

Grundlagenpraktikum

VERSUCH AS-G4

" Inbetriebnahme eines Regelkreises "

Verantw. Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. Ch. Ament
Versuchsverantwortlicher: Dr.-Ing. M. Eichhorn
Stand 11/12

Inhalt

1	Versuchsziel	3
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	<i>Inbetriebnahme von Regelungen</i>	4
2.2	<i>Identifikation der Regelstrecke</i>	4
2.2.1	Proportional-Element	5
2.2.2	PT ₁ -Element	5
2.2.3	PT _i -Element	6
2.2.4	PT ₂ -Element	6
2.3	<i>Ermittlung der Streckenparameter mittels Wendetangentenverfahren</i>	7
2.3.1	Wendetangentenverfahren für Übertragungselemente mit zwei verschiedenen Zeitkonstanten (PT ₂ -Element)	8
2.3.2	Wendetangentenverfahren für Übertragungselemente mit n gleichen Zeitkonstanten	9
2.4	<i>Einstellregel für den PID-Regler: T-Summen-Regel</i>	10
2.4.1	Berechnung der Summenzeitkonstante	10
3	Versuchsaufbau	12
3.1	<i>Analogmodell</i>	12
3.2	<i>Universalregler „Protronic 500“</i>	12
3.2.1	Menüstruktur	13
3.2.2	Reglerparametrierung	13
3.2.3	Aktivierung der einzelnen Regelkreise	15
4	Vorbereitungsaufgaben	16
5	Versuchsdurchführung	17
5.1	<i>Identifikation der Regelstrecke</i>	17
5.2	<i>Bestimmung der Parameter für den Regler</i>	17
5.3	<i>Verifikation der Regelkreise</i>	17
5.4	<i>Betriebsarten des Reglers</i>	17
6	Literaturverzeichnis	18

1 Versuchsziel

Die Inbetriebnahmeschritte einer Regelung unter Verwendung von praxisrelevanten Verfahren sind Inhalt dieses Versuches. Die Versuchsbedingungen sollen bezüglich der Zeitvorgaben und der Geräteausstattung den realen Inbetriebnahmebedingungen (Feldbedingungen) entsprechen.

Die Versuchsaufgabe besteht im Entwurf eines Reglers an einer unbekannten Strecke. Zum Einsatz kommt der Industrieregler „Protronic 500“. Der Praktikant lernt während des Praktikums die Grundfunktionen dieses Reglers sowie seine Bedienung kennen. Die Regelstrecke wird durch ein Langzeit-Analogmodell nachgebildet.

Zur Ermittlung des Streckenverhaltens werden experimentelle Verfahren auf der Basis der Auswertung einer Sprungantwort vorgestellt. Es wird gezeigt wie diese Sprungantworten erzeugt, dargestellt und ausgewertet werden. Die Bestimmung der Reglerparameter erfolgt durch praxisnahe Einstellregeln für PID-Regler.

Der Praktikant soll erkennen, dass mit der im Versuch vermittelten Vorgehensweise eine Regelkreiseinstellung mit geringem- Zeit- und Kostenaufwand durchzuführen ist. Das Ergebnis sind jedoch Regler, welche ein sicheres Betreiben des Regelkreises (kein starkes Überschwingen, keine Instabilität) auf Kosten der Regelgüte erlauben. Eine Verbesserung der Regelgüte kann nur durch eine abschließende Feineinstellung oder durch die Lösung theoretischer Ansätze bzw. einer Parameteroptimierung erfolgen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Inbetriebnahme von Regelungen

Nach VDI/VDE 3685 kann eine vollständige Inbetriebnahme von Regelungen durch das nachfolgende Ablaufdiagramm dargestellt werden.

