



PHYSIK

ACHTES SCHULJAHR

PHYSIK

EIN LEHRBUCH FÜR DAS ACHTE SCHULJAHR

Wärmelehre, Wärmekraftmaschinen und Elektrizitätslehre

Mit 345 Abbildungen

Ausgabe 1959



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1960

**Verfaßt von Josef Fischer, Heinrich Paucker,
Wolfgang Rzymiski und Horst Schreiter**

**Redaktionsschluß: 15. Januar 1960
Zeichnungen: Kurt Dornbusch
Umschlag: Günther Klaus**

**ES 11 H • Bestell-Nr. 02 806 • 2,60 DM • Lizenz Nr. 203 • 1000/59 (E)
Satz: Druckerei Fortschritt Erfurt, Werk II V/4/59
Druck: Sächsische Zeitung Dresden**

INHALTSVERZEICHNIS

I. Wärmelehre

1. Die Wärme	5
2. Die Temperatur und die Wärmemenge	7
3. Die Temperaturskalen	9
4. Die Messung der Temperatur	10
5. Die Ausdehnung fester Körper	16
6. Die Ausdehnung flüssiger Körper	23
7. Die Ausdehnung gasförmiger Körper — Das Boylesche Gesetz ..	26
8. Die Zustandsgleichung der Gase	32
9. Die Wärme als Energieform	41
10. Wärmemenge und spezifische Wärme	47
11. Das mechanische Wärmeäquivalent	53
12. Der Übergang vom festen in den flüssigen Aggregatzustand	56
13. Der Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregat- zustand	61

II. Wärmekraftmaschinen

14. Die Dampflokomotive	68
15. Die Brennkraft-Kolbenmaschinen	83
16. Der Ottomotor	84
17. Der Dieselmotor	95
18. Der Ackerschlepper	98
19. Die Strömungskraftmaschinen — Die Dampfturbine	110
20. Die Gasturbine	117
21. Die Anwendung der Wärmekraftmaschinen in der Luftfahrt	120

III. Elektrizitätslehre

22. Die Elektronen	125
23. Die elektrische Spannung	128
24. Der elektrische Strom	133
25. Das Ohmsche Gesetz	139
26. Der elektrische Widerstand	144
27. Der unverzweigte Stromkreis	152
28. Der verzweigte Stromkreis	157

29. Elektrische Arbeit — Elektrische Leistung	162
30. Wärmewirkungen des elektrischen Stromes	168
31. Das elektrische Licht	177
32. Die Sicherung elektrischer Anlagen	184
33. Magnetische Kraftwirkungen	190
34. Das magnetische Feld — Die Elementarmagnete	194
35. Die Erde als Magnet	197
36. Die Magnetfelder stromdurchflossener Leiter	201
37. Der Elektromagnet	203
38. Der Telegraf	208
39. Die elektrische Klingel	210
40. Das Telefon	212
41. Strommeßgeräte	216
 Namen- und Sachverzeichnis	 220
Quellenverzeichnis der Abbildungen	224

I. Wärmelehre

1. Die Wärme

1. Die Sonnenwärme — Das Feuer. Die Sonne mit ihren licht- und wärmespendenden Strahlen war ursprünglich für die Menschen die einzige Wärmequelle. Die Erzeugung des Feuers durch den Menschen führte zu bedeutenden Veränderungen der Lebensweise und kennzeichnet den Beginn einer neuen Stufe in der Entwicklungsgeschichte des Menschen. Das Feuer ermöglichte die Zubereitung der Nahrung, die bessere Gestaltung der Werkzeuge und die Gewinnung neuer Werkstoffe, wie Bronze. Auch der Aufenthalt in kälteren Gebieten der Erde war nun möglich, da das Feuer den Menschen zeitweilig die Wärme der Sonne ersetzte.

Zunächst konnten die Menschen das Feuer noch nicht selbst entzünden. Wenn durch einschlagende Blitze Bäume und Sträucher in Brand gerieten, unterhielten die Menschen sorgsam dieses Feuer. Sie konnten sich aber nicht erklären, wodurch Blitz und Feuer entstanden. Infolgedessen gab es vielfältige abergläubische beziehungsweise religiöse Deutungen, in denen die Naturerscheinungen auf geheimnisvolle Mächte zurückgeführt wurden. Diese wurden als Geister oder Götter bezeichnet. So hatten die Germanen die Vorstellung von dem Donnergott Donar oder Thor und die Ägypter von dem Sonnengott Ra. Die Menschen betrachteten das Feuer als Geschenk, wenn sie es nutzen konnten, und als Strafe, wenn es Leben oder Wohnstätten vernichtete.

Mit zunehmender Erforschung ihrer Umwelt erkannten aber die Menschen das Wesen des Feuers. Es verlor dadurch immer mehr die geheimnisvolle Deutung. Jedoch erst in den letzten Jahrhunderten gewannen die Wissenschaftler genaue Kenntnisse über das Wesen des Feuers und auch über die Wärme. Daran zeigt sich wieder, daß der Mensch in der Lage ist, die Gesetzmäßigkeiten in der Natur zu erforschen. Die Versuche der Kirche, zum Beispiel den Blitzschlag als eine Strafe Gottes zu erklären, wurde durch die Erfindung des Blitzableiters widerlegt. Noch im 18. Jahrhundert wurde seine Einführung von der Kirche bekämpft, während er heute auch auf allen Kirchen zu finden ist.

2. Die Bewegung der Moleküle. Früher war man der Meinung, daß es einen Wärmestoff gäbe, der die Wärme hervorriefe und die Form kleiner Körperchen habe. Diese Auffassung vom Wesen der Wärme wurde inzwischen von den Naturwissenschaftlern widerlegt. Wir wissen heute, daß *die Wärme auf der Bewegung der Moleküle beruht*.

Jeder Körper besteht aus *Molekülen*. Die Moleküle sind die kleinsten Teilchen eines Stoffes, die die gleichen Eigenschaften wie der Stoff selbst haben. Sie befinden sich in ständiger Bewegung. Der Durchmesser der Moleküle ist je nach dem Stoff verschieden groß. Er beträgt beispielsweise für Wasserstoff $\frac{18}{100\,000\,000}$ mm und für

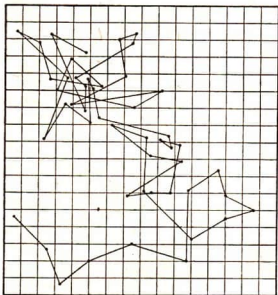


Abb. 6/1. Brownsche Bewegung. Es sind jeweils die Lagen der Teilchen nach 30 s gezeichnet.

Die Wirkungen der Molekularbewegung sieht man sehr deutlich, wenn man überschichtete Flüssigkeiten mehrere Stunden stehen läßt (Abb. 6/2). Es tritt eine Vermischung ein.

Auch in festen Körpern bewegen sich ständig die Moleküle. Eine freie Bewegung über größere Strecken, wie in Flüssigkeiten und Gasen, ist aber wegen des festen Zustandes nicht möglich. Die Bewegung jedes Moleküls im festen Stoff erfolgt um seine Ruhelage innerhalb eines bestimmten Raumes. Da *alle bewegten Körper kinetische Energie* haben, so gilt dies auch für die sich bewegenden Moleküle.

Die Moleküle fester, flüssiger und gasförmiger Körper führen Eigenbewegungen aus. Sie besitzen kinetische Energie.

3. Vom Wesen der Wärme. Die Geschwindigkeit der einzelnen Moleküle eines Stoffes kann durch äußere Einwirkungen geändert werden. Läßt man beispielsweise die Schraube eines Mixergerätes in einem Becher mit Milch rotieren, so wird die Drehbewegung der Schraube auf die Milch übertragen (Abb. 7/1). Wird das Gerät nach einiger Zeit abgestellt, so kommt die Milch als Ganzes zur Ruhe. Durch Temperaturmessungen gerührter und nicht gerührter Milch stellt man eine Erwärmung fest. Die Bewegungsenergie der Mixschraube wurde nicht nur auf die Milch als Ganzes übertragen, sondern auch auf die einzelnen Moleküle. Die Zuführung von Energie äußert sich in einer verstärkten Bewegung der Moleküle und damit in einer Temperaturerhöhung.

