

Praktikum

VERSUCH: Analoger Regelkreis *

Versuchsziele:

- Festigung und praktische Bestätigung des vermittelten Wissens über Methoden der Prozessanalyse und des Entwurfs von Regelungen und Zusammenführung dieser Teildisziplinen bei der selbständigen Lösung einer Entwurfsaufgabe.
- Demonstration des Zusammenhanges zwischen Detailliertheit des Modelles und dem Entwurfsergebnis, Vergleich der Verfahren.
- Erwerb von Fertigkeiten im Experimentieren und im Umgang mit modernen Automatisierungsmitteln.

Versuchseinrichtung:

Das Praktikum wird an einem Lehrmodell "SITRAIN" durchgeführt. Dieses besteht aus einem elektronischen Modell eines Wärmetauschers (Bild), einem Funktionsgenerator für Sinus- und Rechteckwellen sowie Sprungsignale, einem handelsüblichen Rechnerregler DR20 (siehe Anlage) und der dazugehörigen Spannungsversorgung. Zur Aufzeichnung der Ein- und Ausgangssignale (Spannungen 0...10V) steht ein Zweikanal-Linienschreiber zur Verfügung, dessen Aufzeichnungsgeschwindigkeit in einem sehr großen Bereich variiert werden kann. Die Grenzfrequenz des Schreibers liegt bei 2,5 Hz.

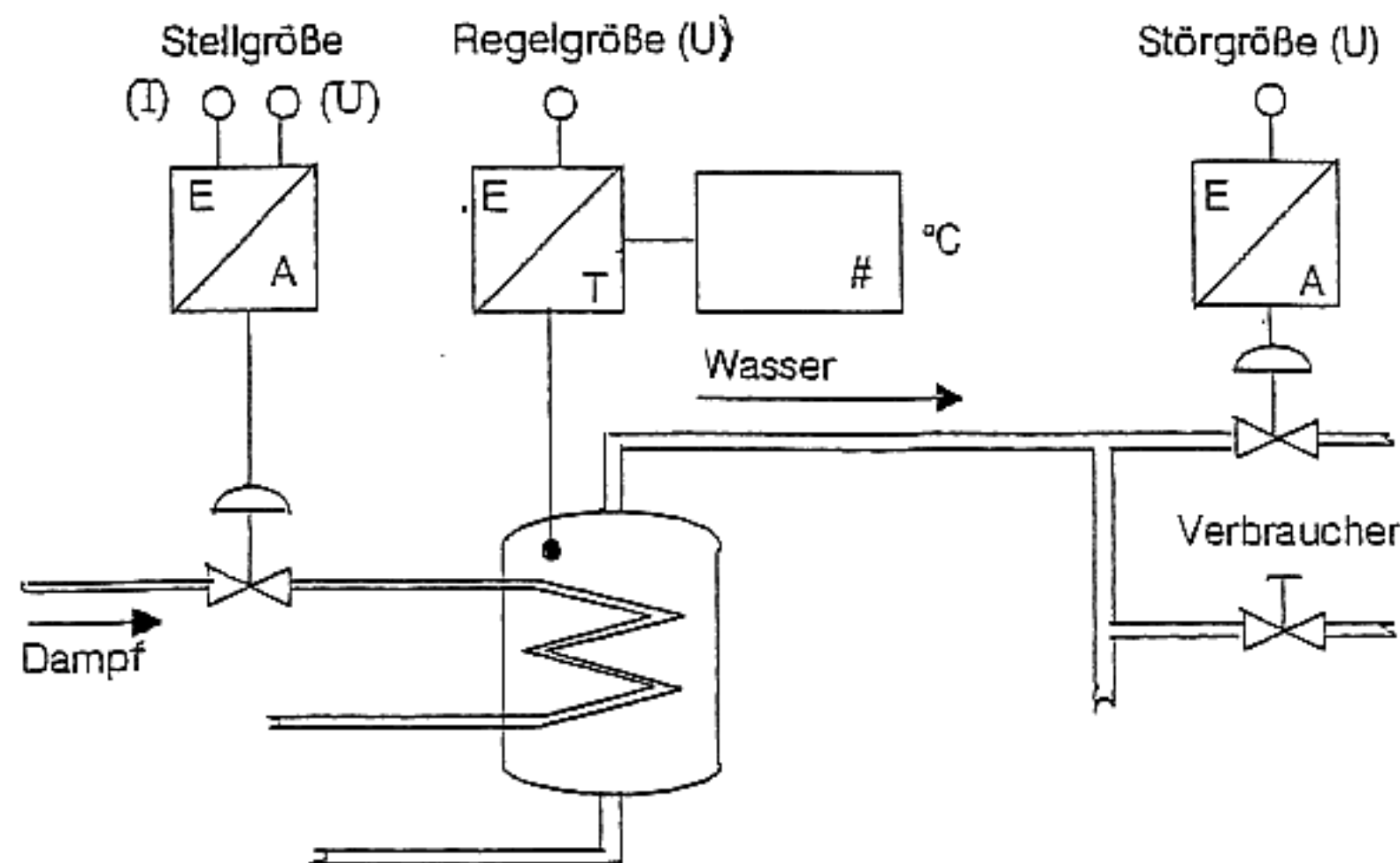


Bild: Modell der Regelstrecke mit Stelleinrichtung, Wandlern und Anzeige

Fragen zur Vorbereitung des Versuches:

- 1.) Beschreiben Sie den Grundregelkreis mit Störung am Ausgang?
- 1.a) Wie lässt sich die Führungsübertragungsfunktion, Stellübertragungsfunktion bzw. die Störübertragungsfunktion im Bildbereich angeben?
- 2.) Welche Möglichkeiten der Modellbildung gibt es ?
- 3.) Wie identifiziert man Systeme höherer Ordnung?
- 3.a) Konzentrieren Sie sich insbesondere auf folgende Verfahren:
 - Wendetangenten-Verfahren
 - Strejc-Verfahren (Ansatz mit 3 geometrisch gestaffelten Zeitkonstanten)
 - Radke-Verfahren (Ansatz mit n harmonisch gestaffelten Zeitkonstanten)
- 4.) Nennen Sie lineare Reglerentwurfsverfahren?
- 4.a) Konzentrieren Sie sich hierbei auf:
 - Ziegler/Nichols
 - Oppelt
- 4.b) Wie entwirft man einen PI-Regler durch Kompensation zu einer IT_1 -Kette ($D \approx 0.3$) ?
- 5.) Welche Methoden sind zum Entwurf einer Festwertregelung (Zielstellung $D \approx 0.3$; warum?) unter Annahme einer quasikontinuierlichen Betriebsweise des Reglers geeignet?
- 6.) Welche Informationen über die Strecke sind hierzu erforderlich? Wie gewinnt man sie?
- 7.) Was sind typische Gütekriterien für Festwertregelungen?

Versuchsdurchführung:

1. Nehmen Sie die Sprungantwort der Temperaturregelstrecke auf! Ermitteln Sie das Übertragungsverhalten der Strecke (Übertragungsfunktion $G(s)$)! Hinweis: Verwenden Sie zur Lösung der Aufgabe das Verfahren von
 - Radke oder
 - Strejc!
2. Bestimmen Sie die Einstellwerte eines PI -Reglers experimentell, z. b. nach dem Verfahren von
 - Ziegler/Nichols.
3. Ermitteln Sie analytisch $K_{P_{kritisch}}$ und $T_{kritisch}$. Hinweis: $1 + G_o(j\omega) = 0$. Berechnen Sie dann die Parameter eines PI -Reglers, d. h. K_p und die Nachstellzeit T_N !
4. Stellen Sie am Regler DR20 (hier als PI -Regler betreiben!) einen festen Sollwert von $48^\circ C$ ein! Stellen Sie am DR20 Ihre ermittelten Reglerwerte (d. h. die experimentellen bzw. analytischen Werte) ein und schließen Sie den Regelkreis! Welche Ergebnisse erhalten Sie? Interpretieren Sie diese Ergebnisse!

Anmerkung:

Ein zweckmäßiger Vorschub des Schreibers ist nach einer Probemessung selbst zu wählen und danach für die folgenden Messungen beizubehalten (Vergleichbarkeit). Während der Messbereich für die Stellgröße den gesamten Signalbereich (10V oder 20V) betragen sollte, kann die Regelgröße ggf. gespreizt werden (kleinerer Messbereich).

Literatur

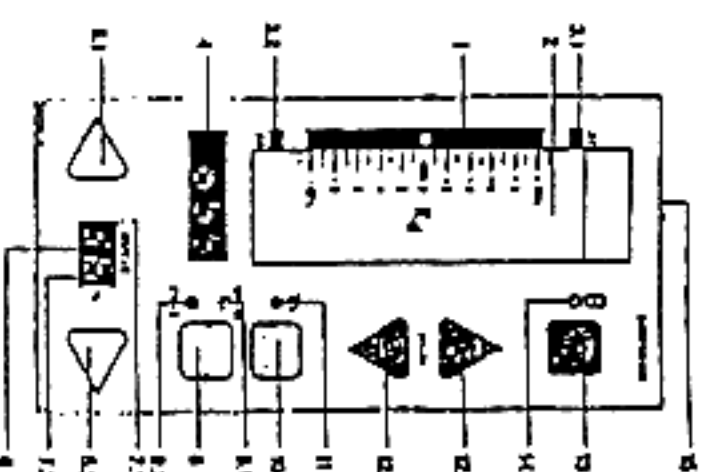
- [1] P. Bernert, Experimentelle Prozessanalyse, Vorlesungsscript, 2002.
- [2] K. Reinisch, *Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme*, Verlag Technik Berlin, 1982.
- [3] J. Lunze, *Regelungstechnik 2*, Springer Verlag, 1997.

5. Einstellen und Bedienen

Die Bedienung des Reglers SIPART DR20 erfolgt in drei Ebenen:

- Prozessbedienung
- Parametrieren
- Strukturieren

In diesen drei Ebenen erhalten die Taster und Anzeiger auf der Front des Gerätes zum Teil unterschiedliche Funktionen.



Die nebenstehende Darstellung der Front des SIPART DR20 entspricht Bild 2/1 auf Seite 10.

6.1 Prozeßbedienunq

Die Bedienung des Gerätes im Prozeßbetrieb ist durch Gestaltung und Farbgebung der Bedienfront, der Bedienelemente und der Beschriftung selbsterklärend.

