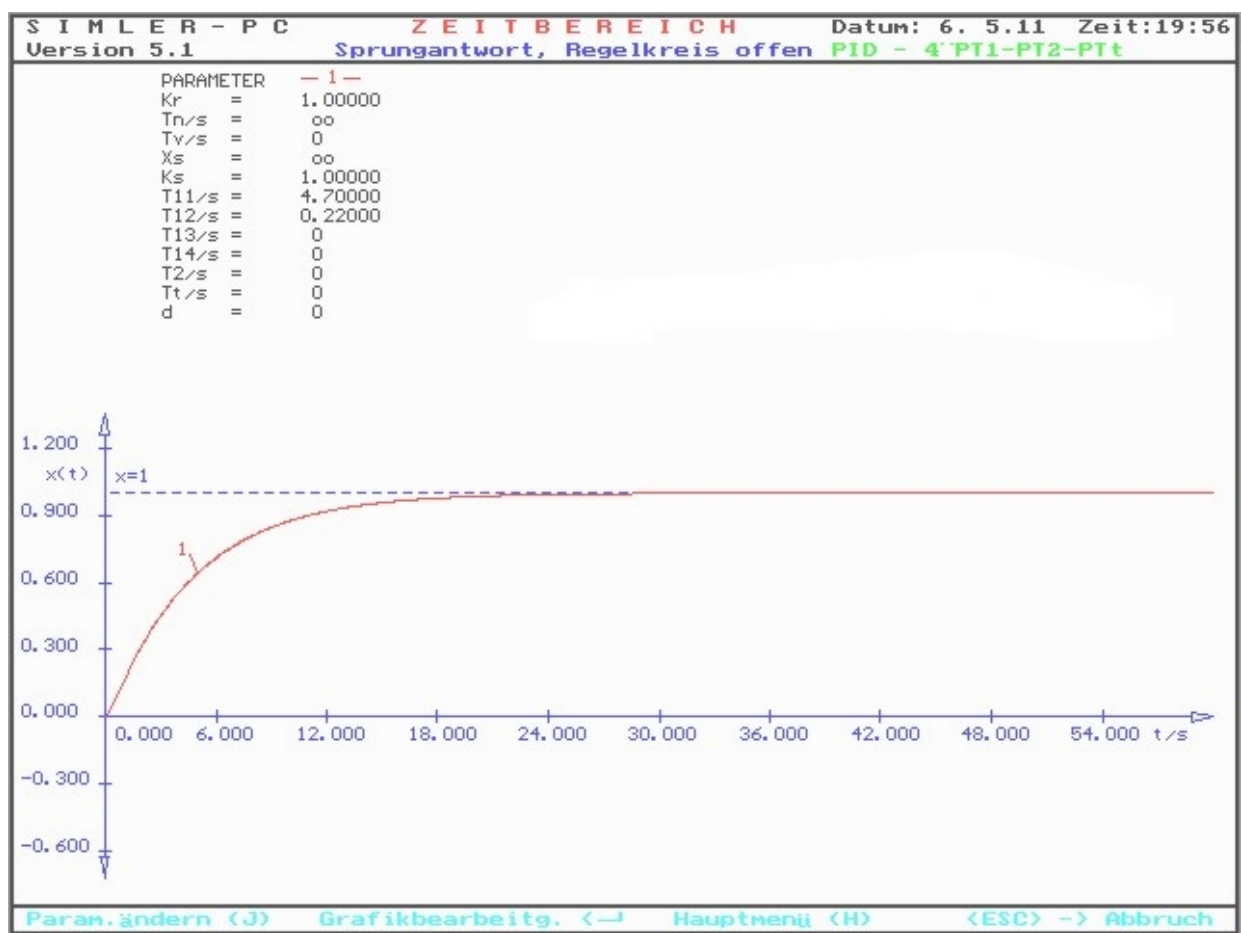
Regler-Beschaltung mit  $R_1 = 220k$  ,  $R_2 = 1M$  ,  $C_1 = 4,7$  F

Strecke (als OP-Schaltung simuliert) mit:

$R_3=R_4=1M$  ,  $C_2 = 4,7$  F für die erste  $PT_1$ -Strecke,

$R_5=R_6=100k$  ,  $C_3 = 2,2$  F für die zweite  $PT_1$ -Strecke.

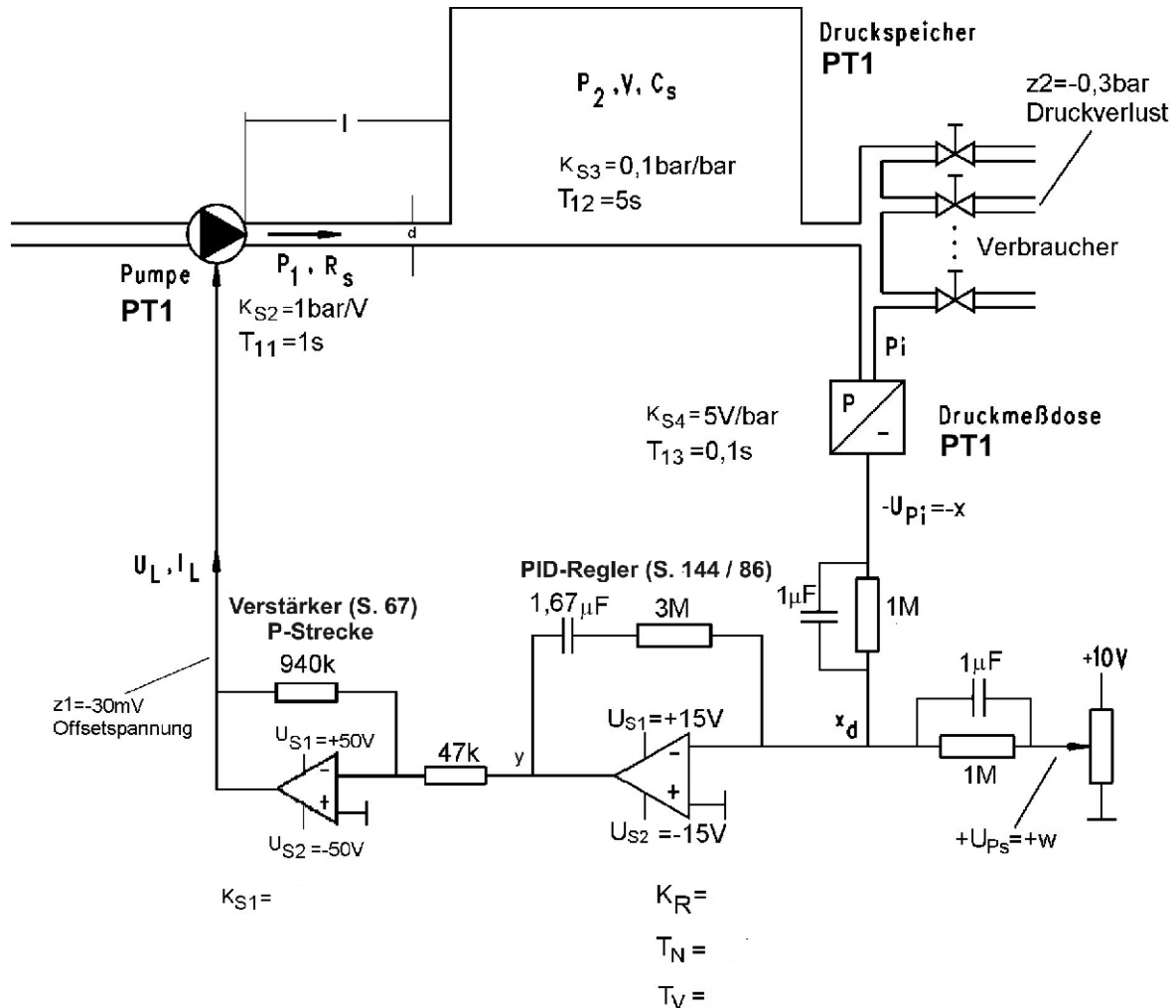
1. Zeichnen Sie das Blockschaltbild der Regelung ( $F(p)$ -Formeln aus dem Faltblatt in die Blocks schreiben).
2. Zeichnen Sie den Wirkschaltplan als OP-Schaltung.
3. Stellen Sie die Übertragungsfunktion  $F_o(p)$  (s.S 48) des offenen Regelkreises auf (Formeln aus dem Faltblatt).
4. Ermitteln Sie die Führungs-Übertragungsfunktion  $F_w(p)$  des geschlossenen Regelkreises für  $T_N=T_{11}$  .  
Vergleichen Sie das Ergebnis mit Gleichung 2.5 auf Seite 12.
5. Geben Sie mit Hilfe von SIMLER-PC die Sprungantwort der unregulierten Strecke sowie die des geschlossenen Regelkreises für  $T_N=T_{11}$  an.



RT-Ü 3.2

Die Druck-Regelung einer Preßluftstation soll im Zeitbereich untersucht werden (ohne Störgrößeneinfluß).

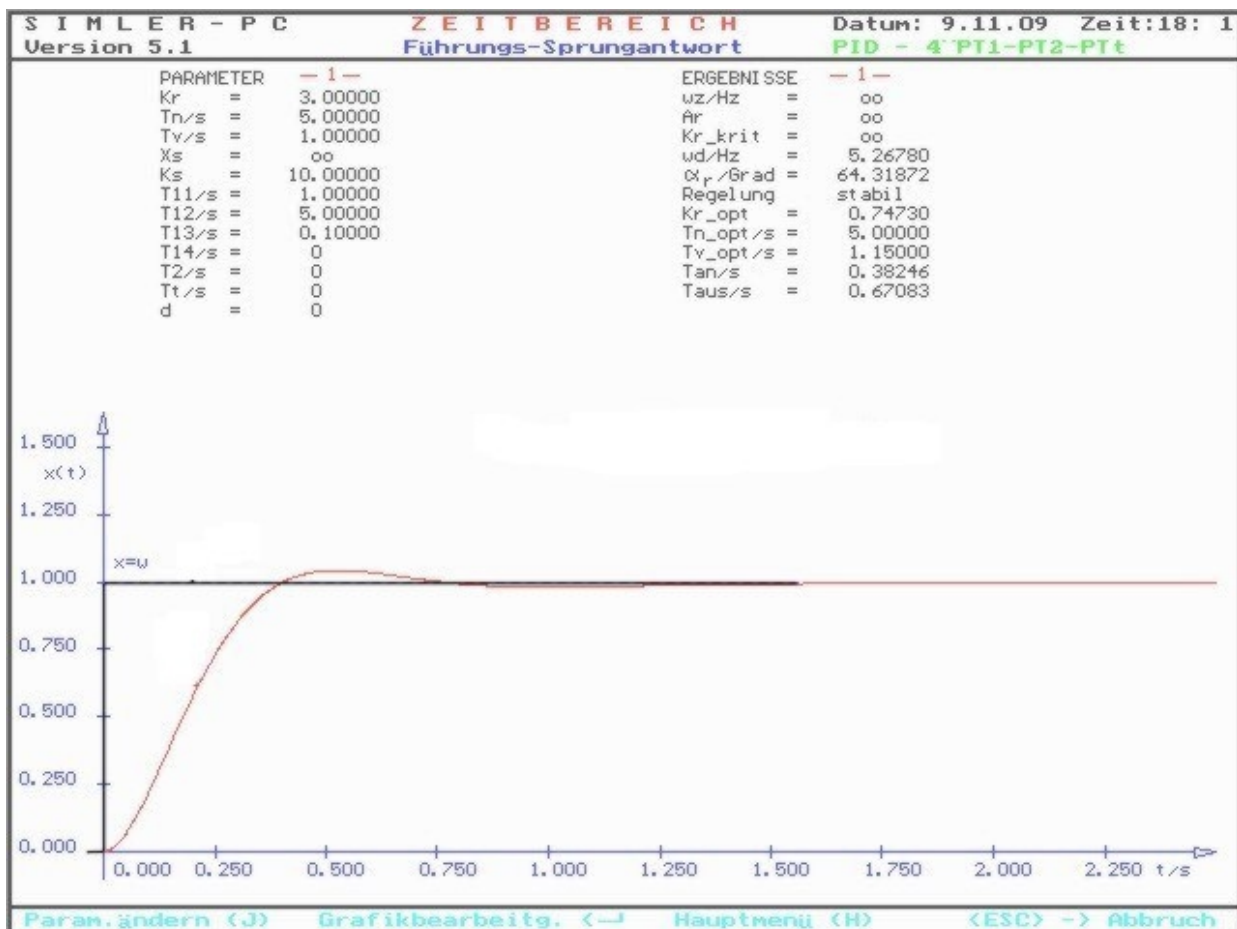
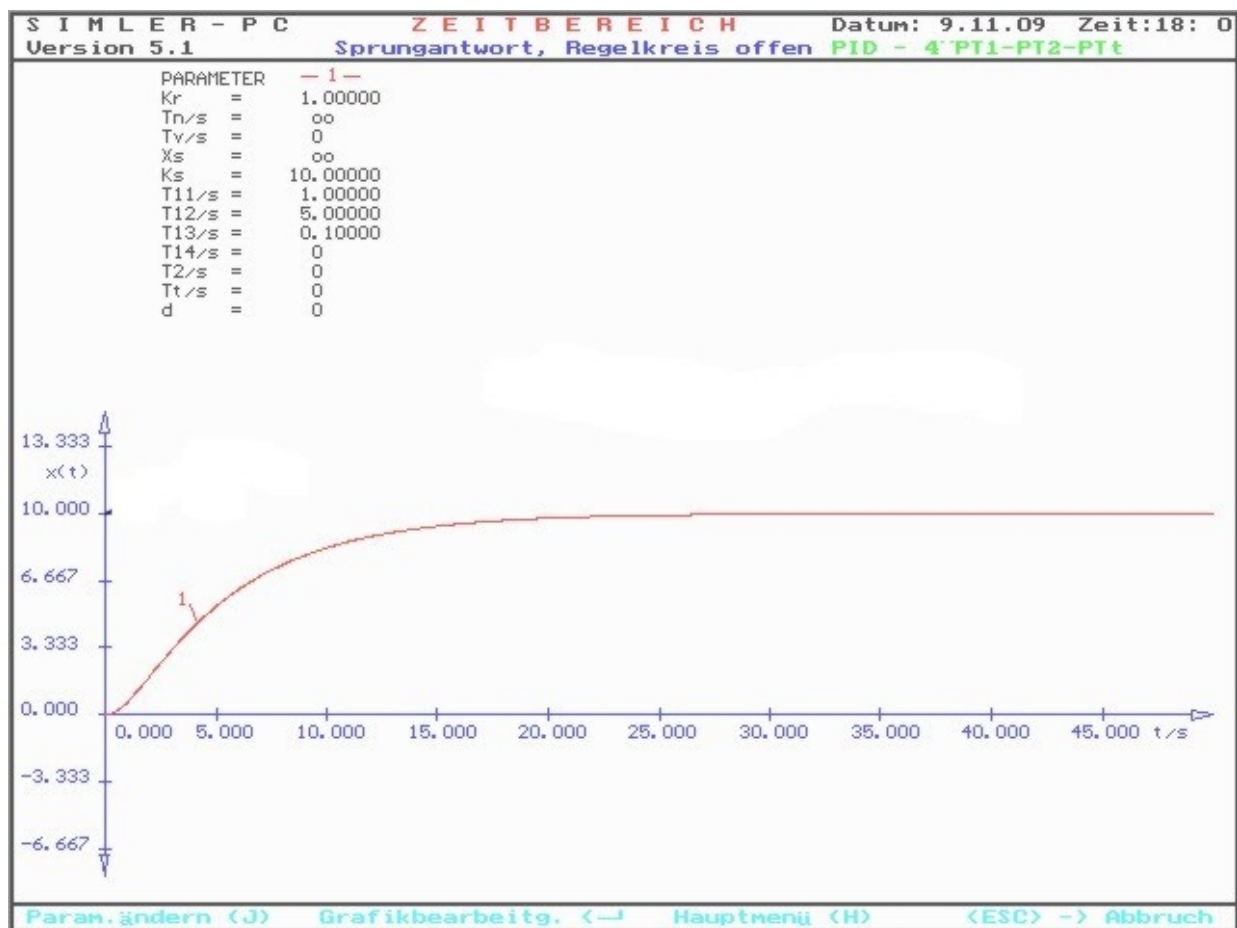
Das Übertragungsverhalten der Regelkreisglieder und ihre Parameter ergeben sich aus dem Blockschaltbild.



