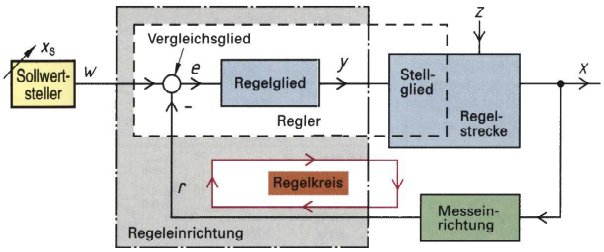
Regelungstechnik - KOMPAKT

1. Grundbegriffe

Im Gegensatz zu Steuerungen arbeiten Regelungen nach dem Prinzip des **geschlossenen Wirkungsablaufs**. Die zu regelnde Größe x wird ständig erfasst und über eine **Rückkopplung** mit dem vorgegebenen Sollwert w verglichen. Auftretende **Störgrößen** z werden automatisch ausgeregelt.



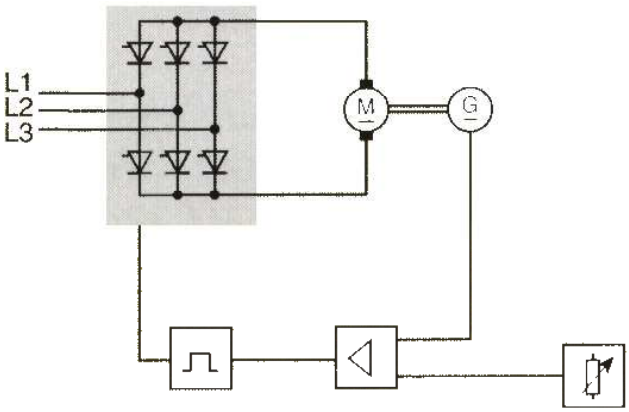
Struktur des Regelkreises

x_s: Sollwert
w: Führungsgröße (elektrisch)
r: Rückführgröße (elektrisch)
e: Regeldifferenz (e = w-r)
y: Stellgröße
z: Störgröße
x: Regelgröße, Aufgabengröße (Istwert)

Beispiel:

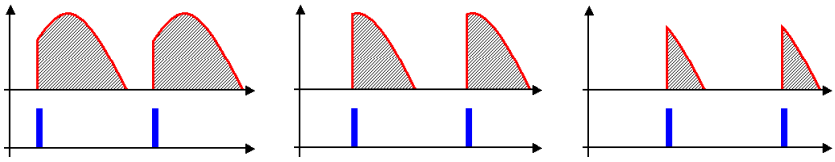
Die Drehzahl einer Antriebsmaschine soll konstant gehalten werden. Die Maschine ist unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt. Die Drehzahl ist die Regelgröße x, die Belastung wirkt als Störgröße z.

Zur Drehzahlerfassung ist die Maschine mit einem Tachogenerator gekoppelt. Dessen Ausgangsspannung ist die Rückführgröße r.



Größe	Symbol	Beispiel
Aufgabengröße	x	Drehzahl
Sollwert	x_s	vorgeschriebene Drehzahl
Störgröße	z	Belastung
Regelabweichung	x_d	Drehzahl-abweichung
Rückführgröße	r	Spannung des Tachogenerators
Führungsgröße	w	Sollwertspan-nung des Poten-tiometers
Regeldifferenz	e	Differenz-spannung
Stellgröße	y	Steuerimpulse für Thyristoren

Ein Thyristor zündet (wird leitend) bei positiver Anoden-Kathoden-Spannung und Zündimpuls (Strominjektion) am Gateanschluss. Geht die Anoden-Kathoden-Spannung auf oder unter Null zurück wird der Thyristor gelöscht (wird nicht leitend).



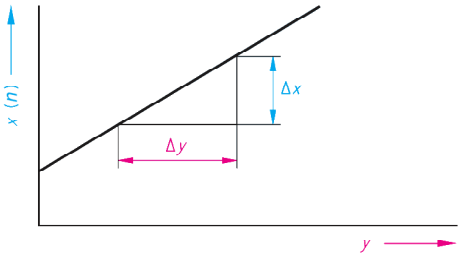
Über den gesteuerten Gleichrichter (**Phasenanschnittsteuerung**) wird hiermit eine Drehzahlregelung des Motors realisiert. Die Phasenanschnittsteuerung wird auch in Dimmern verwendet.