Eisen $\frac{23}{100\,000\,000}$ mm. Die Moleküle sind mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen.

Betrachtet man mit einem Mikroskop bei 500facher Vergrößerung chinesische Tusche, so sieht man, daß sich die Farbteilchen in der Flüssigkeit zickzackförmig bewegen (Abb. 6/1). Die Bewegung solcher kleiner Teilchen beobachtete erstmalig 1827 der englische Biologe *Robert Brown* in Pflanzensaft. Er nahm ursprünglich an, daß es sich um winzige Lebewesen handle. Jedoch konnte diese Bewegung an vielen kleinen schwebenden Teilchen in Flüssigkeiten und Gasen beobachtet werden. Die Ursache dieser zickzackförmigen Bewegungen sind die ungeheuer zahlreichen Stöße der Moleküle. Die mit dem Mikroskop beobachteten Bewegungen kleiner Teilchen sind ein Beweis für die Bewegung der Moleküle.



Abb. 6/2. Überschichtete Flüssigkeiten a) sofort nach Überschichtung b) nach wenigen Stunden c) nach mehreren Stunden

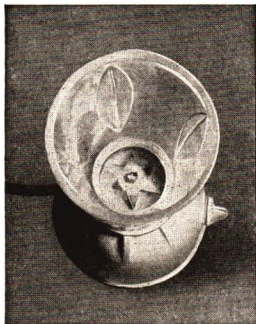


Abb. 7/1. Mixgerät mit Mixbecher. (Die Aufnahme erfolgte von schräg oben)

Ein ähnlicher Vorgang läuft in einer Schlagmühle ab. Hier wird durch schnell umlaufende Stahlschlegel das Getreide in der Luft zu Futterschrot zerschlagen (Abb. 7/2). Dabei wird die Bewegung der Stahlschlegel auf die Getreideteilchen und die Luft übertragen. Befühlt man das Schrot nach dem Abschalten der Schlagmühle mit der Hand,

so stellt man eine Erwärmung fest. Auch die Luft in den Filterschläuchen ist wärmer geworden. Obwohl die Luft und die Getreideteilchen als Ganzes wieder in Ruhe sind, wurde die Bewegungsenergie der Moleküle vergrößert, was zu einer Erwärmung führte.

Die Erwärmung der Milch im Mixbecher und der Getreideteilchen in der Schlagmühle sind Beispiele dafür, daß eine Erhöhung der Bewegungsenergie der Moleküle zu einer Erwärmung führt.

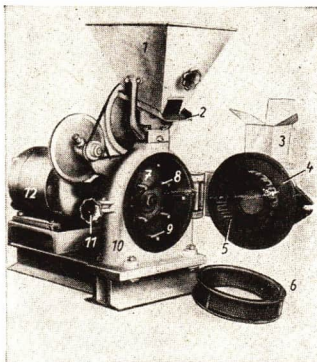


Abb. 7/2. Schlagmühle, hergestellt vom VEB (K) Maschinenbau und Schweißbetrieb Halle

- | | |
|----------------------------|-----------------|
| 1 Einlauftrichter | 7 Schlagscheibe |
| 2 Schüttelblech | 8 Schlagnase |
| 3 Einlaufschacht | 9 Siebräumer |
| 4 Gehäusedeckel | 10 Gehäuse |
| 5 Schlagkreuz | 11 Sterngriff |
| 6 Siebkorb mit Siebeinlage | 12 Elektromotor |

4. Fragen und Aufgaben:

1. Warum ist die Wärmemenge von 1 l Wasser größer als die von $\frac{1}{2}$ l Wasser, obwohl beide Wassermassen die gleiche Temperatur haben?
2. Wieviel Wasserstoffmoleküle müßten nebeneinander gelegt werden, um die Strecke von 1 mm zu ergeben?
3. Durch welche Beobachtungen konnte festgestellt werden, daß die Moleküle in ständiger Bewegung sind?

2. Die Temperatur und die Wärmemenge

1. Die Temperatur. Ein großes und ein kleines Becherglas sind mit siedendem Wasser gefüllt. Wegen des unterschiedlichen Rauminhaltes befinden sich im großen

Becherglas mehr Moleküle als im kleinen. Da jedoch die *Temperatur* der beiden Wassermengen gleich groß ist, haben nach der Theorie über das Wesen der Wärme alle Moleküle annähernd die gleiche Bewegungsenergie. Für die Höhe der Temperatur ist es somit bedeutungslos, wieviel Moleküle mit annähernd gleicher Energie vorhanden sind. Genaue Untersuchungen haben gezeigt, daß nicht alle Moleküle eines Körpers sich mit gleicher Geschwindigkeit bewegen. Es gibt Moleküle, die größere beziehungsweise kleinere Geschwindigkeiten und damit eine größere beziehungsweise kleinere kinetische Energie haben. Für einen Körper gibt die Temperatur den durchschnittlichen Wert der kinetischen Energie der einzelnen Moleküle an.

Die Temperatur ist ein Maß für die durchschnittliche kinetische Energie aller Moleküle eines Körpers.

2. Die Wärmemenge. Ein Maß für die Summe der kinetischen Energien aller Einzelmoleküle eines Körpers ist die *Wärmemenge*. Da diese von der Anzahl der Moleküle abhängt, darf die Größe des Körpers nicht vernachlässigt werden. Folglich ist die Wärmemenge des Wassers im großen Becherglas größer als die des Wassers im kleinen Becherglas, obwohl beide Wassermassen die gleiche Temperatur haben.

Die gesamte Bewegungsenergie der Moleküle eines Körpers wird als Wärmemenge bezeichnet.

Die Wärmemenge gibt somit im Gegensatz zur Temperatur die gesamte Bewegungsenergie der Moleküle eines Körpers an. So kann die Wärmemenge eines Heizkörpers zum Erwärmen eines Zimmers ausreichend sein, obwohl seine Temperatur nur mäßig hoch ist. Hingegen liegen die Temperaturen des Glühfadens einer Glühlampe oder die Temperatur des Zündfunkens eines Motors wesentlich höher, ihre Wärmemenge reicht jedoch nicht aus, etwa ein Zimmer zu erwärmen. Die Beispiele zeigen, daß *die Begriffe Wärmemenge und Temperatur sorgsam unterschieden werden müssen.*

3. Die Einheit der Wärmemenge. Auf Grund internationaler Vereinbarungen wurde durch Gesetz in unserer Deutschen Demokratischen Republik als Maßeinheit der Wärmemenge die **Kalorie** festgelegt.

Eine Kalorie ist die Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 g Wasser um 1 grd zu erwärmen. Die Kalorie wird mit cal abgekürzt. Die tausendfache Einheit ist die **Kilokalorie** (kcal).

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal.}$$

Die Maßeinheit der Wärmemenge ist die Kalorie. Sie ist die Wärmemenge, durch die 1 g Wasser um 1 grd erwärmt wird.

4. Die Wärmeleitung. Berühren sich zwei Körper mit unterschiedlichen Temperaturen, so kommt es zu einer *Wärmeleitung* vom wärmeren zum kälteren Körper. Der wärmere Körper, das heißt, der Körper mit der größeren durchschnittlichen Bewegungsenergie der Moleküle, gibt kinetische Energie ab. Diese Energie nimmt der kältere Körper, das heißt, der Körper mit der kleineren durchschnittlichen Bewegungsenergie der Moleküle, auf. Er erwärmt sich infolgedessen. Eine Wärmeleitung vom kälteren zum wärmeren Körper ist nicht möglich.

Die Wärmeleitung erfolgt nur vom wärmeren zum kälteren Körper.

Es gibt gute und schlechte *Wärmeleiter*; denn die unterschiedlichen Stoffe leiten die Wärme verschieden gut. Zu den guten Wärmeleitern gehören die *Metalle*, vor allem *Kupfer* und *Aluminium*, während *Holz*, *Wolle*, *Leder*, *Glas* u. a. schlechte Wärmeleiter sind. So benutzt man zur Wärmeleitung beim LötKolben einen Kupfereinsatz. Er leitet die in der Heizspirale durch den elektrischen Strom erzeugte Wärme gut an die Lötstelle weiter.