$K_R =$	$T_N =$	$T_V =$	(PID-Regler)
$K_{S1} =$			(Leistungsverstärker)
$K_{S2} =$	$T_{11} =$		(Pumpe)
$K_{S3} =$	$T_{12} =$		(Druckspeicher S. 117 RT-Buch)
$K_{S4} =$	$T_{13} =$		(Druckmessung)

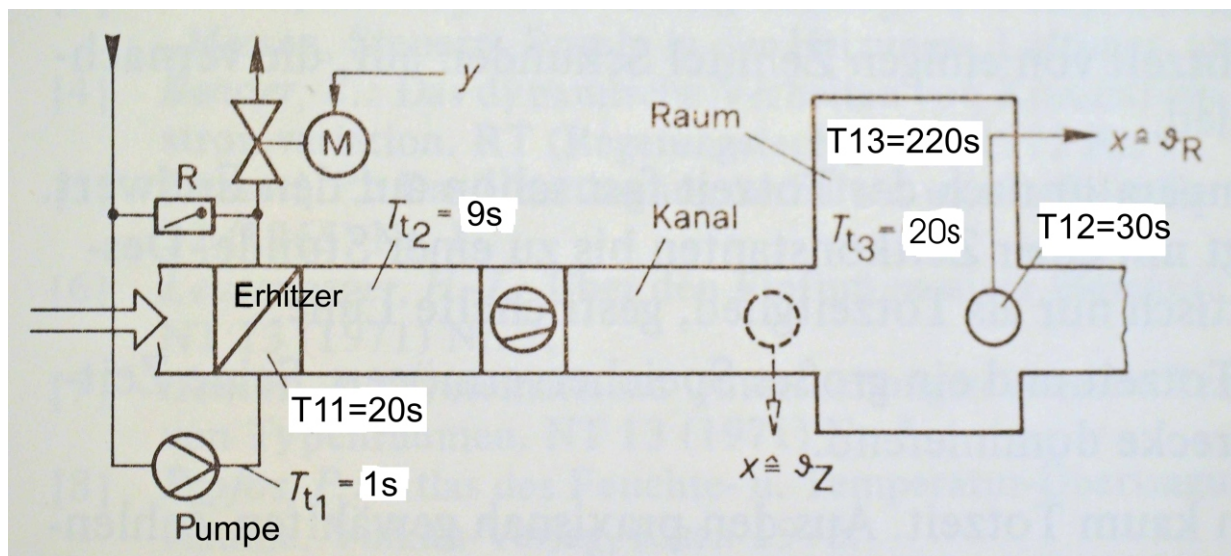
1. Ermitteln Sie  $F_0(p)$  sowie  $F_w(p)$  für  $T_N=T_{12}$  und  $T_V=T_{11}$ .
2. Vergleichen Sie durch Simulation mit SIMLER-PC die Sprungantwort der unregulierten Strecke mit der des geschlossenen Regelkreises.
3. Zeigen Sie mit Hilfe der Führungsübertragungsfunktion  $F_w(p)$ , warum die Regelgröße  $x(t)$  gleich der Führungsgröße  $w$  wird.





RT-Ü 3.3 Lüftungsanlage mit Wärmetauscher  
 (Siehe u.a. bei Regelungstechnik in der Versorgungstechnik)

Die in einen Raum eingeblasene Luft passiert einen Wärmetauscher, der mit Wasser beheizt ist. Damit kann die Raumtemperatur beeinflusst werden.



Die Parameter der Strecke sind:

- $K_S = 0,7$
- $T_{11} = 20s$       Lufterhitzer
- $T_{12} = 30s$       Messwerterfassung
- $T_{13} = 220s$     Raum
- $T_t = 30s$       Gesamt-Totzeit von Rohrleitung, Luftzufuhrkanal und Raum

Für diese Strecke soll mit Hilfe von SIMLER-PC der optimale Reglertyp (ohne Begrenzung, also  $X_s = \infty$ ) und seine Parameter gefunden werden (Ergebnisse der Simulation ausdrucken).

RT-Ü 3.4 (Abschnitt 4.1.2 auf S.147, 148 und Beispiel S.152, Lösung S.424)

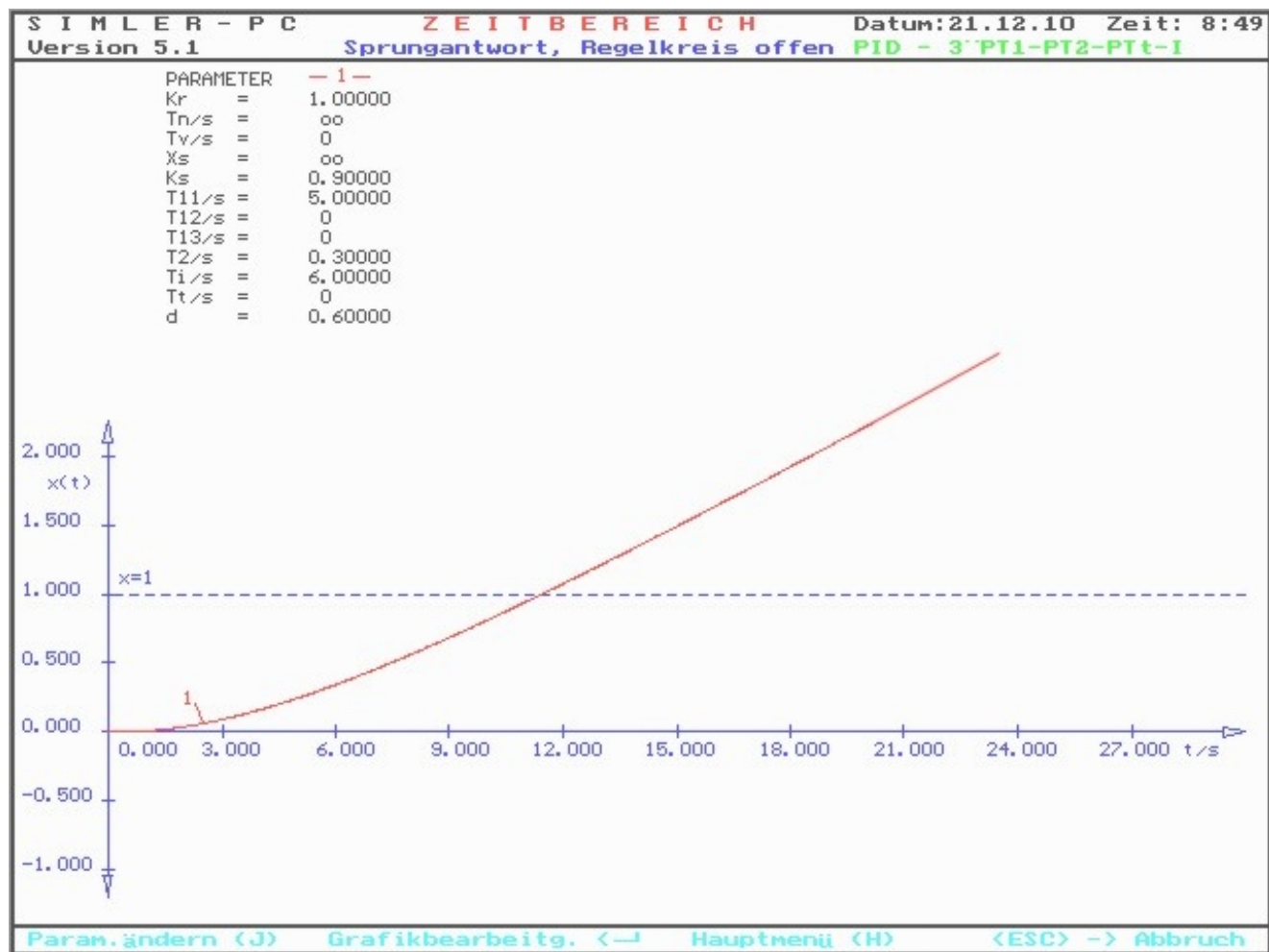
Für die folgende Regelstrecke einer Druck-Regelung ist der optimale Regler mit Hilfe der Einstellwerte von Chien,Hrones,Reswick (Führung, aperiodisch) und dann mit SIMLER-PC gesucht (Typ Nr. 1 im Regler-Menü,  $X_S =$  setzen).

$$K_S = 0,9$$

$$T_{11} = 5s$$

$$T_2 = 0,3s, \quad d = 0,6$$

$$T_i = 6s$$



RT-Ü 3.5 (Abschnitt 4.1.2 Seite 149-153 und S. 390-392 im Regeltechnikbuch)  
 (siehe auch Beispiel Seite 390 - 392 im Regeltechnikbuch)

Für die Regelung der x-Achse eines Messtisches sind der optimale Regler (**jeweils mit  $X_s = \dots$** ) und die optimale Fahrkurve (zeitlicher Verlauf des Sollwertes  $w(t)$  beim Hochfahren und Bremsen) gesucht.

Ziel der Optimierung muss es sein, einen **nicht überschwingenden Verlauf** der Regelgröße  $x$  (Positions-Istwert) zu erreichen.

Der Regler soll nach den Einstellwerten von Ziegler/Nichols (s.S. 149) und dann mit der Einstellung von SIMLER-PC ausgewählt werden.

