

**Inhaltsverzeichnis**

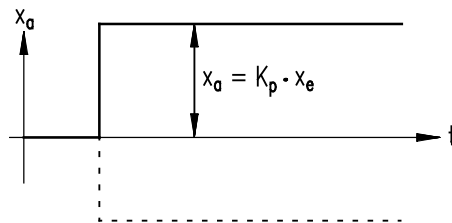
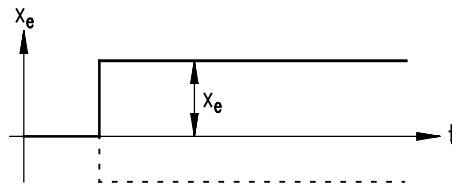
<b>1 Zeitverhalten von Übertragungsgliedern .....</b>	<b>2</b>
1.1 P-Verhalten .....	2
1.2 $PT_1$ -Verhalten .....	3
1.3 $PT_2$ -Verhalten .....	4
1.4 I-Verhalten .....	5
1.5 $DT_1$ -Verhalten .....	6
1.6 $T_I$ -Verhalten .....	7
<b>2 Einschleifiger Regelkreis .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Zeitverhalten von Regelkreisgliedern .....</b>	<b>9</b>
<b>4 Einstellregeln für Reglerkennwerte .....</b>	<b>10</b>
4.1 Verfahren nach Ziegler und Nichols .....	10
4.2 Verfahren nach Chien, Hrones und Reswick .....	11

## 1 Zeitverhalten von Übertragungsgliedern

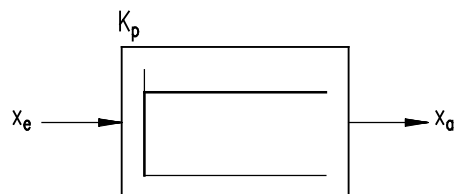
### 1.1 P-Verhalten

$$\Delta x_a = K_P \cdot \Delta x_e \quad K_P = \frac{\Delta x_a}{\Delta x_e}$$

Sprungantwort:



Blockschaltbild:

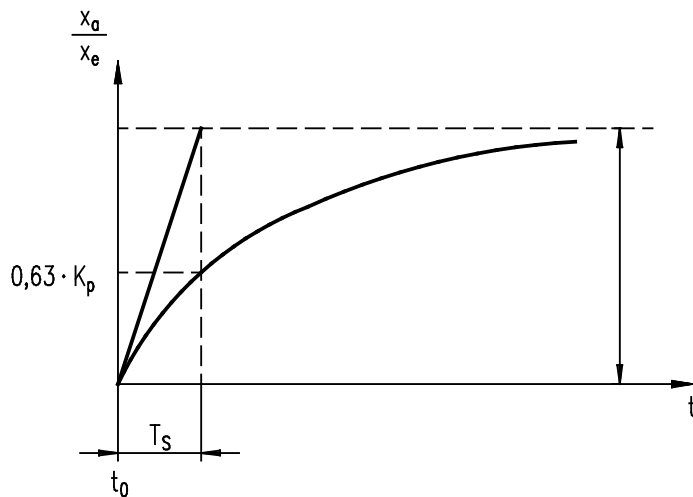


## 1.2 PT<sub>1</sub>-Verhalten

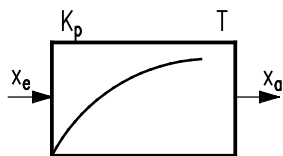
$$x_a = K_p \cdot x_e \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

mit  $e \approx 2,718$  (Eulersche Zahl)

Sprungantwort:

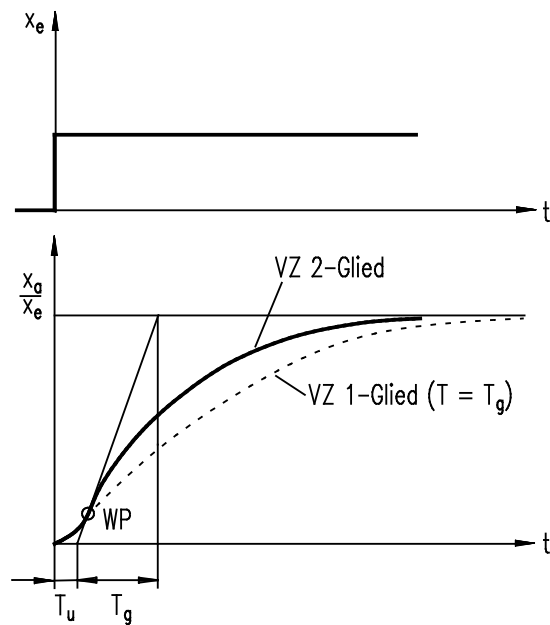


Blockschaltbild:

