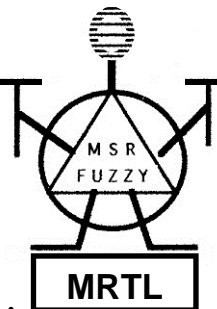


Deckblatt

LV: MRTL 6. Sem.

PRAK IV

**A U F G A B E N**

Name:	Datum:	SS 2018	TESTAT:
Vorname:	Arbeits-Platz:		
EDV-Nr:	Gruppe:		

→ **PT2-Strecken mit Totzeit mit verschiedenen Reglern auf SimApp**

Parametrieren Sie PT2-Strecken nach Vorgaben, für jede(n) Teilnehmer(in) nur eine:
Für Proportionalbeiwert K_P , Totzeit T_t und Zeitkonstante T_S werden folgende Vorgaben angeboten:

1:	$K_P = 1$	1:	$T_t = 2,0$	s	
2:	$K_P = 1$	2:	$T_t = 4,0$	s	
3:	$K_P = 1$	3:	$T_t = 6,0$	s	
1:	$T_1 = 1,7$	s	1:	$T_2 =$	s
2:	$T_1 = 6,0$	s	2:	$T_2 =$	s
3:	$T_1 = 10,0$	s	3:	$T_2 =$	s

- “Beschalten” Sie Ihre Strecke simulativ abwechselnd mit einem P-, PI- und einem PID-Regler;
 - finden Sie eine Parameter-Einstellung des jeweiligen Reglers, bei der konstante Schwingungen in der Sprungantwort im **Störverhalten** auftreten, bzw. bei der die **Ortskurve** durch $RE = -1$ verläuft.
 - Speichern und drucken Sie das Blockbild mit den entsprechenden Parameter-Daten;
 - Drucken Sie dies und die zugehörigen Sprungantwort-Aufnahmen.
- Nehmen sie eine Sprungantwort Ihrer Strecke im offenen Regelkreis auf; Bestimmen Sie die Regler-Parameter K_P , T_n und T_V nach *Chien Hrones Reswick*. → Ausdruck, Lineal und Bleistift!
- Optimieren Sie den PID-Regelkreis im **Führungsverhalten** für Ihre Strecke hinsichtlich aperiodischem Verlauf und Ausregelzeit; Verwenden Sie hierzu die Hinweise “*Kontrolle der Optimierung*“
 - Drucken Sie jeweils die zugehörigen Sprungantwort-Aufnahmen vor und nach der Optimierung;
 - Speichern Sie das Blockbild mit den entsprechenden Parametern aller drei Regler am Ende.
- Halbieren Sie die Totzeit Ihrer Strecke und optimieren Sie erneut;
 - Drucken Sie jeweils die zugehörigen Sprungantwort-Aufnahmen vor und nach der Optimierung;
 - Speichern Sie das Blockbild mit den entsprechenden Parametern aller drei Regler am Ende.

→ **AUSWERTUNG**

- Beschreiben Sie die Versuche, Ihr Vorgehen und Ihre Beobachtungen; Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse; Diskutieren Sie die Wirkungen der drei Regler-Parameter bei den Optimierungsversuchen.

Datei und Diagramm-Benennungen PRAK IV

Beispiel einer DIAGRAMM-AUSDRUCK- KENNZEICHNUNG:

Matr. Nr. / Teilnehmer(in)	Semester / AP / Gruppe / Prak	Datei/Experiment
123.456		
Musterin.Anna	/ SS2013 - AP - Gruppe - PRAK	/ Sz PJ - PT2 t1 n A

Organisation der Teilnehmer-Ordner / Dateinamen:

Dateien in: ... \PRAK IV \SIMAPP \...

Sz P - PT2 t1 n A ...

Sz PJ - PT2 t1 n A ...

Sz PJD - PT2 t1 n A ...

Ss X - PT2 t1 n A ...