Die vereinfachte Regelstrecke hat folgende Parameter:

Die Gesamtverstärkung der Regel-Strecke ist	$K_S = 0,7$
Die schwingungsfähige Mechanik hat die Zeitkonstante und eine Dämpfung von	$T_2 = 0,02\text{s}$ $d = 0,6$
Die Hochlaufzeit des Scheibenläufermotors ist	$T_i = 0,03\text{s}$
Die Messwerterfassung der Position durch einen Tiefpass entstört. Die zugehörige Zeitkonstante lautet	$T_{11} = 0,01\text{s}$

1. Die Ziegler/Nichols-Einstellwerte für PI- und PID-Regler errechnen und im Zeitbereich simulieren.  
Für die dritte Simulation die Einstellwerte aus der ERGEBNIS-Liste von SIMLER-PC benutzen.
2. Im Haupt-Menü nun "2. Führungsverhalten Fahrkurvenantwort" auswählen und für den bereits optimierten Regler nun die optimale Fahrkurve suchen.

Aus der ERGEBNIS-Liste von SIMLER-PC erhält man nach der ersten Simulation den Wert für  $K_{R_{krit}}$  und die kritische Frequenz  $z$

$$K_{R_{krit}} = \quad \text{und} \quad T_{krit} = \frac{2}{z}$$

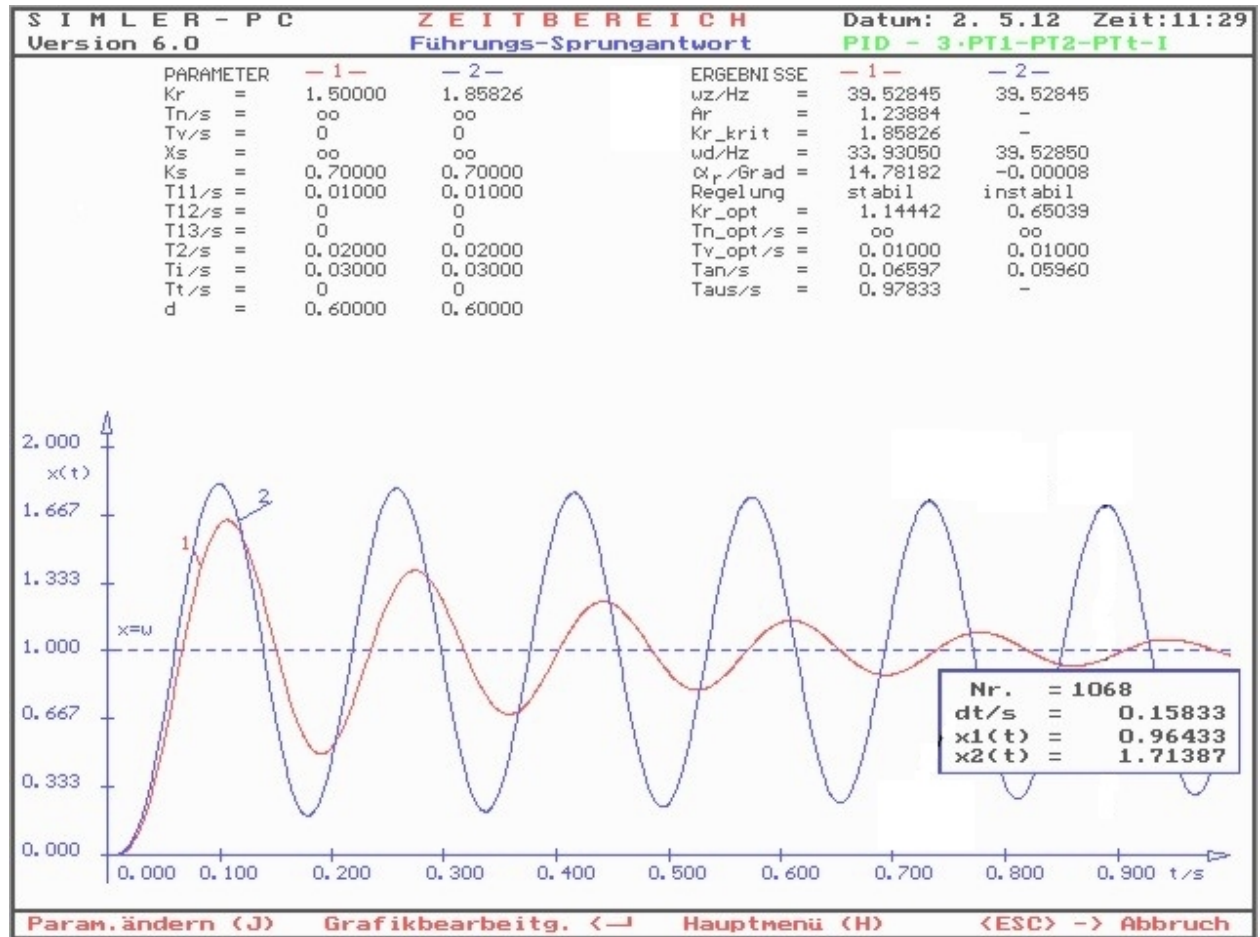
Die Ziegler/Nichols-Optimierung lauten dann (siehe Seite 149):

$$\begin{aligned} K_R &= \\ T_N &= \end{aligned} \quad \text{PI-Regler}$$

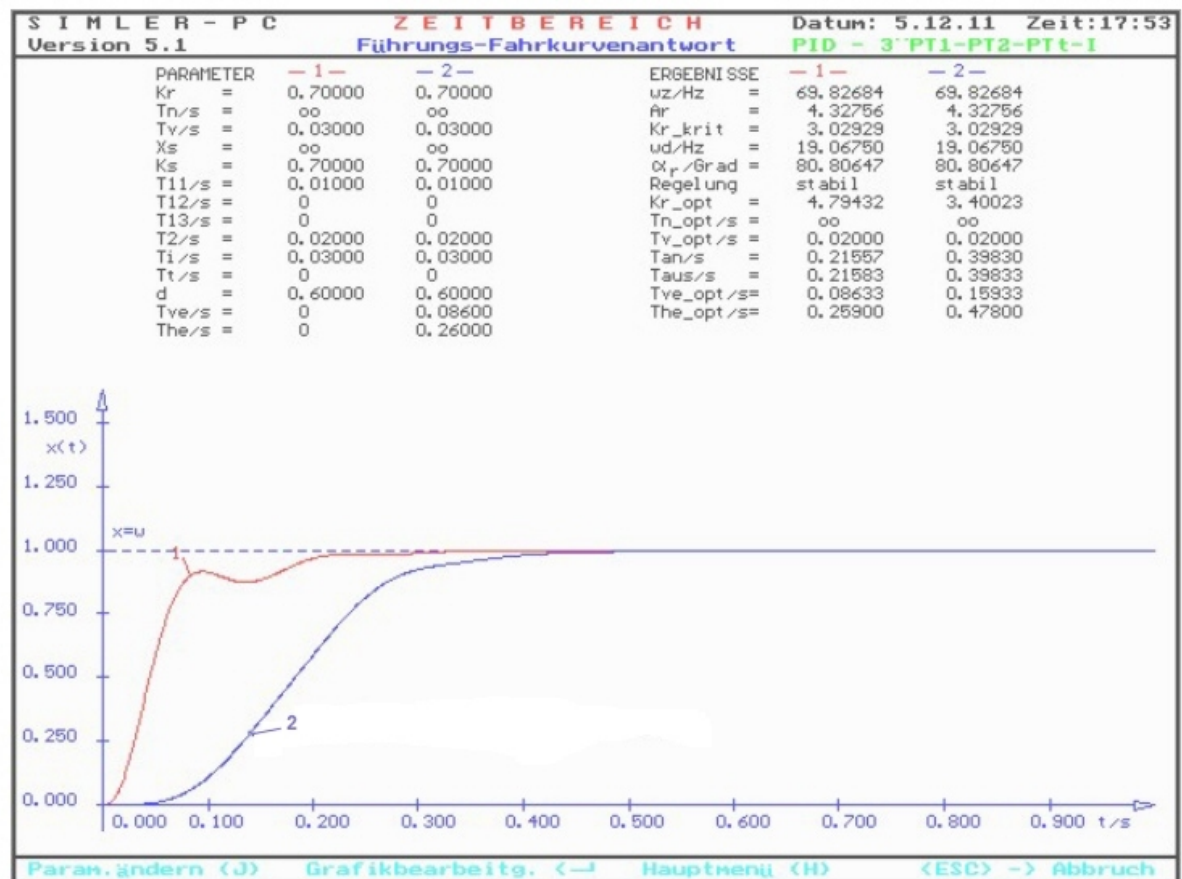
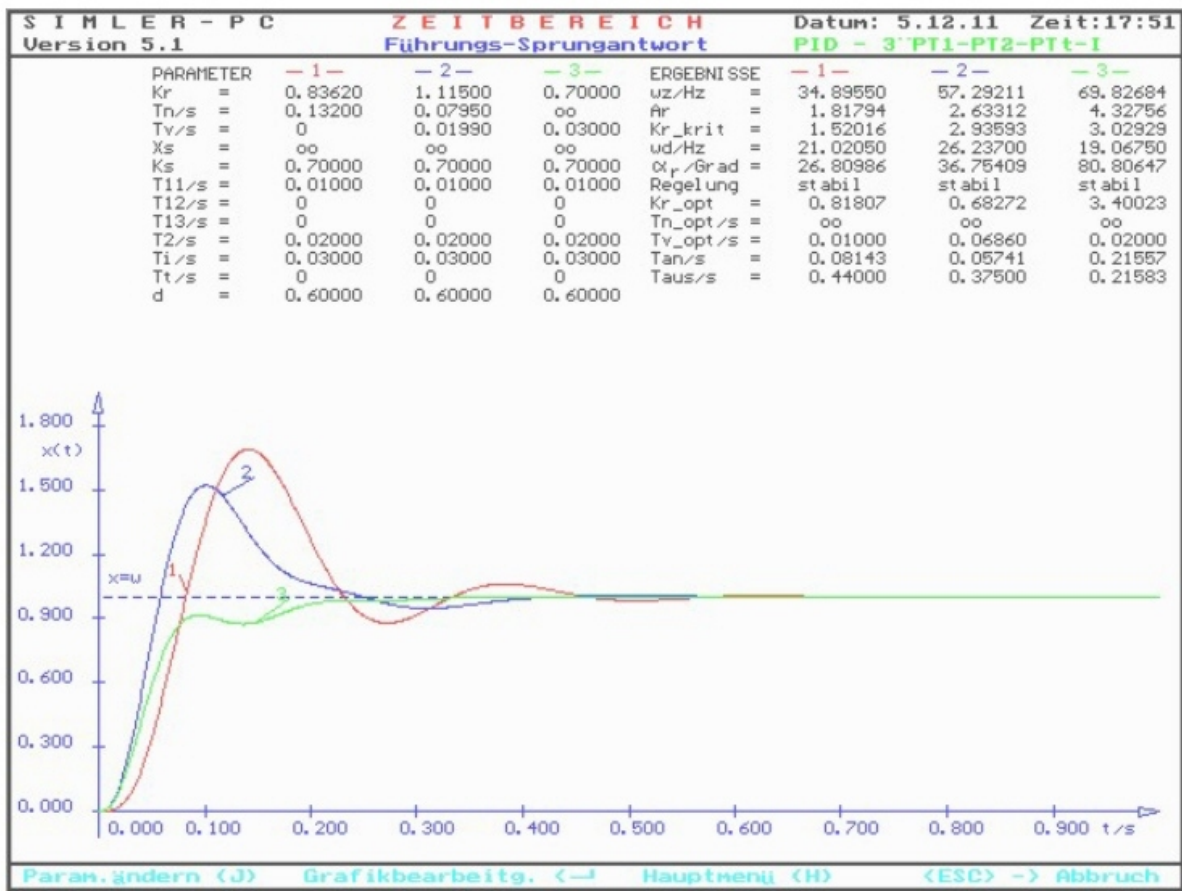
$$\begin{aligned} K_R &= \\ T_N &= \\ T_V &= \end{aligned} \quad \text{PID-Regler}$$

Aus der ERGEBNIS-Liste lässt sich entnehmen (z.B. Mittelwerte aus der 1. und 2. Simulation):

$$\begin{aligned} K_{R_{opt}} &= \\ T_{V_{opt}} &= \end{aligned} \quad \text{PD-Regler}$$



Param.ändern (J)    Grafikbearbeitg. (←)    Hauptmenü (H)    <ESC> -> Abbruch



RT-Ü 3.6 (entspricht Aufgabe 7.1 Seiten 393 und 457 - 461 im RT-Buch)

Es ist die **Sprungantwort einer unbekanntem Strecke** (aufgenommen als File IDEN36-3.PJD) mit SIMLER-PC zu identifizieren und mit dem passenden Regler einzustellen.