Da die Wärmeleitung stets selbsttätig vom wärmeren zum kälteren Körper erfolgt, wird oft unerwünscht Wärme abgeleitet. Zum Glühen von Stoffen benutzt man in Laboratorien Muffelöfen. Die erzeugte Wärme soll im Ofen verbleiben und nicht an die umgebende Luft abgeleitet werden. Daher *isoliert* man den Ofen mit einem schlechten Wärmeleiter. Hierzu verwendet man meist *Schamotte*. Eine Schamotteumkleidung leitet nur sehr schlecht die Wärme an die Umgebung. Außerdem wird Schamotte durch hohe Temperaturen nicht zerstört. So vermeidet man Energieverluste.

Wärmeenergie wird im wesentlichen durch Verbrennen von Kohle in Öfen beziehungsweise Dampferzeugungsanlagen gewonnen. Zur Vermeidung von Energieverlusten müssen Rohrleitungen gegen Wärmeableitung isoliert werden. Daher hat die *Wärmeisolierung* eine große volkswirtschaftliche Bedeutung. So werden beispielsweise die Rohre der Ferndampfleitungen mit *Glaswolle* oder *Schlackenwolle* umgeben. Trotz der dadurch entstehenden hohen Kosten werden solche Rohrleitungen sorgfältig isoliert, da große Energieverluste vermieden werden.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Warum müssen die Begriffe Temperatur und Wärmemenge streng voneinander unterschieden werden?
2. Welche Möglichkeiten der Wärmeübertragung gibt es?
3. Nenne Beispiele für Wärmeisolierungen!

3. Die Temperaturskalen

1. Die Celsiusskale. Zu Temperaturmessungen wird im allgemeinen die *Celsiuskale* verwendet. Ihr Nullpunkt, 0°C , entspricht dem Gefrierpunkt des Wassers. Der Siedepunkt des Wassers wurde willkürlich mit 100°C festgesetzt. Den Abstand der beiden Fixpunkte teilte man in 100 gleiche Teile, in 100 Grade.

Für Temperaturmessungen unter dem Gefrierpunkt und über dem Siedepunkt des Wassers wurde die Celsiusskale mit gleichen Teilabständen unterhalb von 0°C und oberhalb von 100°C weitergeführt. Die Meßergebnisse werden bei Messungen unterhalb 0°C mit einem Minuszeichen versehen. Die Zahlenfolge entspricht der auf der Zahlengeraden, die von Null nach beiden Seiten fortlaufend zählt. Als Symbol für Temperaturangaben wird der Buchstabe *t* verwendet. *Temperaturdifferenzen* werden in *Grad* angegeben und mit *grd* abgekürzt.

2. Die Kelvinskale — Die tiefste Temperatur. Da die Temperatur ein Maß für die Größe der durchschnittlichen Molekularbewegung ist, sinkt die Temperatur bei Verringerung dieser Molekularbewegung. Je weiter somit die Bewegung der Moleküle abnimmt, um so tiefer ist auch die Temperatur. Hört schließlich die Eigenbewegung ganz auf, so ist damit die niedrigste mögliche Temperatur erreicht. Die Wissenschaftler ermittelten für diese *tiefste Temperatur* einen Wert von $-273,15^{\circ}\text{C}$. Dieser Punkt

der Temperaturskala wird als *absoluter Nullpunkt* bezeichnet. Eine tiefere Temperatur gibt es nicht. Von den Wissenschaftlern konnte der absolute Nullpunkt bereits bis zu 0,0015 grd erreicht werden.

Die tiefste Temperatur ist der absolute Nullpunkt. Er liegt bei $-273,15^{\circ}\text{C}$.

Der absolute Nullpunkt wurde als Ausgangspunkt einer anderen Temperaturskala gewählt. Man bezeichnet die nach dieser Skale angegebene Temperatur als *absolute Temperatur*. Zu Ehren des englischen Naturwissenschaftlers *Kelvin* nennt man den Grad der absoluten Temperatur *Grad Kelvin* ($^{\circ}\text{K}$). In unserer Deutschen Demokratischen Republik wurde auf Grund internationaler Vereinbarungen durch Gesetz als Einheit der Temperatur der Grad Kelvin festgelegt. Dabei sind $273,15^{\circ}\text{K}$ gleich dem Gefrierpunkt des Wassers. Temperaturdifferenzen gibt man auch hier in grd an. Für absolute Temperaturen wird als Symbol der Buchstabe *T* verwendet. Die Kelvinskala wird besonders in der Wissenschaft benutzt.

Auch der Grad Celsius ist eine gesetzlich festgelegte Einheit. Die Temperaturdifferenz 1 grd ist auf beiden Skalen gleich groß. Das Schema in Abb. 10/1 zeigt einen Vergleich der beiden Skalen.

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird neben dem Begriff *Wärme* auch der Begriff *Kälte* verwendet. Mit Kälte werden Temperaturen unter 0°C bezeichnet. Es wird damit jedoch nur ein geringer Wärmezustand charakterisiert. Deshalb gibt es in der Physik den Begriff Kälte nicht.

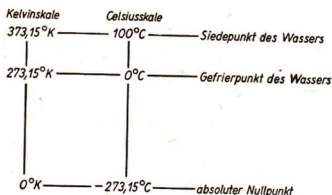


Abb. 10/1. Vergleich der Temperaturskalen nach Kelvin und Celsius

3. Fragen und Aufgaben:

1. Gib den Schmelzpunkt von Eis, Eisen und Quecksilber in $^{\circ}\text{K}$ an! Die Schmelzpunkte dieser Stoffe sind in der Tabelle auf Seite 58 in $^{\circ}\text{C}$ angegeben.
2. Gib die Siedepunkte von Sauerstoff, Wasserstoff und Wasser in $^{\circ}\text{K}$ an! Benutze hierzu die Tabelle auf Seite 63!
3. Warum werden wichtige Maßeinheiten gesetzlich festgelegt?

4. Die Messung der Temperatur

1. Grundbedingungen für Temperaturmessungen. Beim Messen einer Temperatur muß das Thermometer eine genügend lange Zeit in unmittelbare Berührung mit dem zu messenden Körper gebracht werden. Die kinetische Energie der Moleküle des zu messenden Körpers muß sich beispielsweise auf die Moleküle der Thermometerflüssigkeit übertragen. Dieser Vorgang dauert eine gewisse Zeit. Bei Flüssigkeiten und Gasen wird eine innige Berührung bereits durch Eintauchen erreicht. Für die Temperaturmessung an festen Körpern werden sogenannte *Körperthermometer* verwendet. Bei ihnen ist der Quecksilberkolben in einen Metallschaft von quadratischem Querschnitt eingebettet. Das Thermometer kann mit Hilfe von Knetmasse an das

Werkstück geheftet werden. Von unserem volkseigenen Carl-Zeiss-Werk in Jena wurde das in Abbildung 11/1 wiedergegebene Körperthermometer entwickelt.

2. Verfahren der Temperaturmessung. Für die Messung einer Temperatur wird die Tatsache ausgenutzt, daß die meisten Eigenschaften der Stoffe durch Wärmezufuhr beziehungsweise Wärmeentzug beeinflusbar sind. Ist genau bekannt, wie die Wärmeeinwirkung die Eigenschaften ändert, so kann diese Änderung zu Meßzwecken ausgenutzt werden. Bei den im folgenden beschriebenen Verfahren zur Temperaturmessung werden Vorgänge ausgenutzt, die auf der Änderung von Eigenschaften infolge Erwärmung beruhen:

- a) die Volumänderung,
- b) die Glühfarben,
- c) die Anlaßfarben,
- d) das Erweichen,
- e) die Farbänderung,
- f) die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit.

a) Temperaturbestimmung mittels Ausdehnung. Bei Erwärmung dehnt sich eine Flüssigkeit im allgemeinen aus. Sie nimmt mehr Raum als vorher ein. Auf dieser Volumänderung beruht die Wirkungsweise der *Flüssigkeitsthermometer*. Diese sind so geformt, daß die Volumänderung in einem Röhrchen erkennbar ist. Es muß bekannt sein, um wieviel Millimeter die Flüssigkeitssäule bei 1 grad Erwärmung länger wird. Den Zusammenhang zwischen der Temperatur und der dazugehörigen Länge der Flüssigkeitssäule veranschaulicht die Abbildung 11/2.