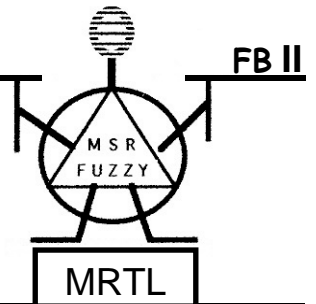
Ss X - PT2 t2 n A ...

Sw PJD - PT2 t1 n A ...

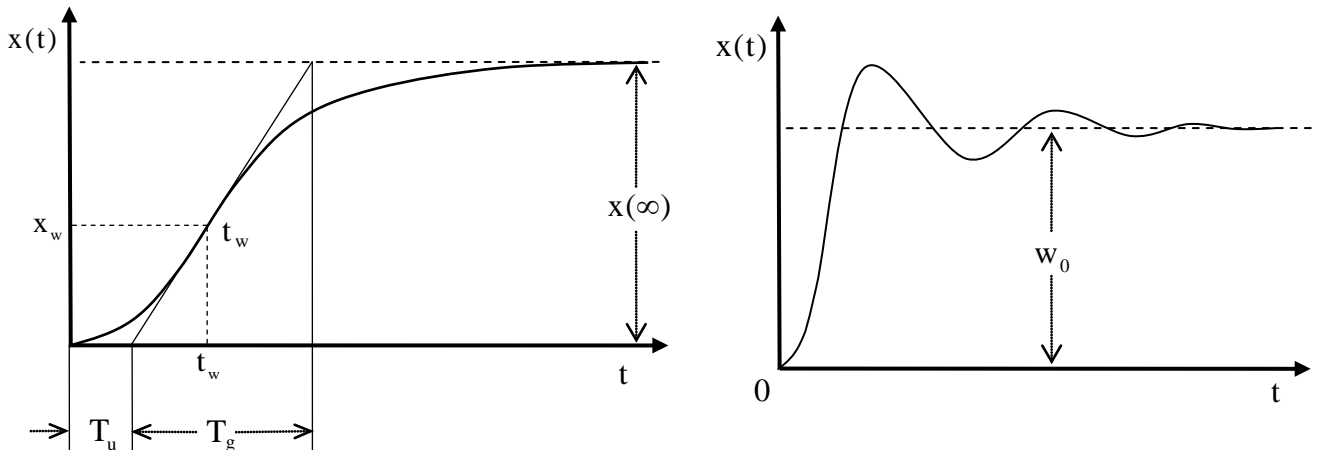
Sw PJD - PT2 t2 n A ...

Theoretische Grundlagen MRTL

Reglereinstellung nach Chien Hrones Reswick



Technische Strecken und ihre Ordnungen (oft gebrochen) sind häufig nicht mathematisch bekannt. Man charakterisiert sie mithilfe ihrer Sprungantworten im offenen Regelkreis. Bei Ordnungen ≥ 2 weisen diese in der Regel typische S-förmige Verläufe mit einem Wendepunkt auf (siehe Abbildungen). Sie können aperiodisches oder periodisches Verhalten zeigen.



Man definiert für derartiges Streckenverhalten neben dem Proportionalbeiwert K_{ps} neue empirische Kenngrößen, abgeleitet aus den Zeitintervallen, die der grafischen Auftragung der Sprungantwort entstammen: **Wendepunkt t_w** , **Ausgleichszeit T_g** und **Verzugszeit T_u**