Zusätzlich soll ein **Rechteck-Störimpuls zwischen Regler und Strecke** aufgeschaltet werden mit:

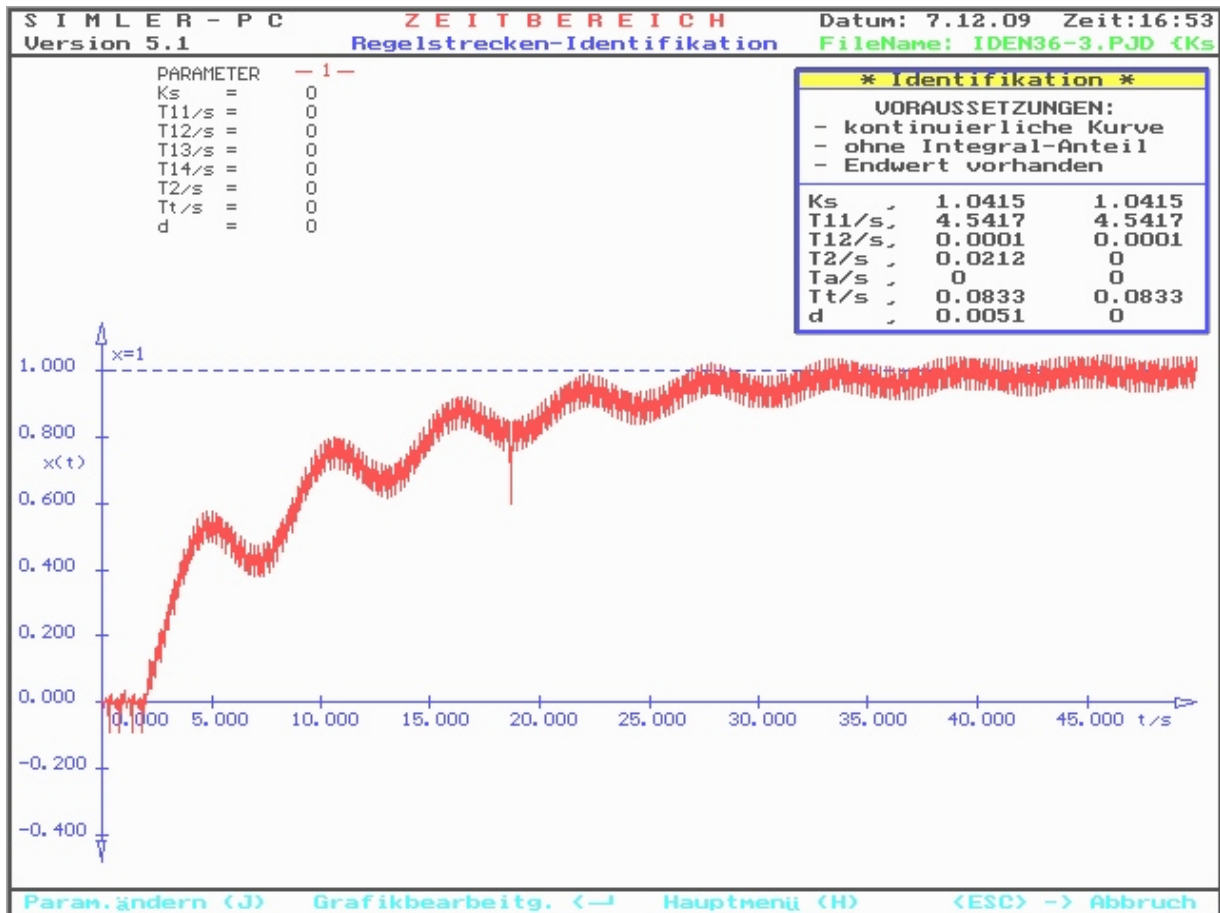
Amplitude  $A_{st} = -0,2$  (20% des Sollwertes ins Negative)

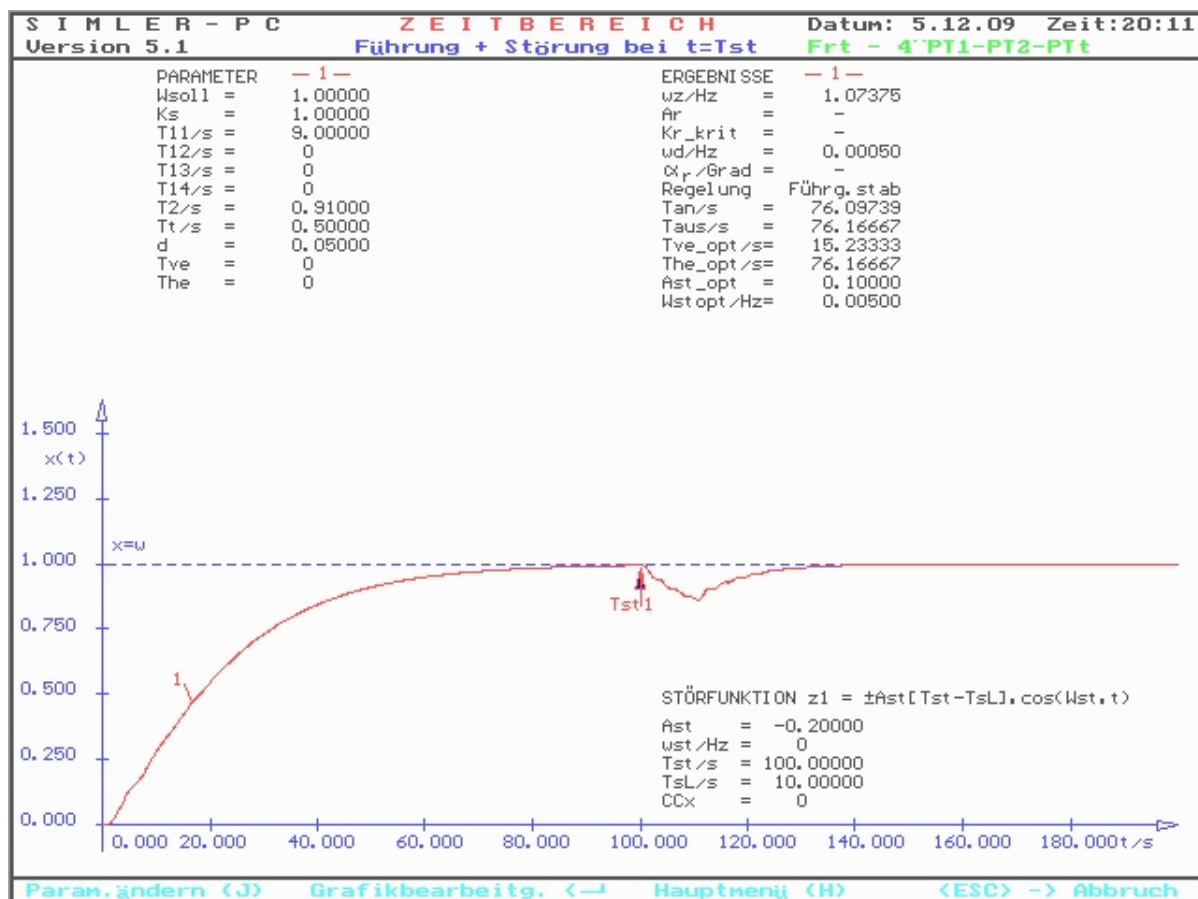
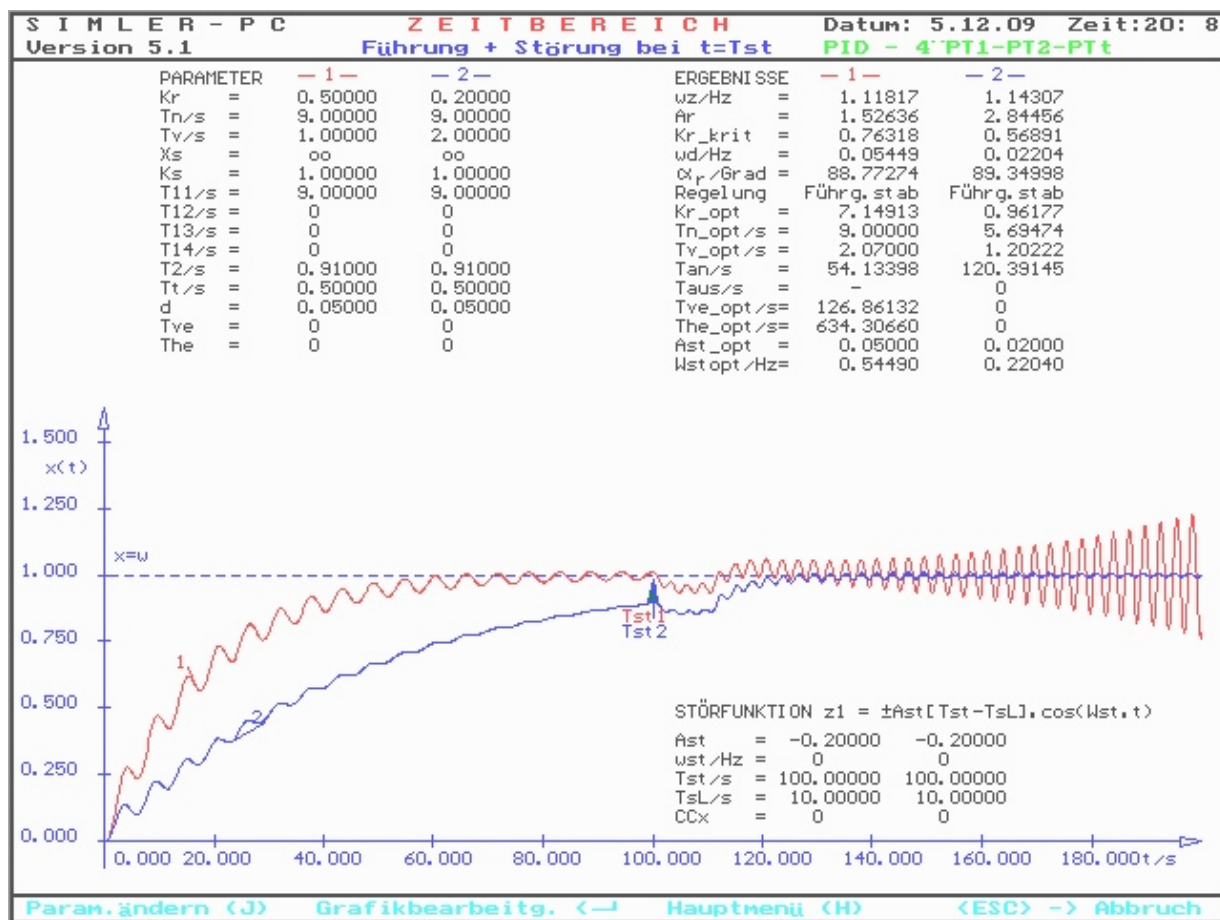
Störfrequenz  $w_{st} = 0$  (d.h. es entsteht ein Störsprung)

nach der Zeit  $T_{st} = 120s$  beginnen

mit einer Impulsbreite von  $T_{sL} = 10s$

keine Chaosfunktion  $CCx = 0$  und keine Fahrkurve vorgeben  $T_{ve} = 0, T_{he} = 0$







RT-Ü 4.1

Ein belasteter fremderregter GS-Motor soll mit einem Stromrichter auf konstante Drehzahl geregelt werden (s.S. 118).

Die Totzeit des Stromrichters und die Zeitkonstante der Drehzahlerfassung sind vernachlässigbar klein.

Die Regler- und Strecken-Parameter sind:

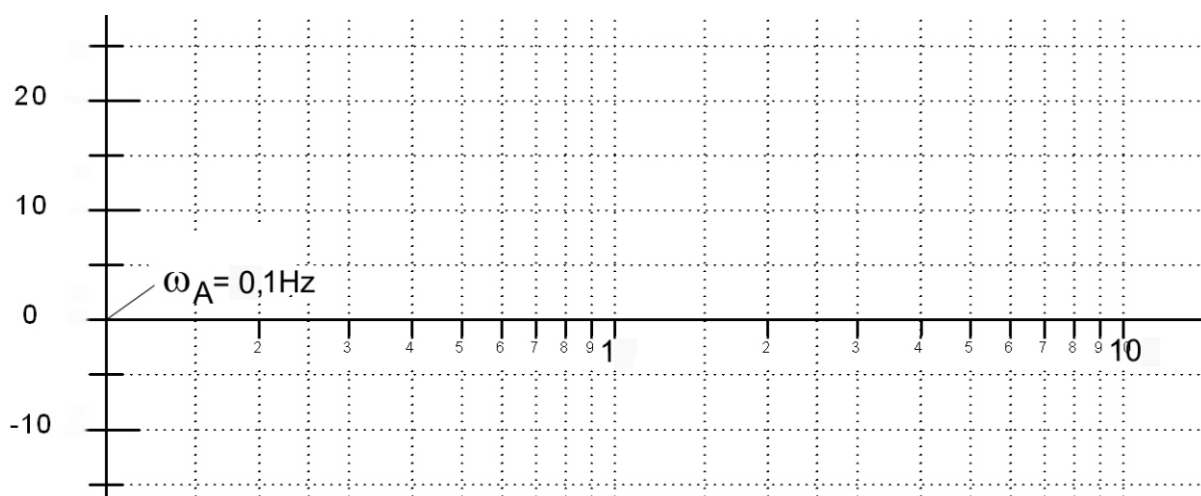
$$K_R=20 \quad N = 5 \text{ Hz}$$

$$K_S=2 \quad 0 = 1 \text{ Hz}$$

Gesucht ist die Stabilitäts-Aussage im Bode-Diagramm (  $D$  ;  $R$  ).

