

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5 Reglerauswahl

Die folgenden Textauszüge stammen im wesentlichen aus Schulungspublikationen der Fa. Samson / Frankfurt, sowie einer Veröffentlichung der Fa. Jumo

5.1 Auswahlkriterien

Zur Lösung einer Regelaufgabe gehört die

- Analyse der Regelstrecke und die dazu passende
- Auswahl und Auslegung eines Reglers.

Die wichtigsten Merkmale der zumeist verwendeten P-, PD-, I-, PI- und PID-Regelglieder zeigt die folgende Tabelle:

Regelglied	Regelabweichung	Arbeitspunkteinstellung	Stellgeschwindigkeit
P	bleibend	wünschenswert	hoch
PD	bleibend	wünschenswert	sehr hoch
I	keine	entfällt	niedrig
PI	keine	entfällt	hoch
PID	keine	entfällt	sehr hoch

Die Reglerauswahl ist abhängig davon,

- ob eine integral- oder proportionalwirkende Strecke vorliegt (Strecke mit oder ohne Ausgleich),
- wie groß die Verzögerungen (Zeitkonstanten und/oder Totzeiten) der Strecke sind,
- wie schnell eine Regelabweichung ausgeregelt werden muss und
- ob bleibende Regelabweichungen akzeptiert werden können.

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Die Aussagen der vorangegangenen Abschnitte (siehe auch obige Tabelle) führen zu folgender Zuordnung bezüglich Regler und Strecke:

P-Regler werden bei einfach zu regelnden Strecken eingesetzt, bei denen eine bleibende Regelabweichung nicht stört. Mit geringem Aufwand erreicht man hier ein stabiles und dynamisches Regelverhalten.

PD-Regler sind sinnvoll bei Strecken mit großen Verzögerungen, bei denen bleibende Regelabweichungen nicht relevant sind. Durch den D-Anteil erhöht sich die Stellgeschwindigkeit, so dass die Regeldynamik gegenüber dem P-Regler verbessert wird.

I-Regler eignen sich dann, wenn sehr geringe Anforderungen bezüglich der Regeldynamik bestehen und wenn die Strecke keine größeren Verzögerungen aufweist. Vorteilhaft ist, dass Regelabweichungen vollständig ausgeregelt werden.

PI-Regler verbinden die Vorteile des P- und des I-Reglers. Mit ihm erreicht man ein dynamisches Regelverhalten, ohne dass bleibende Regelabweichungen auftreten. Mit dem PI-Regler lassen sich die meisten Regelaufgaben lösen. Sind jedoch trotz großer Streckenverzögerungen möglichst kurze Stellzeiten erforderlich, wird man den PID-Regler wählen.

PID-Regler eignen sich bei Strecken mit großen Verzögerungen, die schnellstmöglich ausgeregelt werden müssen. Gegenüber dem PI-Regler erreicht man durch den D-Anteil eine höhere Regeldynamik. Im Vergleich zum PD-Regler entsteht durch den I-Anteil im Beharrungszustand keine Regelabweichung.

Die Auswahl eines passenden Reglers hängt wesentlich von den jeweiligen Streckenparametern ab. Daher dienen die obigen Aussagen über die Einsatzgebiete nur als grobe Richtschnur; die Eignung eines speziellen Reglertyps muss letztlich im Einzelnen anhand der Strecke genau geprüft werden.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.2 Einstellung der Regelparameter

Für ein zufriedenstellendes Regelergebnis ist die Auswahl eines geeigneten Reglers ein wichtiger Aspekt. Noch wesentlicher ist jedoch die Einstellung der passenden Reglerparameter K_p , T_n und T_v , die auf das Streckenverhalten abgestimmt sein müssen. Zumeist ist hierbei ein Kompromiss zu machen zwischen einer sehr stabilen aber auch langsamen Regelung oder einem sehr dynamischen, unruhigeren Regelverhalten, welches unter Umständen zum Schwingen neigt und instabil werden kann.

Bei nichtlinearen Strecken, die immer im selben Betriebspunkt arbeiten sollen, z. B. Festwertregelung, müssen die Reglerparameter auf das Streckenverhalten in diesem Arbeitspunkt angepasst werden. Kann . wie bei Folgeregelungen . kein fester Arbeitspunkt definiert werden, muss eine Reglereinstellung gefunden werden, die über den ganzen Arbeitsbereich ein ausreichend schnelles und stabiles Regelergebnis liefert.

In der Praxis werden Regler zumeist anhand von Erfahrungswerten eingestellt. Liegen diese nicht vor, muss das Streckenverhalten genau analysiert werden, um anschließend mit Hilfe verschiedenster theoretischer oder praktischer Auslegungsverfahren geeignete Reglerparameter festzulegen.

5.2.1 Reglereinstellung nach Ziegler–Nichols

Eine Möglichkeit dieser Festlegung bietet der Schwingungsversuch nach der Methode von Ziegler–Nichols. Er bietet eine einfache und für viele Fälle passende Auslegung. Dieses Einstellverfahren lässt sich jedoch nur bei Regelstrecken anwenden, die es erlauben, die Regelgröße zum selbsttätigen Schwingen zu bringen. Die Vorgehensweise ist dann folgende:

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

- K_p und T_v am Regler auf den kleinsten Wert und T_n auf den größten Wert einstellen (kleinstmögliche Wirkung des Reglers).
- Regelstrecke von Hand in den gewünschten Betriebspunkt bringen (Regelung anfahren).
- Stellgröße des Reglers auf den von Hand vorgegebenen Wert einstellen und auf Automatikbetrieb umschalten.
- K_p solange vergrößern (X_p verkleinern), bis harmonische Schwingungen der Regelgröße zu erkennen sind. Wenn möglich, so sollte während der K_p -Verstellung mit Hilfe kleiner sprunghafter Sollwertänderungen der Regelkreis zu Schwingungen angeregt werden.
- Den eingestellten K_p -Wert als kritischen Proportionalbeiwert $K_{p,krit}$ notieren.
- Die Dauer einer ganzen Schwingung als T_{krit} bestimmen . eventuell per Stoppuhr unter Bildung des arithmetischen Mittels über mehrere Schwingungen.
- Die Werte von $K_{p,krit}$ und T_{krit} mit den Multiplikatoren gemäß der Tabelle in multiplizieren und die so ermittelten Werte für K_p , T_n und T_v am Regler einstellen.
- Falls erforderlich K_p und T_n leicht nachjustieren, bis die Regelung ein zufriedenstellendes Verhalten zeigt.

