



© Igaris - Fotolia.com

# Der Regler

## Das unbekannte Wesen

B. Kusserow

**F**ür den Anfänger sind Regler das störfrischste Element einer Automation. Wer von Wikipedia Auskunft sucht, erhält dasselbe wie überall: Einen stark mathematiklastigen Artikel, der ziemlich unverständlich bleibt. In diesem Artikel der Serie „Automatisierung im Syntheselabor“ wird versucht, es einfacher zu machen. Ganz ohne Mathematik wird es allerdings nicht gehen.

Experten der Regelungstechnik werden die Erklärungen unvollständig finden. Es geht nicht um Einzelheiten, sondern um das prinzipielle Verständnis.

Nähert man sich von der Anwenderseite, soll ein Regler eine gewünschte Systemeigenschaft, zum Beispiel eine Temperatur, einstellen und konstant halten. Ändert sich die Temperatur, muss der Regler die Heiz- oder Kühlleistung entsprechend anpassen.

Dazu benötigt der Regler einen Temperaturmesswert als Istwert. Dieser wird mit der gewünschten Temperatur, dem Sollwert, verglichen. Daraus ergibt sich die Regelabweichung, die positiv (Temperatur zu hoch) oder negativ (Temperatur zu niedrig) sein kann:

$$\Delta T = T_i - T_s$$

In der üblichen Nomenklatur wird der Istwert (hier  $T_i$ ) mit  $X$  benannt, der Sollwert mit  $W$ :

$$\Delta = X - W$$

Aus dieser Regelabweichung errechnet dann der Regler die Stellgröße (übliche Nomenklatur  $Y$ ) für das Heizungsventil nach einer Formel:

$$Y = f(\Delta, \dots)$$

In diese Formel gehen außer der Regelabweichung bei dem universellsten Regler, dem PID-Regler, noch die Parameter  $P$ ,  $I$  und  $D$  (für Proportional, Integral und Differentiell) ein.

$$Y = f(\Delta, P, I, D)$$

Als Nächstes wird auf die Eigenschaften des zu regelnden Systems eingegangen. Dessen Verhalten hat bestimmenden Einfluss auf die Regelung. Das zu regelnde System wird als Regelstrecke bezeichnet.

### Verhalten der Regelstrecke

Die erste zu berücksichtigende Eigenschaft ist der sogenannte Ausgleich. Eine Strecke mit Ausgleich wird ohne Reglereingriff im Laufe der Zeit den Messwert einem physikalisch vorgegebenen Wert angleichen. Im Beispiel Temperatur heißt das, dass sich die Temperatur der aufgeheizten Strecke nach Abschalten der Heizung auf die Umgebungstemperatur abkühlen wird.

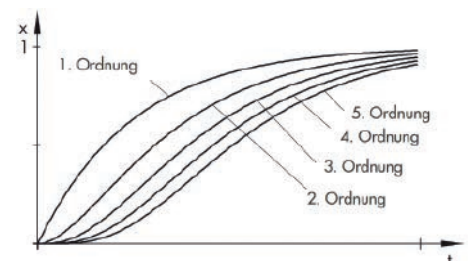


Abb. 1: Strecken mit Verzögerungsglieder 1, 2, ..., Ordnung.

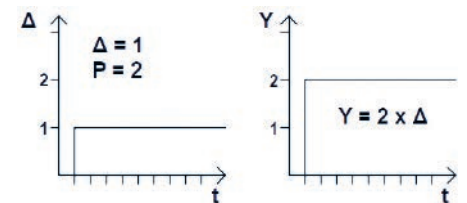


Abb. 2: P-Regler

Eine Strecke ohne Ausgleich ist zum Beispiel ein Tank ohne Ablauf. Füllt ein Regler diesen auf einen bestimmten Füllstand auf, so wird dieser nicht von selbst wieder sinken. Bei konstanter Stellgröße steigt der Istwert also immer weiter an.