Zur Bestimmung des Abszissenanfangs  $\omega_A$  s.S.186 Gleichung (5.10).

$$\omega_A = 0,1 \text{ min } 0,1 \text{ s } 0,1 \text{ Hz}$$



RT-Ü 4.2 (entspricht Beispiel Seite 187 - 189 RT-Buch)

Ein Hydraulikantrieb ist als Vorschubantrieb für eine Werkzeugmaschine eingesetzt. Das dynamische Verhalten eines elektrohydraulischen Vorschubantriebs wird durch das Übertragungsverhalten des Hydraulikmotors und des Servoventils bestimmt. Aufgrund der vorhandenen Motormasse und der Federwirkung des unter Druck stehenden Ölvolumens ergibt sich für den Hydraulikmotor PT2-Verhalten.

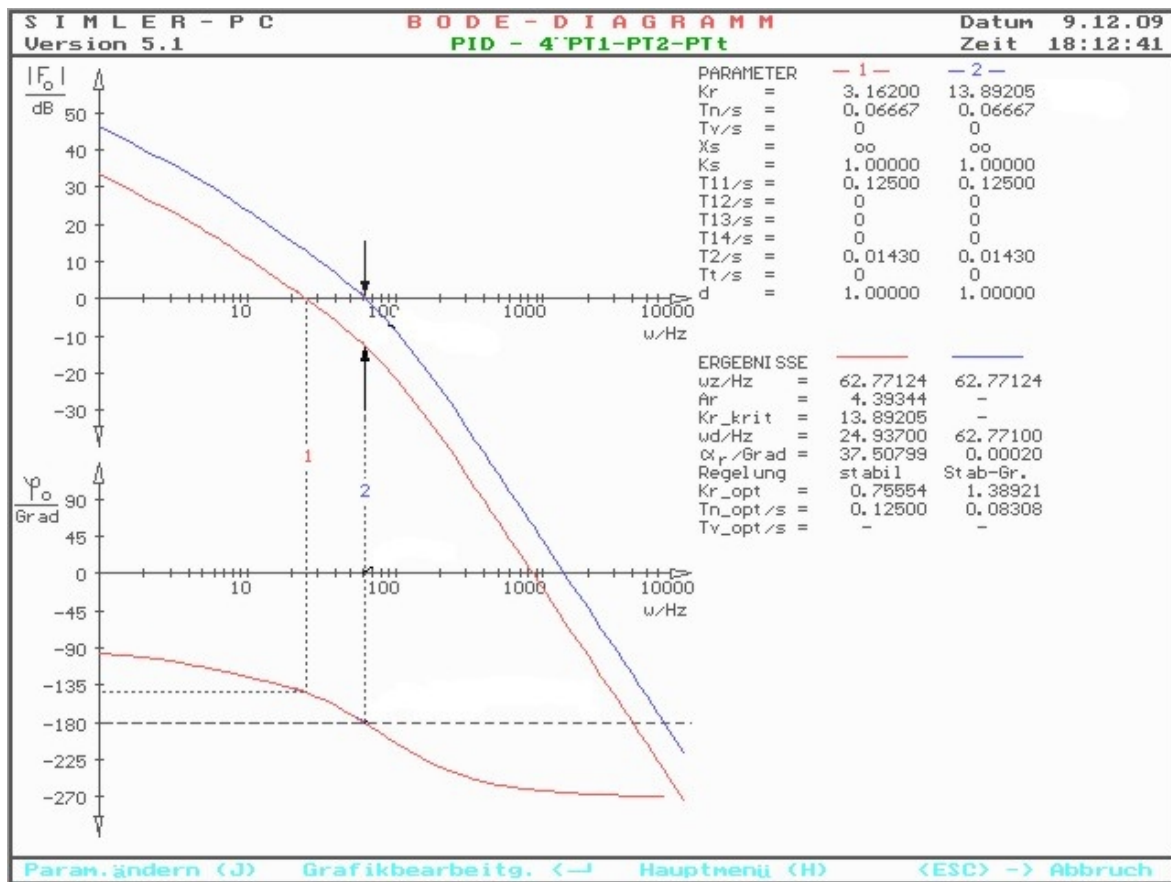
Das Servoventil zeigt zwar genau ebenfalls PT2-Verhalten (s.S. 102-103), es wird jedoch hier näherungsweise durch ein PT1-Glied realisiert.

Die Parameter der Regelung lauten somit:

$$\begin{aligned}
 K_R &= 3,162 & N &= 15 \text{ Hz} \\
 K_{S1} &= 0,562 & E1 &= 8 \text{ Hz} \\
 K_{S2} &= 1,78 & 0 &= 70 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Gesucht ist die Stabilitätsaussage im Bode-Diagramm  $D$ ;  $R$ ; stabil?

sowie  $z$ ;  $\frac{A_R}{dB}$ ;  $\frac{K_{0krit}}{dB}$ .



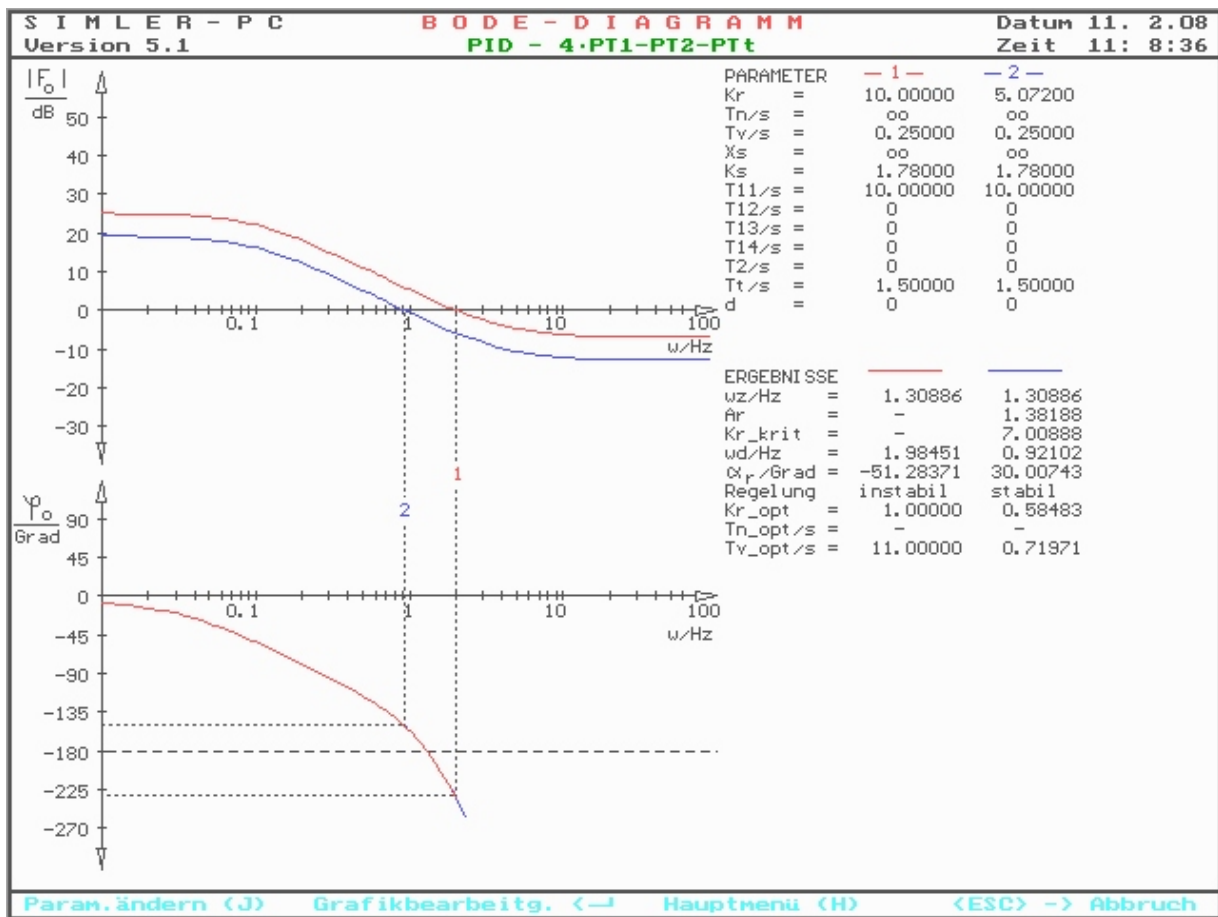
### RT-Ü 4.3

Eine instabile Regelung soll mit Hilfe der Regler-Verstärkung stabilisiert werden. Da sich bei einer Verstärkungs-Änderung lediglich der Frequenzgangbeitrag  $|F_0|$  ändert, ist das Bode-Diagramm für eine solche Betrachtung gut geeignet.

Die Parameter des Regelkreises sind:

$$\begin{aligned} K_R &= 10 & \nu &= 4 \text{ Hz} \\ K_{S1} &= 1 & E_1 &= 0,1 \text{ Hz} \\ K_{S2} &= 1,78 & T_t &= 1,5 \text{ s} \end{aligned}$$

Es ist die Stabilitätsaussage im Bode-Diagramm gesucht ( $\nu_D$ ;  $\nu_R$ ; stabil?). Zusätzlich sind  $K_R^*/\text{dB}$  und  $K_R^*$  als Zahlenwertgleichung für eine Phasenreserve von  $\nu_R^* = 30$  gesucht.



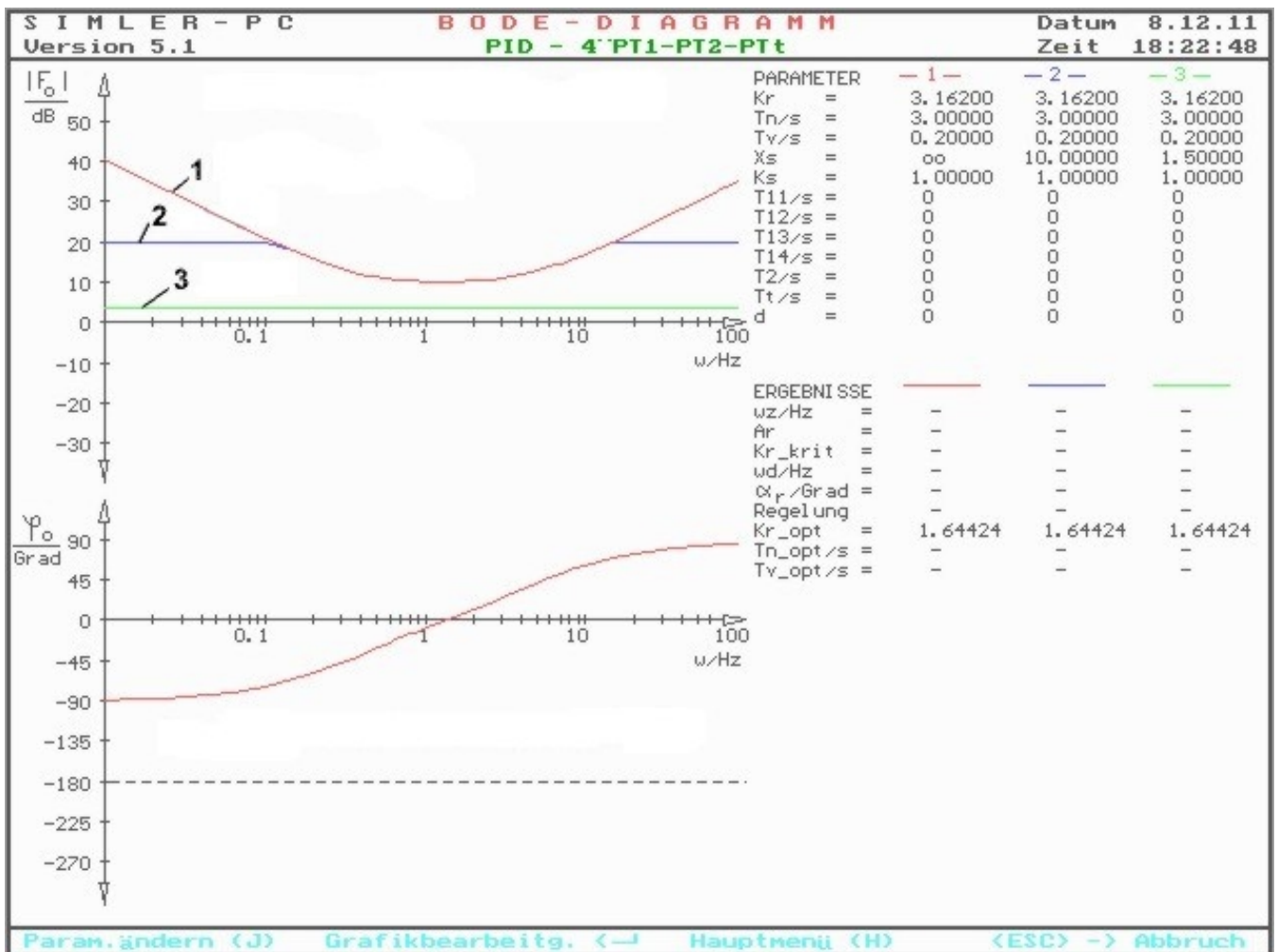
RT-Ü 4.4 (entspricht Aufgabe 5.3 Seite 195 und 429, 430 im RT-Buch)