Regler		Aperiodischer Regelverlauf		Regelverlauf mit 20% Überschwingen	
		Störung	Führung	Störung	Führung
P	K_p	$0,3 \frac{T_g}{T_u}$	$0,3 \frac{T_g}{T_u}$	$0,7 \frac{T_g}{T_u}$	$0,7 \frac{T_g}{T_u}$
PI	K_p	$0,6 \frac{T_g}{T_u}$	$0,35 \frac{T_g}{T_u}$	$0,7 \frac{T_g}{T_u}$	$0,6 \frac{T_g}{T_u}$
	T_n	$4,0 T_u$	$1,2 T_u$	$2,3 T_u$	$1,0 T_u$
PID	K_p	$0,95 \frac{T_g}{T_u}$	$0,6 \frac{T_g}{T_u}$	$1,2 \frac{T_g}{T_u}$	$0,95 \frac{T_g}{T_u}$
	T_n	$2,4 T_u$	$1,0 T_u$	$2,0 T_u$	$1,35 T_u$
	T_v	$0,42 T_u$	$0,5 T_u$	$0,42 T_u$	$0,47 T_u$

Für derartige Strecken-Charakteristiken mit Ausgleich und Verzögerungen höherer Ordnungen haben Chien, Hrones und Reswick die in der Tabelle stehenden empirischen Regeln abgeleitet. Dabei lässt sich für die Übertragung des Regelkreises wahlweise ebenfalls ein aperiodisches oder stark gedämpft überschwingendes Verhalten annähern. Zwischen diesen beiden Verhaltensweisen des Kreises kann weiter *fein-optimiert* werden. Erfahrungsgemäß sind Regelstrecken mit:

$$\frac{T_u}{T_g} < \frac{1}{10} \text{ gut regelbar; } \quad \frac{T_u}{T_g} \approx \frac{1}{6} \text{ noch regelbar; und } \quad \frac{T_u}{T_g} > \frac{1}{3} \text{ schwer regelbar.}$$

Theoretische Grundlagen MRTL

Stabilität

Die charakteristische Gleichung ist von der Eingangsgröße unabhängig und gibt über die Eigenschaften des Systems Auskunft, also auch über die Stabilität. Die Wurzeln (Lösungen, Eigenwerte) p_i der charakteristischen Gleichung bestimmen den Zeitverlauf der freien Bewegung eines Systems. Jede Wurzel liefert eine Teilbewegung zum Gesamtverlauf. Die Eigenwerte können reell oder komplex sein. Komplexe Eigenwerte sind stets paarweise konjugiert komplex und stellen Schwingungsvorgänge dar.

Ein lineares zeitinvariantes System ist nur dann *eingangs-ausgangs-stabil*, wenn alle Wurzeln der charakteristischen Gleichung bzw. alle Pole der ungekürzten Übertragungsfunktion einen negativen Realteil haben. Nur dann klingt die Eigenbewegung ab, und das System strebt einem stationären Zustand zu.

Lage der Wurzeln						
Eigenbewegung						
Urteil	Stabil		an Stabilitätsgrenze		instabil	

Lage der Wurzeln und Arten der Eigenbewegungen

Der offene (aufgeschnittene) Regelkreis habe den Frequenzgang $G_0(j\omega) = G_R(j\omega) \cdot G_S(j\omega)$.

Im geschlossenen Regelkreis treten Schwingungen mit konstanter Amplitude und der Frequenz $\omega_{krit.}$ auf, wenn die Ortskurve des offenen Regelkreises durch den kritischen Punkt $P_{krit.} (-1, 0 \cdot j)$ geht.

Dann ist $G_0(j\omega_{krit.}) = -1$.

Anhand des offenen Kreises kann über die Stabilität des geschlossenen Kreises entschieden werden.

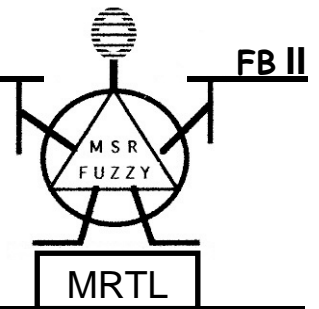
Vereinfachtes Nyquist-Kriterium (Linke-Hand-Regel)

Der geschlossene Regelkreis ist genau dann eingangs-ausgangs-stabil, wenn beim Durchlaufen der Ortskurve von $G_0(j\omega)$ in Richtung steigender ω -Werte der kritische Punkt $P_{krit.} (-1, 0 \cdot j)$ immer zur Linken liegt.

