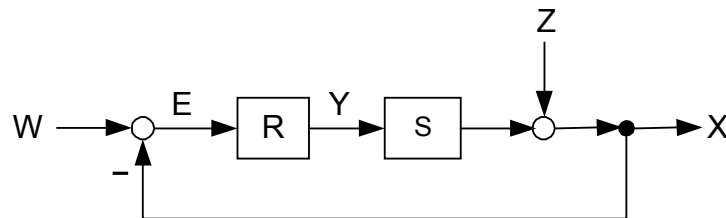


T2EE

# Regelungstechnik

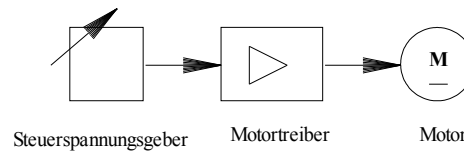
ASSERVISSEMENTS



# 1. Grundlagen

## 1.1. Steuerung

### Beispiel 1: Drehzahlsteuerung eines Motors



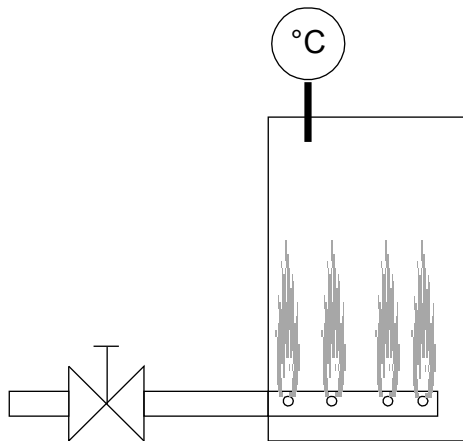
Ausgangsgröße  $X_a$  = Motordrehzahl  $n$   
 Eingangsgröße  $X_e$  = Steuerspannung  $U_e$

Mit dem Potentiometer des Steuerspannungsgebers kann die Drehzahl eingestellt werden.

Bei stärkerer Belastung fällt die Drehzahl aber ab.

Störgröße  $Z$  = Drehmoment

### Beispiel 2: Gasbeheizter Industrieofen



Ausgangsgröße:  $X_a$  = Ofentemperatur  $\vartheta_{\text{Ofen}}$

Eingangsgröße:  $X_e$  = Ventilstellung

Störgrößen

$Z_1$  = Gasdruck

$Z_2$  = Außentemperatur

$Z_3$  = Masse des aufzuheizenden Guts

$Z_4$  = Temperatur des aufzuheizenden Guts

...

Mit dem Stellrad des Ventils kann die Ofentemperatur eingestellt werden.

Diese ist aber außerdem noch abhängig von den Störgrößen

Bei einer Steuerung erfolgt keine Rückmeldung über die Ausgangsgröße  
Es handelt sich um eine offene Wirkungskette.

Die Ausgangsgröße hat nicht immer den gewünschten Wert.

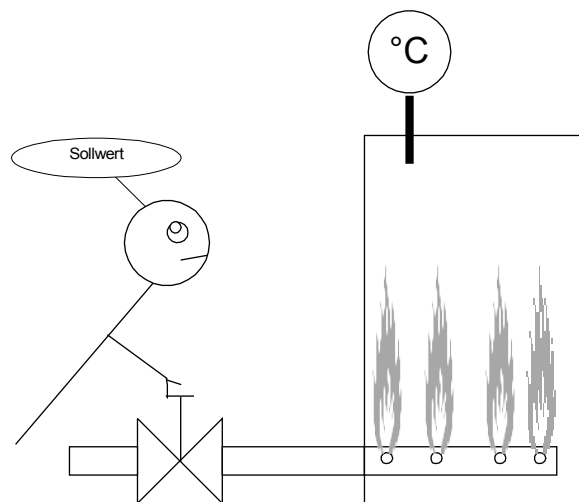
### **Aufgabe 1.1**

Zeichne die Blockschaltbilder einiger weiterer Steuerungen.

Gebe jeweils Ein- und Ausgangsgröße sowie Störgröße(n) an.