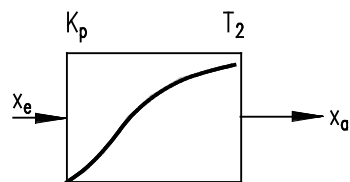


### 1.3 PT<sub>2</sub>-Verhalten

Sprungantwort:



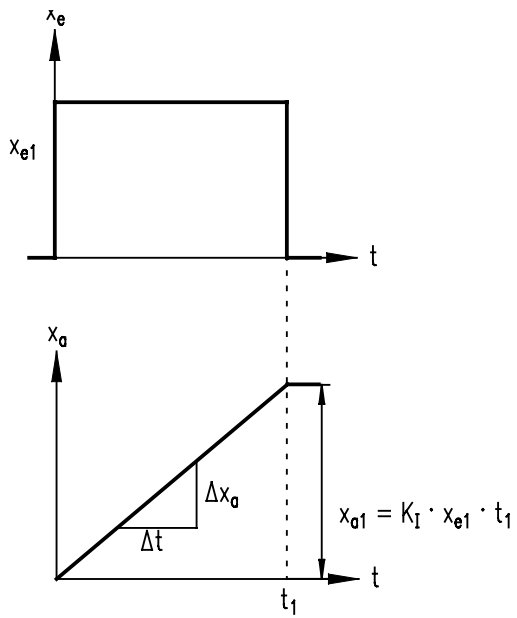
Blockschaltbild:



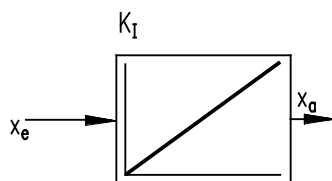
## 1.4 I-Verhalten

$$x_a = K_I \cdot x_e \cdot t \quad ; \quad K_I = \frac{1}{T_I}$$

Sprungantwort:



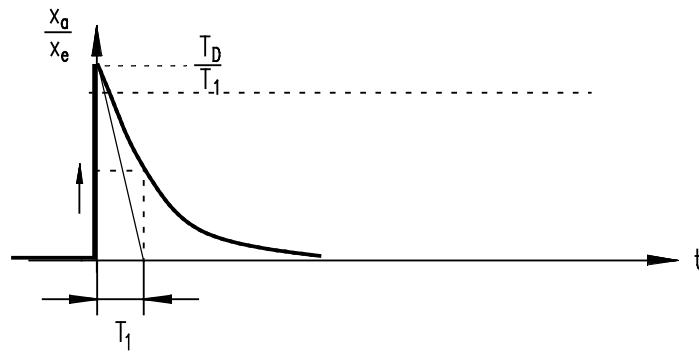
Blockschaltbild:



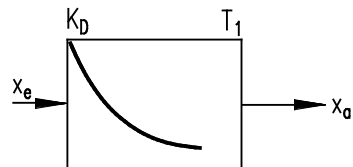
### 1.5 DT<sub>1</sub>-Verhalten

$$X_a = X_e \cdot K_D \cdot \frac{1}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \quad ; \quad K_D = T_D$$

Sprungantwort:



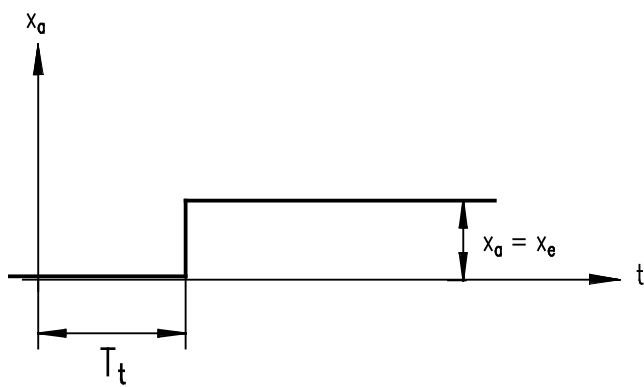
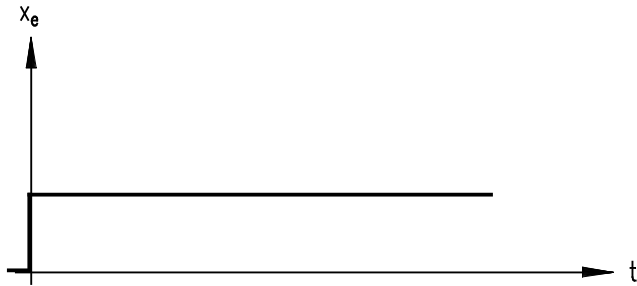
Blockschaltbild:



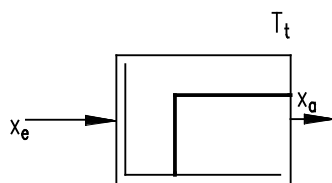
## 1.6 $T_t$ -Verhalten

$$\frac{x_a}{x_e} = 0 \quad \text{bei} \quad t < T_t \qquad \frac{x_a}{x_e} = 1 \quad \text{bei} \quad t \geq T_t$$

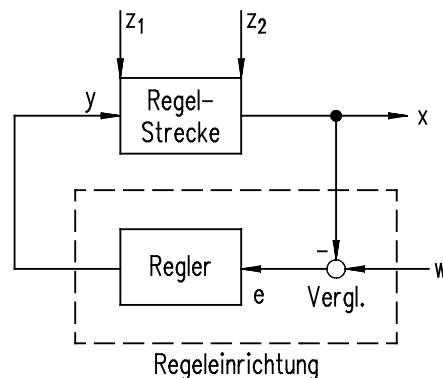
Sprungantwort:



Blockschaltbild:



## 2 Einschleifiger Regelkreis



### Grundbegriffe

#### Regelstrecke

Der Teil einer Anlage, der durch die Stellgröße  $y$  beeinflusst wird um die Regelgröße  $x$  auf einen vorgegebenen Wert (Führungsgröße  $w$ ) zu halten.

#### Regelgröße $x$

Die Regelgröße  $x$  ist die Größe, die entsprechend einer Vorgabe (Führungsgröße  $w$ ) einen bestimmten Wert haben soll.

#### Führungsgröße $w$

Eine der Regeleinrichtung (Regler) von außen zugeführte und von der Regelung unbeeinflusste Größe, der die Regelgröße in einer vorgegebenen Abhängigkeit folgen soll.

#### Regeldifferenz $e$

Die Differenz zwischen der Führungsgröße und der Regelgröße  $e = w - x$ .  
Anmerkung: Die alte Bezeichnung für  $e$  ist „ $x_d$ “.

#### Stellgröße $y$

Sie wird von der Regeleinrichtung ausgegeben und beeinflusst die Regelstrecke.

#### Regeleinrichtung (Regler)

Der Regler gibt in Abhängigkeit von der Regeldifferenz  $e$  die Stellgröße  $y$  aus und wirkt dadurch aufgabengemäß auf die Regelstrecke ein.

#### Regelkreis

Die Zusammenschaltung von Regler und Regelstrecke zu dem geschlossenen Wirkungsablauf der Regelung bildet den Regelkreis.

#### Störgröße $z$

Eine von außen auf den Regelkreis wirkende Störung, die die Regelgröße ungewollt beeinflusst.



### 3 Zeitverhalten von Regelkreisgliedern

Zu Grunde liegt stets eine sprungförmige Änderung des Eingangssignals  $x_e$ .

Der zeitliche Verlauf des Quotienten  $h(t) = x_a(t) / x_e$  ist die Übergangsfunktion, d. h. die Sprungantwort wird durch den Eingangssprung geteilt.  
Die Übergangsfunktion entspricht im Prinzip der Sprungantwort.

Streckenverhalten (Bezeichnung)	Sprung- antwort	Beispiel	Regelinrichtung				Zwei- punkt
			P-	I-	PD-	PI-	
mit Ausgleich ohne Verzögerung (P)		Durchfluss el. Netzteil	- ++ (F u. S)	++	-	++ (F u. S)	-
eine Verzögerung (P-T <sub>1</sub> )		Drehzahl Druck Spannung	++ (F)	+	+	++ (S)	+
zwei/viele Verzögerungen (P-T <sub>2</sub> ) (P-T <sub>n</sub> )		Temperatur	+	-	-	++ (S) + auch: (++) da Hauptanwen- dungsgebiet	+
reine Totzeit (P-T <sub>t</sub> )		Förderband	-	+	-	++ (F u. S)	-
Totzeit u. ein/zwei Verzög. (T <sub>t</sub> -PT <sub>1</sub> ) (T <sub>t</sub> -PT <sub>2</sub> )				-	-	+	+
ohne Ausgleich reine Integralstrecke (I)		Füllstand	++ (F)	-	++(F)	++ (S)	+
eine Verzögerung (I-T <sub>1</sub> )		Kurs Lage	+	-	+	+	+
mit Totzeit (I-T <sub>t</sub> )		I-Strecke mit Lose	-	-	+	-	-
F = Führung, S = Störung							