Der Regeldifferenzanzeiger 1 besteht aus 21 Leuchtdioden, von denen die mittlere grün, und je 10 für die Anzeige von +xd und -xd rot leuchten. Die Empfindlichkeit der Anzeige kann in mehreren Stufen von + 2,5 % bis + 40 % vorgewählt werden.

Das zugehörige Beschriftungsschild 2 ist auswechselbar. Dazu ist der Verschlussstopfen 15 auf der Oberseite des Frontrahmens mit einem spitzen Werkzeug herauszuziehen und das Schild herauszuziehen.

Lieferzustand: Beschriftung für Skalenbereich $\pm 10\%$. Die Rückseite ist unbedruckt und kann für beliebige Skalenbereiche beschriftet werden. Die freie Fläche steht für weitere Angaben zur Verfügung, z. B. Meßstellennummer - Meßbereich - Dimension etc.

Die Leuchtdioden 3 melden Unter- bzw. Überschreitung der Grenzwerte A1 und A2.

Der vierstellige 7-Segment-Digitalanzeiger 4 zeigt wahlweise den Sollwert w (grüne LED 9.1 leuchtet), Istwert x (rote LED 9.2 leuchtet) oder einen der beiden Grenzwerte. Die Anzeige der Grenzwerte wird durch "A1" bzw. "A2" im Display 6 gemeldet. Zwischen den genannten Größen wird mit Taster 8 umgeschaltet (Hinweis auf eine Sonderfunktion von Taster 8 auf Seite 35).

Die Stellgröße y wird im Handbetrieb mit den Tastern 5 verstellt. Bei K-Reglern nimmt die Verstellgeschwindigkeit mit der Betätigungszeit zu. Bei S-Reglern wird das zugehörige Ausgangsrelais betätigt, und der neben dem jeweiligen Taster befindliche Punkt 7 im Anzeiger 6 leuchtet auf. Der zweistellige Anzeiger 6 zeigt den ausgegebenen oder rückgemeldeten Stellwert an. Der Anzeigebereich beträgt - 9 bis + 109 % (100 % = Anzeige "0", 101 % = Anzeige "h1" usw.). Die Leuchtpunkte 7 melden bei S-Reglern die Ausgabe von Stellsignalen.

Mit dem Umschalter 10 wird der Regler von Automatikbetrieb auf Handbetrieb und umgekehrt (stoßfrei) umgeschaltet. Im Handbetrieb leuchtet die gelbe LED 11 mit Dauerlicht und blinkt bei anderen Betriebszuständen (siehe Seite 59).

Der interne Sollwert wi des Gerätes wird mit den Tastern 12 eingestellt. Die Verstellgeschwindigkeit nimmt mit der Betätigungszeit zu. Sollwerteinstellung ist jedoch nur möglich, wenn die grünen LED 9.1 und 14 leuchten.

Zwischen Intern- und Extern-Betrieb wird mit Taster 13 umgeschaltet. Bei Intern-Betrieb leuchtet LED 14 mit Dauerlicht, sie blinkt bei verschiedenen anderen Funktionen (siehe Seite 58).

Externbetrieb bedeutet bei

- | | |
|--|---|
| - Festwertreglern | Sollwert ist gegen Verstellen gesichert |
| - Verhältnissreglern und Verhältnisstationen | { Sollverhältnis ist gegen Verstellung gesichert |
| - Folge-/SPC-Reglern | Sollwert wird dem Gerät über den Analog-eingang we oder den Telegrammeingang (SES) mitgeteilt |
| - DDC-Backup-Reglern und DDC-Handsteuergeräten | Backup-Betrieb |

Bei Folgereglern ohne Intern-/Extern-Umschaltung sowie bei Gleichlaufreglern und Leitgeräten ist der Taster 13 ohne Funktion. Die LED 14 bleibt dann dunkel.

Achtung:

In den nachfolgenden Abschnitten 6.2 und 6.3 wird das Parametrieren und Strukturieren des Gerätes beschrieben. Bitte beachten Sie dabei, daß der Regler Einstellungen von Parametern und Strukturschaltern in das netzausfallsichere EEPROM erst nach Rückschaltung in die Prozeßbedienebene übernimmt und dazu einige Sekunden benötigt. Siehe auch den Hinweis auf die Signalisierung von Betriebsspannungsausfall im Abschnitt 6.6.

6.2 Parametrierung (on-line)

Die einstellbaren Parameter sind in Tabelle 6/1 dargestellt.

Um Fehlbedienungen des SIPART DR20 zu vermeiden, sind zum Umschalten in die Parameter- und Struktur-Ebene mehrere Bedienhandgriffe erforderlich, die innerhalb von 20 s erfolgen müssen. Andernfalls erfolgt automatischer Rücksprung zur Prozeßbedienung.

1. Umschalter 8 so lange betätigen, bis der zweistellige Anzeiger 6 blinkend "PS" meldet. Taster loslassen; die Anzeige "PS" geht in Dauerlicht.

Die beiden Digitalanzeiger zeigen jetzt keine Prozeßgrößen mehr an. Der Regler bleibt jedoch voll in Funktion und zeigt die Regeldifferenz xd an.

2. Nun Taster 12.1 betätigen, bis die Buchstaben "PAR" in die vierstellige Digitalanzeige eingelaufen sind. Das Gerät ist jetzt parametrierbar.