Die nächste wichtige Eigenschaft ist das zeitliche Verhalten der Strecke bei Änderung der Stellgröße. Eine Strecke ohne Verzug wird sofort in vollem Maße mit einer Verän-

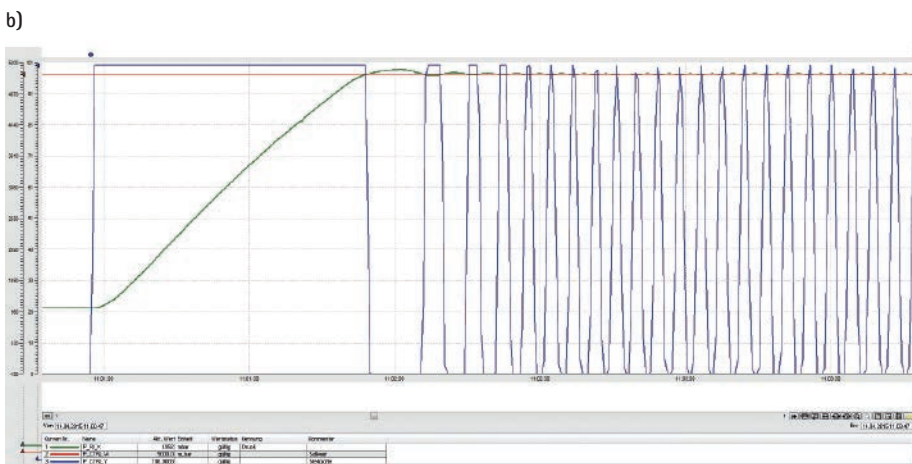
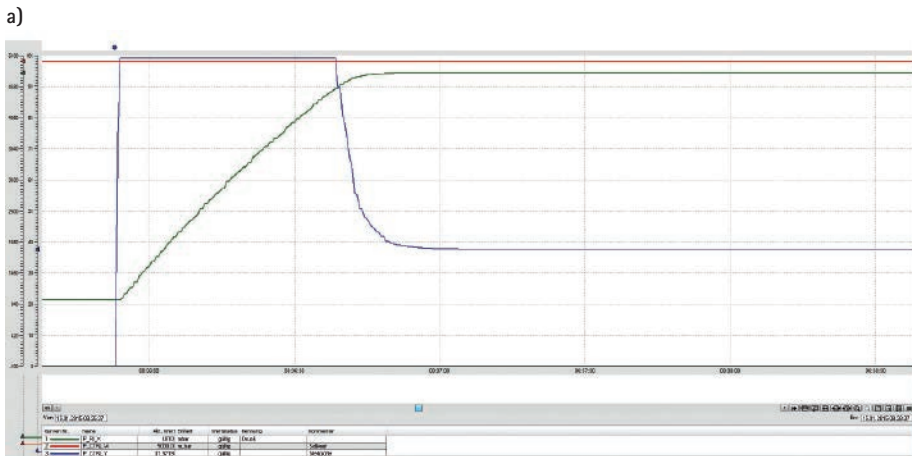


Abb. 3: a: Reiner P-Regler an einer Strecke mit Ausgleich. Die Strecke ist eine Druckregelung im Gasraum mit Druckverlust durch Reaktion. Rot:  $W$  [mbar], grün:  $X$  [mbar], blau:  $Y$  [%]. b: Reiner P-Regler an der selben Strecke.  $P$  zu hoch, der Istwert schwingt um den Sollwert, die Schwingung baut sich nicht ab. Rot:  $W$  [mbar], grün:  $X$  [mbar], blau:  $Y$  [%].

derung des Messwerts reagieren. So etwas gibt es in der Praxis eigentlich nicht. Selbst wenn der Messwert sich sofort ändern sollte, wird dennoch ein gewisser Verzögerung durch Signallaufzeiten oder Montage des Sensors abseits vom Stellort auftreten. Je länger die Verzögerungszeit, desto schwieriger wird die Regelung einer solchen Strecke. Eine solche reine Zeitverzögerung ist mathematisch betrachtet ein Verzögerungsglied 0-ter Ordnung. Reine Totzeit ist im Laboralltag selten.

Es gibt noch weitere Faktoren, die das Zeitverhalten beeinflussen. Bleiben wir beim Beispiel der Heizung. Sie produziert Wärme, der Sensor misst die Temperatur. Da der Sensor nicht am Heizort, sondern am für den Prozess maßgeblichen Ort verbaut ist, stehen zwischen ihm und der Heizung zwei Hindernisse: Die begrenzte Wärmeleitfähigkeit des dazwischenliegenden Materials und dessen Wärmekapazität. Beides zusammen wirkt wie ein Wärmespeicher, der erst aufgefüllt werden muss und somit seine Temperatur verzögert weitergibt. Mit einem Speicher ist das Resultat eine Strecke erster Ordnung. Mehr als ein Speicher führt zu Strecken höherer Ordnung.