## **1.2. Regelung**

### **a) Beispiel 1: Gasbeheizter Industrieofen mit Handregelung**



**Regelgröße** X = Ofentemperatur

**Stellgröße** Y = Ventilposition

**Sollwert** W = gewünschte Temperatur

**Störgrößen** Z1, Z2, .... = Gasdruck, Masse des aufzuheizenden Guts.....

Der Mensch als Regler vergleicht den Istwert der Regelgröße X mit dem Sollwert W und verändert den Wert der Stellgröße Y, damit die gewünschte Temperatur erreicht oder beibehalten wird.

#### **Regeln bedeutet**

- **Messen** (wie groß ist der Istwert der Regelgröße X?)
- **Vergleichen** (X zu groß oder zu klein?)
- **Stellen** (die Stellgröße Y so beeinflussen dass X näher an den Sollwert kommt)

### Die Bedeutung von X, Y, Z:

X	Regelgröße	Was wird geregelt ?
Y	Stellgröße	Wie kann ich es beeinflussen ?
Z	Störgröße	Was beeinflusst X in unerwünschter Weise ?

### Was macht der Vergleich?

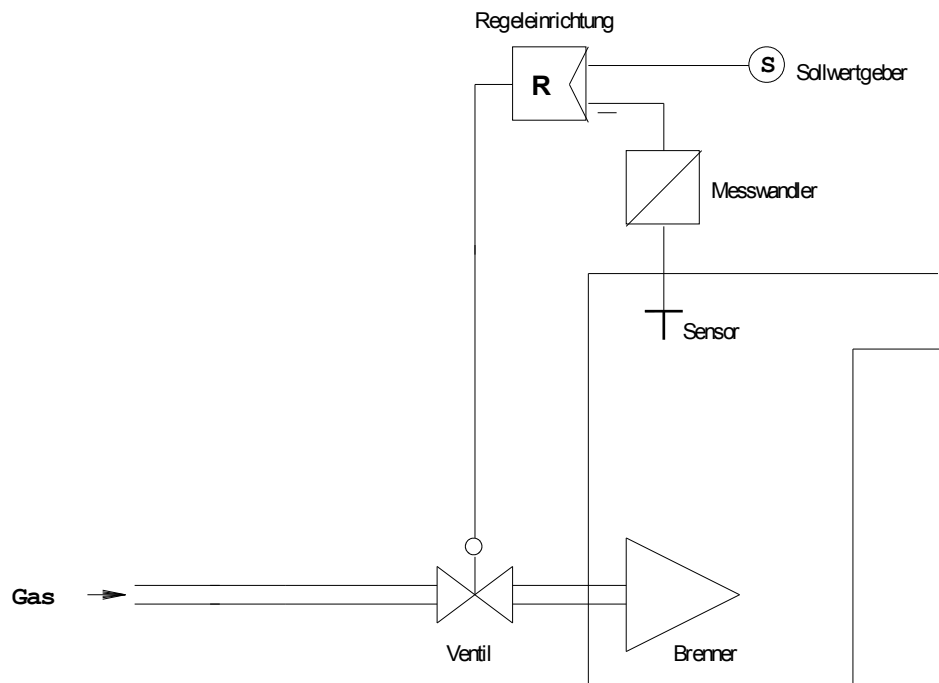
Um festzustellen ob der Istwert X zu groß oder zu klein ist, wird die Differenz von Sollwert und Istwert gebildet. Sie heißt Regeldifferenz E:

**Regeldifferenz**       $E = W - X$

$E > 0$  : X zu klein, Y muss größer gemacht werden.

$E < 0$  : X zu groß, Y muss kleiner gemacht werden.

### b) Beispiel 2: Industrieofen mit automatischer Regelung



**Messen:** Der Istwert der Regelgröße X wird von einem Temperatursensor gemessen und eventuell noch von einem Messwandler umgeformt in eine Spannung oder einen Strom den die Regeleinrichtung auswerten kann.

**Vergleichen:** In der Regeleinrichtung wird der Istwert X mit dem Sollwert W verglichen und das Signal Y (Stellgröße) gebildet welches das Ventil auf oder zu steuert je nachdem der Istwert zu klein oder zu groß ist.

