

Meßtechnik Steuerungs- und Regelungstechnik

EIN LEHRHEFT FÜR DAS 10. SCHULJAHR



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

Messtechnik

Steuerungs- und Regelungstechnik

EIN LEHRHEFT FÜR DAS 10. SCHULJAHR

Mit 76 Abbildungen · Ausgabe 1960



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN · 1961

Verfaßt von Martin Grivers, Arnim Haack, Eva Held, Günter Wicke

**Zeichnungen: Kurt Dornbusch
Redaktionschluß: 15. 2. 1960**

**ES 11 H · Bestell-Nr. 02 928-2 · Lizenz Nr. 203 · 1000/61 (UN)
Satz: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig III/18/203
Druck: VOB Nationales Druckhaus, Berlin**

INHALTSVERZEICHNIS

I. Grundlagen der Messtechnik

1. Das Prüfen — Das maßliche Prüfen von Längen 4
2. Einige wichtige Meßverfahren 9
3. Messung elektrischer Größen 14
4. Die Fernmessung 18

II. Steuerungs- und Regelungstechnik

5. Die Grundlagen der Regelungstechnik 21
6. Beispiele für Steuerungen 24
7. Beispiele für Regelungen 27
8. Die Steuerung und Regelung in der Automation ... 33
9. Die Steuerung und Regelung großer Anlagen 36

I. Grundlagen der Meßtechnik

1. Das Prüfen — Das maßliche Prüfen von Längen

1. Die Bedeutung des Prüfens. Am Unterrichtstag in der sozialistischen Produktion haben wir erfahren, daß das *Prüfen* eines Werkstückes für die Bearbeitung und die Verwendung sehr wichtig ist. Dabei muß das Werkstück beispielsweise mit Maßstäben verglichen und auf die Einhaltung der geforderten Abmessungen geprüft werden. Wegen eines einheitlichen, unmißverständlichen Gebrauchs der vielen teilweise neuartigen Begriffe war es notwendig, die Namen für Prüfmethoden und Prüfgeräte und andere Begriffe zu normen. Bei den Prüfmethoden unterscheidet man zwei Gruppen: das *nichtmaßliche* und das *maßliche Prüfen*.

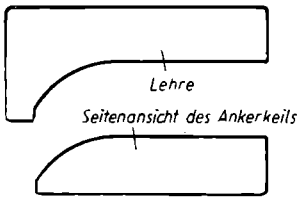
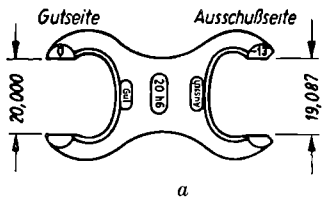


Abb. 4/1
Lehre für einen Ankerkeil

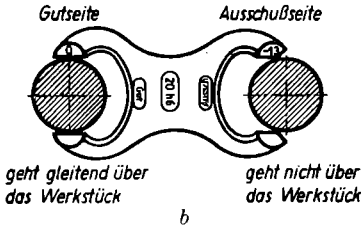
Beim maßlichen Prüfen wird festgestellt, ob die entsprechenden Maße eingehalten sind. Beim nichtmaßlichen Prüfen werden bestimmte Eigenschaften des Werkstückes beurteilt. Man vergleicht zum Beispiel Form, Oberflächengüte oder Lage mit einem Musterstück oder einem Prüfgerät. Dabei kommt es nicht darauf an, quantitative, sondern qualitative Angaben zu erhalten. Als Prüfgeräte benutzt man zum Beispiel Stahllineale und Stahlwinkel, Rundungslehren und Lehren für die Formen bestimmter Drehmeißel, Innen- und Außentaster. Soll eine Serie gleicher Teile hergestellt werden, fertigt man meist eine Lehre an, nach der dann das Werkstück geprüft wird (Abb. 4/1). Sehr kleine Teile werden mit Hilfe von Meßprojektoren und Werkzeugmikroskopen genau mit der Zeichnung oder mit einem Musterstück verglichen.

2. Das maßliche Prüfen von Längen. Es ist nicht möglich, mehrere Werkstücke vollkommen gleich, das heißt, ohne die geringsten Abweichungen, herzustellen. Immer wird die tatsächliche Größe, das *Istmaß*, von dem gegebenen *Nennmaß* etwas abweichen. Der Facharbeiter hat nun zu entscheiden, ob das Werkstück trotz der Abweichungen noch brauchbar ist. Dazu muß er die *Grenzmaße*, das heißt, das kleinste und größte zulässige Maß, kennen. Diese Grenzmaße richten sich nach dem Verwendungszweck des Werkstückes. So darf beispielsweise die Spindel eines Schraubstockes mehr vom geforderten Maß abweichen als die Spindel einer Feinmeßschraube. Die Maßabweichungen, die für einen bestimmten Zweck gerade noch zulässig sind, heißen *Toleranzen*. Sie sind in Normblättern für jede Art von Werkstücken genau festgelegt.

a) Das Prüfen mit Lehren. Will man prüfen, ob ein gefertigtes Werkstück innerhalb der Toleranzen liegt, so benutzt man dazu sehr genau hergestellte Lehren. Die Abbildung 5/1a zeigt eine *Grenzrachenlehre* mit zwei Rachen zur Prüfung von



a



b

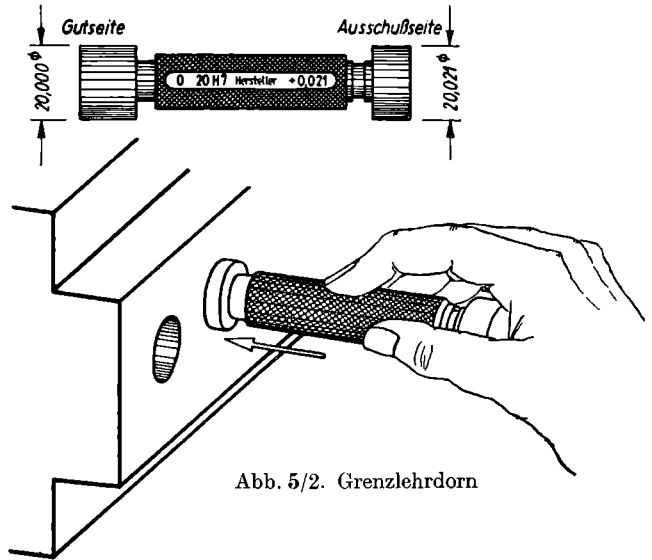
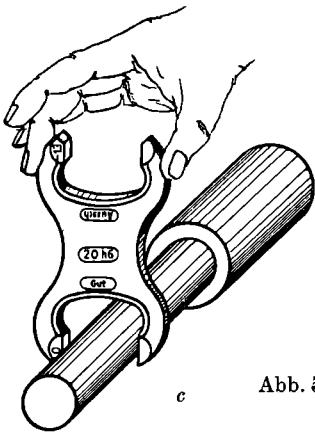
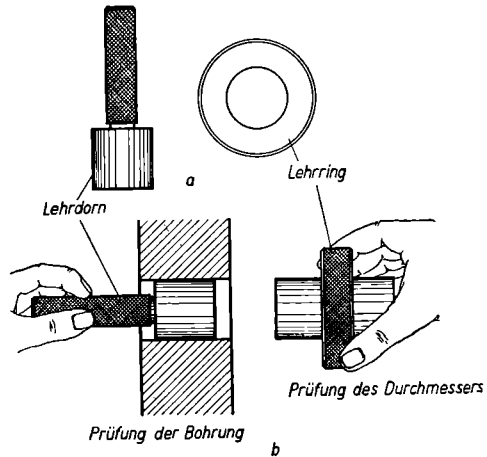


Abb. 5/2. Grenzlehrdorn



c

Abb. 5/1. Grenzrachenlehre



b

Abb. 5/3. Lehrdorn mit Lehrring

Wellendurchmessern. In der Mitte ist das genaue Maß angegeben, die Bezeichnung h 6 kennzeichnet die betreffende *Passung*. Die eine Seite, die sogenannte *Gutseite*, stellt das obere, die andere, die *Ausschußseite*, das untere Grenzmaß dar. Beim Prüfen muß die *Gutseite* der Lehre leicht über das Werkstück gleiten (Abb. 5/1 b, c). Um Verwechslungen zu vermeiden, hat man die *Ausschußseite* rot markiert und ihre Schnäbel abgeschrägt. Mit einem *Grenzlehrdorn* prüft man Bohrungen (Abb. 5/2). Hierbei muß die *Gutseite* leicht in die Bohrung gleiten. Paßt die *Ausschußseite* ebenfalls hinein, wurde zu groß gebohrt. Mit einem *Lehrdorn* und dem dazugehörigen *Lehrring* werden Bohrungen und Wellen geprüft, die zusammen passen sollen (Abb. 5/3). Für Bohrungen von 100 mm bis 250 mm Durchmesser verwendet man *Grenzflachlehren*,

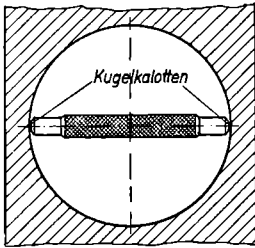


Abb. 6/1. Kugelendmaß

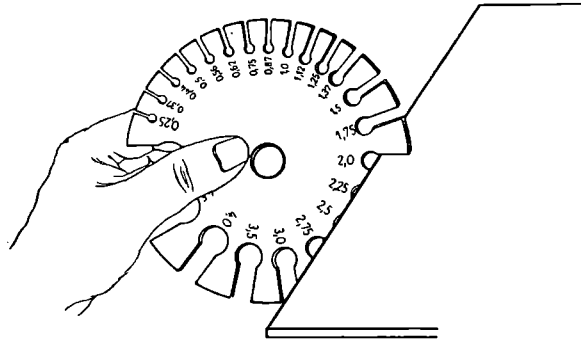


Abb. 6/2. Blechlehre

über 250 mm Durchmesser *Kugelendmaße* (Abb. 6/1). Damit die Lehren nicht so schnell abgenutzt werden, härtet man die Prüfflächen oder belegt sie mit Hartmetallplättchen. Zur Bestimmung von Blechstärken verwendet man häufig *Blechlehren* (Abb. 6/2). Der Durchmesser von Drähten, Bohrern u. ä. wird meist mit *Lochlehren* geprüft.

b) **Das Messen.** Aus dem Physikunterricht ist bekannt, daß das Messen immer ein Vergleichen mit einer Maßeinheit ist. Bei einer Längenmessung wird zum Beispiel festgestellt, wie oft die Maßeinheit Meter in der gegebenen Strecke enthalten ist. Die Maßangabe setzt sich aus der Maßzahl und der Maßeinheit zusammen.

Soll in der Produktion die Größe einer Strecke bestimmt werden, so überlegt man sich zunächst, welches Meßgerät zu benutzen ist. Man kann den Durchmesser einer Welle nicht mit dem Gliedermaßstab messen, aber man wird auch die Dicke einer Tischplatte nicht mit der Bügelmeßschraube bestimmen. Es gilt die Regel: *Miß stets so genau, wie erforderlich!*

Die Bezeichnungen der Meßgeräte und ihrer geforderten Eigenschaften sind genormt.

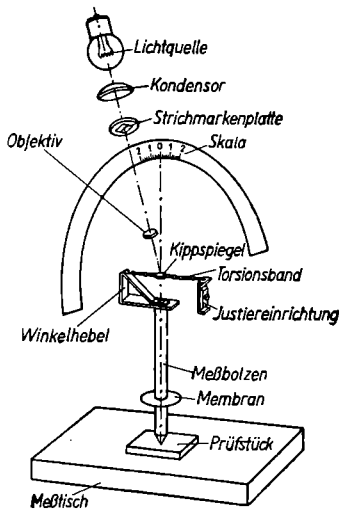


Abb. 6/3. Feinzeiger

Unter dem *Skalenwert* eines Gerätes versteht man die Änderung der zu messenden Größe, die einer Änderung der Anzeige um einen Skalenteil entspricht. Der Skalenwert eines Zimmerthermometers ist 1 °C, denn eine Temperaturveränderung von 1 Grad bewirkt eine Anzeigeänderung von einem Teilstrich. Der *Anzeigebereich* eines Gerätes ist der Bereich der Meßgröße, der an der Skale abgelesen werden kann. Ein 1000 mm langer Gliedermaßstab hat also einen Anzeigebereich von 1000 mm.

Die Geräte zur Längenmessung werden nach ihrem Verwendungszweck eingeteilt (siehe Tabelle auf S. 7). Zwei nicht so häufig angewandte Meßgeräte sind der *Meßkeil* zur Messung von *Bohrungsdurchmessern* (Abb. 7/1) und der *Keilausschnitt* zur Bestimmung von Drahtdicken u. a. (Abb. 7/2).

Bei den *Endmaßen* bildet die Länge eines Körpers die Meßlänge. *Parallelendmaße* sind genormte rechteckige Stahlkörper, die gehärtet und hochglanzpoliert sind. Infolge Kohäsion haften sie aneinander.

Meßzeuge zur Längenmessung

Bezeichnung	Skalenwert	Anzeigebereich
Feste Meßgeräte		
Strichmaße		
Stahlbandmaß	5 mm	10 bis 100 m
Gliedermaßstab	1 mm	1000 bis 2000 mm
Stahlmaßstab	0,5 mm	300 bis 500 mm
Meßkeil	0,1 mm	10 mm für verschiedene Bereiche
Keilausschnitt	0,1 mm	5 mm
Endmaße		
Parallelendmaße	Längen von 0,1 mm bis 4000 mm, Kombinationen beliebiger Länge herstellbar	
Anzeigende Meßgeräte		
Schieblehre	1 mm (durch Nonius auf 0,1 mm ablesbar)	160 bis 2000 mm
Tiefenmaß	1 mm	160 bis 500 mm
Bügelmeßschraube	0,01 mm	25 mm für Meßbereiche 0 bis 25 mm, 25 bis 50 mm usw.
Innenmeßschraube	0,01 mm	25 mm ab 100 mm
Meßuhr	0,01 mm	3 bis 10 mm
Feinzeiger (Abb. 6/3)	0,0002 mm 0,001 mm 0,002 mm 0,005 mm 0,01 mm	30 bis 200 Skalenteile

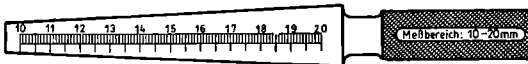


Abb. 7/1. Meßkeil. Die Skala ist in Zehntelmm geteilt.

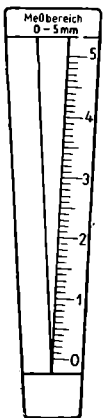
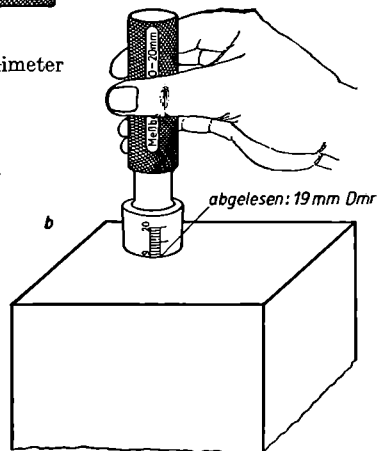
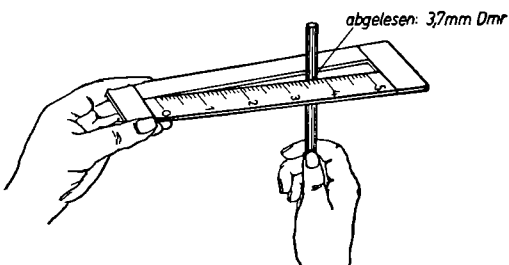


Abb. 7/2. Keilausschnitt



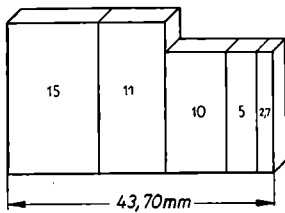


Abb. 8/1. Endmaße

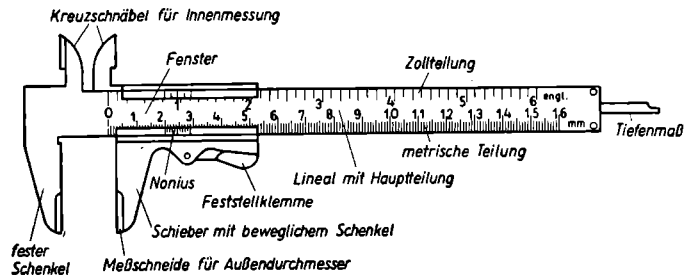


Abb. 8/2. Schieblehre

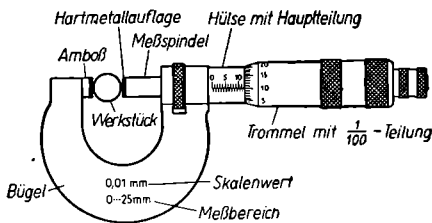


Abb. 8/3
Bügelmeßschraube

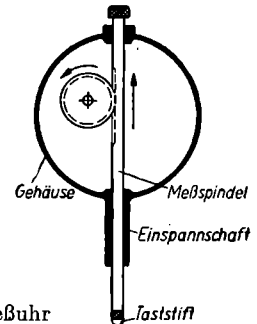


Abb. 8/5. Meßuhr

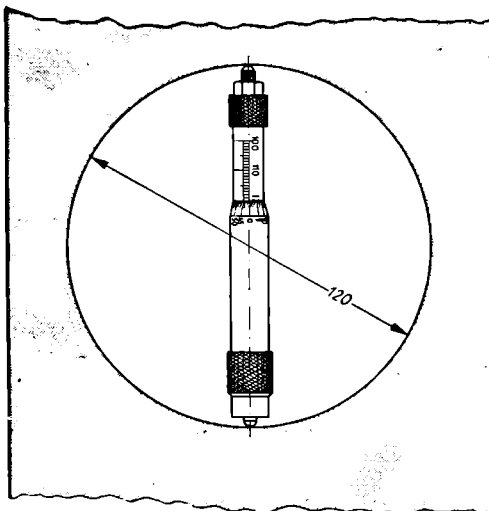


Abb. 8/4. Innenmeßschraube

Zweckmäßige Abstufungen verschieden langer Endmaße werden zu Endmaßsätzen zusammengestellt, so daß man innerhalb eines bestimmten Meßbereichs beliebige Längen einstellen kann (Abb. 8/1). Parallelendmaße dienen vor allem zur Prüfung von anzeigenden Meßgeräten und Lehren.