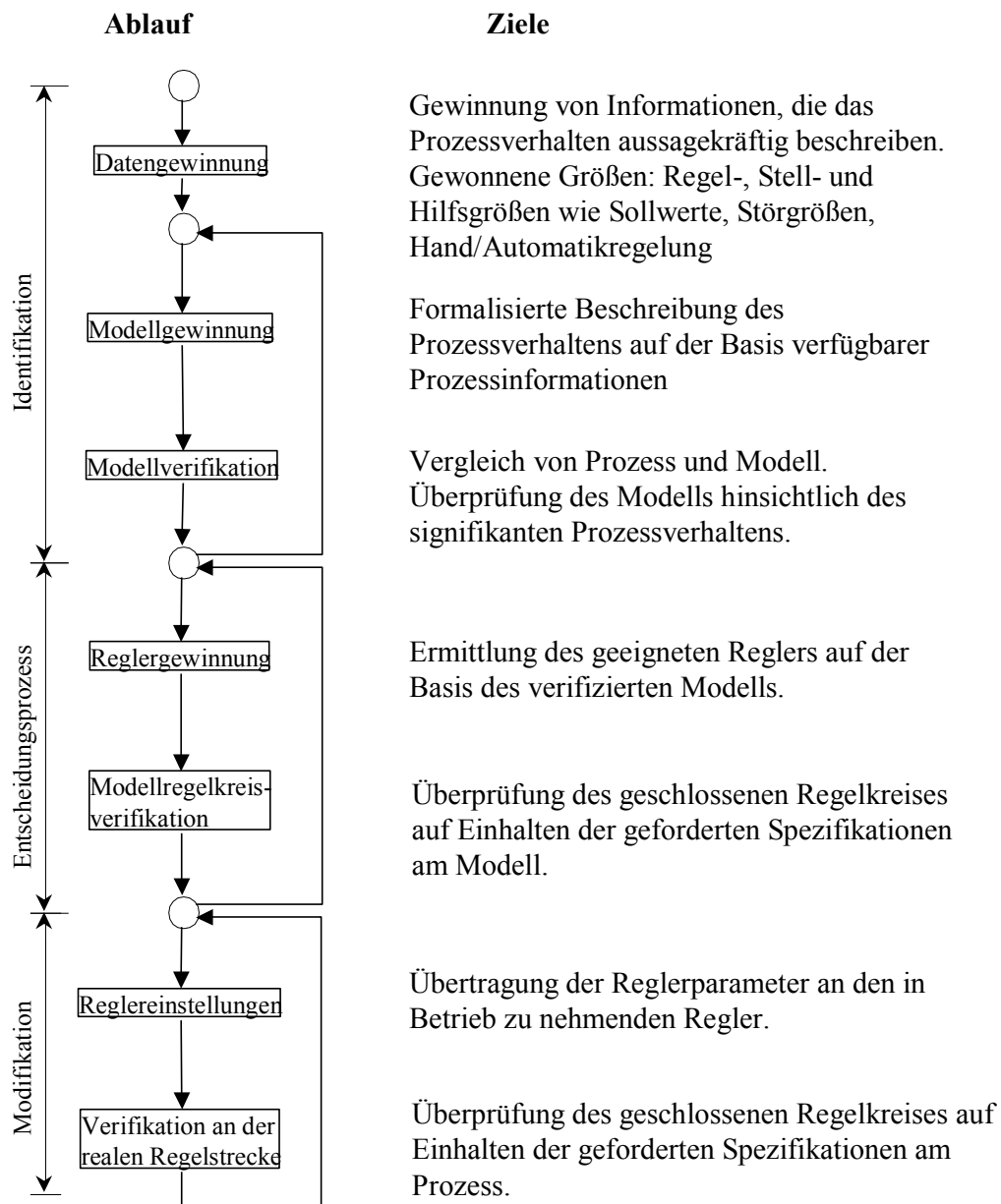


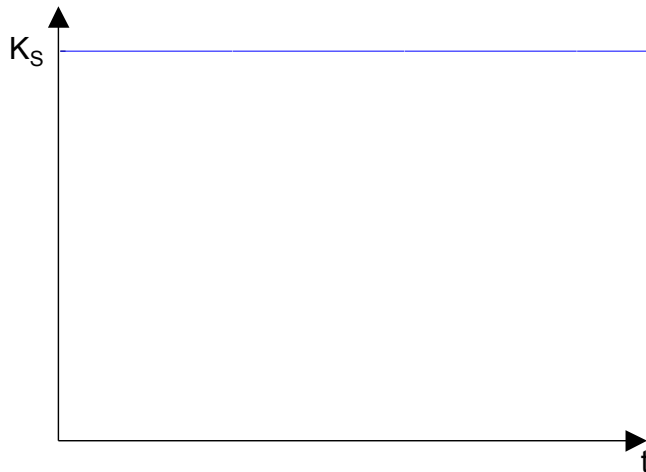
Abbildung 2.1: Funktionale Beschreibung der Inbetriebnahme

2.2 Identifikation der Regelstrecke

Um einen Regler in einem Regelkreis einstellen zu können, sind ausreichende Informationen über das dynamische Verhalten der Regelstrecke notwendig. Das dynamische Verhalten der Strecke kann durch die Aufstellung einer Übertragungsfunktion beschrieben werden. Eine praxisrelevante Möglichkeit zur Ermittlung einer Übertragungsfunktion besteht in der

Auswertung der Sprungantwort der Regelstrecke. Hierbei steuert man die Strecke mit einem definierten Sprung an und wertet die aufgenommene Systemantwort aus. In den nachfolgenden Abschnitten werden typische Sprungantworten von Grundelementen sowie die Ermittlung ihrer Übertragungsfunktionen beschrieben.

2.2.1 Proportional-Element



Identifikationsgleichung:

$$K_S = \frac{x_a(t \rightarrow \infty) - x_a(t < 0)}{x_e(t > 0) - x_e(t < 0)},$$

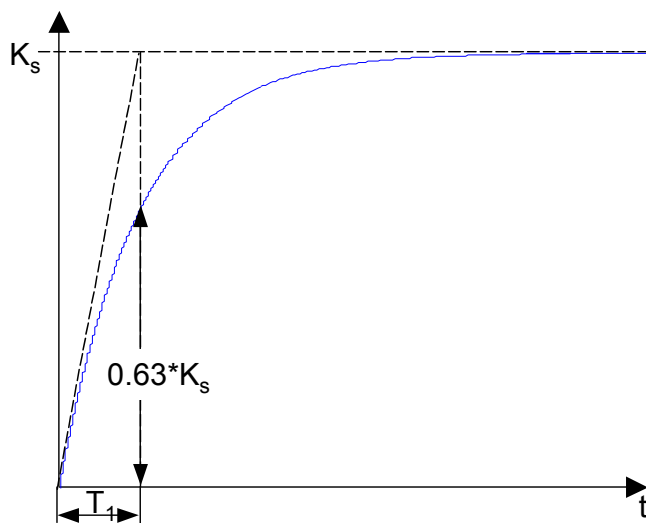
wobei x_a die Ausgangsgröße (Sprungantwort) und x_e die Eingangsgröße des Übertragungsgliedes ist

Übertragungsfunktion:

$$G(p) = K_S$$

Abbildung 2.2: Sprungantwort

2.2.2 PT₁-Element



Identifikationsgleichungen:

$$K_S = \frac{x_a(t \rightarrow \infty) - x_a(t < 0)}{x_e(t > 0) - x_e(t < 0)},$$

$$T_1 = \frac{x_a(t \rightarrow \infty)}{\dot{x}_a(t = 0)},$$

\dot{x}_a - Anstieg der Sprungantwort im Ursprung

Übertragungsfunktion:

$$G(p) = \frac{K_S}{1 + p \cdot T_1}$$

Abbildung 2.3: Sprungantwort

2.2.3 PT_t-Element

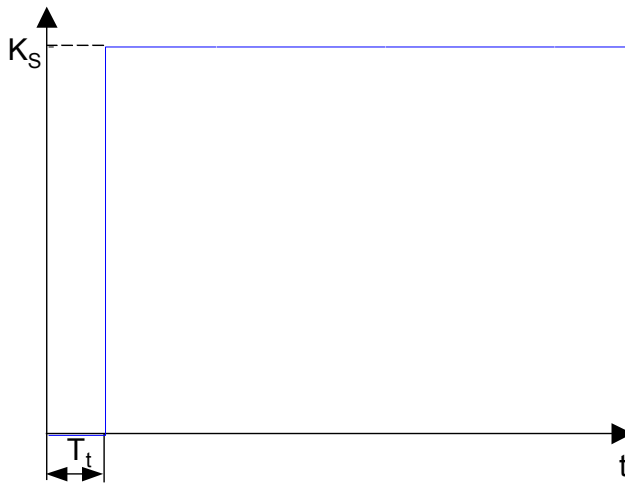


Abbildung 2.4: Sprungantwort

Identifikationsgleichungen:

$$K_S = \frac{x_a(t \rightarrow \infty) - x_a(t < 0)}{x_e(t > 0) - x_e(t < 0)}$$

T_t wird graphisch ermittelt

Übertragungsfunktion:

$$G(p) = K_S \cdot e^{-p T_t}$$

2.2.4 PT₂-Element

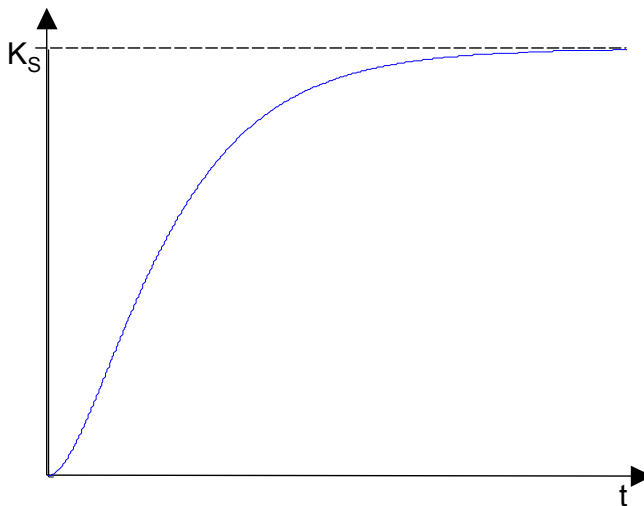


Abbildung 2.5: Sprungantwort

Identifikationsgleichungen:

$$K_S = \frac{x_a(t \rightarrow \infty) - x_a(t < 0)}{x_e(t > 0) - x_e(t < 0)}$$

T_1 und T_2 folgen aus dem Wendetangentenverfahren (siehe Abschnitt 2.3)