3. Mit den Tastern 5.1 und 5.2 die Parameterliste vorwärts oder rückwärts "durchblättern". Der Anzeiger 6 signalisiert den angewählten Parameter.

4. Den jeweils aufgerufenen Parameter mit den Tastern 12.1 oder 12.2 einstellen. Sein Wert wird vom vierstelligen Display 4 angezeigt.

5. Rückschaltung in den Prozeßbetrieb erfolgt durch einmaliges Betätigen des Tasters 8.

6.3 Strukturierung (off-line)

Die Strukturschalterliste finden Sie in Tabelle 3/1 auf Seite 18.

Zur Strukturschalteranwahl und -einstellung ist analog vorzugehen wie für die Parametrierung:

1. Taster 8 so lange betätigen, bis im zweistelligen Display die Buchstaben "PS" blinken. Taster loslassen. Die Anzeige "PS" geht in Dauerlicht.

2. Nun Taster 12.1 so oft betätigen, bis in den vierstelligen Anzeiger zuerst die Buchstaben "PAR" und dann "STR" eingelaufen sind. Der Regler ist jetzt strukturierbar.

Das Gerät blockiert jetzt seinen Ausgang. Der Anzeiger 1 zeigt ein Streifenmuster.

3. Mit den Tastern 5.1 und 5.2 Strukturschalterliste vorwärts oder rückwärts "durchblättern". Der zweistellige Digitalanzeiger signalisiert jetzt den angewählten Strukturschalter.

4. Den jeweils aufgerufenen Strukturschalter mit den Tastern 12.1 oder 12.2 einstellen. Die gewählte Einstellung wird vom vierstelligen Anzeiger angezeigt.

5. Zurückgeschaltet wird durch Betätigen des Tasters 8. Dabei springt das Gerät zuerst in den Parametrier-Modus, bei nochmaliger Betätigung des Tasters 8 dann in den Prozeßbetriebs-Modus.

Der Regler befindet sich jetzt im absoluten Handbetrieb, d. h. die Steuersignale N, Bl, Sl haben erst Wirkung, wenn die Automatik-/Hand-Taste einmal betätigt wurde.

Parameter	Zeichen	Anzeige auf (6)	Min.	Max.	Werkseinst.	Dim.	Bemerkungen
Vorhaltverstärkung	Vv	"uu"	1.00	10.0	5.000	-	
Proportionalitätsbeiwert	Kp	"cp"	0.100	100.0	0.100	-	
Nachstellzeit	Tn	"tn"	1.00	99.94	99.94	s	Bei PI-Regler S2B = 0
Arbeitspunkt	Yo	"yo"	Auto	99.5	Auto	%	Bei P-Regler S2B = 1.11
Vorhaltzeit	Tv	"tu"	0.0	1000	0.0	s	Tv = Td Vv
Filterzeitkonstante für xd	Tf	"tf"	0.0	1000	0.0	s	Mit "off" wird das D-Glied, das Filter bzw. die Sollwert-Rampe abgeschaltet.
Sollwertrampe	Tw	"ts"	0.0	99.94	0.0	s	für S1 = 7/8
Ventilstellzeit/Periode y+	Ty	"ty"	1.00	1000	60.00	s	Nur für S-Regler, T + Tf - gelten für die beiden Ausgangskanäle beim Zweipunktregler S2 = 1.
Periode y-	T-	"t-"	1.00	1000	60.00	s	
Meßanfang 0 %	LA	"LA"	-1999	9999	0.0	-	
Stützpunkt 1/8 = 12.5 %	L1	"L1"	-1999	9999	0.0	-	
Stützpunkt 2/8 = 25 %	L2	"L2"	-1999	9999	0.0	-	
Stützpunkt 3/8 = 37.5 %	L3	"L3"	-1999	9999	0.0	-	
Stützpunkt 4/8 = 50 %	L4	"L4"	-1999	9999	0.0	-	
Stützpunkt 5/8 = 62.5 %	L5	"L5"	-1999	9999	0.0	-	
Stützpunkt 6/8 = 75 %	L6	"L6"	-1999	9999	0.0	-	
Stützpunkt 7/8 = 87.5 %	L7	"L7"	-1999	9999	0.0	-	
Meßende 100 %	LE	"LE"	-1999	9999	100.0	-	
Sollwertbegrenzung Anfang	wa	"5A"	-1999	9999	-5.0	-	
Sollwertbegrenzung Ende	we	"5E"	-1999	9999	105.0	-	
Sicherheitsollwert	wS	"5H"	-1999	9999	0.0	-	
Grenzwert, Minimalwert	a2	"A2"	-1999	9999	-5.0	-	
Grenzwert, Maximalwert	a1	"A1"	-1999	9999	5.0	-	
Anspruchsschwelle von xd	A	"A"	0.0	10.0	0.0	%	Bei S2 = 2 und 3 A > 0 einstellen
Stellwertbegrenzung Anfang von yA	ya	"yA"	-10.0	110.0	-5.0	%	
Stellwertbegrenzung Ende von yA	ye	"yE"	-10.0	110.0	105.0	%	
Sicherheitsstellwert	ys	"yS"	-10.0	110.0	0.0	%	
Konstante 1 (Nullpunkt)	c1	"c1"	-199.9	199.9	0.0	%	
Konstante 2 (Faktor)	c2	"c2"	-199.9	199.9	0.0	%	

1) Bei yo = Auto wird der Arbeitspunkt im Handbetrieb automatisch eingestellt, so daß die Umschaltung in den Automatikbetrieb stoßfrei ist.
Bei yo = 0 bis 99.5 wird mit dem eingestellten Arbeitspunkt gearbeitet. Die Umschaltung in den Automatikbetrieb ist nicht stoßfrei. In Verbindung mit 3-Punkt-Schrittreglern muß mit externer Stellungsrückführung (S2 = 3) gearbeitet werden. Gilt ab Softwarestand A06.