Von den anzeigenden Meßgeräten für Längenmessungen sind die *Schieblehre* (Abb. 8/2) und das *Tiefenmaß* schon bekannt. Hauptbestandteile der *Bügelmeßschraube* (Abb. 8/3), bisher als *Feinmeßschraube* bezeichnet, und der *Innenmeßschraube* (Abb. 8/4) sind die Meßspindel mit 0,5 mm Steigung und die Meßtrommel mit Hundertstelmillimeterteilung.

Die *Meßuhr* wird in der Technik sehr oft angewandt (Abb. 8/5). Die Längsbewegung eines Taststiftes, der in seinem oberen Teil eine Zahnteilung oder ein Schraubengewinde trägt, wird durch mehrere Zahnräder in eine Drehbewegung umgewandelt. An einem kleinen Zeiger liest man die ganzen Millimeter, an einem großen die Hundertstelmillimeter ab. Die Übersetzung ist so berechnet, daß einer Längsverschiebung des Taststiftes um 1 mm eine ganze Umdrehung des großen Zeigers entspricht.

c) Die *Behandlung der Prüfgeräte*. Alle Prüfgeräte, besonders aber die Feinmeßgeräte, geben nur dann richtige Werte an, wenn die Bezugstemperatur von 20 °C für Prüfmittel und Werkstück eingehalten wird. Die Prüfgeräte sind außerdem sehr empfindlich gegen Schlag und Stoß. Man darf sie also nie zu Werkzeugen oder Werkstücken legen und muß für die Aufbewahrung und den Transport passende Holzkästen benutzen. Besteht der Verdacht, daß Prüfgeräte beschädigt worden sind, muß man sie sofort nachprüfen, sonst kann das Produkt stundenlanger Arbeit unbrauchbar sein.

2. Einige wichtige Meßverfahren

1. *Winkelmessungen*. Bei vielen Werkstücken kommt es auf die genaue Bestimmung von Winkeln an. Die *einfachen Winkelmesser* bestehen aus einem Gradbogen und einem Meßzeiger, der um den Mittelpunkt des Bogens drehbar ist. Mit dem Zeiger wird der gesuchte Winkel eingegrenzt (Abb. 9/1). Mit diesem Winkelmesser kann man nur auf ein Grad genau ablesen, halbe Grade können noch geschätzt werden. Mit Hilfe von genaueren *Universalwinkelmessern*, die mit Winkelnonien versehen sind, kann man Winkel bis auf fünf Bogenminuten genau messen. Bei der Landvermessung verwendet man zur Winkelmessung den *Theodoliten*.

Will man kleine Abweichungen von der Waagerechten bestimmen, so benutzt man die *Winkellibelle*. Die Libelle ist von der Wasserwaage her bekannt. Für Winkelmessungen wird das Röhrchen innen genau zylindrisch geschliffen und mit einer Skale versehen. Als Füllflüssigkeit benutzt man Äther.

2. *Flächenmessungen*. In der Technik und in der Forschung sind häufig Diagramme auszuwerten, die von schreibenden Meßgeräten aufgezeichnet wurden oder sich aus einer Wertetabelle ergaben. Bei solchen Auswertungen müssen meist die Flächen der Diagramme gemessen werden. Bei groben Messungen legt man transparentes Millimeterpapier auf die Fläche, zählt die ganzen Quadratcentimeter, die innerhalb der Fläche liegen und fügt die Hälfte der geschnittenen hinzu. Für genauere Messungen benutzt man *Planimeter*. Das Prinzip eines *Polarplanimeters* zeigt die Abbildung 9/2. Der Polarm und der Fahrarm sind durch ein

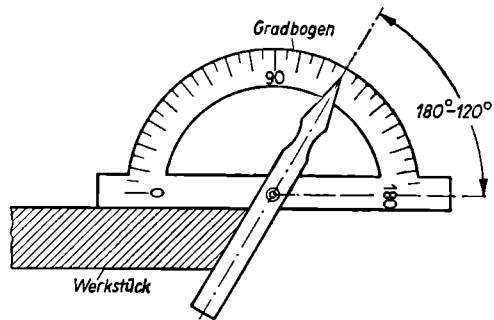


Abb. 9/1. Winkelmesser

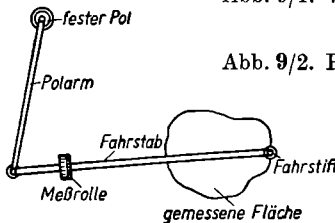


Abb. 9/2. Polarplanimeter

Gelenk verbunden. Zur Messung umfährt man mit dem Fahrstift an der Spitze des Fahrarmes die Fläche, wobei das Ende des Polarmes festgelegt wird. Aus der Anzahl der Umdrehungen der Meßrolle, die man an einem Zählwerk ablesen kann, wird der Flächeninhalt errechnet.

3. Volummessungen. Die gebräuchlichsten Geräte zur Bestimmung des Volumens von Flüssigkeiten sind aus dem Physik- und Chemieunterricht bekannt: *Meßzylinder*, *Pipette* und *Bürette*. Ist das Volumen einer größeren Flüssigkeitsmenge in einem Behälter ständig zu überwachen, so überträgt man die Bewegung eines Schwimmers auf einen Zeiger, der vor einer in Kubikmeter geteilten Skale läuft. Weitere Methoden sind in Abschnitt 5 dargestellt. Das Volumen fester Körper berechnet man meist aus der Masse und der Dichte.

4. Druckmessung. In der chemischen Industrie und in anderen Industriezweigen sind viele Vorgänge vom Druck abhängig. Daher müssen in Industriebetrieben an vielen Stellen Drücke gemessen werden. Ein einfacher, aber sehr genauer Druckmesser ist das *U-Rohr-Manometer*. Man vergleicht den Druck an der Meßstelle mit dem äußeren Luftdruck. Da man hier den Druck direkt ablesen kann, bezeichnet man dieses Gerät als *Primärinstrument*. Häufig ist es nötig, den Druckverlauf aufzuzeichnen. Man braucht dazu schreibende Geräte, bei denen die Änderung der Meßgröße durch ein mechanisches System auf einen Schreibstift übertragen wird. Unter diesem läuft eine mit Papier bespannte Trommel mit einer bestimmten Geschwindigkeit ab. Die Ausführung eines U-Rohr-Manometers als schreibendes Gerät zeigt die Abbildung 10/1.

Bei den meisten technischen Druckmessern benutzt man elastische Körper, zum Beispiel *Metall Dosen* oder *Membranen*. Sie bestehen aus gehärteten Stahlblechen und sind oft gewellt, damit sie infolge der größeren Oberfläche noch empfindlicher sind (Abb. 10/2). *Manometer mit Bourdonfeder* bestehen aus einem einseitig verschlossenen, gekrümmten Rohr aus Stahl oder Tombak, einer Cu-Zn-Legierung mit 70 % bis 90 % Cu

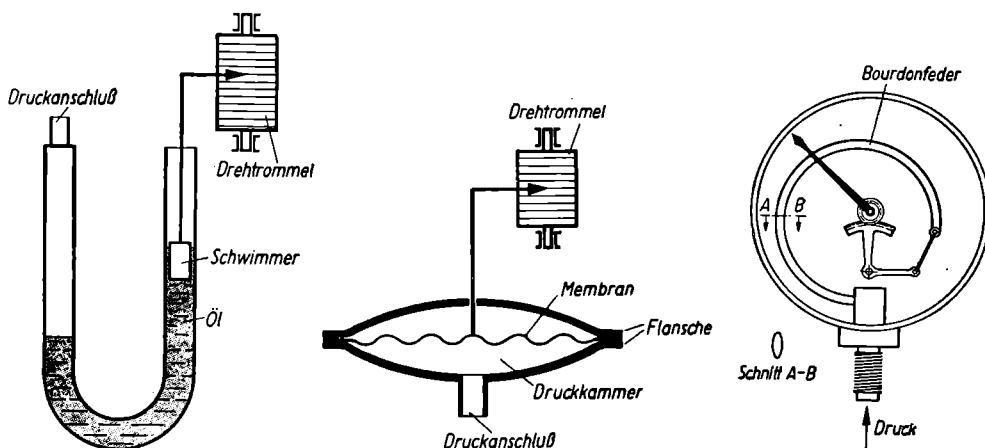


Abb. 10/1. U-Rohr-Manometer Abb. 10/2. Membranmanometer Abb. 10/3. Rohrfedermanometer

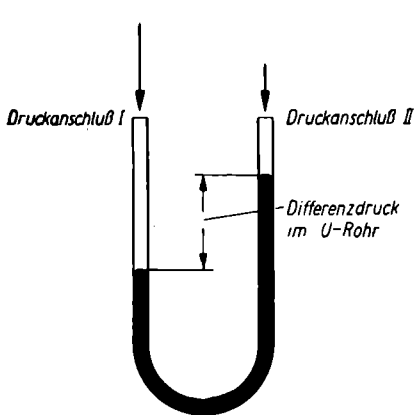


Abb. 11/1. Differenzdruckmesser

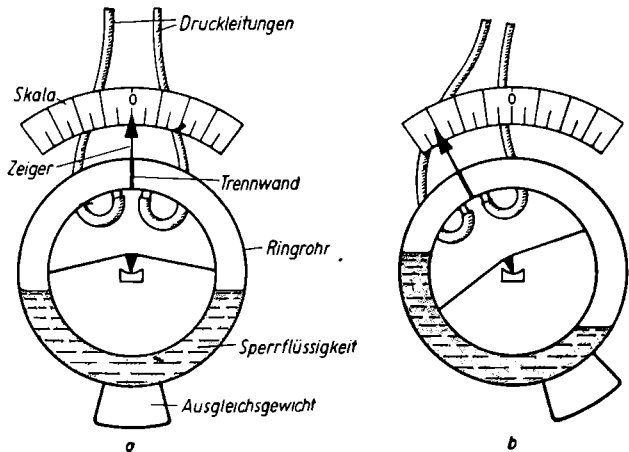


Abb. 11/2. Ringwaage

(Abb. 10/3). Das Rohr biegt sich bei Druckerhöhung auf. Dadurch wird ein Zeiger betätigt. Alle diese Geräte müssen nach einem Primärinstrument geeicht werden.

Drücke zwischen 5000 at und 12000 at werden mit *Kolbenmanometern* gemessen. Bei noch höheren Drücken nutzt man die Eigenschaft eines Manganindrahtes aus, der bei Druckänderungen seinen elektrischen Widerstand ändert.

Oft muß man Druckunterschiede zwischen zwei Meßstellen bestimmen. Der einfachste *Differenzdruckmesser* ist ein U-Rohr, dessen Schenkel an die beiden Meßstellen angeschlossen werden (Abb. 11/1). Viel benutzt wird auch die *Ringwaage* (Abb. 11/2). Ein ringförmiges Rohr ist auf einer Schneide drehbar gelagert. Durch eine Trennwand ist der innere Raum geteilt und zum Teil mit einer Sperrflüssigkeit, je nach Anzeigebereich mit Öl oder mit Quecksilber, gefüllt. Die freien Hohlräume sind mit den Meßstellen verbunden. Herrschen dort unterschiedliche Drücke, so wird die Flüssigkeit zu der Seite niederen Druckes verschoben. Dadurch wird das Gleichgewicht der Waage gestört, sie dreht sich, bis es wieder hergestellt ist. Die Größe der Drehung ist ein Maß für den Druckunterschied, den man auf einer Skale ablesen kann.

5. Messung von Durchflüßmengen. Bei der Versorgung von Anlagen mit Wasser oder Dampf oder beim Verbrauch von Benzin an Tankstellen kommt es darauf an, die zugeführte oder verbrauchte Menge zu bestimmen. Dazu benutzt man *Flügelrad-* oder *Trommelzähler*, seltener *Kolbenzähler* mit hin- und hergehenden Kolben. Bei den Flügelradzählern trifft der strömende Stoff auf die Flügel eines Rades und versetzt es in Drehung. Die Anzahl der Umdrehungen hängt von der strömenden Menge ab und wird über *Zahnräder* auf ein *Zählwerk* übertragen, an dem die Menge abgelesen werden kann. Jeder Zähler ist nur für einen bestimmten Stoff und für eine bestimmte Belastung verwendbar.

In der chemischen Industrie ist es oft wichtig, daß Reaktionen kontinuierlich ablaufen. Zur Kontrolle dieses kontinuierlichen Ablaufs muß man die in einer bestimmten Zeit zu- oder abgeführten Stoffmengen messen. *Die Durchflüßmenge ist hierbei von der Durchflüßstärke abhängig.* Sie ist das Produkt aus der Durchflüßstärke und der

Zeit. Wie aus der Strömungslehre bekannt ist, hängt der statische Druck von der Geschwindigkeit des strömenden Stoffes ab. Mißt man den statischen Druck, so kann man aus der Geschwindigkeit und dem Rohrquerschnitt die Durchflußstärke bestimmen. Aus der Durchflußstärke und der Zeit erhält man dann auch die gesamte Durchflußmenge. In der Technik wendet man folgendes Verfahren an: Mit Hilfe einer *Normblende* wird der Querschnitt des Rohres verringert (Abb. 12/1). Dadurch wird die Durchflußstärke nicht geändert, aber die Geschwindigkeit vergrößert. Es herrscht unmittelbar hinter der Verengung ein größerer Unterdruck als an anderen Stellen des Rohres. Zwischen der Druckdifferenz und der Durchflußstärke besteht ein bestimmter Zusammenhang. Die Differenz wird größer, wenn die Durchflußstärke größer wird. Als Differenzdruckmesser wird häufig die Ringwaage benutzt. An ihrer Skale liest man sofort die Durchflußstärke ab, zum Beispiel in $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Mit diesem Meßverfahren kann man die Durchflußstärke in Rohren mit einem Durchmesser von wenigen Millimetern bis zu mehreren Metern messen.

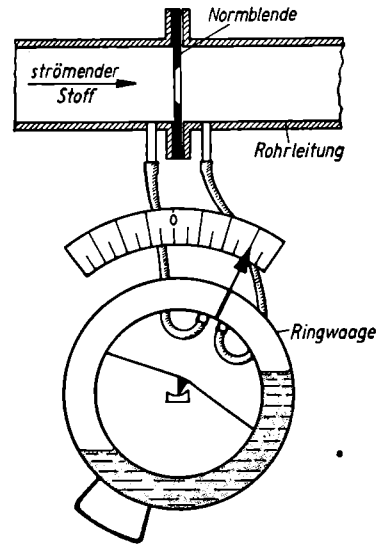


Abb. 12/1
Durchflußmengenmessung

Brauchen die Messungen nicht sehr genau zu sein, verwendet man *Schwebemesser*. In einem konischen Rohr wird ein Schwimmer durch das aufwärts strömende Wasser mehr oder weniger gehoben. An der Skale liest man die Durchflußstärke in $\frac{1}{\text{min}}$ ab.

6. Temperaturmessung. Die Temperatur wird *indirekt* gemessen, das heißt, man schließt aus bestimmten Eigenschaften von Stoffen, die von der Temperatur abhängen, auf ihre Größe. Temperaturmessungen erfordern große Sorgfalt und Erfahrung. Man muß vor allem darauf achten, daß die Temperaturverhältnisse durch die Meßinstrumente möglichst wenig beeinflusst werden.

Nach dem Meßverfahren unterscheidet man *Berührungs-* und *Strahlungsthermometer*. Die bekanntesten Berührungsthermometer sind die *Glasthermometer* mit Quecksilberfüllung für einen Anzeigebereich von $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+625\text{ }^{\circ}\text{C}$, bei Quarzglas bis $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quecksilberthermometer werden mit Skalenwerten von $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hergestellt. Weit verbreitet sind *Bimetallthermometer* (Abb. 13/1). Ein Bogen oder eine Spirale aus zwei zusammengewalzten Blechen mit unterschiedlichem Wärmeausdehnungskoeffizienten krümmen oder strecken sich bei Temperaturänderungen. Die Bewegung wird über Hebel und Zahnsegmente auf einen Zeiger oder einen Schreibhebel übertragen. Diese Thermometer sind nicht sehr genau, eignen sich aber gut für den Dauerbetrieb.

Für sehr genaue Messungen zwischen $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$ verwendet man elektrische *Widerstandsthermometer*. Diese Thermometer beruhen auf der Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes bestimmter Metalle von der Temperatur. Man

Abb. 13/1. Bimetall-
thermometer

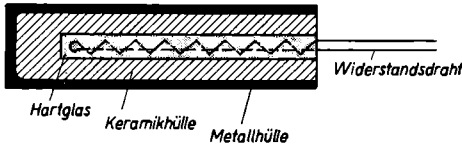
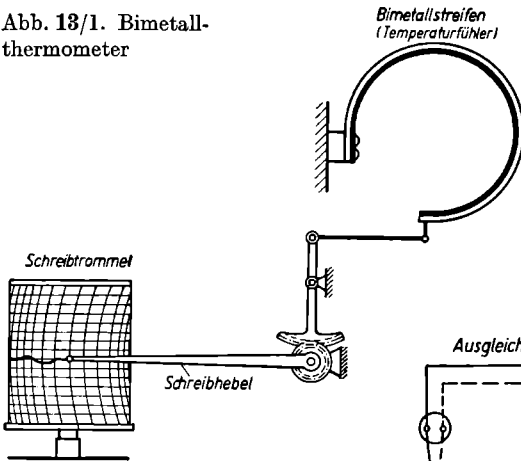


Abb. 13/2. Widerstandsthermometer

Abb. 13/5. Gesamtstrahlungspyrometer

Abb. 13/3. Heißlötstelle
eines Thermoelements

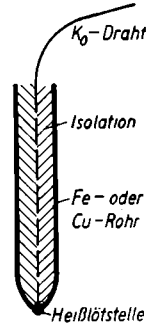
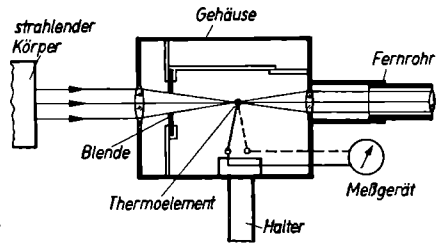
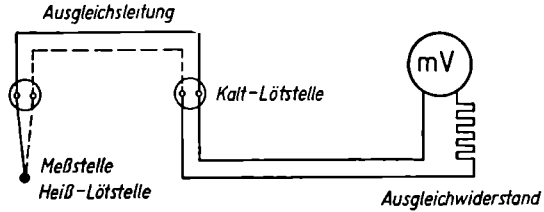


Abb. 13/4
Schaltungsmöglichkeit
eines Thermoelements



wickelt Nickel- oder Platindraht auf Glimmer oder Porzellan oder schmilzt ihn in Glas und in eine Schutzhülle ein (Abb. 13/2). Diese Temperaturfühler kann man sehr klein halten, wodurch die Temperaturverhältnisse an der Meßstelle wenig gestört werden. In einer Brückenschaltung kann der Widerstand gemessen werden. Da zwischen dem Widerstand und der Stromstärke bei konstanter Spannung eine feste funktionale Abhängigkeit besteht, kann man bei bekannter Spannung die Stromstärke messen und hat damit ein Maß für den Widerstand. Damit keine Umrechnungen erforderlich sind, teilt man die Skale des Amperemeters in Widerstandseinheiten.

