

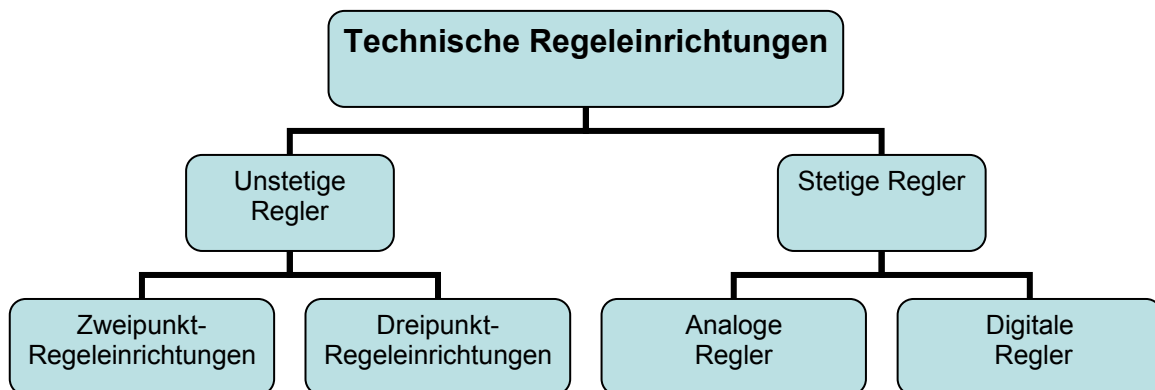
Steuerungstechnik

Regelungstechnik

Automatisierungstechnik

Regelung: (DIN 19226)

„Das Regeln - die Regelung - ist der Vorgang, bei dem eine Größe (Regelgröße), fortlaufend erfasst, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird.“


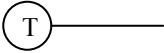
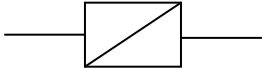
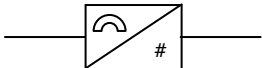
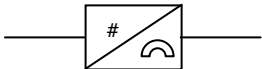
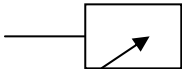
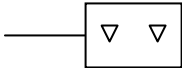
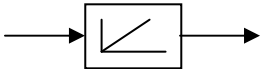


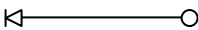

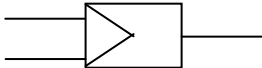



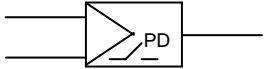
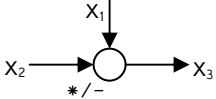
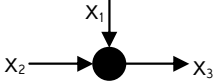
Kennzeichen des Regelns


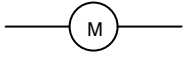
- *Die zu regelnde Größe wird fortlaufend erfasst.*
- *Die zu regelnde Größe wird mit der Führungsgröße verglichen.*
- *Die zu regelnde Größe wird durch Eingriffe in das System an die Führungsgröße angeglichen.*
- *Der Wirkungskreis ist geschlossen → Regelkreis.*
- *Die Ausgangsgröße wird rückgeführt → Stabilitätsprobleme.*

Begriff	Definition nach DIN 19226 Teil 4
Analogregler	Verarbeitet wertkontinuierliche, zeitkontinuierliche und/oder wertkontinuierliche, zeitdiskrete Signale.
Ausgangsgröße X_a	Physikalische Größe, die entsprechend festgelegten Regeln beeinflusst werden soll.
Digitalregler	Verarbeitet wertdiskrete, zeitkontinuierliche und/oder wertdiskrete, zeitdiskrete Signale; Abtastregler.
Dreipunkt-Regler	Regeleinrichtungen mit drei Schaltstellungen.
Führungsbereich W_h	Bereich, innerhalb dessen die Führungsgröße liegen kann.
Führungsgröße w	Eine der Regeleinrichtung von außen zugeführte und von der Regelung unbeeinflusste Größe, der die Regelgröße in einer vorgegebenen Abhängigkeit folgen soll.
Istwert der Regelgröße X_i	Der tatsächliche Wert der Regelgröße im betrachteten Zeitpunkt.
Nicht selbständige Regelung	Einrichtung, bei der ein Mensch die Funktion der Regeleinrichtung übernimmt (Handregelung).
Regelabweichung X_w Differenz $e = w - x$	Regelabweichung ist die zwischen Regeldifferenz Regelgröße und Führungsgröße. Die Regelabweichung wird als Regeldifferenz bezeichnet.
Regelbereich X_h	Bereich, innerhalb dessen die Regelgröße unter Berücksichtigung der zulässigen Grenzen der Störgrößen eingestellt werden kann, ohne die Funktionsfähigkeit der Regelung zu beeinträchtigen.
Regeleinrichtung (auch Einrichtung oder Regler genannt)	Die gesamte Einrichtung, die über das Stellglied aufgabengemäß (meist Konstanzhaltung der Regelgröße) auf die Strecke einwirkt.
Regelgröße x	Größe, die in der Regelstrecke konstant gehalten oder nach einem vorgegebenen Programm beeinflusst werden soll.
Regelkreis	Alle Glieder des geschlossenen Wirkungsablaufes der Regelung bilden den Regelkreis (Zusammenschaltung von Regelstrecke und Regeleinrichtung).
Regelstrecke (auch Strecke genannt)	Der gesamte Teil der Anlage, in dem die Regelgröße aufgabengemäß (meist Konstanzhaltung) beeinflusst wird.
Selbsttätige Regelung	Regeleinrichtung, die die Regeldifferenz zur Stellgröße selbständig so verarbeitet, dass das Stellglied in geeigneter Weise verstellt wird.
Sollwert der Regelgröße	Der angestrebte Wert der Regelgröße im betrachteten Zeitpunkt.
Stellbereich Y_h	Bereich, innerhalb dessen die Stellgröße einstellbar ist.

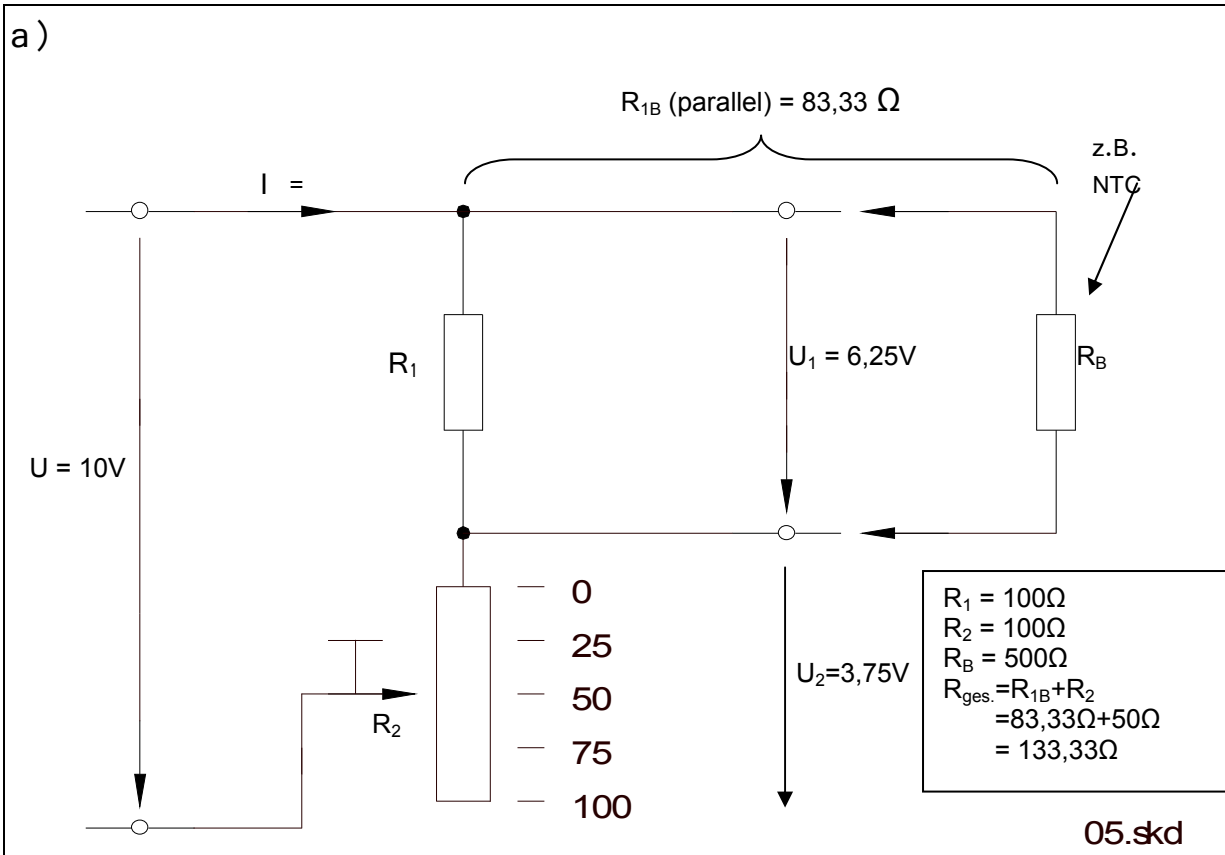
Stellglied S_t	Am Eingang der Strecke liegendes Glied, das dort den Energiestrom entsprechend der Stellgröße beeinflusst.
Stellgröße y	Sie überträgt die steuernde Wirkung der Regeleinrichtung auf die Regelstrecke.
Störbereich Z_n	Bereich, innerhalb dessen die Störgröße liegen darf, ohne dass die Funktionsfähigkeit der Regelung beeinträchtigt wird.
Störgröße z	Von außen auf den Regelkreis einwirkende Störungen, die die Regelgröße ungewollt beeinträchtigen.
Übergangsfunktion	Funktion, die das Verhalten einer Regeleinrichtung bei einem Signalsprung am Eingang beschreibt (Sprungantwort).
Zwei (Drei) punkt Regler	Regeleinrichtung mit zwei (drei) Schaltstellungen

Schaltzeichen-Symbol nach DIN 19227	Benennung
	Messort, Sensor allgemein
	Tachogenerator
	Signalumformer allgemein
	Analog-Digital-Umsetzer
	Digital-Analog-Umsetzer
	Anzeigegerät
	Grenzwertmelder
	Blockschaltbild mit Kennlinie: $y = f(x)$
	Stellort, Stellglied allgemein
	Stellantrieb allgemein
	Stellgerät an Rohrleitung
	Einsteller allgemein
	Regler allgemein

	<p>Regler mit Kennzeichnung des Zeitverhaltens (stetig)</p>
	<p>Regler mit schaltendem Ausgang (unstetig)</p>
	<p>Additionsstelle $X_3 = X_1 + / - X_2$</p>
	<p>Verzweigungsstelle $X_1 = X_2 = X_3$</p>

Schaltzeichen-Symbol nach DIN 19227	Benennung
 	<p>Ventil allgemein</p> <p>Motor</p>

Mit der dargestellten Schaltung kann die Spannung U_1 am Lastwiderstand R_B eingestellt werden.



b)

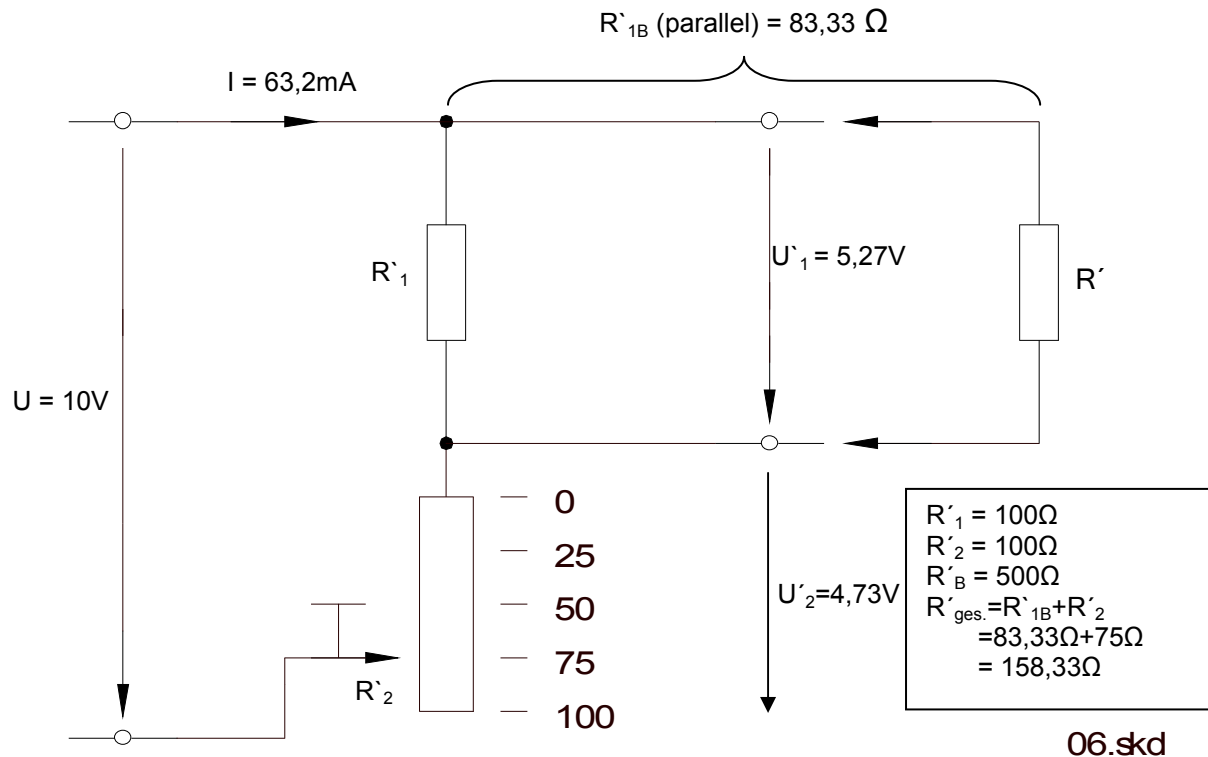


Bild 1

Bei $R'_2 = 83,33\Omega$ wäre die Spannungen $U'_1 : U'_2 = 5\text{V} : 5\text{V}$

Für die angegebenen Werte und die in Bild 1a gezeigte Stellung des Abgriffs an R_2 gilt bei angeschlossenem Lastwiderstand:

$$1. \quad R_{1B} = \frac{R_1 \cdot R_B}{R_1 + R_B} = \frac{100\Omega \cdot 500\Omega}{100\Omega + 500\Omega}$$

$$R_{1B} = 83,33\Omega$$

$$2. \quad I = \frac{U}{R_2 + R_{1B}} = \frac{10\text{V}}{50\Omega + 83,33\Omega}$$

$$I = 0,075\text{A} \hat{=} 75\text{mA}$$

$$3. \quad U_1 = I \cdot R_{1B} = 0,075\text{A} \cdot 83,33\Omega$$

$$U_1 = 6,25\text{V}$$

Die Spannung am Belastungswiderstand beträgt bei $R_2 = 50\Omega$, 6,25 V.

Nun wird der Widerstand R_2 von 50Ω auf 75Ω eingestellt. Es ergeben sich dadurch folgende Werte:

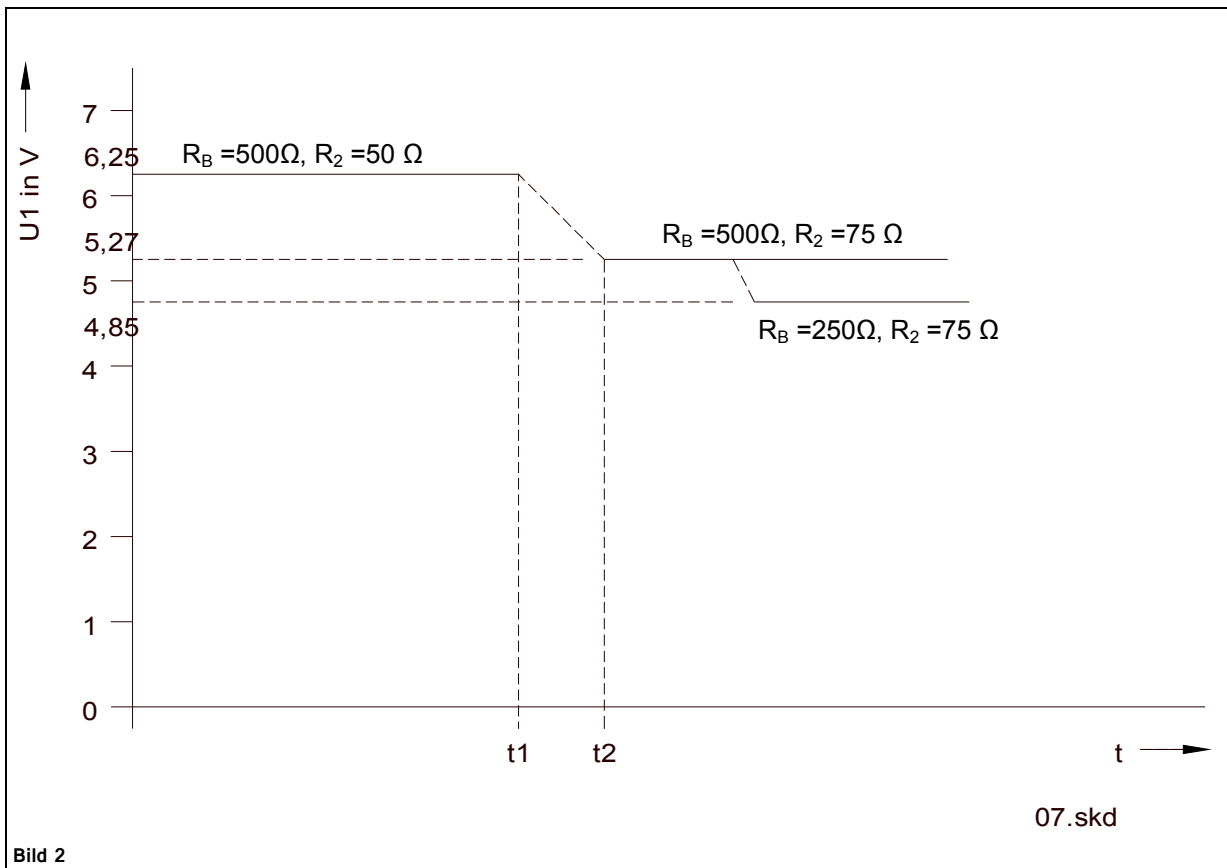
1. $R'_{1B} = R_{1B} = 83,33\Omega$

2.
$$I' = \frac{U}{R'_2 + R_{1B}} = \frac{10V}{75\Omega + 83,33\Omega}$$
$$I' = 0,0632A$$

3.
$$U'_1 = I' \cdot R_{1B} = 0,0632A \cdot 83,33\Omega$$
$$U'_1 = 5,27V$$

Durch die Änderung der Widerstandseinstellung verringert sich die Spannung auf 5,27V.