Übertragungsfunktion:

$$G(p) = \frac{K_S}{(1 + p \cdot T_1)(1 + p \cdot T_2)}$$

2.3 Ermittlung der Streckenparameter mittels Wendetangentenverfahren

Ein Wendepunkt tritt bei Sprungantwortfunktionen ohne Überschwingen bei Regelstrecken auf, welche aus mehreren Verzögerungselementen bestehen [1]. Der Anstieg der Sprungantwortfunktion hat im Wendepunkt ein Maximum. Die Existenz des Wendepunktes ist ein wichtiges Identifizierungsmerkmal für Regelstrecken mit mehreren Verzögerungselementen.

Durch Anlegen einer Tangente in diesem Wendepunkt werden die Streckenzeitkennwerte Verzugszeit T_u und Ausgleichzeit T_g bestimmt:

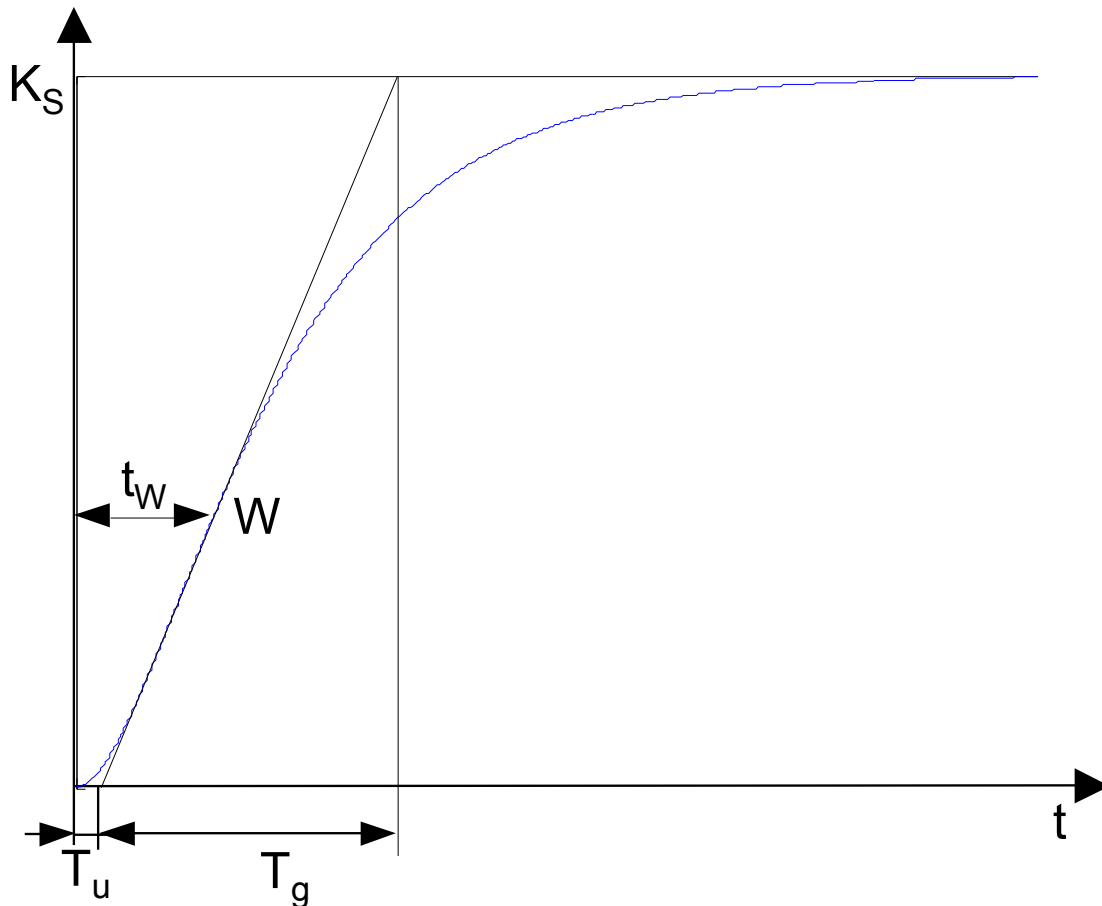


Abbildung 2.6: Kenngrößen der Sprungantwort

Das Ziel des Wendetangentenverfahrens besteht darin, aus den Zeitkennwerten T_u und T_g die Zeitkonstanten der Regelstrecke zu berechnen.

Das Verfahren ist bei Regelstrecken mit zwei verschiedenen oder mehreren gleichen Zeitkonstanten verwendbar. In Abbildung 2.7 ist die Vorgehensweise und der Entscheidungsentwurf dargestellt.