Die Ablesegenauigkeit beträgt bei einfachen Thermometern, wie bei Zimmerthermometern und bei Badethermometern, 1 grad. Thermometer für wissenschaftliche Untersuchungen haben Ablesegenauigkeiten bis zu $\frac{1}{100}$ grad.

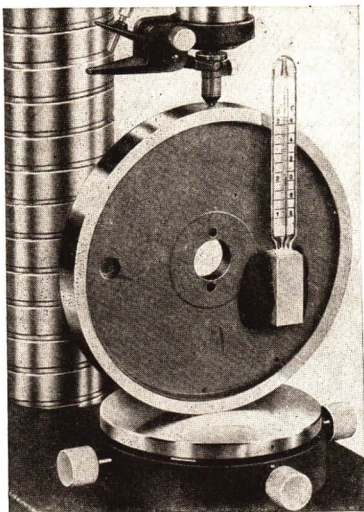
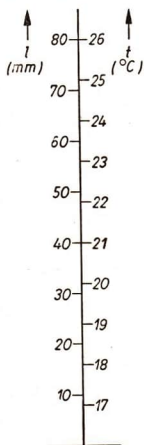


Abb. 11/1. Körperthermometer vom VEB Carl Zeiss Jena

Abb. 11/2. Vergleich zwischen der Thermometerskala und der Längenänderung der Flüssigkeitssäule



b) Temperaturbestimmung mittels Glühfarben.

Ein heißer Körper sendet ab etwa 500 °C sichtbare Strahlen aus. Man bezeichnet die Farben, in denen die Körper bei zunehmender Temperatur erscheinen, als *Glühfarben*. Sie ändern sich mit steigender Temperatur vom Schwarzbraun bis zum bläulichen Weiß. Folglich kann man von der Glühfarbe auf die Temperatur des glühenden Körpers schließen. (Vgl. die nebenstehende Tabelle).

Nach der Glühfarbe wird zum Beispiel in Stahlwerken die Abstichtemperatur des Metalls bestimmt. Man betrachtet dabei das Schmelzgut durch ein Schauglas, um die Augen vor schädigenden Strahlen zu schützen. Auch in der Schmiede wird auf Grund der Glüh-

Übersicht über die Glühfarben

Glühfarbe (Abb. 12/1)	Farbbezeichnung	Temperaturbereich (°C)
	Weiß	1250 bis 1350
	Hellgelb	1150 bis 1250
	Dunkelgelb	1050 bis 1150
	Gelbrot	880 bis 1050
	Hellrot	830 bis 880
	Hellkirschrot	800 bis 830
	Kirschrot	780 bis 800
	Dunkelkirschrot	750 bis 780
	Dunkelrot	650 bis 750
	Braunrot	580 bis 650
	Schwarzbraun	530 bis 580

farben die richtige Schmiedetemperatur des erhitzten Stahles bestimmt. Auf eine besonders große Genauigkeit kommt es bei dieser Temperaturbestimmung nicht an. Es braucht nur ein bestimmter Temperaturbereich eingehalten zu werden.

c) **Temperaturbestimmung mittels Anlaßfarben.** Bei spanabhebenden Werkzeugen müssen die Schneiden die notwendige Härte besitzen. Auch die Meßflächen der Prüf- und Meßgeräte mit hoher Meßgenauigkeit müssen eine bestimmte Härte haben. Sie dürfen sich nicht merklich abnutzen und sich auch an den Meßflächen nicht verformen. Aus diesem Grunde härtet man Werkzeuge, Meßgeräte und Maschinenteile, indem man sie glüht und in einem Wasser- beziehungsweise Ölbad abschreckt. Dabei ändert sich das Gefüge des Stahles. Er wird glashart und spröde. Würde man beispielsweise mit einem so gehärteten Schraubenzieher arbeiten, so würde er ausbrechen. Um das zu vermeiden, werden die Werkzeuge nach dem Härten *angelassen*, das heißt, sie werden nochmals langsam erwärmt und wiederum abgeschreckt. Je höher die Temperatur beim Anlassen steigt, umso geringer wird die Härte und Sprödigkeit. Die Zähigkeit des Stahles dagegen nimmt zu. Für jedes Werkzeug ist eine gewisse Arbeitshärte erforderlich, die bei einer bestimmten *Anlaßtemperatur* erreicht wird. So wird ein Schraubenzieher nach dem Härten bis zu einer

Temperatur von 270°C angelassen. Beim Erwärmen überzieht sich der blanke Stahl mit einer hauchdünnen Oxydschicht, die allmählich dicker wird und infolgedessen die Farbe von Weißgelb bei 210°C bis Graugrün bei 330°C ändert (vgl. hierzu die nebenstehende Tabelle). Aus der *Anlaßfarbe* schließt der Facharbeiter auf die erreichte Temperatur.

d) Temperaturbestimmung mittels Segerkegel. Zur Kontrolle der Temperatur in Öfen der keramischen Industrie benutzt man *Segerkegel*. Diese sind heute Pyramiden mit dreieckiger Grundfläche und einer Höhe von 4...6 cm. Die Segerkegel erweichen bei einer bestimmten Temperatur und sinken um. Durch ihre spezielle Zu-

Übersicht über die Anlaßfarben

Anlaßfarbe (Abb. 13/1)	Farbbezeichnung	Temperatur (°C)
	Weißgelb	210
	Hellgelb	220
	Gelb	230
	Dunkelgelb	240
	Gelbbraun	250
	Braunrot	260
	Purpurrot	270
	Violett	280
	Dunkelblau	290
	Kornblumenblau	300
	Hellblau	310
	Graublau	320
	Grau-Graugrün	330

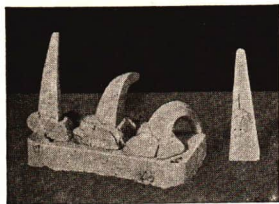


Abb. 13/2. Satz Segerkegel zur Temperaturmessung; links nach dem Brennen, rechts ungebrauchter Segerkegel. Die Zahl 14 auf dem Segerkegel kennzeichnet die Temperatur 1380°C.

sammensetzung aus Quarz, Feldspat, Ton und verschiedenen Metalloxyden lassen sich Segerkegel mit Erweichungstemperaturen im Bereich von 200°C bis 2000°C herstellen. Allerdings können nur Temperaturunterschiede von etwa 20 grd sicher festgestellt werden. Diese Meßgenauigkeit ist jedoch für den vorgesehenen Zweck völlig ausreichend.

Bei der Beschickung des Brennofens, zum Beispiel in einer Porzellanfabrik, werden drei Segerkegel in den Ofen gestellt (Abb. 13/2). Die Erweichungstemperatur des mittleren Segerkegels entspricht der zu erreichenden Brenntemperatur, während der linke eine um 20 grd höhere und der rechte eine um 20 grd niedrigere Erweichungstemperatur

hat. Durch das Schauglas kann der Facharbeiter die drei Segerkegel beobachten. Die Brenntemperatur ist erreicht, wenn der rechte Segerkegel umsinkt, sich beim mittleren die Spitze neigt und der linke unverändert bleibt. Die Segerkegel sind nur einmal verwendbar.

e) **Temperaturbestimmung mittels Thermocolore.** Manche Stoffe haben die Eigenschaft, bei Erwärmung auf eine bestimmte Temperatur ihre Farbe zu ändern. Bei nachfolgender Abkühlung behalten die Stoffe die geänderte Farbe bei. Man nennt solche Stoffe *Thermocolore*. Sie werden zum Beispiel bei Untersuchungen an Motoren verwandt. So streicht man im Versuchsstand Motorenzylinder mit Thermocoloren. Die erhitzten Stellen sind infolge der Farbänderung gut zu erkennen, so daß

genaue Beobachtungsergebnisse über die Temperaturverteilung vorliegen. Sie werden für die weitere Verbesserung des Motors ausgewertet. Bei Getrieben und Lagern von Maschinen wendet man die gleiche Methode zur Bestimmung der Temperaturverteilung an.

f) **Elektrische Temperaturmessung.** Auch die elektrischen Eigenschaften der Stoffe werden durch Wärmeeinwirkung verändert.