Stellen: Das Stellsignal Y steuert (eventuell über einen Verstärker) das Ventil und damit die Gaszufuhr.

### Wirkungsablauf:

Wenn z. neues aufzuwärmendes Gut in den Ofen gelegt wird, kühlt dieser sich ab.

Die Temperatur X sinkt unter den Sollwert W.

Der Vergleicher bildet die Regeldifferenz  $E = W - X$ , diese ist positiv.

Der Regler macht daraus die Stellgröße Y, die größer werden muss.

Das Ventil wird weiter aufgedreht, es strömt mehr Gas ein und die Temperatur steigt wieder.

Im Idealfall erreicht die Temperatur X wieder den Sollwert W.

Wichtig ist der geschlossene Wirkungsablauf:

Temperatur kleiner ..... → Temperatur größer

Dieser ist auch im Schema erkennbar und stellt eine Rückkopplung dar, in diesem Fall eine **negative Rückkopplung (Gegenkopplung)**.

### 1.3. Signalflussplan

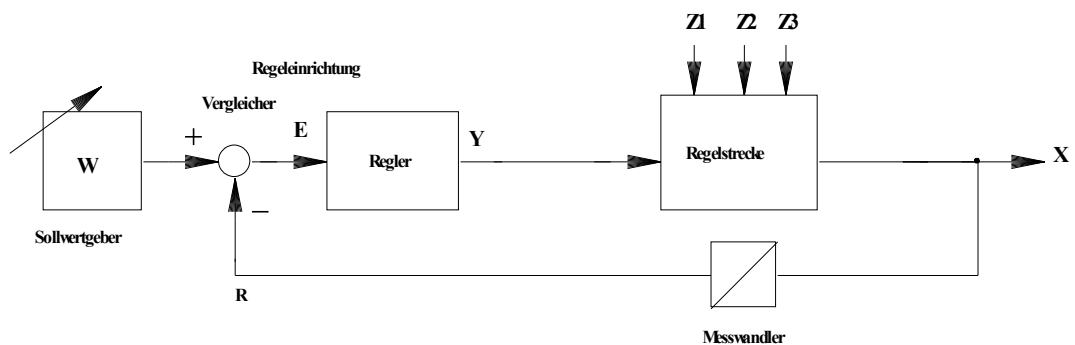
Es gibt viele unterschiedliche Arten von Regelgrößen (elektrische wie Strom und Spannung, nichtelektrische wie Temperatur, Druck, Drehzahl, ....) und Regelungen (elektronisch, pneumatisch, mechanisch ...).

Trotz dieser Unterschiede gibt es Gemeinsamkeiten.

Um diese zu verstehen, benutzt man eine abstrakte Darstellung, den Signalflussplan.

Definition: ein Signal ist eine physikalische Größe die eine Information überträgt.

Beispiel: eine Spannung die proportional zur Temperatur ist.



Die **Regelstrecke** (kurz: **Strecke**) ist das Gerät welches geregelt werden soll.

Die **Regeleinrichtung** besteht aus Vergleichler und Regler.  
Oft ist auch der Sollwertgeber noch mit eingebaut.

**Signale:**

W	Sollwert, Führungsgröße, Eingangsgröße
E	Regeldifferenz
Y	Stellgröße
Z	Störgröße
X	Istwert, Regelgröße, Ausgangsgröße
R	Rückgeführte Größe

Bemerkungen:

Der Messwandler ist im Allgemeinen nötig da die Regelgröße irgendeine physikalische Größe (Temperatur, Druck, Drehzahl...) sein kann und die Regeleinrichtung meist durch eine elektronische Schaltung gebildet wird.

Es wird in der Literatur nicht immer klar zwischen X und R unterschieden.

In der Praxis kann X die tatsächlich geregelte physikalische Größe (z.B. Temperatur) bedeuten, oder man meint damit die durch den Messwandler in eine Spannung oder einen Strom umgesetzte Regelgröße (also eigentlich R), welche der Regler verarbeiten kann.

