Inhaltsverzeichnis

12 Regler und Regelglieder 2

12.1 Klassifizierung 2

12.2 Stetige und unstetige Regler 3

12.3 Hilfsenergie 4

12.4 Bestimmung des dynamischen Verhaltens 5

12.5 Stetige Regler 6

12.5.1 P-Regler (Proportionalregler) 6

12.5.2 I-Regler (Integralregler) 13

12.5.3 D-Regler (Differentialregler) 16

12.5.4 PD-Regler 16

12.5.5 PI-Regler 19

12.5.6 PID-Regler 22

12.6 Unstetige Regler 26

12.6.1 Zweipunktregler 26

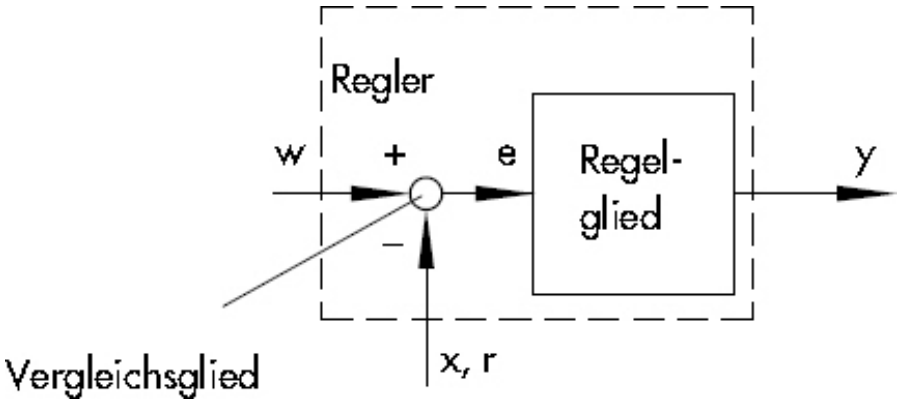
12.6.2 Zweipunktregler mit Rückführung 29

12.6.3 Dreipunktregler und Dreipunktschrittregler 29

12 Regler und Regelglieder

Die folgenden Textauszüge stammen im wesentlichen aus Schulungspublikationen der Fa. Samson / Frankfurt

Ein Regler hat die Aufgabe, eine zu regelnde Strecke über ein Stellsignal so zu beeinflussen, dass die Regelgröße dem Wert der Führungsgröße entspricht. Regler bestehen aus einem Vergleichs- und einem Regelglied. Das Vergleichsglied bildet aus der Differenz von Führungs-(w) und Rückführgröße (r) die Regeldifferenz (e), während das Regelglied aus der Regeldifferenz (e) die Stellgröße (y) erzeugt:



12.1 Klassifizierung

Regelglieder können auf ganz unterschiedliche Weise realisiert werden. So kann die Stellgröße y zum Beispiel

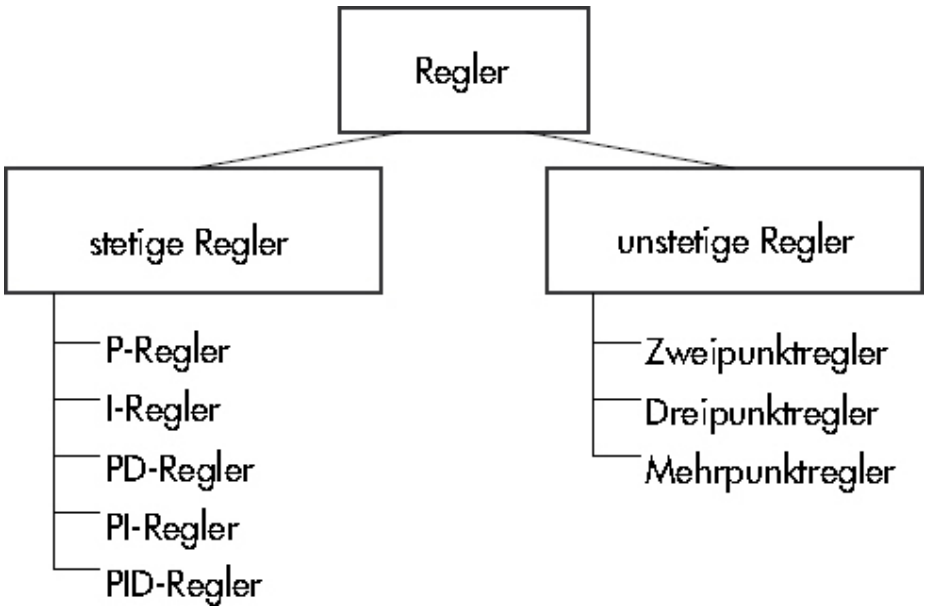
- mechanisch oder elektrisch,
- analog oder digital,
- mit oder ohne Hilfsenergie

aus der Regeldifferenz e gebildet werden. Obwohl diese Unterschiede die Reglerauswahl ganz wesentlich mit entscheiden, bleibt das regelungstechnische Verhalten von diesen Merkmalen fast unbeeinflusst.

Das Regelverhalten hängt in erster Linie vom Verlauf der Stellgröße ab. Man klassifiziert Regler deshalb anhand ihres Stellsignalverlaufes. Abhängig vom Reglertyp kann das Stellsignal entweder stetig oder unstetig verlaufen.

12.2 Stetige und unstetige Regler

Bei **stetigen Reglern** kann die Stellgröße jeden beliebigen Wert innerhalb eines Stellbereiches annehmen. Das Übertragungsverhalten stetiger Regelglieder weist zumeist proportionales (P-), integrales (I-) oder differentiales (D-) Verhalten auf oder setzt sich aus der Summe dieser Einzelelemente zusammen



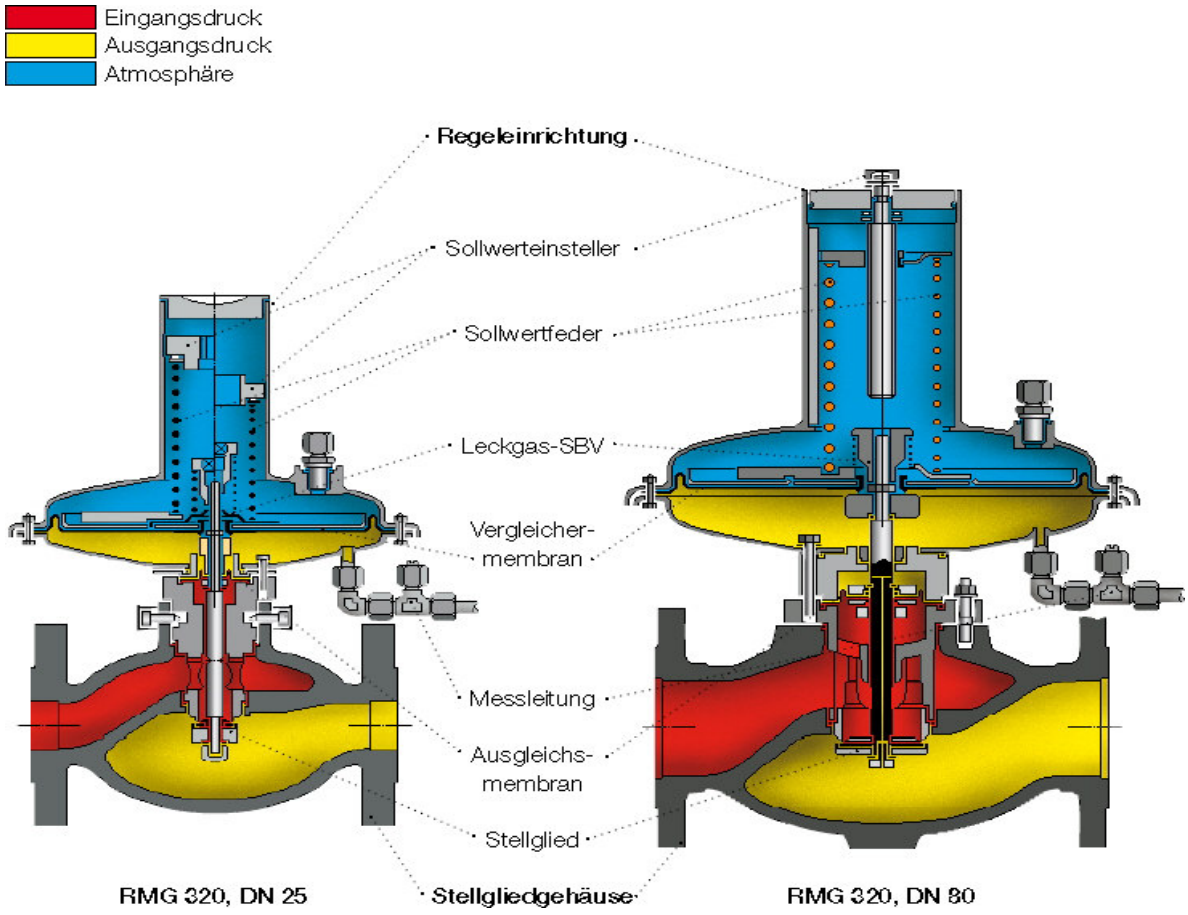
Bei **unstetigen Reglern** springt die Stellgröße y zwischen diskreten Werten. Je nachdem, wie viele verschiedene Zustände die Stellgröße einnehmen kann, unterscheidet man zwischen Zwei-, Drei- oder Mehrpunktreglern. Unstetige Regler können im Vergleich zu stetigen mit sehr einfachen, schaltenden Stelleinrichtungen arbeiten. Enthält die Strecke Energiespeicher, verläuft die Regelgröße trotz der Stellgrößensprünge stetig. Sind die zugehörigen Zeitkonstanten groß genug, erreicht man auch mit unstetigen Reglern und einfachen Stelleinrichtungen gute Regelergebnisse bei kleinen Regeldifferenzen.

12.3 Hilfsenergie

Jeder Regler und jedes Stellglied verrichtet Arbeit und benötigt dafür Energie. Wird diese Energie in pneumatischer, elektrischer oder hydraulischer Form von außen zugeführt, spricht man vom Regler mit Hilfsenergie. Ist am Einbauort kein Energieträger verfügbar, bietet sich der Einsatz von Regler ohne Hilfsenergie an. Diese entnehmen die Energie, die sie zur Verstellung des Stellgliedes benötigen, der Regelstrecke. Diese preiswerten und robusten Regler werden vielfach für Druck-, Differenzdruck-, Durchfluss- und Temperaturregelungen eingesetzt. Sie können verwendet werden, wenn Mess- und Stellort nah beieinander liegen oder kleinere, durch die Energieentnahme bedingte Regelabweichungen akzeptiert werden können.