Voraussetzung ist, daß der offene Kreis stabil ist.

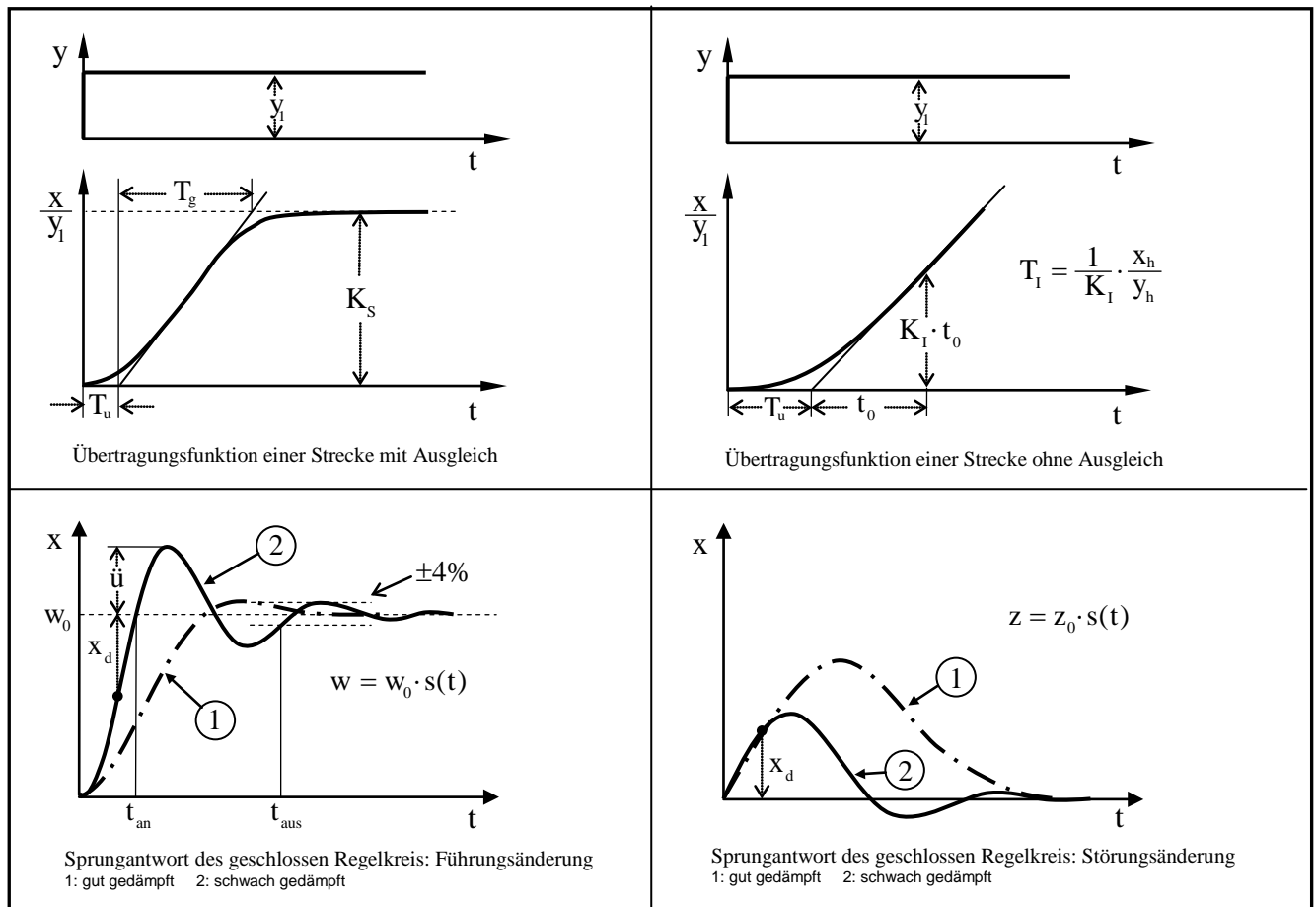
Das Nyquist-Kriterium gilt auch für Regelstrecken, die eine Totzeit enthalten.