	K_p	T_n	T_v
P	$0,50 \cdot K_{p,krit}$	-	-
PI	$0,45 \cdot K_{p,krit}$	$0,85 \cdot T_{krit}$	-
PID	$0,59 \cdot K_{p,krit}$	$0,50 \cdot T_{krit}$	$0,12 \cdot T_{krit}$

Einstellwerte der Reglerparameter nach Ziegler/ Nichols; bei $K_p, krit.$ schwingt die Regelgröße periodisch mit T_{krit}

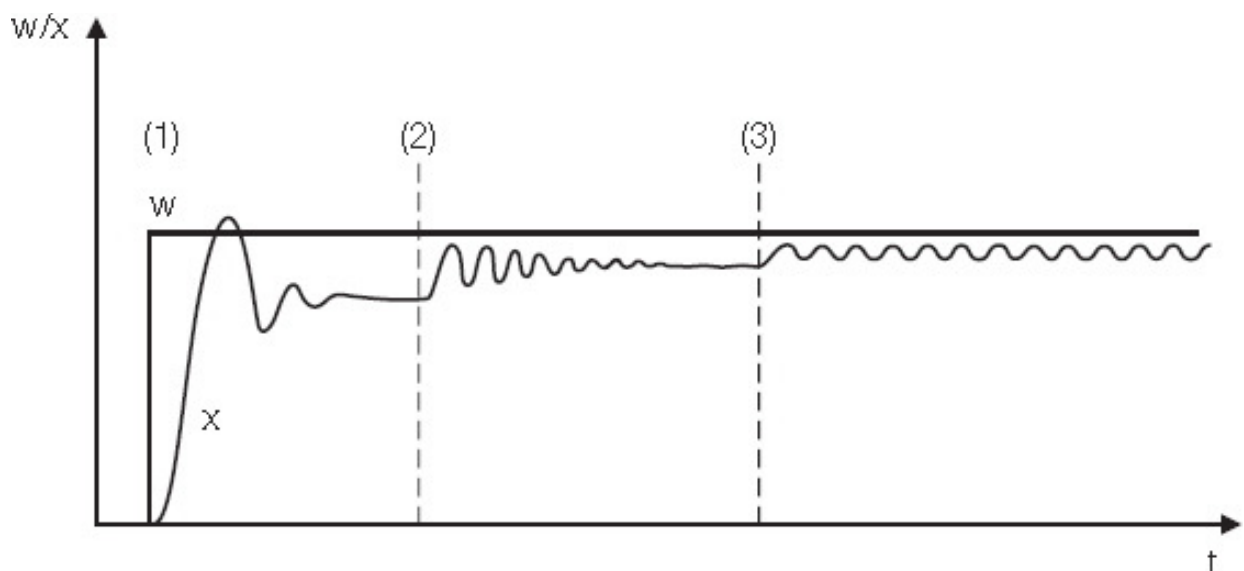
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Zusammenfassung:

Die Schwingungsmethode nach Ziegler und Nichols ist einsetzbar bei relativ schnellen Regelstrecken (wie beispielsweise Drehzahlregelstrecken).

Das Verfahren ermittelt gute Parameter für P-, PI- und PID-Regler. Während des Verfahrens wird der Regelkreis bewusst instabil gemacht:

Der Regler wird auf P-Struktur geschaltet und ein relativ großes X_P eingestellt, welches noch nicht zu einem instabilen Verhalten führt. Nun wird ein Sollwert definiert, welcher im späteren Arbeitsbereich liegt (1).



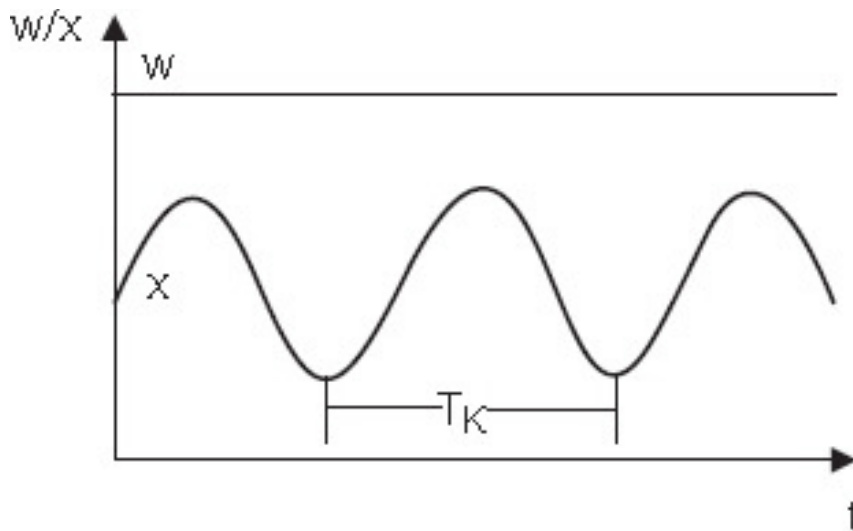
(1) zeigt, wie sich der Istwert nach einer kurzen Schwingung auf den Endwert einpendelt. Der Istwert liegt unterhalb vom Sollwert; dies ist einleuchtend, da es sich um einen P-Regler handelt.

Das X_P wird verkleinert (2): Der Istwert steigt an und benötigt längere Zeit, bis er eingeschwungen ist. Der Proportionalbereich wird unter Umständen mehrmals verkleinert, bis der Istwert periodisch schwingt. Die resultierende Kurve ist in (3) gezeigt.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Das kritische X_p ($X_{p_{krit}}$, ab diesem Proportionalbereich kommt es zu Dauerschwingungen) ist möglichst genau zu bestimmen.