Einen noch größeren Temperaturbereich bis zu 1600 °C erfaßt man mit *Thermoelementen*. Sie bestehen aus zwei verschiedenen Drähten, die an den Enden zusammen gelötet sind. Haben die Lötstellen verschiedene Temperatur, so tritt eine Thermospannung auf, die von der Temperaturdifferenz abhängt. Zum Messen bringt man die eine Lötstelle an die Meßstelle und hält die andere auf einer konstanten Temperatur, bei genauen Messungen auf 0 °C. Die Abbildung 13/3 zeigt die Ausführung der Heißlötstelle, die Abbildung 13/4 eine Schaltungsmöglichkeit.

Temperaturen von 800 °C bis zu beliebiger Höhe mißt man mit *Strahlungspyrometern*, die zum Beispiel bei Glüh- und Hochöfen verwendet werden. Die Strahlung,

die ein Körper aussendet, hängt von seiner Temperatur ab. Das *Gesamtstrahlungs-pyrometer* (Abb. 13/5) mißt die gesamte auftreffende Strahlung. Durch ein Linsensystem aus Quarz werden die einfallenden Strahlen auf die geschwärzte Heißblotstelle eines Thermoelements gelenkt, das mit einem Galvanometer verbunden ist. Aus dem Ausschlag kann man nach vorheriger Eichung die Temperatur des strahlenden Körpers bestimmen. Gegenüber der Einfallsöffnung ist ein Fernrohr angebracht, das zur genauen Kontrolle der Linseneinstellung dient.

3. Messung elektrischer Größen

1. Strommessung. Auch der elektrische Strom läßt sich nur *indirekt messen*. Man könnte prinzipiell jede *Wirkung des elektrischen Stromes*, die magnetische, die Wärmewirkung, die chemische Wirkung, als Grundlage für die Konstruktion von Strommessern verwenden. Es ist beispielsweise möglich, den elektrischen Strom nach der Abscheidungsmenge eines bestimmten Metalls bei der elektrolytischen Dissoziation zu bestimmen. Dieses Verfahren wird auch in physikalischen Labors bei sehr genauen Untersuchungen angewandt.

In der Technik will man jedoch die Stromstärke in möglichst kurzer Zeit bestimmen. Deshalb werden hier andere Verfahren benutzt. Die in der Technik gebräuchlichsten Geräte beruhen meist auf der magnetischen Wirkung des elektrischen Stromes.

2. Strommesser. a) **Weicheiseninstrumente.** Bei dem in Abbildung 14/1 dargestellten Meßwerk werden bei Stromfluß durch die Spule die beiden Weicheisenkerne gleichnamig magnetisch, so daß gleiche Pole übereinander liegen. Gleichnamige Pole stoßen einander ab. Der über einer Welle mit dem Zeiger verbundene Weicheisenkern wird dadurch bei Stromfluß aus seiner Ruhelage abgelenkt und muß die Rückstellkraft der Feder überwinden. Diese Feder dreht den Zeiger nach der Messung wieder in seine Ruhelage zurück.

Bei einer anderen Art von Weicheiseninstrumenten fließt der Strom durch eine Spule, in die ein Weicheisenkern eintaucht (Abb. 14/2). Dieser Kern ist an dem einen Ende eines Winkelhebels drehbar befestigt, während am anderen Ende des Hebels eine kleine Masse für die Rückstellung des Zeigers angebracht ist. Dieses Instrument

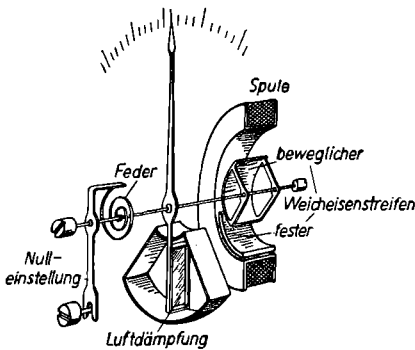


Abb. 14/1. Meßwerte eines Dreheiseninstrumentes

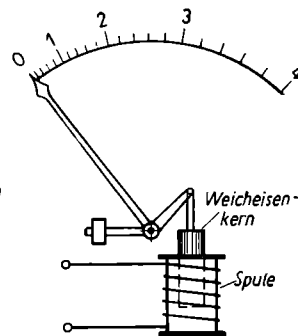


Abb. 14/2. Meßwerk eines Tauchspulgerätes

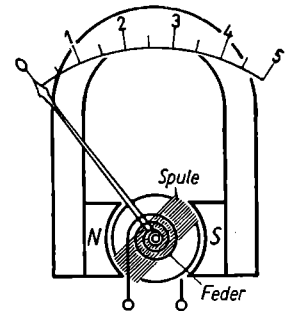


Abb. 14/3. Meßwerk eines Drehspulmeßgerätes

kann nur in einer bestimmten Lage einwandfrei arbeiten (vergleiche S. 17). Am Drehpunkt des Hebels ist ein Zeiger befestigt, der über eine Skale streicht. Dreheiseninstrumente eignen sich für Gleich- und Wechselstrommessungen.

b) **Drehspulmeßgeräte.** Zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten ist eine Spule drehbar auf einer Achse gelagert, an der ein Zeiger befestigt ist (Abb. 14/3). Fließt durch die Spule ein Strom, so bildet sich um diese ein Magnetfeld aus. Die Magnetfelder der Spule und des Hufeisenmagneten wirken so aufeinander, daß die drehbar gelagerte Spule aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird. Der Strom wird hier über Federn zugeführt, die gleichzeitig den Zeiger bei Stromunterbrechung zurückdrehen.

c) **Spiegelgalvanometer.** Die Spiegelgalvanometer sind äußerst empfindlich. Sie haben ebenfalls ein Drehspulmeßwerk, unterscheiden sich jedoch in ihrer technischen Ausführung und ihrem Verwendungszweck von den anderen Drehspulgeräten. Die Spule ist bei diesem Gerät an einem Faden aufgehängt (Abb. 15/1). Fließt ein Strom durch sie, so wird sie aus ihrer Ruhelage abgelenkt. Dabei wird der Faden verdreht. Infolge seiner Torsionselastizität wird die Spule bei Stromunterbrechung zurückgedreht. Zur Anzeige benutzt man hier *Lichtzeiger*. Ein Lichtbündel fällt auf einen Spiegel, der unmittelbar über der Spule am gleichen Faden befestigt ist. Der vom Spiegel reflektierte Strahl trifft auf eine Skale, die bis zu einigen Metern vom Meßwerk entfernt ist. Bei Drehung der Spule um nur einen kleinen Winkel überstreicht der Lichtstrahl auf der Skale schon eine beträchtliche Strecke. Ist die Skale jedoch in unmittelbarer Nähe des Meßwerkes befestigt, so ist der Ausschlag nur gering. Um trotzdem einwandfrei ablesen zu können, wird die Skale mit Hilfe einer Lupe betrachtet. Mit einem Spiegelgalvanometer kann man Stromstärken bis zu 10^{-9} A messen. Das Gerät ist nur für Gleichstrom verwendbar.

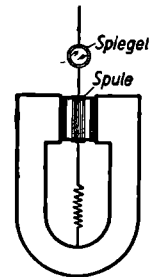


Abb. 15/1
Spiegelgalvanometer

3. Spannungsmessung. Da nach dem Ohmschen Gesetz die Spannung bei konstantem Widerstand der Stromstärke proportional ist, kann man Spannungen grundsätzlich mit den für Stromstärkemessungen üblichen Meßwerken messen. *Ein Amperemeter wird bekanntlich direkt in den Stromkreis geschaltet.* Der Innenwiderstand R_i des Instruments muß daher sehr klein im Vergleich zum Verbraucherwiderstand R_a sein. Würde der Innenwiderstand in der Größenordnung des Außenwiderstandes liegen, so wäre der Spannungsabfall am Meßinstrument etwa gleich dem Spannungsabfall am Verbraucher. Während der Messung hätte der Verbraucher nur etwa die halbe Betriebsspannung. Daraus folgt: 1. Das Meßergebnis wird verfälscht. 2. Das Meßwerk erwärmt sich sehr stark. 3. Der Verbraucher ist während der Messung nicht funktionstüchtig, weil er nur annähernd die halbe Betriebsspannung erhält. Man verkleinert den Innenwiderstand eines Instrumentes dadurch, daß man einen sehr kleinen Widerstand, einen Shunt, zum Widerstand des Meßwerkes parallel schaltet.

Spannungsmesser werden dagegen parallel zum Verbraucher bzw. zur Spannungsquelle geschaltet. Der Innenwiderstand muß sehr groß sein, damit der durch das Instrument fließende Strom klein gegenüber dem Gesamtstrom des Stromkreises wird.

Meßgeräte, durch die ein Strom fließt, bezeichnet man als *dynamische Meßgeräte*. Im Gegensatz dazu fließt durch *statische Instrumente* kein Strom. Diese Instrumente

beruhen darauf, daß elektrisch geladene Körper sich anziehen beziehungsweise abstoßen. Bei dem in Abbildung 16/1 gezeigten Instrument wird eine bewegliche Platte in ein feststehendes Plattenpaar hineingezogen.

4. Widerstandsmessung. Die Widerstandsbestimmung mit der Wheatstoneschen Meßbrücke wird in der Technik häufig angewendet (Abb. 16/2). Sie beruht auf dem Vergleich von Widerständen. R_1, R_2, R_3 sind Widerstände von bekannter Größe, wobei der Widerstand R_1 veränderlich ist. R_4 ist der gesuchte Widerstand. Zwischen der Klemmstelle R_1, R_2 und der Klemmstelle R_3, R_4 liegt ein empfindlicher Strommesser mit Nullpunktsmittellage. Wird der unbekannte Widerstand R_4 in die Brücke geschaltet, so schlägt der Zeiger des Instrumentes nach der einen oder anderen Seite aus. Man verändert den Widerstand R_1 so lange, bis der Zeiger des Instrumentes auf Null zeigt, man sagt dann, die Brücke ist stromlos. Dabei gilt:

$$R_1 : R_2 = R_3 : R_4.$$

Wollte man aus der Proportion den jeweiligen Wert für R_4 ausrechnen, so brauchte man sehr viel Zeit. In der Technik kommt es aber darauf an, bei maximaler Genauigkeit der Messung ein Minimum an Zeit aufzuwenden. Deshalb wird an dem Schleifkontakt zur Veränderung des Widerstandes R_1 eine in Ohm geeichte Skale angebracht, so daß die Größe des zu bestimmenden Widerstandes sofort ablesbar ist. Um die Genauigkeit der Messung zu vergrößern, kann man bei technischen Meßbrücken den Widerstand R_1 noch durch einen Stöpselkontakt verändern.

5. Die Messung der elektrischen Leistung und der elektrischen Arbeit. Die Leistung im Gleichstromkreis läßt sich mit Hilfe eines Amperemeters und eines Voltmeters bestimmen. Man mißt gleichzeitig Stromstärke und Spannung und bildet das Produkt. In einem Wechselstromkreis gilt jedoch die Beziehung

$$N = U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

Der Winkel φ gibt bekanntlich die *Phasenverschiebung* zwischen der Stromstärke und der Spannung an. Im Wattmeter werden diese drei Größen gleichzeitig gemessen und als eine Größe in Watt angegeben (Abb. 16/3).

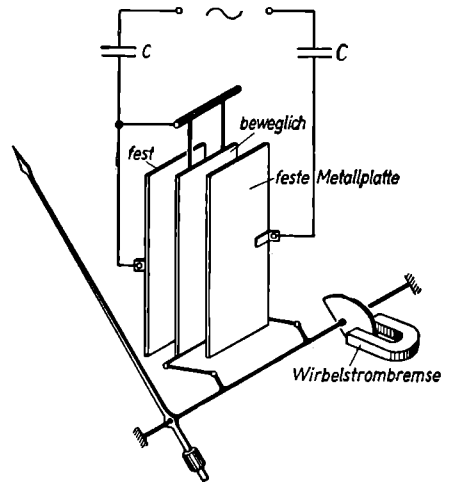


Abb. 16/1. Elektrostatisches Meßgerät

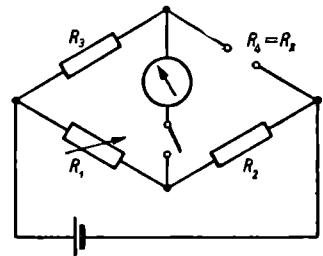


Abb. 16/2. Widerstandsmeßbrücke

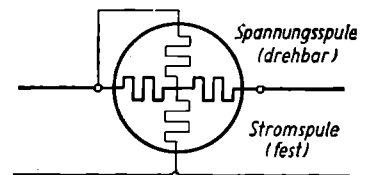


Abb. 16/3. Wattmeter

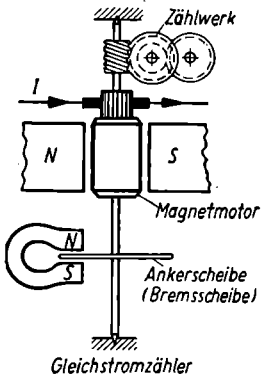


Abb. 17/1. Schaltung eines Gleichstromzählers

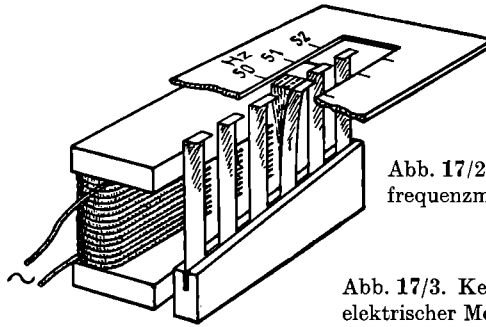


Abb. 17/2. Zungenfrequenzmesser

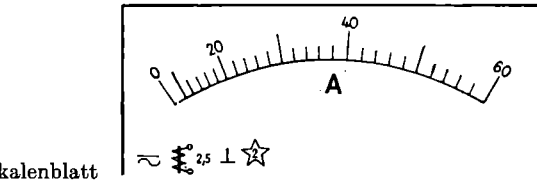


Abb. 17/4. Skalenblatt

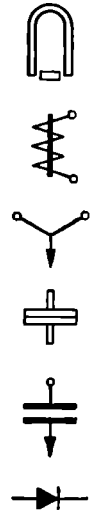


Abb. 17/3. Kennzeichen elektrischer Meßgeräte

Zum Messen der elektrischen Arbeit dient der *elektrische Zähler*. Die Abbildung 17/1 zeigt die Prinzipschaltung eines Gleichstromzählers.

6. Frequenzmessung. Die meisten der in Industrie und Haushalt verwendeten Maschinen sind für die übliche Netzfrequenz von 50 Hz gebaut. Bei dieser Frequenz erreichen Strom und Spannung hundertmal in der Sekunde ihre Maximalwerte. Im Kraftwerk muß man darauf achten, daß diese Frequenz eingehalten wird. Zur Messung der Frequenz werden häufig *Zungenfrequenzmesser* benutzt (Abb. 17/2).

7. Die Behandlung von Meßgeräten. Auch beim Messen elektrischer Größen besteht die grundsätzliche Forderung, so genau wie jeweils erforderlich zu messen und für jede Messung das richtige Gerät zu verwenden. Da ein elektrisches Meßwerk sehr empfindlich auf Überlastung reagiert, muß vor jeder Messung die zu erwartende Meßgröße abgeschätzt werden.

Schon die *äußere Form* des Meßgerätes gibt in vielen Fällen Hinweise für den Verwendungszweck. Hat das Gerät eine runde Form, so ist es im allgemeinen ein Einbauminstrument. Galvanometer besitzen häufig eine kleine Dosenlibelle, damit das Gerät in die waagerechte Lage einjustiert werden kann. Die Füße sind als Stellschrauben ausgebildet. Ein solches Instrument arbeitet nur einwandfrei, wenn es in der richtigen Lage und erschütterungsfrei aufgestellt ist. Kennzeichen für die vorgeschriebene Lage und weitere Verwendungshinweise sind auf dem Skalenblatt unter der Skaleneinteilung durch genormte Symbole angegeben (Abb. 17/3). Das in Abbildung 17/4 dargestellte Skalenblatt gehört zum Beispiel zu einem Amperemeter, gekennzeichnet durch das A unter der Skale. Es hat ein Drehspulmeßwerk. Durch eine kleine Zahl unter der Skale, beispielsweise 2,5, wird die Güteklasse des Instrumentes angegeben. Sie gibt an, um wieviel Prozent die Anzeige beim Skalenendwert abweichen kann (vergleiche die Tabelle auf S. 18).

Unter dem *Lageeinfluß* versteht man die Änderung des angezeigten Wertes, die bei einer Neigung des Instruments gegen die Gebrauchslage entsteht. Der Einfluß darf

bei einer Neigung um 5% gegen die Gebrauchslage die in der Tabelle angegebenen Werte nicht überschreiten.

Schließlich findet man auf dem Skalenblatt noch einen Stern, der eine Zahl enthält.

Sie gibt an, wie groß die Prüfspannung (in kV) war. Zur Prüfung der Isolationsfestigkeit zwischen spannungsführenden Teilen und den metallischen Teilen des Gehäuses wurden beispielsweise 43 kV angelegt. Enthält der Stern keine Zahl, so hat die Prüfspannung den Wert 0,5 kV.

Anzeigefehler und Lageeinfluß

Klasse	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0
Anzeigefehler in Prozent (\pm) bezogen auf den Skalenendwert	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0
Lageeinfluß in Prozent (\pm)	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0

4. Die Fernmessung

Sollen Meßwerte über größere Entfernungen zu den zentral gelegenen Schaltanlagen geleitet werden, so ist oftmals die Meßgröße für Temperatur, Druck, Wasserstand usw. durch die Eigenart der Meßfühler nicht direkt übertragbar. Mit Hilfe von Meßwertumformern werden die Meßwerte proportional ihrer Größe in elektrische Signale umgeformt, über größere Entfernungen geleitet und an den Schaltanlagen wieder in die ursprünglichen Meßwerte umgewandelt. Für diese Übertragung benutzt man oft kurzzeitig wirkende Stromstöße, sogenannte *Impulse* oder *Spannungsänderungen*. Von den vielen Verfahren der Fernmessung werden im folgenden nur drei behandelt:

1. Impulzzahlinstrument zur Fernmessung. Die Übermittlung von Impulsen kann über sehr große Entfernungen (bis 20 km) und durch Impulsverstärker unbegrenzt erfolgen. Die Wirkungsweise wird an dem Beispiel einer Wasserstandsmessung erklärt (Abb. 18/1). Verändert sich der Wasserspiegel, so führt der Schwimmer eine vertikale Bewegung aus, dabei dreht sich die Achse des Impulsgebers. Durch die Verzahnung des Impulsrades K_1 wird je nach der Drehrichtung der Kontakt a_1 oder b_1 geschlossen. Dadurch werden wechselseitig Stromkreise geschlossen, und das polarisierte Relais läßt einen der beiden Elektromagnete des Anzeiginstrumentes in Funktion treten. Jeder Impuls verstellt den Zeiger um eine Einheit.