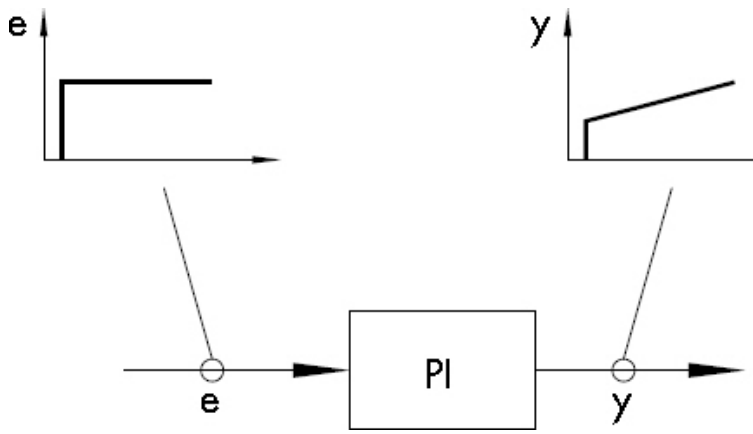
Temperaturregler
Fa. Samson

Gasdruckregler
der Fa. RMG
(Festwertregler)

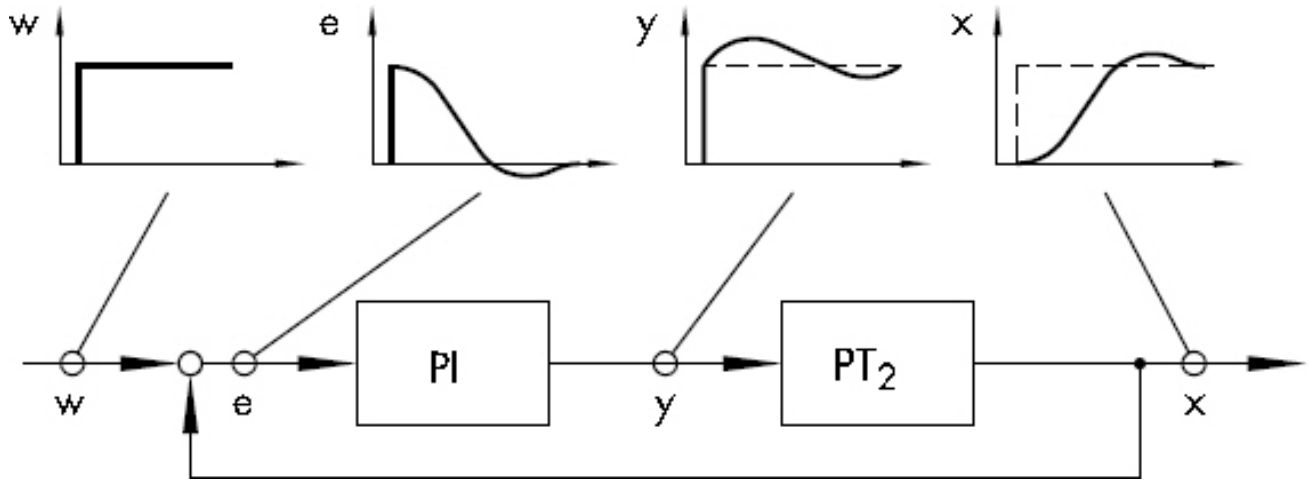


12.4 Bestimmung des dynamischen Verhaltens

Wie zuvor bei den Regelstrecken wird in den folgenden Kapiteln das dynamische Verhalten einzelner Regler anhand von Sprungantworten dargestellt.



Das sich ergebende Regelverhalten lässt sich jedoch anschaulicher am geschlossenen Regelkreis zeigen.



Signalverläufe im geschlossenen Regelkreis

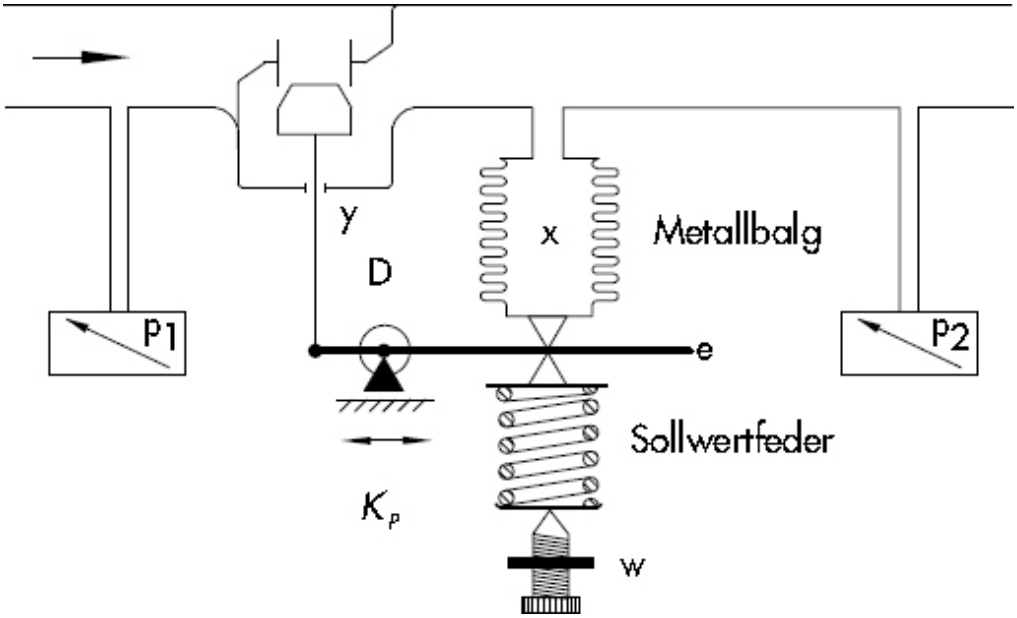
12.5 Stetige Regler

12.5.1 P-Regler (Proportionalregler)

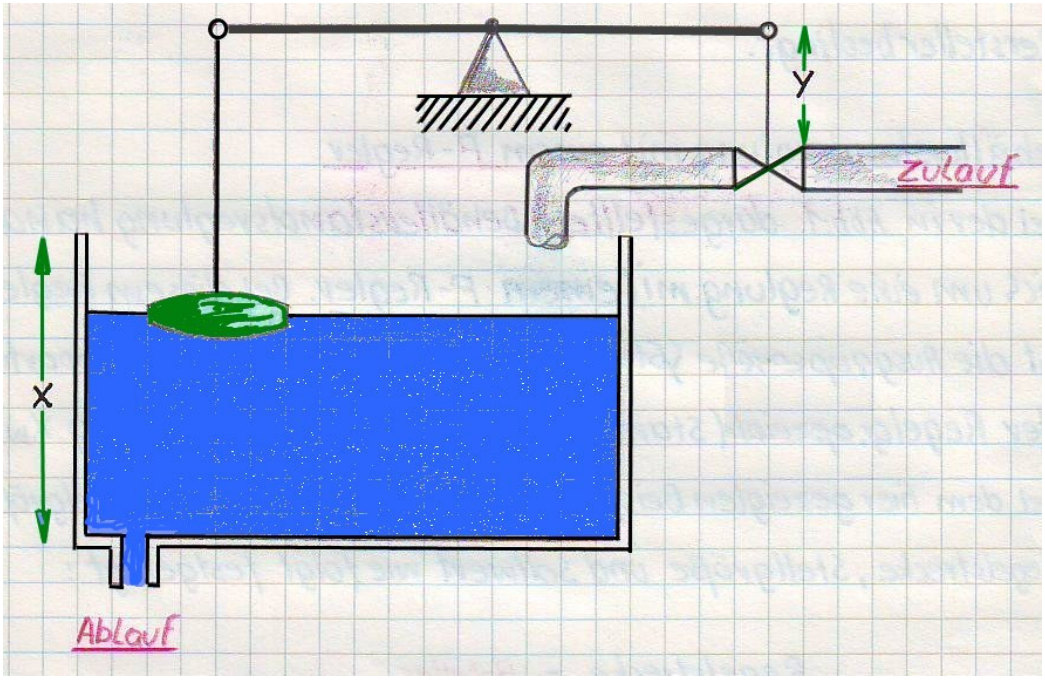
Bei einem P-Regler ist die Stellgröße y immer proportional zu der erfassten Regeldifferenz (y ~ e). Daraus ergibt sich, dass ein P-Regler

- ohne eine Verzögerung auf eine Regelabweichung reagiert und
- nur dann eine Stellgröße erzeugt, wenn eine Abweichung e vorliegt.

Der im folgenden Bild skizzierte proportionale Druckregler vergleicht die Kraft FS der Sollwertfeder mit der Kraft FB, die der Druck p2 in dem feder-elastischen Metallbalg erzeugt. Sind die Kräfte nicht im Gleichgewicht, dreht sich der Hebel um den Drehpunkt D. Dabei ändert sich die Ventilstellung . und dementsprechend der zu regelnde Druck p2 . so lange, bis sich ein neues Kräftegleichgewicht eingestellt hat.

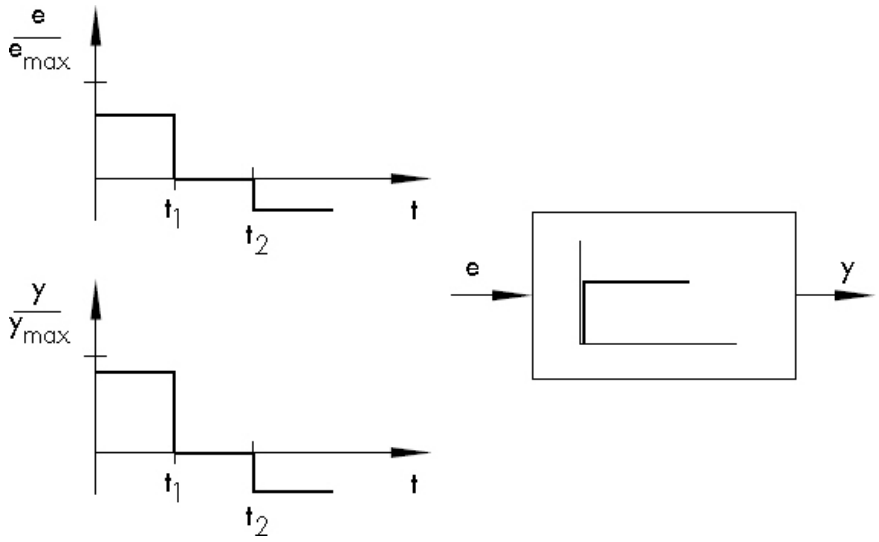


Proportionalbeiwert → Stellgröße ändert sich proportional mit der Regeldifferenz



Ein weiteres Beispiel für einen P-Regler

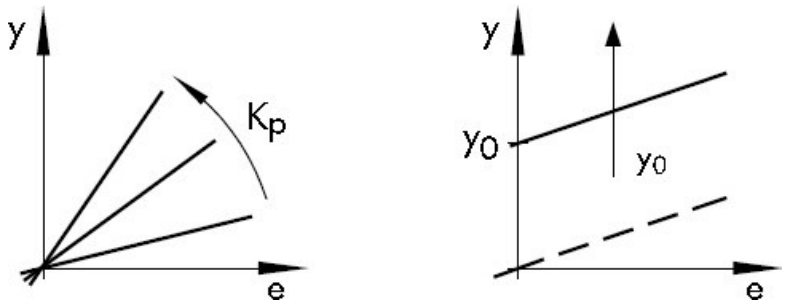
Das Verhalten des P-Reglers bei plötzlichem Auftreten einer Regeldifferenz zeigt das Bild.



Die Amplitude des Stellgrößensprungs y hängt ab von der Höhe der Regeldifferenz e und dem Betrag des Proportionalbeiwertes Kp:

$$y = K_p \cdot e$$

Dieser Ausdruck entspricht einer Gradengleichung, deren Steigung durch Kp bestimmt wird.



Das Bild verdeutlicht, dass ein großes Kp für einen starken Anstieg steht, so dass schon kleine Regelabweichungen zu großen Stellvorgängen führen.