Betrachten wir die Schwingung des Istwertes detailliert:

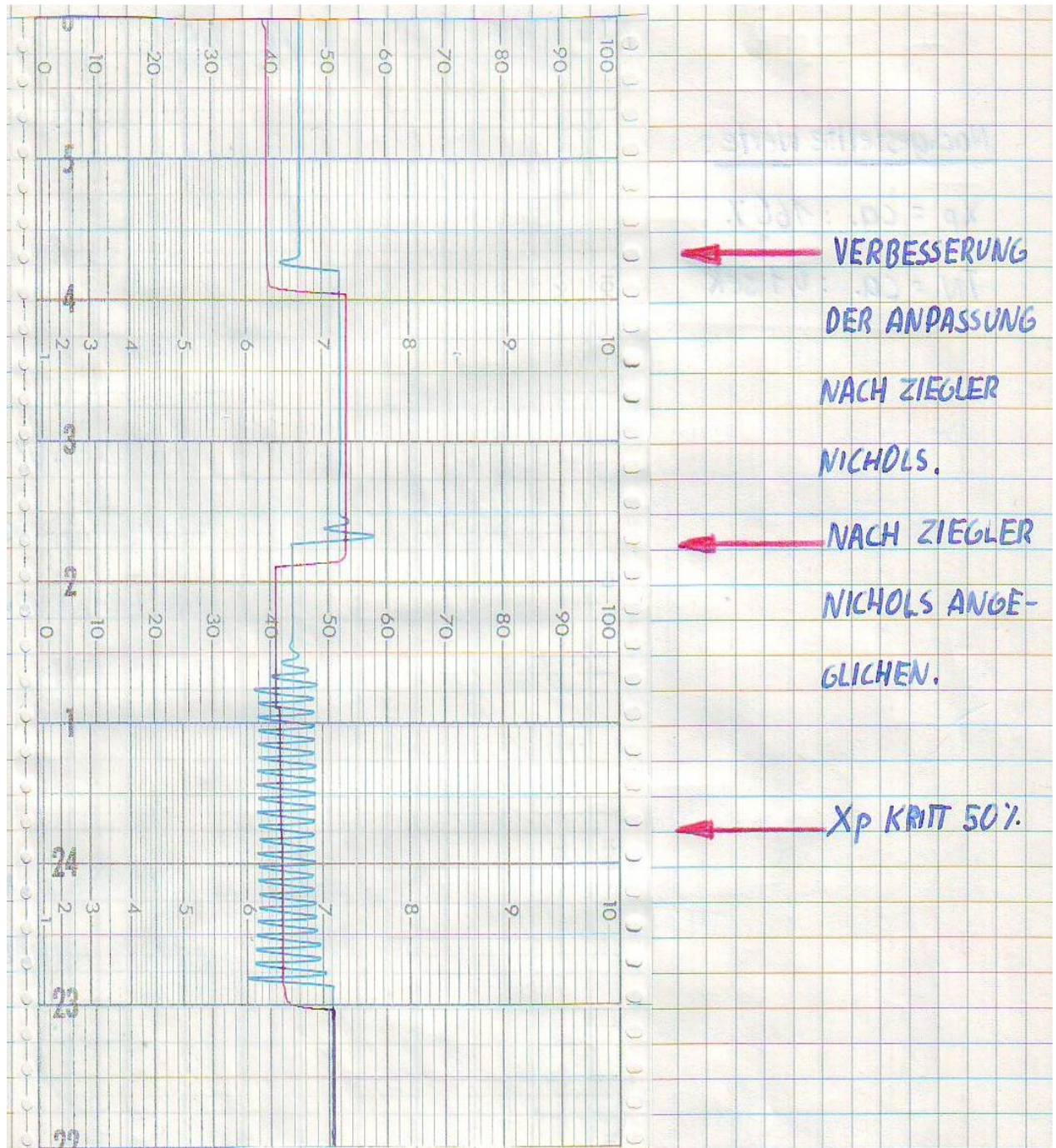


Die zweite Kenngröße welche für das Verfahren benötigt wird, ist die kritische Periodendauer (T_K):

Aus der Schwingung des Istwertes wird beispielsweise der Abstand zwischen zwei Minimalwerten ermittelt. Dieser Wert (in Sekunden) wird gemeinsam mit dem $X_{p_{krit}}$ (letzte Einstellung des Reglers) in die zuvor abgebildeten Tabelle eingesetzt:

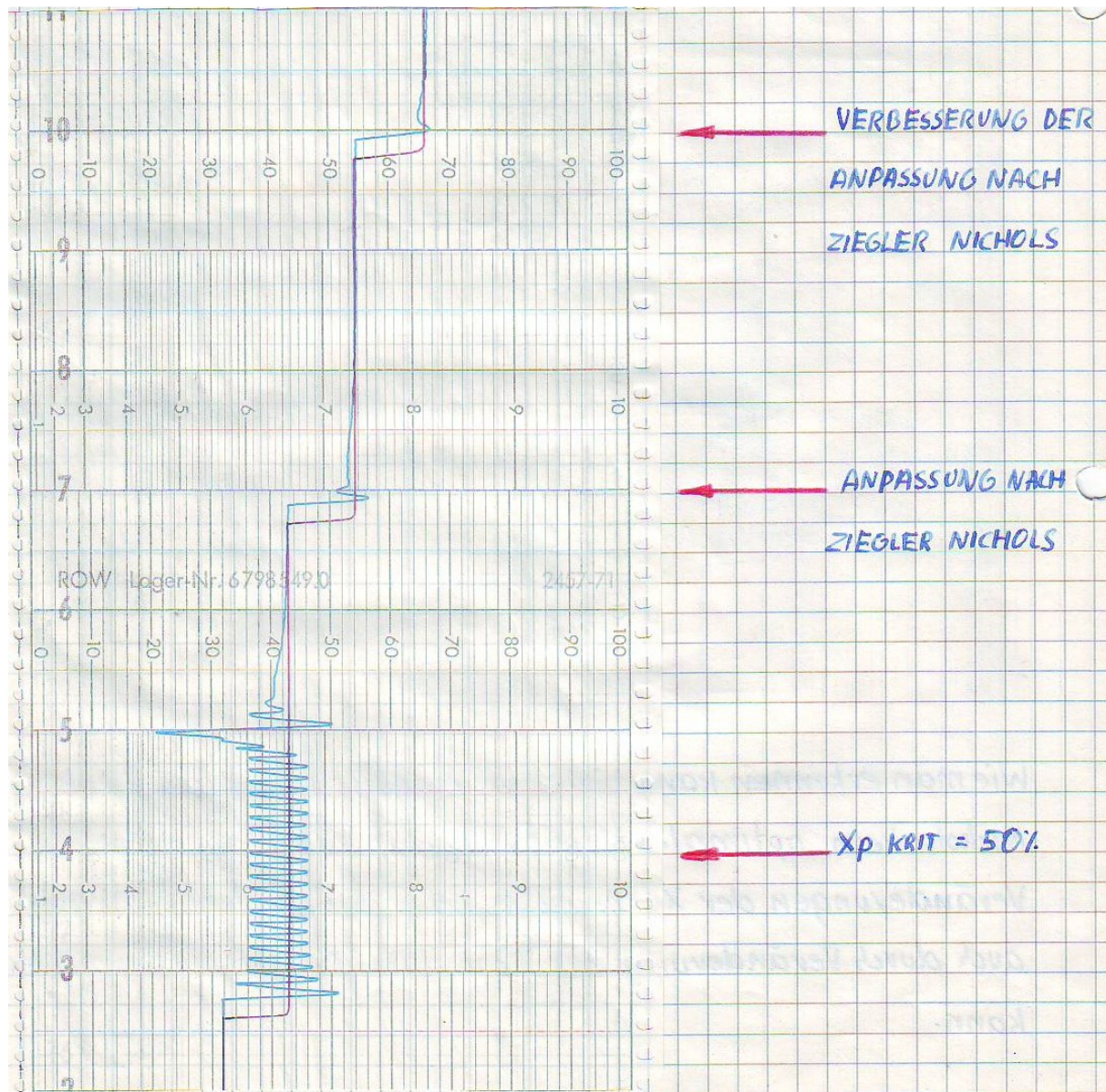
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Beispiel für einen P-Regler



