

## 3. P-Regler

### 3.1. Einleitung

#### 3.1.1. Allgemeines

Der Regler muss im Regelkreis dafür sorgen, dass der Istwert der Regelgröße  $X$  möglichst wenig vom Sollwert  $W$  abweicht.

Das Verhalten der Regelstrecke ist normalerweise vorgegeben durch die Konstruktion der Anlage, es lässt sich ohne schwerwiegende Umänderungen nicht beeinflussen. Der Regler muss passend zur Anlage gewählt und eingestellt werden, so dass sich eine optimale **Regelgüte** ergibt, das heißt, dass die Regelgröße:

- bei Störungen möglichst wenig vom Sollwert abweicht (gutes **Störverhalten**)
- bei Sollwertänderung (Änderung der Führungsgröße  $W$ ) möglichst schnell und exakt den neuen Sollwert erreicht. (gutes **Führungsverhalten**)

#### 3.1.2. Einteilung der Regler

##### a) Stetige Regler:

Die Regelgröße kann innerhalb des Stellbereichs  $Y_h$  jeden Wert annehmen. (P-, I-, PI, PD-, PID- Regler) Stetige Regler können rein analog mit OPV's oder digital mit Mikrocontrollern aufgebaut sein.

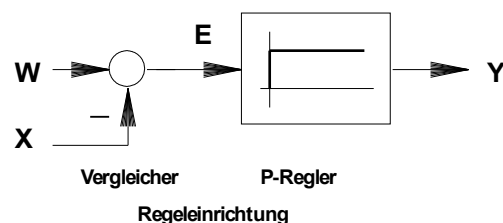
##### b) Unstetige Regler:

die Stellgröße kann nur bestimmte diskrete Werte annehmen (Zweipunktregler, Dreipunktregler)

##### c) Fuzzy-Regler:

die Stellgröße wird durch Regeln, welche unscharfe Begriffe (z.B. mehr, weniger, warm, lauwarm, kalt) enthalten, beeinflusst.

### 3.2. Blockschaltbild



Vergleicher und Regler bilden die Regeleinrichtung (in der Praxis oft auch Regler genannt). Viele Regeleinrichtungen enthalten auch einen Sollwertsteller mit Umschaltmöglichkeit zwischen externem oder internem Sollwert.

### 3.3. Gleichung

Der Regler bildet die Stellgröße aus der Reglerdifferenz  $E=W-X$ . Da diese Differenz möglichst klein werden soll (im Idealfall  $X=W$ ; Istwert = Sollwert), die Stellgröße aber in einem vorgegebenen Bereich liegen muss, ist der Regler in seiner einfachsten Form ein Verstärker. Der P-Regler (Proportional-Regler) ist ein solcher Regler. Die Änderung der Stellgröße ist proportional zur Änderung der Regeldifferenz.

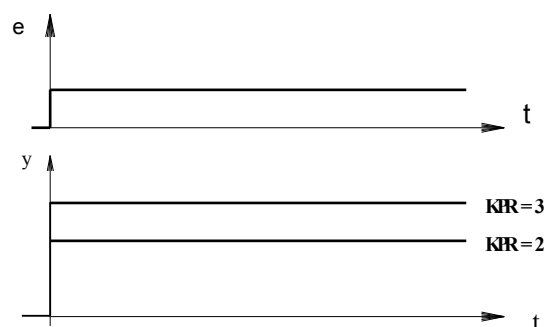
$$y \sim e \Rightarrow \begin{aligned} y &= K_{PR} \cdot e \\ y &= K_{PR} \cdot (w - x) \end{aligned}$$

$K_{PR}$  ist der **Proportionalbeiwert** des Reglers und der Verstärkungsfaktor des Verstärkers.

Wie aus der Gleichung zu ersehen, bewirkt ein Ansteigen der Regelgröße eine kleinere Stellgröße, das heißt der Regler wirkt einer ungewollten Änderung der Regelgröße entgegen (**Gegenkopplung**).

### 3.4. Sprungantwort

Bei einem Sprung der Regeldifferenz ergibt sich ein um den Faktor  $K_{PR}$  verstärkter (oder bei  $K_{PR} < 1$  abgeschwächter) Sprung der Stellgröße.