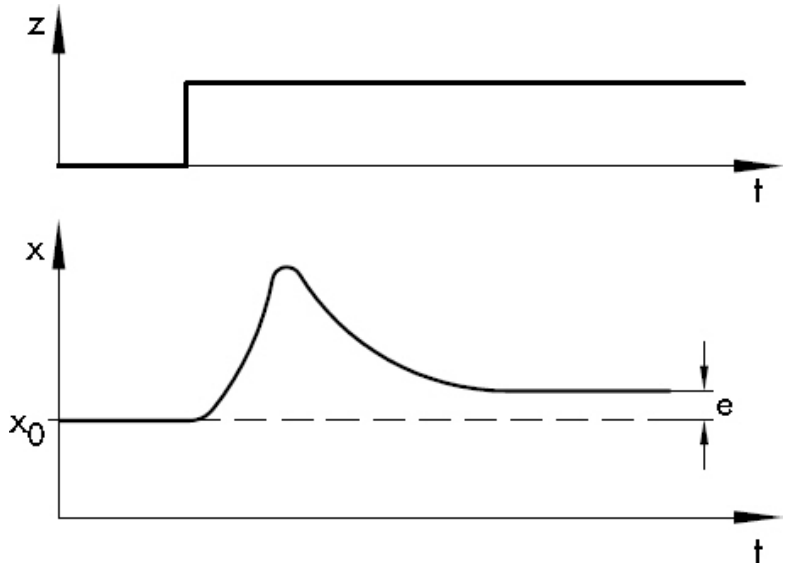
Anmerkung: Statt des Proportionalbeiwertes Kp findet man in der Literatur häufig noch den alten Begriff .Proportionalbereich. bzw. .P-Bereich., der mit den Formelzeichen Xp [%] abgekürzt wird. Die Umrechnung erfolgt mit:

$$X_p = \frac{100[\%]}{K_p} \qquad \text{bzw.} \quad K_p = \frac{100[\%]}{X_p}$$

Der Proportionalbereich eines Reglers ist der Bereich, um den sich die Regelgröße ändern muss, damit der gesamte Stellbereich durchlaufen wird. Der Proportionalbereich wird in % angegeben.

Charakteristikum des P-Reglers: bleibende Regelabweichung

Die Wirkung von Störgrößen kompensiert ein Regler dadurch, dass er eine entsprechend entgegengerichtete Stellgröße erzeugt. Diese Stellgröße kann ein P-Regler aber nur erzeugen, wenn eine Regeldifferenz vorliegt (siehe Definitionsgleichung). Bleibende Störungen lassen sich mit einem P-Regler daher niemals vollständig ausregeln



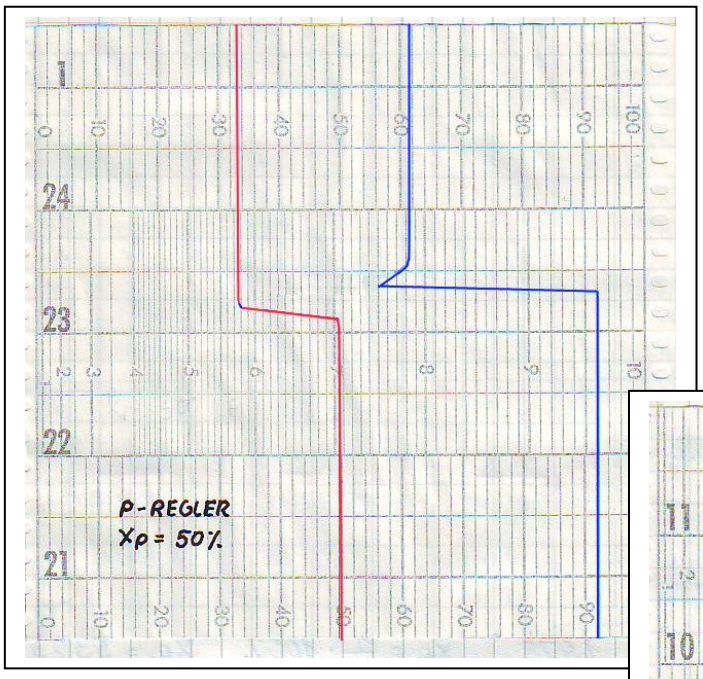
Merke: Ein großes Kp führt durch einen stärkeren Regeleingriff zu kleineren Regelabweichungen. Zu große Kp-Werte erhöhen jedoch die Schwingneigung des Regelkreises.

Im regelungstechnischen .Idealzustand., wenn die Regeldifferenz gleich null ist, erzeugt der reine P-Regler keine Stellamplitude. Diese wird aber gebraucht, will man die Regelgröße einer Strecke mit Ausgleich in einem beliebigen Gleichgewichtszustand halten. Um dieses Ziel dennoch zu erreichen, benötigt der P-Regler die Möglichkeit der Arbeitspunkteinstellung. Hierbei wird ein variabler Offset y_0 zur Stellgröße des P-Reglers addiert:

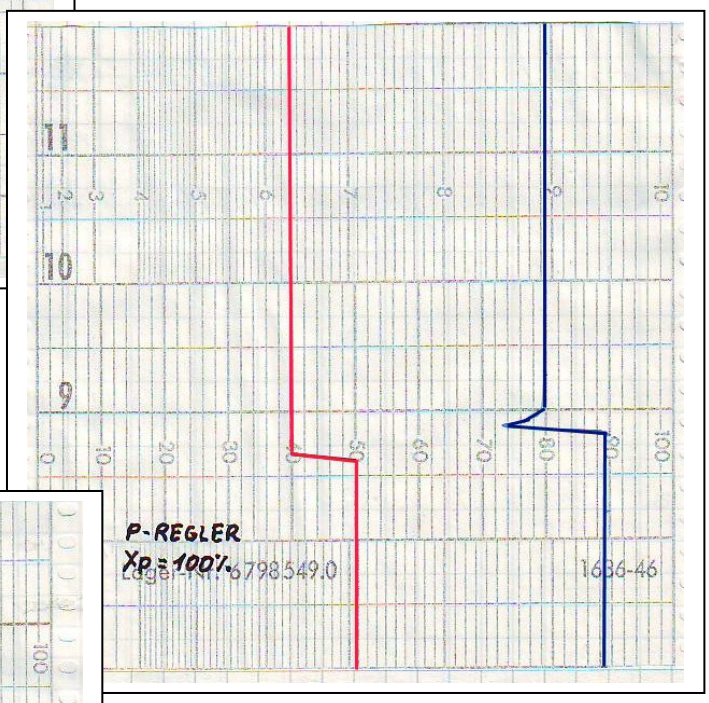
$$y = K_p \cdot e + y_0 \qquad \text{mit } y_0\text{: Stellgröße am AP}$$

So lässt sich eine beliebige Stellamplitude y_0 ausgeben, selbst wenn die Regeldifferenz gleich null ist. Mathematisch entspricht diese Maßnahme einer Parallelverschiebung der Arbeitskennlinie über den gesamten Betriebsbereich

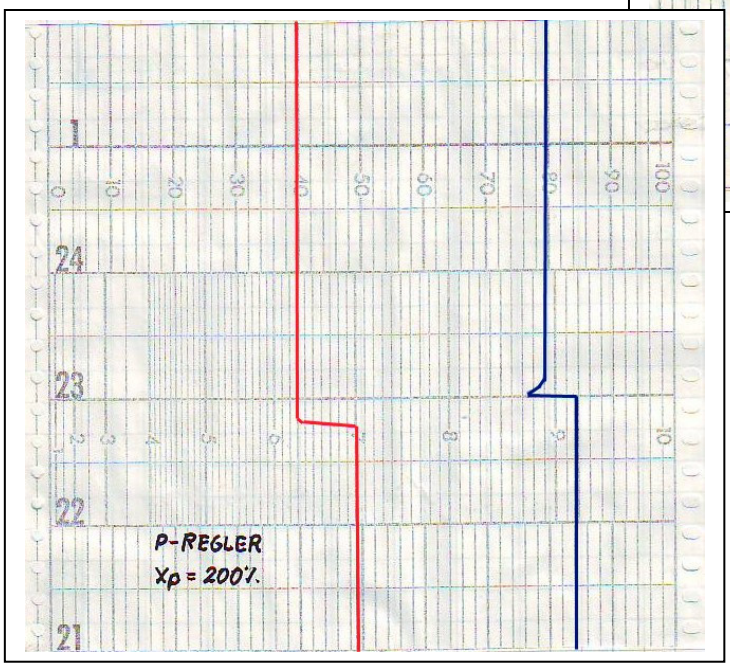
Vergleich der Sprungantworten eines P-Reglers



Xp = 50% ➔ kp = 2



Xp = 100% ➔ kp = 1



Xp = 200% ➔ kp = 0,5

Vorteile des P-Reglers:

- schnelles Eingreifen in den Regelprozess durch eine sofortige Stellwirkung beim Auftreten einer Regeldifferenz und
- sehr stabile Regelung, wenn Kp richtig dimensioniert ist.

Nachteil des P-Reglers:

- bleibende Regeldifferenz beim Auftreten einer Störung, da erst die Regelabweichung eine Veränderung der Stellgröße bewirkt.

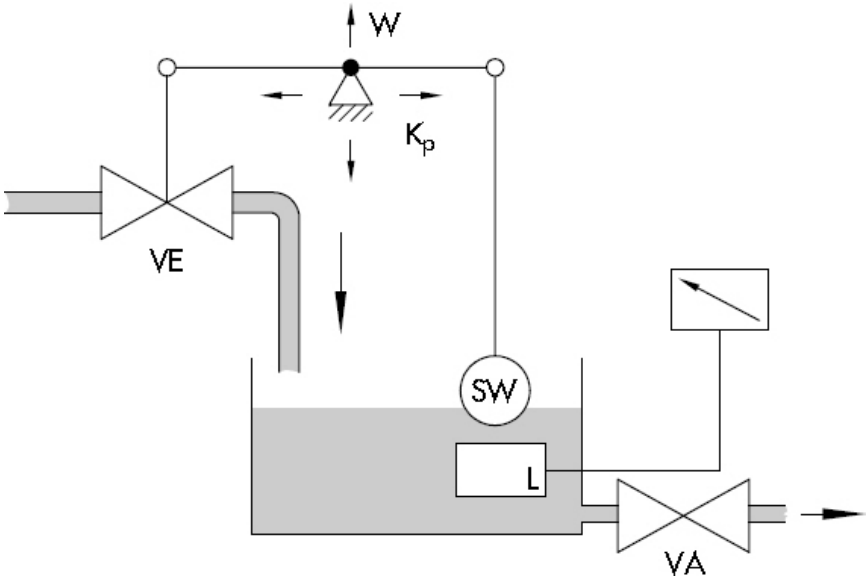
Anwendungsbereiche des P-Reglers:

Der P-Regler eignet sich für unkritische Regelungen, bei denen bleibende Regelabweichungen beim Auftreten von Störungen akzeptiert werden können, z. B Druck-, Durchfluss-, Füllstand- und Temperaturregelungen. Die P-Regelung ist schnell, lässt sich aber durch Zusatzelemente in der Dynamik noch verbessern.

Zweites Beispiel eines P-Reglers:

P-Regelung am Beispiel einer Füllstandsregelung

Der Wasserstand in einem Behälter soll konstant gehalten werden, selbst wenn sich der ausfließende Wasserstrom über das Ablassventil (VA) verändert.