Der **Vergleicher** bildet die Differenz von Sollwert und Istwert:

$E = W - R$	<b>Regeldifferenz</b> (E = Error) wenn die Eingangssignale des Reglers betrachtet werden
-------------	---

$$E = W - X \quad \text{Regeldifferenz}$$

wenn die tatsächlichen physikalischen Größen gemeint sind.

Die Regeldifferenz wird umso kleiner, je besser die Regelung funktioniert.

Sie dient als Eingangssignal des Reglers, welcher daraus die Stellgröße Y bildet.  
Da E bei guter Regelung ein schwaches Signal ist, muss der Regler ein Verstärker sein (OPV-Schaltung).

Manchmal wird zur Beschreibung der Regelung auch die Regelabweichung benutzt:

$X_w = X - W$	Regelabweichung
---------------	-----------------

## 1.4. Entwurf von Regelkreisen, erste Überlegungen

Nützliche Fragen:

- Was soll geregelt werden? Dies ist die Regelgröße X.
- Womit kann ich X beeinflussen? Das ist die Stellgröße Y
- Welches Gerät soll geregelt werden? Dies ist die Regelstrecke

**Aufgabe 1.2: LötKolben**

Die Temperatur eines LötKolbens soll geregelt werden.

- Erläutere alle regelungstechnischen Begriffe für dieses Beispiel.
- Zeichne den Signalflussplan der Regelung.
- Erkläre, wie sich z.B. ein Absinken der Temperatur auswirkt und wie die Regelung funktioniert.

**Aufgabe 1.3: Lenkung eines Autos**

Beim Lenken eines Autos erfüllt der Fahrer die Funktion des Reglers.

- Erläutere alle regelungstechnischen Begriffe für dieses Beispiel
- Zeichne den Signalflussplan der Regelung.

**Aufgabe 1.4: Bohrmaschine**

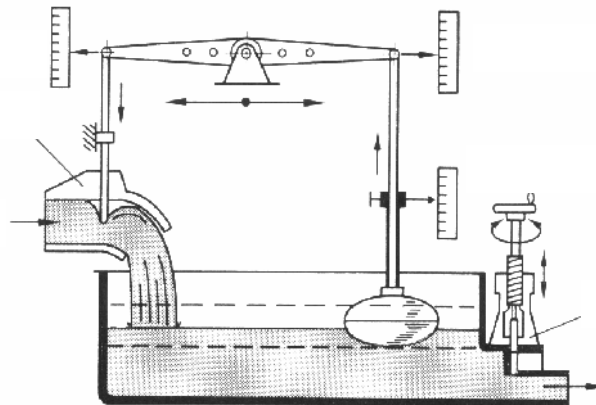
- Erläutere alle regelungstechnischen Begriffe für dieses Beispiel
- Überlege wie man die Regelung technisch realisieren könnte.
- Erkläre was passiert wenn der Bohrer auf das zu bohrende Material trifft und wie die Regelung funktioniert.

**Aufgabe 1.5: Heizung**

Erkläre die Regelung einer Hausheizung mit Hilfe der regelungstechnischen Begriffe.

**Aufgabe 1.6: Füllstandsregelung**

Beschrifte die folgende Skizze mit den regelungstechnischen Begriffen.



Wie könnte man diese Regelung elektrisch realisieren?

**Aufgabe 1.7: Frei schwebende Kugel**

Eine Kugel aus Eisen soll frei schwebend im Raum „aufgehängt“ werden, ohne dass sie mit irgendetwas in Berührung kommt.

Diskutiere regelungstechnische Lösungsansätze.