Da R'_2 um 25% erhöht wurde fällt an ihm auch ca. 25% mehr Spannung ab. Der Strom bleibt in der Reihenschaltung gleich.



Nun soll sich die Belastung der Schaltung nach Bild 1 ändern. Der Lastwiderstand verringert sich auf 250Ω. Dadurch ergeben sich folgende Werte, wenn R_2 nach wie vor auf 75Ω eingestellt ist:

$$1. \quad R_{1B} = \frac{R_1 \cdot R_B}{R_1 + R_B} = \frac{100\Omega \cdot 250\Omega}{100\Omega + 250\Omega}$$

$$R_{1B} = 71,43\Omega$$

$$2. \quad I = \frac{U}{R_2 + R_{1B}} = \frac{10V}{75\Omega + 71,43\Omega}$$

$$I = 0,068A$$

$$3. \quad U_1 = I \cdot R_{1B} = 0,068A \cdot 71,43\Omega$$

$$U_1 = 4,857V$$

Bei Belastungsänderung verringert sich die Ausgangsspannung (Bild 2). Soll die Ausgangsspannung konstant gehalten werden, muss auf die Belastungsänderung mit einer Verstellung des Widerstandes R_2 reagiert werden.

Übung:

Auf welchen Wert muss R_2 eingestellt werden, damit sich nach der Belastungsänderung wieder eine Spannung von 5,27 V einstellt?

$$\begin{array}{lll} \text{Geg.:} & U_1 & = 5,27V \\ & U & = 10V \\ & R_{1B} & = 71,43\Omega \\ \text{Ges.:} & U_2 & = ? \\ & R_2 & = ? \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1. \quad U_2 = U - U_1 = 10V - 5,27V \\ \quad U_2 = 4,73V \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 2. \quad I = \frac{U_1}{R_{1B}} = \frac{5,27V}{71,43\Omega} \\ \quad I = 0,074A \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 3. \quad R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{4,73V}{0,074A} \\ \quad R_2 = 63,92\Omega \end{array}$$

Der Regelwiderstand R_2 muss auf $63,92\Omega$ eingestellt werden damit sich die Ausgangsspannung wieder auf 5,72 V einstellt.

Kontrolle:

$$U_1 = I \cdot R_{1B} = 0,074A \cdot 71,43\Omega$$

$$U_1 = 5,28V$$

Eines ist völlig klar geworden:

Wenn die Ausgangsspannung konstant bleiben soll muss auf jede Belastungsänderung (durch Verstellung von R_2) reagiert werden.

Handregelung:

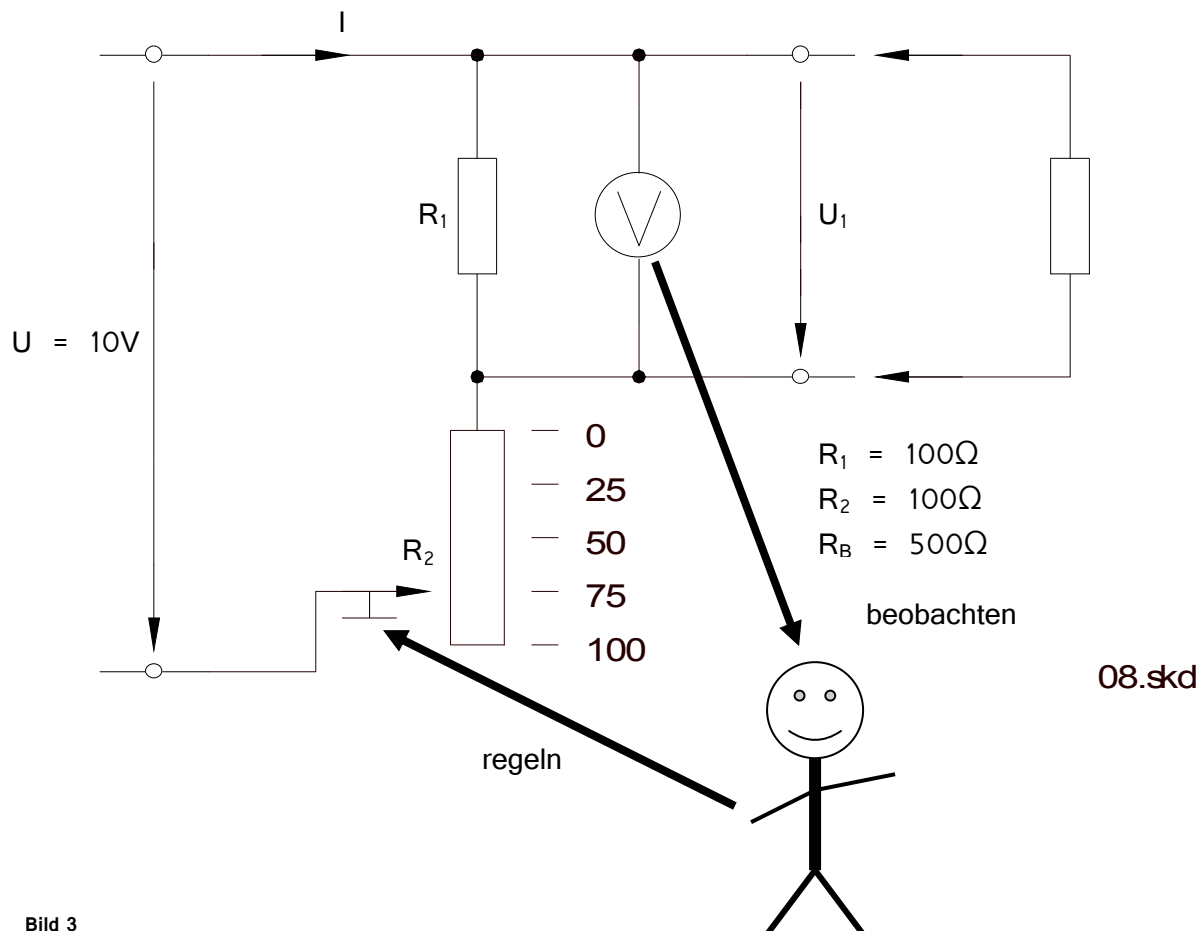


Bild 3

Blockschaltbild:

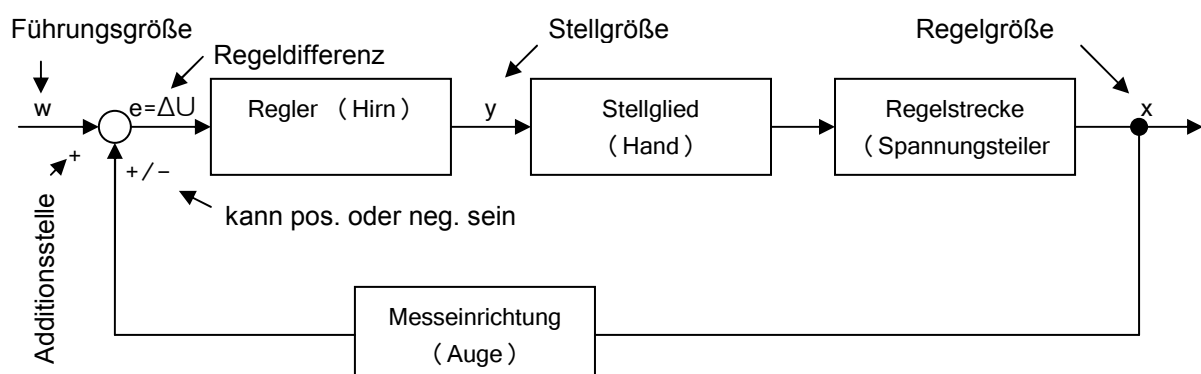
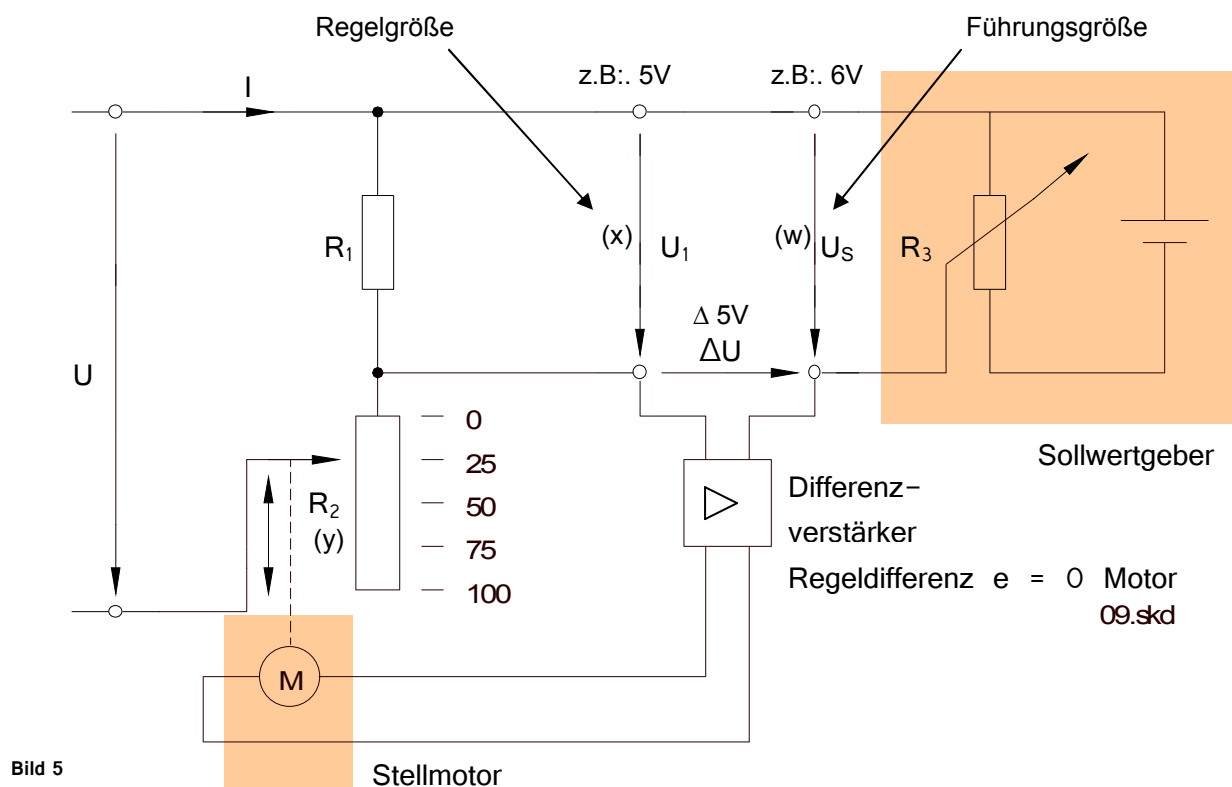


Bild 4

Die Belastungsänderung ist eine Störgröße, da sie die Ausgangsspannung ohne Verstellung von R_2 unerwünscht verändert.

Wird auf die Belastungsänderung und damit auf die Änderung der Ausgangsspannung *nicht reagiert*, handelt es sich um eine *Steuerung*. Eine Steuerung liefert immer dann befriedigende Ergebnisse, wenn *Störgrößen* vernachlässigbar sind. Durch *Störgrößen* werden nämlich *Abweichungen* hervorgerufen, die durch eine *Regelung* möglichst schnell und möglichst vollständig ausgeglichen werden sollen.

Aufgabe der Regelung ist es, die Sollwertabweichung ständig zu erfassen und in Abhängigkeit vom Vorzeichen einen entsprechenden Stelleingriff vorzunehmen.



Dieses Beispiel in Bild 5 verdeutlicht den prinzipiellen Aufbau einer Regelung:

Beispiel:

Der Druck in der Wasserleitung soll immer 5 Bar haben.

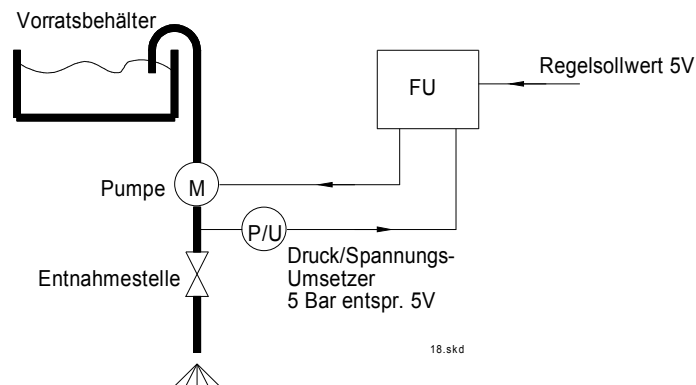


Bild 5.1

Aufgabe die Ausgangsspannung (Regelgröße) x (U_1) soll konstant gehalten werden.

Der Sollwertgeber (R_3) wird nach unten sowie nach oben verstellt.

Die Regelgröße **(Formelzeichen X)** hier Spannung U_1 wird gemessen. Das Messergebnis wird mit dem gewünschten Sollwert U_s Führungsgröße genannt **(Formelzeichen W)** im Differenzverstärker verglichen. Je nach Vergleichsergebnis positiv oder negativ wird die Einstellung **(Stellgröße Y)** am Widerstand R_2 durch den Stellmotor verändert.

Ziel der Regelung ist es, die Abweichung des Istwertes vom Sollwert möglichst gering zu halten (Sollwertabweichung X_d Regeldifferenz)

Hier wird deutlich welche Aufgaben ein Regler hat:

- Messen
- Vergleichen
- Stellen

Prinzipiell die Regeleinrichtung:

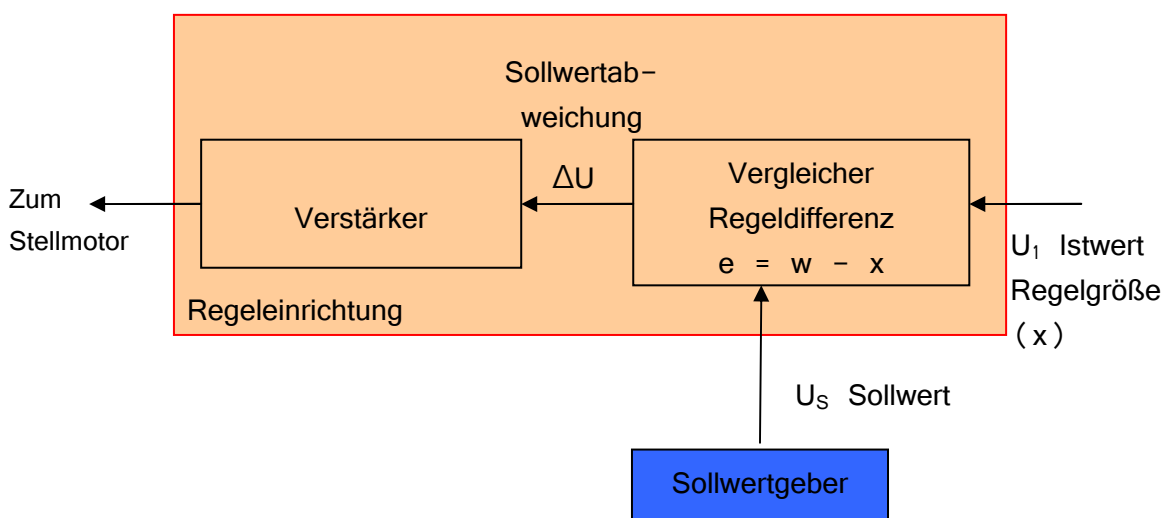


Bild 6

Die Größen der Regelungstechnik werden allgemeingültig so bezeichnet:

x	Regelgröße (z.B. Spannung)
w	Führungsgröße (Sollwert)
r	Rückführgröße (Istwert)
z	Störgröße (macht eine Regelung erst erforderlich)
$e = w - r$	Regeldifferenz (kann positiv oder negativ sein)
y	Stellgröße (überträgt den Befehl der Regeleinrichtung)

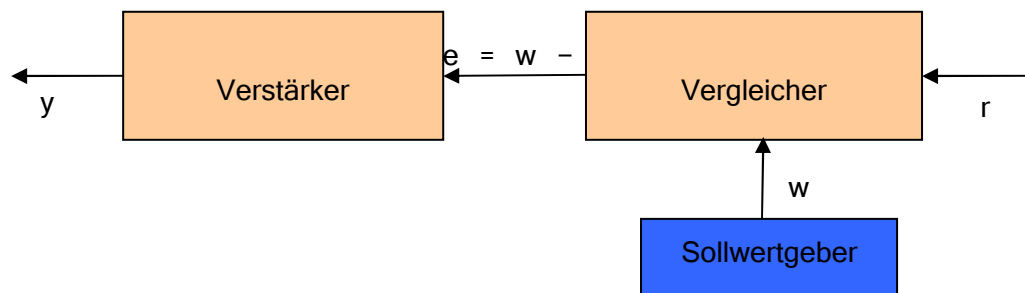


Bild 7

Regeleinrichtung und Regelstrecke bildet einen Regelkreis. Die Bezeichnung Regelkreis deutet an, dass es sich bei der Regelung um einen geschlossenen Wirkungsablauf handelt. Bild 8 verdeutlicht dies.