2. Übertragungsverhalten von Regelstrecken

Das **Übertragungsverhalten** eines Systems ist die Reaktion der Ausgangsgrößen auf eine Veränderung der Eingangsgrößen.

2.1 Statisches Verhalten

Die Veränderung der Stellgröße führt zu einer Änderung der Regelgröße. Wird nur das Endergebnis der Änderung beschrieben, dann ist die Beschreibung **statisch**. Meist ist das Übertragungsverhalten linear:



Der **Übertragungsbeiwert** (= **Streckenkonstante**) einer linearen Regelstrecke ist die Geradensteigung der sich ergebenden statischen Kennlinie:

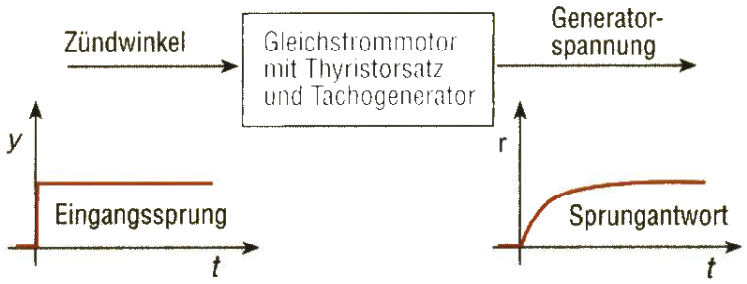
$$K_S = \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

Beachte: x: Aufgabengröße (nicht x-Achse !!!) / y: Stellgröße (nicht y-Achse !!!)

Da die Änderung der Regelgröße proportional zur Änderung der Stellgröße ist, spricht man vom **P-Verhalten** der Regelstrecke.

2.2 Dynamisches Verhalten

Unter dem **dynamischen** Verhalten einer Regelstrecke versteht man den zeitlichen Verlauf der Regelgröße bei Änderung der Stellgröße. Dazu wird die **Sprungantwort** der Regelstrecke untersucht: Die Regelstrecke wird vom Regler getrennt und die Stellgröße wird sprunghaft verändert. Hiernach beobachtet man die Reaktion der Regelgröße am Ausgang der Regelstrecke:



Aus der Sprungantwort ist zu erkennen, dass der Motor unverzüglich auf eine Änderung der Stellgröße reagiert. Die Drehzahl steigt an und die Rückführungsgröße erreicht nach kurzer Zeit einen konstanten Wert.

Beispiele für Regelstrecken:

Bezeichnung d. Regelstrecke		Beispiel Regelstrecke	Beispiel Regelgröße	Schaltbild (mit Sprungantwort)
Regelstrecke mit Ausgleich (P-Verhalten)	PT_0	Elektrischer Widerstand	Spannung U	
	PT_1	Spule	Strom I	
	PT_n	Heizung	Temperatur ϑ	
	PT_T	Schieber, Δy, Schüttgut, q	Fördermenge q	
dto. ohne	IT_0	Behälter, h	Füllstand h	

PT_0: Regelstrecke ohne Verzögerung
Fließt Strom durch den Widerstand fällt sofort eine proportionale Spannung ab.

PT_1: Regelstrecken mit einfacher Verzögerung
Ändert man schlagartig die Spannung an der Spule, ändert sich der Strom nach einer e-Funktion.

PT_n: Regelstrecken mit n-facher Verzögerung
Fließt Strom durch den Heizwiderstand steigt die Temperatur zunächst langsam, dann schneller an, um letztlich einen festen Wert anzunehmen.

PT_T: Regelstrecke mit Totzeit
Wird der Schieber verändert, ändert sich die Fördermenge q erst nach der Transportzeit T.

IT_0: Integrale Regelstrecke ohne Totzeit
Verändert man schlagartig die Zuflussmenge, erhöht sich der Füllstand bis zum Überlauf. Es stellt sich kein stabiler Zustand ein.