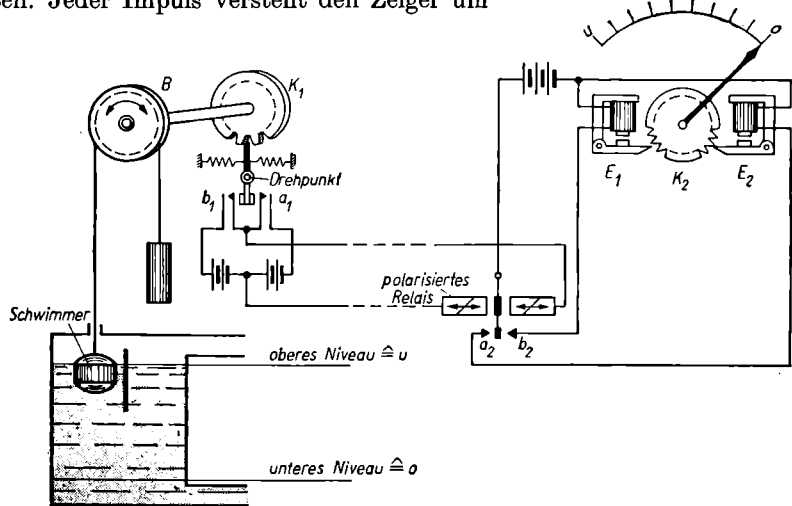


Abb. 18/1
Wasserstands-
messung

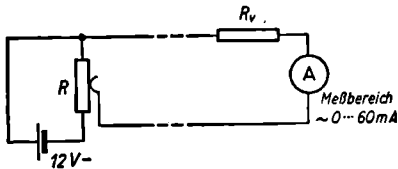


Abb. 19/1. Potentiometerschaltung einer Fernmeßanlage

Wenn der Wasserspiegel fällt, senkt sich der Schwimmer. Jeder Zahn des Impulsgebers schließt einmal den Kontakt a_1 . Der Stromimpuls wird zum doppelseitig wirkenden Relais geleitet und schließt den Kontakt a_2 , dadurch wird der Elektromagnet E_2 wirksam und dreht das Anzeigesystem um eine Einheit nach links. Jeder weitere Stromimpuls wird durch das Absinken des Wasserspiegels verursacht. Diese *Impulsgeber* und *-empfänger* werden in abgewandelter Ausführung gebaut und können die verschiedensten Meßwerte über große Entfernungen übertragen. Sie werden auch bei elektrischen, ferngesteuerten Uhren auf Bahnhöfen, Straßen und in öffentlichen Gebäuden eingesetzt.

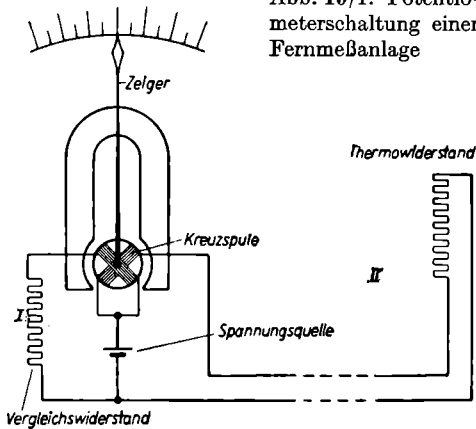


Abb. 19/2. Temperaturmeßgerät als Kreuzspulgerät

2. Potentiometerschaltung in einer Fernmeßanlage. Die drehende Bewegung eines Druckmessers, Temperaturmessers, Niveaumessers, auch einer Drehwaage wird auf die Achse eines Potentiometers übertragen. Dadurch verändert sich die Lage des Schleifers und damit der Widerstand eines Strom-

kreises. Die Spannungsquelle bewirkt, daß bei Widerstandsänderung eine Stromstärkeänderung eintritt. Obwohl die Stromstärke am Meßinstrument gemessen wird, kann die Skale in Einheiten des Druckes, der Temperatur, der Länge oder der Menge geeicht werden. Nachteilig wirkt sich aus, daß eine Veränderung der Spannung der Spannungsquelle stets Meßwertungenauigkeiten zur Folge hat (Abb. 19/1).

3. Temperaturmeßgerät als Kreuzspulgerät zur Fernanzeige. Zur Messung von Temperaturen und zur Übertragung der Meßwerte über größere Entfernungen benutzt man ein Widerstandsthermometer, das mit einem *Kreuzspulmeßinstrument* zusammengeschaltet ist (Abb. 19/2). Dieses Gerät enthält zwei Spulen, die einen Winkel von 90° miteinander bilden. Die beiden Spulen liegen in zwei getrennten Stromkreisen, die an die gleiche Spannungsquelle angeschlossen sind. Hierdurch erreicht man, daß Spannungsschwankungen der Spannungsquelle keinen Einfluß auf das Meßergebnis haben. Der Vergleichswiderstand liegt im Stromkreis I, der Thermowiderstand im Stromkreis II. Sind beide Widerstände gleich groß, so werden beide Stromkreise von Strömen gleicher Stromstärke durchflossen. Auf die Spulen der Kreuzspule wirken daher zwei gleiche Kräfte, jedoch in entgegengesetzter Richtung. Die beiden Kraftwirkungen heben sich infolgedessen auf. Das Gerät zeigt keinen Ausschlag an. Steigt nun die Temperatur, so wird auch der Widerstand des Meßfühlers größer. In diesem Stromkreis sinkt infolgedessen die Stromstärke, und auch die Kraftwirkung der in diesem Stromkreis liegenden Spule des Meßinstrumentes nimmt ab. Der Ausschlag des Zeigers ist ein Maß für die Temperatur, die auf den Meßfühler wirkt.

II. Steuerungs- und Regelungstechnik

Unser Leben soll immer schöner und reicher werden. Deshalb haben sich die Werktätigen in der Deutschen Demokratischen Republik die Aufgabe gestellt, die industrielle Produktion bis 1965 auf 188 Prozent gegenüber 1958 zu steigern. Wissenschaftler, Techniker und Arbeiter schaffen gemeinsam, um neue, leistungsfähigere Maschinen zu bauen und die vorhandenen Maschinen besser auszunutzen.

Die großen Ziele des Siebenjahrplans müssen mit der annähernd gleichen Zahl an Arbeitskräften erreicht werden, die gegenwärtig vorhanden ist. Daher sind die neuen Maschinen so zu konstruieren, daß sie einen möglichst geringen Aufwand an menschlicher Arbeitskraft erfordern. Gleichzeitig müssen die vorhandenen Maschinen so umgebaut und ergänzt werden, daß mit weniger Arbeitskräften höhere Leistungen erzielt werden können. Durch den Einsatz von Steuerungs- und Regelungsgeräten wird erreicht, daß die Vorgänge in den Maschinen und Geräten selbständig oder weitgehend selbständig ablaufen, so daß weniger menschliche Arbeitskraft als bisher aufgewandt werden muß.

Allerdings können Steuerungs- und Regelungsanlagen nicht in allen Produktionsprozessen eingesetzt werden. Vielfach sind auch zunächst bestimmte Voraussetzungen zu schaffen. Dazu gehört vor allem die Qualifizierung der Werktätigen, die jetzt nicht mehr Drehbänke, Bohrmaschinen oder chemische Aggregate bedienen, sondern Steuerungs- und Regelgeräte warten und gegebenenfalls reparieren sollen.

In vielen Zweigen unserer Industrie werden Erzeugnisse hergestellt, die in großen Mengen benötigt werden. Hierbei ist der Einsatz von komplizierten Steuerungs- und Regelgeräten besonders notwendig. Im Gesetz über den Siebenjahrplan ist deshalb festgelegt:

„Entscheidend für die weitere Hebung des technischen Niveaus der Erzeugnisse und die Durchführung der Rekonstruktion ist die starke Entwicklung der Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik sowie der Elektrotechnik.“

„Auf dem Gebiete der Be- und Verarbeitungsmaschinen, wie Walzwerkaustrüstungen, Werkzeugmaschinen, Ausrüstungen für die Leichtindustrie, besteht die Aufgabe darin, die Produktivität der Aggregate unter Verringerung des Raumbedarfes zu steigern und den Übergang auf kontinuierliche Fertigungsprozesse durch Anbringung von Verkettungseinrichtungen, Materialzufuhr- und Entnahmeeinrichtungen, Meß-, Steuerungs- und Regelungsmechanismen zu vollziehen . . .

Von besonderer Wichtigkeit für die Vervollkommnung der Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik — vor allem zur Regelung komplexer Produktionsprozesse — ist die Entwicklung eines Baukastensystems elektronischer, pneumatischer und hydraulischer Steuerungs- und Regelgeräte sowie die Erweiterung des Programms hochwertiger Analysenmeßgeräte.“

Nicht nur in der metallverarbeitenden Industrie, sondern auch in der chemischen Industrie besteht die Notwendigkeit, durch den Einsatz von Steuerungs- und Regelanlagen die Produktion zu steigern und zu verbessern. Deshalb heißt es im Siebenjahrplan:

„Die Produktionssteigerung der chemischen Industrie . . . muß durch die maximale Ausnutzung der bestehenden Anlagen, die breite Anwendung der Meß- und Regeltechnik . . . verwirklicht werden . . .“

5. Die Grundlagen der Regelungstechnik

1. Die Grundbegriffe. In chemischen Großbetrieben und auch in anderen Betrieben werden häufig aus einem großen Vorratsbehälter verschieden große Wassermengen entnommen. Trotz dieses veränderlichen Abflusses soll der Wasserstand in dem Gefäß immer die gleiche Höhe haben. Es muß also stets Wasser zufließen, und zwar um so mehr, je mehr Wasser verbraucht wurde. Im einfachsten Fall müßte man den Wasserspiegel dauernd beobachten und bei einer Änderung den Wasserhahn in der Zuflußleitung auf- oder zumachen. Der Vorgang soll jedoch selbsttätig ablaufen, das heißt *automatisiert* werden. Das Schema einer solchen Anlage zeigt die Abbildung 21/1. Um den Wasserstand zu beeinflussen, muß man ihn messen. Das Meßgerät, in der Regeltechnik *Meßfühler* genannt, ist ein Schwimmer. Die Schwimmerstange ist mit einem Hebelarm eines zweiseitigen ungleicharmigen Hebels verbunden. An dem anderen Hebelarm ist ein Schieber befestigt, der den Zufluß durch mehr oder minder tiefes Eintauchen verändert. Steigt zum Beispiel der Wasserspiegel über den gewünschten Wert, so bewegt sich der Schwimmer nach oben; gleichzeitig senkt sich der Schieber, und der Zufluß wird verringert. Daher sinkt der Wasserspiegel infolge des Abflusses wieder.

In der Technik hat man für die einzelnen Größen bestimmte Bezeichnungen geprägt. Man nennt die physikalische Größe, die auf einen vorgegebenen Wert gebracht bzw. konstant gehalten werden muß, die *Regelgröße*. In unserem Fall ist diese Regelgröße der Wasserstand. Sie soll einen bestimmten Wert besitzen, den *Sollwert* X_K . Der *Istwert* X ist der augenblickliche Wert der *Regelgröße*. Die Vorrichtung, mit der man den Zufluß verstellen kann, in unserem Fall den Schieber, nennt man das *Stellglied*. Die augenblickliche Stellung des Schiebers ist die *Stellgröße* Y . Die Größe, die den geforderten Zustand stört, die also eine Regelung notwendig macht, heißt die *Störgröße* Z . Bei dem Durchflußbehälter kann man Zu- und Abfluß als Störgrößen Z_1 und Z_2 auffassen.

Eine Veränderung der Regelgröße, des Wasserstandes, bewirkt über das Hebelgestänge eine Veränderung der Stellgröße. Diese veränderte Stellgröße (Schieber-

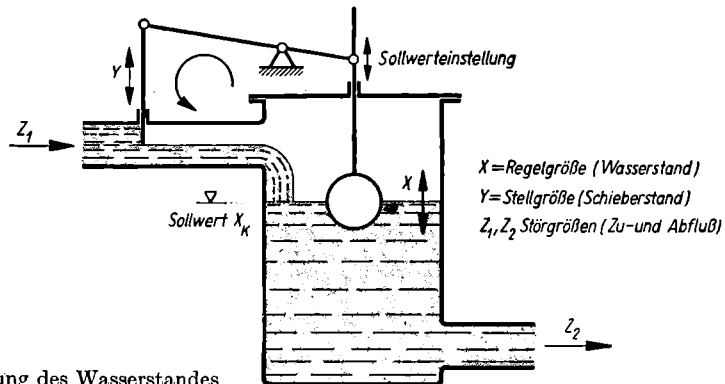


Abb. 21/1. Regelung des Wasserstandes

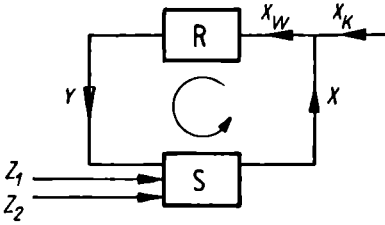


Abb. 22/1. Blockschaltbild eines Regelkreises

stellung) beeinflusst durch den Zufluß wieder die Regelgröße usw. Irgendein Anstoß wandert also in einem Kreislauf durch die Regelanlage. Man spricht daher von einem *Regelkreis*. Der Regelkreis wird jedoch nur in einer Richtung durchlaufen. Diese ausgezeichnete Richtung heißt Wirkungsrichtung.

Aus praktischen Gründen faßt man die Regelkreisglieder zu zwei Gruppen zusammen. Die eine Gruppe ist die zu regelnde Anlage, die *Regelstrecke S*, in unserem Fall der Durchflußbehälter. Für den Konstrukteur einer Regelanlage ist die Regelstrecke

im allgemeinen gegeben. Die andere Gruppe ist der *Regler R*. Die Stellgröße, die Schieberstellung, ist der Ausgang des Reglers und zugleich der Eingang der Regelstrecke. Die Regelgröße, der Wasserstand, ist der Ausgang der Regelstrecke und der Eingang des Reglers. In der Regeltechnik stellt man sowohl Regelstrecken als auch Regler durch Kästchen dar. Zeichnet man den Istwert X der Regelgröße und die Stellgröße Y durch verbindende Pfeile ein, so ergibt sich ein *Blockschaltbild* (Abb. 22/1). Solche Blockschaltbilder kann man für alle Regelkreise aufstellen.

Man hat die Angriffspunkte von Störgröße und Sollwert so festgelegt, daß die Störgröße und die Stellgröße gemeinsam den Eingang der Regelstrecke bilden, während der Eingang des Reglers durch die *Regelabweichung* gegeben ist. Die Regelabweichung X_W ist die Abweichung des Istwertes X der Regelgröße vom Sollwert X_K :

$$X_W = X - X_K.$$

Der Regelkreis besteht aus der Regelstrecke und dem Regler. Er wird dargestellt durch das Blockschaltbild.

Beispiel: Wasserstandsregelung

Regelgröße:	Wasserstand
Istwert X :	Augenblicklicher Wasserstand
Sollwert X_K :	Geforderter Wasserstand
Stellgröße Y :	Schieberstellung
Störgrößen Z_1 ; Z_2 :	Zu- und Abfluß

2. Steuerung und Regelung. In den Gewächshäusern muß eine bestimmte gleichbleibende Temperatur herrschen, damit das Wachstum der Pflanzen gefördert wird und dadurch zum Beispiel die rechtzeitige Belieferung der Bevölkerung mit Frühgemüse gewährleistet ist. Zur Beheizung des Gewächshauses können Rohrleitungen dienen, die von warmem Wasser durchflossen werden. Ohne Heizung würde sich die Innentemperatur der Außentemperatur angleichen. Will man eine konstante Innentemperatur erreichen, so muß man bei sinkender Außentemperatur die Heizung vergrößern. Das kann man beispielsweise durch Öffnen eines Ventils erreichen. Man verändert die Wärmewirkung durch Verändern des Warmwasserzufflusses. Die Außentemperatur wird mit einem Thermometer gemessen. Wenn man vorher festgestellt hat, welche Stellung das Ventil bei verschiedenen Werten der Außentemperatur haben muß, so kann man eine Vorrichtung bauen, durch die das Außenthermometer selbsttätig das Ventil verstellt. In Abbildung 23/1 ist diese Vorrichtung, das *Steuergerät*, durch das Kästchen *St* dargestellt (vergleiche S. 23). Die Außentemperatur beeinflusst über das Thermometer die Stellung des Ventils und damit die Innentem-

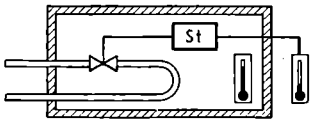


Abb. 23/1. Steigerung der Innentemperatur eines Gewächshauses

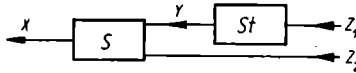


Abb. 23/2. Blockschaltbild einer Steuerung

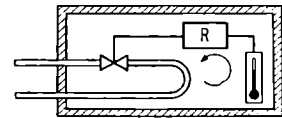


Abb. 23/3. Regelung der Innentemperatur eines Gewächshauses

peratur. Die Innentemperatur kann aber die Außentemperatur nicht verändern. Hier liegt also *kein geschlossener Wirkungsablauf*, kein Regelkreis, sondern eine *offene Wirkungskette* vor. Eine solche offene Wirkungskette ist das Kennzeichen einer *Steuerung*. Die Außentemperatur steuert das Stellglied, das Ventil. Ähnlich wie bei einer Regelung, läßt sich auch für eine Steuerung ein Blockschaltbild angeben (Abb. 23/2). Die Strecke *S* ist in diesem Falle das Gewächshaus, die Steuergröße *X* die Innentemperatur, die Störgröße Z_1 die Außentemperatur. Die Störgröße wirkt mittels des Steuergerätes *St* auf die Stellgröße *Y*, die Stellung des Ventils. Die Stellgröße *Y* beeinflusst die Steuergröße *X*. Die Anlage versagt aber, wenn sich beispielsweise die Temperatur des Heizwassers verändert. Diese Temperatur ist eine weitere Störgröße Z_2 . Sie wird bei der Steuerung nicht berücksichtigt.