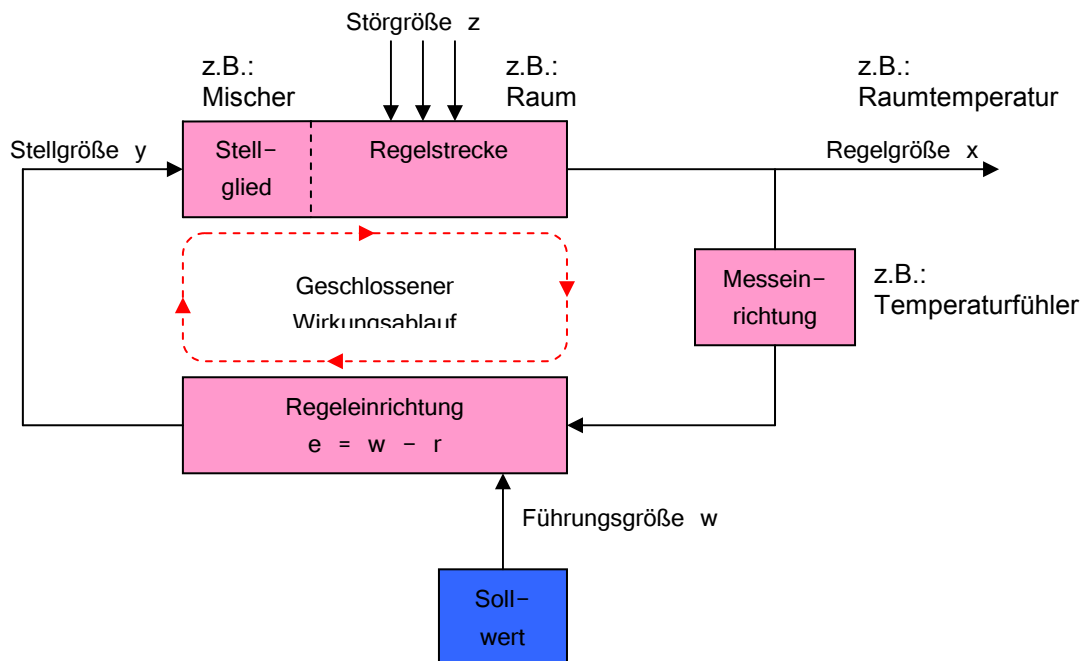
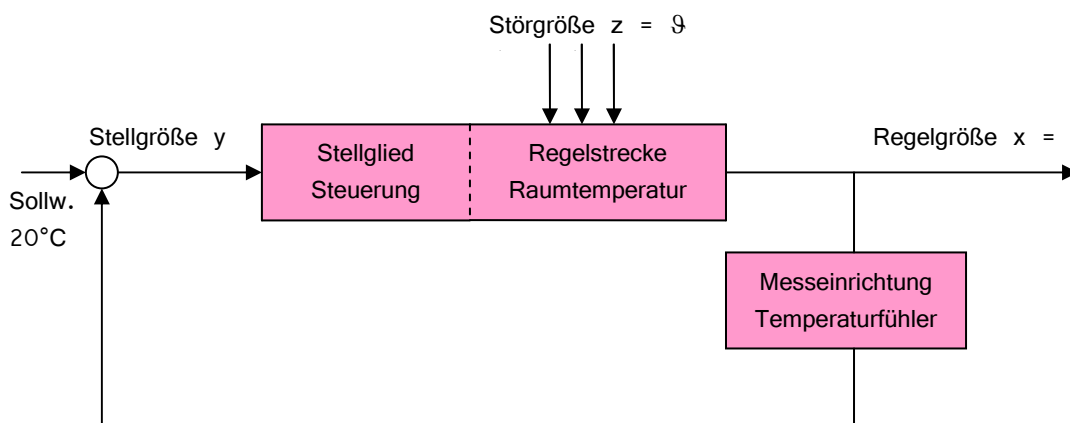


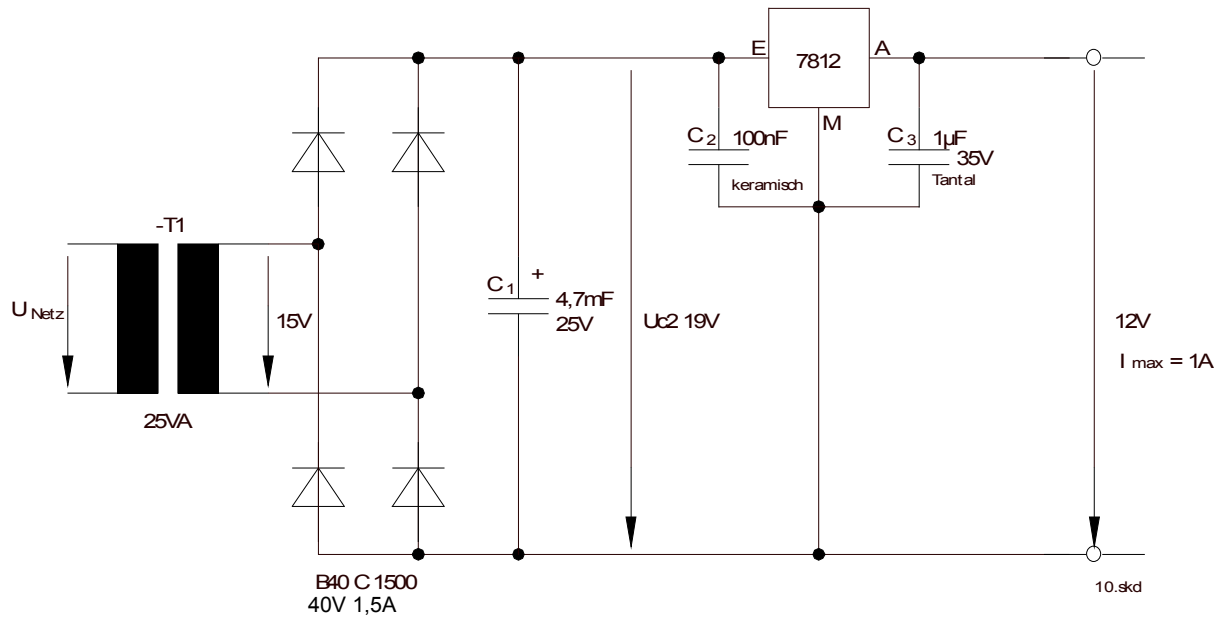
Bild 8

Aufgabe 1:

Entwerfen Sie das Blockschaltbild einer Raumtemperaturregelung (Sollwert 20°C).

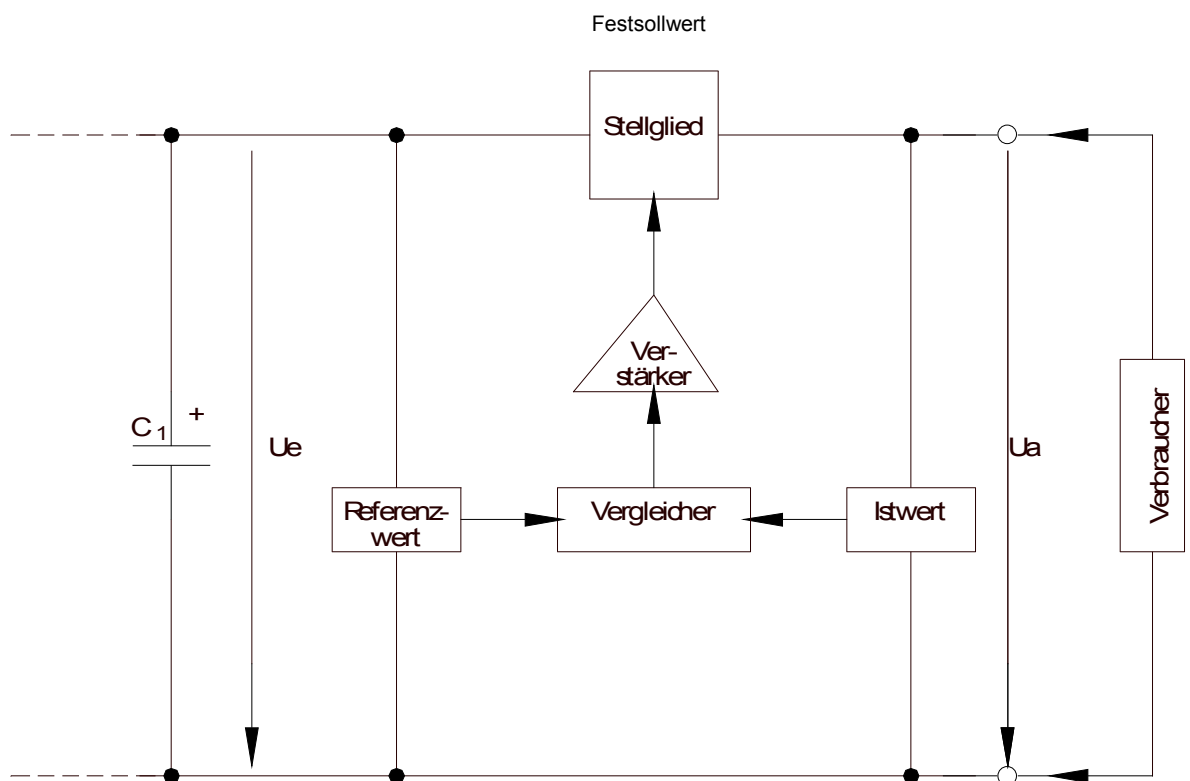


Beispiel Regelstrecke:



+12V Netzteil mit stabilisierter Ausgangsspannung

Bild 9



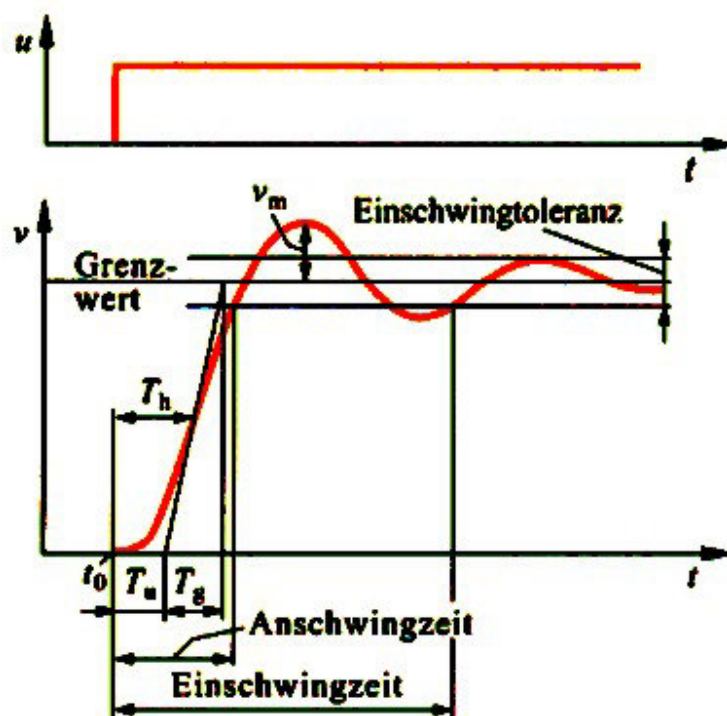
Regelschaltung, Blockschaltplan

Bild 9.1

Zeitverhalten von Regelkreiselementen

Damit Regelstrecken und Regeleinrichtungen bestmöglich zusammenarbeiten, muss das zeitliche Verhalten der einzelnen Regelkreis-Elementen bekannt sein. Um dieses Zeitverhalten zu ermitteln, gibt es verschiedene Möglichkeiten.

➤ Sprungantwort:



Verzugszeit T_u	Bestimmt durch den Punkt t_0 und den Schnittpunkt der ersten Wendetangente mit der Zeitachse.
Ausgleichszeit T_g	Ist bestimmt durch die Schnittpunkte der ersten Wendetangente mit der Zeitachse und der Abszissenparallele durch den Grenzwert.
Halbwertszeit T_h	Sie endet, wenn die Sprungantwort erstmalig den halben Grenzwert erreicht

Anschwingzeit	Sie vergeht vom Zeitpunkt t_0 an bis die Sprungantwort erstmalig eine der Grenzen der Einschwingtoleranz überschreitet.
Einschwingzeit	Ist beendet, wenn die Sprungantwort erstmalig eine der Grenzen der Einschwingtoleranz überschreitet.
Einschwingtoleranz	Ist die Differenz der zulässigen größten und kleinsten Abweichung der Sprungantwort vom Grenzwert.
Überschwingweite V_m	Gibt die maximale Abweichung der Sprungantwort vom Grenzwert nach dem erstmaligen Überschreiten einer der Grenzen der Einschwingtoleranz an.

Die Eingangsgröße wird sprunghaft verändert. Der sich dadurch ergebende zeitliche Verlauf der Ausgangsgröße wird Sprungantwort genannt.

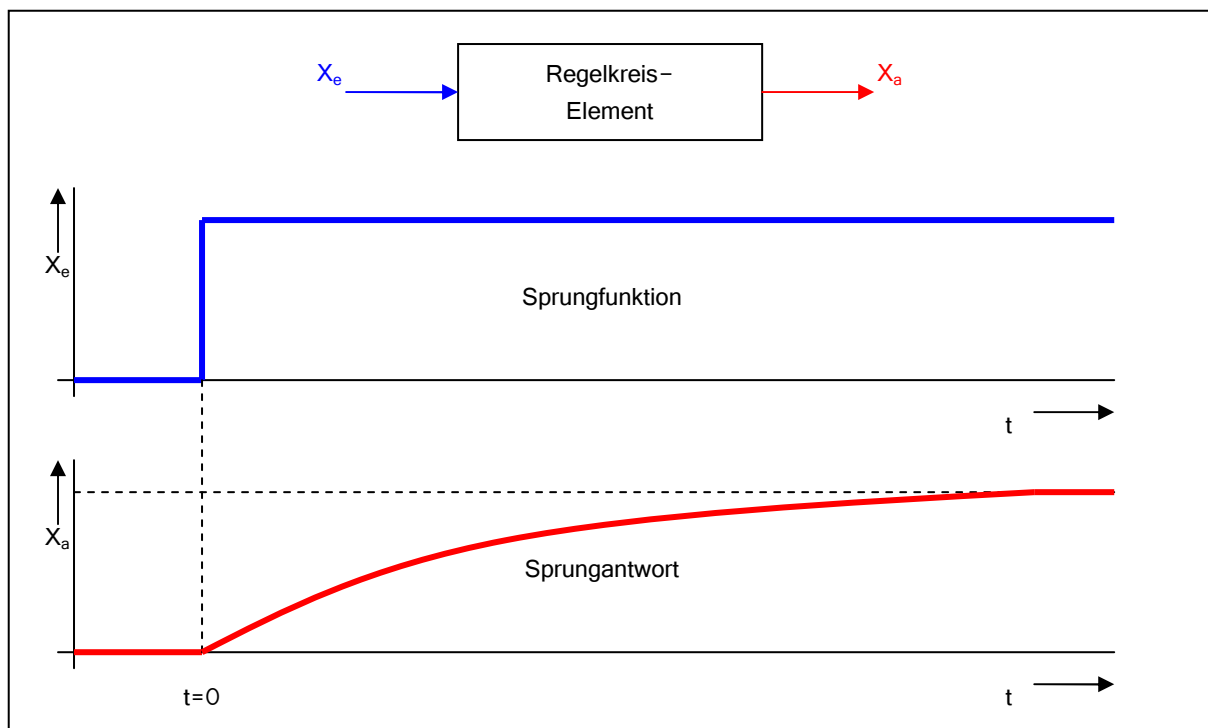


Bild 10

Zum Zeitpunkt $t = 0$ ändert sich die Eingangsgröße X_e sprunghaft. Die Ausgangsgröße X_a ändert sich entsprechend dem Regelkreis-Element eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten.

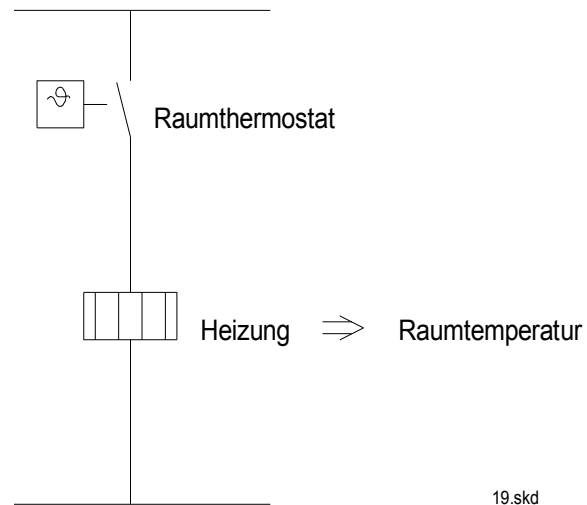


Bild 10.1

➤ **Anstiegsantwort:**

Die Eingangsgröße ändert sich mit definierter Änderungsgeschwindigkeit $\Delta X_e / \Delta t$. Der sich dadurch ergebende zeitliche Verlauf der Ausgangsgröße ist die Anstiegsantwort.

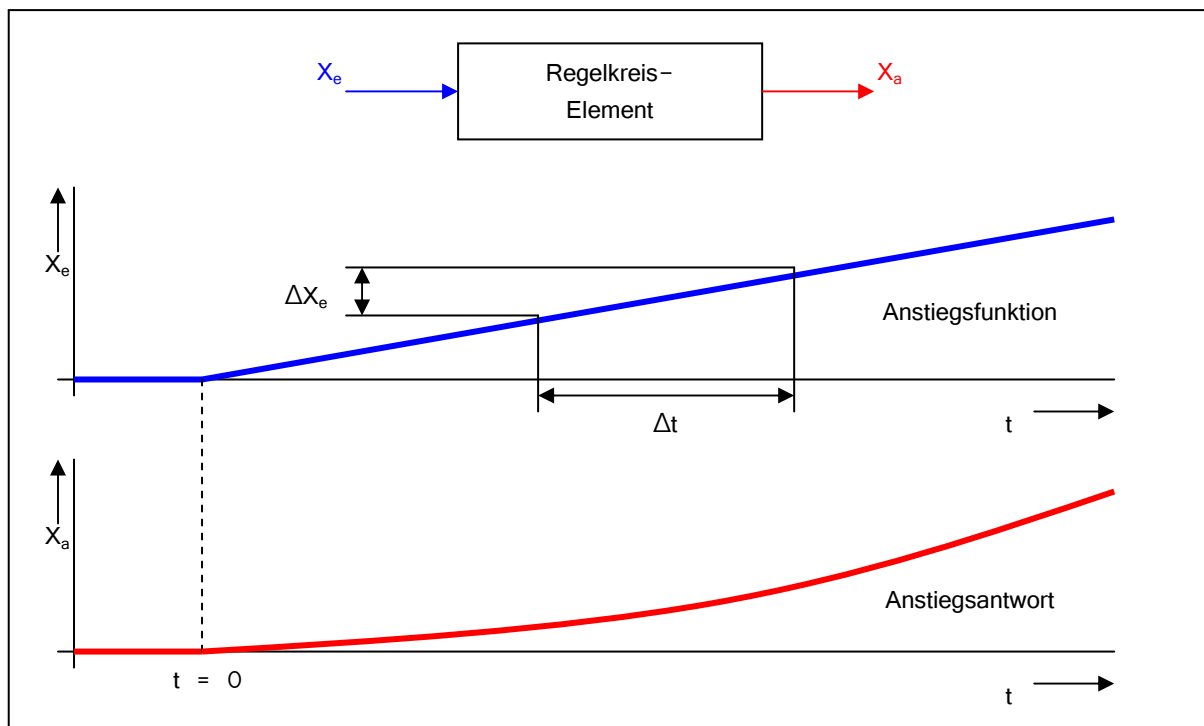
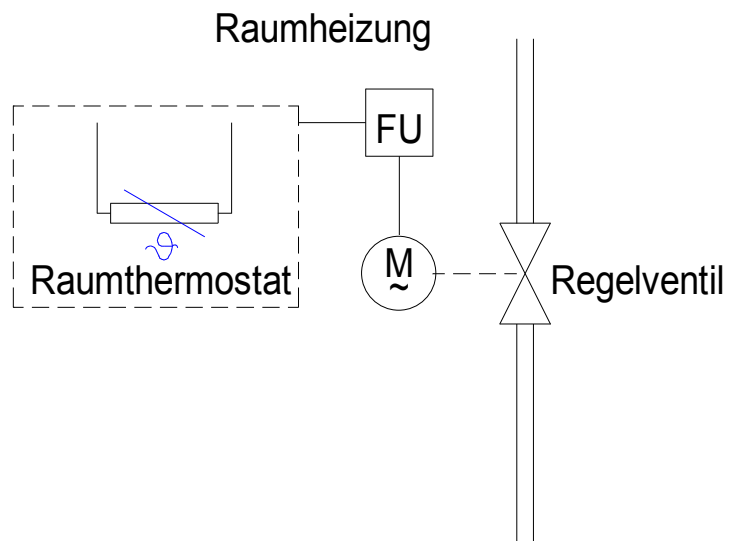


Bild 11

Bei der Anstiegsantwort ist der zeitliche Verlauf der Ausgangsgröße v bei einer Anstiegsfunktion mit bestimmter Änderungsgeschwindigkeit d_u/d_t als Eingangsgröße.