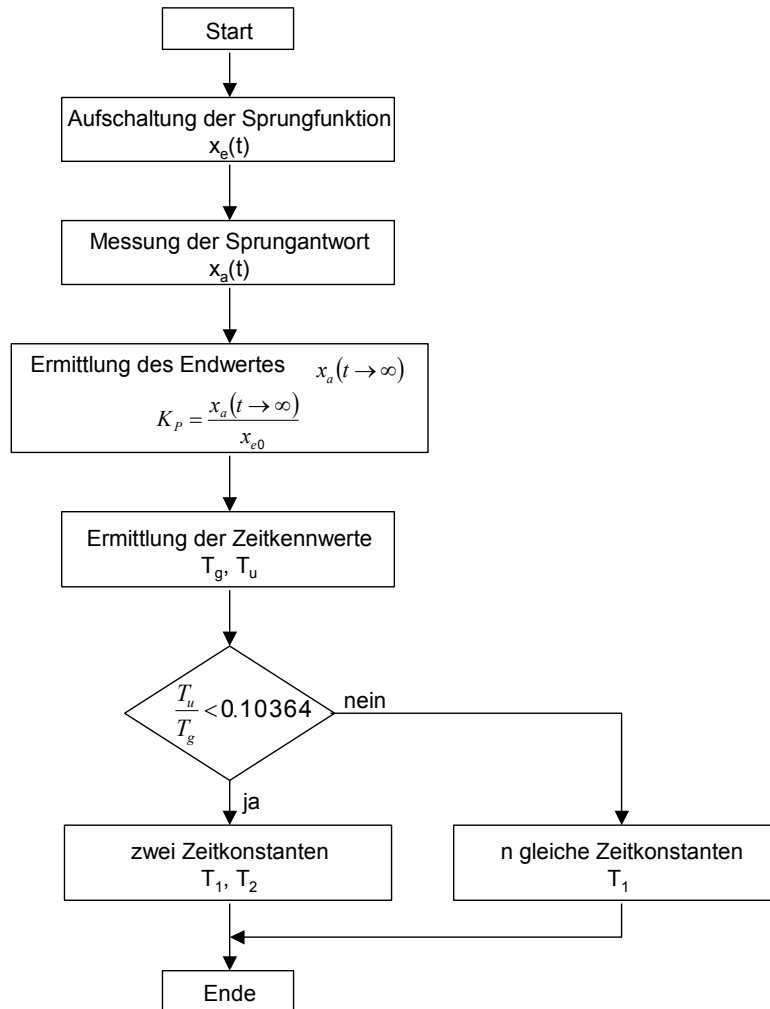


Abbildung 2.7: Vorgehensweise und Entscheidungsablauf beim Wendetangentenverfahren

2.3.1 Wendetangentenverfahren für Übertragungselemente mit zwei verschiedenen Zeitkonstanten (PT₂-Element)

Ein PT₂-Element liegt vor, wenn das Verhältnis $\frac{T_u}{T_g} < 0,10364$ ist. Ist dies nicht der Fall, kann man ein Übertragungselement mit mehreren gleichen Zeitkonstanten nach Abschnitt 2.3.2 bestimmen. Für das PT₂-Element bestimmen sich die Zeitkonstanten, wie folgt:

- Bestimmung des Zeitkonstantenverhältnisses $\alpha = \frac{T_2}{T_1}$ unter Verwendung von $\frac{T_u}{T_g}$ aus

Abbildung 2.8

- Bestimmung des Verhältnisses $\frac{T_g}{T_1}$ unter Verwendung von α aus Abbildung 2.9
- Berechnung der Zeitkonstante T_1 aus Verhältnis $\frac{T_g}{T_1}$
- Berechnung der Zeitkonstante T_2 aus Verhältnis $\alpha = \frac{T_2}{T_1}$

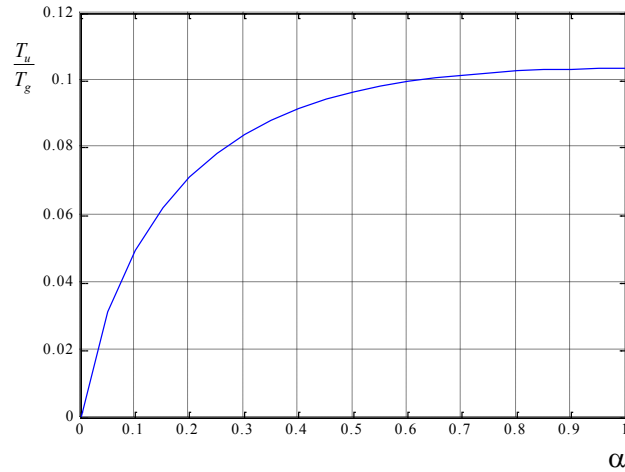


Abbildung 2.8: $\frac{T_u}{T_g}$ in Abhängigkeit vom Zeitkonstantenverhältnis $\alpha = \frac{T_2}{T_1}$

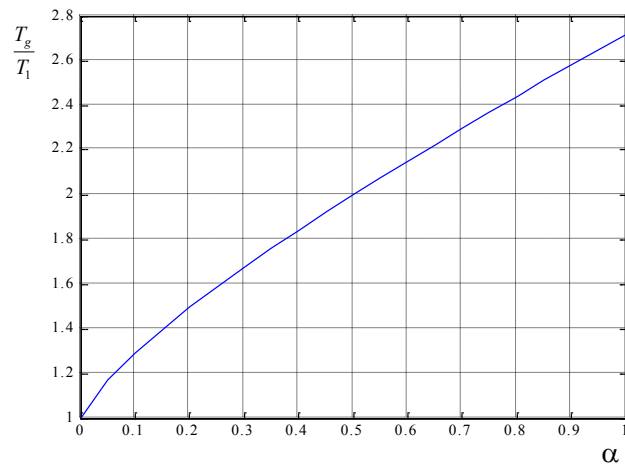


Abbildung 2.9: $\frac{T_g}{T_1}$ in Abhängigkeit vom Zeitkonstantenverhältnis $\alpha = \frac{T_2}{T_1}$

2.3.2 Wendetangentenverfahren für Übertragungselemente mit n gleichen Zeitkonstanten

Aus der Sprungantwort wird die Wendezeit t_w abgelesen und T_l bestimmt: $T_l = \frac{t_w}{(n-1)}$. Die

Anzahl n der Zeitkonstanten ist aus folgender Tabelle zu entnehmen, wenn das Verhältnis $\frac{T_u}{T_g}$ in der Nähe eines darin aufgeführten Wertes liegt. Trifft dies nicht zu, dann liegt kein System mit n gleichen Zeitkonstanten vor.

n	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{T_u}{T_g}$	0,1036	0,2180	0,3194	0,4103	0,4933	0,5700	0,6417

Tabelle 2.1 Zeitverhältnisse für das Wendetangentenverfahren mit gleichen Zeitkonstanten

2.4 Einstellregel für den PID-Regler: T-Summen-Regel

Das T-Summen-Verfahren ist eine Einstellregel für PID-Regler, welche mit hoher Zuverlässigkeit gute Ergebnisse liefert[1], [3]. Diese Regel gilt besonders für Strecken mit s-förmigen Sprungantworten. Als Kenngröße für diese Strecken wird die Summenzeitkonstante T_Σ genutzt, sie ist eine Größe, welche die Schnelligkeit der Strecke kennzeichnet.