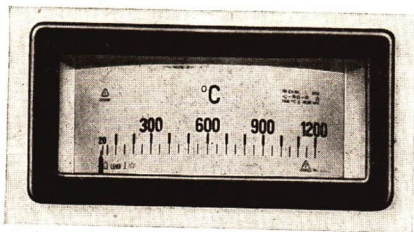


Abb. 14/1. In Temperaturgrade geteiltes Meßgerät

Metalldrähte leiten den elektrischen Strom um so schlechter, je stärker sie erwärmt werden. Dies wirkt sich dahin aus, daß mit zunehmender Temperatur die Stärke des elektrischen Stromes geringer wird. Das Absinken der Stromstärke kann an einem Strommeßgerät, dessen Skale in Temperaturgrade geteilt ist, abgelesen werden (Abb. 14/1).

Die auf einen Isolierkörper gewickelten Meßdrähte, die meist aus Platin oder Nickel bestehen, werden mit einer Schutzhülle (Abb. 14/2) umgeben und in Dampfkessel, Ölleitungen und in Apparate der Chemiewerke eingeführt. Die Anschlußleitungen führt man zu einer zentralen Überwachungsstelle. Mit Hilfe der elektrischen Widerstandsthermometer, wie sie allgemein genannt werden, können Fernmessungen an

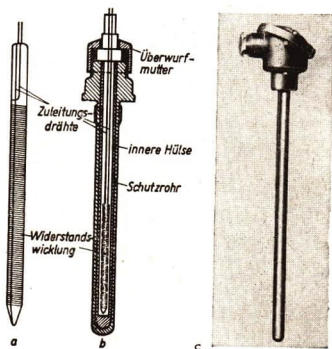


Abb. 14/2. Widerstandsthermometer

- a) Isolierkörper mit Meßdrähten
- b) Schnittzeichnung
- c) Ansicht

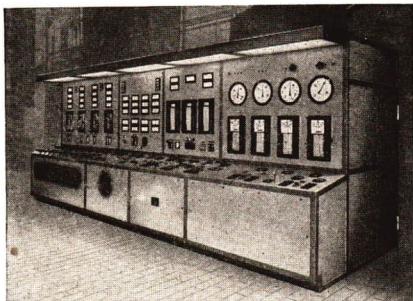


Abb. 15/1. Meßschrank für mehrere Meßstellen, hergestellt im VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow

möglich, von einer Warte aus den gesamten Produktionsablauf zu überwachen und zu steuern.

g) Die Anwendung der verschiedenen Meßverfahren. Die Verwendung eines bestimmten Temperaturmeßgerätes beziehungsweise Temperaturmeßverfahrens richtet sich unter anderem nach dem Bereich, in dem die zu messenden Temperaturen liegen. So kann man aus der in Abbildung 15/2 wiedergegebenen Übersicht erkennen, daß mit einem Gerät beziehungsweise Verfahren nicht alle Temperaturen gemessen werden können.

Die Skala eines Meßgerätes soll nach Möglichkeit nur den erforderlichen Meßbereich umfassen. So sind die Glasröhre und die Füllung eines Fieberthermometers derart eingerichtet, daß vom möglichen Meßbereich eines Quecksilberthermometers von -30°C bis $+280^{\circ}\text{C}$ nur der Bereich von $+35^{\circ}\text{C}$ bis $+42^{\circ}\text{C}$ erfaßt wird. Dadurch wird die notwendige Ablesegenauigkeit von $\frac{1}{10}$ grd erreicht.

Nicht bei allen Temperaturmessungen ist die gleiche Meßgenauigkeit erforderlich. Man wählt aus diesem Grunde das Meßgerät aus, mit dem

unzugänglichen Meßstellen bis zu Entfernungen von einigen Kilometern ausgeführt werden. So kann man die verschiedenen Temperaturen umfangreicher Anlagen von einer Zentrale des Werkes aus kontrollieren (Abb. 15/1). In modernen Anlagen werden die Meßergebnisse unmittelbar zur automatischen Regelung der Temperaturen benutzt.

Außer der Temperatur können weitere physikalische Größen, wie Druck, Flüssigkeitsstand und dergleichen, zentral gemessen werden. Dadurch ist es

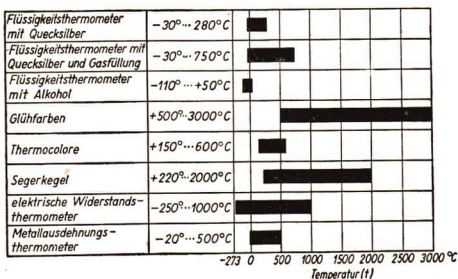


Abb. 15/2
Meßbereiche der verschiedenen Temperaturmeßverfahren

die notwendige Genauigkeit erreicht werden kann. So läßt sich zum Beispiel der Schmelzpunkt eines Metalls mit Segerkegeln nicht genau genug bestimmen. Hierzu braucht man ein Widerstandsthermometer. Andererseits ist bei Brennprozessen in der keramischen Industrie ein solches Präzisionsgerät nicht erforderlich. Dort reicht die Genauigkeit der Segerkegel vollständig aus. Auch genügt im allgemeinen beim Anlassen gehärteter Werkzeuge die Temperaturbestimmung mit Hilfe der Anlaßfarben. Dadurch werden Meßgeräte, Arbeitszeit und Kosten eingespart. Folglich können die Werkzeuge zu einem niedrigeren Preis hergestellt und geliefert werden. Härtet man hingegen hochwertige Präzisionswerkzeuge, so erfolgt das Anlassen im Ölbad. Die Temperatur des Anlaßbades muß genau eingehalten werden. Sie wird mit Flüssigkeitsthermometern oder Widerstandsthermometern kontrolliert. Der größere Aufwand wird durch die geforderte Präzision des Werkzeuges notwendig. Damit erhöhen sich auch die Herstellungskosten. Durch die höhere Qualität wird aber die Standzeit des Werkzeuges verlängert, so daß insgesamt gesehen die Kosten niedriger liegen als bei der Verwendung gewöhnlicher Werkzeuge.

Schließlich ist die Wahl des Meßgerätes auch von der Zugänglichkeit der Meßstelle abhängig. Verwendet man Flüssigkeitsthermometer, so muß die Meßstelle gut zugänglich sein. Dies ist in der Medizin, in Laboratorien und bei vielen Anlagen der chemischen Industrie der Fall. In der Hütten- und Glasindustrie sind die Öfen wegen der großen Hitzeentwicklung nicht zugänglich. Dort bestimmt man die Temperatur im allgemeinen mit Hilfe der Glühfarben. Für genaue Messungen an schwer zugänglichen Meßstellen wählt man vorwiegend elektrische Thermometer mit Fernanzeige. Sie werden auch dort verwendet, wo eine zentrale Überwachung der verschiedenen Meßgrößen notwendig ist.

Grundsätzlich wählt man für Temperaturmessungen das Verfahren aus, mit dem man mit möglichst geringem Aufwand insbesondere an wertvollen Geräten und an Arbeitszeit die Meßergebnisse in der erforderlichen Genauigkeit erhält.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Ermittle die Meßbereiche und die Meßgenauigkeiten verschiedener Flüssigkeitsthermometer: Fieberthermometer, Außenthermometer, Badethermometer, Einweckthermometer, Zimmerthermometer und Mietenthermometer.
2. Warum ist bei einem Thermometer der Durchmesser des Röhrchens wesentlich dünner als der des Thermometergefäßes?
3. Welche Vorteile haben elektrische Temperaturmeßgeräte? Unter welchen Bedingungen werden sie angewandt?