Reglerauswahl



Reglereinstellungen Nach Faustformeln

Strecke \ Regler	P	I	PI	PD	PID
reine Totzeit	unbrauchbar	etwas schlechter als PI	Führung und Störung	unbrauchbar	unbrauchbar
Totzeit + Verzögerung 1. Ordnung	unbrauchbar	schlechter als PI	etwas schlechter als PID	unbrauchbar	Führung und Störung
Totzeit + Verzögerung 2. Ordnung	nicht geeignet	schlecht	schlechter als PID	schlecht	Führung und Störung
1. Ordnung + Sehr kleine Totzeit (Verzugszeit)	Führung	nicht geeignet	Störung	Führung bei Verzugszeit	Störung bei Verzugszeit
höherer Ordnung	nicht geeignet	schlechter als PID	etwas schlechter als PID	nicht geeignet	Führung und Störung
Ohne Ausgleich mit Verzögerung	Führung (ohne Verzögerung)	unbrauchbar struktur instabil	Störung (ohne Verzögerung)	Führung	Störung



Regler	K_p	T_n	T_v	x_p
P	$\frac{1}{K_s} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	–	–	$K_s \cdot \frac{T_n}{T_g} \cdot \frac{Y_h}{X_h} \cdot 100\%$
PD	$1,2 \cdot \frac{1}{K_s} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	–	$(0,25 - 0,5) T_u$	$0,83 \cdot K_s \cdot \frac{T_n}{T_g} \cdot \frac{Y_h}{X_h} \cdot 100\%$
PI	$0,8 \cdot \frac{1}{K_s} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	$3 \cdot T_u$	–	$1,25 \cdot K_s \cdot \frac{T_n}{T_g} \cdot \frac{Y_h}{X_h} \cdot 100\%$
PID	$1,2 \cdot \frac{1}{K_s} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	$2 \cdot T_u$	$0,42 T_u$	$0,83 \cdot K_s \cdot \frac{T_n}{T_g} \cdot \frac{Y_h}{X_h} \cdot 100\%$

Reglereinstellungen nach Faustformeln für Stecken **mit** Ausgleich

Regler	K_p	T_n	T_v	x_p
P	$0,5 \cdot \frac{1}{K_i \cdot T_u}$	–	–	$2 \cdot \frac{T_n}{T_i} \cdot 100\%$
PD	$0,5 \cdot \frac{1}{K_i \cdot T_u}$	–	$0,5 \cdot T_u$	$2 \cdot \frac{T_n}{T_i} \cdot 100\%$
PI	$0,42 \cdot \frac{1}{K_i \cdot T_u}$	$5,8 \cdot T_u$	–	$2,4 \cdot \frac{T_n}{T_i} \cdot 100\%$
PID	$0,40 \cdot \frac{1}{K_i \cdot T_u}$	$3,2 \cdot T_u$	$0,8 \cdot T_u$	$2,5 \cdot \frac{T_n}{T_i} \cdot 100\%$

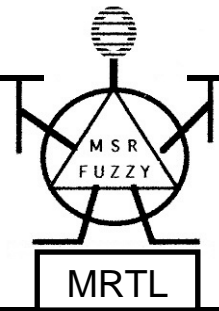
Reglereinstellungen nach Faustformeln für Stecken **ohne** Ausgleich

Regler	x_r/x_{pk}	T_n/T_k	T_v/T_k
P	2,0	–	–
PI	2,2	0,85	–
PID	1,68	0,5	0,12

Reglereinstellung nach Ziegler-Nichols

	Streckentyp	Reglertyp	x_p	T_n
T	Temperatur	PID	10 ... 50%	1 ... 10min
P	Druck	PI	10 ... 30%	10 ... 60sec
F	Durchfluß	PI	100 ... 300%	10 ... 30sec
A	Analyse	PID	100 ... 500%	10 ... 20min
L	Niveau	P PI	100% 50%	– 10min