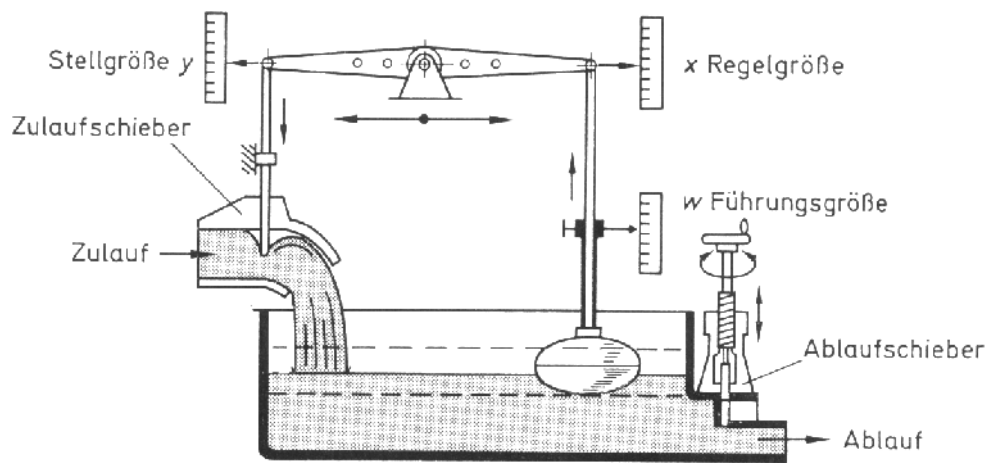
In der Praxis hat man meist eine Regeleinrichtung mit den Eingängen W und X. Am einfachsten macht man  $X = 0$  und gibt einen Sprung auf den Sollwerteingang W.

Ist dies nicht möglich da es nur einen internen Sollwertsteller gibt (und keinen W-Eingang), so kann man stattdessen  $W = 0$  einstellen und einen negativen Sprung auf den X-Eingang geben.

Achtung:

Bei den in der Schule verwendeten LN-Reglern ist die Skala sehr unpräzise, man sollte also den  $K_{PR}$ -Wert nachmessen und mit dem Voltmeter einstellen.

### 3.5. Beispiel 1: mechanischer Wasserstandsregler



Das Hebelarmsystem stellt einen mechanischen P-Regler ohne Hilfsenergie dar.

- X = Wasserstand
- Y = Position des Zulaufschiebers
- Z = Wasserabfluss

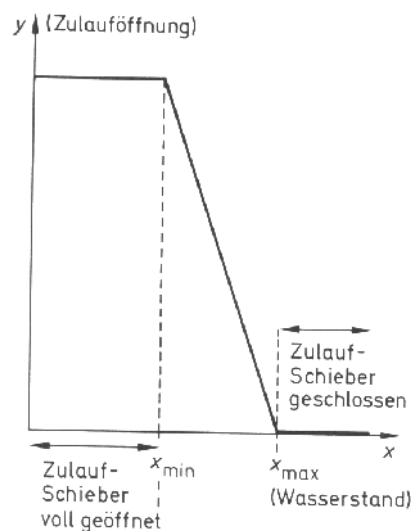
Wenn mehr Wasser abfließt, sinkt der Wasserspiegel, und mit ihm der Schwimmer. Über den Hebelarm wird diese Bewegung auf den Zulaufschieber übertragen, dieser öffnet etwas mehr, es fließt mehr Wasser zu und das Abfallen des Wasserspiegels wird teilweise ausgeglichen.

Je größer die Änderung des Wasserstandes (x), desto größer auch die Änderung der Schieberposition (y):

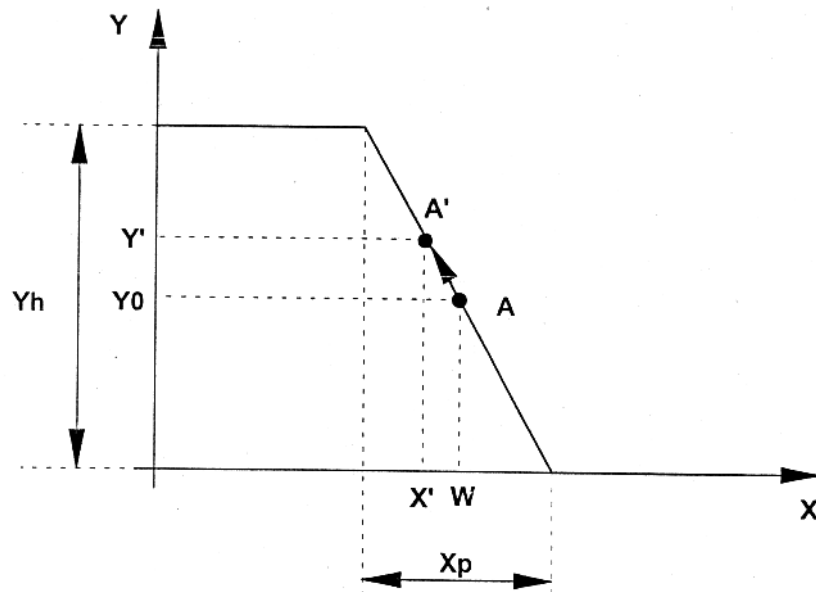
$$y = K_{PR} \cdot (w - x)$$

### 3.6. Kennlinie des Reglers

#### Kennlinie zu Beispiel 1:



### Allgemeine Kennlinie:



#### $Y_h$ : Stellbereich

Das Stellglied kann immer nur zwischen zwei Grenzwerten eingestellt werden, wodurch sich ein eingeschränkter Wertebereich für Y ergibt.