2.4.1 Berechnung der Summenzeitkonstante

Die Summenzeitkonstante ist für ein System mit der Übertragungsfunktion

$$G_s(p) = \frac{k_s \cdot (1 + T_{D1}p)(1 + T_{D2}p) \cdots (1 + T_{Dm}p) \cdot e^{-pT_t}}{(1 + T_1p)(1 + T_2p) \cdots (1 + T_np)}$$

definiert als: $T_\Sigma = T_1 + T_2 + \cdots + T_n - T_{D1} - T_{D2} - \cdots - T_{Dm} + T_t$

Die Bestimmung der Übertragungsfunktion wurde in Abschnitt 2.3 behandelt. Die Summenzeitkonstante kann aber auch direkt aus der Sprungantwort $h(t)$ des Systems ermittelt werden. Für die schraffierte Fläche $A = \int (k_s - h(t))dt$ in Abbildung 2.10 gilt

$$A = k_s \cdot T_\Sigma$$

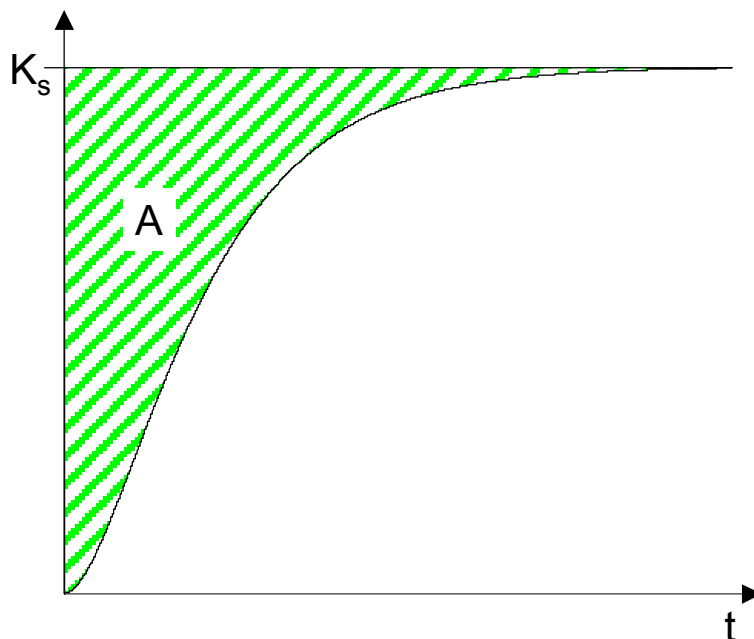


Abbildung 2.10: s-förmige Sprungantwort

Dieser Weg ist nur unter Verwendung eines Rechners oder durch genaues zeitaufwendiges Auszählen möglich. Eine praktikable Möglichkeit aus der Fläche auf die Summenzeitkonstante zu schließen, zeigt Abbildung 2.11. Wenn die beiden schraffierten Flächen F_1 und F_2 gleich sind, dann kann man an ihrer Grenze die Summenzeitkonstante T_Σ ablesen.

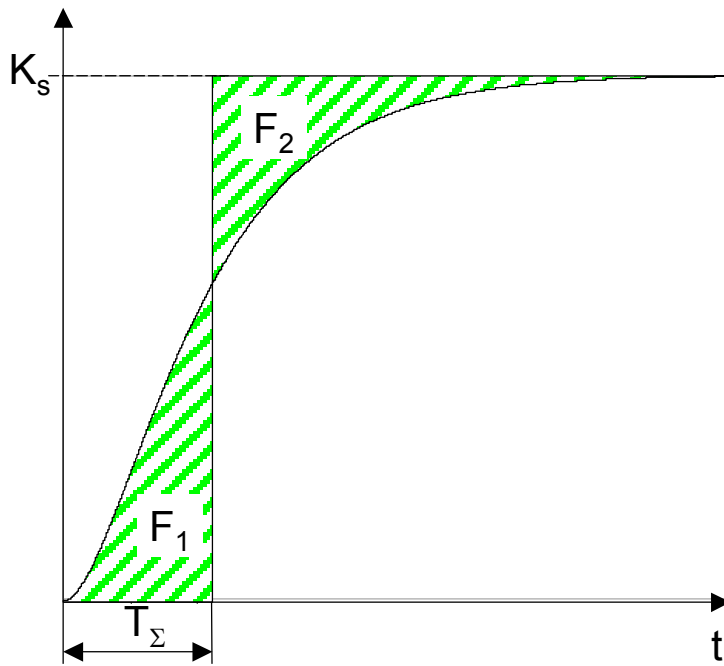


Abbildung 2.11: Bestimmung von $T_\Sigma: F_1=F_2$

Unter Verwendung der Streckenverstärkung K_s und der Summenzeitkonstante T_Σ können die Reglerparameter laut der folgenden Tabelle ermittelt werden.

Reglertyp		Reglerparameter		
		K_R	T_N	T_V
Normale Einstellung	P	$1/k_s$	-	-
	PD	$1/k_s$	-	$0,33 T_\Sigma$
	PI	$0,5/k_s$	$0,5 T_\Sigma$	-
	PID	$1/k_s$	$0,66 T_\Sigma$	$0,167 T_\Sigma$
Schnelle Einstellung	PI	$1/k_s$	$0,7 T_\Sigma$	-
	PID	$2/k_s$	$0,8 T_\Sigma$	$0,194 T_\Sigma$