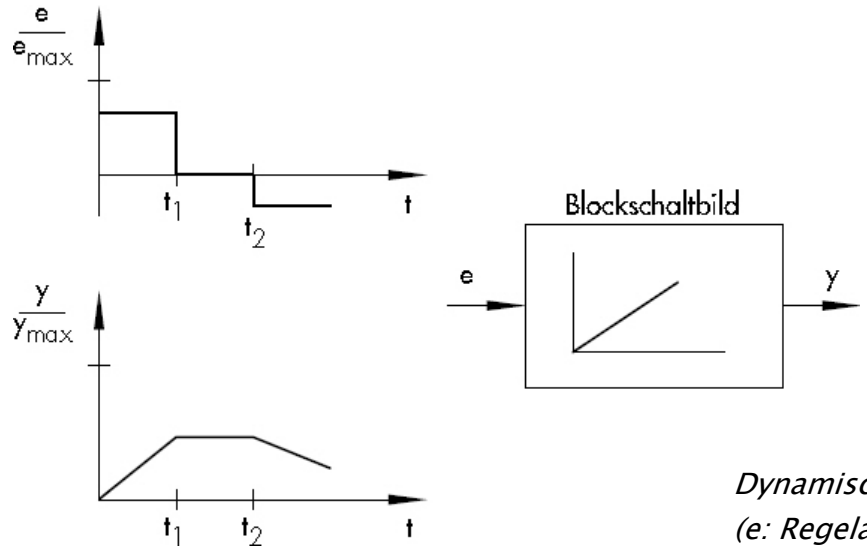
12.5.2 I-Regler (Integralregler)

Integrierende Regler werden eingesetzt, um Regelabweichungen in jedem Betriebspunkt vollständig auszuregeln. Solange die Regelabweichung ungleich null ist, ändert sich der Betrag der Stellgröße. Erst wenn Führungs- und Regelgröße gleich groß sind, spätestens jedoch wenn die Stellgröße ihren systembedingten Grenzwert erreicht (Umax, pmax etc.), ist die Regelung eingeschwungen. Die mathematische Formulierung dieses integralen Verhaltens lautet: Die Stellgröße ist dem Zeitintegral der Regeldifferenz e proportional:

$$y = K_i \int e \, dt \qquad \text{mit: } K_i = \frac{1}{T_n}$$

Wie schnell die Stellgröße ansteigt (oder abfällt), hängt von der Regelabweichung und der Integrier- oder Nachstellzeit Tn ab (Kehrwert vom Integralbeiwert Ki). Bei einer kleinen Nachstellzeit steigt das Stellsignal schneller als bei einer großen Nachstellzeit (kleiner Integralbeiwert).

Merke: Die Integralwirkung des I-Reglers verringert sich bei steigender Nachstellzeit Tn . bzw. steigt mit dem Integralbeiwert Ki.

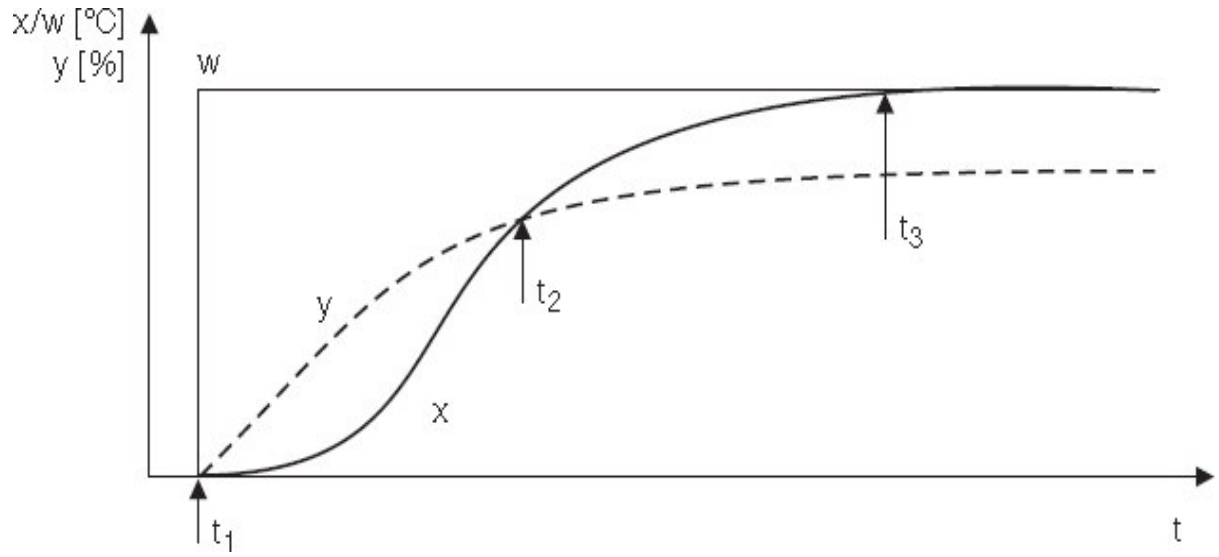


Dynamisches Verhalten des I-Reglers
(e: Regelabweichung, y: Stellgröße)

Der Vergleich des zeitlichen Verhaltens zwischen einem P- und I-Regler zeigt, dass die Stellgröße y beim I-Regler nur langsam ansteigt, während sie beim P-Regler sofort ihren Endwert erreicht.
Der reine I-Regler reagiert deshalb auf Störungen und Führungsgrößensprünge nur allmählich. Wählt man die Nachstellzeit so klein, dass die Stellgröße sehr schnell ansteigt, gerät die Regelung leicht ins Schwingen und wird schließlich instabil.

Beachte: Die Vorgabe eines Arbeitspunktes macht beim I-Regler keinen Sinn, da durch das Integralverhalten in allen Betriebspunkten jede Abweichung vom Sollwert auf Dauer ausgeregelt wird. Das Nachregeln der Stellgröße bis die Regelabweichung zu null wird, entspricht einer „automatisierten“ Arbeitspunkteinstellung:
Die Stellgröße des I-Reglers verharrt im ausgeregelten Zustand (e = 0) auf dem Wert, der bei einem P-Regler über den Arbeitspunkteinsteller vorzugeben wäre.

I-Regler im geschlossenen Regelkreis



Die Grafik zeigt Sollwert, Istwert und Stellgrad für einen I-Regler im geschlossenen Regelkreis:

t1: Ein Sollwert wird neu definiert, der Stellgrad wird durch den I-Regler sofort vergrößert, eine Änderung des Istwertes erfolgt erst nach einiger Zeit.

t2: Der Istwert wird immer größer und somit die Regelabweichung immer geringer. Der Stellgradverlauf wird aus diesem Grund immer flacher.

t3: Der Regler hat ausgeregelt, die Regelabweichung ist 0. Der I-Regler behält den Stellgrad, welcher von ihm aufgebaut wurde.

Der I-Regler besitzt allgemein den Vorteil, dass er die Regelabweichung beseitigt. Nachteilig wirkt sich seine Trägheit aus.

Vorteile des I-Reglers:

- keine bleibende Regelabweichung im Beharrungszustand.

Nachteile des I-Reglers:

- bei großem Tn ist die Regelung sehr träge und
- bei kleinem Tn neigt die Regelung zum Schwingen, wird ggf. instabil.

12.5.3 D-Regler (Differentialregler)

Der D-Regler bildet seine Stellgröße aus der Änderungsgeschwindigkeit der Regeldifferenz und nicht . wie der P-Regler . aus deren Amplitude. Er reagiert deshalb noch wesentlich schneller als der P-Regler: Selbst bei kleiner Regeldifferenz erzeugt er . quasi vorausschauend . große Stellamplituden, sobald eine Amplitudenänderung auftritt. Eine bleibende Regelabweichung erkennt der D-Regler hingegen nicht, denn, ganz unabhängig wie groß sie ist, ihre Änderungsgeschwindigkeit ist gleich null. In der Praxis wird der D-Regler deshalb selten allein verwendet. Vielmehr kommt er zusammen mit anderen Regelelementen, meistens in Verbindung mit einem Proportionalanteil, zum Einsatz.

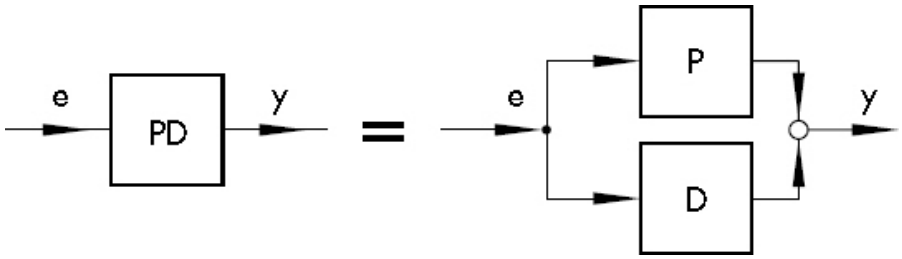
12.5.4 PD-Regler

Beim PD-Regler, einem Regler mit Proportional- und Differentialanteil, ergibt sich die Stellgröße aus der Addition der Einzelelemente von P und D-Anteil:

$$y = K_p \cdot e + K_D \frac{de}{dt} + y_0 \qquad \text{mit } K_D = K_p \cdot T_v$$

Der Faktor Tv wird als Vorhaltzeit und KD als Differenzierbeiwert bezeichnet. Beide Größen sind ein Maß für die Wirkung des D-Anteils: Große Werte kennzeichnen einen starken Regeleingriff. Der Summand y0 steht . wie beim P-Regler . für die Arbeitspunkteinstellung, also den voreingestellten Wert der Stellgröße, den der Regler im ausgeregelten Zustand bei e = 0 ausgibt.

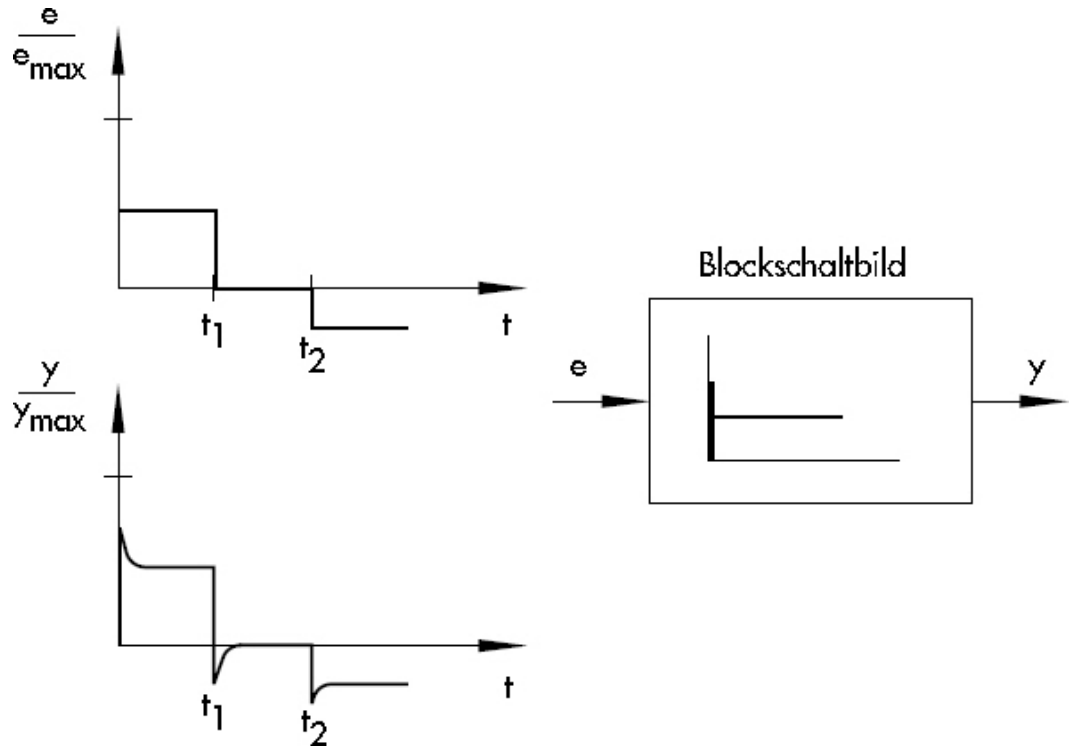
Unter Vorhaltezeit Tv versteht man die Zeit, um die ein PD-Regler eine bestimmte Stellgröße y früher („vor“) erreicht hat als der gleiche Regler ohne D-Anteil.