#### $X_p$ : Proportionalbereich

Jenseits des Proportionalbereichs geht der Regler in die Übersteuerung.

Der Regler funktioniert nur richtig, wenn die Regelgröße innerhalb des Proportionalbereichs  $X_p$  liegt. Rechts davon ist die Stellgröße null und kann nicht mehr auf die Strecke einwirken. Links davon ist die Stellgröße auf ihrem Maximalwert und kann ein weiteres Fallen der Regelgröße nicht mehr verhindern.

Der Arbeitspunkt A wird für einen bestimmten Betriebszustand (z.B. mittelgroßer Ablauf) so eingestellt, dass der Sollwert erreicht wird:  $X=W$ . Zu diesem Arbeitspunkt gehört eine bestimmte Stellgröße  $Y_0$ , die hier z.B. einem halb geöffneten Schieber entspricht.

Wenn nun der Ablauf stärker wird hat der Wasserspiegel die Tendenz zu fallen:

X wird kleiner, A verschiebt sich nach links ( $A \rightarrow A'$ )

Y wird größer als  $Y_0$  ( $Y_0 \rightarrow Y'$ )

Der Schieber öffnet also weiter, es fließt mehr Wasser zu und es bildet sich ein neuer Gleichgewichtszustand zwischen zu- und abfließendem Wasser:  $Q_{ZU} = Q_{AB}$

Da der neue Arbeitspunkt A' aber nun links von A liegt, ist  $X' < W$ , das heißt der Wasserspiegel ist trotz des Reglers ein wenig gesunken. Dies ist ein Nachteil des P-Reglers.

### 3.7. Bleibende Regelabweichung

Damit der P-Regler reagiert muss es eine Abweichung zwischen Istwert und Sollwert geben, die durch das proportionale Verhalten nie vollständig ausgeglichen wird.

Ein P-Regler kann bei einer bleibenden Störung die Regelabweichung nicht zum verschwinden bringen. Er bewirkt eine bleibende Regelabweichung (P-Abweichung)

Aus diesem Grund werden oft Regler mit I-Anteil (PI-Regler) benutzt. Diese haben keine bleibende Regelabweichung.

Bleibende Regelabweichung:  $x_{wb} = X' - W$

### 3.8. Zusammenhang zwischen $K_{PR}$ und $X_P$

Nehmen wir an der eingestellte Sollwert  $W$  ist konstant:

dann gilt:

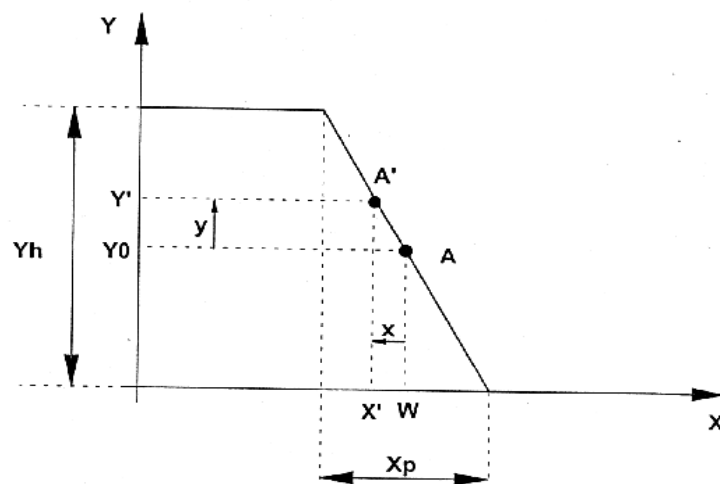
$$w = 0$$

$$y = K_{PR} \cdot e$$

$$y = K_{PR} \cdot (w - x)$$

$$y = K_{PR} \cdot (-x)$$

$$K_{PR} = -\frac{y}{x}$$



Wenn der ganze Stellbereich durchlaufen wird, gilt

$$K_{PR} = \frac{Y_h}{X_p}$$

Oft ist es sinnvoll mit normierten Größen zu arbeiten, dann werden  $Y_h$  und  $X_p$  in % ausgedrückt