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Beispiel für einen PI-Regler



Ermittelte Werte: $X_{p\text{krit}} = 50\%$,

$t_{\text{krit}} = 0,83$ Sekunden

Errechnete Werte: $T_n = X_{p\text{krit}} * 0,85 = 0,83 * 0,85 = 0,705$ Sekunden

$X_p = X_{p\text{krit}} * 2,2 = 50\% * 2,2 = 110\%$

Optimierte Werte: $X_p = \text{ca. } 160\%$ und $T_n = \text{ca. } 0,1$ Sekunden

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

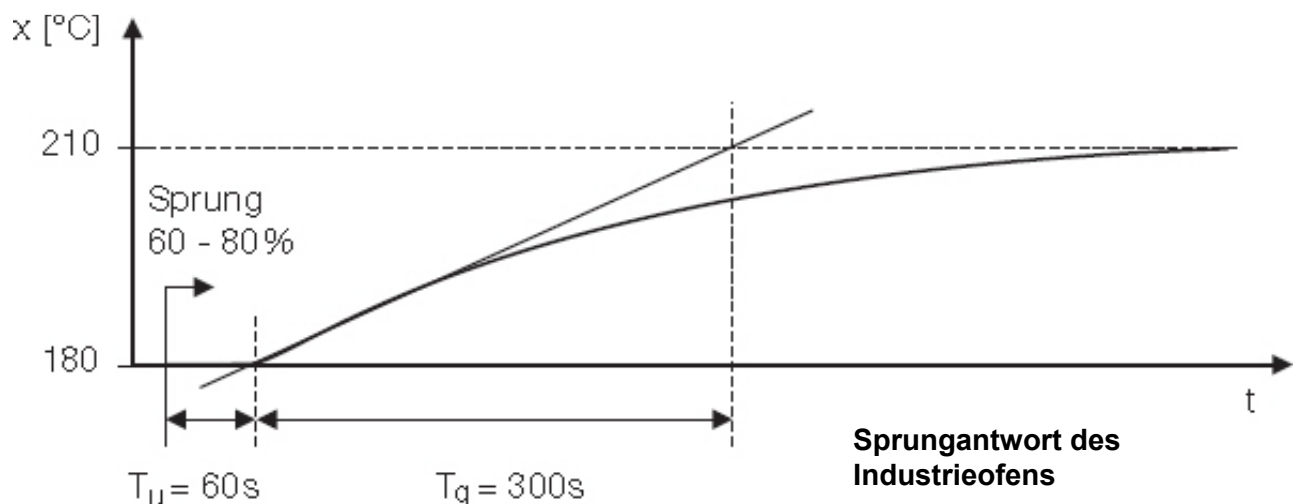
5.2.2 Reglereinstellung nach Chien, Hrones, Reswick (Streckensprungantwort)

Mit dem Verfahren nach Chien, Hrones und Reswick besteht auch bei langsamen Regelstrecken die Möglichkeit, relativ zeitsparend die Regelparameter zu ermitteln. Die Methode kann bei Strecken angewendet werden, welche mindestens 2. Ordnung betragen.

Die Besonderheit des Verfahrens ist, dass eine Unterscheidung zwischen den Formeln für Führungs- und Störverhalten erfolgt. Für die zur Verfügung gestellte Tabelle muss aus der Sprungantwort die Streckenverstärkung, die Verzugs- und die Ausgleichszeit ermittelt werden. Aus diesem Grund demonstrieren wir das Verfahren direkt an einem Beispiel:

Für einen Industrieofen soll ein Regler mit PID-Struktur eingesetzt werden. Ziel ist ein gutes Störverhalten – typische Sollwerte liegen bei 200°C.

Zu Beginn schaltet man den Regler in den Handbetrieb. Der Stellgrad wird stufenweise erhöht, bis ein Istwert erreicht ist, der unter dem später anzufahrenden Sollwert liegt (die Ausgleichsvorgänge sind jeweils abzuwarten). Denkbar wäre ein Stellgrad von 60%, bei dem eine Temperatur von 180°C erreicht wird. Von 60% ausgehend, wird der Stellgrad sprunghaft beispielsweise auf 80% erhöht und der Istwert mit einem Schreiber aufgezeichnet (die Verhältnisse wurden in dieser Abbildung eingezeichnet).



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Durch Bestimmung der Wendetangente wurde z. B. ermittelt:
Verzugszeit $T_u = 60s$, Ausgleichszeit $T_g = 300s$

Mit Hilfe der Tabelle können für den Regler günstige Regelparameter ermittelt werden:

Reglerstruktur	Führung	Störung
P	$X_P = 3,3 \cdot K_S \cdot (T_u / T_g) \cdot 100\%$	$X_P = 3,3 \cdot K_S \cdot (T_u / T_g) \cdot 100\%$
PI	$X_P = 2,86 \cdot K_S \cdot (T_u / T_g) \cdot 100\%$ $T_n = 1,2 \cdot T_g$	$X_P = 1,66 \cdot K_S \cdot (T_u / T_g) \cdot 100\%$ $T_n = 4 \cdot T_u$
PID	$X_P = 1,66 \cdot K_S \cdot (T_u / T_g) \cdot 100\%$ $T_n = 1 \cdot T_g$ $T_v = 0,5 \cdot T_u$	$X_P = 1,05 \cdot K_S \cdot (T_u / T_g) \cdot 100\%$ $T_n = 2,4 \cdot T_u$ $T_v = 0,42 \cdot T_u$