## 1.5. Lineare und nichtlineare Regelkreisglieder

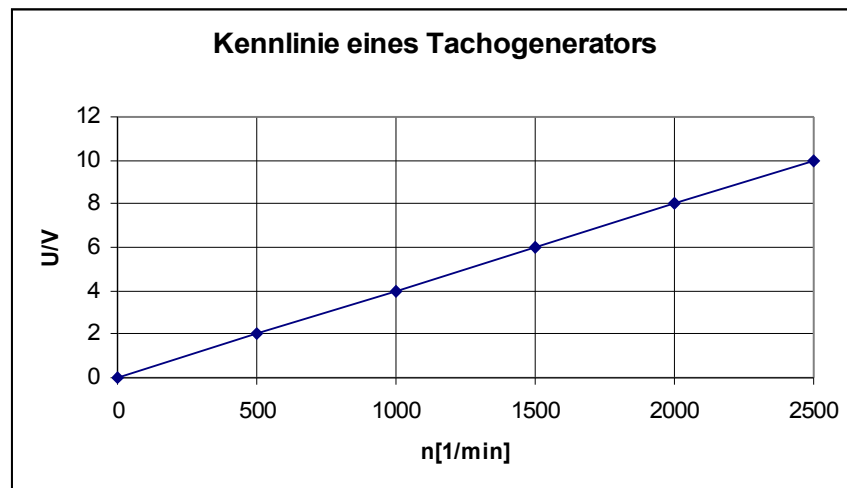
### a) Lineare Regelkreisglieder

Bei einer linearen Schaltung ist die Ausgangsgröße proportional zur Eingangsgröße.

Beispiel: Tachogenerator als Messwandler

Eingangsgröße       $X_e = \text{Drehzahl } n$   
 Ausgangsgröße      $X_a = \text{Generatorspannung } U$

Im unbelasteten Fall ist  $U \sim n$



Eine einzige Kenngröße reicht aus, um den Messwandler zu beschreiben.

Man definiert den Proportionalbeiwert  $K$ , der analog zur Verstärkung als das Verhältnis von Ausgangsgröße zu Eingangsgröße definiert wird:

$$K_P = \frac{X_a}{X_e}$$

### **Aufgabe 1.8**

Bestimme den Proportionalbeiwert des Tachogenerators

### b) Nichtlineare Regelkreisglieder

Leider haben viele Regelkreisglieder ein nichtlineares Verhalten.

Beispiel: elektrische Heizung in einem Ofen als Regelstrecke

Eingangsgröße       $Y = \text{Spannung am Heizwiderstand}$   
 Ausgangsgröße      $X = \text{Temperatur}$

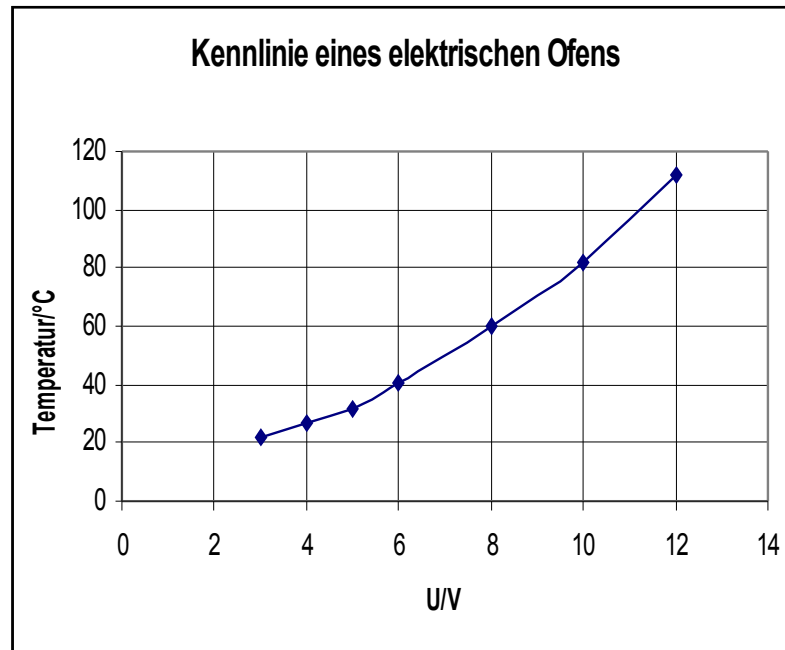
Wir betrachten die Temperatur im Endzustand, d.h. wenn der Ofen längere Zeit eingeschaltet war. Diese ist abhängig von der zugeführten Leistung und den Wärmeverlusten durch Abstrahlung, Wärmeleitung usw.

Die Leistung ist bei konstantem Widerstand quadratisch von der Spannung abhängig, dies ist schon eine nichtlineare Beziehung.