Typische Einstellwerte industrieller Regelkreise



Eignung der verschiedenen Reglertypen für die verschiedenen durch ihre Sprungantworten gekennzeichneten Regelstrecken

Regelstrecke		Reglertyp			
		P	I	PI	PID
		<i>bleibende Regelabweichung vorhanden</i>	<i>keine bleibende Regelabweichung</i>		
mit Ausgleich	unverzögert	Theoretisch ideal, praktisch aber ungeeignet, da schon bei kleiner Kreisverstärkung instabil	gut geeignet, K_{IR} theoretisch beliebig hoch ¹⁾ Überschwingen der Regelgröße um den vollen Betrag der Störung	für diese Regelstrecken im allgemeinen noch nicht erforderlich	
	mit einer Verzögerung	Gut geeignet, Kreisverstärkung theoretisch beliebig hoch ¹⁾ kein Überschwingen der Regelgröße	brauchbar, K_{IR} theoretisch beliebig hoch ¹⁾ Überschwingen der Regelgröße, meist nur schwache Dämpfung		
	mit zwei Verzögerungen	geeignet Kreisverstärkung theoretisch beliebig hoch ¹⁾ bei hoher Kreisverstärkung Überschwingen der Regelgröße	nur beschränkt brauchbar, K_{IR} begrenzt	geeignet, Kreisverstärkung begrenzt. Nur dann am Platz, wenn P-Regler wegen bleibender Regelabweichung unerwünscht	gut geeignet, Kreisverstärkung begrenzt
	mit vielen Verzögerungen	meist noch brauchbar, wenn größere Regelabweichung zulässig. Kreisverstärkung beschränkt, Überschwingen der Regelgröße	meist sehr große Überschwingweite; wenn T_S groß, wird Regelzeit meist viel zu lang; bei höheren Anforderungen an die Regelgüte besser PI-Regler verwenden	meist gut brauchbar, Hauptanwendungsgebiet des PI-Reglers. Reglerverstärkung nach oben, Nachstellzeit nach unten begrenzt, Überschwingen der Regelgröße	wie PI-Regler, ergibt meist noch bis um den Faktor 2 höhere Regelgüte. T_V nach oben begrenzt. Unzweckmäßig wenn Totzeit durch Laufzeit hervorgerufen und viel Unruhe im Regelkreis
	mit Verzugszeit und Ausgleichszeit	brauchbar, wenn T_u/T_d kleiner als $1/10$ und bleibende Regelabweichung zulässig. Kreisverstärkung begrenzt, Überschwingen der Regelgröße			
	nur mit Totzeit	ungeeignet, da schon bei Kreisverstärkung $K_0=1$ instabil	gut geeignet, für diese Regelstrecke K_{IR} begrenzt, Überschwingweite gleich der Störung	bringt meist noch einige Verbesserung gegenüber dem I-Regler	bringt keine Verbesserung gegenüber dem PI-Regler
ohne Ausgleich	ohne Verzugszeit	gut geeignet wenn bleibende Regelabweichung zulässig. Reglerverstärkung theoretisch beliebig hoch ¹⁾ kein Überschwingen der Regelgröße	unbrauchbar da instabil	gut geeignet, aber nur dann zweckmäßig, wenn P-Regler wegen bleibender Regelabweichung unerwünscht; K_R nach oben T_n nach unten begrenzt, Überschwingen der Regelgröße	wie PI-Regler, ergibt meist noch etwas höhere Regelgüte, T_V nach oben begrenzt. Unzweckmäßig wenn Totzeit und Unruhe im Regelkreis
	mit Verzugszeit	meist noch gut brauchbar, wenn Verzugszeit nicht zu groß und bleibende Regelabweichung zulässig. Reglerverstärkung begrenzt, Überschwingen der Regelgröße			

■ instabil □ unzweckmäßig

K_S Übertragungsbeiwert der Regelstrecke

K_P Übertragungsbeiwert des Reglers

$K_0 = K_S \cdot K_P$ Kreisverstärkung

$K_P = \frac{Y_h}{X_p}$ bei P-Regler

¹⁾ Praktisch jedoch durch immer vorhandene kleine zusätzliche Verzögerungen begrenzt.