Elemente eines PD-Reglers

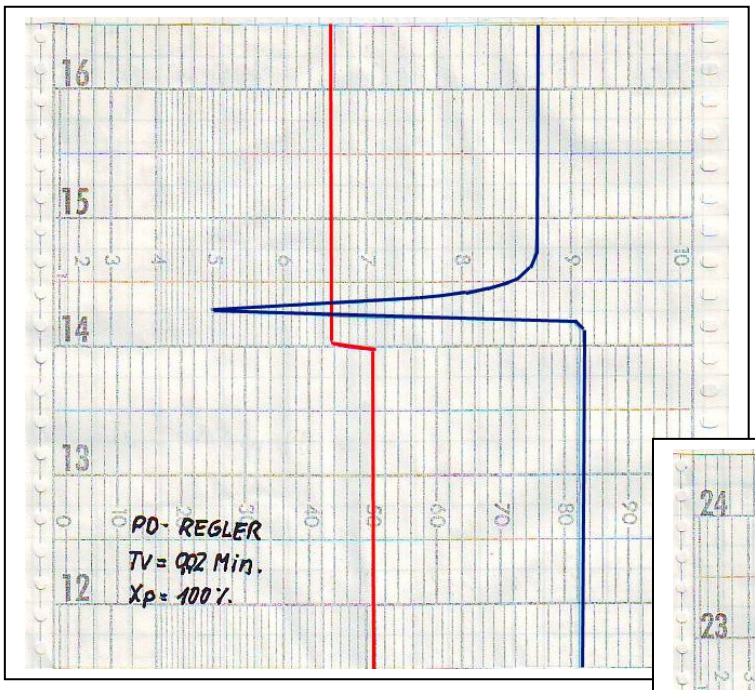
Der Stellgrößenverlauf der Sprungantwort lässt die Wirkung des D-Anteils erkennen. Jede Änderung der Regeldifferenz bewirkt einen kurzzeitigen Anstieg der Stellgröße. Aufgrund von parasitären Verzögerungen hat dieser Impuls eine nur endliche Änderungsgeschwindigkeit. Ein unendlich kurzer Impuls . wie ihn die obige Gleichung fordert . wird in der Praxis nicht entstehen.

Merke: Die Wirkung des D-Anteils steigt proportional mit der Vorhaltzeit Tv bzw. zum Differenzierbeiwert KD.



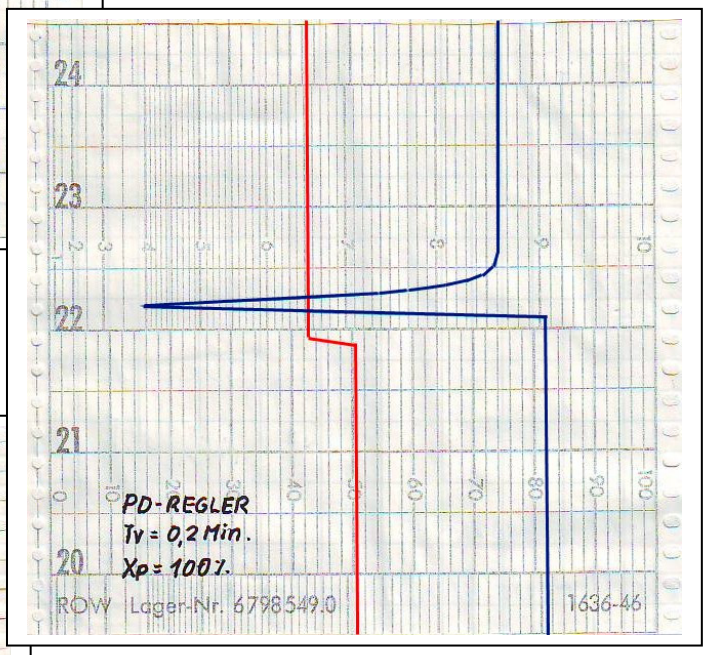
Dynamisches Verhalten des PD-Reglers (e: Regelabweichung, y: Stellgröße)

Vergleich der Sprungantworten eines PD-Reglers



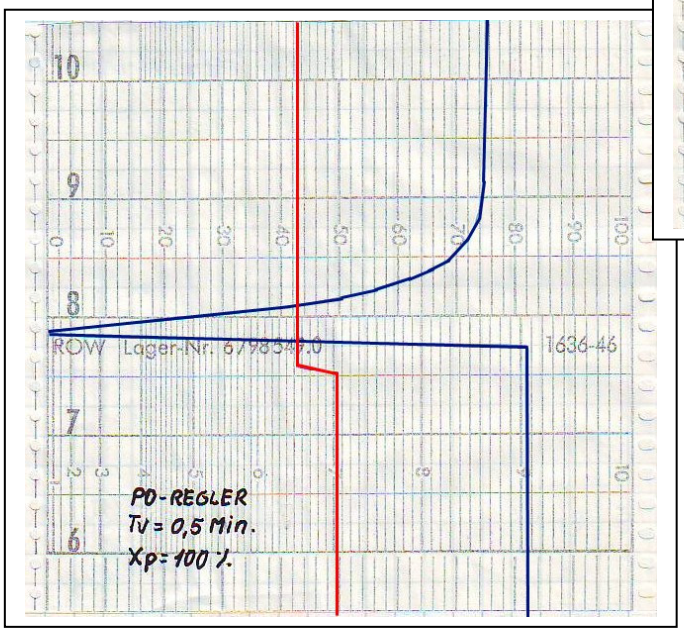
Xp = 100% ➔ kp = 1

Tv = 0,02 Minuten



Xp = 100% ➔ kp = 1

Tv = 0,2 Minuten



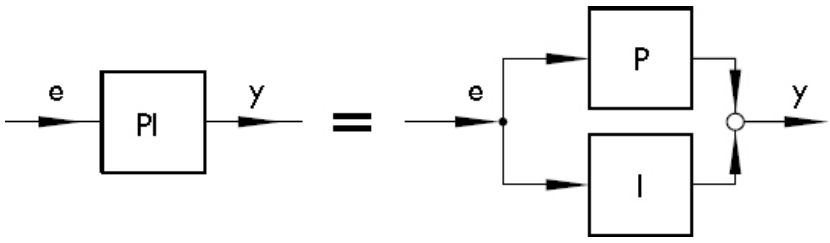
Xp = 100% ➔ kp = 1

Tv = 0,5 Minuten

Der PD-Regler wird immer dann eingesetzt, wenn ein P-Regler aufgrund seiner schlechteren Regeldynamik nicht ausreicht. Dies gilt zumeist bei Regelstrecken mit größeren Verzögerungen, bei denen ein stärkeres Überschwingen der Regelgröße . verursacht durch ein großes Kp . vermieden werden muss.

12.5.5 PI-Regler

Der PI-Regler ist ein in der Praxis sehr häufig verwendeter Reglertyp. Er ergibt sich aus einer Parallelschaltung von einem P- und einem I-Regler. Bei richtiger Auslegung vereinigt er die Vorteile der beiden Reglertypen (stabil und schnell, keine bleibende Regelabweichung), so dass gleichzeitig deren Nachteile kompensiert werden.



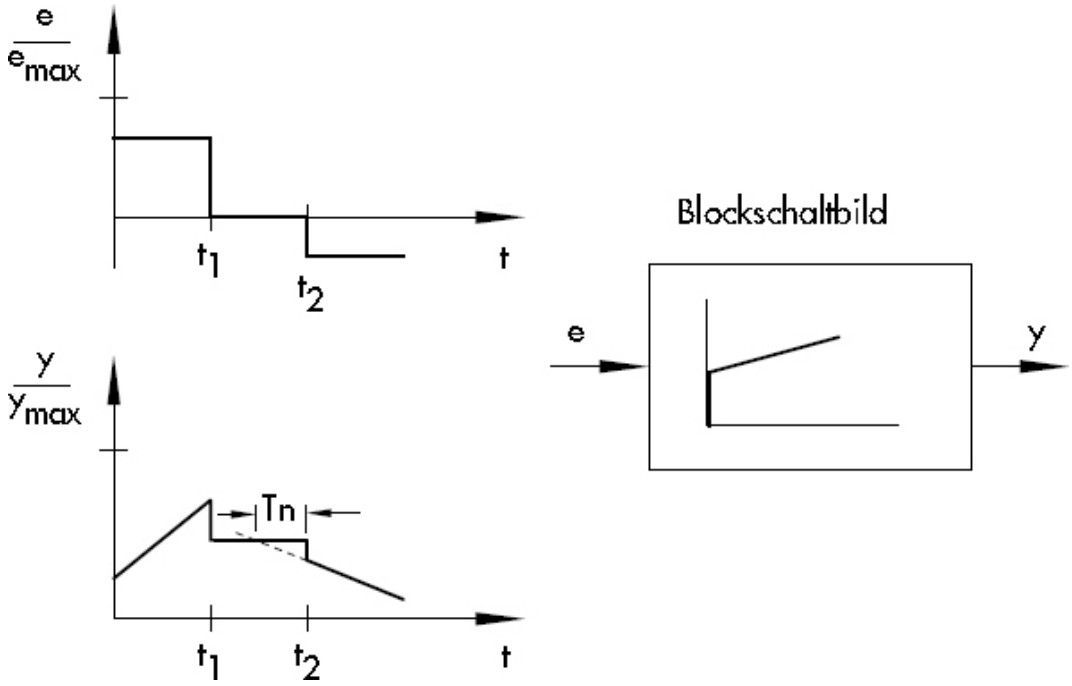
Elemente eines PI-Reglers

Die Stellgröße des PI-Reglers berechnet sich aus:

$$y = K_p \cdot e + K_i \int e\,dt \qquad \text{mit } K_i = \frac{K_p}{T_n}$$

Das zeitliche Verhalten ist gekennzeichnet durch den Proportionalbeiwert Kp und die Nachstellzeit Tn. Aufgrund des Proportionalanteils reagiert die Stellgröße sofort auf jede Regeldifferenz e, während der integrale Anteil erst mit der Zeit zur Wirkung kommt.

Dabei steht Tn für die Zeit, die vergeht, bis der I-Anteil dieselbe Stellamplitude erzeugt, wie sie infolge des P-Anteils (Kp) sofort entsteht. Wie schon beim I-Regler muss die Nachstellzeit Tn verkleinert werden, will man den Integralanteil erhöhen.

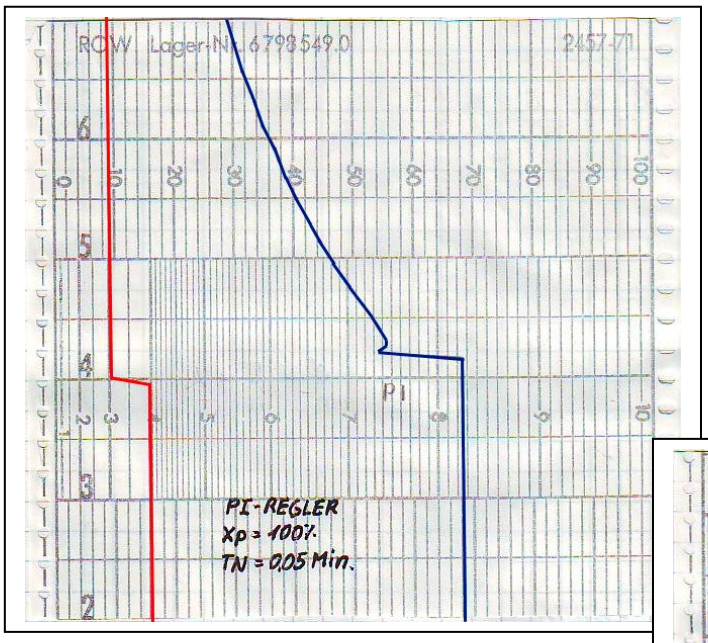


In Abhängigkeit von der Kp- und Tn-Dimensionierung kann das Überschwingen der Regelgröße auf Kosten der Regeldynamik verringert werden.