Tabelle 2.2: T_Σ -Einstellregeln

3 Versuchsaufbau

3.1 Analogmodell

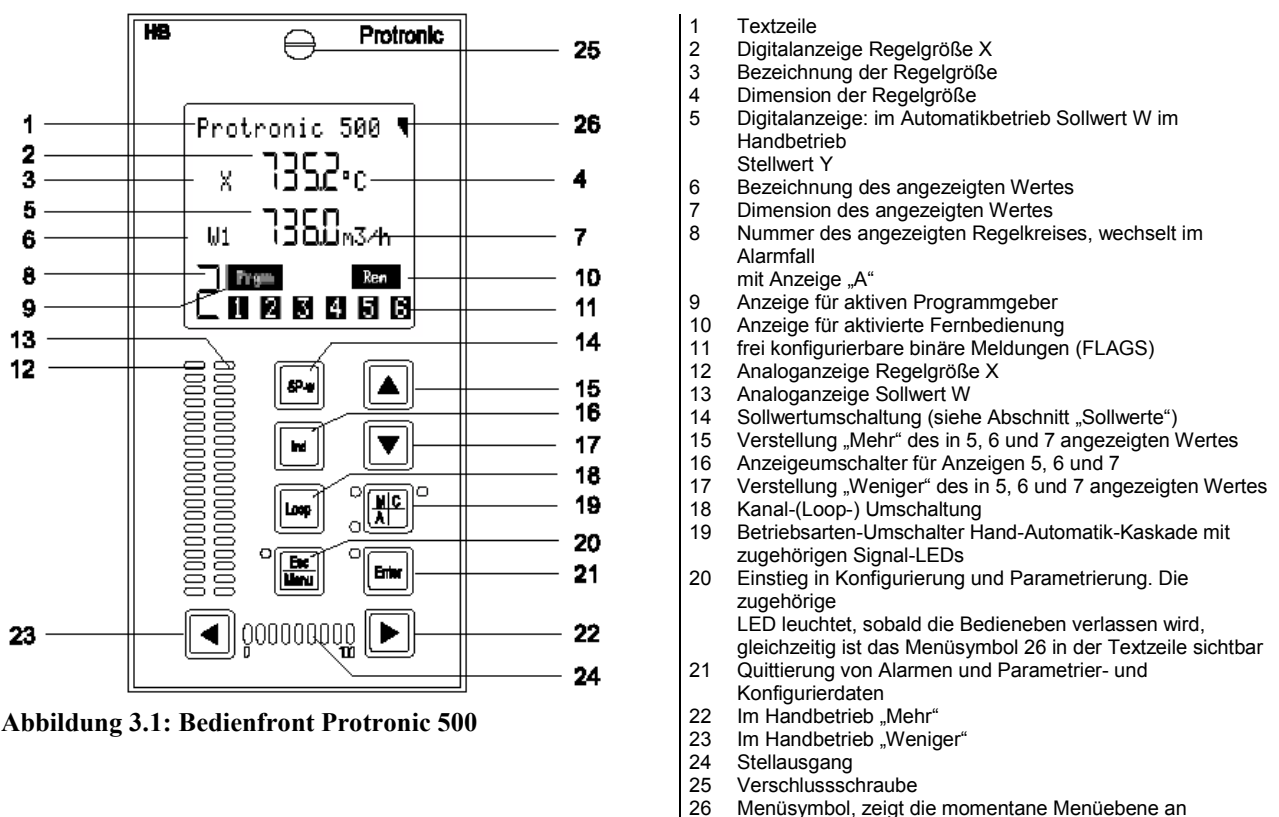
Im Versuch kommt das Sat-Lehrsystem für die Nachbildung einer realen Regelstrecke zur Anwendung. Es ist ein speziell für regelungstechnische Aufgaben konzipiertes, modular aufgebautes System. Die wichtigsten statischen und dynamischen Grundfunktionen (Verzögerungsglieder, Integrator, Nichtlinearitäten, 3-Punkt-Regler, ...) wurden in analoger Schaltungstechnik aufgebaut. Sie sind über Potentiometer und Schalter einfach parametrierbar. Die einzelnen Übertragungsglieder lassen sich mit flexiblen Leitungen miteinander verbinden. Somit ist die Erstellung realer Regelstrecken und verschiedener Regelungsstrukturen gegeben.

Da das Lehrmodell in einem Spannungsbereich von $\pm 10V$ arbeitet ist es leicht möglich, dieses System mit verschiedenen externen Geräten, z.B. einem Oszilloskop, einem Rauschgenerator, einer SPS, einem Industrieregler, oder über eine A/D-D/A-Steckkarte mit einem PC zu betreiben.

Um die Parameter und die Struktur der Strecke nicht aus den Potentiometer- und Schalterstellungen sowie aus der Verdrahtung der Elemente ermitteln zu können, wurde eine abschließbare Abdeckung vor dem Lehrmodell angebracht.

3.2 Universalregler „Protronic 500“

Der Protronic 500 ist ein Kompaktregler, welcher in Leitständen oder in Schaltschränken zum Einsatz kommt. Durch seine SPS-Funktionalität kann er nicht nur einfache und spezielle Regelaufgaben, sondern auch individuelle Steuerungsfunktionen erfüllen.



Die in Abbildung 3.1 verwendete Nummerierung der einzelnen Bedien- und Anzeigeelemente wird in den kommenden Abschnitten analog verwendet [2].

3.2.1 Menüstruktur

Um Parameter, Konfigurationen oder Sonderfunktionen am Gerät verändern bzw. aufrufen zu können, müssen die betreffenden Menüpunkte wie nachfolgend beschrieben angewählt werden.

Das Menü wird durch Drücken der Taste „Menu“ (20) aktiviert. Innerhalb des Menüs kann mit den Tasten „▲“ (15) und „▼“ (17) navigiert werden. Die einzelnen Einträge werden mit der Taste „Enter“ (21) aufgerufen bzw. man gelangt eine Menüebene tiefer. Um abzubrechen wird die Taste „ESC“ (20) betätigt, und man gelangt wieder eine Ebene höher.

Der jeweils ausgewählte Menüpunkt wird in der Textzeile (1) angezeigt.

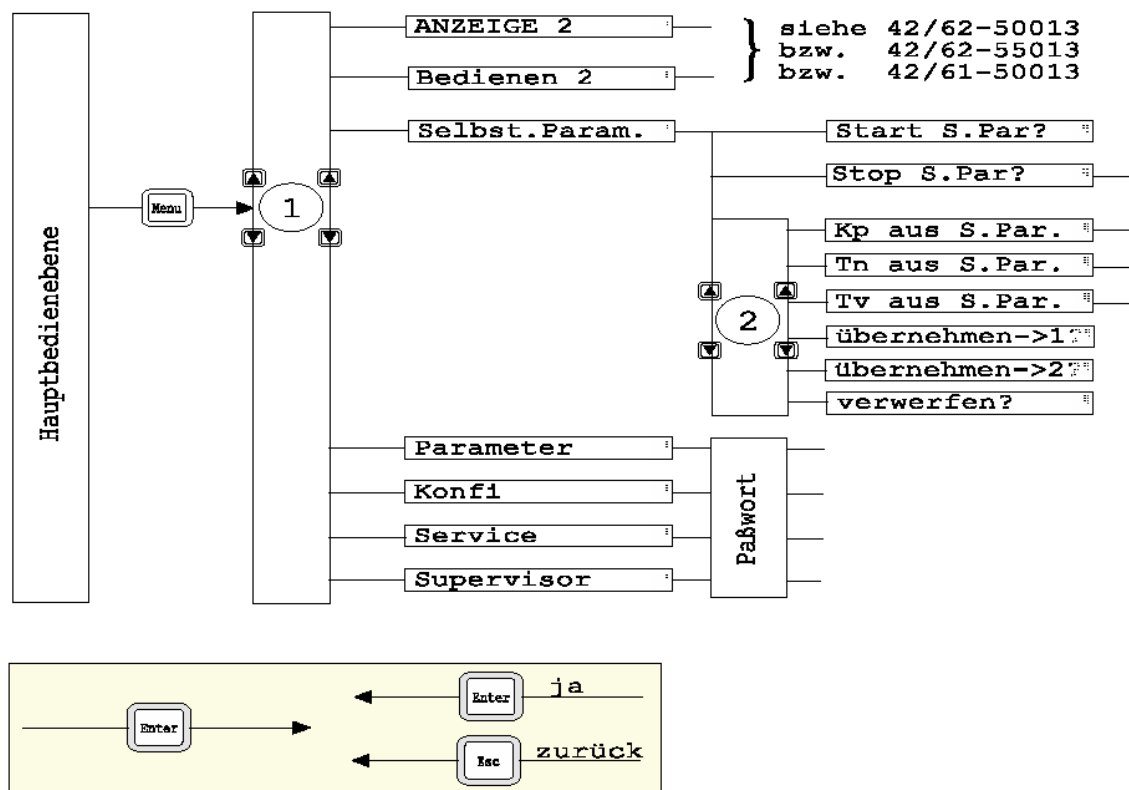


Abbildung 3.2: Menüsystem

3.2.2 Reglerparametrierung

Um die Reglerparameter der einzelnen Regelkreise (Loops) anwählen zu können, müssen die in Abbildung 3.3 dargestellten Schritte durchgeführt werden. Hierbei ist zu beachten, dass die Bezeichnung der Reglerparameter in der Textzeile (1) die folgende Zuordnung hat.