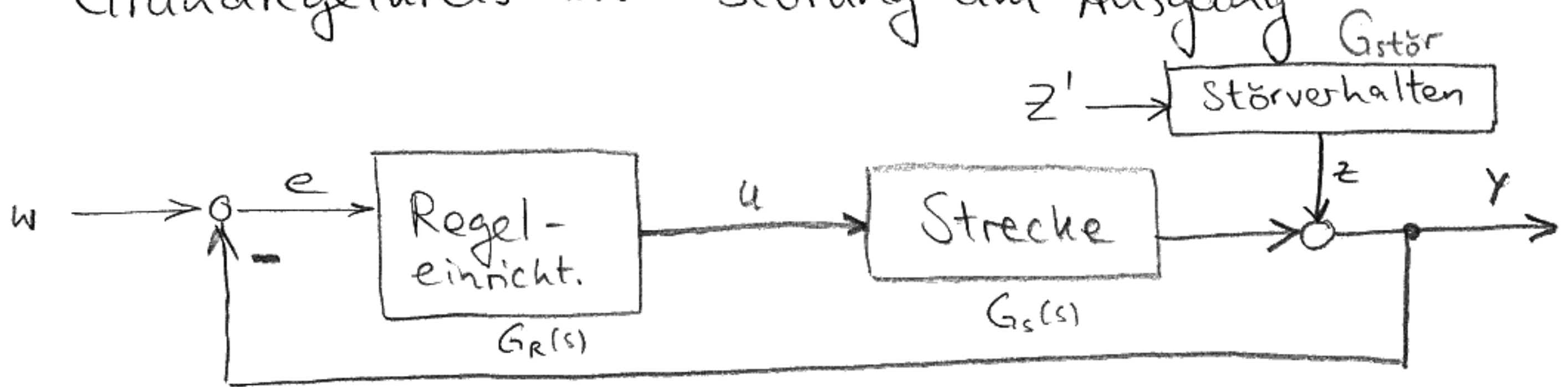
Tabelle 6/1 Parameter

Praktikum „Analoger Regelkreis“

-1-

Julian Krüger

1.) Grundregelkreis mit Störung am Ausgang



→ zusammenfassen in Blöcke der Gerätefunktionen

1.) a) mit Hilfe der Übertragungsfktn.:

allgemein:

$$Y(s) = Z(s) + \cancel{G_S(s)} [W(s) - Y(s)] G_R(s) \cdot G_S(s)$$

Störungsübertragungsfkt.:

$$G_Z(s) = \frac{Y(s)}{Z(s)} = \frac{1}{1 + G_R(s) \cdot G_S(s)}$$

Führungsübertragungsfkt.:

$$G_W(s) = \frac{G_R(s) \cdot G_S(s)}{1 + G_R(s) \cdot G_S(s)}$$

Stellfkt.:

$$G(s) = \frac{G_R}{1 + G_R \cdot G_S}$$

2.) Exp. Modellentwurf (EPA)

„Black-Box-Prinzip“

oder

→ E/A-
Modelle

→ durch ~~gee~~ Anwendung
geeigneter Testsignale
charakteristische Werte
bestimmen