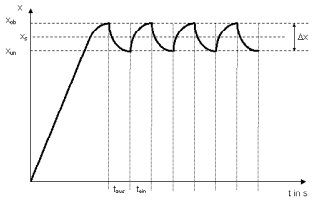
3. Regler
3.1 Unstetige Regler

Zweipunktregler:

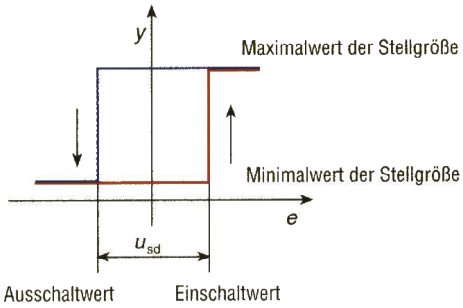
Die Stellgröße eines **Zweipunktreglers** kann nur zwei Werte annehmen:
- y = 0 (aus)
- y = 1 (ein)

Beispiel :

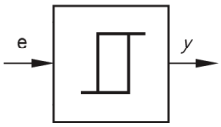
Bei einem Backofen wird der Heizstrom abhängig von der tatsächlichen Temperatur ein- bzw. ausgeschaltet. Die Temperatur schwankt zwischen einer oberen und einer unteren Temperaturgrenze.



Die Differenz zwischen Ein- und Ausschaltpunkt wird als **Schaltdifferenz** oder **Hysterese** der Regeleinrichtung bezeichnet:



Blockschaltbild:

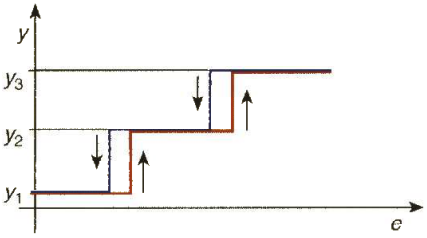


Drei- und Mehrpunktregler:

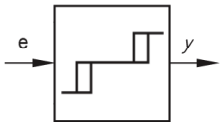
Die Stellgröße kann drei oder mehr Werte annehmen, bspw.:
- große Regelleistung
- kleine Regelleistung
- aus

Beispiel:

Bei einer Klimaautomatik wird bei deutlich unterschrittenem Sollwert die Heizung, bei deutlich überschrittenem Sollwert die Kühlung eingeschaltet. Innerhalb eines gewissen Temperaturbereiches werden sowohl Kühlung als auch Heizung ausgeschaltet.



Blockschaltbild:



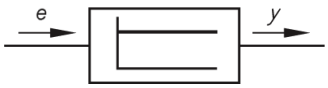
Bei mechanischen Reglern beeinflusst die **Schaltfrequenz** die Lebensdauer des Reglers. Eine große Hysterese senkt die Schalthäufigkeit des Reglers, führt allerdings auch zu recht starken Schwankungen der Regelgröße.

3.2 Stetige Regler

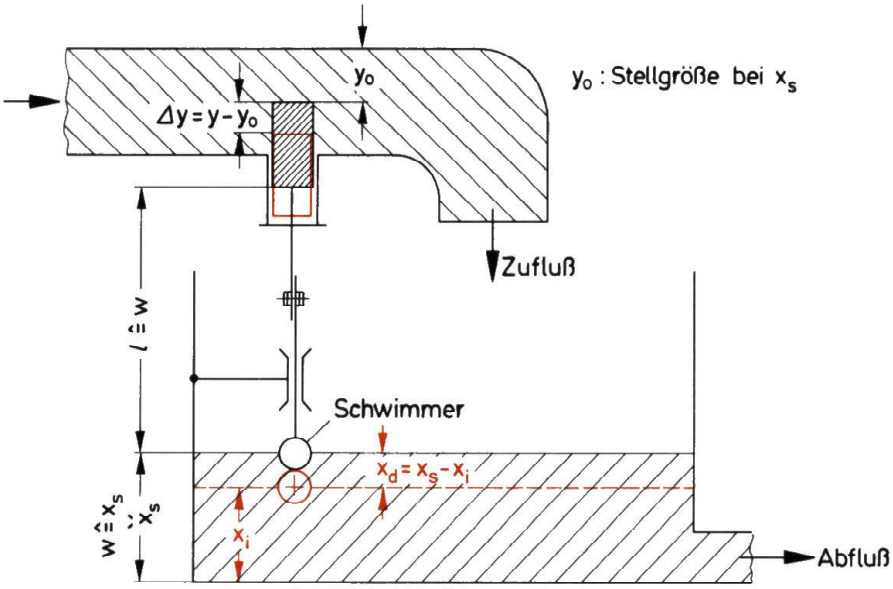
Die Stellgröße eines **stetigen Reglers** kann zwischen einem Minimum und einem Maximum jeden beliebigen Werte annehmen. Sie ist damit eine analoge Größe. Soll die Regelgröße sehr genau auf den Sollwert eingestellt werden, so kann dies nur mit einer stetigen Regelung geschehen.