Anwendungsbereiche des PI-Reglers: schnelle Regelkreise, die keine bleibende Regelabweichung zulassen. Beispiele: Druck-, Temperatur-, Verhältnisregelungen

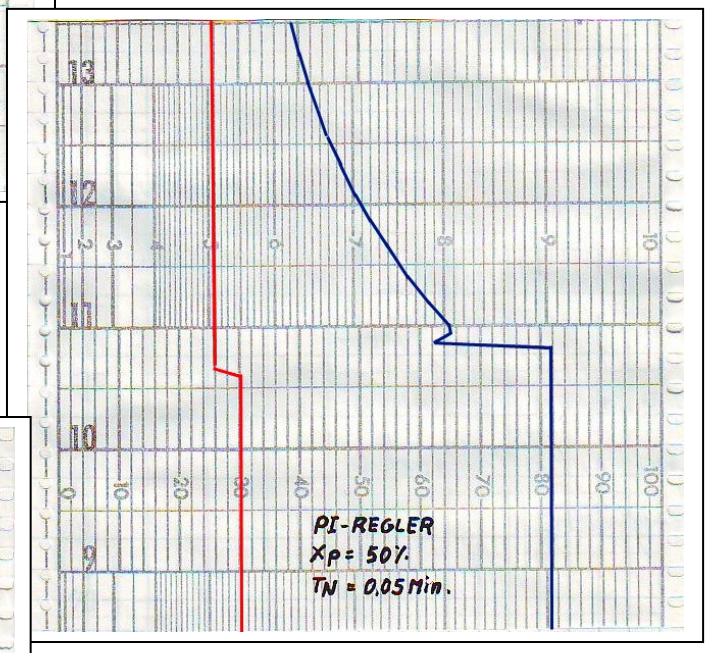
Die Nachstellzeit T_N ist die Zeit die von einer I-Regeleinrichtung vorgelegt werden müsste, um die gleiche Stellgrößenänderung wie eine PI-Regeleinrichtung zu erzielen.

Vergleich der Sprungantworten eines PI-Reglers



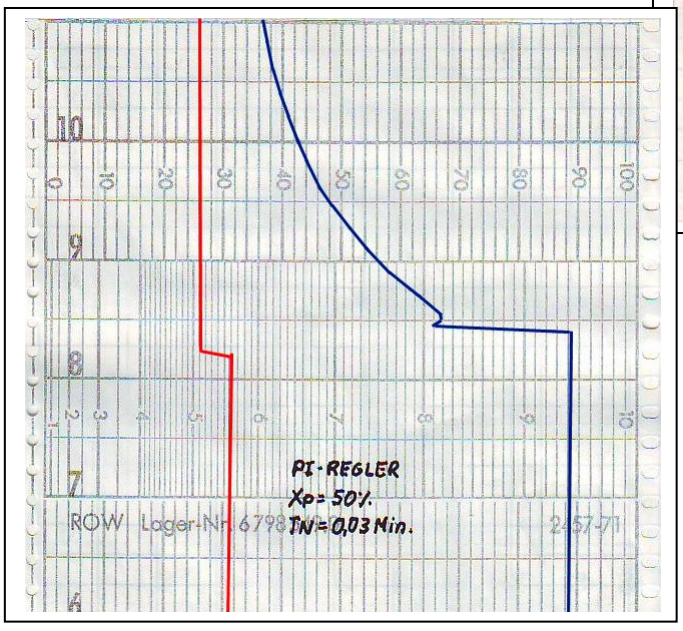
Xp = 100% ➔ kp = 1

Tn = 0,05 Minuten



Xp = 50% ➔ kp = 2

Tn = 0,05 Minuten

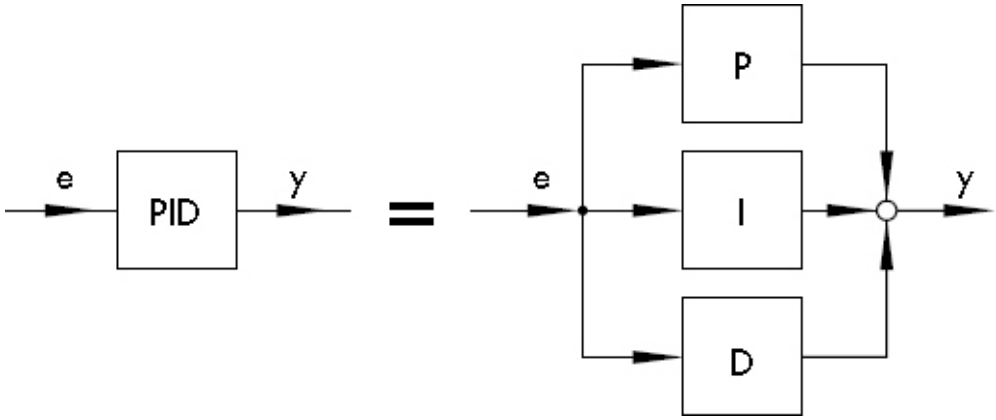


Xp = 50% ➔ kp = 2

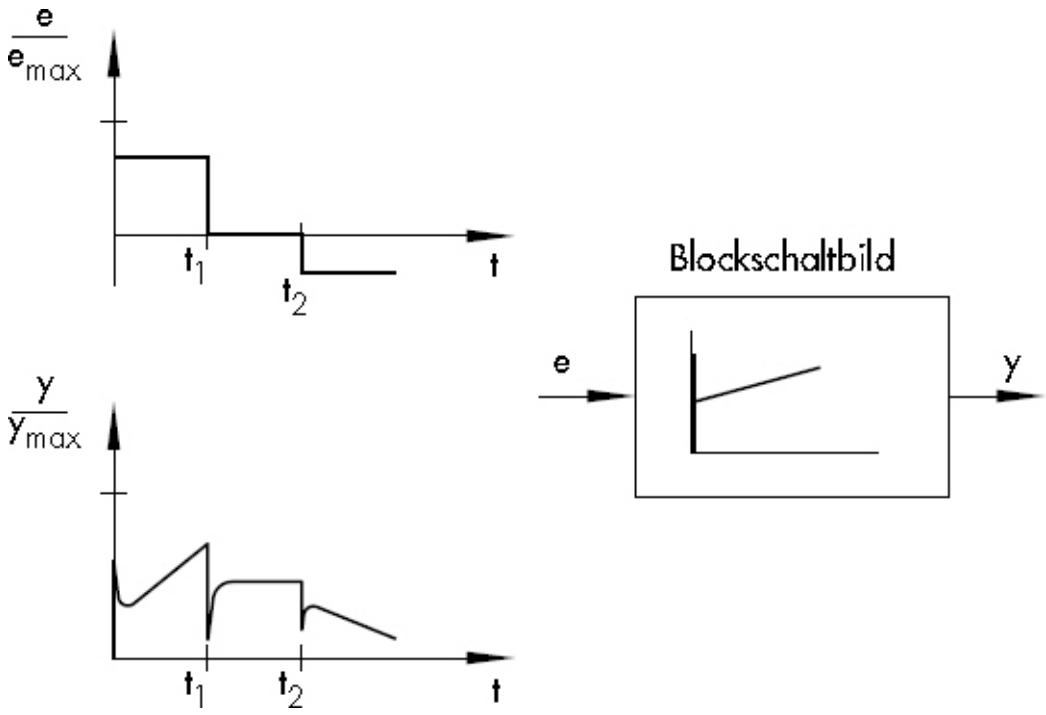
Tn = 0,03 Minuten

12.5.6 PID-Regler

Erweitert man einen PI-Regler um einen D-Anteil, erhält man den universellen PID-Regler. Wie beim PD-Regler bewirkt die Ergänzung des D-Anteils, dass . bei richtiger Auslegung . die Regelgröße früher ihren Sollwert erreicht und schneller einschwingt.



Elemente des PID-Reglers



Dynamisches Verhalten des PID-Reglers (e: Regelabweichung, y: Stellgröße)

Zusätzlich zu der vom PI-Anteil erzeugten Stellgröße erhöht das D-Glied bei jeder Änderung der Regelabweichung den Stelleingriff. Damit ergibt sich die Stellgröße y aus der Addition der mit den zugehörigen Beiwerten gewichteten P-, I- und D-Anteile:

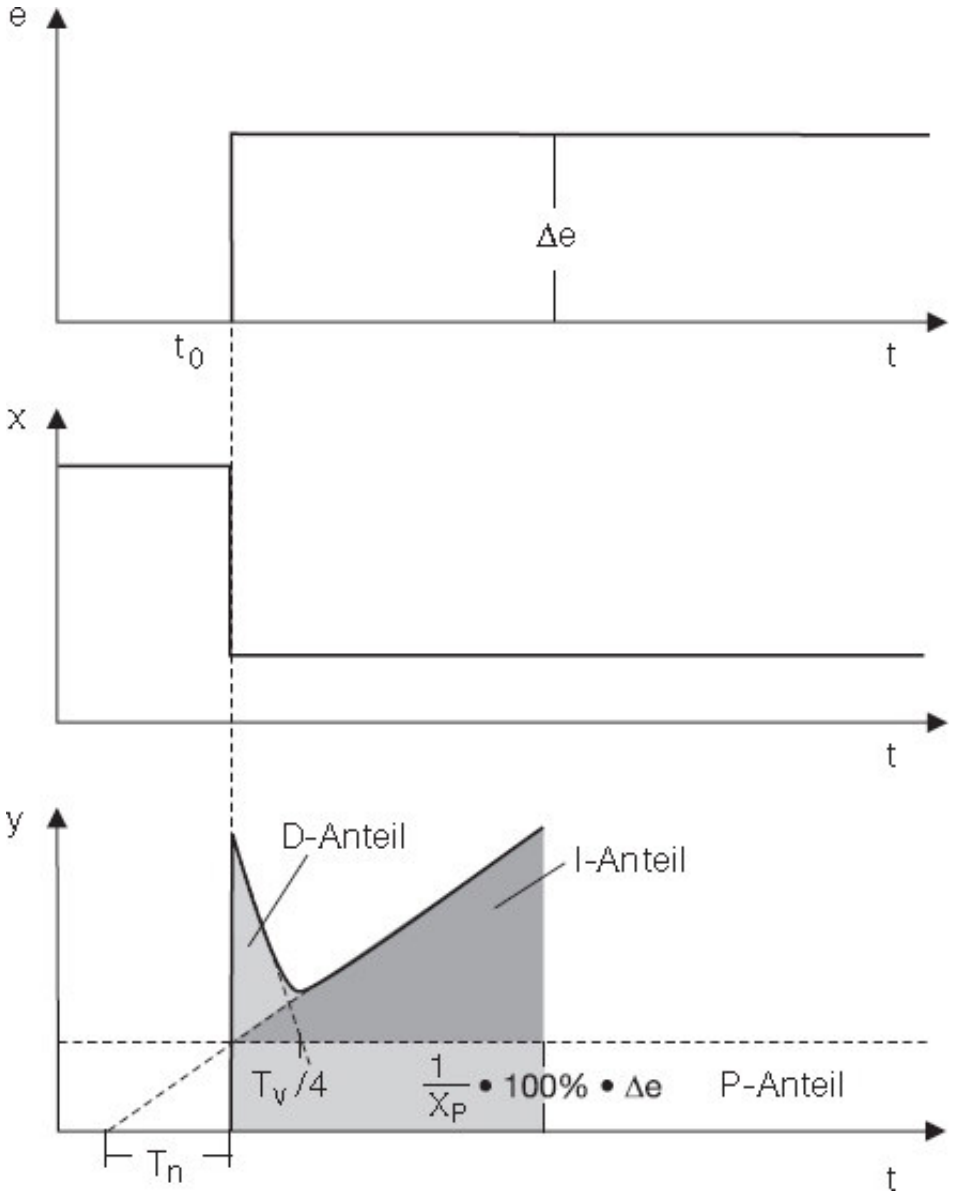
$$y = K_p \cdot e + K_i \int e\,dt + K_D \frac{de}{dt} \quad mit\ K_i = \frac{K_p}{T_n};\ K_D = K_p \cdot T_V$$

Das Regelverhalten des PID-Reglers ist günstig für Strecken mit großen Energiespeichern (Strecken höherer Ordnung), die möglichst schnell und ohne bleibende Regelabweichung geregelt werden müssen.
So zeigt der PID-Regler bei der Beispiel-Regelstrecke, das beste Regelverhalten verglichen mit den zuvor besprochenen Reglern. Die Regelgröße erreicht sehr schnell ihren Sollwert, schwingt nach kurzer Zeit ein und nur wenig über. Die drei Reglerparameter Kp, Tn und Tv bieten bei der Festlegung des Regelverhaltens . bezüglich Amplitudenverlauf und Regeldynamik eine fast unüberschaubare Variantenvielfalt.
Umso mehr muss auf eine sorgfältige, gut auf die Strecke abgestimmte Auslegung geachtet werden.