VERSTÄRKUNG	K_p
NACHST.ZEIT	T_n
VORH.ZEIT	T_v

Andere Parameter brauchen für den Versuch nicht angewählt bzw. verändert zu werden.

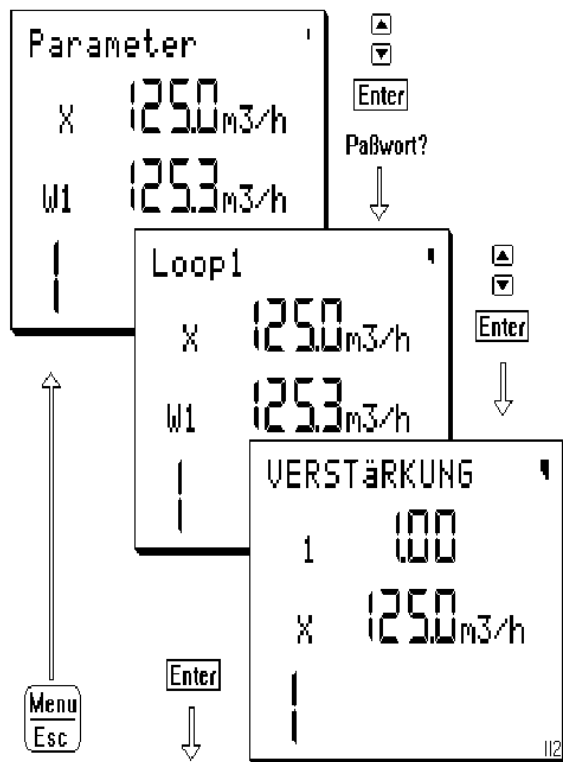


Abbildung 3.3 Parameterauswahl

Der angewählte Parameter kann durch die in Abbildung 3.4 dargestellten Schritte verändert werden. Hier wurde die Reglerverstärkung K_P verändert. Die anderen Reglergrößen sind analog dazu einzustellen. Hierbei muss jedoch bemerkt werden, dass die Zeiteinheit für die Nachstellzeit und Vorhaltezeit Minuten ist. Die ermittelten Werte müssen also in Minuten umgerechnet werden.



Kp zur Änderung angewählt

Abbildung 3.4 Einstellung von Kp

(Menu●)

1. Ins Parametriermenü gehen:
<Menu>
2. Falls nötig, Paßwort eingeben (Vorgehen entsprechend 4. bis 8.):

(Menu*)

3. Parameter wählen:
<▲>, <▼>
4. Parameter zur Änderung freigeben:
<Enter>

(Enter*)

Der Parameter blinkt an einer Position.

5. Blinkende Position ändern:
<Ind>
 6. Dezimalpunkt verschieben:
<Ind> halten
 7. Wert ändern:
<▲>, <▼>
 8. Geänderten Parameter übernehmen (einschließlich Dezimalpunktänderung):
<Enter>
- oder
- Änderung verwerfen:
<Esc>

Enter●.

3.2.3 Aktivierung der einzelnen Regelkreise

Für den Versuch werden alle 4 Regelkreise des „Protronic 500“ verwendet. Dabei wird das Stellgrößensignal eines jeden Regelkreises auf den Analogausgang AA31 ausgegeben. Aus diesem Grund ist eine Auswahl nur eines aktiven Reglers erforderlich. Eine Aktivierung eines der 4 Regelkreise erfolgt durch die Schalter der Binäreingänge BE01-BE04. Hierbei gilt die folgende Zuordnung.

Regelkreis (Loop)	Binäre Meldung (11)	Bezeichnung in Textzeile (1)	Schalter BE01	Schalter BE02	Schalter BE03	Schalter BE04
1	1	PI-Regler	Ein	Aus	Aus	Aus
2	2	PD-Regler	Aus	Ein	Aus	Aus
3	3	PID-Regler	Aus	Aus	Ein	Aus
4	4	Sprung	Aus	Aus	Aus	Ein

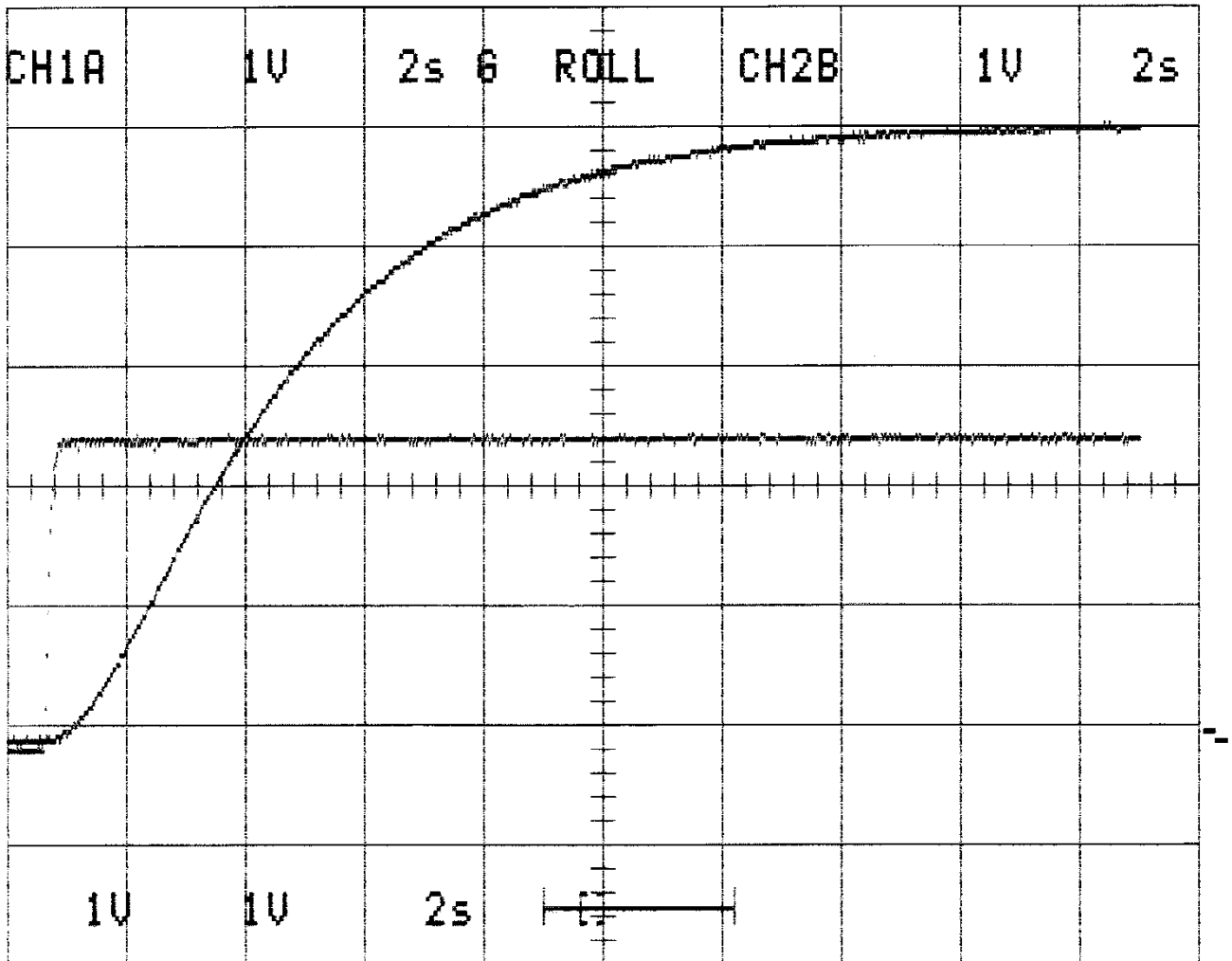
Tabelle 3.1: Aktivierung der Regelkreise