P-Regler (proportionaler Regler)

Die Änderung der Stellgröße ist proportional zur Regeldifferenz. P-Regler reagieren schnell, sie können die Regelgröße aber nicht auf dem Sollwert halten, solange eine Störgröße einwirkt. Für die Regelung ist eine bleibende Regeldifferenz erforderlich.



Beispiel:

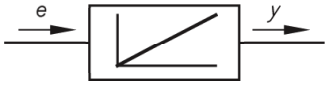


Abflussmenge ↑
⇓
Pegel ↓
⇓
Regelabweichung $x_d = x_s - x_i$
⇓
Durchmesser y ↑
⇓
Zuflussmenge ↑

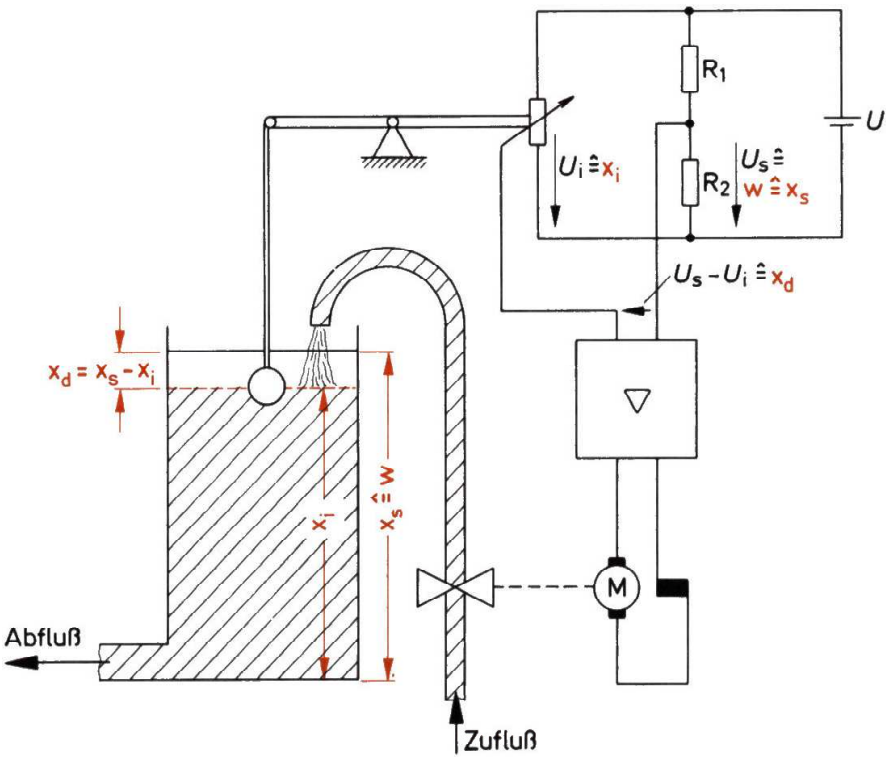
Solange die Störgröße wirkt, kann y nicht auf y_0 zurückkehren.

I-Regler (integrierender Regler)

Die Stellgröße wird solange geändert, bis keine Regeldifferenz mehr besteht. Die Änderungsgeschwindigkeit der Stellgröße ist hierbei proportional zur Regeldifferenz. I-Regler sind zwar langsam, sie können die Regelgröße aber auch auf dem Sollwert halten, wenn eine Störgröße dauerhaft einwirkt.