Dieses Zeitverhalten bestimmt maßgeblich die Regelbarkeit eines Systems. Ein Regler verfügt nicht über Intelligenz, sondern nur über eine Rechenregel. Maßgeblich ist die Regelabweichung. Der Regler gibt nach Berechnung eine Stellgröße aus – aber durch den Verzögerung, ganz gleich aus welchen Gründen, passiert erst einmal nichts, das am Istwert etwas ändern würde. Erhöht der Regler jetzt die Stellgröße, so wird mehr geheizt, aber noch immer ist davon nichts zu sehen. Wenn aber die Temperatur am Sensor ansteigt, ist das Material zwischen Heizung und Sensor bereits wesentlich wärmer, der Regler weiß davon aber nichts. Jetzt droht die Temperatur am Sensor zu hoch zu werden. Dann reduziert der Regler die Heizungsleistung wieder. Nun droht die Temperatur wieder unter den Sollwert zu fallen. Ein solches System kann ins Schwingen geraten.

### Verhalten des Reglers

Mit diesen unterschiedlichen Problemen muss ein Regler arbeiten. Je weniger Verzögerung,

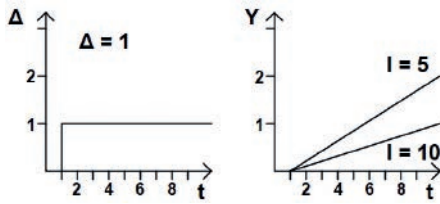


Abb. 4: I-Regler

desto einfacher ist es, einen passenden Satz Reglerparameter zu finden. Um diese Parameter geht es im Folgenden.

### Der P-Regler (Proportionalregler)

Heißt so, weil die von ihm ausgegebene Stellgröße direkt proportional zur Regelabweichung ist. Der Proportionalitätsfaktor ist  $K_p$  oder einfach P.

$$Y = \Delta \times P$$

Bei unverändertem Istwert ist also die Antwort wie folgt (Abb. 2): Die Stellgröße ist demnach um so höher, je höher die Regelabweichung ist. Ist die Abweichung 0, dann wird auch die Stellgröße 0. Das hat Folgen für die Strecke: Ein reiner P-Regler ist nur für Strecken ohne Ausgleich sinnvoll, bei Strecken mit Ausgleich wird der resultierende Istwert immer unter dem Sollwert liegen.

Der P-Regler reagiert schnell, da er unmittelbar auf eine bestehende Abweichung reagiert. Ein Beispiel reiner P-Regelungen sind Flussregelungen sowie Druckregelungen und Füllstandsregelungen – wenn nicht gleichzeitig Medium abfließt. Versucht man zu sehr zu beschleunigen, oder mit reiner P-Regelung in Strecken mit Ausgleich eine Annäherung an den Sollwert zu erzwingen, überschwingt die Regelung (Abb. 3).

### Der I-Regler (Integralregler)

Heißt so, weil er die Abweichung mit der Zeit aufintegriert und als Stellgröße ausgibt.

$$y = \frac{1}{I} \int_{t=0}^t \Delta dt \quad \text{mit } I = \text{Nachstellzeit in Sekunden}$$

Bei den üblichen Digitalreglern heißt das, mit jedem Programmzyklus wird die momentane Regelabweichung durch I dividiert und zur momentanen Stellgröße hinzu addiert. Der I-Regler wird meistens verwendet, um aus einer P-Regelung resultierende dauernde Regelabweichungen bei Strecken mit Ausgleich auszuregulieren. Reine I-Regler sind eher selten. Als Bei-