Die Nummer des gerade aktiven Reglers wird im Anzeigefeld für binäre Meldungen (11) dunkel hinterlegt dargestellt.

Um die Parameter des aktiven Regelkreises auf der Bedienfront anzuzeigen und Einstellungen (Sollwertänderungen, Hand /Automatikumschaltung) vornehmen zu können, muss der Taster Loop (18) so oft gedrückt werden, bis in der Textzeile (1) die Bezeichnung des Regelkreises laut Tabelle 3.1 erscheint. Die Nummer des angezeigten Regelkreises wird ebenfalls im Textfeld (8) dargestellt.

4 Vorbereitungsaufgaben

1. Ermitteln Sie anhand der Sprungantwort in Abbildung 4.1 die Übertragungsfunktion des Systems mittels des Wendetangentenverfahrens (siehe Abschnitt 2.3). Die Skalierung beträgt hierbei 2s/Teilung in der x-Achse und 1V/Teilung in der y-Achse.
2. Um welches Übertragungselement handelt es sich?
3. Berechnen Sie anhand des T-Summe-Verfahrens die Reglerparameter für einen PID-Regler!



Metrix OX8027

CH1 COUPLING	: DC	TRIGGER SOURCE	: EXT
CH2 COUPLING	: DC	COUPLING	: DC
TIME BASE MODE	: TRIG'D	SLOPE	: ↑
DELAY MODE	: NORM	MODE	: NORM
CH2 INVERT	: OFF	LEVEL	: - 9.0div

Abbildung 4.1: Sprungantwort

5 Versuchsdurchführung

5.1 Identifikation der Regelstrecke

Die Regelstrecke soll durch eine Sprungantwort identifiziert werden. Dazu wird ein Sprung auf den Eingang des Analogmodells gegeben. Am Streckenausgang wird die Sprungantwort mit dem Oszilloskop aufgezeichnet und anschließend ausgedruckt. Führen Sie hierzu die folgenden Schritte durch:

- Aktivieren Sie den Regelkreis „Sprung“ nach den Vorgaben des Abschnittes 3.2.3!
- Geben Sie einen Sollwertsprung von 0 auf 5V durch Drücken der Taste SP-w(14) aus!
- Nehmen Sie die Sprungantwort mit dem Oszilloskop auf. Drucken Sie die Bildschirmansicht des Oszilloskops aus!
- Ermitteln Sie die Übertragungsfunktion nach der Beschreibung des Abschnittes 2.3!

5.2 Bestimmung der Parameter für den Regler

- Berechnen Sie nun nachfolgend die Reglerparameter laut Tabelle 2.2 für einen
 - PI-Regler
 - PD-Regler
 - PID-Regler.
- Geben Sie die ermittelten Parameter laut der Vorgaben des Abschnittes 3.2.2 für die einzelnen Regelkreise in den Protronic 500 ein!

5.3 Verifikation der Regelkreise

- Aktivieren sie abschließend nacheinander jeden einzelnen Regler laut der Vorgaben des Abschnittes 3.2.3 und geben einen Sollwertsprung Taste SP-w (14) vor.
- Zeichnen Sie Sprungantworten der Regelkreise mit dem Oszilloskop auf!
- Diskutieren Sie mögliche Verbesserungen der Regelgüte für die einzelnen Regelkreise!

5.4 Betriebsarten des Reglers

Machen Sie sich mit den Betriebsarten des Kompaktreglers vertraut.

- Schalten Sie mit der Taste 19 den Regler in den Handbetrieb! Die Stellgröße des Reglers ist nun direkt mit den Tasten 23 und 22 steuerbar.
- Fahren Sie den Regler von 0% auf 50%! Beobachten Sie wie sich hierbei die Strecke verhält!
- Schalten Sie den Regler mit Taste 19 in den Automatik-Modus! Geben Sie Sollwertänderungen über die Taste 14 oder den Tasten 15 und 17 vor! Kontrollieren Sie hierbei das Verhalten des Regelkreises!

6 Literaturverzeichnis

- [1] Lutz, H.; Wendt, W.: Taschenbuch der Regelungstechnik, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main, 2000.
- [2] Dokumente für Protronic 500.
(<http://www.abb.de/abblibrary/DownloadCenter/#!/wEXAQUDa2V5BXYzwrBSb290wrFQcm90cm9uaWMgNTAwwrHCscKxwrFUwrHCsTDCsWRIwrJlbsKxMznCsURFwrHCsTLCsVTCsTDCscKxMMKxMcKxMjDCsTIwwrExwrHCscKxwrHCsVJvb3TCscKxwrHCsTExwrHCscKxwrE1NMKxP4c3LdfMSZWWBkwakyjIK74XxtI=>) Stand 12.11.2012
- [3] Kuhn, U.: Eine praxisnahe Einstellregel für PID-Regler: Die T-Summen-Regel, atp 37, Mai 1995 Seite 10-16