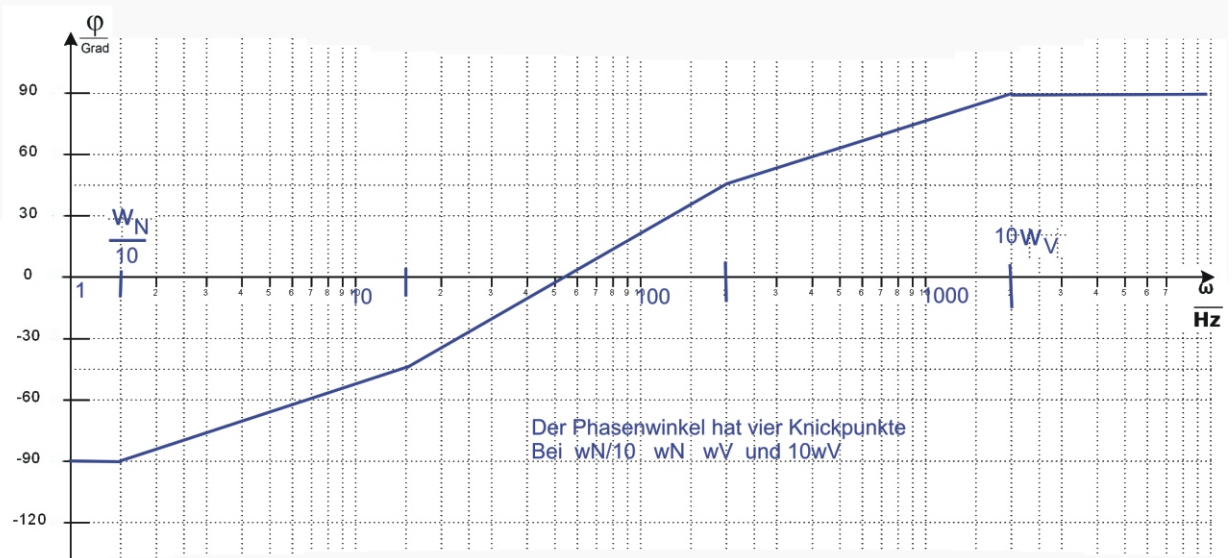
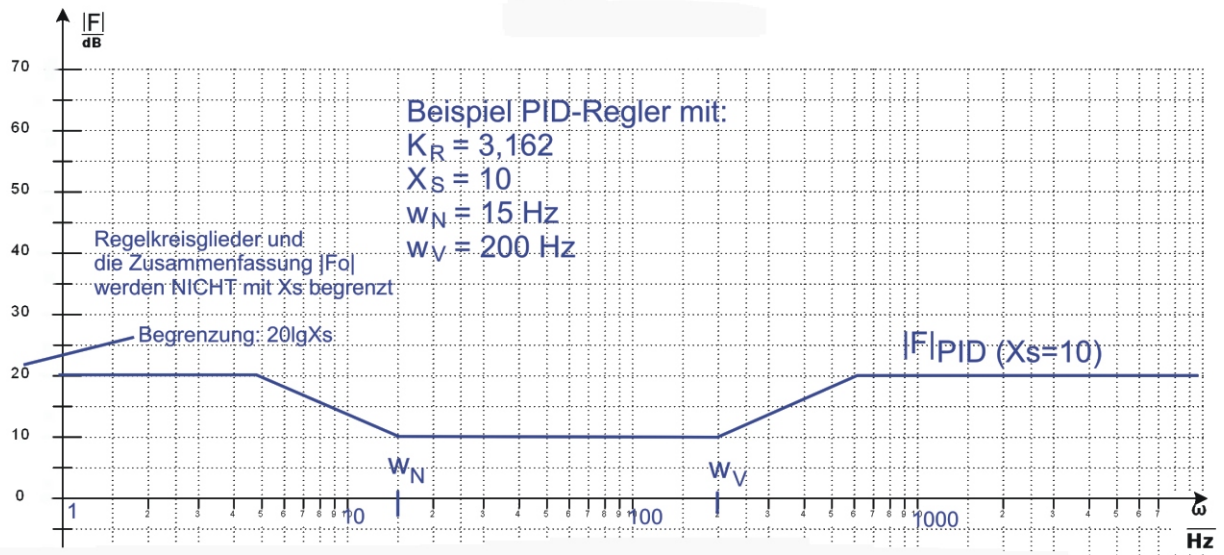
Der Drehzahl-Regelkreis einer Fräsmaschine zeigt für den schwingungsfähigen Teil der Mechanik  $PT_2$ -Verhalten. Der Zusammenhang zwischen Beschleunigungsmoment und Drehzahl des Antriebs hat Integral-Verhalten (s.S.116). Die Messwerterfassung der Drehzahl hat  $PT_1$ -Verhalten.

Die Parameter der Regelung sind:

$$\begin{aligned}
 K_R &= 1,778 & N &= 2,5 \text{ Hz} & v &= 20 \text{ Hz} & X_s &= 10 \\
 K_{S1} &= 1 & E_1 &= 20 \text{ Hz} & & & & \\
 K_{S2} &= 1 & \omega_0 &= 50 \text{ Hz} & i &= 2,5 \text{ Hz} & & 
 \end{aligned}$$

1. Im Bode-Diagramm soll die Stabilität der Regelung untersucht werden.
2. Zur **Verbesserung der Regeldynamik** soll die Reglerverstärkung **um  $K_0 = 5\text{dB}$  verändert** werden. Ermitteln Sie dazu  $K_R^*$ ,  $D^*$  und  $R^*$ .
3. Des Weiteren sind  $K_{R\text{krit}}$  und  $\omega_z$  gesucht.





**Zum Symmetrischen Optimum siehe Abschnitt 5.5.2 von S.233 - 235**

**Tabellarische Zusammenfassung aller erforderlichen Formeln für das Symmetrische Optimum auf S. 463**

Beim Symmetrischen Optimum kommt es zunächst darauf an, die Übertragungsfunktion  $F_o(p)$  des gegebenen Regelkreises in die Form der Gleichung 5.30 zu überführen.

Anschließend können die Gleichungen 5.31 -5.34 zur Ermittlung der Reglerparameter angewendet werden.

RT-Ü 5.1 (entspricht Beispiel S. 235 - 239 im Regeltechnikbuch)

Mit dem S.O. sollen die Reglerparameter  $K_R$ ,  $T_N$  und  $T_V$  ermittelt werden.

Ermitteln Sie zunächst  $F_o(p)$  der gegebenen Regelung und reduzieren die Gleichung dann auf  $F_o(p)$  des S.O. (Gleichung 5.30).

Geben Sie Gleichungen und Ergebnisse für  $D$  und die Reglerparameter an.

RT-Ü 5.2 (entspricht Aufgabe 5.18 Seite 240 und Lösung Seite 454 - 457)

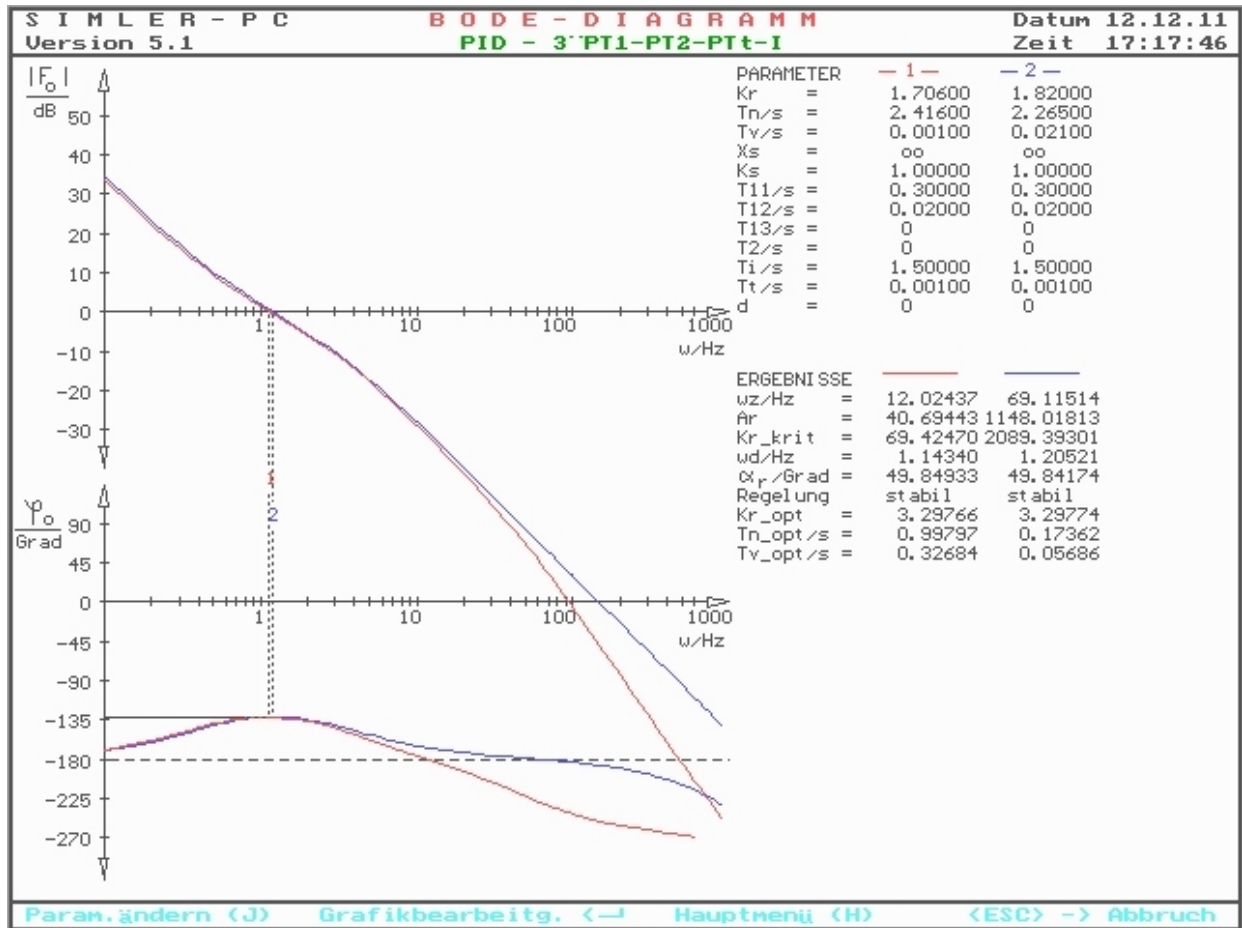
Mit dem S.O. sollen die Regler-Parameter  $K_R$ ,  $T_N$  und  $T_V$  auf die folgende Regelstrecke optimal eingestellt werden.

Die Parameter der Antriebs-Regelstrecke wurden identifiziert und sind:  
 $K_S=1$   $T_{11}=0,3s$   $T_{12}=0,02s$   $T_i=1,5s$   $T_t=0,001s$   $R=50^\circ$

Ermitteln Sie zunächst  $F_o(p)$  der gegebenen Regelung und reduzieren die Gleichung dann auf  $F_o(p)$  des S.O. (Gleichung 5.30).

Geben Sie Gleichungen und Ergebnisse für  $D$  und die Reglerparameter an.

Ermitteln Sie die kritische Reglerverstärkung  $K_{Rkrit}$ .





RT-Ü 5.3 (vergleiche mit Abschnitt 6.1.2 Stoffgemischreg. S.273 - 276)

Mit dem S.O. sollen die Regler-Parameter  $K_R$ ,  $T_N$  und  $T_V$  auf einen Prozess zur Mischungsregelung zweier Stoffe (Konzentration  $c$ ) eingestellt werden.

Die Parameter der Strecke sind (vergleiche mit S. 276):

$$K_S = 0,75 \quad T_{11} = 125s \quad T_{12} = 2s \quad T_{13} = 1s \quad T_t = 1,67s \quad \text{sowie} \quad \varphi_R = 70^\circ$$

Ermitteln Sie zunächst  $F_o(p)$  der gegebenen Regelung und reduzieren die Gleichung dann auf  $F_o(p)$  des S.O. (Gleichung 5.30).

Geben Sie Gleichungen und Ergebnisse für  $D$  und die Reglerparameter an.

**Hinweis zum S.O. bei Anwesenheit von gleichen  $PT_1$ -Strecken bzw. einer  $PT_2$ -Strecke.**

Beispiel:

Mit dem S.O. sollen die Reglerparameter  $K_R$ ,  $T_N$  und  $T_V$  auf folgende Regelstrecke optimal eingestellt werden bei  $\varphi_R = 30^\circ$ .