20.skd

Bild 11.1

➤ **Impulsantwort:**

Eine Impulsförmige Änderung der Eingangsgröße ruft am Ausgang die Impulsantwort hervor.

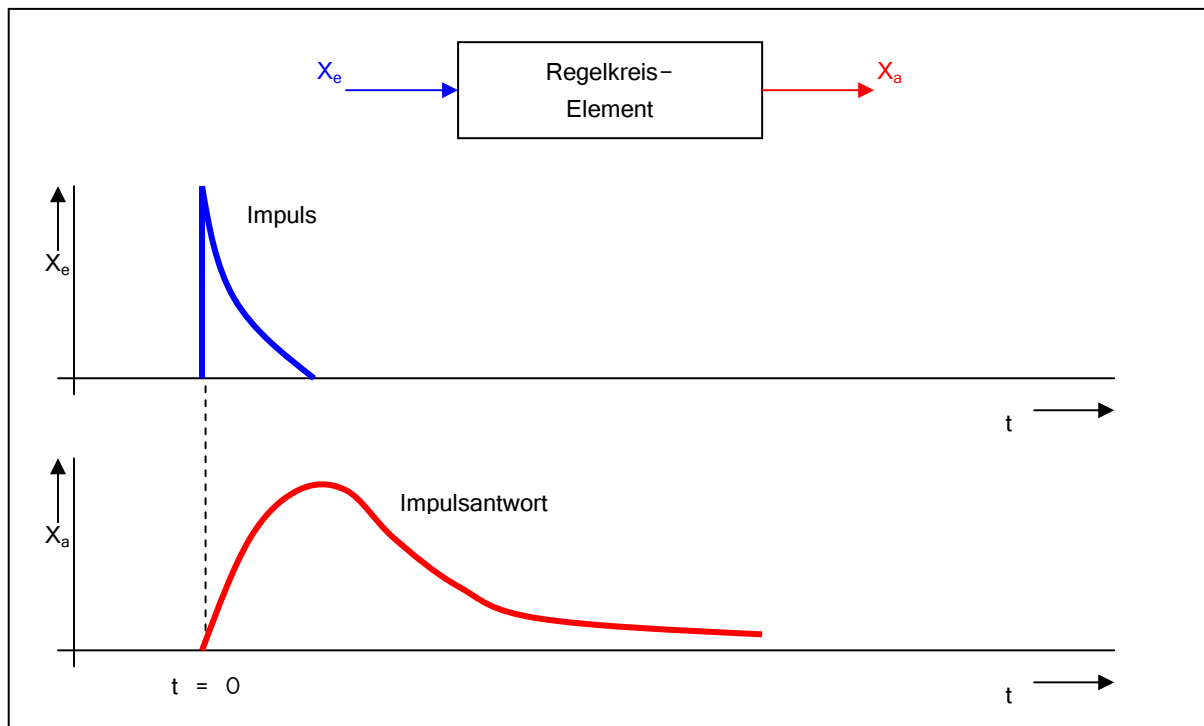


Bild 12

Das Impulsantwortverfahren wird nur selten angewandt. Theoretisch soll die Impulsfunktion ein Nadelimpuls sein. Praktisch ist es jedoch ausreichend, wenn die Impulsdauer klein gegenüber den Verzögerungen des Systems ist.

Grundtypen von Regelkreiselementen

Jeder Regelkreis besteht aus einer unterschiedlichen Anzahl von Regelkreis- Elementen. Je nach Funktionsweise verändern diese das jeweilige Eingangssignal zu einem ganz bestimmten Ausgangssignal.

Zur Beurteilung der Wirkungsweise eines Regelkreises ist die Kenntnis der Funktion der einzelnen Elemente wichtig. Die Regelkreis- Elemente können dabei bestimmten Grundtypen zugeordnet sein.

Proportional-Glied (P-Glied)

Beim P-Glied ist die Ausgangsgröße x_a und Eingangsgröße x_e durch einen konstanten Faktor miteinander verknüpft; x_a und x_e sind einander proportional.

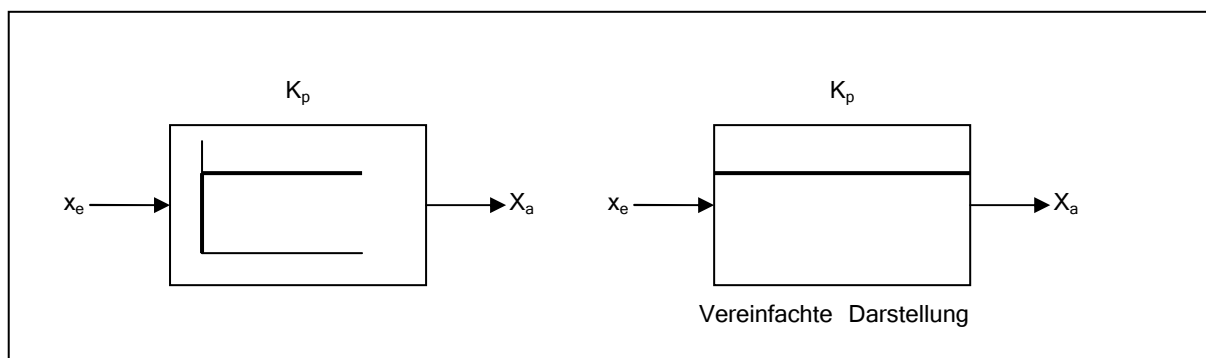


Bild 14

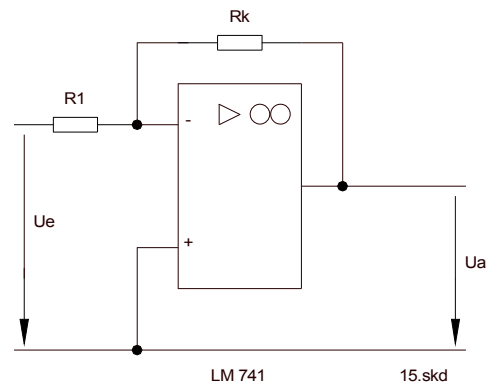
P-Glied in Blockdarstellung

K_p Proportionalitätsbeiwert; der Index „p“ verdeutlicht die Zugehörigkeit zum P-Glied.

Es gilt:

$$\Delta x_a = K_p \cdot \Delta x_e$$

Der konstante Faktor wird Proportionalbeiwert (K_p) genannt.



Beispiel: Hebel

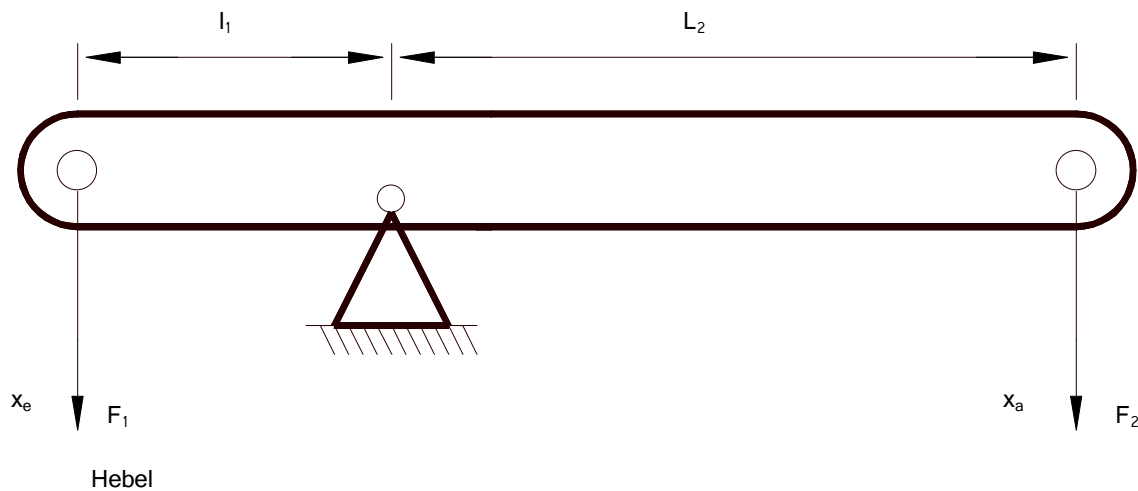
Der Hebel ist ein Beispiel für ein P-Glied ohne Zeitverzögerung.

Für den Proportionalbeiwert gilt:

$$K_P = \frac{\Delta x_a}{\Delta x_e} = \frac{x_a}{x_e}$$

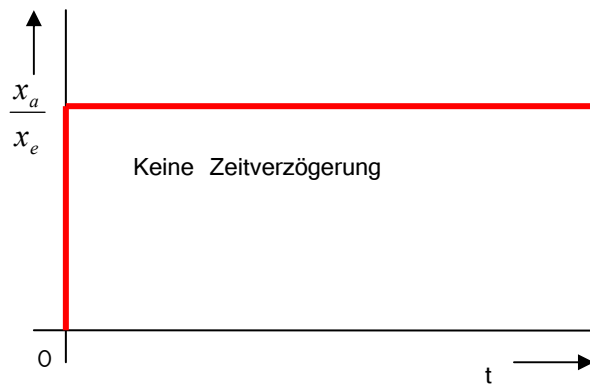
$$K_P = \frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2}$$

Da x_e und x_a beide die Einheit N haben, hat K_P die Einheit 1.



12.skd

Bild 15

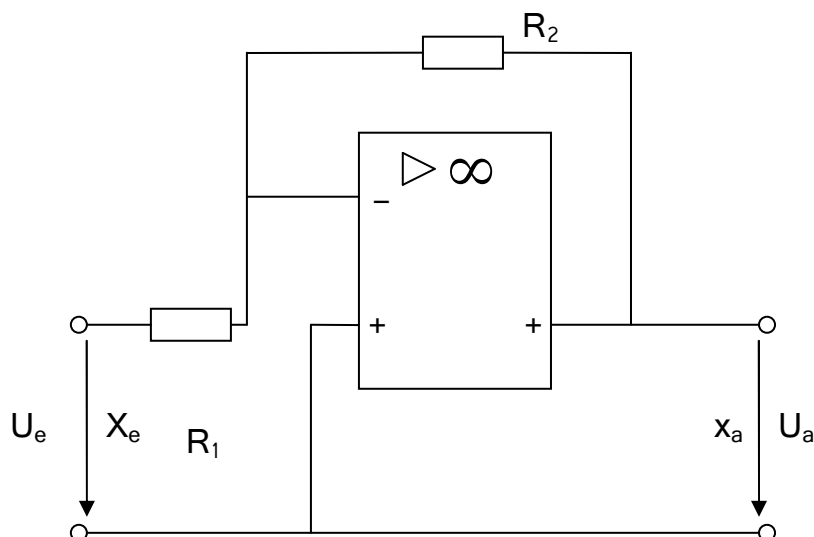


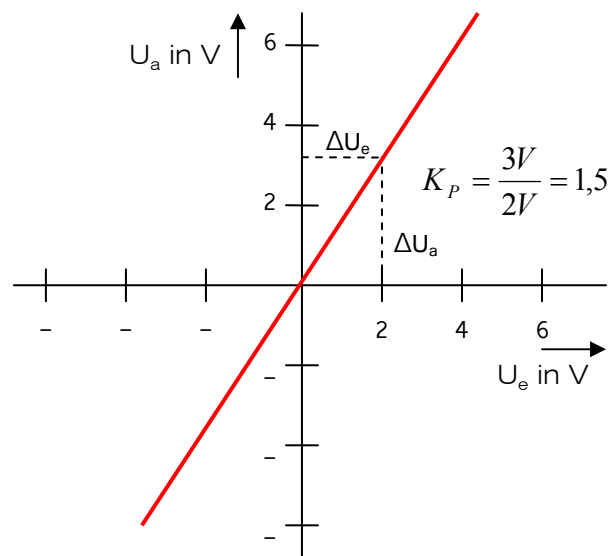
Beispiel: Verstärker

Der Proportionalitätsbeiwert entspricht der Verstärkung.

$$K_p = \frac{\Delta x_a}{\Delta x_e} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e}$$

$$K_p = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$





Integral-Glied (I-Glied)

Die Ausgangsgröße ist eine linear mit der Zeit ansteigende Gerade. Sie hängt von der Eingangsgröße und von der Zeit ab, während der die Eingangsgröße anliegt.

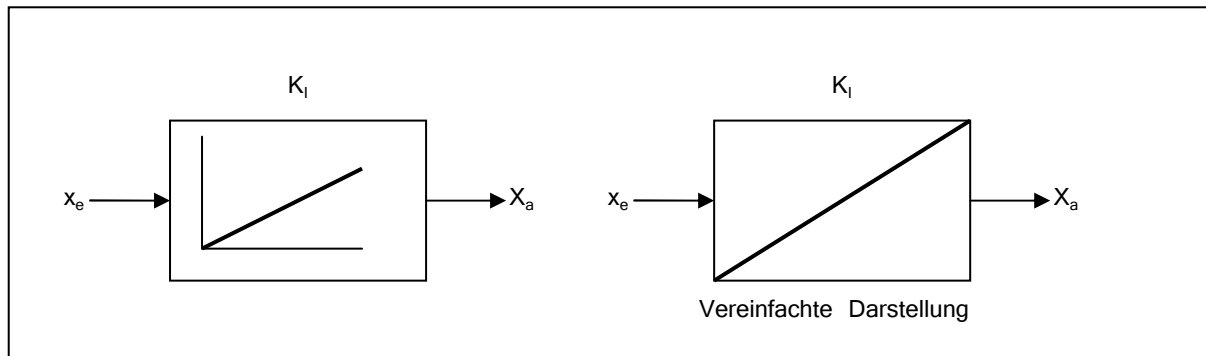


Bild 15

I-Glied in Blockdarstellung

Die Sprungantwort (Bild 16) verdeutlicht, dass die Ausgangsgröße x_a mit fortlaufender Zeit größere Werte annimmt.

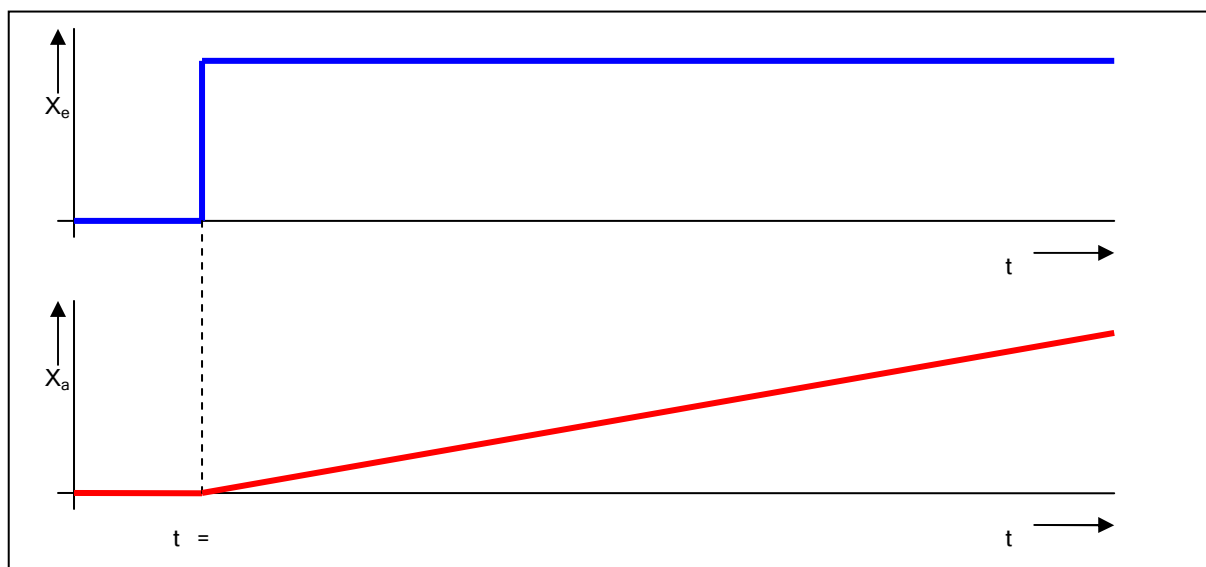


Bild 16

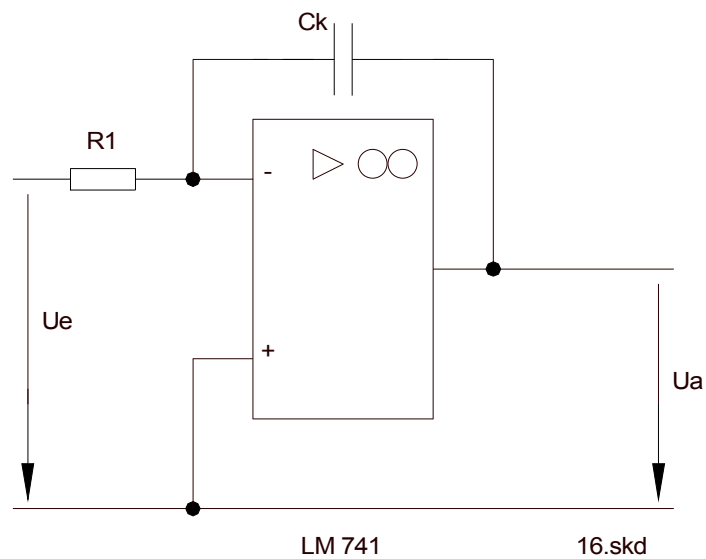
I-Glied Sprungantwort

Es gilt die Gleichung

$$x_a = K_I \cdot x_e \cdot t$$

Dabei ist K_I der Integrierbeiwert des I-Gliedes. Je größer K_I , desto größer ist die Steigung $\Delta x_a / \Delta t$ der Sprungantwort.