Theoret. P. Analyse

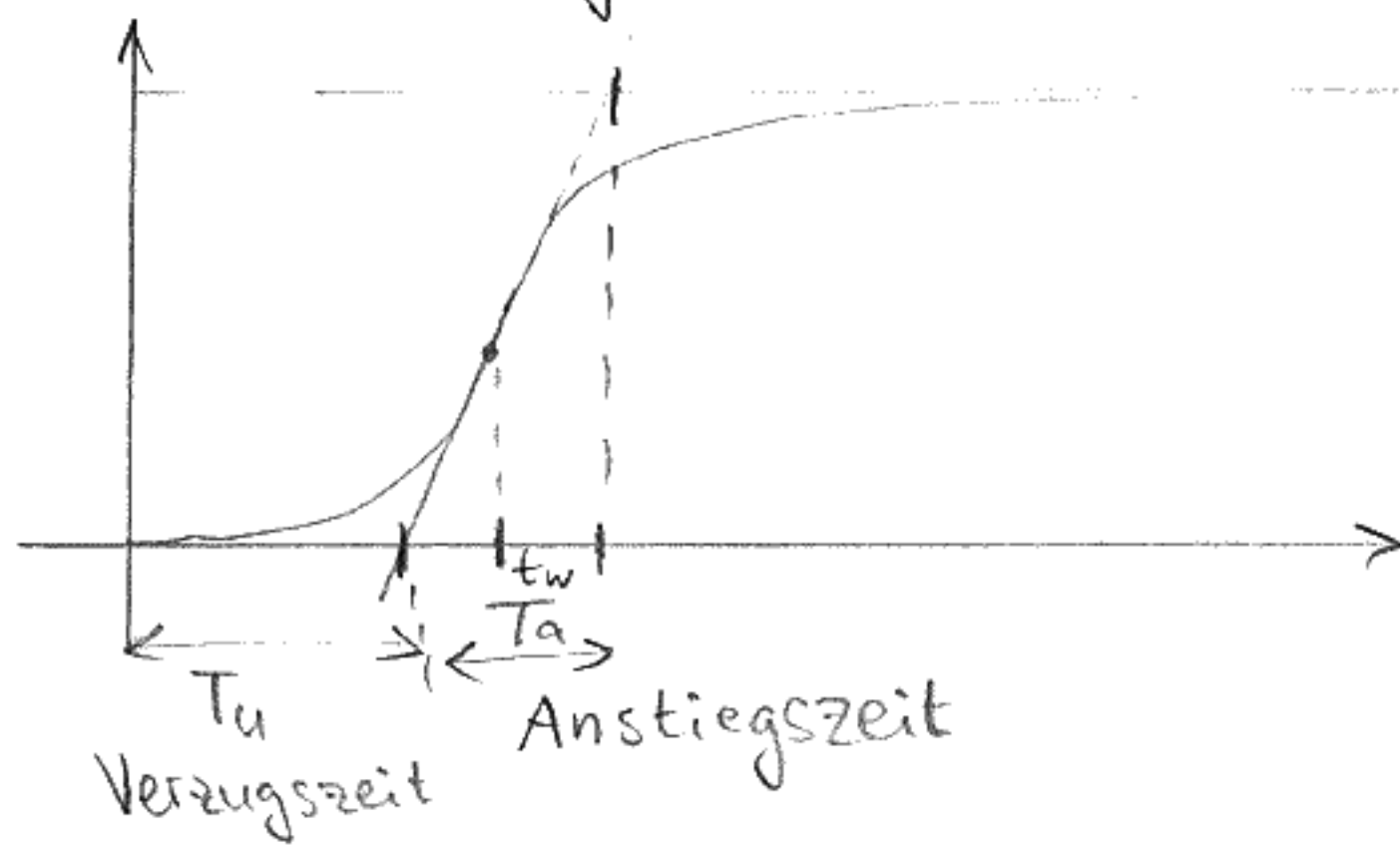
Modellbildung beginnend mit Wissen der physik.

Zusammenhänge / Gesetzmäßigkeiten.

→ Bilanzgl.

→ Konstitutive Bezhn.

-3- 3.) Wendetangenten-Verfahren:



Approximation durch PT_2 -Glied wenn $\frac{T_a}{T_u} \geq 9.64$

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

Sprungantwort: $q(t) = k \cdot u_0 \left[1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right]$
 $T_1 \neq T_2$

$$\left. \frac{dq}{dt} \right|_{t_w} = \frac{k \cdot u_0}{T_a} \quad \left. \frac{d^2 q}{dt^2} \right|_{t_w} \stackrel{!}{=} 0 \quad T_a, k \cdot u_0, t_w \text{ direkt ablesen}$$

\Rightarrow Bestimmung von T_1, T_2 aus Tabellen (Übungen:
 RT I S. 366
 Tab. 9.3.1)

Strejc-Verfahren

3 geometrisch gestaffelte Zeitkonstn.

$$G(s) = \frac{k}{\prod_{i=0}^{n=3} \left(1 + \frac{T}{1+i \cdot r} \right)} \quad r \dots \text{Parameter}$$

Ladthe:

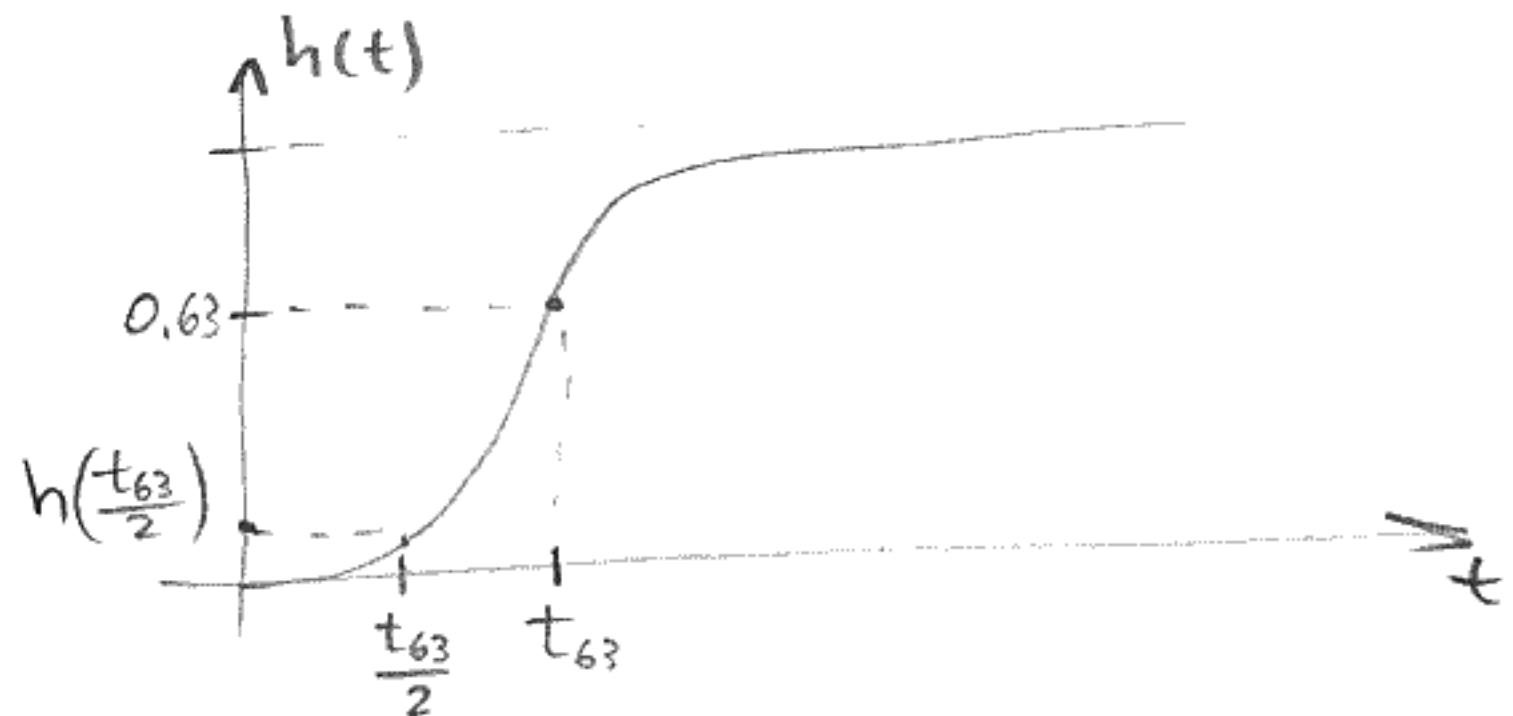
-4-

$$G(s) = \frac{k \cdot e^{-sT_t}}{\prod_{i=1}^n (1 + s \frac{T_i}{j})}$$

→ Bestimmung von T, n

n aus Tabelle mit $h(\frac{t_{0.63}}{2})$ (siehe Anhang)

$$T = D(n) \cdot t_{0.63}$$



4.) a) lineare Reglerentwurfverfahren

Ziegler/Nichols:

Regler-typ:	K_R :	T_I :	T_D :
I. P	$0.5 \cdot K_{Rkrit}$	—	—
II. PI	$\frac{1}{K_s} \cdot \frac{T_a}{T_u}$	—	—
PI	$0.45 \cdot K_{krit}$	$0.85 \cdot T_{krit}$	—
	$\frac{0.9}{K_s} \cdot \frac{T_a}{T_u}$	$3.33 \cdot T_u$	—
PID	$0.6 \cdot K_{krit}$	$0.5 \cdot T_{krit}$	$0.12 \cdot T_{krit}$
	$\frac{1.2}{K_s} \cdot \frac{T_a}{T_u}$	$2 \cdot T_u$	$0.5 \cdot T_u$

I.: Standardregler zunächst als P-Regler

„Meth. d. Stab. vandes“ • K_R vergrößern bis g.RK Dauer-schwingt $\Rightarrow K_R = K_{krit}$
• Periodendauer T_{krit} messen

II.: Übergangsfkt \Rightarrow Werte ablesen
„M. d. Überg.-fkt.“

$\frac{K_s}{T_a} \hat{=}$ Steigung
d. Wende-
tangente

4.) b)

PI $G_R(s) = K_R + \frac{1}{sT_I}$

IT₁ $G_S(s) = \frac{1}{T_I s(1+sT)}$



$$G_{\text{Kw}} = \frac{G_R G_S}{1 + G_R G_S}$$

→ z.B. WOK zeichnen lassen

und ~~per~~ K_R, T_I für

$\cos \varphi = D = 0.3$ wählen

5.)

→ WOK-Verfahren (rlocus() in matlab)

→ Synthese im Freq. bereich (Bode-Diagramm)

„IT₂ der offenen Kette ergibt PT₂^{*} des g.RK“

→ empirisches Verf. nach Ziegler-Nichols

→ pole-placement

→ ...

6.)

- Ordnung der Strecke

- Totzeitverhalten vorhanden oder nicht

- stabile / instabile Strecke?

- Kennwerte wie $T_a, T_n, t_w, K, t_{\text{tot}}$, Phasenversch. φ, \dots

→ werden z.B. durch graphische Verfahren ermittelt

nach Befragung des Systems mittels geeigneter

Testsignale (Sprung, Impuls, Rampe, $\sin()$, ...)

7.)