Das Versagen der Steuerung bei veränderlicher Heizwassertemperatur kann man verhindern, wenn die Steuerung in eine Regelung umgewandelt wird. Da die Innentemperatur konstant gehalten werden soll, ist sie die Regelgröße. Als Meßfühler wird jetzt ein Innenthermometer verwendet. Es wird mit dem Stellglied, dem Ventil, verbunden (Abb. 23/3). Der Buchstabe *R* in dem Kästchen deutet nur den Regler an, soll aber nichts über den Aufbau des Gerätes aussagen. Der Wirkungsablauf ist jetzt geschlossen, es liegt ein Regelkreis vor (vergleiche Abb. 22/1).

Steuerung und Regelung können für die gleichen Aufgaben eingesetzt werden. Man muß jedoch beachten, daß bei Steuervorgängen nur eine Störgröße erfaßt wird, während bei Regelungen alle Störgrößen berücksichtigt werden. Es wird also bei der Regelung eine ständige Kontrolle störender Einflüsse ausgeübt, und gleichzeitig werden diese Störungen beseitigt. Der einmal gewählte Steuerungsvorgang wiederholt sich aber in ständiger Folge, ohne auftretende Mängel zu berücksichtigen.

Bei einer Regelung vollzieht sich ein geschlossener Wirkungsablauf, der Regelkreis. Bei einer Steuerung liegt eine offene Wirkungskette vor.

Die Bauelemente bei Steuerungs- und Regelungsvorgängen können vollkommen gleich sein. Die Zusammenschaltung der Bauelemente ist jedoch unterschiedlich.

Für das Treibhaus kann man sowohl bei der Steuerung als auch bei der Regelung die gleiche Ausführung des Meß-, Übertragungs- und Stellsystems verwenden. Die Abbildung 23/4 zeigt schematisch ein Flüssigkeitsthermometer, das mit dem Ventil durch eine Kapillarleitung ver-

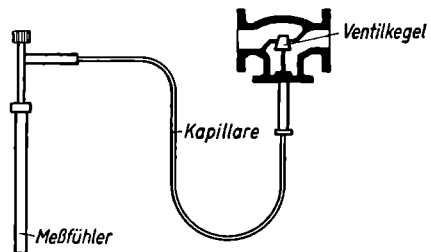


Abb. 23/4 Flüssigkeitsthermometer mit Ventil

Steuerkette durch *St* dargestellt, während der Dampfzylinder durch die Strecke *S* charakterisiert ist.

3. Die Fotozelle als Steuerorgan. Ein wichtiges Steuerorgan ist die *Fotozelle*. Sie wird in Verbindung mit einem Verstärker verwendet. Eine Schaltungsart zeigt die Abbildung 25/1. Die Fotozelle liegt mit einem Widerstand in Reihe, beide bilden einen Spannungsteiler für die Gitterspannung der Elektronenröhre. Bei Belichtung sinkt der Widerstand der Fotozelle, damit wird die Spannung, die am Widerstand abgegriffen wird, größer. Die ursprünglich negative Gitterspannung wird geringer, der Anodenstrom steigt und setzt das Relais in Tätigkeit. An die Relaiskontakte lassen sich je nach Verwendungszweck eine Alarmglocke, ein Zählwerk, ein Motor und andere Geräte legen.

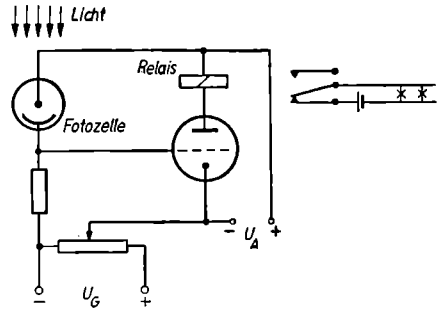


Abb. 25/1. Schaltung einer Fotozelle

Die Abbildung 25/2 stellt das Schaltbild eines *Dämmerungsschalters* dar, der ein elektromagnetisches Relais enthält. An den Ruhekontakten sind die beiden Glühlampen als Straßenbeleuchtung angeschlossen. Bei Tageslicht wird der Anker angezogen und die Straßenbeleuchtung abgeschaltet. Verringert sich die Beleuchtungsstärke, dann fällt der Anker bei einem bestimmten Wert ab, und die Straßenbeleuchtung wird eingeschaltet. Die Beleuchtungsstärke auf der Straße bildet die Steuergröße *X*. Das veränderliche Tageslicht ist die Störgröße *Z*. Die Stellgröße *Y* ist die Stellung der Relaiskontakte.

Das Schaltbild des Dämmerungsschalters läßt sich auch für die sogenannte *Lichtschranke* verwenden. An die Stelle des Tageslichtes tritt eine Glühlampe, vor die zum Beispiel bei einer Alarmanlage ein Infrarotfilter gesetzt wird. Durch die Relaiskontakte wird eine Alarmglocke betätigt. Wird der Strahlengang unterbrochen, so ertönt das Signal. Von größter Bedeutung ist die Lichtschranke für den Arbeiterschutz. Mit Lichtschranken werden beispielsweise große Pressen versehen. Sobald die Maschine eingeschaltet wird, wird auch die Lichtschranke in Tätigkeit gesetzt. Bei versehentlichen Eingriffen wird durch Unterbrechung des Lichtbündels die Maschine sofort ausgeschaltet.

Mit Hilfe einer Fotozelle kann auch eine *Rolltreppe* in Betrieb gesetzt werden.

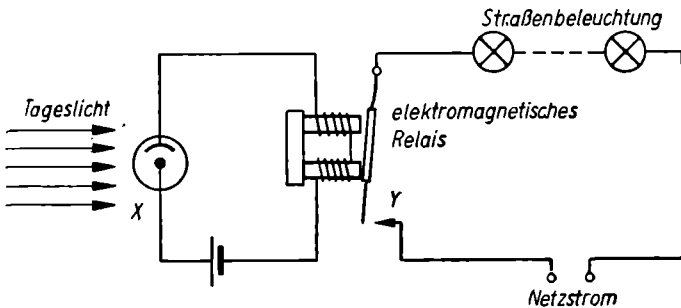


Abb. 25/2. Schaltbild eines Dämmerungsschalters

Unterbricht ein Mensch durch sein Dazwischentreten den Strahlengang, so wird der Motor eingeschaltet.

Legt man ein Zählwerk an die Relaiskontakte, so bewirkt jede Unterbrechung des Strahlenganges ein Weiterrücken des Zählwerkes um eine Einheit. Auf diese Weise können

die verschiedensten Dinge gezählt werden, beispielsweise Konservendosen. Man arbeitet auch häufig mit reflektiertem Licht, zum Beispiel bei Papierbändern in der Verpackungsindustrie (Abb. 26/1). Auf dem Papierband ist in ständiger Wiederholung die Aufschrift für Bonbons, Würfelzucker und anderes gedruckt. Ein Messer der Maschine muß das Band zwischen den einzelnen Aufdrucken durchschneiden, unabhängig davon, ob das Band schneller läuft oder sich durch die Luftfeuchtigkeit gedehnt hat. Bei Durchlaufen einer bestimmten Marke löst die Fozozelle, die zusammen mit der Lichtquelle im Abtastkopf untergebracht ist, über die Relaisstufe den Schneidevorgang aus. Das Messer fällt nach unten.

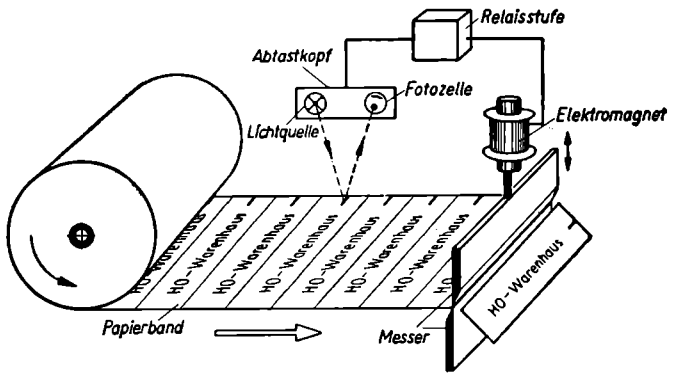


Abb. 26/1. Steuerung einer Papierschneidemaschine

Bei Durchlaufen einer bestimmten Marke löst die Fozozelle, die zusammen mit der Lichtquelle im Abtastkopf untergebracht ist, über die Relaisstufe den Schneidevorgang aus. Das Messer fällt nach unten.

Eine weitere Anwendung der Fozozelle mit Relaisstufe finden wir bei *Sortiermaschinen*, beispielsweise zum Verlesen von Kaffeebohnen. Die Fozozelle wird auf einen bestimmten Brauntön eingestellt, alle anderen Bohnen werden abgesaugt.

In der modernen Technik werden die *Halbleiter* in verstärktem Maße eingesetzt. An die Stelle einer Fozozelle tritt die Fotodiode, an die Stelle der Elektronenröhre der Transistor. Die Vorteile der Halbleiter sind der geringe Energieverbrauch und die kleinen äußeren Abmessungen. Die Fotodiode, deren empfindliche Fläche etwa 1 mm² groß ist, verwendet man zum Beispiel in der Textilindustrie als *Fadenwächter* bei Webstühlen (Abb. 26/2). Bei Unterbrechung eines der zahlreichen Längsfäden muß sofort die Maschine abgeschaltet werden, damit die Textilbahn nicht durch ein fehlerhaftes Stück wertlos gemacht wird. Unter jedem Längsfaden bringt man eine Fotodiode an, die bei Unterbrechung des Fadens volles Licht erhält und über eine Relaisstufe entweder eine Signallampe einschaltet oder bei genügender Verstärkung den Motor der Maschine abschaltet (Abb. 26/3).

Fokussierlinse



Abb. 26/3. Schaltung eines Fadenwächters

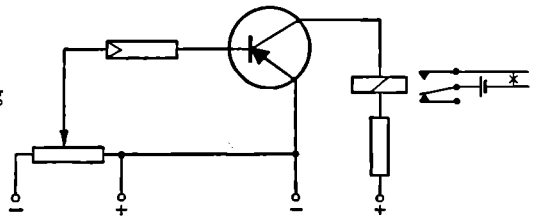


Abb. 26/2. Fadenwächter bei Webstühlen

4. Die Programmsteuerung. Eine besonders große Rolle spielen die Steuerungsvorgänge bei der Automatisierung im Schwermaschinenbau. Hier kommt es darauf an, daß ein Fertigungsablauf in ununterbrochener Folge selbsttätig vor sich geht. Man spricht von einer *Ablaufsteuerung*. Die Hauptaufgabe besteht darin, daß das

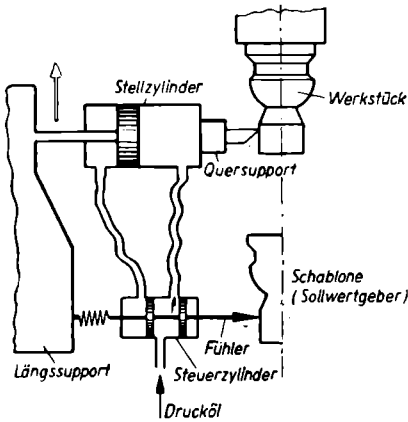


Abb. 27/1. Die Kopierschablone als mechanischer Speicher

ähnelt einem Zugspindelantrieb. Der Radialvorschub wird über den Meßfühler, den Steuerzylinder und den Stellzylinder gesteuert. Die Schablone ist der Sollwertgeber. Unter Druck stehendes Öl strömt in den Steuerzylinder ein. Die Abströmöffnungen des Öles sind nicht eingezeichnet. Bewegt sich der Fühler nach rechts, so geben die Steuerkolben die rechte Öffnung frei, es strömt rechts Öl unter Druck in den Stellzylinder. Da der Kolben fest am Längssupport sitzt, bewegt sich der Stellzylinder mit dem Drehstahl ebenfalls nach rechts. Der Drehstahl folgt somit dem Fühler.

Andere Speicher sind Filme oder Zeichnungen, die von Fotozellen abgetastet werden. Auch Magnettonbänder, Lochkarten und Lochstreifen verwendet man als Speicher.

Bei der Programmsteuerung wird die Abnutzung des Drehstahles nicht berücksichtigt. Wendet man jedoch die Programmregelung an, so wird das bearbeitete Werkstück ständig gemessen, mit dem Sollwert verglichen und bei Abweichung der Drehstahl selbsttätig nachgestellt.

Werkstück und das Werkzeug in jedem Zeitpunkt die richtige Lage zueinander haben. Diese Festlegung des Werkzeugeinsatzes nach Ort und Zeit bezeichnet man als Ortung oder Positionierung. Solche *Positionierungsbefehle* gibt beispielsweise beim Drehen von Hand der Dreher mittels seiner Einstellkurbeln, und er wiederholt sie beliebig oft mit Hilfe seines Gedächtnisses. Will man solche Bewegungen automatisieren, so muß man sie reproduzierbar machen. Man muß sie speichern. Positionierung und Speicher zusammen ergeben das Arbeitsprogramm des Werkzeuges. Man spricht in solchem Fall von *programmgesteuerten Maschinen*.

Die *Kopierschablone bei einer Kopierdrehmaschine* stellt einen *mechanischen Speicher* dar (Abb. 27/1). Der Längsvorschub

7. Beispiele für Regelungen

1. Flüssigkeitsstandregelung. In einem Dampfkessel soll trotz veränderlicher Dampfentnahme der Wasserspiegel immer die gleiche Höhe haben. Deshalb muß der Speisewasserzufluß jeweils verändert werden. Die technische Ausführung eines solchen *Standreglers* stellt der VEB Geräte- und Reglerwerke Teltow her (Abb. 27/2). Der Schwimmer ist in einem Dämpfungskorb untergebracht. Dieser Dämpfungskorb dient zur Beruhigung der Flüssigkeit in der Nähe des

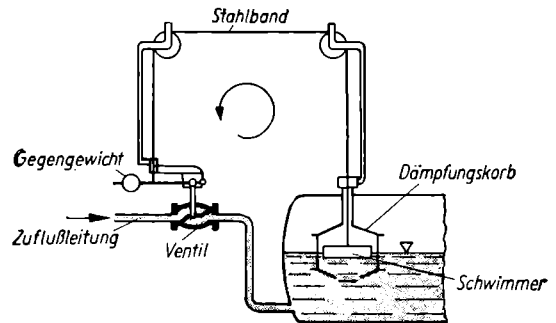


Abb. 27/2. Flüssigkeitsstandregelung

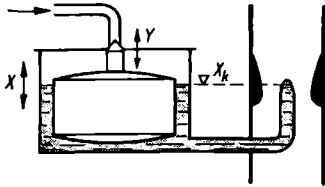


Abb. 28/1. Vergaser

Schwimmers. Der Hub wird vom Schwimmer auf das Ventil mit Hilfe eines Stahlbandes übertragen. Durch das Gegengewicht wird das Gewicht des Vollschwimmers am Ventil ausgeglichen. Das Stellglied ist in diesem Fall ein Ventil, das in der Zufußleitung des Dampfkessels liegt.

Im Vergaser eines Ottomotors muß der Kraftstoffspiegel immer die Höhe der Öffnung der Zerstäuberdüse haben, damit kein Kraftstoff überfließt oder zu wenig zerstäubt wird (Abb. 28/1). Die Regelgröße ist also der Kraftstoffstand. Als Meßfühler wird wieder ein Schwimmer verwendet. Unmittelbar am Schwimmer ist die Schwimmernadel fest angebracht. Sie verschließt bei Erreichen des Höchststandes die Zufußöffnung des Kraftstoffes. Das Stellglied ist in diesem Fall ein Nadelventil. Die Stellgröße Y ist die Stellung der Schwimmernadel.

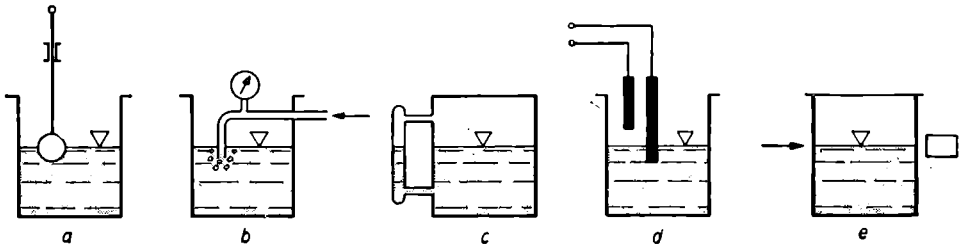


Abb. 28/2. Meßfühler für die Standregelung

Für die Standregelung werden außer dem Schwimmer noch andere Meßfühler verwendet, die in Abbildung 28/2 zusammengestellt sind. Während a den bekannten Schwimmer darstellt, führt man bei b die Standmessung auf eine Druckmessung zurück. Man leitet ein neutrales Gas in die Flüssigkeit ein und mißt den Druck. Die Veränderung der Flüssigkeitsstandshöhe ergibt eine proportionale Veränderung des Druckes. Bei c wird das Gewicht der Wassersäule in dem Nebenbehälter bestimmt. d ist eine Standmessung durch Eintauchen von Sonden, die meistens bei elektrisch leitenden Flüssigkeiten verwendet wird. e stellt eine Meßmethode mit Hilfe radioaktiver Isotope dar. Bei Durchstrahlung des Behälters mit γ -Strahlen wird die Intensität mittels eines Geiger-Müller-Zählrohres gemessen. Bewegt man das Präparat und das Zählrohr gleichsinnig an dem Behälter entlang, so ändert sich an der Flüssigkeitsoberfläche die Absorption und damit die Strahlungsintensität sprunghaft.

2. Temperaturregelung. Bei den bisher besprochenen Beispielen veränderte sich bei *kontinuierlichen* Änderungen der Regelgröße auch die Stellgröße kontinuierlich. Bei Temperaturregelungen benutzt man in der Praxis häufig Regler, deren Stellgröße nur zwei Werte annehmen kann. Überschreitet die augenblickliche Temperatur, der Istwert, den Sollwert, so wird die Heizung ausgeschaltet, unterschreitet der Istwert den Sollwert, so wird die Heizung eingeschaltet. Derartige Regler bezeichnet man im Gegensatz zu den vorher besprochenen *stetigen Reglern* als *Zweipunktregler*.