Formeln zur Einstellung nach der Streckensprungantwort

Die Streckenverstärkung wird aus der Veränderung des Istwertes geteilt durch die Sprunghöhe im Stellgrad ermittelt.

$$K_S = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{210 \text{ °C} - 180 \text{ °C}}{80 \% - 60 \%} = \frac{30 \text{ K}}{20 \%} = 1,5 \text{ K/\%}$$

Mit den ermittelten Werten für T_u und T_g ergeben sich folgende Parameter:

$$X_P = 1,05 \cdot K_S \cdot \frac{T_u}{T_g} \cdot 100\% = 1,05 \cdot 1,5 \frac{\text{K}}{\%} \cdot \frac{60s}{300s} \cdot 100\% = 31,5\text{K}$$

$$T_n = 2,4 \cdot T_u = 2,4 \cdot 60s = 144 \text{ s}$$

$$T_v = 0,42 \cdot T_u = 0,42 \cdot 60s \approx 25s$$

Der Stellgradsprung ist zum einen so groß zu wählen, dass die Sprungantwort (der Istwertverlauf) ausgewertet werden kann. Zum anderen ist unbedingt darauf zu achten, dass der Sprung im Bereich der später zu erwartenden Sollwerte liegt.



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Beispiel:

Der typische Arbeitspunkt des aufgeführten Industrieofens liegt bei 200°C. Erfolgt eine Stellgradsprungaufschaltung, welche den Istwert im Bereich von beispielsweise 70°C bewegt, würde die Auswertung der Sprungantwort wahrscheinlich keine geeigneten Regelparameter für 200°C liefern.

Bei kleineren Temperaturen sind die Bedingungen nicht wie im späteren Betrieb (zumindest die Streckenverstärkung ist hier eine andere als im späteren Arbeitsbereich, diese geht wiederum in die Berechnung von XP ein).

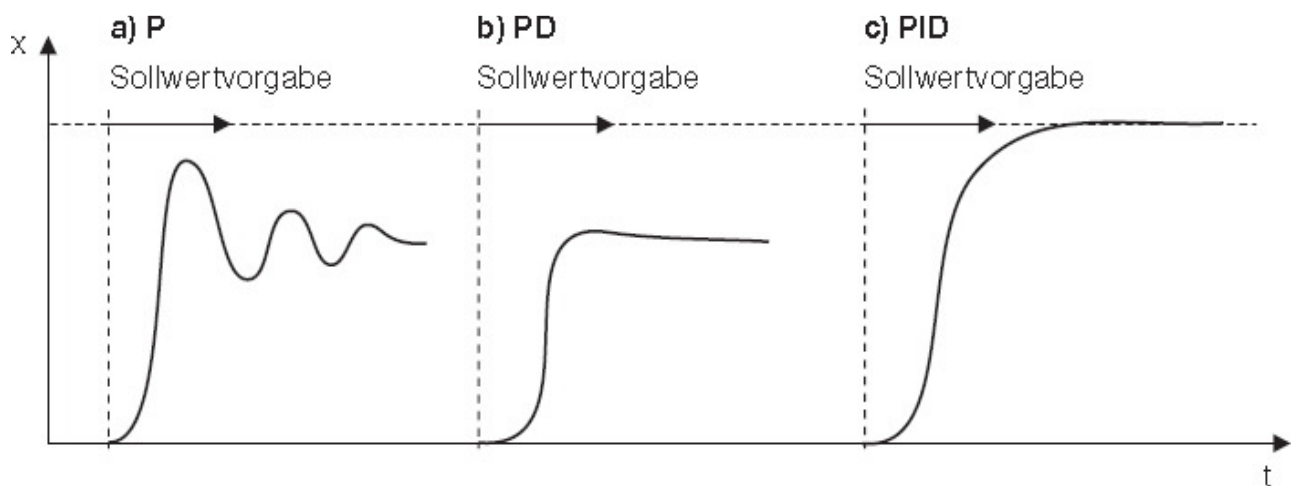
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.2.3 Empirische Methode

Bei dieser Vorgehensweise werden nacheinander günstige Einstellungen für die Anteile P, D und I ermittelt. Vom Ursprungszustand aus gibt man immer wieder den typischen Sollwert vor; daher ist das Verfahren nur bei relativ schnellen Regelstrecken anwendbar (z. B. Regelgrößen Drehzahl oder Durchfluss).

Auch wenn letztlich gute Einstellungen für PID-Struktur gefunden werden soll, wird zunächst P-Verhalten definiert. Wir stellen einen relativ großen Proportionalbereich ein (die Höhe hängt von der Strecke ab) und definieren einen Sollwert, welcher im späteren Arbeitsbereich liegt.

Wir werden feststellen, dass die Regelung sehr träge arbeitet und der Istwert weit unter dem Sollwert bleibt. Nun verkleinern wir das X_P und fahren zwischendurch immer wieder den Sollwert an. Wir verkleinern den Proportionalbereich so lange, bis der Istwert nach maximal zwei bis drei Vollschrwingungen seinen stabilen Endwert erreicht. Wir erhalten eine stabile Regelung mit einer bleibenden Regelabweichung. Unser Ergebnis könnte wie in dieser Abbildung (a) aussehen.



Einstellung eines PID-Reglers nach der Empirischen Methode



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Zur Dämpfung des Istwertes aktivieren wir den D-Anteil (wir betreiben den Regler mit PD-Struktur).

Beginnend mit einem sehr kleinen T_v , fahren wir unseren Sollwert mit immer größer werdendem T_v an. Das T_v ist günstig eingestellt, wenn der Istwert seinen Endwert mit einer möglichst kleinen Schwingung erreicht.

Setzt der Regler während dem Anfahren des Istwertes an den Endwert den Stellgrad ein oder mehrmals auf 0%, ist das T_v zu groß eingestellt.

Unser Reglergebnis könnte wie in der (b) gezeigt aussehen.

Nun wird der I-Anteil durch Umschaltung auf PID-Struktur aktiviert. Das T_n stellen wir auf $T_n = T_v \times 4$ ein. Unser Reglergebnis könnte dem Beispiel in (c) entsprechen.

Bemerkung:

Für einige Strecken können nicht alle Anteile aktiviert werden (siehe Kapitel 4.4 „Welche Reglerstruktur kommt für unterschiedliche Regelgrößen zum Einsatz?“). Stellt man bei der Empirischen Methode fest, dass zu Beginn mit der P-Struktur keine stabile Regelung möglich ist, kann lediglich die Optimierung als I-Regler erfolgen.