Integral-Regler (I-Glied):



Die Bezeichnung Integration entstammt der Mathematik. Etwas vereinfachend gesagt, ist damit die Aufsummierung von Flächeninhalten unter einer Kurve gemeint. Genauso ist es auch beim I-Glied zu sehen:

Der Wert der Ausgangsgröße x_a zu einem bestimmten Zeitpunkt t ist ein Maß für den Flächeninhalt unter der Kurve des Eingangssignals bis zu diesem Zeitpunkt t .

Bild 17 verdeutlicht dies.

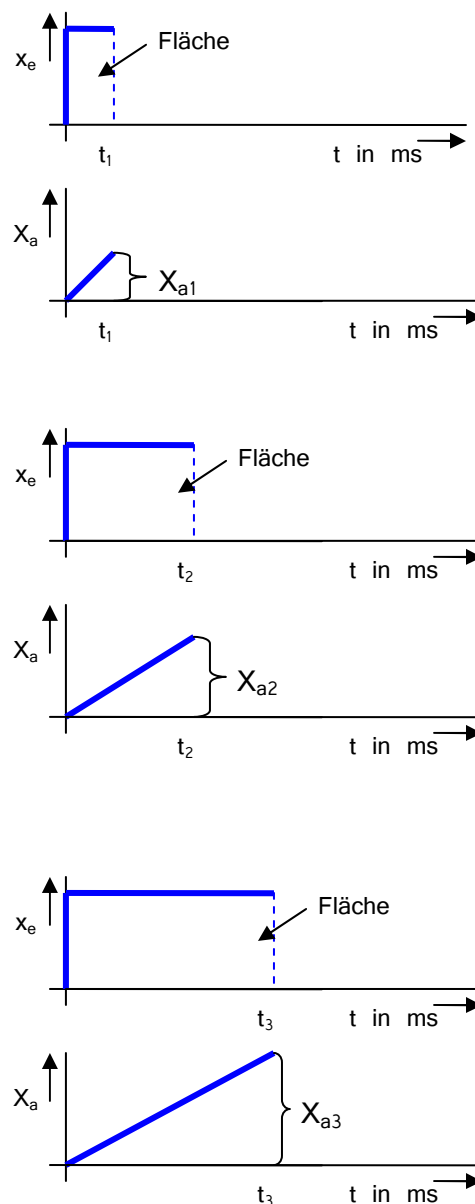


Bild 17

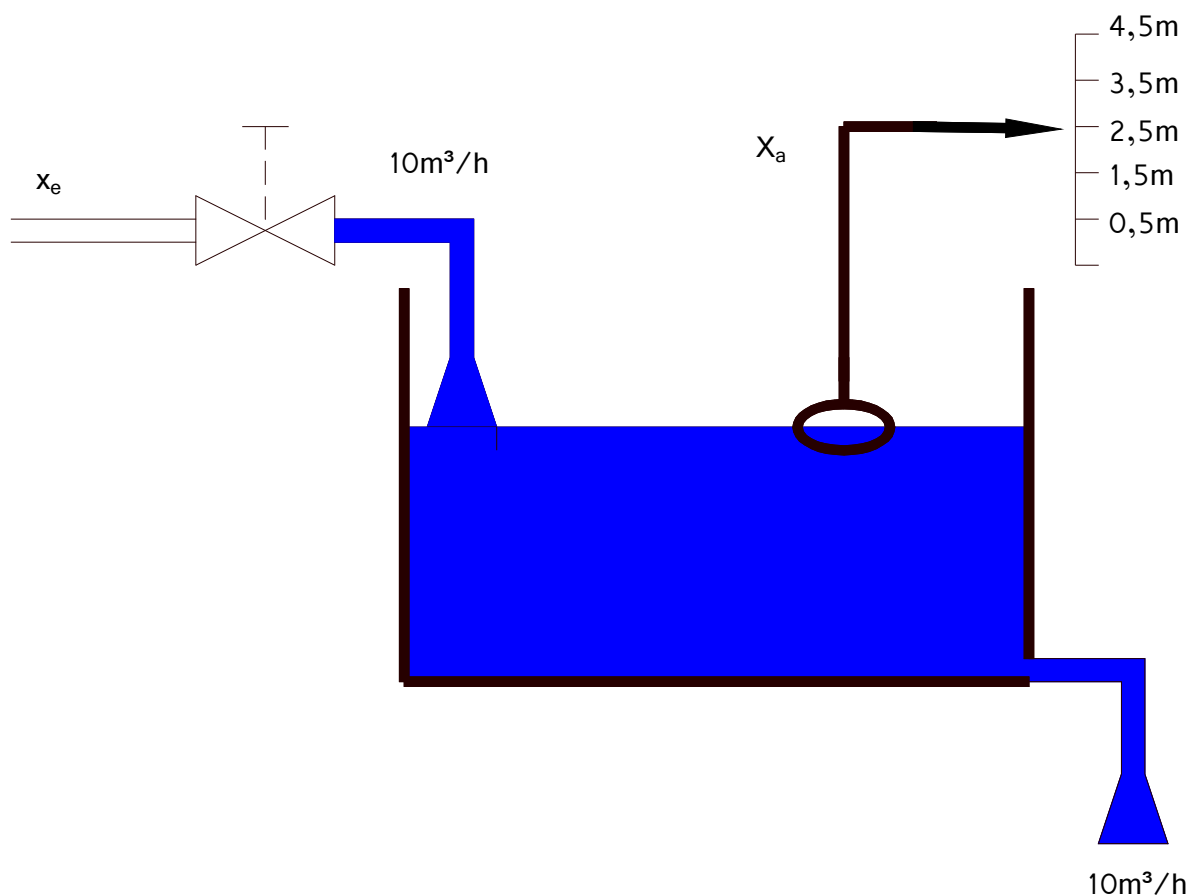
Integration: lat.: Wiederherstellung einer Einheit, Vervollständigung.

Beispiel: Niveauregulierung

Die Eingangsgröße ist der Wasserzufluss, die Ausgangsgröße der Flüssigkeitsstand (das Niveau) im Behälter.

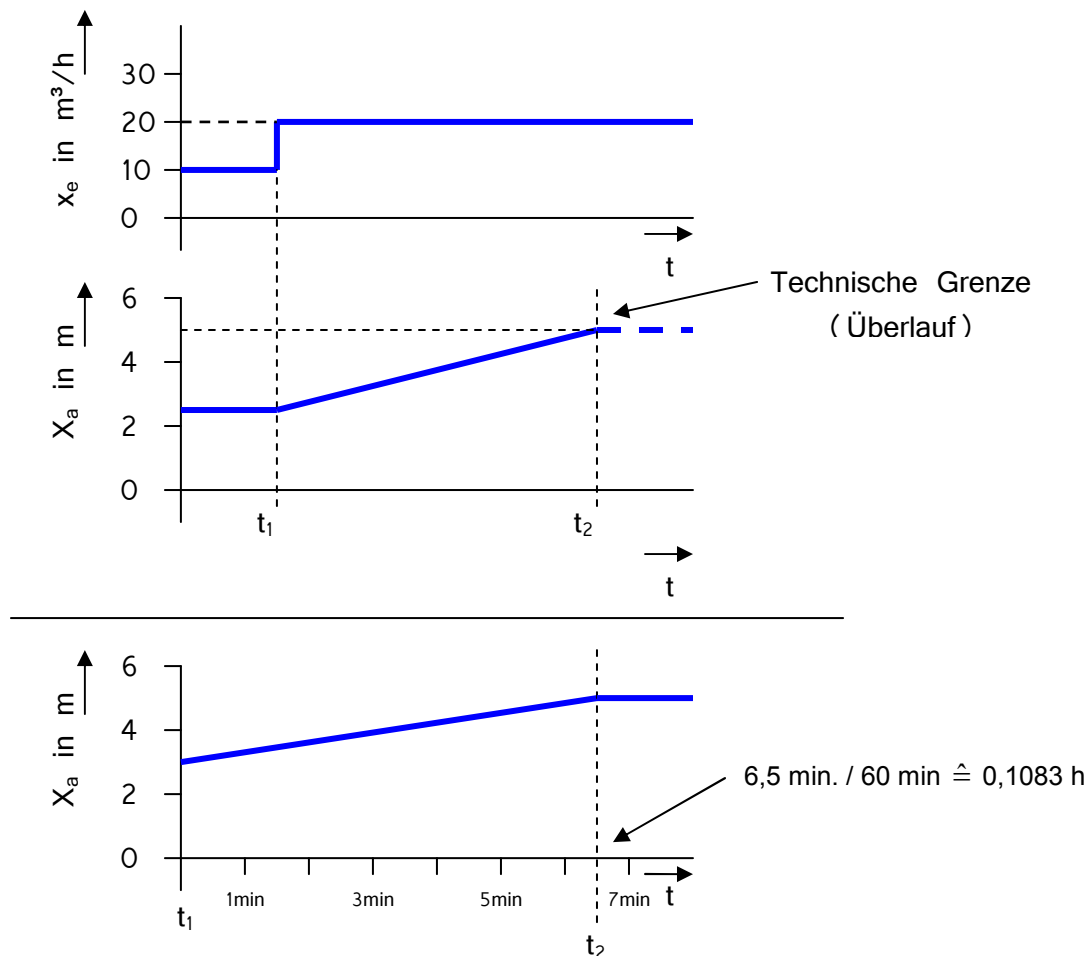
Solange $10\text{m}^3/\text{h}$ zufließen und $10\text{m}^3/\text{h}$ abfließen, bleibt der Flüssigkeitsstand konstant. Er soll dann $2,5\text{m}$ betragen.

Wird nun der Zufluss zum Zeitpunkt t_1 auf $20\text{m}^3/\text{h}$ erhöht, ohne dass sich der Abfluss ändert, nimmt der Wasserstand linear mit der Zeit zu. Zum Zeitpunkt t_2 ist die technologische Grenze erreicht, der Behälter läuft über.



13.skd

Bild 18

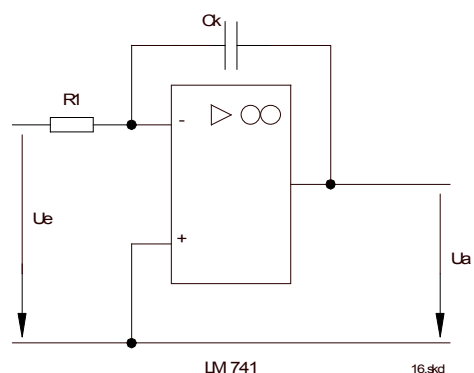


Integrationsbeiwert K_I bestimmen:

$$x_a = K_I \cdot x_e \cdot t \text{ in } h$$

$$K_I = \frac{x_a}{x_e \cdot t} = \frac{\Delta x_a}{\Delta x_e \cdot t}$$

$$K_I = \frac{5\text{m} - 2,5\text{m}}{\left(20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} - 10 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \cdot 0,1083\text{h}} = 2,31 \frac{1}{\text{m}^2}$$



Der Wert $K_I = 2,31 \text{ 1/m}^2$ besagt, dass sich der Füllstand des Behälters in 1 Stunde um 2,31m ändert, wenn x_e 20 m^3/h beträgt. Damit wird deutlich, dass K_I vom Behälterquerschnitt abhängig ist.

Differenzier-Glied (D-Glied)

Beim D-Glied ist die Ausgangsgröße von der Änderungsgeschwindigkeit der Eingangsgröße abhängig.

$$x_a = K_D \cdot \frac{\Delta x_e}{\Delta t}$$

Bei konstanter Änderungsgeschwindigkeit des Eingangssignals ist das Ausgangssignal konstant. Eine einmalige sprungförmige Änderung am Eingang ruft am Ausgang einen Nadelimpuls hervor.

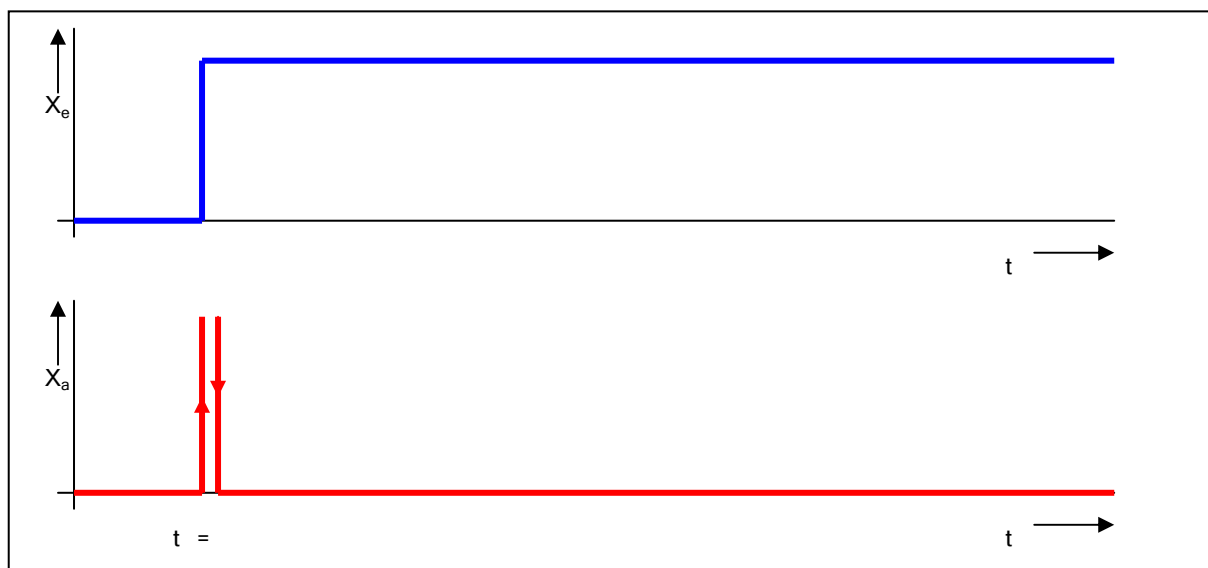
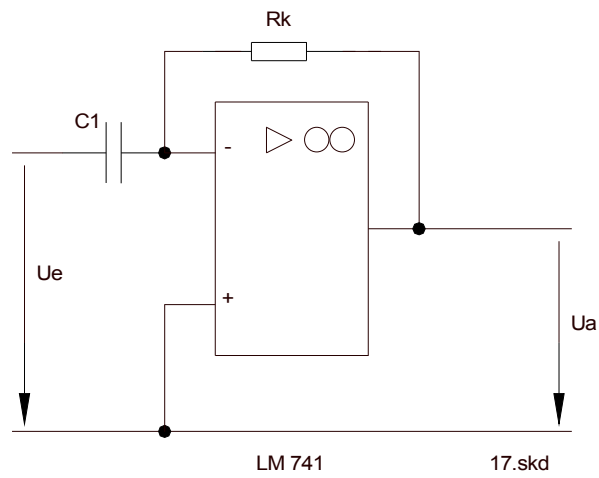


Bild 19

D-Glied Sprungantwort



Je größer und je schneller die Änderung des Eingangssignals ist, desto größer wird die Amplitude des Ausgangs-Nadelimpulses. Zur Darstellung des Zeitverhaltens eines D-Gliedes eignet sich die Anstiegsantwort besser als die Sprungantwort. Die Größe des Ausgangssignals ist abhängig von der Steigung des Eingangssignals $\Delta x_e / \Delta t$ und vom Differenzierbeiwert K_D

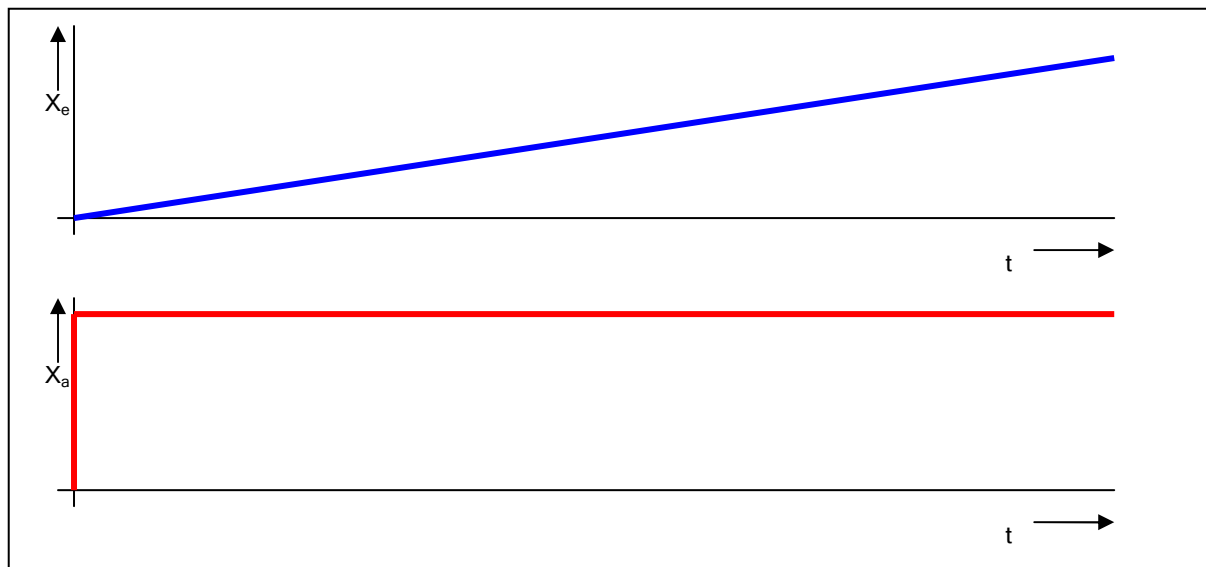


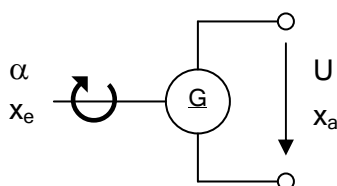
Bild 20

D-Glied Anstiegsantwort

Das D-Glied in idealer Form kommt in der Praxis nicht vor. Stets wird die Amplitude des Nadelimpulses auf einen endlichen Wert begrenzt.