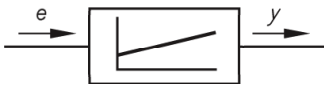
Beispiel:

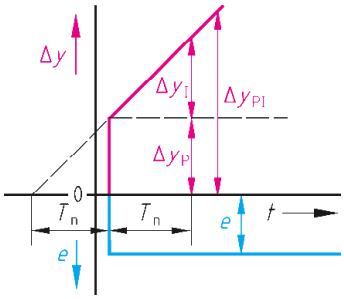


Abflussmenge ↑
⇓
Pegel ↓
⇓
Regelabweichung $x_d = x_s - x_i$
⇓
Verstellung des Potentiometers
⇓
Verstimmung der Brücke
⇓
Verstärkte Brückenspannung treibt Motor an, der das Zuflussventil weiter öffnet
⇓
Zuflussmenge ↑

PI-Regler

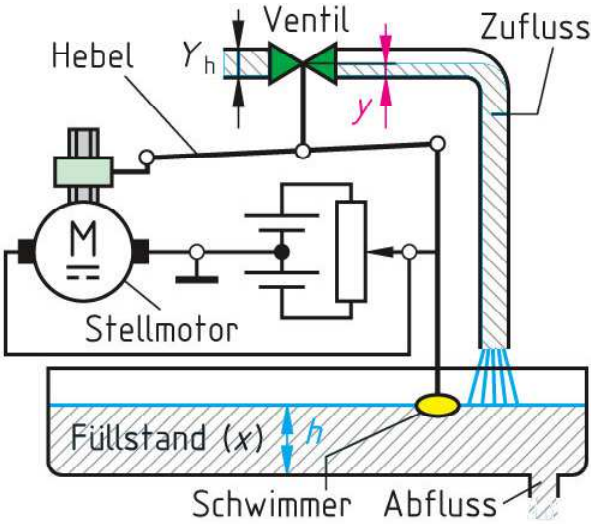
PI-Regler sind schnell und haben keine bleibende Regeldifferenz. Die Zeit, die bei einem Eingangssprung benötigt wird, bis der I-Anteil die gleiche Verstellung bewirkt wie der P-Anteil ist die **Nachstellzeit T_n**.





Hier: Betrachtung der Sprungantwort !!!

Beispiel:

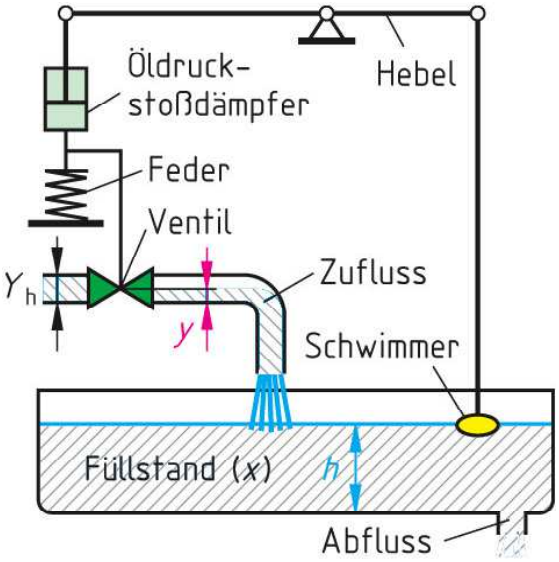


Abflussmenge ↑
⇓
Pegel ↓
⇓
Regelabweichung $x_d = x_s - x_i$
⇓
Direkte Verstellung des Ventils und Verstellung des Potentiometers
⇓
. . .

D-Regler (differenzierender Regler)

Ändert sich die Regeldifferenz sprunghaft, springt die Stellgröße sofort auf den Maximalwert und geht dann wieder auf Null zurück, wenn sich die Regeldifferenz nicht mehr ändert. D-Regler alleine können keine Störung ausregeln. Sie reagieren nur auf die Änderungsgeschwindigkeit der Regeldifferenz.

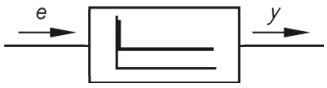
Beispiel:

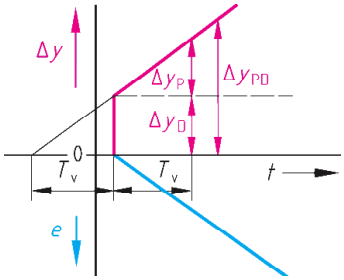


Abflussmenge ↑
⇓
Pegel ↓
⇓
Regelabweichung $x_d = x_s - x_i$
⇓
Verstellung des Ventils
⇓
Feder zieht Ventil wieder in Ausgangslage zurück