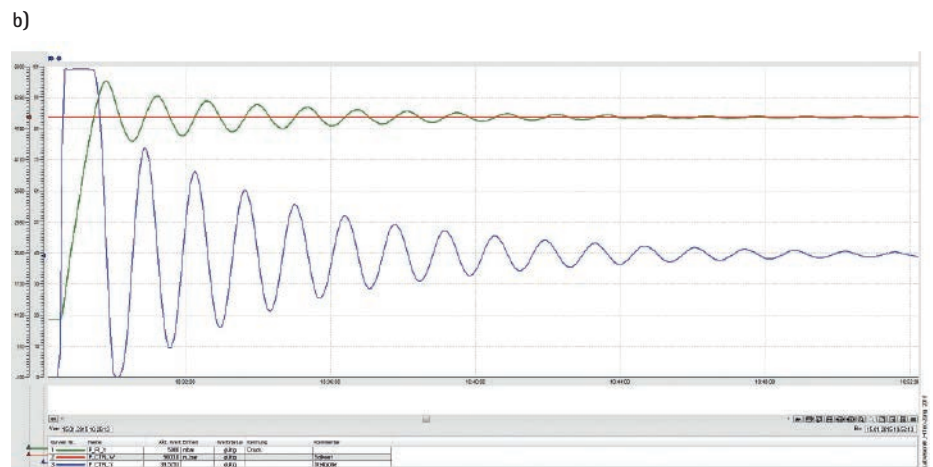
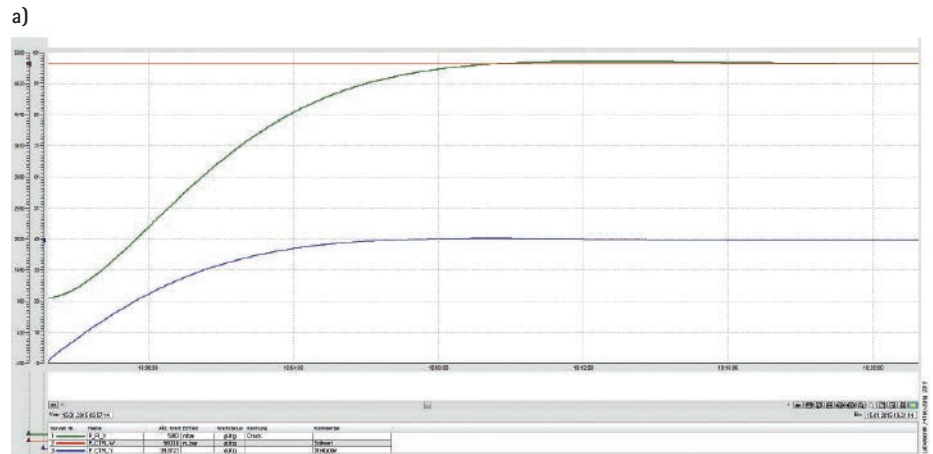


Abb. 5: a: Reiner I-Regler an selber Strecke wie obiger P-Regler. Der Anzeigzeitraum ist gegenüber der P-Regelung vervierfacht, dennoch zeigt der Regler ein kleines Überschwingen. Rot: W [mbar], grün: X [mbar], blau: Y [%]. b: Reiner I-Regler an selber Strecke. I wurde reduziert, der Istwert schwingt um den Sollwert, die Schwingung baut sich ab. Rot: W [mbar], grün: X [mbar], blau: Y [%].

spiel sollen Geschwindigkeitsregler genannt werden. Ein Tempomat im Auto ist so ein Geschwindigkeitsregler. Verwendet man einen P-Regler als Tempomat, bekäme man bei jeder Sollwertänderung um 10 km/h mehr ein voll durchgetretenes Gaspedal (Abb. 4). Der I-Regler beschleunigt dagegen wesentlich gleichmäßiger – aber langsam.

Der I-Regler ist langsam, da die Stellgröße sich erst im Laufe der Zeit aufintegriert. Da der Regler aber die Stellgröße bei Überschwingen genauso langsam wieder abbaut, kann die Regelung nicht durch verringern von I beschleunigt werden.

### Der D-Regler (Differentialregler)

Heißt so, weil er die Abweichung zwischen aufeinanderfolgenden Werten differenziert und daraus die Stellgröße errechnet. Reine D-Regler gibt es nicht, er wird verwendet um auf plötzliche Störungen, zum Beispiel