Beispiel: Tachogenerator

Eine sprunghafte Winkelverstellung der Tachowelle bewirkt im Augenblick der Verstellung eine hohe Ausgangsspannung. Ohne Verstellung ist die Ausgangsspannung Null. Dieses Verhalten wird durch die Sprungantwort deutlich.



Auch die Anstiegsantwort kann am Beispiel Tachogenerator verdeutlicht werden. Ändert sich der Drehwinkel α kontinuierlich mit der Zeit, gibt der Generator eine zeitlich konstante Spannung ab. Natürlich ist die abgegebene Spannung auch von den konstruktiven Daten des Tachogenerators abhängig (Windungszahl usw.). Dies wird durch den Differenzierbeiwert K_D berücksichtigt.

Totzeit- Glied

Beim Totzeit- Glied tritt am Ausgang die gleiche Sprungfunktion wie am Eingang zeitversetzt auf. Bild 21 zeigt die Sprungantwort. Die Ausgangsgröße x_a hat den gleichen Wert wie die Eingangsgröße x_e .

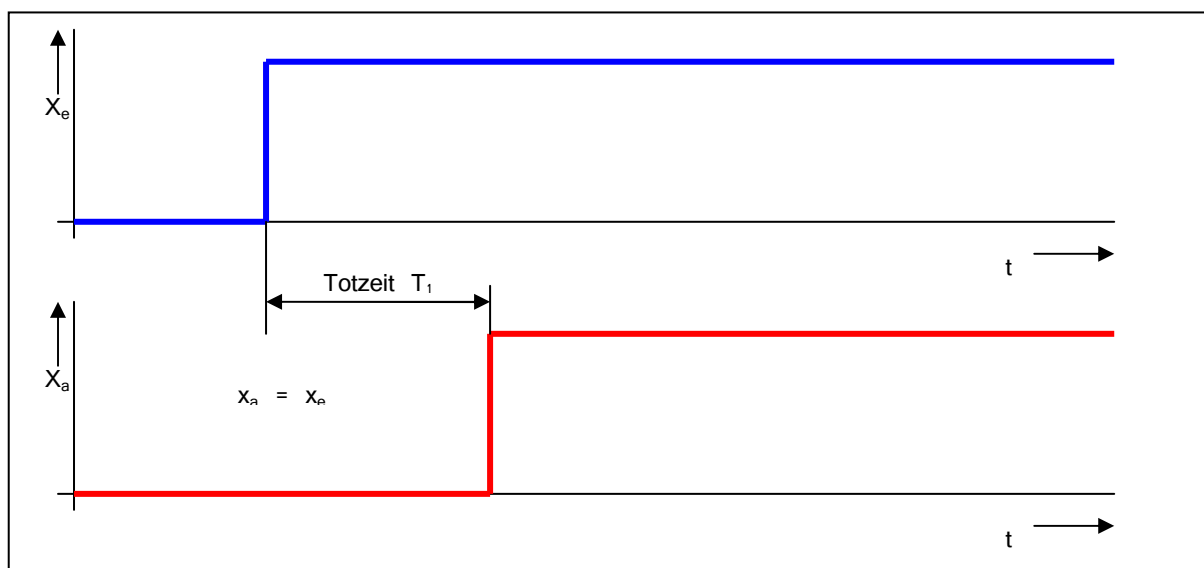


Bild 21

Totzeit- Glied Anstiegsantwort

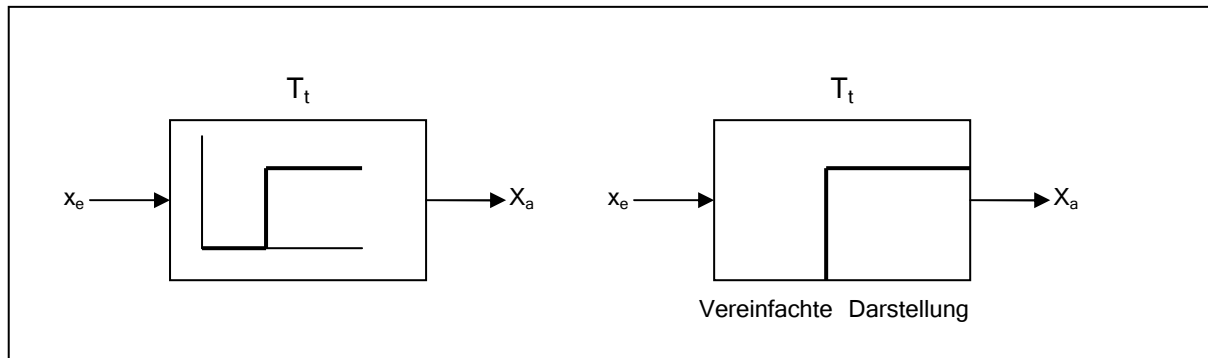
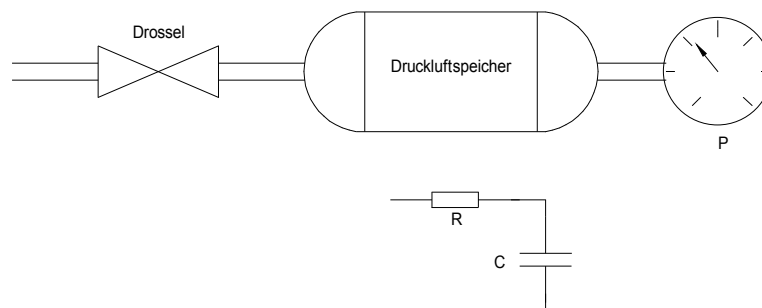


Bild 22

Totzeit- Glied in Blockdarstellung

Bsp.:



20.skd

Beispiel: Förderband

Wenn auf ein Förderband aufgegebene Schüttgutmenge sprunghaft verändert wird, ändert sich die je Zeiteinheit abgegebene Menge erst nach Ablauf der Totzeit T_t ebenfalls sprunghaft.

Vereinfacht gesagt: es wird immer dieselbe Menge vom Förderband abgegeben wie aufgeschüttet wurde jedoch Zeitversetzt.

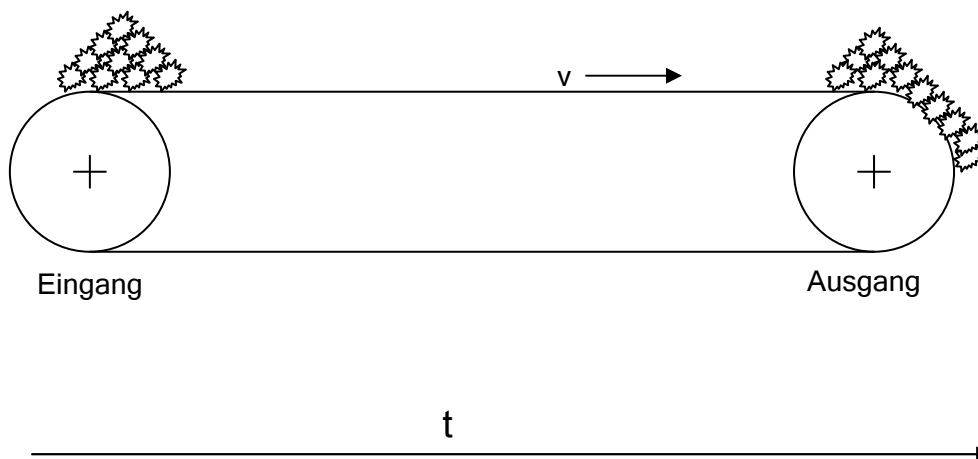


Bild 23

Regelung

Kennzeichnend ist der geschlossene Wirkungsablauf, bei dem sich die Regelgröße fortlaufend selbst beeinflusst. Regeln bedeutet: Messen, vergleichen, steuern.

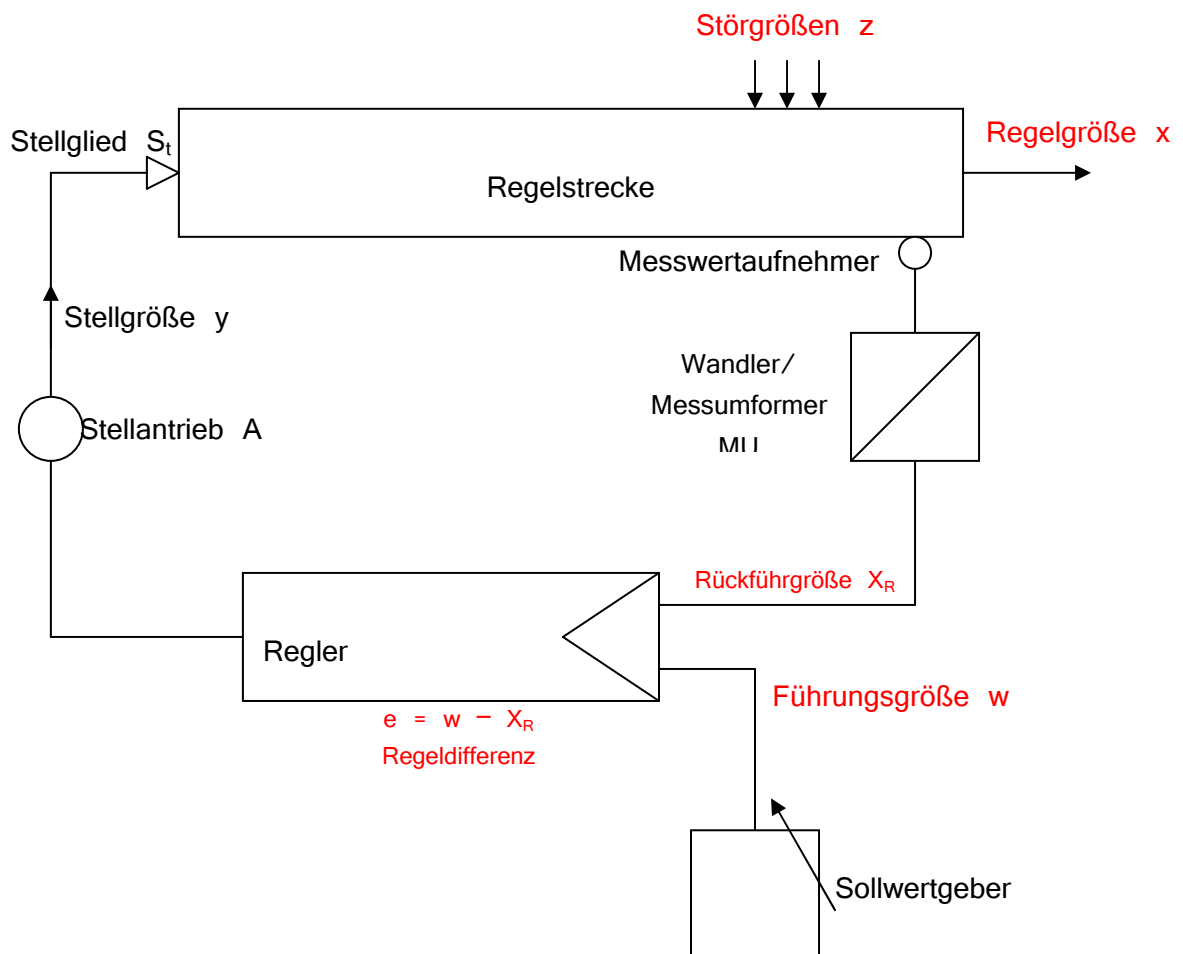


Bild 24

Führungsgröße w und Regelgröße x werden miteinander verglichen. Vergleichsergebnis ist die Regeldifferenz:

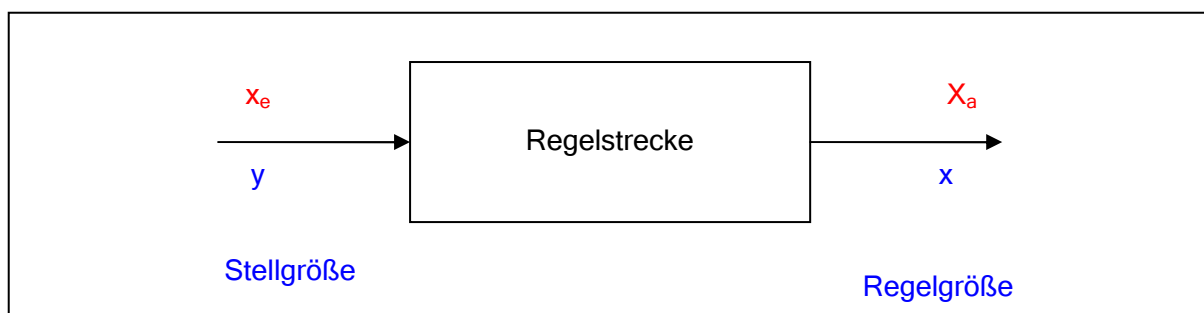
$$\text{Regeldifferenz } e = \text{Führungsgröße } w - \text{Rückführgröße } r$$

Die Regeleinrichtung hat die Aufgabe, die Auswirkung der Störgrößen so gering wie möglich zu halten.

Ist bei der Regelung ein menschlicher Eingriff erforderlich, spricht man von Handregelung oder nichtselbsttätiger Regelung. Ist ein menschlicher Eingriff nicht notwendig, spricht man von einer selbsttätigen Regelung.

Regelstrecke ohne Ausgleich

Die Eingangsgröße x_e der Regelstrecke ist die Stellgröße y , die Ausgangsgröße x_a ist die Regelgröße x .



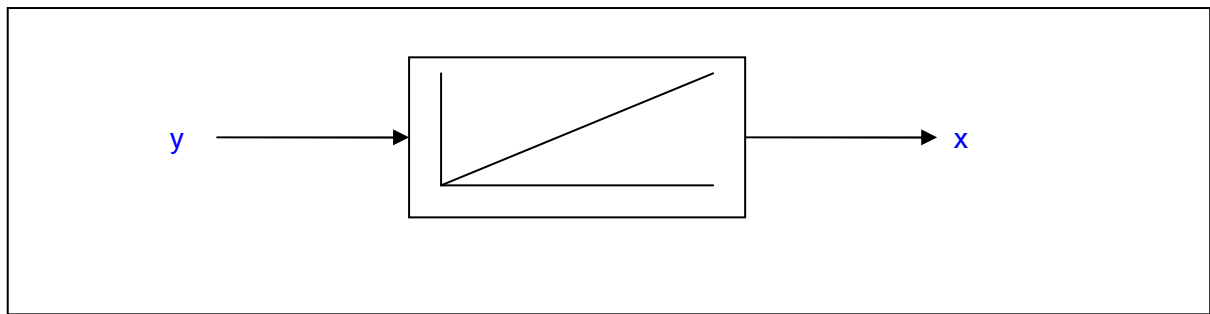
Regelstrecke Blockdarstellung

Bei einer Regelstrecke ohne Ausgleich wird sich die Regelgröße bei Änderung der Stellgröße y oder bei Einwirkung von Störgrößen z solange ändern, bis ein technologisch vorbestimmter Grenzwert erreicht ist oder die Anlage sogar zerstört wird.

Ein Beispiel für die Regelstrecke ohne Ausgleich ist die des I- Gliedes auf der Seite 22 aufgeführte Niveauregelung. Wenn der Zufluss größer als der Abfluss ist nimmt der Wasserstand linear mit der Zeit zu. Ist die technologische Grenze erreicht läuft der Behälter über.

Abgesehen vom Überlauf, der Regelungstechnisch natürlich nicht so interessant ist stellt sich bei dieser Regelstrecke kein Ausgleich ein. Man sagt auch, es stellt sich kein neuer Beharrungszustand ein.

Der Beharrungszustand ist ein Ruhezustand, den die Regelgröße bei einer Stellgrößen- Änderung nach Ablauf einer bestimmten Zeit annimmt.



Regelstrecke ohne Ausgleich (I-Strecke)

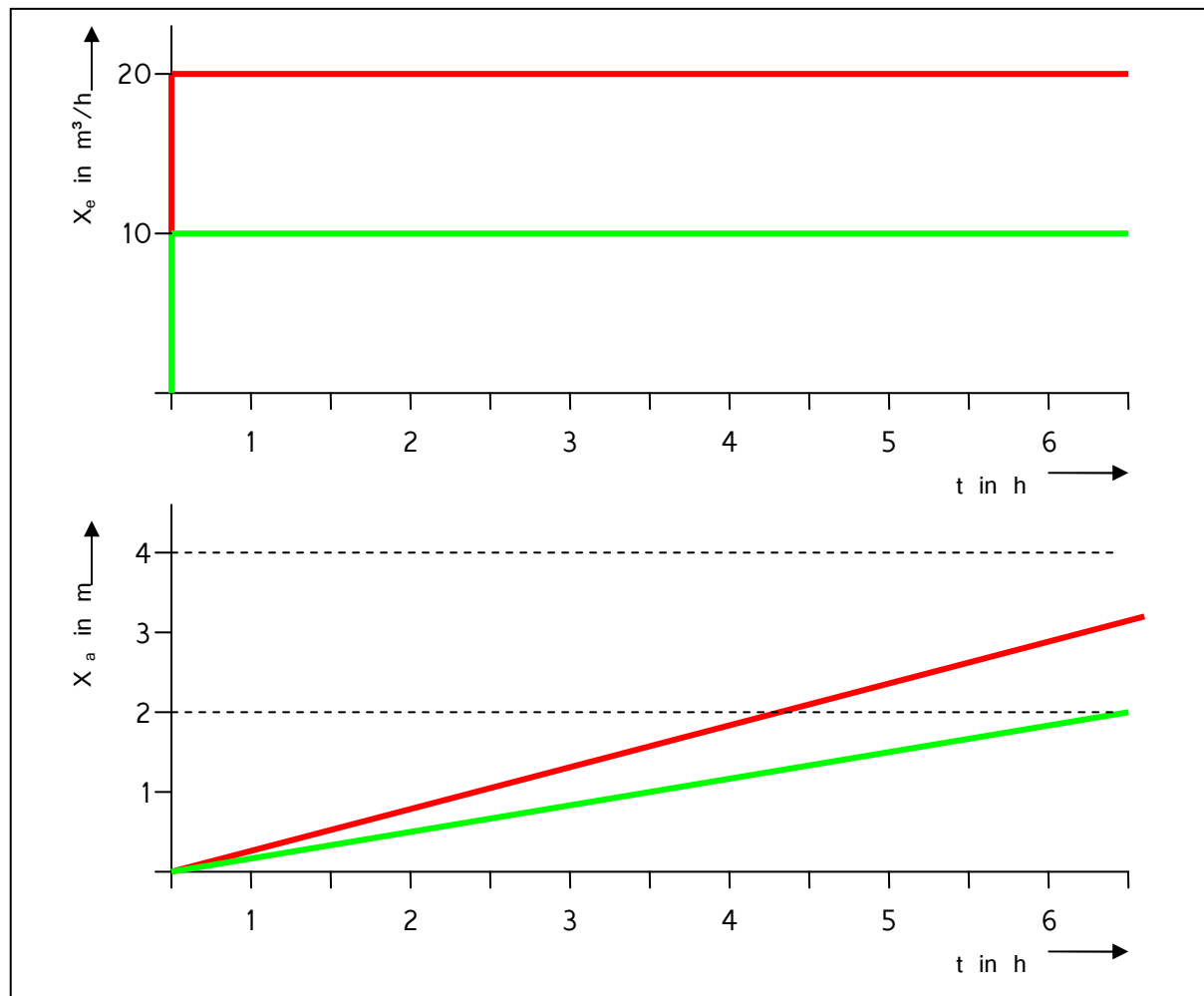
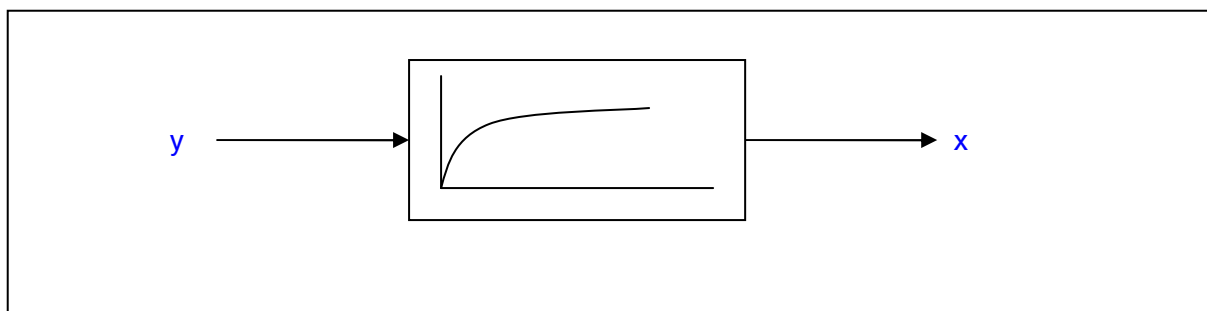


Bild 25

Sprungantwort Strecke ohne Ausgleich

Regelstrecken mit Ausgleich

Regelstrecken mit Ausgleich erreichen nach Änderung der Stellgröße oder nach Störgrößeneinfluss einen neuen Beharrungszustand. Bei Ausfall der Regeleinrichtung strebt die Regelgröße bei Strecken mit Ausgleich einem bestimmten Grenzwert zu. Es wird ein Gleichgewichtszustand, ein Ausgleich erreicht.