Die Parameter der Strecke sind:

$$K_S = 0,75$$

**drei gleiche  $PT_1$ -Glieder mit  $T_{11} = 2s$**

**$T_2 = 2s$   $d = 1$**

$$T_i = 7s$$

$$T_t = 0,2s$$

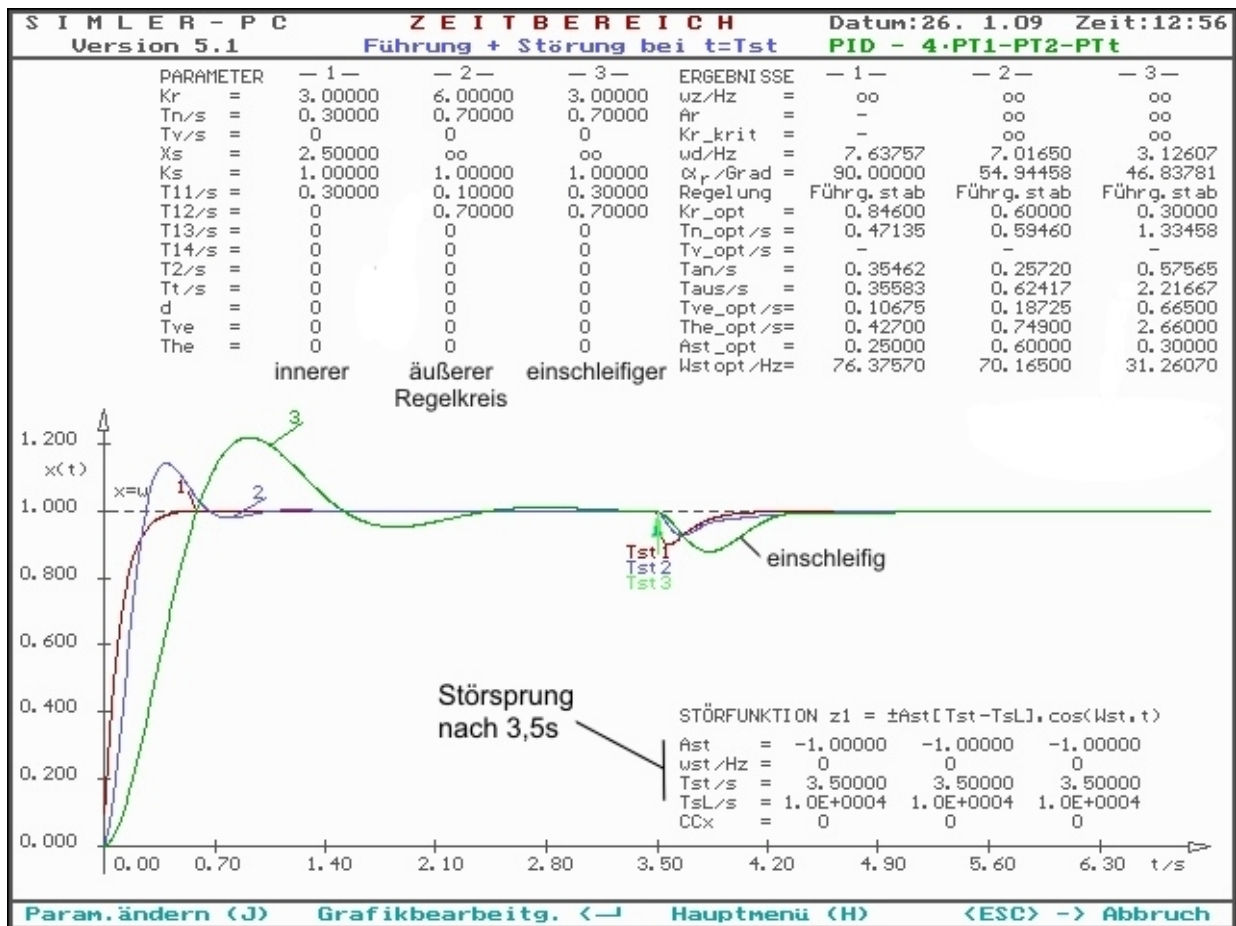
Die Formel für  $F_0(p)$  wäre dann:

$$F_0(p) = K_0 \frac{(1 + pT_N)(1 + pT_V)}{p^2 T_N T_i (1 + pT_{11})^3 (1 + pT_2)^2} e^{-pT_t}$$

**drei gleiche  
 $PT_1$ -Glieder**

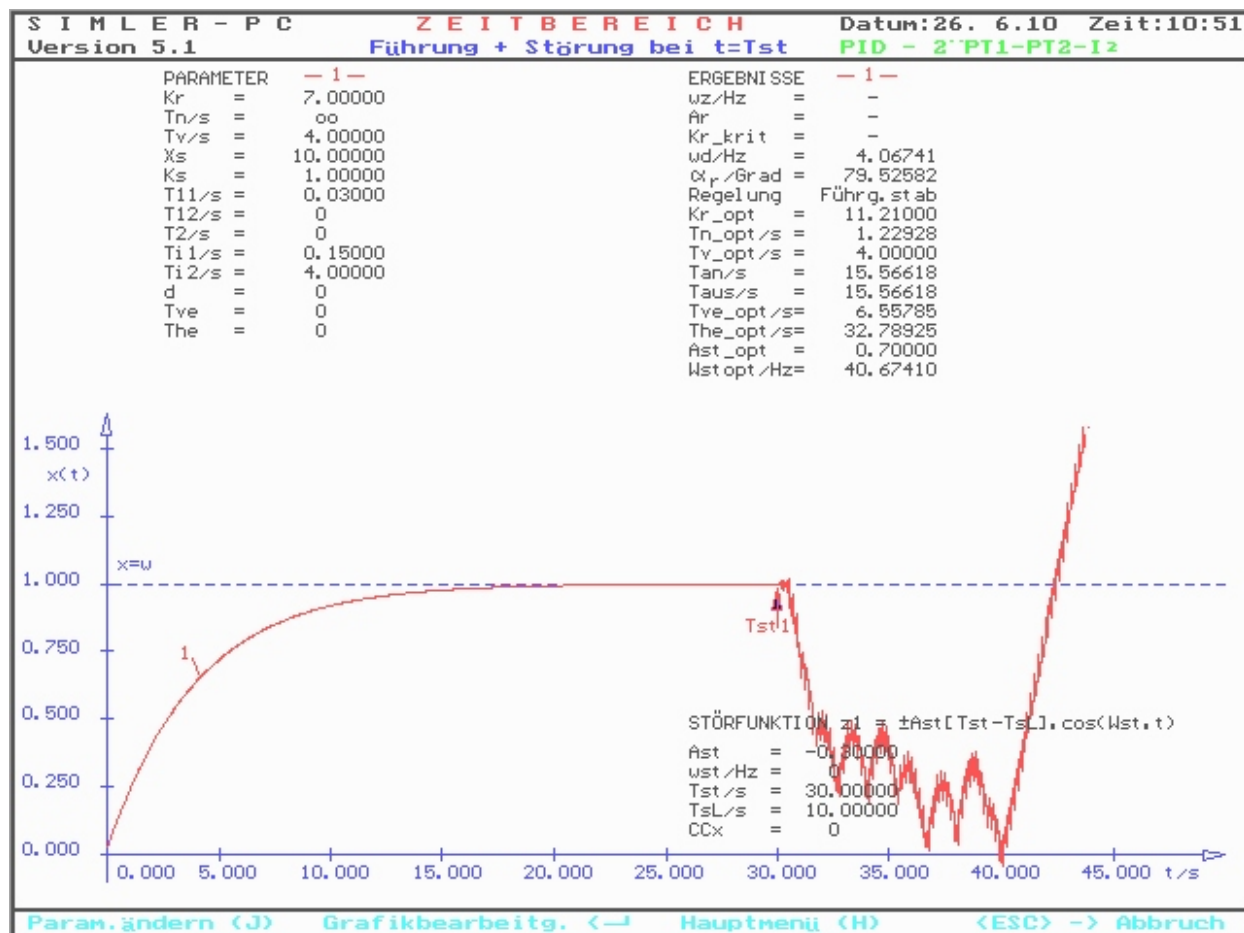
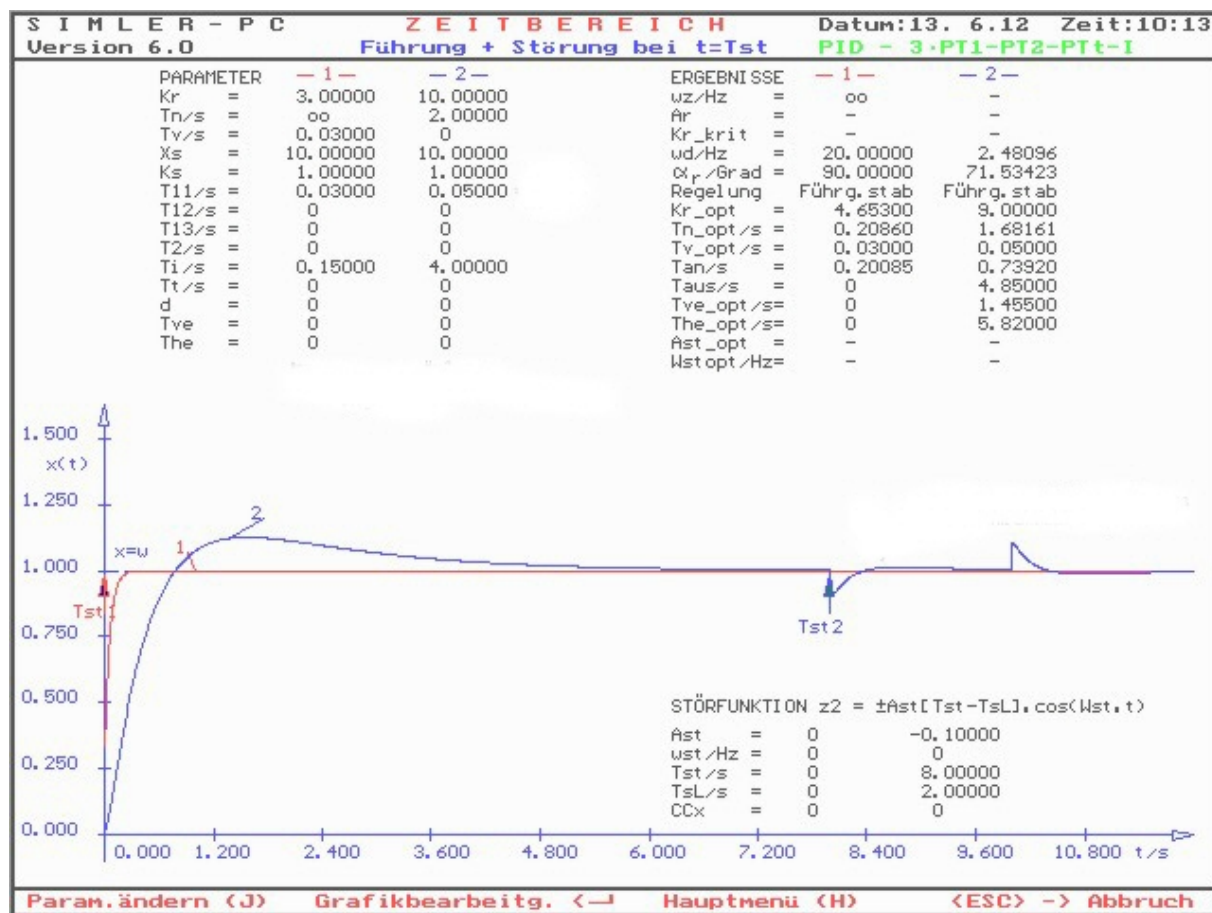
**$PT_2$ -Glieder entspricht  
für  $d=1$  der Reihen-  
schaltung aus zwei  
 $PT_1$ -Gliedern**

RT-Ü 6.1 (entspricht Beispiel S. 249 aus dem Regeltechnikkbuch)



RT-Ü 6.2 (entspricht Beispiel S. 341 - 345 aus dem Regeltechnikbuch)

Die Regelung der **Blattwinkelverstellung (Pitch-Regelung)** einer Windkraftanlage soll entsprechend Abschnitt 6.2.3 untersucht werden.