PD-Regler

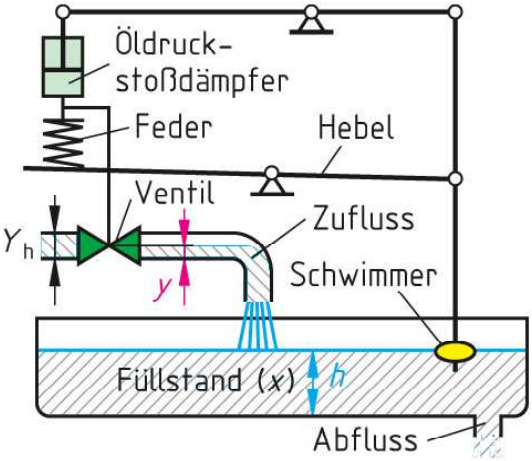
PD-Regler sind schnell, haben aber wiederum eine bleibende Regeldifferenz. Die Zeit, die bei gleichmäßigem Eingangsanstieg benötigt wird bis der P-Anteil die gleiche Verstellung bewirkt wie der D-Anteil ist die **Vorhaltezeit T_v**.





Hier: Betrachtung der Anstiegsantwort !!!

Beispiel:



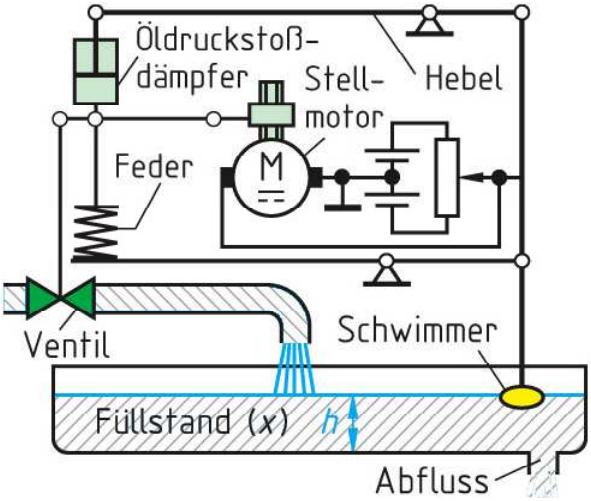
Abflussmenge ↑
⇓
Pegel ↓
⇓
Regelabweichung $x_d = x_s - x_i$
⇓
Verstellung des Ventils
und
Verkürzung des Federwegs
⇓
Feder zieht Ventil wieder etwas in Richtung Ausgangslage zurück

© www.coole-schule.net / Stand: 21.02.2012

PID-Regler

PID-Regler vereinigen alle drei Regelcharakteristiken zu einem günstigen Gesamtverhalten: Sie regeln Regeldifferenzen schnell aus und verursachen keine bleibende Regeldifferenz.

Beispiel:



Abflussmenge ↑
⇓
Pegel ↓
⇓
Regelabweichung $x_d = x_s - x_i$
⇓
Verstellung des Ventils,
Verkürzung des Federwegs,
Verstellung des Potentiometers
⇓
Feder zieht Ventil wieder etwas in
Richtung Ausgangslage zurück,
Motor wirkt dem entgegen

3.3 Reglerauswahl

Beim Aufbau eines Regelkreises ist die Regelstrecke vorgegeben. Das Gesamtverhalten des Regelkreises wird durch Regler und Regelkreis bestimmt. Um eine stabile und schnelle Regelung zu erreichen, muss ein geeigneter Regler gewählt werden.

Tabelle: Auswahl von Reglern bei bekannter Regelstrecke

Regelstrecke		Regler					
Typ	Beispiel	P	I	PI	PD	PID	Zweipunkt
P_0	Durchfluss	–	++	++	–	–	–
P_{T1}	Druck	+ (S), ++ (F)	+	+ (F), ++ (S)	+	–	+
P_{Tn}	Temperatur	–	–	+	+	++	+
P_{Tt}	Transportmengen	–	+	++	–	–	–
I_0	Wasserfüllstand	+	––	+	–	–	+
I_{T1}	Ölfüllstand	+	––	+ (S), ++ (F)	+	+ (F), ++ (S)	+

–– instabil, – nicht geeignet, + geeignet, ++ gut geignet, (F) bei Führung, (S) bei Störung