## 4 Einstellregeln für Reglerkennwerte

### 4.1 Verfahren nach Ziegler und Nichols

Es handelt sich um ein experimentelles Verfahren zur Ermittlung von Reglerkennwerten. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen:

- $T_n$  wird sehr groß und  $T_v$  auf 0 eingestellt. Der  $K_P$ -Wert des Reglers wird so klein gewählt, dass sich der Regelkreis im stabilen Bereich befindet.
- Nun wird der Proportionalbeiwert des Reglers solange vergrößert, bis sich der Regelkreis an der Stabilitätsgrenze befindet. Der eingestellte Wert ist  $K_{Pkrit}$  und die Schwingungsdauer  $T_{krit}$

Es ergeben sich folgende Einstellwerte:

Reglertyp	Parameter	
P	$X_P \approx 2 \cdot X_{Pkrit}$	bzw. $K_{PR} \approx 0,5 \cdot K_{Pkrit}$
PD	$X_P \approx 1,25 \cdot X_{Pkrit}$ $T_v \approx 0,12 \cdot T_{krit}$	bzw. $K_{PR} \approx 0,8 \cdot K_{Pkrit}$
PI	$X_P \approx 1,7 \cdot X_{Pkrit}$ $T_n \approx 0,85 \cdot T_{krit}$	bzw. $K_{PR} \approx 0,45 \cdot K_{Pkrit}$
PID	$X_P \approx 1,7 \cdot X_{Pkrit}$ $T_n \approx 0,5 \cdot T_{krit}$ $T_v \approx 0,12 \cdot T_{krit}$	bzw. $K_{PR} \approx 0,6 \cdot K_{Pkrit}$

Die auf diese Weise erfolgte Einstellung ergibt bei einer sprungförmigen Änderung der Störgröße ein max. 20%iges Überschwingen.

Hinweis: Dieses Verfahren ist nur zulässig, wenn der Regelkreis an der Stabilitätsgrenze betrieben werden darf.

## 4.2 Verfahren nach Chien, Hrones und Reswick

Es müssen der Übertragungsbeiwert  $K_S$ , die Ausgleichszeit  $T_g$  und die Verzugszeit  $T_u$  der Regelstrecke bekannt sein.

Es ergeben sich folgende Einstellwerte:

Regler- typ	Einstell- wert	Überschwingen 20 % ( $D \approx 0,45$ )		aperiodisch ( $D \approx 0,8$ )		
		Störung	Führung	Störung	Führung	
<b>P</b>	$X_P \approx$	1,4	1,4	3,3	3,3	$\cdot K_S \cdot Y_h \cdot \frac{T_u}{T_g}$
	$K_{PR} \approx$	0,7	0,7	0,3	0,3	$\cdot \frac{1}{K_S \cdot \frac{T_u}{T_g}}$
<b>PI</b>	$X_P \approx$	1,4	1,7	1,7	2,9	$\cdot K_S \cdot Y_h \cdot \frac{T_u}{T_g}$
	$K_{PR} \approx$	0,7	0,6	0,6	0,35	$\cdot \frac{1}{K_S \cdot \frac{T_u}{T_g}}$
	$T_n \approx$	$2,3 \cdot T_u$	$T_g$	$4 \cdot T_u$	$1,2 \cdot T_g$	-
<b>PID</b>	$X_P \approx$	0,83	1,05	1,05	1,7	$\cdot K_S \cdot Y_h \cdot \frac{T_u}{T_g}$
	$K_{PR} \approx$	1,2	0,95	0,95	0,6	$\cdot \frac{1}{K_S \cdot \frac{T_u}{T_g}}$
	$T_n \approx$	$2 \cdot T_u$	$1,35 \cdot T_g$	$2,4 \cdot T_u$	$T_g$	-
	$T_v \approx$	$0,42 \cdot T_u$	$0,47 \cdot T_u$	$0,42 \cdot T_u$	$0,5 \cdot T_u$	-

Die Einstellwerte gelten für eine sprungförmige Änderung der Stör- und Führungsgrößen. Das bedeutet, dass evtl. die Reglerparameter nachgestellt werden müssen.