Die Abbildung 29/1 zeigt das Schaltbild einer Temperatur-Zweipunktregelung. Als Meßfühler dient ein Kontaktthermometer. In ein mit Quecksilber gefülltes Thermo-

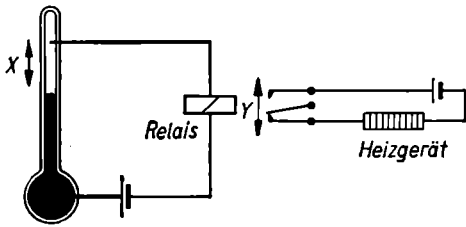


Abb. 29/1. Zweipunktregelung

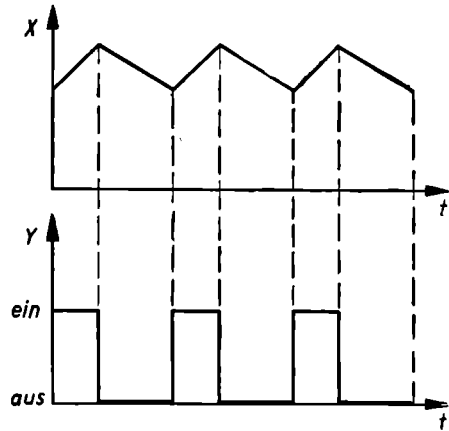


Abb. 29/2. Abhängigkeit der Temperatur von der Zeit

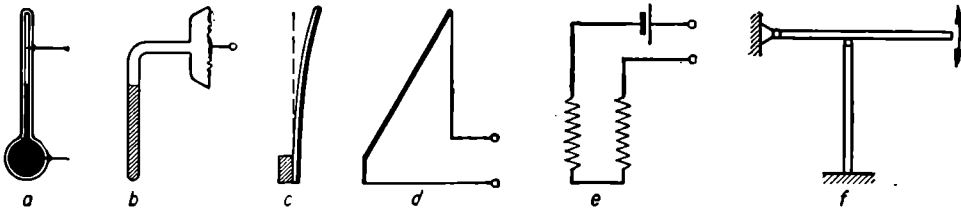


Abb. 29/3. Temperaturmeßfühler

meter sind zwei Drähte als Kontakte eingeschmolzen. Der steigende Quecksilberfaden schließt den Stromkreis, in dem ein Relais liegt. Der Anker des Relais wird angezogen und dadurch die Heizspirale ausgeschaltet. Stellt man den Istwert der Regelgröße, der Temperatur, und die Stellgröße und damit die Heizung in Abhängigkeit von der Zeit schematisch dar, so erhält man die Abbildung 29/2.

Zweipunktregler gibt es in vielen Haushaltsgeräten, zum Beispiel in Heißwasserspeichern, Bügeleisen, Kühlchränken u. a.

Temperaturregelungen spielen auch in der Forschung und in der Technik eine wichtige Rolle, beispielsweise bei der Züchtung von Kristallen (Halbleitern), bei der Keramikherstellung, beim Vulkanisieren von Gummi, in der Papierindustrie beim Kochprozeß des Holzes und bei der Pasteurisierung der Milch.

Die gebräuchlichsten Temperaturmeßfühler sind in Abbildung 29/3 dargestellt. Neben dem bekannten Quecksilber-Thermometer mit Kontaktdrähten, dem Kontaktthermometer *a*, stellt *b* einen Meßfühler dar, der mit einer leicht verdampfenden Flüssigkeit gefüllt ist, zum Beispiel mit Äther. Der Dampf übt einen bestimmten Druck aus und ist ein Maß für die Temperatur. Der Bimetallstreifen *c*, das Thermoelement *d*, das Widerstandsthermometer *e* und der Ausdehnungsstab *f* wurden bereits behandelt.

3. Druckregelung. Bei chemischen Prozessen braucht man häufig Gase mit konstantem Druck. Eine Form der Druckregelung ist die *Strahlrohrregelung*, wie sie vom VEB Geräte- und Reglerwerke Teltow hergestellt wird (Abb. 30/1). Der Meßfühler ist

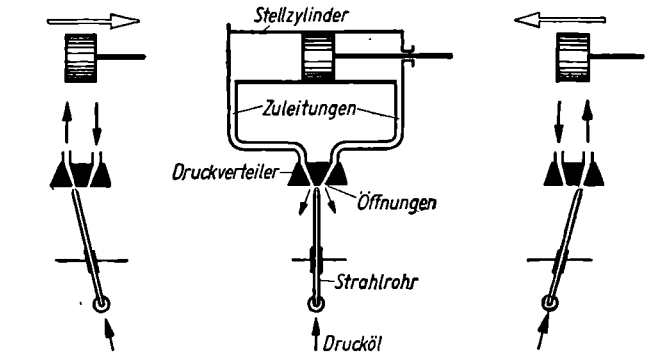
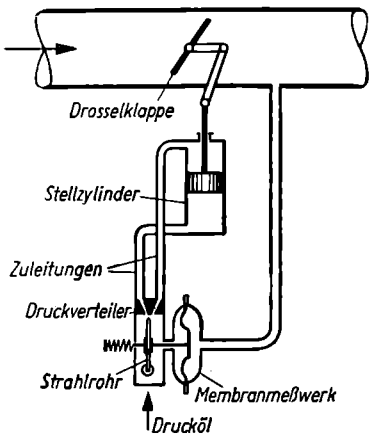


Abb. 30/2. Wirkungsweise des Strahlrohres

Abb. 30/1. Strahlrohrregelung

ein Membranmeßwerk, das Stellglied eine Drosselklappe. Zur Übertragung wird das sogenannte *Strahlrohr* verwendet, das dem ganzen System den Namen gegeben hat (Abb. 30/2). Das schwenkbare Strahlrohr wird von Drucköl durchflossen. Der Strahl trifft auf zwei im Druckverteiler eng nebeneinander liegende Öffnungen, die mit dem Stellzylinder über die Zuleitungen verbunden sind. Befindet sich das Strahlrohr in Mittelstellung, so ist die Kraftwirkung auf beiden Seiten des Stellkolbens gleich groß. Er bleibt in Ruhe. Wird das Strahlrohr zum Beispiel nach links ausgelenkt, ist der Druck also in der Rohrleitung zu groß, dann tritt Öl durch die Leitung, das heißt der Stellkolben bewegt sich nach oben und schließt damit die Drosselklappe. Dadurch sinkt der Druck wieder. Das Öl hat mit dem eigentlichen Regelkreis nichts zu tun, sondern dient lediglich zur Verstärkung des Meßwerkausschlages. Derartige Regler nennt man *Regler mit Hilfsenergie*. Nach der Art der Hilfsenergie unterscheidet man *hydraulische*, *pneumatische* und *elektrische Regler*. Der Strahlrohrregler gehört zu den hydraulischen Reglern. Die bereits besprochenen Standregler sind *Regler ohne Hilfsenergie*.

Die Abbildung 30/3 zeigt die Meßfühler für Druckmessungen. Während *a* das bekannte Plattenfeder- oder Membranmanometer darstellt, ist das Meßwerk von *b* ein

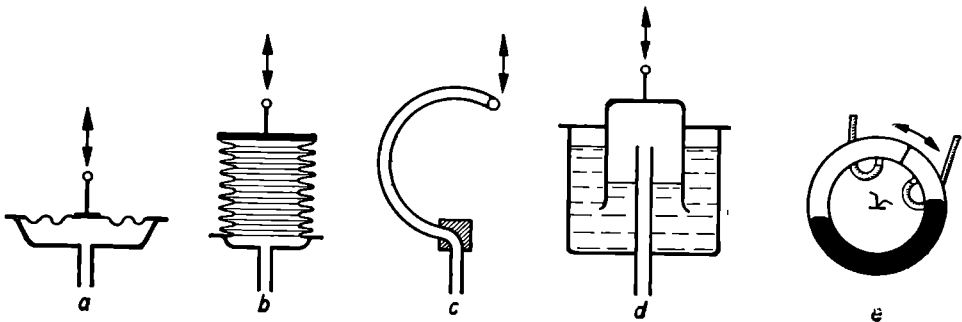


Abb. 30/3. Meßfühler für Druckmessungen

Wellrohr, das mit einem Faltenbalg vergleichbar ist. Mit dem bekannten Röhrenfedermanometer *c* gehören sie in die Gruppe der elastischen Druckmesser. Bei der Tauchglocke *d* ist die Eintauchtiefe der Glocke ein Maß für den in der unteren Zuleitung herrschenden Druck. Die Wirkungsweise der Ringwaage *e* wurde im Abschnitt Meßtechnik bereits behandelt.

4. Durchflußregelung. Die *Durchfluß- oder Mengenregelung* unterscheidet sich von der Druckregelung nur in einer geringen Abwandlung der Meßfühler. Man führt

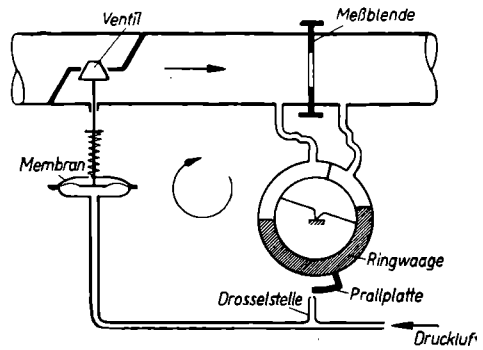


Abb. 31/1. Durchflußregelung

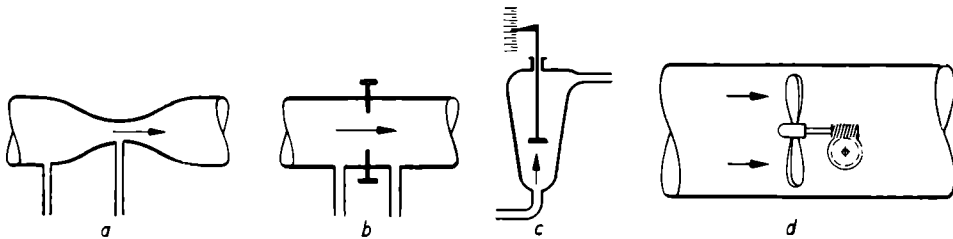


Abb. 31/2. Meßfühler für Durchflußregelungen

nämlich die Durchflußmenge je Zeiteinheit auf die Messung eines Differenzdruckes zurück (Abb. 31/1). Die beispielsweise einem Ofen in der Zeiteinheit zugeführte Gasmenge soll konstant sein. Der Meßfühler ist eine Meßblende in Verbindung mit einer Ringwaage. Das Stellglied ist ein Ventil. In die mit einer Membran abgeschlossene Leitung wird Druckluft gepumpt. Je nach dem Strömungswiderstand an der Drosselstelle, das heißt je nach der Stellung der mit der Ringwaage verbundenen sogenannten *Prallplatte*, übt die Druckluft einen mehr oder minder großen Druck auf die Membran aus und verursacht dadurch eine entsprechende Verstellung des Ventils. Dies ist ein Beispiel für eine pneumatische Regelung.

Eine Zusammenstellung der Meßfühler gibt Abbildung 31/2. Das Venturiröhr *a* und die Meßblende *b* sind Teile eines Meßfühlers, sie werden mit Manometern zusammengeschaltet. Beide arbeiten nach demselben Prinzip. Bei Querschnittsveränderungen ändert sich die Strömungsgeschwindigkeit und damit der Druck. Mißt man den Druck an zwei Stellen mit verschiedenem Querschnitt, so ist die Druckdifferenz ein Maß für die durchgeströmte Menge. Mit der Stauscheibe *c* wird die Kraft gemessen, die die durchfließende Menge auf die Scheibe ausübt. Die Höhe, in der sich die Stauscheibe befindet, ist ein Maß für die Durchflußmenge. Die Wirkungsweise des Flügelrades *d* ähnelt dem Windmesser mit Schalenkreuz.

5. Drehzahlregelung. Das älteste Beispiel einer Regelung ist die von *James Watt* Ende des 18. Jahrhunderts angegebene *Drehzahlregelung an der Dampfmaschine*

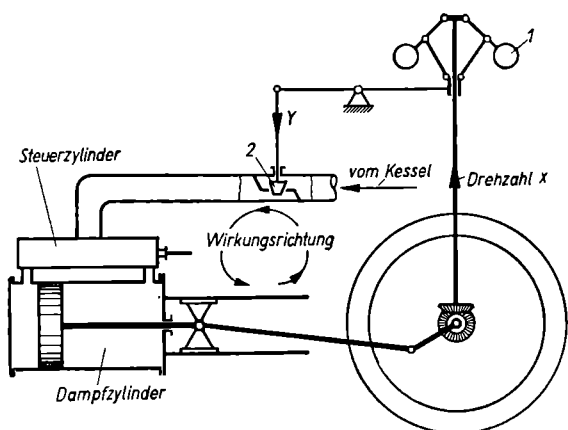


Abb. 32/1. Drehzahlregelung einer Dampfmaschine

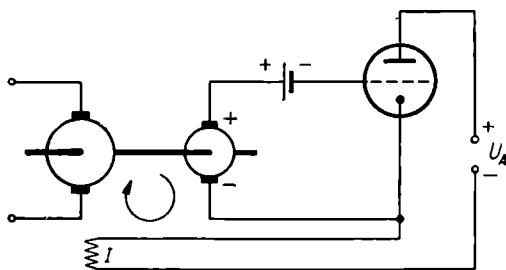


Abb. 32/2. Drehzahlregelung eines Elektromotors

Gitter einer Verstärkerröhre. Wächst die Drehzahl und damit die Spannung am Tachodynamo, so wird die negative Gitterspannung geringer. Damit wächst der Anodenstrom, der gleichzeitig der Erregerstrom ist. Je größer aber der Erregerstrom beim Gleichstromnebenschlussmotor wird, desto kleiner wird die Drehzahl, demzufolge sinkt die Spannung am Tachodynamo usw. Die angeführten Meßfühler sind neben einfachen Schaltkontakten die gebräuchlichsten.

6. Vor- und Nachteile des Reglers. Der Regler hat folgende Vorteile:

1. Der selbsttätige Regler ist bei richtiger Anwendung dem Handregler überlegen.
2. Der selbsttätige Regler arbeitet billiger.
3. Er ist nicht ermüdbar, Materialermüdung kann durch geeignete Auswahl ausgeschaltet werden.
4. Er ist ständig einsatzbereit.
5. Er kann viel schneller reagieren als ein Mensch.
6. Er arbeitet gleichmäßiger.
7. Er arbeitet mit größerer Genauigkeit.
8. Er kann an sonst unzugänglichen Orten untergebracht werden.
9. Fehler sind ausgeschlossen.
10. Der Einsatz der Regler erhöht die Produktivität.

(Abb. 32/1). Der Meßfühler ist ein Fliehkraftpendel (1). Stellglied ist ein Ventil (2). Bei steigender Drehzahl, also bei steigenden Pendelkugeln, wird über einen zweiseitigen Hebel das Ventil verschlossen und damit die Dampfzufuhr gedrosselt. Regelgröße ist die Drehzahl, Stellgröße ist die Stellung des Ventils. Als Störgrößen treten die veränderliche Dampfzufuhr, die Änderung der Belastung bzw. die Änderung der Brennstoffzufuhr auf.

Während der eben besprochene Regler ein Regler ohne Hilfsenergie ist, handelt es sich bei der Drehzahlregelung eines Elektromotors um einen elektrischen Regler (Abb. 32/2). Der Meßfühler ist ein Tachodynamo. Bei wachsender Drehzahl wächst wie beim Fahrraddynamo die erzeugte Spannung. Diese Spannung wird einer Vergleichsspannung (Sollwert) entgegengeschaltet. Die Differenz beider Spannungen liegt am

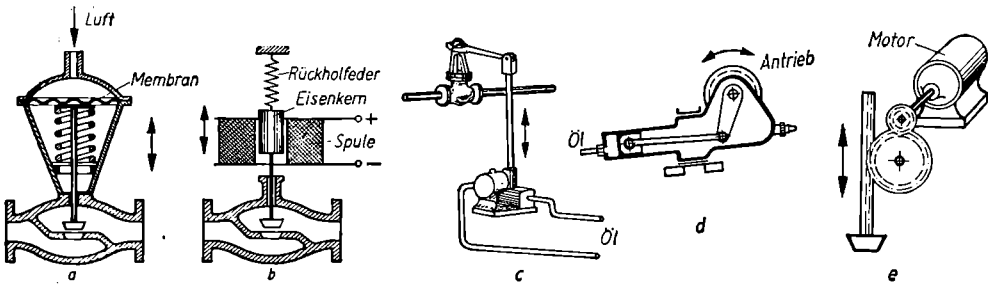


Abb. 33/1. Stellmotore

Andererseits ist die Anwendung des Reglers nicht unbegrenzt. Nur meßbare Vorgänge lassen sich regeln. Ein Regler kann nur auf den normalen Ablauf der Prozesse reagieren. Die Einsatzmöglichkeit des Reglers beschränkt sich also nur auf eine Aufnahme von Informationen und ein Reagieren auf von außen ankommende Störungen. Der Regler kann aber nur die Störungen beseitigen, auf die er eingestellt wurde. Auf andere Störungen reagiert er nicht. Oft arbeitet der Regler ohne Hilfsenergie. Sollten größere mechanische Wirkungen auftreten, so verwendet man als Hilfsenergie Elektrizität, Öldruck oder Luftdruck. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Stellmotoren, bei denen Hilfsenergie verwendet wird, zeigt die Abbildung 33/1.

7. Fragen und Aufgaben

1. Geben Sie Steuerungsvorgänge an, die Sie am Unterrichtstag in der Produktion oder bei Betriebsbesichtigungen gesehen haben!
2. Kennen Sie Regelvorgänge in der Natur?
3. Kennen Sie Regelvorgänge im Haushalt?
4. Stellen Sie aus den angegebenen Bauelementen einen Standregler mit pneumatischer Hilfsenergie zusammen!
5. Erwärmen Sie einen Bimetallstreifen mit einer Wärmequelle! Der sich krümmende Bimetallstreifen soll einen Kontakt schließen, der einen Luftstromerzeuger einschaltet. Richten Sie die ausströmende kalte Luft auf den Bimetallstreifen! Beobachten Sie den Schaltvorgang nach der Abkühlung des Bimetallstreifens (Meßfühler)! Welcher Art ist die Regelung?

8. Die Steuerung und Regelung in der Automation

1. Die Steuerung in der Automation. *Automatisieren* bedeutet, eine ursprünglich in logischer Folge von Menschen ausgeübte Beobachtung und Handlung durch eine selbsttätig arbeitende Maschine, den Automaten, ausführen zu lassen. Dieser Prozeß verläuft dann vollkommen selbsttätig und zwangsläufig nach einem vorher festgelegten Produktions-Ablaufplan, dem *Programm des Automaten*. Dieses Programm wird einer Maschine, einer Anlage oder einer Fabrik aufgegeben.