Die Regelparameter haben unterschiedliche Auswirkungen auf die einzelnen Anteile:
Größeres XP entspricht kleinerem P-Anteil
→ kleinere Verstärkung: dadurch stabileres, jedoch auch trägeres Verhalten
Größeres Tn entspricht kleinerem I-Anteil
→ integriert langsamer auf: dadurch stabileres, jedoch auch trägeres Verhalten
Größeres Tv entspricht größerem D-Anteil
→ wirkt der Änderung des Istwertes stärker entgegen, dadurch stabileres Verhalten, Tv nicht zu groß wählen

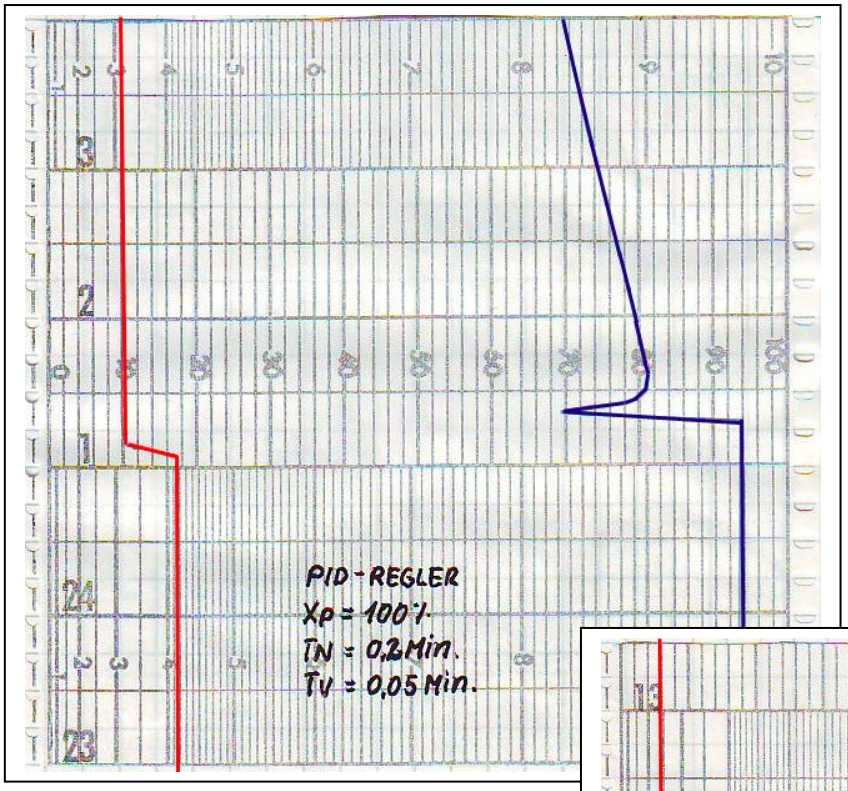
$$\Delta y = \frac{1}{X_P} \bullet 100\% \bullet \left(e + \frac{1}{T_n} \bullet \int e \bullet dt - T_v \bullet \frac{dx}{dt} \right)$$

Sprungantwort des PID-Reglers

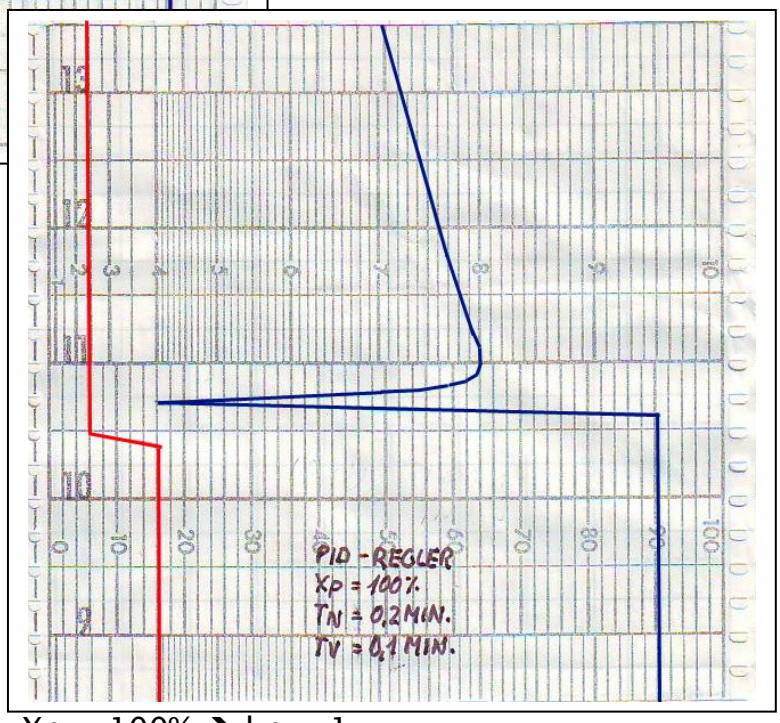


Anwendungsbereiche des PID-Reglers: Regelkreise mit Strecken zweiter und höherer Ordnung, die schnell ausgeregelt werden müssen und keine bleibende Regelabweichung zulassen.

Vergleich der Sprungantworten eines PID-Reglers



Xp = 100% ➔ kp = 1
Tn = 0,2 Minuten
Tv = 0,05 Minuten



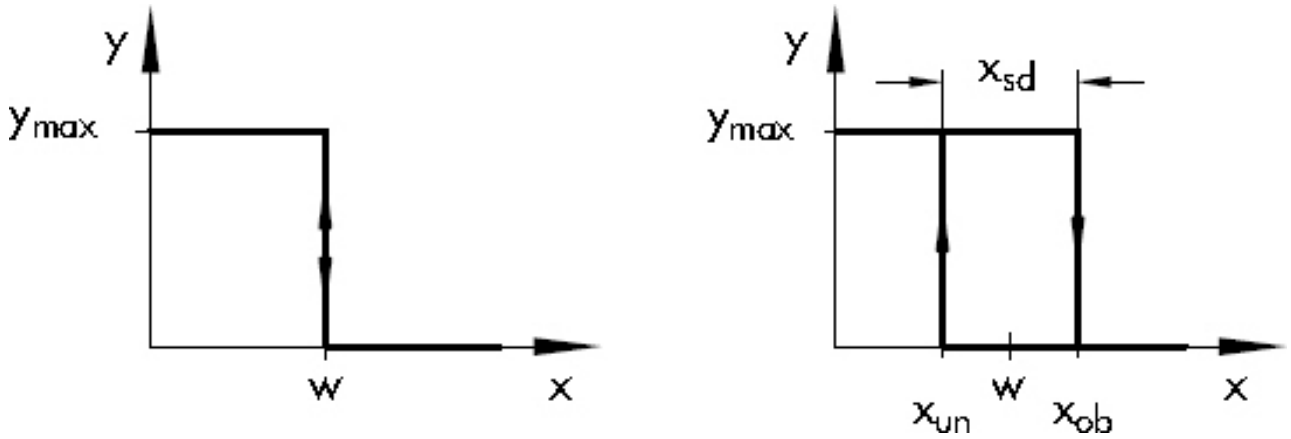
Xp = 100% ➔ kp = 1
Tn = 0,2 Minuten
Tv = 0,1 Minuten

12.6 Unstetige Regler

Unstetige Regler werden oft auch als schaltende Regler bezeichnet. Die Stellgröße unstetiger Regler nimmt nur wenige diskrete Werte an, so dass die Energie- oder Massenzufuhr zur Strecke nur schrittweise verändert werden kann.

12.6.1 Zweipunktregler

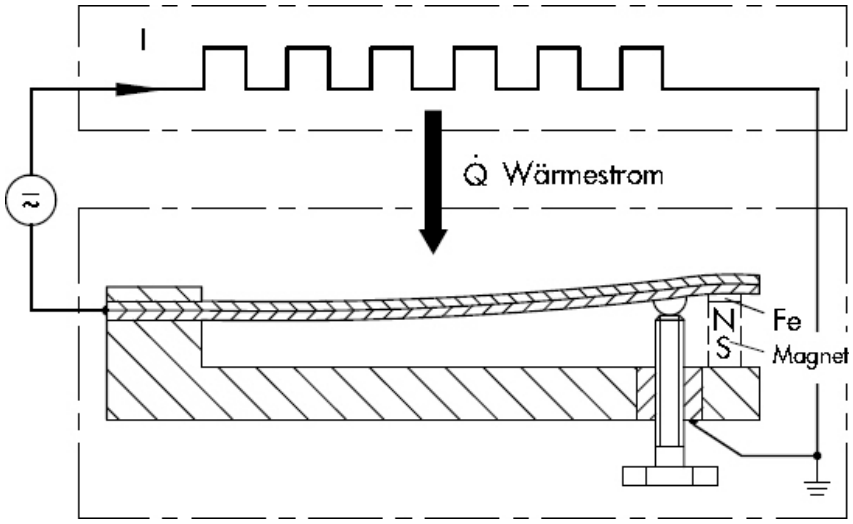
Die einfachste Form des unstetigen Reglers ist der Zweipunktregler, der . wie sein Name ausdrückt . nur zwei verschiedene Ausgangszustände kennt: beispielsweise 0 und ymax.



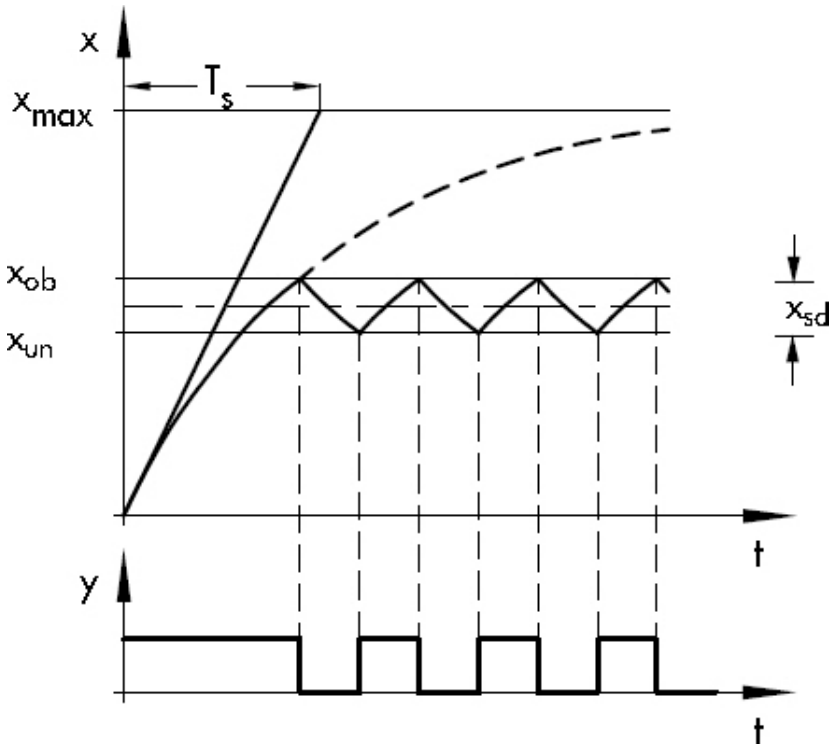
Schaltkennlinie des Zweipunktreglers (ohne und mit Schaltdifferenz xsd)

Eine typische Anwendung ist die Temperaturreglung mit Hilfe eines Bimetallstreifens (z. B. Bügeleisen). Das Bimetall dient sowohl als Mess- als auch als Schaltelement. Es besteht aus zwei aneinander geschweißten Metallstreifen, die sich bei Wärme unterschiedlich stark ausdehnen.
Bei geschlossenem Kontakt . Bimetall und Sollwerteinsteller berühren einander . fließt Strom, der z. B. eine Heizplatte speist. Ist der Bimetallsteifen in der Nähe der Heizplatte montiert, erwärmt er sich mit. Da sich hierbei das untere Material stärker

ausdehnt als das obere, biegt sich der Streifen mit zunehmender Erwärmung nach oben und unterbricht schließlich die elektrische Energiezufuhr zur Heizwicklung.