5. Die Ausdehnung fester Körper

1. Die Längenausdehnung. Wird ein fester Körper erwärmt, so nimmt die Bewegungsenergie der Moleküle zu. Die Schwingungen der Moleküle erfolgen schneller und die Schwingungsweiten werden größer. Dazu ist mehr Raum erforderlich. *Der Körper dehnt sich bei Zuführung von Wärmeenergie aus;* sein Volumen wird größer. Wird dem Körper dagegen Wärme entzogen, so schwingen die Moleküle langsamer, die Schwingungsweiten werden kleiner, das Volumen wird geringer.

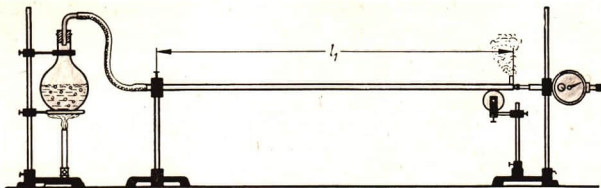


Abb. 17/1. Versuchsanordnung zum Messen der Ausdehnung eines Eisenrohres

Die Ausdehnung beim Erwärmen erfolgt nach allen Seiten. Da viele feste Körper, wie Schienen, Träger, Drähte, in der Längsrichtung eine viel größere Ausdehnung haben als in den anderen Richtungen, ist bei diesen Körpern die *Längenausdehnung* von wesentlich größerer Bedeutung als die Volumenausdehnung.

Der Aufbau der Stoffe und die Größe der Moleküle ist bei allen Körpern unterschiedlich. Daher haben sie auch eine unterschiedliche Längenausdehnung. Sie kann mit der in Abbildung 17/1 wiedergegebenen Versuchsanordnung ermittelt werden. Die Versuchskörper werden durch den Dampf auf etwa 100°C erwärmt. Aus der Temperaturerhöhung und der gemessenen Längenzunahme kann errechnet werden, welche Verlängerung ein Körper von 1 m Länge bei einer Temperaturerhöhung um 1 grd erfährt. Ein Maß hierfür ist der *lineare Ausdehnungskoeffizient* (α).

Der lineare Ausdehnungskoeffizient eines festen Körpers ist der Quotient aus der Längenänderung und der ursprünglichen Länge bei Erwärmung um 1 grd. Die Maßeinheit ist $\frac{1}{\text{grad}}$.

Mit Hilfe genau durchgeführter Messungen wurden für viele Stoffe die linearen Ausdehnungskoeffizienten ermittelt. Die Tabelle auf Seite 18 gibt einige wichtige lineare Ausdehnungskoeffizienten wieder.

Mit Hilfe des linearen Ausdehnungskoeffizienten α kann die Längenausdehnung der Körper bei Erwärmung und damit ihre Gesamtlänge bestimmt werden. So wird ein Stab mit der Länge l_0 bei Erwärmung von 0°C (t_0) auf 1°C um

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha$$

länger. Mit dem großen griechischen Buchstaben Δ (Delta) werden Differenzen physikalischer Größen gekennzeichnet. So bedeuten beispielsweise Δl eine Längendifferenz und Δt eine Temperaturdifferenz.

Wird der Stab von der Temperatur t_0 auf die Temperatur t_1 erwärmt, so beträgt die Temperaturzunahme

$$\Delta t = t_1 - t_0$$

Somit dehnt sich der Stab um die Strecke

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

aus. Addiert man diesen Wert zur ursprünglichen Länge l_0 des Stabes, so erhält man die Länge l_1 , die der Stab bei der Temperatur t_1 hat.

$$l_1 = l_0 + \Delta l.$$

Setzt man für Δl den oben ermittelten Wert ein, so lautet die Gleichung

$$l_1 = l_0 + l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t.$$

Nach dem Ausklammern von l_0 erhält man

$$l_1 = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

Wird einem Körper Wärmeenergie entzogen, so verringert sich seine Länge. In diesem Fall ist Δt negativ.

*Lineare Ausdehnungskoeffizienten einiger Stoffe
(für $t = 0^\circ\text{C}$)*

Material	Chemisches Kurzzeichen bzw. Zusammensetzung	Linearer Ausdehnungskoeffizient (α) $\frac{1}{\text{grad}}$
Aluminium	Al	0,000023
Blei	Pb	0,000029
Eisen	Fe	0,000011
Kupfer	Cu	0,000017
Nickel	Ni	0,000013
Platin	Pt	0,000009
Silber	Ag	0,000020
Zink	Zn	0,000036
Zinn	Sn	0,000027
Bronzen	70...96 % Cu, 4...30 % Sn	~ 0,000018
Chromnickel	5...20 % Cr, 95...80 % Ni	~ 0,000018
Invar	35 % Ni, 65 % Fe	0,000001
Konstantan	40 % Ni, 60 % Cu	0,000015
Messinge	55...90 % Cu, 10...45 % Zn	~ 0,000019
Neusilber	60 % Cu, 22 % Ni, 18 % Sn	0,000018
Platiniridium	90 % Pt, 10 % Ir	0,000009
Rotguß (Rg 10)	86 % Cu, 10 % Sn, 4 % Zn	0,000018
Beton		0,000012
Porzellan (Meißner)		0,000004
Quarzglas		0,000001
Handelsglas		0,000011
Jenaer Normalglas 16 III		0,000008
Jenaer Thermometerglas 59 III		0,000006

2. Kraftwirkung bei der Wärmeausdehnung fester Körper. Die Ausdehnung fester Körper erfolgt unter großer Kraftwirkung. Daher muß die Längenänderung fester Körper bereits bei der Konstruktion technischer Anlagen berücksichtigt werden. Dies gilt nicht nur für Stahlkonstruktionen mit großen Längen und großen Tempe-

raturschwankungen, wie Eisenbahnbrücken und Förderbrücken. Die Wärmeausdehnung muß wegen der großen wirksamen Kräfte immer beachtet werden.

Feste Körper dehnen sich beim Erwärmen mit großer Kraftwirkung aus. Sie ziehen sich bei Wärmeentzug mit einer ebenso großen Kraftwirkung zusammen.

Der auftretenden Längenausdehnung wird beispielsweise beim Gleisbau durch kleine Zwischenräume zwischen den einzelnen Schienen, sogenannte *Schienenstöße*, Rechnung getragen (Abb. 19/1). Dadurch können sich die Schienen bei Erwärmung in ihrer Längsrichtung ungehindert ausdehnen. Infolgedessen treten keine Kraftwirkungen auf, die zu Spurveränderungen führen können. In neuerer Zeit werden

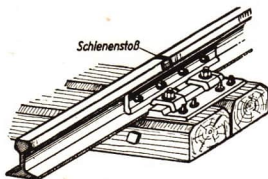


Abb. 19/1. Schienenstoß.

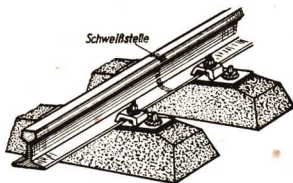


Abb. 19/2. Gleiskörper mit Betonschwellen

an Stelle von Holzschnellen Betonschnellen verwendet. Mit diesen Betonschnellen werden die Schienen starr verschraubt (Abb. 19/2). Infolge der höheren Füllung mit Schotter, der besseren Wärmeableitung durch die Betonschnellen und der festeren Einbettung der Schienen ist ein Ausbiegen bei Erwärmung nicht mehr möglich. Daher können die Schienenstöße entfallen und die Schienen miteinander verschweißt werden. Man erreicht so einen wesentlich ruhigeren Lauf der Züge.

Die unterschiedliche Ausdehnung der Stoffe wird in der Technik vielfach ausgenutzt. So werden bei den *Bimetallstreifen* zwei Streifen aus verschiedenen Metallen mit unterschiedlicher Wärmeausdehnung fest miteinander verbunden (Abb. 19/3). Besteht beispielsweise der Bimetallstreifen aus einem Kupfer- und einem Eisenstreifen, so dehnt sich der Kupferstreifen bei Erwärmung stärker aus als der Eisenstreifen. Infolge des entstehenden Längenunterschiedes krümmt sich der Bimetallstreifen nach der Seite des Metalls mit dem kleineren Ausdehnungskoeffizienten, bei dem Eisen-Kupfer-Streifen nach der Eisen-seite zu. Bei gleicher Erwärmung ist die Krümmung um so größer, je stärker sich die Ausdehnungskoeffizienten der beiden Metalle unterscheiden.