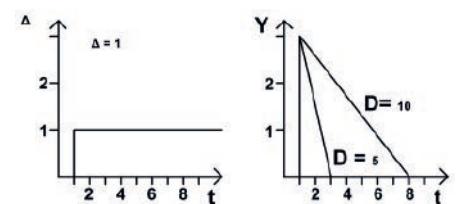


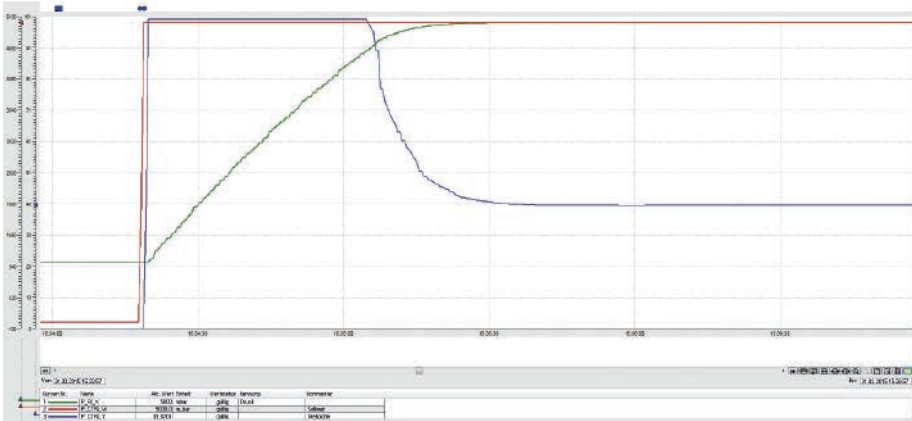
Abb. 6: D-Regler

das Öffnen eines Ofens, zu reagieren. Auch Sollwertänderungen sind regelungstechnisch betrachtet Störungen. Der D-Regler ist ein schneller Regler. Als zusätzliches Element in P- oder PI-Reglern beschleunigt er die Reaktion auf Störungen (Abb. 6).

### Kombinierte Regler

Um möglichst universelle Regler zu erhalten, werden die Reglertypen kombiniert. PI, PD und PID sind die meist verwendeten Kom-

a)



b)

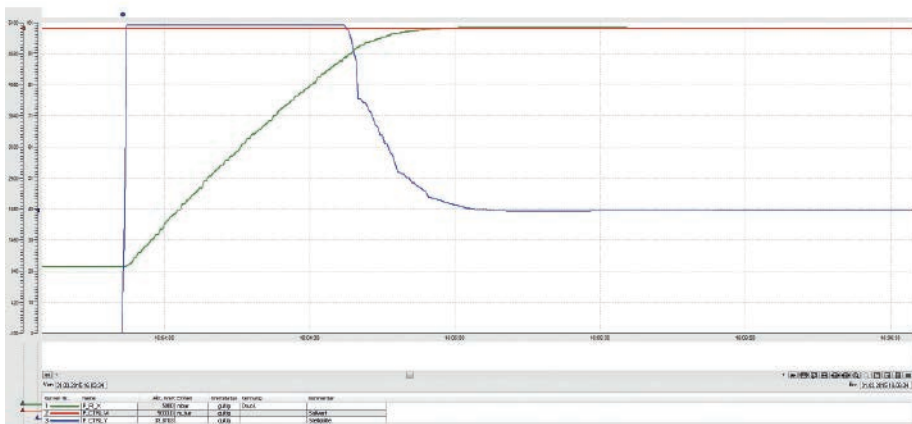


Abb. 7: a: PI-Regler an selber Strecke, Zeitskala wie P-Regler. Schnelle Reaktion und Erreichen des Sollwerts. b: PID-Regler an derselben Strecke. Keine merkliche Verbesserung gegenüber PI-Regler.

binations. Hier wird exemplarisch der PI- und der PID-Regler beschrieben.

Der PI-Regler arbeitet durch einfache Addition der P-, und I-Anteile:

$$Y = f(P, \Delta) + f(I, \Delta)$$

Beim PID-Regler kommt noch der D-Anteil dazu:

$$Y = f(P, \Delta) + f(I, \Delta) + f(D, \Delta)$$

Ein PI-Regler kann die meisten Regelaufgaben problemlos bewältigen. Zur schnelleren Reaktion auf Störungen kann noch ein D-Anteil nützlich sein, daraus resultiert dann ein PID-Regler. Im verwendeten Beispiel ist

durch den zusätzlichen D-Anteil allerdings wenig zu verbessern.

Der PID-Regler ist der universellste Regler und ist für fast alle Strecken einsetzbar.

## KONTAKT |

Dr. Burkhard Kusserow  
HiTec Zang GmbH  
Herzogenrath  
burkhard.kusserow@hitec-zang.de