Lineare Regelfläche: $\int_0^\infty e(t) dt$

zeitbeschwerte betragslineare Regelfläche: (quad.) $\int_0^\infty |e(t)| t dt$ bzw. $\int_0^\infty e^2(t) t dt$

weitere ausführlich in Literatur beschrieben

Strecke mit Ausgleich höherer Ordnung

Wahl eines geeigneten Reglers

Handelt es sich bei der Regelstrecke um eine Strecke mit Ausgleich höherer Ordnung, so kann zur Wahl eines geeigneten Reglertyps das Verhältnisses T_g / T_u herangezogen werden:

Regler	T_g / T_u	Regelbarkeit der Strecke
P-Regler	$T_g / T_u > 10$	gut regelbar
PI-Regler	$T_g / T_u 10..3$	regelbar
PID-Regler	$T_g / T_u < 3$	schlecht regelbar

Anpassung des Reglers an die Regelstrecke - Einstellregeln

Für die Anpassung eines Reglers an eine Regelstrecke existieren verschiedene Einstellregeln. Für Strecken mit Ausgleich höherer Ordnung und beim Vorliegen der Streckenparameter K_s , T_u und T_g können für die Berechnung der Reglerparameter Einstellregeln zur Anwendung kommen, die diese Parameter auf Basis der Streckenparameter bestimmen (**Wendetangentenverfahren**), d.h. eine Identifizierung der Regelstrecke wurde bereits durchgeführt.

Wurde eine Identifizierung der Regelstrecke nicht durchgeführt, so können die Reglerparameter trotzdem bestimmt werden. Dies geschieht, indem mit dem Regler an der Strecke experimentiert wird und damit indirekt auf das Verhalten der Regelstrecke geschlossen werden kann. Das **Schwingungsverfahren von Ziegler/Nichols** ist ein Verfahren, das zu dieser Kategorie gehört.

Wendetangentenverfahren

Im Nachfolgendem sind die Formeln zur Berechnung der Reglerparameter (K_R , T_n , T_v) entsprechend den Einstellregeln aufgeführt, die auch in der Versuchssimulation zur Anwendung kommen.

Einstellregeln nach Ziegler/Nichols

Regler	K_R	T_n	T_v
P-Regler	$K_R = (1 / K_s) \cdot (T_g / T_u)$./.	./.
PI-Regler	$K_R = (0.9 / K_s) \cdot (T_g / T_u)$	$T_n = 3.33 \cdot T_u$./.
PID-Regler	$K_R = (1.2 / K_s) \cdot (T_g / T_u)$	$T_n = 2 \cdot T_u$	$T_v = 0.5 \cdot T_u$

$$K_I = K_R / T_n$$

$$K_D = K_R \cdot T_v$$

Einstellregeln nach Oppelt

Regler	K_R	T_n	T_v
P-Regler	$K_R = (1 / K_s) \cdot (T_g / T_u)$./.	./.
PI-Regler	$K_R = (0.8 / K_s) \cdot (T_g / T_u)$	$T_n = 3 \cdot T_u$./.
PID-Regler	$K_R = (1.2 / K_s) \cdot (T_g / T_u)$	$T_n = 2 \cdot T_u$	$T_v = 0.42 \cdot T_u$

$$K_I = K_R / T_n$$

$$K_D = K_R \cdot T_v$$

Einstellregeln nach Rosenberg

Regler	X_P	T_n	T_v
--------	-------	-------	-------

P-Regler	$X_P = K_s \cdot (T_u / T_g)$./.	./.
PI-Regler	$X_P = K_s \cdot (1.1 \cdot T_u / T_g)$	$T_n = 3.3 \cdot T_u$./.
PID-Regler	$X_P = K_s \cdot (0.83 \cdot T_u / T_g)$	$T_n = 2 \cdot T_u$	$T_v = T_n / 4.5$

$$K_R = 1 / X_P$$

$$K_I = K_R / T_n$$

$$K_D = K_R \cdot T_v$$

Einstellregeln nach Chien/Hornes/Reswick

Regler	K_R	T_n	T_v
P-Regler	$K_R = (0.3 / K_s) \cdot (T_g / T_u)$./.	./.
PI-Regler	$K_R = (0.35 / K_s) \cdot (T_g / T_u)$	$T_n = 1.2 \cdot T_g$./.
PID-Regler	$K_R = (0.6 / K_s) \cdot (T_g / T_u)$	$T_n = T_g$	$T_v = 0.5 \cdot T_u$

$$K_I = K_R / T_n$$

$$K_D = K_R \cdot T_v$$

Schwingungsverfahren nach Ziegler/Nichols

Vorgehensweise:

- 1.) Einstellung des Reglers als P-Regler ($K_I=0$ und $K_D=0$ bzw. $T_v=0$ und $T_n=$ unendlich)
- 2.) Erhöhung von K_R (beginnend mit kleinen Werten von K_R) bis zur Stabilitätsgrenze (die Regelgröße X beginnt gleichmäßig zu schwingen)
- 3.) Ablesen von $K_{R \text{ krit}}$
- 4.) Messung der beobachtbaren Periodendauer T_{krit}
- 5.) Berechnung der Reglerparameter (K_R, T_n, T_v) entsprechend den folgenden Regeln:

Regler	K_R	T_n	T_v
P-Regler	$K_R = K_{R \text{ krit}} \cdot 0.5$./.	./.
PI-Regler	$K_R = K_{R \text{ krit}} \cdot 0.45$	$T_n = 0.85 \cdot T_{\text{krit}}$./.
PID-Regler	$K_R = K_{R \text{ krit}} \cdot 0.6$	$T_n = 0.5 \cdot T_{\text{krit}}$	$T_v = 0.12 \cdot T_{\text{krit}}$

$$K_I = K_R / T_n$$

$$K_D = K_R \cdot T_v$$