#### Beispiel:

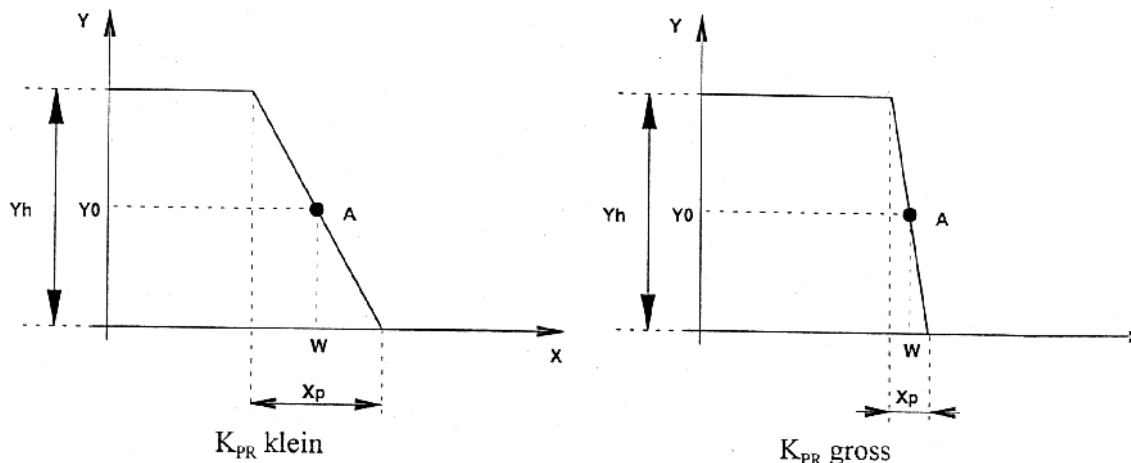
Wie groß ist  $K_{PR}$  bei einem Proportionalbereich von 10%?

### 3.9. Auswirkung von KPR auf die Kennlinie

#### Beispiel:

Wenn der rechte Hebelarm kürzer ist, führt eine kleine Änderung des Wasserstandes  $X$  zu einer relativ großen Änderung der Schieberposition  $Y$ :

- Die Kennlinie verläuft steiler und der Proportionalbereich  $X_p$  ist kleiner
- Die Regelung reagiert empfindlicher und schneller, sie gerät aber auch leichter in den Bereich der Übersteuerung (siehe später: Dynamisches Verhalten des geschlossenen Regelkreises)

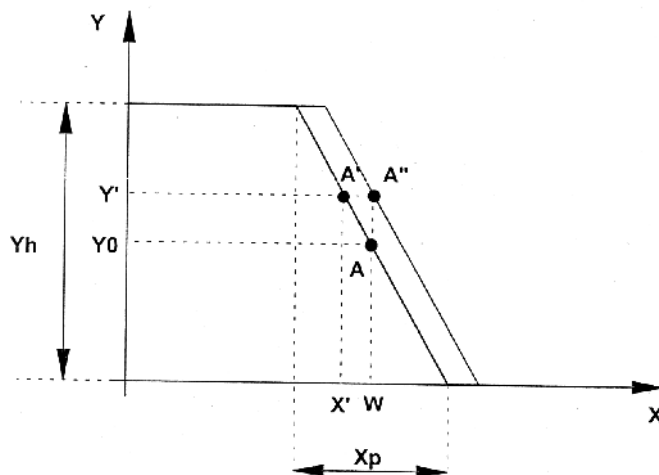


### 3.10. Nullpunkt-Einstellung

Nullpunkt = Arbeitspunkt bei konstantem Sollwert und konstanter Störgröße.

Wird die Störgröße z.B. vergrößert, so muss der Arbeitspunkt so verschoben werden, dass  $X'' = W$  ist.

Da die Störung immer noch vorhanden ist (größerer Abfluss als im Punkt A), muss die Stellgröße ihren Wert  $Y'$  behalten (Ventil weiter offen, stärkerer Zufluss). Das heißt der Arbeitspunkt muss nun auf einer Kennlinie liegen, welche gegenüber der ursprünglichen parallel nach rechts verschoben ist:



A = alter Arbeitspunkt im Ruhezustand mit  $X = W$

A' = Arbeitspunkt mit Änderung der Störgröße (mehr Abfluss)

A'' = Arbeitspunkt mit verstelltem Nullpunkt, so dass wieder  $X = W$  ist.