Regelstrecke mit Ausgleich Blockdarstellung

Regelstrecken mit Ausgleich stellen sich selbständig auf einen neuen Gleichgewichtszustand ein. Dadurch unterstützen Sie den Regelvorgang.

Beispiel:

Die Raumtemperatur wird mit Hilfe eines Thermostatventils geregelt, das den Wasserzufluss zum Heizkörper beeinflusst.

Wir nehmen an, dass bei Stellung „1“ des Ventils die Raumtemperatur 15 °C beträgt. Dieser Gleichgewichtszustand (Beharrungswert) hat sich unter Berücksichtigung der Störgrößen eingestellt.

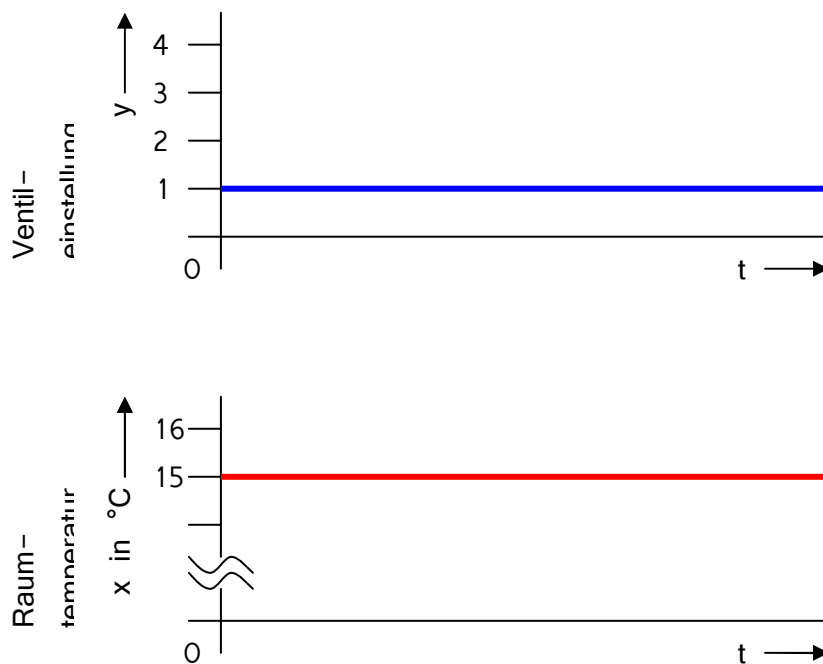


Bild 26

Wenn das Ventil nun auf Stellung „4“ gebracht wird, nimmt die Raumtemperatur infolge des erhöhten Wasserdurchflusses im Heizkörper zu.

Es wird angenommen, dass sie dem neuen Beharrungswert 20 °C zustrebt.

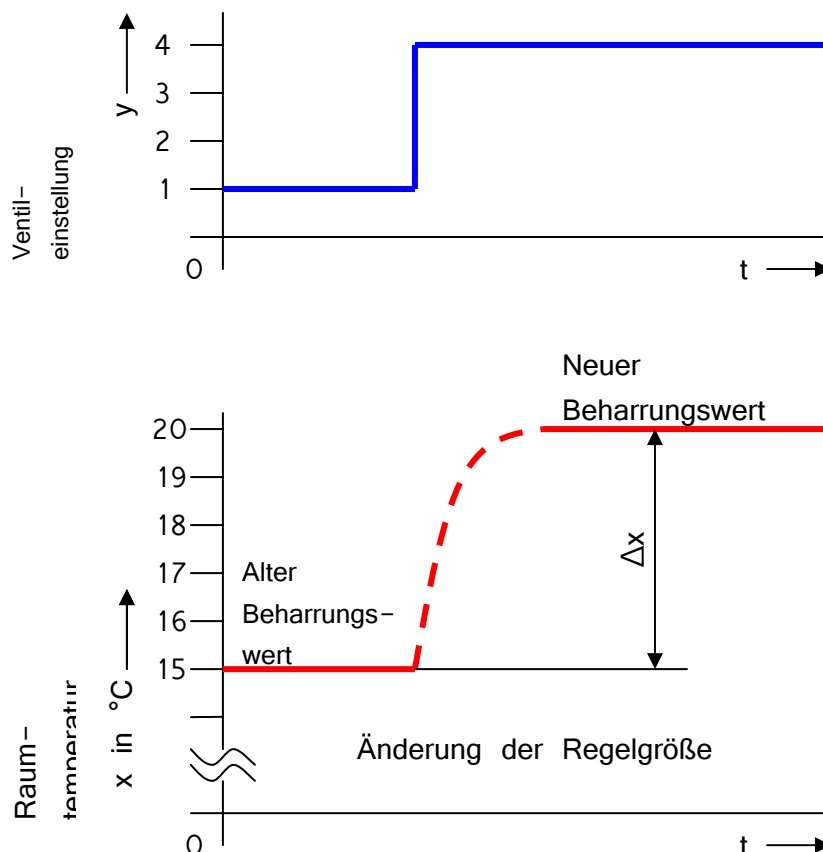


Bild 27

Die Änderung der Regelgröße x ist der Änderung der Stellgröße y proportional. Regelstrecken, bei denen dies gilt, werden Proportionalstrecken (P-Strecken) genannt.

Im Beharrungszustand stehen Regelgröße x und Stellgröße y in einem bestimmten Verhältnis zueinander.

Der Zusammenhang zwischen Regelgröße und Stellgröße im Beharrungszustand wird statisches Verhalten der Regelstrecke genannt.

Das Verhältnis von Regelgrößenänderung und Stellgrößenänderung nennt man Übertragungsbeiwert oder Proportionalitätsbeiwert K_S der Strecke.

Beispiel:

Beim vorangegangenen Beispiel ändert sich die Raumtemperatur von 15 °C auf 20 °C (also um 5 K), wenn die Ventileinstellung von Stufe 1 auf Stufe 4 verändert wird. Der Übertragungsbeiwert beträgt dann

$$K_s = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{5K}{3 \text{ Stufen}} = 1,67 \frac{K}{\text{Stufe}}$$

Man nennt diese Darstellung statische Kennlinie der Regelstrecke oder Regelkennlinie.

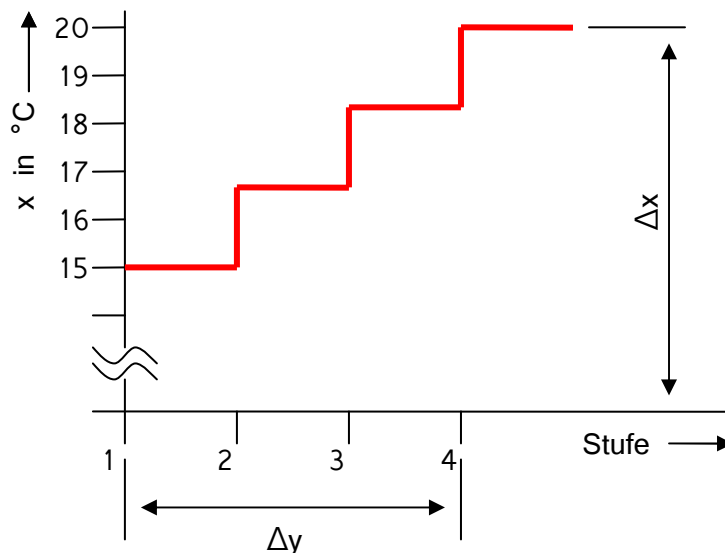


Bild 28

Da ein Thermostatventil jedoch stufenlos verstellt wird hat die Regelkennlinie ebenfalls einen stufenlosen Verlauf.

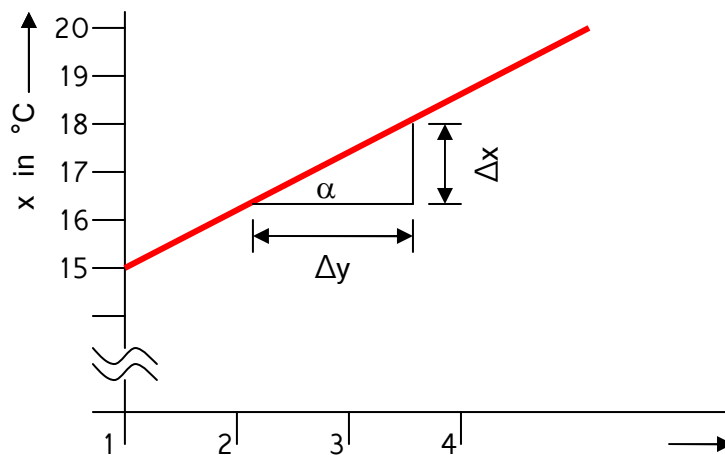


Bild 29

Stufenlose Regelung, Regelkennlinie

Die Steilheit

$$\tan \alpha = \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

der Regelkennlinie entspricht dem Übertragungsbeiwert K_S der Strecke. Allerdings gilt dies nur bei linearem Kennlinienverlauf, der in der Praxis zumeist nicht angenommen werden kann. Je mehr die Regelkennlinie von der linearen Form abweicht, desto schwieriger ist es für die Regeleinrichtung, Störungen schnell und stabil auszugleichen.

Bei einer Regelstrecke wird nach Änderung der Stellgröße die entsprechende Änderung der Regegröße erst Ablauf einer bestimmten Zeit erreichen. Der Grund hierfür ist das Speicherverhalten der Regelkreis- Elemente.

Daher werden Regelstrecken nach der Anzahl ihrer Speicher eingeteilt.

Regelstrecke ohne Speicher

Eine Stellgrößenänderung Δy bewirkt praktisch ohne Zeitverzögerung eine Regelgrößenänderung Δx . Die Sprungantwort hat die in Bild 30 gezeigte Form. Man spricht von einer Regelstrecke der 0. Ordnung.

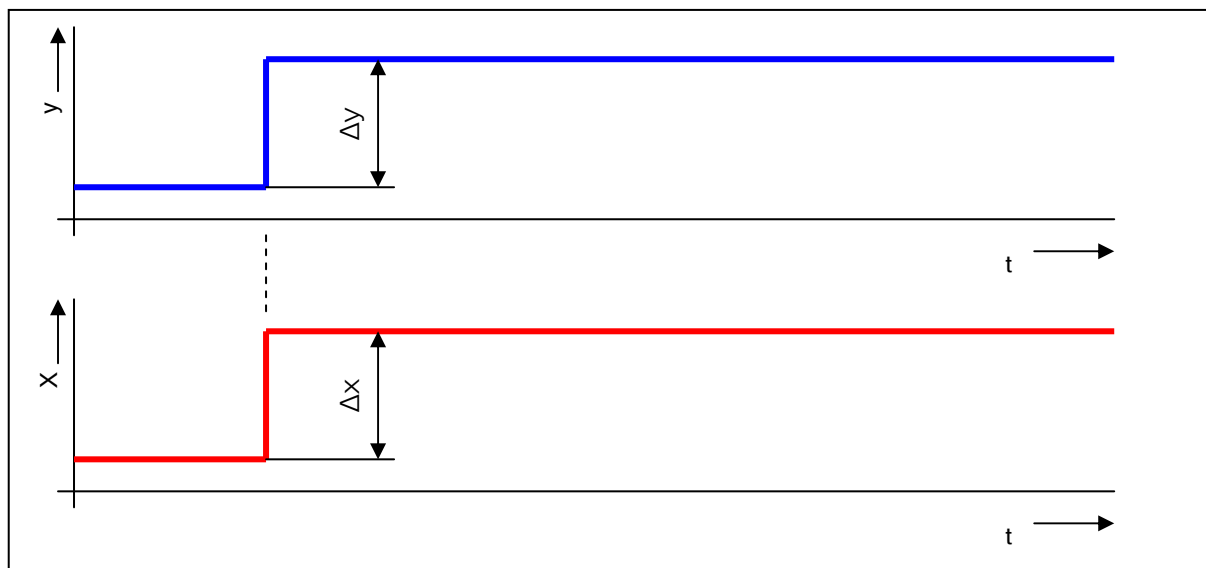


Bild 30

Regelstrecke ohne Speicher

Beispiel:

Der Kollektorstrom I_C eines Transistors in Emitterschaltung ändert sich praktisch ohne Verzögerung, wenn der Basisstrom I_B verändert wird.

Stellgröße: Basisstrom, Regelgröße: Kollektorstrom.

$$\Delta I_C \sim \Delta I_B$$

Regelstrecke mit einem Speicher

Bei Regelstrecken mit einem Speicher (Regelstrecke 1. Ordnung) ändert sich die Regelgröße x bei einer sprunghaften Änderung der Stellgröße y unverzüglich mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit.

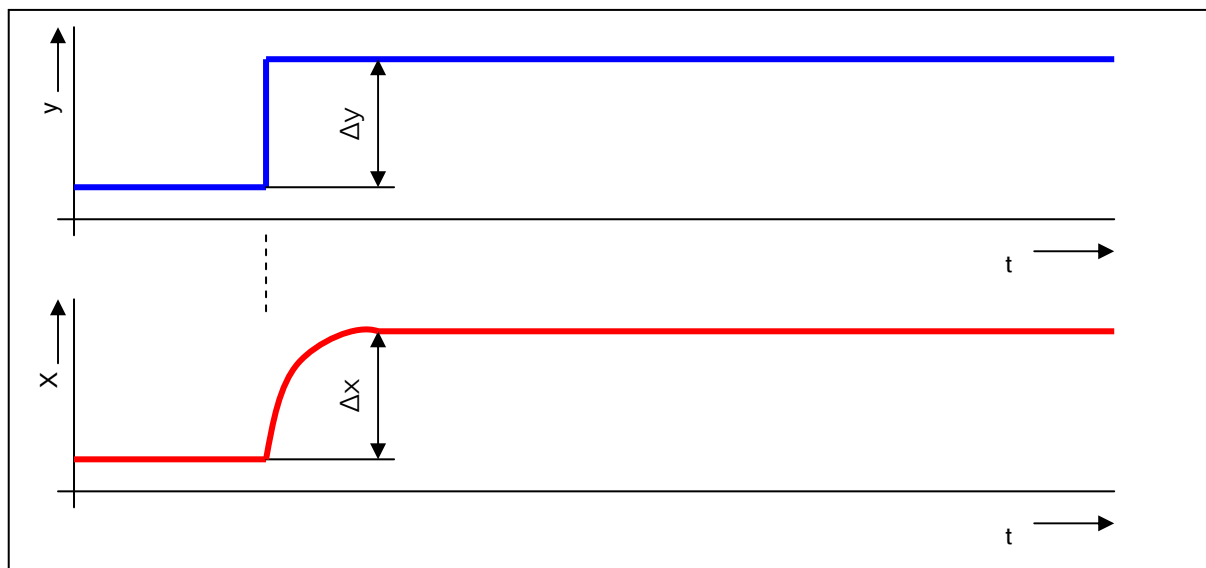


Bild 31

Regelstrecke mit einem Speicher

Mit zunehmender Zeit nimmt die Änderungsgeschwindigkeit $\Delta x / \Delta t$ der Regelgröße immer mehr ab, bis schließlich ein neuer Beharrungswert erreicht wird.