Da die Krümmung ein und desselben Bimetallstreifens bei einer bestimmten Temperatur immer die gleiche ist, kann man diese Eigenschaft des Bimetallstreifens zu Temperaturmessungen verwenden. Zu diesem Zweck bringt man am oberen Ende des Bimetallstreifens ein Hebelwerk mit einem Zeiger an, der sich vor einer Skala bewegt. An ihr kann unmittelbar die Temperatur abgelesen werden. Der Zeiger kann aber auch mit einem Schreibstift versehen werden, der auf einer Schreibwalze die Meßwerte aufzeichnet. Man erhält so ein *Thermogramm*, das den Temperatur-



Abb. 19/3. Bimetallstreifen

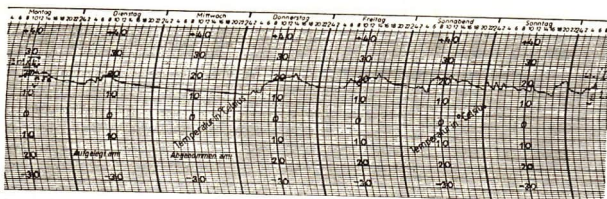


Abb. 20/1. Thermogramm

verlauf für einen längeren Zeitraum angibt (Abb. 20/1). Das Gerät, mit dem Thermogramme aufgezeichnet werden, wird als *Thermograph* bezeichnet (Abb. 20/2).

Bimetallstreifen werden auch als *Temperaturschalter* verwendet. Wird eine bestimmte Temperatur überschritten, so schaltet der Bimetallstreifen einen elektrischen Stromkreis ein oder aus. Dadurch kann beispielsweise eine Alarmanlage in Betrieb gesetzt werden (Abb. 20/3a). So werden in Getreidespeichern Kapseln mit einem Bimetallschalter in das aufgeschüttete Getreide gesteckt. Eine solche Kapsel ist mit einer Alarmanlage verbunden. Schwitzt das Getreide, so steigt die Temperatur stark an. Starke Temperaturerhöhungen sind für das Getreide schädlich. Außerdem besteht Brandgefahr. Bei Überschreitung der zulässigen Temperatur wird

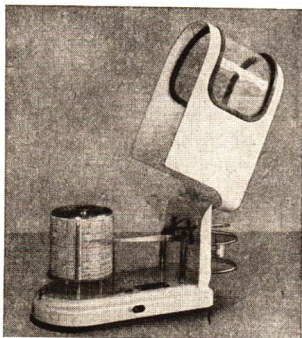


Abb. 20/2. Thermograph

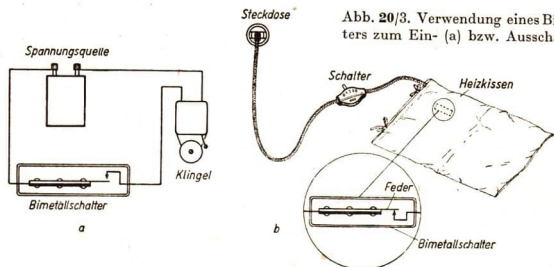


Abb. 20/3. Verwendung eines Bimetallschalters zum Ein- (a) bzw. Ausschalten (b)

durch den Bimetallschalter ein Stromkreis geschlossen und die Alarmanlage ausgelöst. Ähnliche Bimetallschalter sind auch in Heizkissen eingebaut. Bei ihnen wird jedoch beim Überschreiten einer bestimmten Temperatur der Stromkreis unterbrochen (Abb. 20/3b).

Die genannten Beispiele sind nur einige von vielen Möglichkeiten, die *Temperatur automatisch zu regeln*. In der Industrie und in der Landwirtschaft werden heute viele Vorgänge, bei denen eine bestimmte Temperatur beziehungsweise ein bestimmter Temperaturbereich eingehalten werden muß, automatisch geregelt. Dabei werden oft Temperaturschalter eingebaut, die bei Überschreitung einer bestimmten Temperatur die Wärmequelle ausschalten und sie wieder einschalten, sobald eine andere, etwas niedriger liegende Temperatur unterschritten wird. Auf diese Weise wird die Temperatur in einem bestimmten Bereich konstant gehalten.

Bei *Präzisionsmessungen* muß ebenfalls die Längenänderung infolge Temperaturänderungen berücksichtigt werden. Daher ist auf vielen Meßgeräten die Temperatur angegeben, bei der diese Geräte den genauen Meßwert anzeigen. Dies ist im allgemeinen eine Temperatur von 20°C. Messungen mit solchen Meßgeräten werden meist in temperierten Räumen durchgeführt, so daß die Meßtemperatur gewährleistet ist. Muß eine Messung bei einer anderen Temperatur als der angegebenen durchgeführt werden, so müssen die Meßergebnisse entsprechend der Temperaturabweichung durch Rechnung korrigiert werden.

Die Ausdehnung der Körper bei Erwärmung muß vor allem auch dann berücksichtigt werden, wenn *unterschiedliche Stoffe fest miteinander verbunden* werden. Bei jeder Glühlampe und bei jeder Radoröhre werden Drähte für die Stromzuführung in die Glaskolben eingeschmolzen. Glas und Metall müssen daher annähernd die gleichen Ausdehnungskoeffizienten haben, sonst würde bereits beim Abkühlen des Glases dieses an der Einschmelzstelle springen. Da Platin etwa den gleichen Ausdehnungskoeffizienten wie Jenaer Glas besitzt, wurden früher für Glühlampen und Radoröhren Platindrähte verwendet. Platin ist jedoch ein wertvoller Rohstoff, der importiert werden muß. Aus diesem Grunde wurden Metallegierungen und Spezialgläser entwickelt, die die gleichen Ausdehnungskoeffizienten haben und auch sonst den Anforderungen für die Herstellung von Glühlampen und Radoröhren entsprechen. Erst durch die Entwicklung bestimmter Metallegierungen und entsprechender Glasarten wurde die Serienproduktion von Röhren möglich.

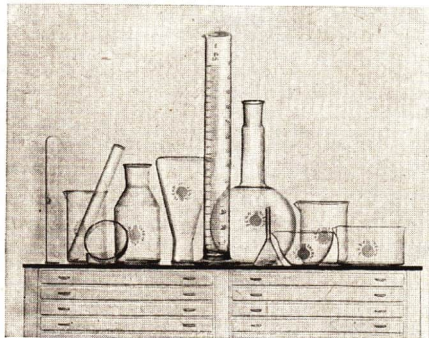
Ähnliche Vorgänge wie beim Einschmelzen von Metaldrähten in Glas treten auch bei Stahlbeton auf. Stahlbeton besteht aus einem Stahlgerippe, das mit Beton umgeben wird. Stahl und Beton haben die gleichen Ausdehnungskoeffizienten.

Bei emailliertem Geschirr muß der Ausdehnungskoeffizient des Eisens annähernd gleich dem der Emaille sein. Im Bereich bis zu 100°C spielen geringe Unterschiede keine Rolle. Wird ein Emailletopf jedoch weit über 100°C erhitzt, so platzt die Emaille ab, da dann die stärkere Ausdehnung des Eisens wirksam wird. Man darf daher nie einen leeren Emailletopf auf die Gasflamme oder das Herdfeuer setzen.

Auch die *Geschwindigkeit, mit der sich die Erwärmung beziehungsweise Abkühlung in einem Stoff ausbreitet*, muß in der Technik berücksichtigt werden. Keramische Stoffe und auch Glas nehmen zum Beispiel die Wärme nur langsam auf und geben sie auch nur langsam wieder ab. Die erwärmten Stellen des Gefäßes dehnen sich bereits aus, während die noch nicht erwärmten Stellen ihr ursprüngliches Volumen beibehalten. Infolgedessen entstehen Spannungen zwischen den erwärmten und den nicht erwärmten Teilen. Dadurch können die Gefäße zerstört werden. Aus diesem



a



b

Abb. 22/1. Gefäße aus Jenaer Glas; a) Gefäße für den Haushalt, b) Gefäße für Laboratorien

dickwandig sind. Laborgefäße (Abb. 22/1b), die sehr starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, werden meist sehr dünnwandig hergestellt, so daß sie auch bei starker Erwärmung beziehungsweise bei plötzlicher Abkühlung nicht zerspringen.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Auf welche Weise wird beim Bau von Brücken die Wärmeausdehnung berücksichtigt?
2. Ein Stahlbandmaß von 20 m Länge ist für 20 °C geeicht. Wie groß ist der Fehler, wenn bei -10 °C gemessen wird?
3. Löst sich der Stopfen einer Glasflasche nicht, so erwärmt man die Hülse durch Reiben mit einem umgelegten Band. Erkläre den Vorgang!