Sinkt die Temperatur des Bimetalls, schließt sich der elektrische Kontakt und es kommt zu einer erneuten Aufheizphase. Um die Lebensdauer der Kontakte zu erhöhen, kann, wie im Bild skizziert, mit Hilfe eines Eisenplättchens und eines Permanentmagneten eine Schaltdifferenz xsd erzeugt werden.

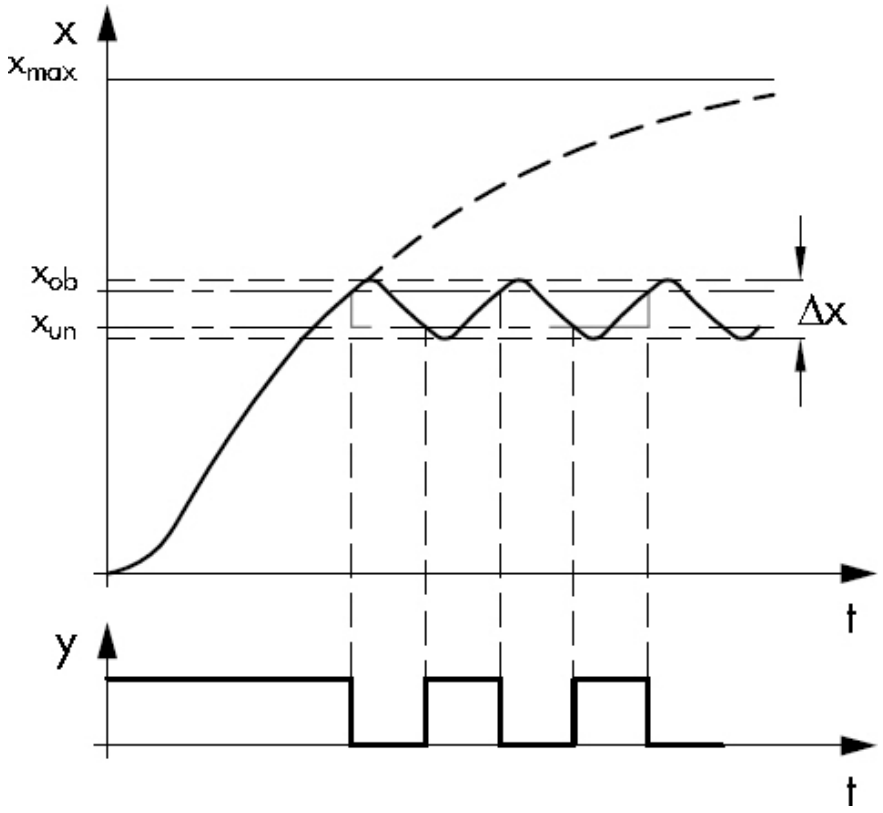


Regelzyklus beim Zweipunktregler mit Schalthysterese und Regelstrecke 1. Ordnung

Die Bedingungen für das Ein- und Ausschalten sind damit nicht mehr identisch (x_{un} und x_{ob} entsprechend der oben abgebildeten Darstellung), so dass sich die Schalthäufigkeit verringert und eine Funkenbildung weitgehend vermieden wird.

Die typischen zeitlichen Verläufe von Stellgröße y und Regelgröße x bei einer Zweipunktregelung zeigt. Die gestrichelte Kennlinie lässt erkennen, dass bei hohen Sollwerten eine Temperaturerhöhung länger dauert als der Abkühlvorgang. Im diesem Beispiel reicht die verfügbare Energie aus, um auf den doppelten Wert des hier gewählten Arbeitspunktes zu kommen.

Die Leistungsreserve beträgt demnach 100 %. Dies bewirkt, dass die Ein- und Ausschaltzeiten identisch sind. Der im Bild dargestellte Temperaturverlauf kennzeichnet eine Regelstrecke erster Ordnung.



Regelzyklus beim Zweipunktregler mit Schalthysterese und Regelstrecke höherer Ordnung

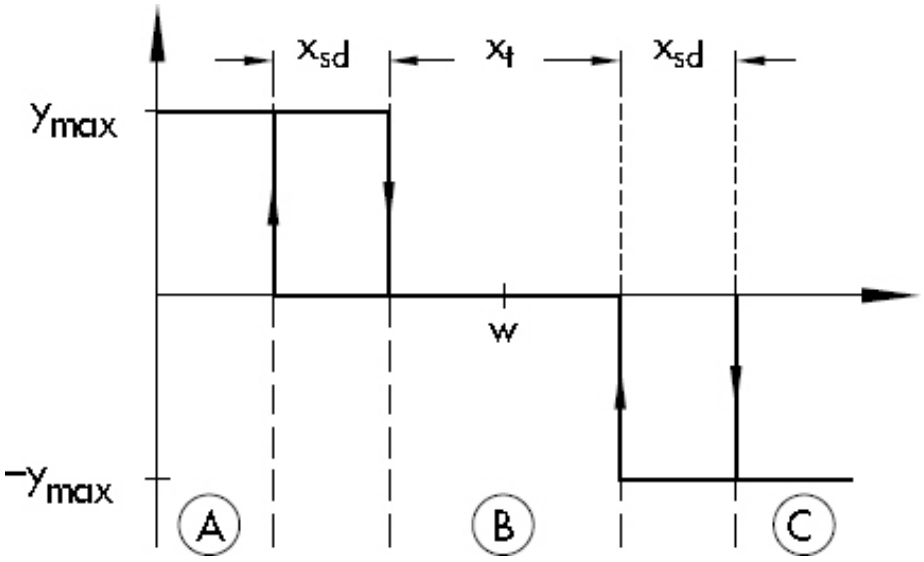
Bei Regelstrecken höherer Ordnung würde aufgrund der Verzugszeit die Regelgröße der Stellgröße nur verzögert folgen. Dadurch verlässt die Regelgröße das aus den Schaltpunkten xob und xun vorgegebene Toleranzband. Dieser Effekt muss bei der Regleranpassung durch nachfolgend beschriebene Maßnahmen berücksichtigt werden.

12.6.2 Zweipunktregler mit Rückführung

Ist die in vorherigen Bild gezeigte Schwankung der Regelgröße nicht tolerierbar, so kann die Schaltdifferenz verringert werden. Dadurch steigt jedoch die Schalthäufigkeit und damit die Belastung der Kontakte. Zur Regelung von Strecken mit hoher Ordnung eignet sich daher ein Zweipunktregler mit Rückführung oftmals besser.
Bei einem Zweipunkt-Temperaturregler mit Rückführung erwärmt im eingeschalteten Zustand eine zusätzliche interne Heizwicklung den Bimetallstreifen und bewirkt so eine vorzeitige Unterbrechung der Energiezufuhr. Bei richtiger Anpassung führt diese Maßnahme . bei akzeptabler Schaltfrequenz . zu einem wesentlich ruhigeren Verlauf der Regelgröße.

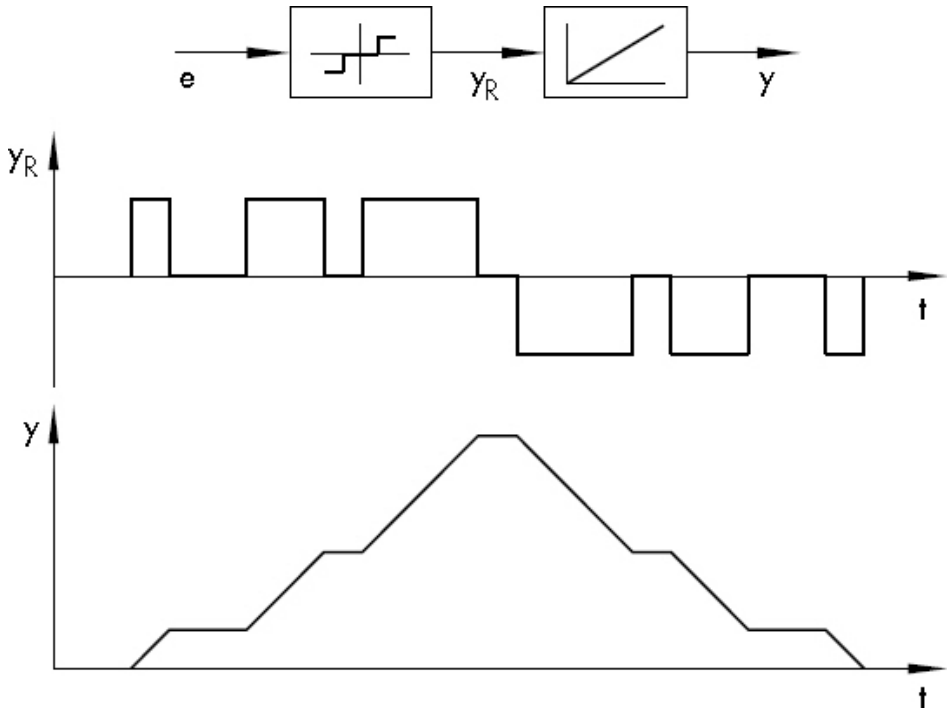
12.6.3 Dreipunktregler und Dreipunktschrittregler

Ein Dreipunktregler kann . wie schon der Name sagt . drei verschiedene Schaltzustände einnehmen. Bei einer Temperaturregelung lassen sich damit nicht nur . wie bei einem Zweipunktregler . die Zustände .Aus. und .Heizen. verwirklichen, sondern es besteht zusätzlich die Möglichkeit auf .Kühlen. zuschalten. Der Dreipunktregler übernimmt demnach die Funktion von zwei miteinander gekoppelten Zweipunktreglern, die bei unterschiedlichen Zuständen schalten. Dies zeigt auch die Schaltkennlinie des Dreipunktreglers mit Schalthysterese



Kennlinie eines Dreipunktreglers mit den Schaltdifferenzen x_{sd} und der Totzone x_t

Im Bereich der Stelltechnik findet man Dreipunktregler häufig in Verbindung mit elektrischen Stellantrieben. Mit den drei Zuständen .Linkslauf. (z. B. Öffnen), .Rechtslauf. (Schließen) und .Aus. kann ein Stellmotor ein Ventil in jede beliebige Hubstellung fahren.
Mit Hilfe geeigneter Ansteuerverfahren erhält man mit einem schaltenden Regler und integrierendem Steller (z. B. Stellmotoren) ein quasistetiges P-, PI- oder PID-Regelverhalten. Solche Dreipunktschrittregler kommen dort zum Einsatz, wo keine pneumatische oder hydraulische, sondern elektrische Hilfsenergie zur Verfügung steht.



Stellsignal eines quasistetigen Reglers (Dreipunktregler mit Stellmotor)

Bei einer zum Streckenverhalten passenden Auslegung unterscheidet sich das Regelverhalten eines Dreipunktschrittreglers kaum vom Verhalten der stetigen Regler. Er reagiert regelungstechnisch mitunter sogar günstiger, beispielsweise dann, wenn bei einer Regelgröße das durch Störungen verursachte Rauschen innerhalb der toten Zone x_t liegt.