Andererseits wird der Widerstand bei höherer Temperatur größer, die Leistung und damit die erreichte Temperatur wachsen also nicht ganz so steil wie eine quadratische Funktion.

Oft ist es schlecht möglich, die genauen Zusammenhänge zu berechnen, man arbeitet mit Kennlinien.



Oft wird ein Regelkreisglied nur in einem kleinen Bereich der Kennlinie um einen bestimmten **Arbeitspunkt** herum betrieben. In diesem Fall kann man die Kennlinie durch eine **Tangente** annähern.

Man interessiert sich dann weniger für die Werte von X und Y, sondern vor allem für die Änderung von X und in Y in Bezug auf den Arbeitspunkt.

Wir definieren:

$X_0$  = Regelgröße im Arbeitspunkt

$Y_0$  = Stellgröße im Arbeitspunkt

$x = \Delta X = X - X_0$

$y = \Delta Y = Y - Y_0$

x und y sind die Änderungen der Regelgrößen X und Y in Bezug auf den Arbeitspunkt.

**Änderungen der Regelgrößen werden mit Kleinbuchstaben bezeichnet!**

Nun kann man den Proportionalbeiwert im Arbeitspunkt der Regelstrecke mit den Änderungen x und y definieren:

$$K_{PS} = \frac{x}{y}$$

oder

$$K_{PS} = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

Bemerkungen:

- Der Index S steht für „Strecke“.
- Die obige Definition gilt selbstverständlich auch für lineare Regelstrecken.

Allgemein wird der Proportionalbeiwert für alle Regelkreisglieder (Strecke, Regler, Messwandler....) immer definiert als

$$K_p = \frac{\text{Änderung der Ausgangsgrösse}}{\text{Änderung der Eingangsgrösse}}$$

### Aufgabe 1.9

Gebe die Formel für den Proportionalbeiwert eines Reglers an.

### Aufgabe 1.10

Ermittle den Proportionalbeiwert des elektrischen Ofens in den Arbeitspunkten mit  $Y = 4V$  und  $Y = 10V$ . (Tangente anlegen!)

### Aufgabe 1.11

Ein Messwandler hat lineares Verhalten. Er wandelt die Eingangsspannung von  $0...5V$  in ein normiertes Stromsignal von  $4..20mA$ .

Zeichne die Kennlinie und bestimme den Proportionalbeiwert..

## 1.6. Normierte Regelgrößen

Die Wirkungen in einem Regelungssystem sind physikalische Größen. Sie können sehr unterschiedlicher Art sein. Es kann daher vorkommen, dass z.B. die Eingangsgröße eines Blocks oder Übertragungsgliedes eine elektrische, die Ausgangsgröße eine mechanische Größe ist. Der Übertragungsfaktor dieses Übertragungsgliedes ist also mit Einheiten behaftet. Für Berechnungen und Simulationen kann dies sehr umständlich werden.

Deswegen verwendet man vor allem bei Simulationen oft normierte Signale, die immer im Bereich  $0...1$  oder  $0...100\%$  liegen.

### Aufgabe 1.12

Ergänze die obige Kennlinie des elektrischen Ofens durch die Skalen für  $X_N$  (normierte Regelgröße) und  $x_N$  (normierte Regelgrößenänderung gegenüber dem Anfangswert  $20^\circ C$ ).

### Aufgabe 1.13

Bei einem Motor welcher bei  $12V$  Betriebsspannung und normaler Belastung von  $300mNm$  mit  $800$  Umdrehungen pro Minute dreht, sinkt die Drehzahl aufgrund eines erhöhten Drehmomentes von  $420Nm$  auf  $780$  Umdrehungen pro Minute ab. Die Motorspannung beträgt jetzt  $14.9V$ .

- Gebe  $X_1, Y_1, Z_1$  und  $X_2, Y_2, Z_2$  an (vor und nach der Änderung)
- Gebe  $x, y, z$  an.
- Gebe  $x_N$  an, wenn  $X_1$  als Bezugsgröße ( $100\%$ ) genommen wird.
- Warum ist bei erhöhter Belastung die Motorspannung grösser?