Wird bei einer anderen Regelstrecke erkannt, dass bei Einführung des D-Anteils (Umschaltung von P- auf PD-Struktur) der Regelkreis instabil wird, erfolgt die Optimierung als PI-Regler.

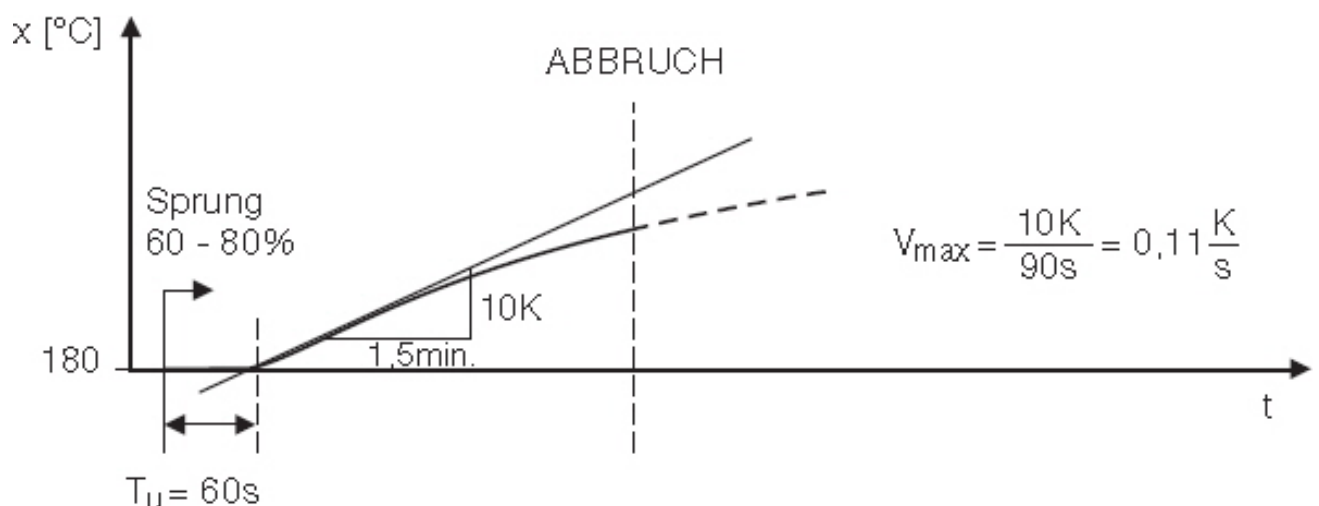
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.2.4 Anstiegsgeschwindigkeit

Das Verfahren nach der Anstiegsgeschwindigkeit kann ebenfalls bei langsamen Regelstrecken angewendet werden. Bei dieser Methode wird ein beliebiger Sprung nur so lange auf die Regelstrecke geschaltet, bis die Istwertänderung die maximale Steilheit aufweist. Da ab diesem Moment die Auswertung des Istwertes erfolgt (es muss nicht gewartet werden, bis der Istwert seinen Endwert erreicht), ist das Verfahren sehr zeitsparend. Die Strecke muss – wie beim Verfahren nach der Streckensprungantwort – mindestens zweiter Ordnung betragen.

Die Vorarbeit zur Optimierung eines Reglers für den in Kapitel 5.2.2 „*Verfahren nach der Streckensprungantwort nach Chien, Hrones und Reswick*“ genannten Industrieofen wäre sehr ähnlich:

1. Vorgabe eines Stellgrades, mit welchem ein Istwert kleiner dem späteren Arbeitspunkt erreicht wird (z. B. 180°C bei 60% Stellgrad, die Ausgleichsvorgänge müssen abgewartet werden!).
2. Sprungförmige Vorgabe des Stellgrades von 80% und Aufzeichnung des Istwertes.



Istwertverlauf beim Verfahren nach der Anstiegsgeschwindigkeit

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Nach der Vorgabe des Sprunges beginnt der Istwert nach einiger Zeit anzusteigen. Die Aufzeichnung kann abgebrochen werden, wenn der Istwert seine maximale Steilheit aufweist.

Auch bei diesem Verfahren wird die Wendetangente eingezeichnet und die Verzugszeit ermittelt. Zur Bestimmung der zweiten Kenngröße wird an die Wendetangente ein Steigungsdreieck gezeichnet.

Durch dieses wird die maximale Anstiegsgeschwindigkeit bestimmt:

$$V_{max} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Das ermittelte Vmax (in unserem Beispiel ca 0,11K/s) wird gemeinsam mit dem ermittelten Tu (60s) in folgende Formeln eingesetzt:

Reglerstruktur	Regelparameter	
P	$X_P = V_{max} \cdot T_u \cdot y_H / \Delta y$	y_H = maximaler Stellbereich (meist 100 %) Δy = vorgegebener Stellgradsprung (in unserem Beispiel 20 %)
PI	$X_P = 1,2 \cdot V_{max} \cdot T_u \cdot y_H / \Delta y$ $T_n = 3,3 \cdot T_u$	
PD	$X_P = 0,83 \cdot V_{max} \cdot T_u \cdot y_H / \Delta y$ $T_v = 0,25 \cdot T_u$	
PID	$X_P = 0,83 \cdot V_{max} \cdot T_u \cdot y_H / \Delta y$ $T_n = 2 \cdot T_u$ $T_v = 0,5 \cdot T_u$	

Formeln zur Einstellung nach der Anstiegsantwort für Strecken mit Ausgleich

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Für einen PID-Regler ergeben sich in unserem Beispiel folgende Werte:

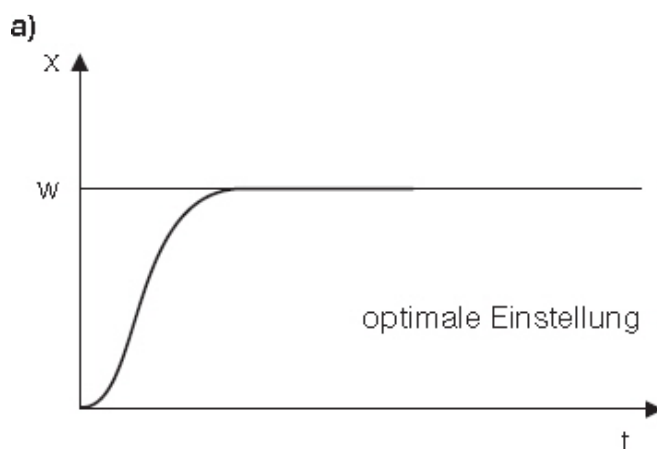
$$X_p = 0,83 \cdot V_{\max} \cdot T_u \cdot \frac{y_H}{\Delta y} = 0,83 \cdot 0,11 \frac{\text{K}}{\text{s}} \cdot 60\text{s} \cdot \frac{100\%}{20\%} \approx 27,4\text{K}$$

$$T_n = 2 \cdot T_u = 2 \cdot 60\text{s} = 120\text{s}$$

$$T_v = 0,5 \cdot T_u = 0,5 \cdot 60\text{s} = 30\text{s}$$

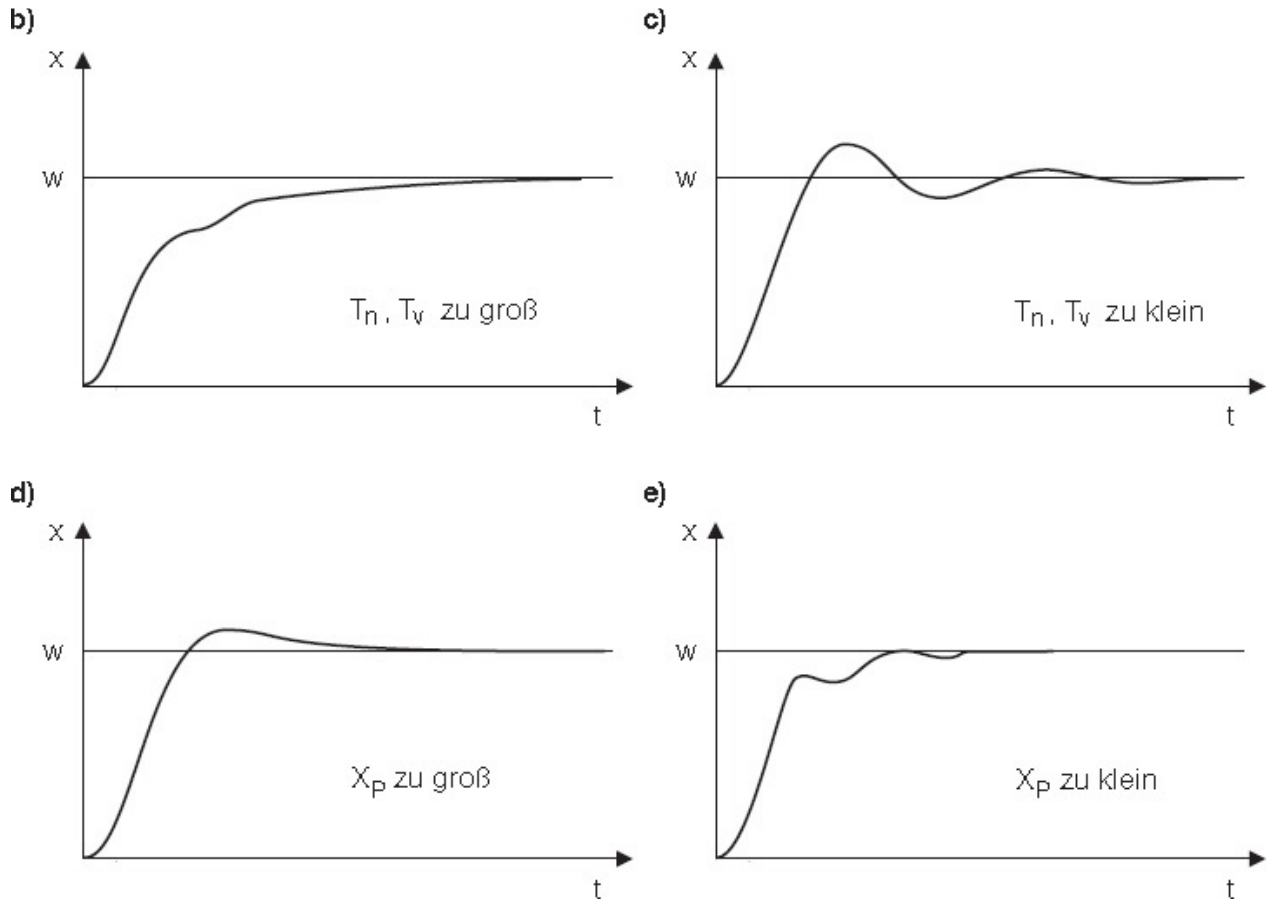
5.2.5 Kontrolle der Reglereinstellung für PID-Struktur

Wird ein PID-Regler mit den in diesem Kapitel aufgeführten Verfahren optimiert, wird das Regelverhalten noch nicht unbedingt optimal sein. In diesem Fall kann die Abbildung als Hilfestellung für eine Nachoptimierung genutzt werden.



Hinweise auf mögliche Fehleinstellungen

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Hinweise auf mögliche Fehleinstellungen

Wir möchten die Diagramme kurz näher betrachten:

- a) Dieses Regelverhalten erreicht man bei einer optimalen Einstellung.
- b) Der Istwert steigt nach Vorgabe des Sollwertes relativ steil an, der Proportionalbereich scheint gut eingestellt zu sein. Wird die Regelabweichung kleiner, steigt der Istwert mit einer geringeren Steilheit. Bei einer kleiner werdenden Regelabweichung wird der Stellgrad, welcher durch den P-Anteil ausgegeben wird, immer kleiner: vor allem der I-Anteil ist hier gefragt. Im gezeigten Fall integriert der I-Anteil zu langsam auf (das eingestellte T_n ist zu groß, es ist zu verkleinern). Denkt man an das Verhältnis $T_v = T_n / 4$, sollte die Vorhaltezeit ebenfalls verkleinert werden.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