Es ist natürlich klar, dass man bei jeder Veränderung der Störung den Nullpunkt wieder neu einstellen müsste, um wieder  $X=W$  zu erreichen. In der Praxis wird der Nullpunkt einmal im Ruhezustand eingestellt, und man muss dann eine gewisse Regelabweichung in Kauf nehmen.

### Was bedeutet nun die Parallelverschiebung der Kennlinie?

Bei einer Verschiebung der Kennlinie nach rechts:

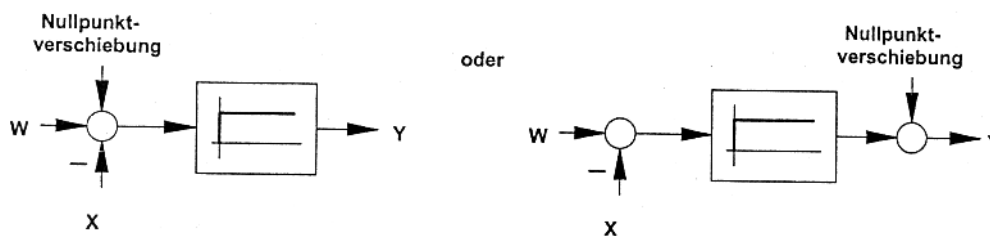
Bei gleicher Regelgröße  $X$ , wird  $Y$  um einen konstanten Betrag größer.

Bei einer Verschiebung der Kennlinie nach links:

Bei gleicher Regelgröße  $X$ , wird  $Y$  um einen konstanten Betrag kleiner.

Dies ist gleichbedeutend mit der Addition einer einstellbaren konstanten Größe. Hierzu besitzt der P-Regler einen Einstellknopf.

Schaltungstechnische Realisierung der Nullpunktverschiebung:



Wie man aus der linken Schaltung sieht, läuft die Nullpunktkorrektur auf die Addition eines Wertes zum Sollwert hinaus:  $W'=W+N$ . Dies bedeutet, dass man eigentlich nur einen Einstellknopf braucht, dessen Skala um einen Wert  $N$  verschoben werden kann.

### 3.11. Beispiel2: Thermostatventil zum Regeln der Raumtemperatur

Ein Thermostatventil kann als P-Regler betrachtet werden. Die Skala (1..5) ist normalerweise so geeicht, dass sich in einem Normraum bei mittlerer Skalenposition (3) eine Raumtemperatur von  $X = W = 20^\circ\text{C}$  ergibt. In anderen Räumen (andere Störgröße) muss der Nullpunkt verstellt werden. Hierzu wird der Knopf so verstellt, dass sich  $X = W = 20^\circ\text{C}$  ergibt. Die Position ist im Allgemeinen verschieden von der mittleren Position. Dann wird der Knopf abgenommen und wieder aufgesteckt, so dass die Skala mittlere Position (3) anzeigt. Der Nullpunkt ist nun für diese Störgröße richtig eingestellt.

Wie wir gesehen haben ergibt sich (leider) eine Regeldifferenz, wenn sich die Störgröße ändert (Jahreszeitenwechsel, Sonneneinstrahlung, kalter Luftzug usw.). Trotzdem ist die Regelgröße natürlich näher am Sollwert als ohne Regelung.

### 3.12. Bemerkungen:

- P-Regler sind meist einfach aufgebaut und damit auch billig.
- P-Regler arbeiten schnell und praktisch ohne Verzögerung
- P-Regler arbeiten mit einer bleibenden Regeldifferenz.
- Sie regeln Störungen nicht vollständig aus.
- Die bleibende Regeldifferenz kann verkleinert werden durch ein größeres  $K_{PR}$   
(Gefahr von Schwingungen!)

### Aufgabe 3.1

Zeichne die Kennlinie eines mit OPV aufgebauten P-Reglers, welcher  $K_{PR} = 5$  hat und bei  $W = 4V$  eine Stellgröße von  $2V$  liefern soll. Der Stellbereich beträgt  $20V$  ( $-10V$  bis  $+10V$ ). Wie groß ist der Proportionalbereich?

### Aufgabe 3.2

Die Ist-Temperatur in einem Raum wurde durch Verstellen des Nullpunktes gleich dem Sollwert  $W = 20^\circ C$  gemacht. Die Ventilöffnung betrug dabei  $40\%$ .

- a) Zeichne die Kennlinie für einen Proportionalbereich von  $5^\circ C$ .
- b) Die Temperatur im Raum steigt nun infolge von Sonneneinstrahlung auf  $21^\circ C$ . Ermittle die bleibende Regelabweichung und die bleibende Stellabweichung.
- c) Auf welchen Wert  $Y_0'$  müsste man jetzt den Nullpunkt nachstellen, damit die bleibende Regeldifferenz wieder verschwindet?