Reglertypen wichtige Regelgrößen

Eignung der verschiedenen Reglertypen für das Regeln der wichtigsten Regelgrößen

Regelgröße	Reglertyp				
	P	I	PI	PID	
	<i>bleibende Regelabweichung vorhanden</i>		<i>keine bleibende Regelabweichung</i>		
Temperatur	geeignet für nicht zu hohe Ansprüche und wenn T_u/T_g kleiner als $1/10$	ungeeignet, ergibt meist große Überschwingweite und zu lange Regelzeit	für höhere Ansprüche geeigneter Reglertyp hierfür kaum erforderlich		
Druck	brauchbar, wenn keine größeren Verzugszeiten vorhanden	geeignet			
Durchfluß	ungeeignet, da erforderlicher P-Bereich meist zu groß	geeignet			
Niveau	meist gut geeignet, wenn keine größere Verzugszeit vorhanden	ungeeignet, da instabil	bringt gegenüber dem PI-Regler meist noch etwas höhere Regelgüte		
Drehzahl	meist gut geeignet, wenn keine Verzugszeit vorhanden u.U. mit zusätzlichem Vorhalten al PD-Regler	brauchbar, wenn keine größeren Totzeiten vorhanden, aber größere Überschwingung als beim P-Regler			für höhere Ansprüche gut geeignet
Spannung	geeignet	meist gut geeignet			für höhere Ansprüche gut geeignet
Folgeregelung	bei verzögerten Regelstrecken nicht brauchbar	gut geeignet, auch wenn Verzugszeit vorhanden			für höhere Ansprüche gut geeignet

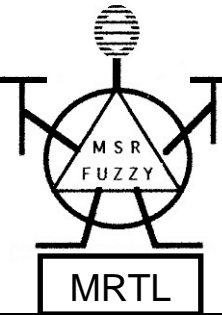
Für die wichtigsten verfahrenstechnischen Regelgrößen am Regler einzustellende Parameter

Symbol	Regelgröße	Reglertyp	K_P Proportionalbeiwert	X_P % vom Regelbereich	T_n	T_v
T	Temperatur	PID	10 ... 2	10 ... 50%	1 ... 20 min	0,2 ... 3 min
P	Druck	PI	10 ... 3	10 ... 30%	10 ... 60s	–
F	Durchfluß	PI	1 ... 0,5	100 ... 200%	10 ... 30s	–
A	Analyse	PID	0,5 ... 0,2	200 ... 500%	10 ... 20 min	2 ... 5 min
L	Niveau	P	20 ... 1	5 ... 100%	–	–
		PID	20 ... 2	5 ... 50%	1 ... 10 min	–

aus: E. Samuel, Grundriß der praktischen Regelungstechnik, 19. Auflage, R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1996

Kontrolle Optimierung

Die Sprungantwort der Regelgröße auf eine Führungsänderung zeigt Fehlanpassungen der Reglerparameter recht deutlich. Aus den sich ergebenden Einschwingvorgängen können Rückschlüsse auf notwendige Korrekturen des Proportionalbereich und der Zeitparameter gezogen werden.



	<p>K_r zu groß (seltener: T_n T_v zu klein)</p>
	<p>K_r zu klein</p>
	<p>T_n zu groß</p>
	<p>T_n zu klein</p>
	<p>T_v zu groß</p>
	<p>K_r T_n zu groß</p>
	<p>K_r T_v zu groß</p>
	<p>optimal eingestellt</p>

Notizen