Wie nun unser Maschinenbau die Automatisierung durchsetzt, soll am Beispiel einer *Nachformdrehmaschine* entwickelt werden. An der Rückseite der Drehmaschine

ist ein Schaltwerk angebracht. Nach jedem Arbeitsgang der Fertigung geht es in die Ausgangsstellung zurück. Das Einstellen wird mit Hilfe von Lochkarteneinrichtungen vorgenommen. Stifte greifen in die in der Lochkarte vorhandenen Löcher, und aus der Stellung der Stifte werden die einzelnen Arbeitsgänge sowie ihre Folge festgelegt. Durch dieses Lochkartensystem können alle Zerspanungsgrößen, wie Normalvorschub des Drehmeißels, Eilvorschub und Rücklauf, gesteuert werden.

Wenn an einer Nachformmaschine das Musterstück gedreht wird, so können bereits alle Werte des ersten Fertigungsablaufes auf diese Lochkarte aufgegeben werden. Das Einleiten bzw. Beenden eines Arbeitsganges wird durch Betätigen eines entsprechenden Druckschalters durchgeführt. Nach Beendigung eines Arbeitsganges wird wieder die nächste Zeilengruppe freigegeben. Für die Spantiefenverstellung ist eine Grobverstellung zu Beginn der Bearbeitung vorgesehen. Der letzte Span, die Feinbearbeitung, hat häufig nur eine Dicke von 0,01 mm.

Wird nach dem Einrichten der Maschine und Programmierung aller Arbeitsgänge das fertige Werkstück auf der Rückseite der Maschine zwischen die Spitzen des Prototypträgers gespannt, so kann die Maschine durch den Wahlschalter auf „Programm“ geschaltet werden. Alle vorher festgelegten Arbeitsgänge werden nun von der Maschine selbsttätig wiederholt. Die Lochkarte enthält das Programm, der Programmgeber beaufschlagt die Stellmotore. Bis hierher ist der Arbeitsablauf als Steuerung ausgebildet (Programmsteuerung).

Wird nun der Prototyp (erstes Werkstück) als Sollwert betrachtet, so kann bei der Regelung Soll- und Istwert verglichen und die Regelabweichung zum Beispiel größerer Durchmesser des Werkstückes festgestellt werden. Daraufhin wird der Drehstahl um die Größe der Regelabweichung über Stellmotore verstellt. Dieses Programm kann auch auf Tonband aufgenommen und die Maschine über ein Tonband gesteuert werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß festgelegte Signale oder Informationen den Maschinen aufgegeben werden und daß die Stellmotoren daraufhin die Hebel, Kontakte, Spindeln, Seilzüge usw. betätigen und den Fertigungsablauf zwangsläufig steuern. Diese Verstellungen können gegeben werden durch:

1. Steuernocken,
2. Stiftwalzen,
3. Kurvenscheiben,
4. Lochkarten,
5. Tonbänder.

Maschinen der beschriebenen Art werden nach einer *Zeitplansteuerung* betätigt. Das Programm wird durch die Lochkarte, die Kurven oder das Tonband den Stellmotoren der Maschine nacheinander aufgegeben.

Bei der *Fühlersteuerung* wird die Steuerung durch Meßfühler ausgelöst. Bei der *Rechensteuerung* sammeln elektronische Rechengeräte Informationen, werten sie aus und geben die Ergebnisse der elektrischen Auswertung an die Stellmotore der Anlage.

2. Die Regelung in der Automation. Sobald der Istwert mit dem Sollwert verglichen wird und eine Regelabweichung durch den Regler festgestellt ist, wird der Stellmotor der Anlage so lange betätigt, bis Ist- und Sollwert übereinstimmen.

Folgende Regelungen werden in der Automation angewendet:

- Folgeregelung,*
- Zeitplanregelung,*
- rechnende Regelung.*

Die Abbildung 35/1 zeigt die stufenweise Entwicklung der Produktion bis zur Automation. Sie zeigt, in welchem Maße die Arbeitsproduktivität durch Mechanisierung und den Einsatz programmgesteuerter Automaten gesteigert werden kann.

1. Die Fertigung, Prüfung und Montage eines Werkstückes erfolgt im Handbetrieb. Der Transport zwischen den Produktionsabläufen wird von Transportarbeitern durchgeführt.

2. Die Mechanisierung des Transportes hat eine Einsparung an Arbeitskräften zur Folge, die oftmals schwere körperliche Arbeit wird jetzt mechanisch erledigt. Fertigung, Prüfung und Montage werden weiter im Handbetrieb durchgeführt.

3. Die Fertigung wird mit einer programmgesteuerten Maschine durchgeführt. Die Prüfung der Teile erfolgt weiterhin durch die Kontrolle des Menschen. Auch die Montage arbeitet weiter im Handbetrieb.

4. Fertigung und Prüfung der Teile erfolgt in einer Maschinenkombination. Die Sollwerte werden mit den Istwerten verglichen. Ein Regler übernimmt selbsttätig die Nachstellung der Werkzeuge. Stumpfe Werkzeuge werden durch Druckfühler festgestellt und daraufhin rechtzeitig ausgewechselt. Die Montage erfolgt noch im Handbetrieb.

5. Fertigung und Montage werden durch programmgesteuerte Maschinen vorgenommen (Lochkarten, Tonbänder usw.). Abweichungen des Istwertes vom Sollwert werden durch Fühler festgestellt und über Regler und Stellmotore ausgeglichen. Bei der Montage kann die Lage des Werkstückes durch Meßfühler erfaßt und über Regler und Stellmotore verändert werden.

6. Eine zentralgesteuerte Anlage gibt das Fertigungs-, Prüf- und Montageprogramm auf alle Maschinen. Meßfühler und Regler überwachen die Anlage und Fertigung.

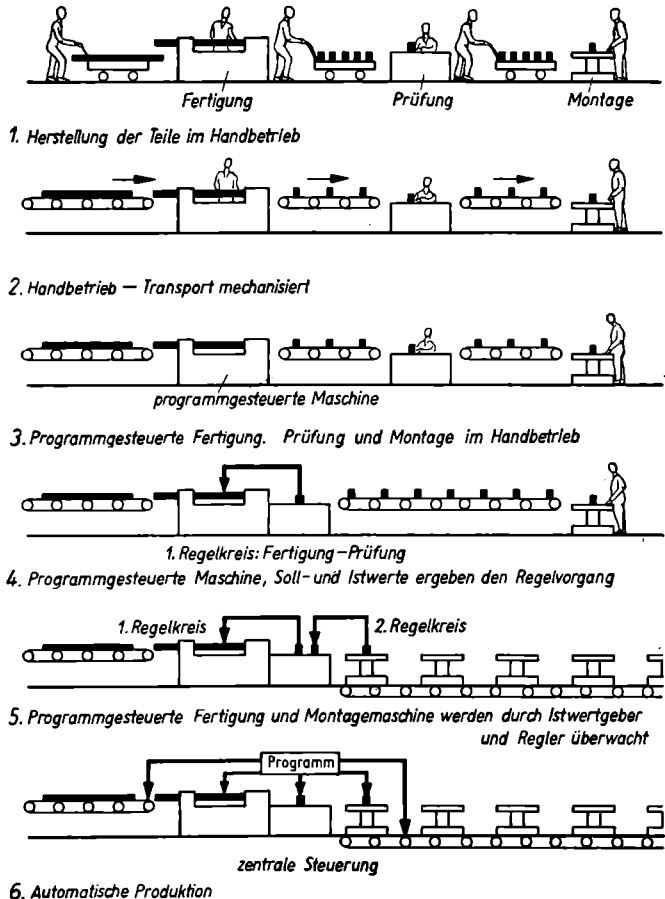


Abb. 35/1. Die Entwicklung bis zur Automation

Es bestände die Möglichkeit, bei weiterem Ausbau der Anlage einen elektronischen Rechenautomaten einzusetzen, der die übermittelten Informationen auswertet und die einzelnen Fertigungs-, Prüf- und Montagevorgänge überwacht und den Reglern mitteilt. Er kann Störungen beheben und neue Sollwerte festlegen.

Wird ein Programmwähler dieser Anlage vorgeschaltet, so können verschiedene Teile hergestellt werden. Jede Maschine arbeitet dann nach dem vom Programmwähler festgelegten Fertigungs-, Prüf- und Montageablauf.

Grundsätzlich sind in einer automatisierten Anlage folgende Tätigkeiten zu unterscheiden:

1. Einstellen von Sollwerten an Sollwertgebern.
2. Messen der Istwerte mittels Meßfühlern.
3. Auswerten der Ist- und Sollwerte.
4. Verstärken der Ergebnisse, so daß sie einem Verstellmotor zugeführt oder einem Stellglied als Größe übermittelt werden können.
5. Umwandeln der Stellgröße in eine mechanische Bewegung.
6. Das Beherrschen der Bewegung nach Größe, Dauer und Richtung.

Weiterhin müssen die folgenden Tätigkeiten ausgeführt werden:

Überbrücken von größeren Entfernungen (zum Beispiel zwischen Meßort und Stellort des Stellmotors oder Stellgliedes), übersichtlicher Leitungsverlauf in Blindschaltbildern in der Zentrale, Erfassen und Einengen von Störungen, Speichern gemessener Werte für spätere Verwendung.

Einstellen ganzer Programme, nach denen die gesamte automatische Anlage arbeitet, Abtasten dieser Programme und Auslösen der Steuerungs- und Regelvorgänge.

Die Anwendung der Automatisierungstechnik ist in unserer Republik in vielen Industriebetrieben ganz oder teilweise verwirklicht. Sie gelangt unter anderem in nachfolgenden Industriezweigen zur Anwendung:

in Zementwerken, Stahlwerken, Gießereien, Energiebetrieben, chemischen Industriebetrieben, keramischen Industriebetrieben, Film-, Foto- und Papierwerken, Druckereien, Lack- und Farbwerken, Gummifabriken, Zuckerfabriken, Nahrungsmittelindustrien, metallverarbeitenden Industriebetrieben, Flugzeugwerken und Schiffswerften.

Die großen Leistungen sowjetischer Wissenschaftler haben mit programmgesteuerten Raketen die Anwendung der Automation auf diesem Gebiet bewiesen. Als hervorragendes Beispiel kann die Fotografie der Rückseite des Mondes und die Übermittlung der Aufnahmen an die Erde gelten.

9. Die Steuerung und Regelung großer Anlagen

1. Die Steuerung und Regelung eines Kernreaktors. In einem Reaktorkraftwerk wird die bei der Kernspaltung im Reaktor frei werdende Wärmeenergie über einen Wärmeaustauscher an einen sekundären Dampfkreislauf abgegeben. Der Dampf wird Turbinen zugeführt, die die Wärmeenergie in mechanische Energie umwandeln. In Generatoren wird die mechanische in elektrische Energie umgeformt. Die elektrische Energie wird dann dem Verbraucher zugeführt. Der Wirkungsgrad ist be-

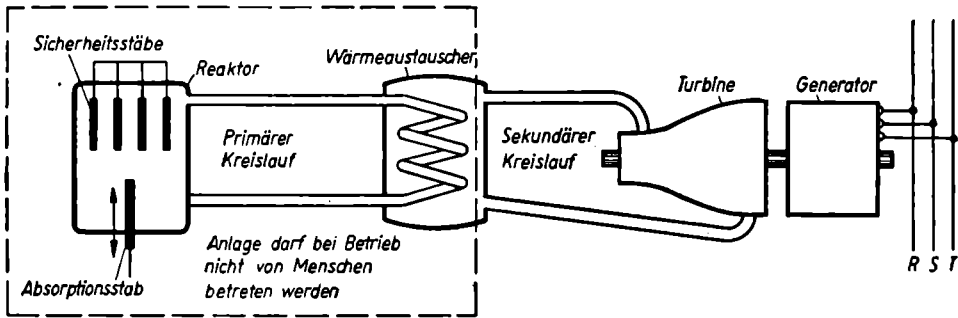


Abb. 37/1. Reaktorkraftwerk

kanntlich das Verhältnis von Nutzleistung zu aufgewandter Leistung. Er beträgt annähernd 27%. Grundsätzlich wird die Wärmeenergie aus spaltbarem Material gewonnen, in den bisher üblichen Kraftwerken dagegen aus der Verbrennung von festen oder flüssigen Brennstoffen. Im Prinzip ist der Sekundärkreislauf bei beiden Kraftwerken der gleiche (Abb. 37/1).

Um die Kernumwandlung stets unter Kontrolle zu haben und die Leistung des Reaktors zu regeln, sind umfangreiche Messungen erforderlich, die ausgewertet viele einzelne Tätigkeiten an den Schalt- und Stellgliedern der Anlage erfordern. Ein Reaktorkraftwerk soll im allgemeinen stets mit der gleichen elektrischen Leistung gefahren werden. Diese Kraftwerke tragen die Bezeichnung *Grundlastkraftwerke*. Vier bis sechs Jahre hindurch soll die Anlage ohne Überholung der wichtigen Bauelemente betriebssicher arbeiten. Entgegen der Tätigkeit in einem Kohlekraftwerk darf in einem Kernkraftwerk die den Kernreaktor umgebende Anlage von Menschen nicht betreten werden. Es können auch in der Nähe des Reaktorkernes durch den Menschen keine Messungen vorgenommen werden. Hier müssen nun die uns schon bekannten *Meßfühler* angebracht werden. Die Meßwerte werden durch *Meßwertumformer* in

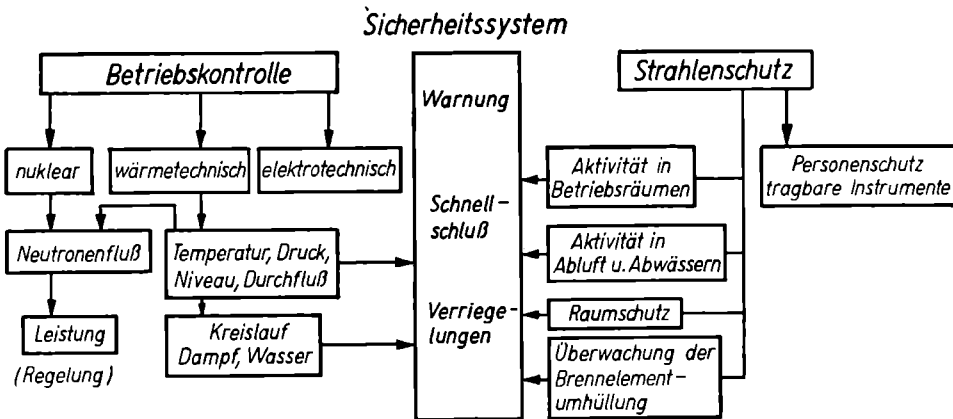


Abb. 37/2. Übersicht über die zu messenden und zu regelnden Größen

elektrische Impulse umgeformt und über größere Entfernung der Zentrale zugeführt. Die Anzeigeeinstrumente sind häufig als schreibende Instrumente ausgebildet. Der Sollwertgeber überprüft den ankommenden Istwert, und der Regler verstellt über Stellmotore die Stellglieder (Ventile, Hebel usw.). Alle Messungen dienen entweder der Sicherheits- oder der Leistungsüberwachung (Abb. 37/2). Große Störungen werden sofort dem Sicherheitssystem über elektrische Impulse zugeleitet, und von hier aus wird dann die gesamte Anlage ausgeschaltet. Dieses plötzliche Ausschalten wird durch das Einfahren der Absorptionsstäbe erreicht. Durch Verriegelungen sorgt man dafür, daß niemand unkontrolliert die strahlenverseuchten Räume betritt. Rohrleitungen werden in diesem Falle abgesperrt.

In der Abbildung 38/1 ist das Prinzipschaltbild für den Einsatz der Meßinstrumente dargestellt. Es sind bei weitem nicht alle Überwachungsgeräte abgebildet, sondern nur die für den Betrieb des Reaktors unbedingt erforderlichen. In der Nähe des Reaktors, im Reaktorkern und auch in den Arbeitsräumen sind Meßfühler angebracht, die entweder als Zählrohre oder als Ionisationskammern ausgebildet sind. Einige dieser Meßfühler werden direkt dem Sicherheitssystem beigeordnet, andere registrieren über Meßwertumformer die gemessenen Werte als schreibende Instrumente.

Im primären Kreis sind Überwachungsinstrumente angeschlossen, die Druck, Temperatur, Stand des Kühlmittels, Durchflußmenge, Kühlmittelaktivität usw. über die uns schon bekannten Meßfühler abtasten und im Schaltraum in der Zentrale anzeigen. Auch hier werden schreibende und anzeigende Instrumente verwendet. Einige sind als Sollwertgeber ausgebildet und können die Regler beaufschlagen bzw. Schalt- oder Stellvorgänge auslösen.