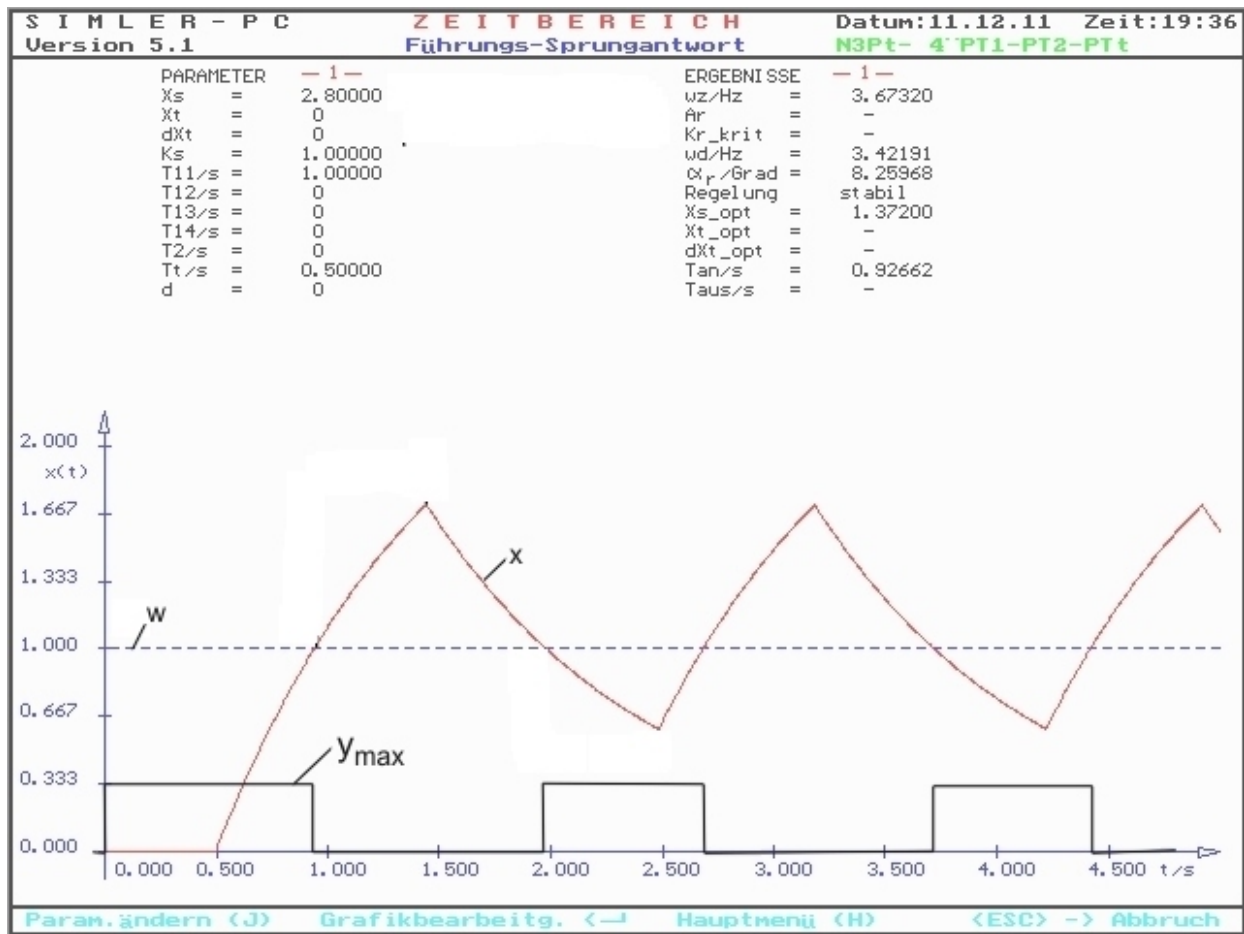
RT-Ü 6.3 (siehe Beispiele S.281 - 283 sowie S.288 - 290 Regeltechnikbuch)

### 1. Zweipunktregelung

Die Regelung einer  $PT_1$ - $PT_t$ -Strecke soll mit einem **Zweipunktregler ohne Ansprechschwelle  $X_t$  und ohne Hysterese  $dX_t$**  erfolgen (Bild 6.13 RT-Buch).

Die maximale Stellgröße  $y_{\max} = U_{\max} = 28V$  entspricht einem Wert von  $X_s = 2,8$ . Die Strecke hat die Parameter:

- $K_S = 1$
- $T_{11} = 1s$
- $T_t = 0,5s$

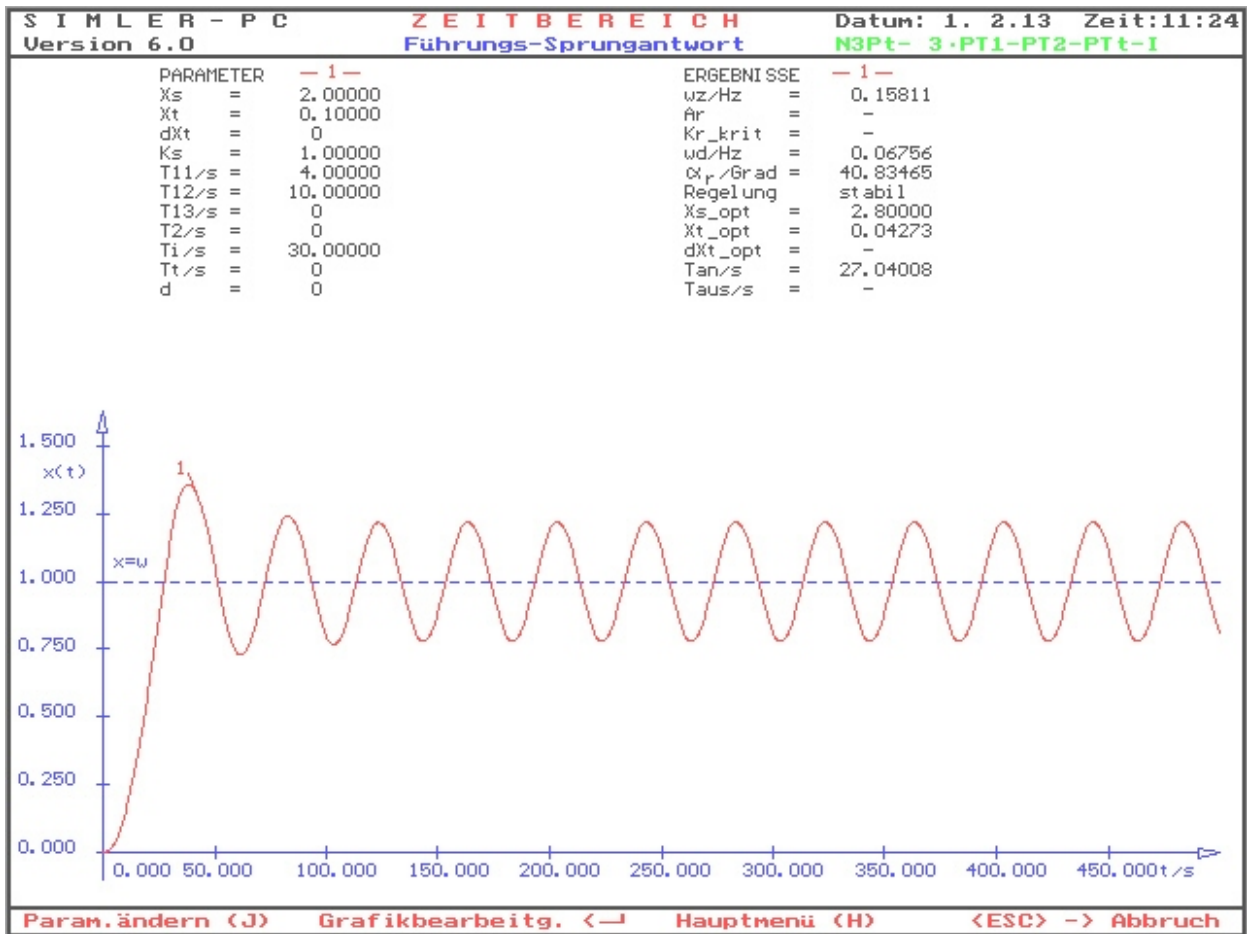


## 2. Dreipunktregelung

Eine vereinfachte Speisewassermengenregelung ist in Bild 6.19 (RT-Buch) dargestellt. Sie erfolgt mit einem **Dreipunktregler mit Ansprechschwelle  $X_t$  ohne Hysterese  $dX_t$** .

Die Stellgröße wird auf  $y=X_s=2$ ; die Ansprechschwelle auf  $X_t=0,1$  festgelegt. Die Parameter der Strecke sind:

$K_S=1$	
$T_{11}=4s$	Verzögerungszeit des Kessels
$T_{12}=10s$	Verzögerungszeit der Speisepumpenturbine
$T_i=30s$	Hochlaufzeit des Stellmotors



# Wichtige Hinweise zur Klausur

1. So sieht der Blattkopf der Klausur prinzipiell aus.

REGELTECHNIK

SS/WS 20..

GRUPPE 1

Studiengang

Vorname: \_\_\_\_\_ Nachname: \_\_\_\_\_ Matr.-Nr. \_\_\_\_\_

Aufgabe Prozentpunkte: 1 10 2 10 3 15 4 20 5 45  
(Note: siehe Bachelor-PO)

- 2. Das Klausurblatt ist immer mit abzugeben (auch ein leeres)!  
Zuwerhandlung wird als Täuschungsversuch gewertet und kann die Exmatrikulation zur Folge haben.**
- 3. Vorname, Name, Matrikel-Nr. und Studiengang sind vor Beginn leserlich einzutragen.**
- 4. Außer Taschenrechnern ist die Benutzung von elektronischen Kommunikationsgeräten (Handy, Kamera, Notebook ...) untersagt.**
- 5. Keine Büroklammern zum heften benutzen (eine Heftzange liegt bei der Aufsicht).**



**Wisse Vollendung**  
**nach den Wurzeln der Heilung**  
(kleiner Ausschnitt aus meinem Buch)

“Man kann ja an Gott glauben, an eine Religion”, wirft der junge Mann ein, “aber im täglichen Leben ist alles anders. Man geht aus der Kirche und die Welt ist wieder so sachlich und metallisch wie eh und je. Was bringt mir also Deine prächtige Vernunft der Gottesbeweise?”

Der kleine Prinz suchte nach einer tröstlichen Antwort. Da fiel ihm jener Ingenieur ein. Der hatte es ihm einmal so erklärt:

Ein wahres Wort für Religio sei Rückverbinden auf Gott. Im Grunde ein stetiges Gedächtnismahl, eine göttliche Reflexion. In der Mathematik entspricht dem Rückverbinden die Rekursion, das schrittweise Zurückgehen auf Bekanntes.

In der Technik findet sich eine Entsprechung im Begriff der Rückkopplung, dem Zurückführen einer Größe auf den Eingang (Anfang), mit dem Ziel der Selbstregulierung des Systems. Rückkopplung, Rückverbinden, Rekursion führen zu EINem Regelkreislauf.

Stabile Regelkreise haben die Eigenschaft, daß die anzupassende, zu wandelnde, zu beeinflussende Größe (Istwert, Regelgröße) eines laufenden Prozesses von selbst den anfangs vorgegebenen, ursprünglich gewollten Wert (Sollwert, Führungsgröße) erreicht.

Der Weg zu Gleichheit von Führungs- und Regelgröße liegt gewöhnlich in Form einer Formel oder Schaltung vor. Entsprechend Deiner *Formel* (Charakterbild, Glaube, Bewußtsein) und Deiner *Schaltung* (Verkörperung) kehrst Du zurück zu dem, der Dich aussandte, der von Anfang an in Dir ist, der Dein innerer Wert Ist (Istwert).

Du bist auf dem Rückkopplungsweg zu dem Anfang, dem ursprünglichen Willen Gottes, wortwörtlich der Führungs-Größe, welche Du kanntest. Und im innigen Suchen danach ist all Dein Tun ein Gedächtnismahl, ob nun bewußt oder unbewußt, und Dein ganzes Sein regelt sich von SELBST - Dir ist Gottes Haus, Du bist lebendige Religio.

Und es ist gar nicht so", ergänzte der kleine Prinz, "daß dieser Ingenieur gleich so geglaubt hätte. Ich weiß noch wie er darum kämpfte, und mir vorhielt: Wenn das Göttliche in dieser Welt ist, dann muß es überall sein und nicht nur in deinem seltsamen Philosophieren. Und wenn die ihm geschenkte Wurzelgleichung ein Algorithmus des Lebens sein soll, dann muß sie überall verwendbar sein, ganz praktisch.

Dann hat er tatsächlich die Wurzelgleichung als Algorithmus in eine Anlage der Regelungstechnik eingebaut und sie funktionierte ganz von selbst. Ist das nicht wunderbar, jeder findet zu den Wurzeln mitten in seiner Welt.

Und derselbe Ingenieur hat mit diesem Algorithmus noch etwas herausgefunden: Eine Störung, die sich in einem solchen technischen Prozeß einschleicht, wird so (an)genommen, als gehöre sie zum normalen Ablauf dazu. Die Regelung ist sozusagen *blind* gegen solche Störungen und beseitigt sie nicht. Das ist ganz wie im menschlichen Leben. Unsere biologisch-psychischen Regelkreise sind ebenfalls *blind* gegenüber "schlechten Angewohnheiten".

Sie sehen diese als Eigenes an und so tun so, als gehören sie zu uns, steuern nicht dagegen. Daher reagiert ein starker Raucher überhaupt nicht, wenn man ihm eine vom Rauchen zerfressene Lunge zeigt. Erst ein sehr starker Stör-Impuls (manchmal der Krebsweg) kann diese sich selbst erhaltenden Regelkreise durchbrechen.

So ist die WurzelRekursion der alle Kreise in uns von selbst und aus dem SELBST regelnde Algorithmus.

Aufg. 5