- c) In dem gezeigten Fall ist der I-Anteil zu groß eingestellt (T_n zu klein): der I-Anteil integriert die Regelabweichung so lange auf, bis diese 0 wird. Der I-Anteil bildet seinen Stellgrad zu schnell: Bis der Istwert den Sollwert erreicht, ist das Ausgangssignal zu groß. Deshalb kommt es zu Schwingungen des Istwertes um den Sollwert. Denkt man an das Verhältnis $T_v = T_n / 4$, sollte die Vorhaltezeit ebenfalls vergrößert werden.
- d) Dieses Regelverhalten deutet auf ein zu groß eingestelltes X_P hin: Wird der Sollwert vorgegeben, beträgt das Ausgangssignal allein durch den P-Anteil 100%. Der I-Anteil kann in dieser Phase noch keinen Stellgrad bilden. Ist das X_P groß eingestellt, gelangt der Istwert sehr früh in den Proportionalbereich, der P-Stellgrad wird kleiner 100% und der I-Anteil kann Stellsignal bilden. Im genannten Fall hat der I-Anteil sehr lange Zeit, seinen Stellgrad aufzubauen: Bis der Istwert den Sollwert erreicht, wird zu viel Stellgrad gebildet und der Istwert schwingt über den Sollwert. Abhilfe schafft ein kleineres X_P : Bei Vorgabe des Sollwertes befindet sich der Istwert lange Zeit unterhalb des Proportionalbereiches. Der P-Anteil liefert länger 100% und der I-Anteil beginnt später sein Ausgangssignal zu bilden – ein Überschwingen wird unwahrscheinlicher.
- e) Ist der Proportionalbereich zu klein eingestellt, bewegt sich der Istwert sehr zügig in Richtung Sollwert. Relativ spät (kurz vor Erreichen des Sollwertes) fährt der Istwert in den Proportionalbereich ein und der Stellgrad reduziert sich nahezu sprungförmig. Mit einer Verzögerung fällt nun auch der Istwert ab, was wegen der relativ großen Proportionalverstärkung eine starke Erhöhung des P-Stellgrades mit sich bringt... Während der ganzen Zeit wirkt neben dem D-Anteil auch der I-Anteil, welcher die Regelabweichung abbaut. Mit einem größeren X_P würde der Istwert beruhigt werden.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.2.6 Welche Reglerstruktur kommt für unterschiedliche Regelgrößen zum Einsatz?

Pauschal gilt:

Für die meisten Anwendungen weist die PID-Struktur das beste Regelverhalten auf. Es existieren jedoch einige Regelgrößen, die das Deaktivieren bestimmter Anteile erfordern. Z. B. kann der D-Anteil bei Regelstrecken mit unruhiger Regelgröße zu Instabilitäten führen.

Auch der P-Anteil verstärkt diese Unruhe und muss ggf. abgeschaltet werden. Wenn das Verhältnis von Ausgleichszeit zu Verzugszeit relativ klein ist (Regelstrecke schwer zu regeln), kann ebenfalls das Abschalten der Anteile P und D notwendig werden, da anderenfalls eine Regelung instabil würde. Es ist nicht einfach, für unterschiedliche Regelgrößen die günstigste Reglerstruktur anzugeben, denn diese ist auch von der Gestaltung der Strecke abhängig. Für den Autor war wichtig, die Struktur bekannt zu machen, welche in den meisten Fällen zum besten Ergebnis führt bzw. mit der man sich auf der sicheren Seite befindet (Regelkreis arbeitet stabil).

Temperatur

Diese Regelstrecken sind immer mit Ausgleich. Die Ausgleichszeit ist häufig bedeutend größer als die Verzugszeit. Für diese Art von Regelstrecken ist fast immer die PID-Struktur die Geeignete.

Druck

Bei diesen Regelstrecken ist das Verhältnis Ausgleichszeit/Verzugszeit relativ gering ($T_g / T_u < 3$). Aus regelungstechnischer Sicht sind diese Regelstrecken ähnlich wie Strecken mit Totzeit zu behandeln. Weiterhin ist der Istwert häufig sehr unruhig. Aus diesen Gründen gilt hier: Mit der I-Struktur ist man in den meisten Fällen am besten beraten.



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

pH-Wert

Es werden folgende Anwendungen unterschieden: Erfolgt die Regelung im Durchlauf (z. B. in einem Rohrsystem), kommt meist PID-Struktur zum Einsatz. Im Fall von Regelungen in einem Standbecken findet P- oder PD-Struktur Verwendung (der I-Anteil würde zum Überschwingen führen).

Drehzahl

In rotierenden Systemen kommt es häufig zu Resonanzen und somit zu Oberwellen. Auf die Oberwellen spricht speziell der D-Anteil stark an. Aus diesem Grund findet meist PI-Struktur Verwendung.

Durchfluss

Hier ist häufig das Verhältnis Ausgleichszeit/Verzugszeit gering ($T_g / T_u < 3$). I-Struktur führt meist zum besten Ergebnis.

Niveau

Dies sind Strecken ohne Ausgleich. Prinzipiell erzielt die PID-Struktur das beste Regelergebnis. Jedoch sollte der I-Anteil nicht zu stark (T_n nicht zu klein) eingestellt sein, da die Regelgröße sonst zum Schwingen neigt. Eine solche Regelstrecke darf auf keinen Fall mit einer I-Struktur betrieben werden, da diese alleine zu Instabilitäten führt.

Förderung (Schüttgut)

Diese Regelstrecken sind überwiegend totzeitbehaftet. Bei diesen Regelstrecken ruft eine P-Struktur alleine immer Schwingungen in der Regelgröße hervor (bei einem $XP < 100$ sogar Dauerschwingungen). Auch der D-Anteil führt häufig zu Instabilität. I-Struktur liefert in den meisten Fällen das beste Ergebnis.



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Die Tabelle zeigt eine Zusammenfassung:

Regelgröße	Meist (!) führt folgende Reglerstruktur zum besten Ergebnis
Temperatur	PID
Druck	I
pH-Wert	Durchlaufregelung PID, Standbecken P- oder PD
Drehzahl	PI
Durchfluss	I
Niveau	PID
Förderung (Schüttgut)	I

Auswahl der Reglerstruktur hinsichtlich der wichtigsten Regelgröße



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Ergänzende Literatur

- [1] DIN 19 226: Regelungstechnik und Steuerungstechnik
- [2] DIN 19 227: Graphische Symbole und Kennbuchstaben für die Prozessleittechnik
- [3] Begriffe und Symbole der Regelungstechnik Technische Information L101;
SAMSON AG
- [4] Schmäing, Eduard: Regelungstechnik in Bildern Band 1–4, Vogel-Verlag,
Würzburg
- [5] Samal: Grundriss der analogen und digitalen Regelungstechnik Band 1 und 2,
Oldenbourg-Verlag, München, Wien
- [6] Piwinger, Franz: Regelungstechnik für Praktiker VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf
- [7] Regelungstechnik in der Versorgungstechnik Verlag C. F. Müller GmbH, Karlsruhe
- [8] Manfred Schleicher, Regelungstechnik für den Praktiker, Publikation der Fa. JUMO