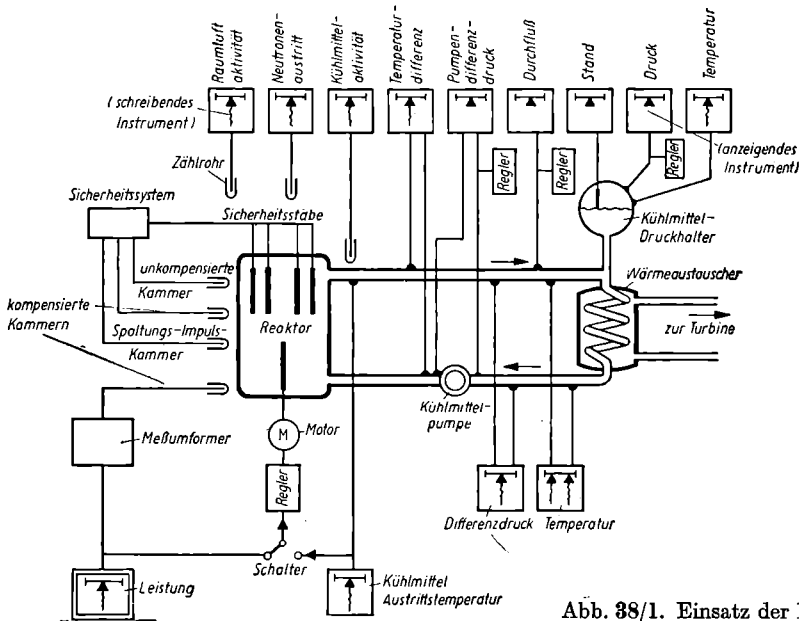


Abb. 38/1. Einsatz der Meßinstrumente

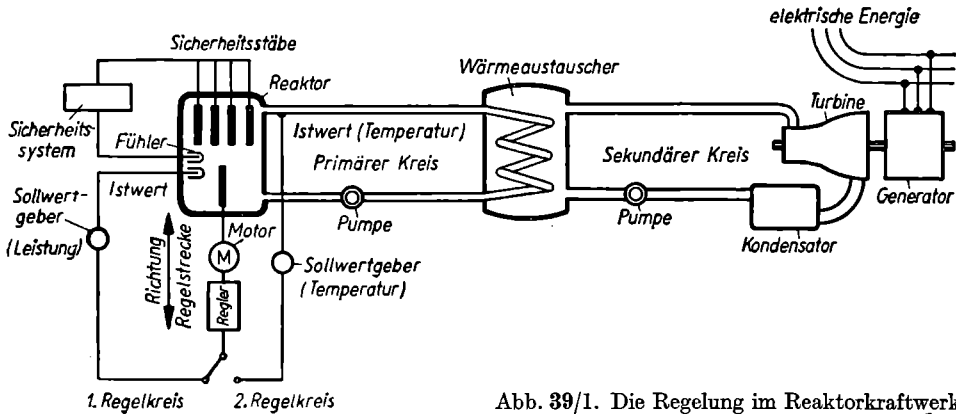


Abb. 39/1. Die Regelung im Reaktorkraftwerk

Der Regler im Kernkraftwerk hat die Aufgabe, zu vergleichen und zu verstärken (Abb. 39/1). Er vergleicht den vom Fühler erfaßten, vom Meßwertumformer abgeänderten Istwert und bildet die Differenz zwischen Ist- und Sollwert. Diese Differenz, die Regelabweichung, wird durch Signale mitgeteilt und elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch dem Stellglied, dem Stellmotor, zugeführt.

Die Leistungsregelung wird in der Weise durchgeführt, daß die Absorptionsstäbe durch einen Verstellmotor mehr oder weniger tief in den Reaktorkern hineingefahren werden. Dadurch wird die *Neutronendichte*, die Anzahl der Neutronen in der Volumeneinheit, in bestimmten Grenzen gehalten. Um der Forderung eines Grundlastkraftwerkes gerecht zu werden, muß die Neutronendichte also immer annähernd gleiche Werte haben, wenn eine bestimmte elektrische Leistung des Kraftwerkes erzielt werden soll. Hat die Leistung den geforderten Wert, so hat der Meßfühler im Reaktorkern den Istwert der Neutronendichte dem Regler übermittelt, der dem Sollwert entspricht. Das Stellglied wird durch den Regler nicht betätigt. Die Absorptionsstäbe befinden sich daher in Ruhe.

Steigt die Neutronendichte, so wird der Istwert des Fühlers im Reaktorkern größer als der Sollwert. Diese Regelabweichung wird durch den Regler in der Weise ausgeglichen, daß über den Verstellmotor die Absorptionsstäbe tiefer in den Reaktorkern hineingeführt werden. Die Neutronendichte wird geringer, Ist- und Sollwert stimmen wieder überein. Dieser erste Regelkreis bestimmt die Reaktorsicherheit. Ein Durchgehen des Reaktors wird auf diese Weise verhindert. Bei einer Verringerung der Neutronendichte werden dagegen die Absorptionsstäbe durch den Verstellmotor herausgezogen.

Ein zweiter Regelkreis regelt die Leistung des Reaktors. Das Kühlmittel des primären Kreises muß eine bestimmte Austrittstemperatur haben; ein Meßfühler, ein Thermoelement, teilt den Istwert wieder dem Sollwertgeber mit. Stimmen beide Werte überein, so ist die Regelabweichung gleich Null. Es herrscht ein Gleichgewichtszustand. Dieser zweite Regelkreis wird wechselseitig mit dem ersten alle 10 s durch den Schalter betätigt. Die Austrittstemperatur des Kühlmittels kann aber nur konstant gehalten werden, wenn auch die Durchflußmenge einer Regelung unterliegt. Weitere Regler bewirken einen konstanten Druck bzw. beaufschlagen die Kühlmittelpumpe.

Der Betrieb eines Kernkraftwerkes wäre ohne den Einsatz vollautomatischer Regelanlagen nicht möglich. Diese neue Energiequelle kann nur genutzt werden, wenn eine vollkommene Automation gesichert ist. Die Gefahr einer ungesteuerten Kettenreaktion, die sich ergibt, wenn der Mensch mit seinem Reaktionsvermögen versagt, wäre zu groß. Die Kernkraftwerke stellen heute die modernste Möglichkeit der Energieumwandlung dar, doch wird auch im nächsten Jahrzehnt das Kohle-Dampfkraftwerk nicht an Bedeutung verlieren.

2. Die Regelung einer Dampferzeugungsanlage (Kohleheizung). In Wärmekraftwerken wird der Dampf zum Antrieb der Turbinen erzeugt. Die mechanische Energie wird dann in Generatoren in elektrische Energie umgeformt. Darüber hinaus wird in unserer Industrie in vielfältiger Weise Dampf benötigt. So hat der VEB Zuckerfabrik Anklam in Mecklenburg 3 Dampferzeugungsanlagen mit einer Dampfleistung von je 25 Mp/h, bei einer Dampftemperatur um 400 °C und einem Dampfdruck von maximal 26 at. 14 t Braunkohlenbriketts erzeugen in diesem Falle annähernd 75 Mp Dampf. Dies als Beispiel, um eine ungefähre Vorstellung von den Brennstoffmengen zu haben, die in einer Betriebsstunde verbraucht werden.

In älteren Dampferzeugungsanlagen mußte das Bedienungspersonal die beschwerliche Arbeit der Brennstoffbeschickung von Hand vornehmen. Heute erfolgt die Brennstoffbeschickung mechanisch. Der Brennstoff wird über Förderbänder den Kohlebunkern zugeführt, und Wanderroste übernehmen den Transport der Kohle durch den Verbrennungsraum des Dampferzeugers.

Entnimmt der Verbraucher stets die gleiche Dampfmenge, so liefert der Dampferzeuger den Dampf mit dem vorgeschriebenen Druck und der erforderlichen Temperatur. Dieser Gleichgewichtszustand bewirkt, daß die Bauelemente des Dampferzeugers nahezu gleichmäßig belastet werden:

Brennstoffzufuhr	→ Wanderrost	Wasserstand	→ Speisewasserszufuhr
Luftzufuhr	→ Gebläse für Luft	Heißdampf	→ Einspritzen von
Saugzug	→ Gebläse für		Wasser, um die
	Rauchgas		Temperatur zu
			halten

Bei erhöhter Dampfernahme durch den Verbraucher wird dieser Gleichgewichtszustand gestört:

Schnellere Brennstoffzufuhr	→ Wanderrost wird schneller bewegt
Größere Luftzufuhr	→ Gebläseleistung wird erhöht
Größerer Saugzug	→ Gebläseleistung wird erhöht
Größerer Speisewasserverbrauch	→ Ventil der Speisewasserleitung muß
(Wasserstand im Kessel einhalten)	mehr geöffnet werden
Heißdampftemperatur wird geringer	→ Weniger Wasser einspritzen

Diese höhere Dampfernahme hat den Gleichgewichtszustand gestört. Der von Hand steuernde Mensch wird diesen Gleichgewichtszustand nur sehr schwer wieder herstellen können. Der Wirkungsgrad wird schlechter, es wird mehr Kohle gebraucht. Sparsame Verwendung von Kohle heißt aber, die ihr innewohnende, chemisch gebundene Energie mit bestem Wirkungsgrad auszunutzen. Diese Forderung nach bestmöglicher Ausnutzung des Wärmeinhaltes der Brennstoffe kann durch Verwendung des Reglers erfüllt werden. Der Mensch wird in diesem Zusammenwirken so vieler Faktoren überfordert.

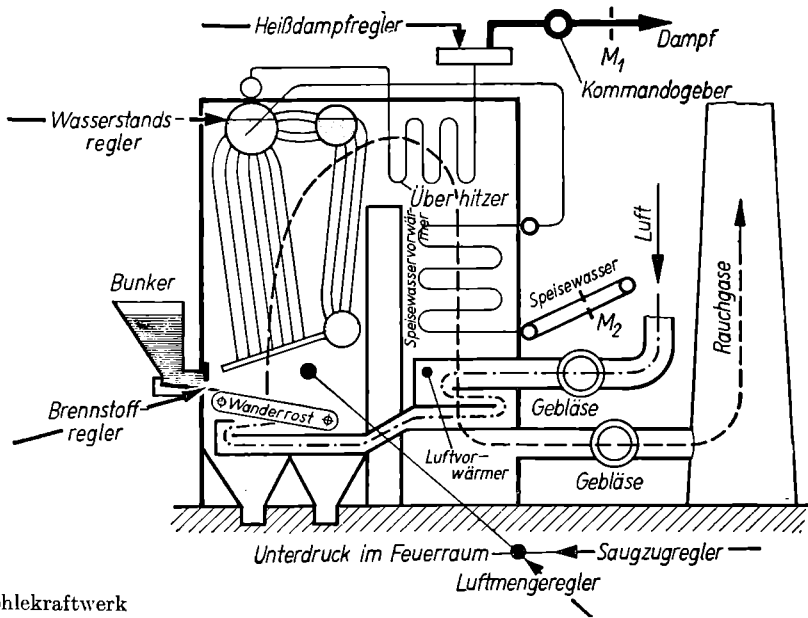


Abb. 41/1. Kohlekraftwerk

An einer stark schematisierten Darstellung eines Kessels erkennt man, daß bei erhöhter Belastung des Kessels, also bei erhöhter Dampfentnahme, fünf Meßfühler eine Regelabweichung des Istwertes zum Sollwert feststellen (Abb. 41/1). Es soll zum Beispiel ein Verbraucher plötzlich sehr viel mehr Dampf dem Kessel entnehmen. Vom Kommandogebner wird ein Druckabfall in der Dampfsammelleitung registriert. Der Kommandogebner erhöht daraufhin den Sollwert des Luftmengereglers. Der Regler bewirkt ein Öffnen der Drosselklappen hinter dem Frischluftgebläse. Dadurch wird zunächst einmal die auf dem Wanderrost liegende Kohle intensiver verbrannt, so daß ohne große Verzögerung die Wärmeleistung des Kessels steigt. Die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit in der Luftzufuhr bewirkt über eine Meßblende und Ringwaage gleichzeitig eine Erhöhung des Sollwertes für den Brennstoffregler. Dieser Regler bewirkt, daß ein Motor den Wanderrost schneller durch den Feuerraum befördert und der Kessel nach erhöhter Luftmenge auch mehr Kohle erhält.

Die erhöhte Dampfentnahme erfordert ferner eine Erhöhung der Speisewasserezufuhr. Die Dampfentnahme wird durch die Meßblende M_1 gemessen und mit der Speisewasserezufuhr über die Blende M_2 verglichen. Ist die Dampfmenge größer als die aufgenommene Speisewassermenge, so öffnet der Speisewasserregler das Ventil der Speisewasserleitung. Der Regler hat aber als zweite Aufgabe auch den Wasserstand im Kessel konstant zu halten. Der Wasserstand wird im Kessel gemessen und mit einem Sollwert verglichen. Dann wird das gleiche Ventil betätigt.

Im Feuerraum muß ständig ein kleiner Unterdruck herrschen, damit keine Rauchgase in das Kesselhaus gelangen können. Zu diesem Zweck bewirkt der Saugzugregler das Öffnen der Drosselklappe im Saugzug, so daß dieser Unterdruck auch in Abhängigkeit von der zugeführten Luftmenge eingehalten wird.

Die Entnahme der vorgesehenen Dampfmenge bewirkt einen bestimmten Dampfdruck und einen Unterdruck im Feuerraum sowie einen geforderten Wasserstand. Wird Dampf über das normale Maß hinaus entnommen, so stimmen die Istwerte mit den Sollwerten nicht mehr überein, und die Regler stellen den Gleichgewichtszustand wieder her.

Unabhängig von der Dampfentnahme arbeitet der Heißdampfthermostat. Er hat dafür zu sorgen, daß der Heißdampf stets die geforderte Temperatur hat.

Die Regelung der Kesselanlagen wird nach verschiedenen Systemen durchgeführt. Regelkreise mit gegenseitiger Beeinflussung können oft große technische Schwierigkeiten bereiten. Daher werden oft nur einzelne Größen geregelt und andere Größen zwangsläufig durch Steuerungen mitgeführt.

Über die oben beschriebene Aufgabenstellung hinaus kann ein Regler auch die Qualität des Speisewassers überwachen (p_H -Regler). Bei veränderlichem Heizwert der Kohle muß der O_2 -Gehalt der Rauchgase überprüft werden, oft auch der CO_2 -Anteil. Diese Werte werden dann dem Regler für die Luftzufuhr aufgegeben.

Der Einsatz von industriellen Fernsehkameras ermöglicht in modernen Kesselüberwachungsanlagen eine ständige Beobachtung des Feuerraumes. Zu einer besseren Übersicht werden alle Instrumente auf farbigen Linien angebracht. Diese Darstellung ergibt das sogenannte Blindschaltbild. Die Sollwertgeber sind auf einem Pult vereinigt.

3. Die automatisierte Begichtung eines Hochofens durch Steuerung. Für die Rohstahlerzeugung unserer Republik ist das *Eisenhüttenkombinat J. W. Stalin* in Stalinstadt von großer Bedeutung. Erze und Zuschläge lagern in riesigen Mengen und müssen zunächst aufbereitet werden. Erz, Zuschläge und Koks werden über lange Förderbänder zu den Bunkern in unmittelbarer Nähe des Hochofens gefördert. Dadurch wurde der Transport in die Bunker mechanisiert. Transportarbeiter, Transportfahrzeuge usw. sind durch diese Mechanisierung für andere Aufgaben frei geworden. Die Anlage wird lediglich gewartet bzw. überholt. Ein- und Abschaltvorgänge können je nach Vorratsstand selbsttätig erfolgen. Unter den Bunkern fährt der Möllwagen entlang, der genau dosierte Mengen der Erze und Zuschläge aufnimmt und sie dann zum Fülltrichter des Schrägaufzuges fährt (Abb. 42/1). Ebenso wird der Koks transportiert.

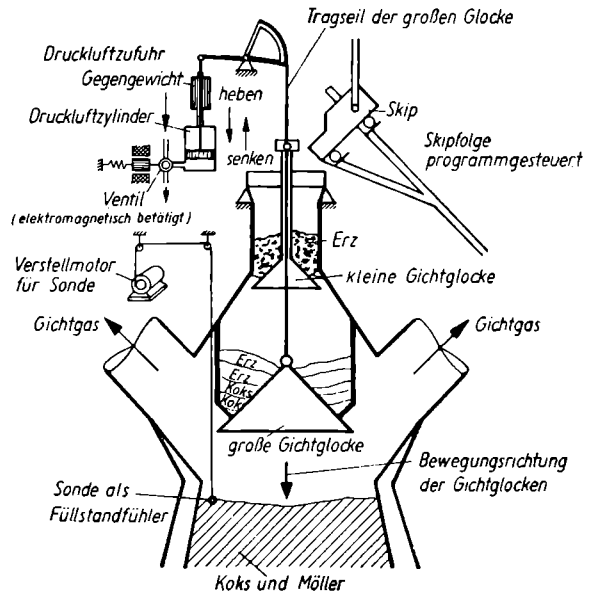


Abb. 42/1. Begichtung des Hochofens

Die Skips befördern dann das Gut zur Gichtglocke. Dort wird es nach Bedarf dem Hochofen zugeführt. In der Programmsteuerung ist die Folge der Skips festgelegt (Erzskips enthalten die Zuschläge).

Der Glockenturm umfaßt maximal acht Skipfüllungen. Durch Wahlprogrammzuschalter wird die Reihenfolge für jede Gicht festgelegt.

1. Gicht: Koks, Koks, Koks, Erz, Erz, Erz, Koks,
2. Gicht: Koks, Koks, Erz, Erz, Erz, Koks, Koks,
3. Gicht: Koks, Erz, Erz, Erz, Koks, Koks, Koks usw.

Der Programmwähler kann beliebig verstellt werden und sorgt für eine automatische Begichtung des Hochofens in der vorher festgelegten Reihenfolge.

Ist der gesamte Produktionsprozeß mechanisiert, so sind durch das Bedienungspersonal kaum noch körperliche Kräfte aufzuwenden. Um nun einen äußerst wirtschaftlichen Arbeitsablauf zu erzielen, ist es erforderlich, mit einem Minimum an Rohstoffen, an Energie und an Menschen eine möglichst hohe Produktion zu erzielen. Daneben soll aber auch die Qualität des Rohstahles innerhalb genau vorgeschriebener Grenzen gehalten werden. Die chemische Zusammensetzung des Rohstahles richtet sich nach der Art und der Menge der Zuschläge bzw. des Erzes.

Um den besten Wirkungsgrad der ganzen Anlage zu gewährleisten, wird bei der Mechanisierung die schwere körperliche Arbeit ausgeschaltet. Die Automatisierung beschränkt die Kontrollfunktion des Menschen auf ein Minimum und übernimmt den Steuerprozeß des Menschen. Dem Automaten einmal eingegebene Befehle werden durch das „Gedächtnis“ des Automaten in vorher bestimmter Reihenfolge als Impulse den Stellmotoren oder Stellgliedern zugeleitet.

Der Mensch wird also mit seinen Wahrnehmungen und Handlungen durch entsprechende technische Geräte ersetzt. Die Wahrnehmungen des Menschen werden durch entsprechende Messungen ersetzt. Die notwendigen Messungen werden mit Hilfe verschiedenartigster Fühler in Meßwerte umgeformt. Ein Fühler zur Temperaturmessung ist beispielsweise als Bimetallstreifen ausgebildet. Zu- und Abschaltungen kann dieser Fühler direkt vornehmen. Ein anderer Fühler für Temperaturmessung ist als Kontaktthermometer ausgebildet. Auch er schaltet Geräte oder Anlagen über Relais ein oder aus. Gewichtsbestimmungen von Koks, Erzen usw. können durch Quecksilberschaltröhren an der Zunge der Waage durchgeführt werden. Ist die geforderte Menge erreicht, so schaltet das Quecksilberschaltröhrchen die Einschüttung ab. Überall im Produktionsprozeß können weitere Fühler messen. Wird nun ständig der Istwert mit dem Sollwert verglichen, und bewirkt ein Regler die Veränderung des Stellgliedes, so spricht man von einer geregelten Anlage. Sind viele Prozesse in einer bestimmten Reihenfolge notwendig, so wird die Programmsteuerung durchgeführt.