Beispiel: Kochplatte

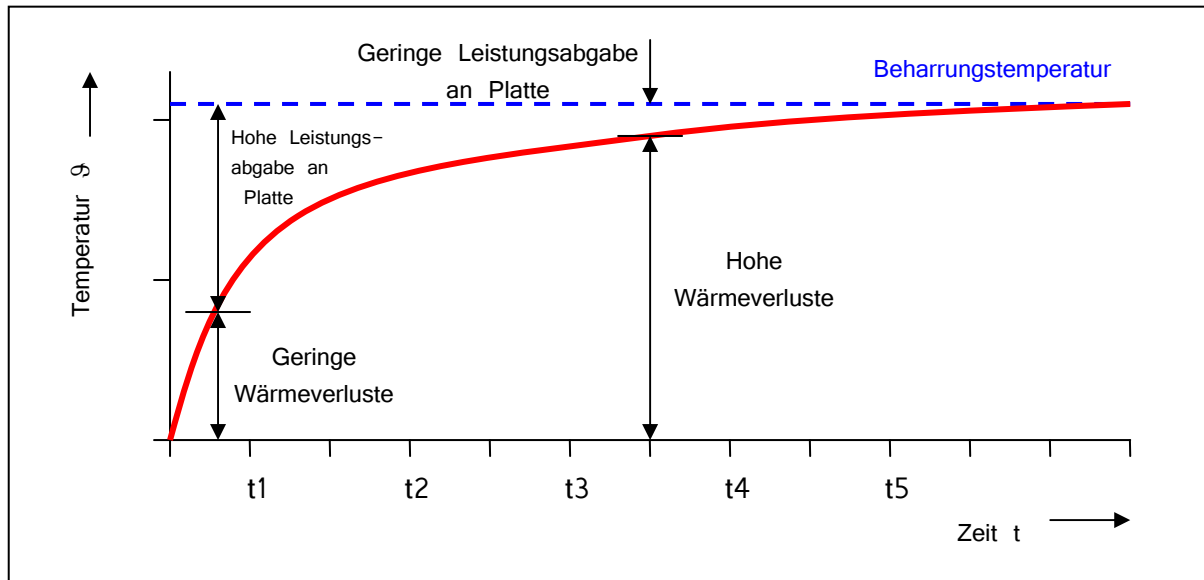


Bild 32

Im Bereich 0 ... t_1 wird die Masse der Kochplatte aufgeheizt. Der Temperaturanstieg ist nahezu linear, da die Wärmeabgabe an die Umgebung gering ist. Es entstehen nur relativ geringe Wärmeverluste.

Mit weiter zunehmender Kochplattentemperatur wird die Differenz zwischen Kochplattentemperatur und Umgebungstemperatur größer. Die Wärmeverluste nehmen dadurch zu. Die für eine weitere Temperaturerhöhung der Platte zur Verfügung stehende Energie nimmt ab.

Widerholung:

Regelstrecken ohne Speicher sind verzögerungsarme Strecken, bei denen der Wert der Regelgröße praktisch direkt dem Wert der Stellgröße folgt. Solche Regelstrecken sind im allgemeinen leicht regelbar. (Transistor)

Bei Regelstrecken mit Speichern folgt der Wert der Regelgröße bei einer plötzlichen Stellgrößenänderung verzögert. Bis die Änderung der Regelgröße der vollen Änderung der Stellgröße entspricht, kann eine längere Zeit vergehen. (Raumheizung)

Regelstrecken

Regelstrecken sind Teil des Regelkreises, in dem die Regelgröße durch die Regelung beeinflusst wird und in dem Störgrößen einwirken.

Regelstrecke ohne Ausgleich

Bei Änderung der Stellgröße y ändert sich die Regelgröße so lange, bis ein technologisch vorbestimmter Grenzwert erreicht ist oder die Anlage zerstört wird. Regelstrecken ohne Ausgleich erschweren den Regelvorgang.

Regelstrecke mit Ausgleich

Regelstrecken mit Ausgleich stellen sich selbsttätig auf einen neuen Gleichgewichtszustand ein. Dadurch unterstützen sie den Regelvorgang.

Die Regelstrecken werden nach der Anzahl ihrer Speicher eingeteilt. Strecken mit mehreren Speichern (Strecken höherer Ordnung) haben ein träges Zeitverhalten. Zu ihrer Beschreibung dienen die Größen Verzugszeit T_u und Ausgleichszeit T_g .

Ausgleichszeit T_g

Maß für die Geschwindigkeit, mit der die Regelgröße ihrem neuen Beharrungswert zustrebt.

Verzugszeit T_u

Zeit, während der die Regelstrecke praktisch keine Reaktion auf die Stellgrößenänderung zeigt.

Schwierigkeitsgrad einer Strecke

$$\Lambda = \frac{T_u}{T_g} \quad (\text{Lamda})$$

Je mehr Speicher eine Strecke hat, desto größer ist der Schwierigkeitsgrad, desto schwieriger ist die Strecke zu regeln.

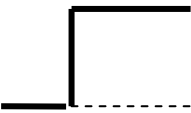

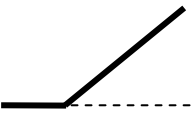
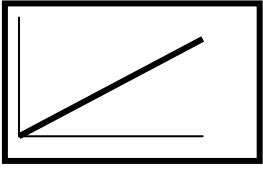

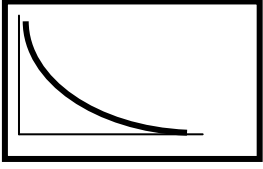
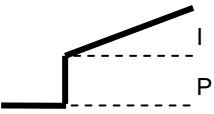
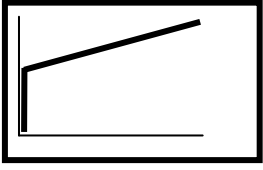

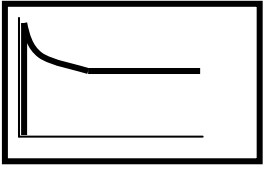
Der Idealfall wäre eine Strecke mit $T_u = 0$ und somit $\Lambda = 0$. Dies gilt für Strecken mit nur einem Energiespeicher. Je größer die Verzugszeit T_u wird, desto schlechter ist die Strecke zu regeln.

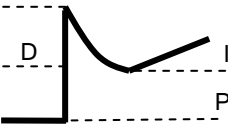


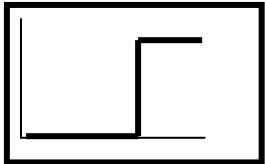
$\Lambda < 0,1$ gut regelbar

$\Lambda = 1$ kaum regelbar

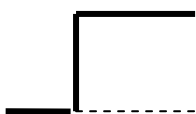
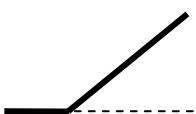

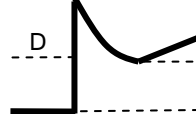
Reglersprungantworten

Das Eingangssignal ist bei allen Folgenden Reglern gleich.

Reglertyp	Ausgangssignal für Reglertyp	Blockbild
P – Für geringe Regelanforderungen, regelt zügig, aber nicht genau.		
I – Nur für geringe Regelgeschwindigkeiten brauchbar, regelt aber genau.		
D – Nur bei Änderung des Eingangssignals reagiert der D-Regler mit einem Ausgangssignal, macht alleine keinen Sinn.		
PI – Wie P-Regler nur bessere Regelgenauigkeit durch I-Anteil. Regelt ganz aus keine bleibende Regeldifferenz (Häufig)		
PD – Wird selten angewendet. P-Anteil liefert nur geringe Genauigkeit. D-Anteil regelt starke Störungen schnell aus.		

<p>PID–</p> <p>Anwendung bei hohen Anforderungen an die Regelgeschwindigkeit und Regelgenauigkeit.</p>		
<p>T_t</p> <p>Totzeitglied</p>		

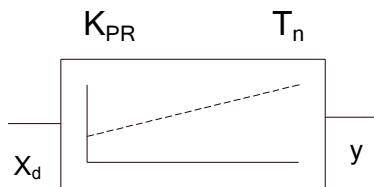
Regler welche in der Praxis vorkommen:

Regeleinrichtung mit				
	P-Regler	I-Regler	PI-Regler	PID-Regler
Eigen-schaften	Proportionalität Zwischen Stellgrößenänderung und Regeldifferenz	Stellgeschwindigkeit ist der Regeldifferenz und der Zeit proportional	Stellgrößenänderung ist der Regeldifferenz sowie dem Produkt von Regeldifferenz und Zeit proportional	Wie PI-Regler; Zusätzlich ist die Stellgrößenänderung der Änderungsgeschwindigkeit der Regelgröße proportional
Sprung-antwort				
Wichtige Kennwerte	Proportionalbereich X_P , Stellbereich Y_H , Proportionalbeiwert $K_P = \frac{Y_H}{X_P}$	Stellbereich Y_H , Integrierbeiwert K_I	Proportionalbeiwert K_P , Stellbereich Y_H , Nachstellzeit T_n	Proportionalbeiwert K_P , Stellbereich Y_H , Nachstellzeit T_n , Vorhaltezeit T_V
Vorteile	Einfacher Aufbau, hohe Stellgeschwindigkeit; Geeignet für Regelstrecken mit erheblicher Verzögerung und Strecke ohne	Keine bleibende Regeldifferenz. Für Strecken nur mit Totzeit geeignet	Keine bleibende Regeldifferenz. Raschere Ausregelung als beim I-Regler Für sämtliche Strecken geeignet	Keine bleibende Regeldifferenz. Sehr gute Regelergebnisse, wenn nicht überwiegend Totzeit in der Regelstrecke
Nachteile	Bleibend Regelabweichung Nicht geeignet für Strecken mit Totzeit	Niedrige Stellgeschwindigkeit, starke Schwingneigung Ungeeignet für Strecken ohne Ausgleich und Strecken mit erheblichen	Aufwendigerer Aufbau als beim P-Regler	Sehr Aufwendiger Aufbau Sehr schwierige Einstellung

P = Grundregelung
I = verbessert die Genauigkeit
D = verbessert die Regelgeschwindigkeit

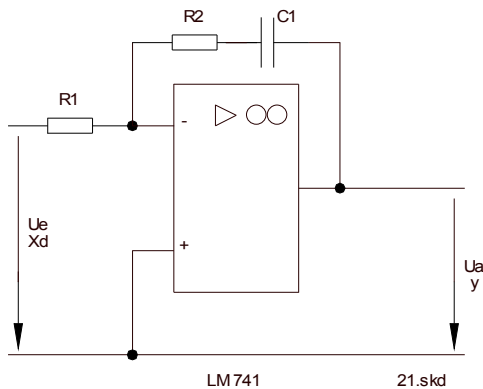
Widerholung die drei wichtigsten Regeleinrichtungen:

PI-Regler:



Nachstellzeit:

$$T_n = R_2 \cdot C_1 = K_p / K_1$$



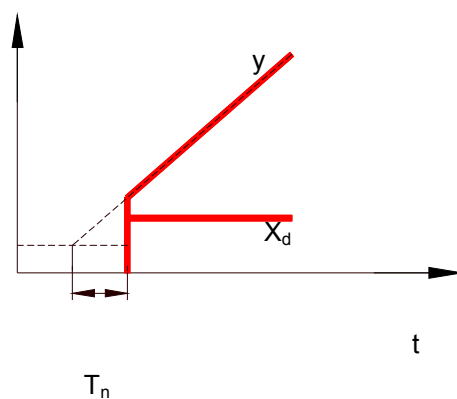
$$K_p = R_2 / R_1$$

$$K_1 = 1 / (C_1 \cdot R_1) = K_p / T_n$$

LM741

21.skd

Sprungantwort:



-y
X_d

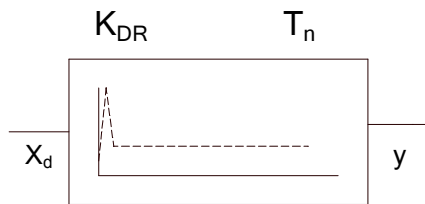
Eine Änderung der Regelgröße bewirkt eine proportionale Veränderung der Stellgröße, der sich eine Verstellung der Stellgröße mit einer bestimmten Verstellgeschwindigkeit anschließt.

$$Y - y_0 = x_d (K_p + K_i \cdot t)$$

Kenngößen: Proportionalbeiwert K_p
 Integrierbeiwert K_i
 Nachstellzeit T_n

Während der Nachstellzeit ruft die I-Wirkung die gleiche Stellgrößenänderung hervor wie der P-Anteil.

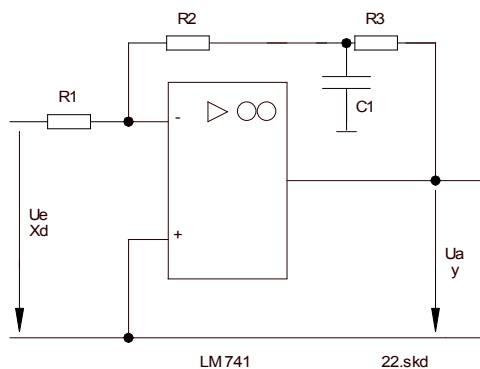
PD-Regler:



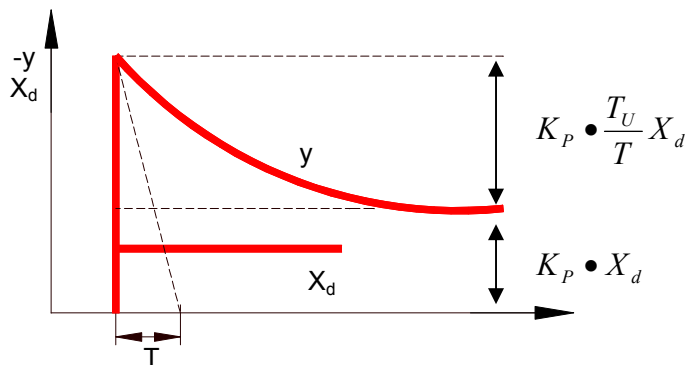
$$K_P = \frac{(R_2 + R_1)}{R_1}$$

$$K_D = K_P \cdot T_V$$

$$T_V = C \cdot \frac{(R_2 \cdot R_3)}{(R_2 + R_3)}$$



Sprungantwort: $T \approx T_V \cdot 0,01 \dots 0,001$



Zum P-Anteil der Stellgröße wird noch ein Anteil entsprechend der Änderungsgeschwindigkeit der Regeldifferenz dx_d/d_t addiert.

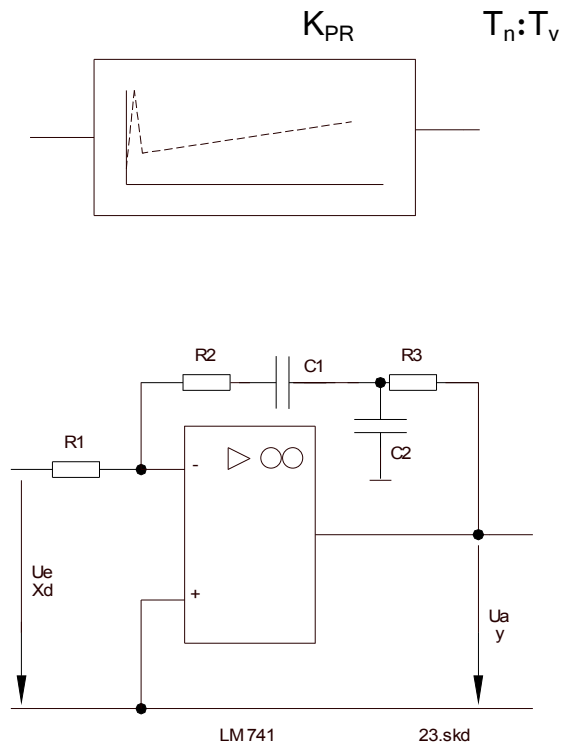
Kenngößen: Proportionalbeiwert K_P
Differenzierbeiwert K_D
Vorhaltezeitzeit T_V

T_V würde einen P-Regler benötigen, um die gleiche Änderung der Stellgröße zu bewirken, die ein PD-Regler sofort bewirkt.

$$y - y_0 = K_p \cdot x_d + K_d \left(\Delta x_d / \Delta_t \right)$$

D-Glieder geben bei statischen Eingangsgrößen kein Stellsignal ab. Der D-Anteil bringt aber eine Erhöhung des K_{PR} -Wertes und damit schnelleres Eingreifen und eine kleinere Regeldifferenz.

PID-Regler:

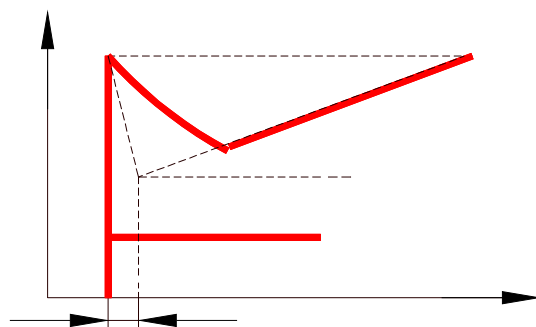


$$K_{PR} = \frac{(R_2 + R_3)}{R_1}$$

$$T_v = C_2 \cdot \frac{(R_2 \cdot R_3)}{(R_2 + R_3)}$$

$$T_n = C_1 \cdot (R_2 + R_3)$$

Sprungantwort:



$$K_{PR} = \frac{y}{x_d}$$

$$K_I = \frac{K_{PR}}{T_n}$$

$$K_D = T_v$$

Die Stellgrößenänderung setzt sich zusammen aus P-, I-, D-Anteil:

$$y - y_0 = K_{PR} \cdot x_d + K_{PR} / T_n \cdot x_d \Delta t + T_v (\Delta x_d / \Delta t)$$

Kenngößen: Proportionalbeiwert K_{PR} bzw. K_p
 Integrierbeiwert K_I oder Nachstellzeit T_n
 Differenzierbeiwert K_D
 Vorhaltezeitzeit T_v

Erst ändert sich die Stellgröße y um einen von der Änderungsgeschwindigkeit der Eingangsgröße $\Delta x_d / \Delta t$ abhängigen (D-) Beitrag. Nach T_v geht y auf einen dem Proportionalbereich entsprechenden Wert zurück ändert sich dann gemäß T_n . Gegenüber PI-Reglern verkleinert der D-Anteil die Zeit T_n ; die bleibende Regeldifferenz des P-Anteiles wird schneller ausgeregelt. Gegenüber PD-Reglern bringt der I-Anteil eine größere Vorhaltezeit; der PID-Regler kann während des Entstehens von x_d wirkungsvoller eingreifen. Fazit: PID-Regler sind so schnell wie PD-regler bei völliger Ausreglung der Regeldifferenz.

Selbsoptimierende Regler

Mittels entsprechendem Algorithmus kann ein digitaler Regler selbsttätig einen Sollwertsprung auf die Regelstrecke geben und gemäß der Reaktion der Regelgröße selbsttätig die optimalen Regelparameter K_p , T_n und T_v berechnen und einstellen. Auch diese Regler werden zunehmend als adaptive Regler bezeichnet, selbst wenn die Parametereinstellung auf diese Weise nur einmalig erfolgt.

Adaptive Regler

Adaptive Regler passen die Optimierung der Regelparameter fortlaufend veränderlichen Streckenparameter bzw. Betriebsbedingungen selbsttätig an. Z.B. können die Parameter von Strecken mit nichtlinearem Übertragungsverhalten während des Betriebsablaufes variieren, wenn durch einen relativ großen Sollwertsprung der Arbeitspunkt der Strecke verschoben wird.