Grunde darf man in dickwandige kalte Gläser, zum Beispiel Einweckgläser, kein kochendes Wasser gießen, da sie sofort zerspringen würden. Ebenso darf man ein heißes Einweckglas nicht auf eine kalte Metallplatte setzen, da das Metall sehr schnell Wärme ableitet. Dadurch zieht sich der untere Teil des Glases im Gegensatz zu dem oberen Teil so stark zusammen, daß der Boden des Einweckglases abspringt. Deswegen muß das Glas langsam erwärmt beziehungsweise abgekühlt werden.

In dem VEB Glaswerk Schott und Gen. in Jena wurden Gläser entwickelt, die nur einen sehr kleinen Ausdehnungskoeffizienten haben (s. Tabelle S. 18). In Gefäßen aus Jenaer Glas können Speisen gekocht werden (Abb. 22/1a). Aber auch bei diesen Gefäßen muß man sehr starke plötzliche Temperaturschwankungen vermeiden, da die Gefäße

6. Die Ausdehnung flüssiger Körper

1. Die Volumausdehnung bei Flüssigkeiten. Wie bei den festen Körpern wird auch bei Flüssigkeiten die Bewegungsenergie der Moleküle durch die zugeführte Wärmeenergie erhöht. Da sich aber bei Flüssigkeiten die Moleküle viel freier bewegen können und nicht nur um eine Ruhelage schwingen, vergrößert sich bei Erwärmung das Volumen der Flüssigkeiten viel stärker als bei festen Körpern. Bei gleicher zugeführter Wärmeenergie ist somit die Bewegung von Flüssigkeitsmolekülen größer als die der Moleküle fester Stoffe. Dies äußert sich in einer stärkeren Volumvergrößerung bei Erwärmung.

Flüssige Körper dehnen sich bei Erwärmung stärker aus als feste Körper. Diese Ausdehnung ist mit großer Kraftwirkung verbunden.

Während bei den festen Körpern besonders nur die Längenausdehnung von Bedeutung ist, muß bei Flüssigkeiten die *Volumausdehnung* berücksichtigt werden. Aus der Temperaturerhöhung und der Volumzunahme kann errechnet werden, wie groß die Volumänderung im Verhältnis zum ursprünglichen Volumen bei einer Temperaturerhöhung um 1 grad ist. Dieser Wert wird als *kubischer Ausdehnungskoeffizient* (γ) bezeichnet.

Der kubische Ausdehnungskoeffizient ist der Quotient aus der Volumänderung und dem ursprünglichen Volumen bei Erwärmung um 1 grad. Die Einheit ist $\frac{1}{\text{grad}}$.

In der folgenden Tabelle sind die kubischen Ausdehnungskoeffizienten einiger Flüssigkeiten zusammengestellt.

Entsprechend der Berechnung der Längenänderung bei festen Körpern wird auch die Volumzunahme (ΔV) flüssiger Körper berechnet, indem man das ursprüngliche Volumen (V_0) bei 0°C mit dem entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten γ und der Temperaturerhöhung (Δt) multipliziert:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t.$$

Das Volumen V_1 ergibt sich aus dem Volumen V_0 und der Volumvergrößerung ΔV nach der Gleichung

$$V_1 = V_0 + \Delta V.$$

Daraus folgt

$$V_1 = V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t.$$

Durch Ausklammern von V_0 ergibt sich

$$V_1 = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta t).$$

*Kubische Ausdehnungskoeffizienten
einiger Flüssigkeiten
(für $t = 0^\circ\text{C}$)*

Flüssigkeit	$\frac{1}{\text{grad}}$
Äthanol	0,00110
Äther	0,00162
Benzol	0,00123
Petroleum	0,00096
Quecksilber	0,00018
Wasser	0,00018

2. Die technische Bedeutung der Ausdehnung von Flüssigkeiten. Auch die Änderung des Volumens von Flüssigkeiten infolge Temperaturänderungen muß bei der Kon-

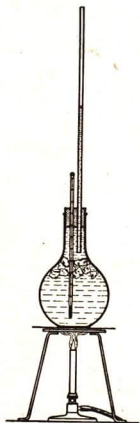


Abb. 24/2
Abhängigkeit des
Volumens von der
Temperatur
a) Höhe der Wassersäule,
b) graphische Darstellung

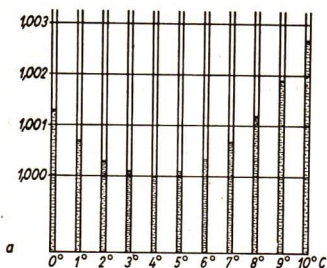


Abb. 24/1
Versuchsanordnung
zum Nachweis der Anomalie des
Wassers

onstruktion technischer Anlagen berücksichtigt werden. So wird das *Kühlöl von Transformatoren* nicht in kaltem Zustand, sondern mit einer Temperatur von 80°C eingefüllt. Es zieht sich bei Abkühlung zusammen, so daß über dem Öl ein freier Raum entsteht. Da die Betriebstemperatur der Transformatoren im allgemeinen unterhalb von 80°C liegt, hat das Öl genügend Raum, um sich ungehindert auszudehnen.

3. Die Anomalie des Wassers.

Das Wasser verhält sich in einem bestimmten Temperaturbereich bei Temperaturänderungen anders als die übrigen Flüssigkeiten. In einer mit Wasser gefüllten Kochflasche schwimmen Eisstückchen (Abb. 24/1). Das Wasser wird langsam erwärmt und bei der jeweiligen Temperatur die Höhe der Wassersäule gemessen. In der

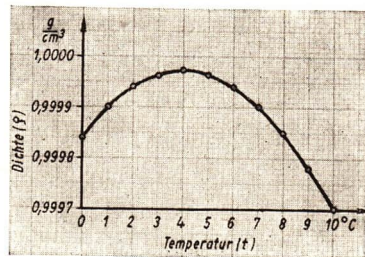
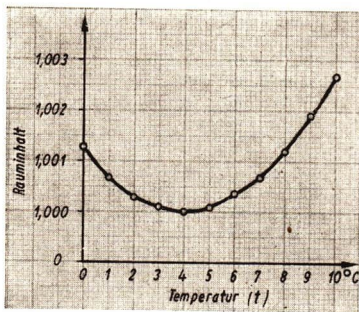


Abb. 24/3. Dichte des Wassers bei verschiedenen Temperaturen

Abbildung 24/2 sind die zusammengehörigen Werte von Wasserhöhe und Temperatur eingetragen. Aus den Versuchsergebnissen folgt, daß sich das Volumen des Wassers beim Erwärmen von 0°C auf 4°C verkleinert und daß es bei einer weiteren Erwärmung wieder größer wird.

Eine bestimmte Wassermenge hat bei 4°C ihr kleinstes Volumen.

Dieses Verhalten des Wassers bezeichnet man als *Anomalie des Wassers*.

Während des ganzen Versuchs ändert sich zwar das Volumen des Wassers, aber nicht seine Masse. Infolgedessen ändert sich mit der Temperatur auch die Dichte (Abb. 24/3). *Die größte Dichte hat das Wasser bei einer Temperatur von 4°C .*

Die Anomalie des Wassers ist auf zwei Vorgänge zurückzuführen, die sich in ihrer Wirkung überlagern. Bei Verringerung der Temperatur des Wassers wird, wie auch bei anderen Stoffen, sein Volumen kleiner. Daneben spielt sich aber noch ein weiterer Vorgang ab. Mit sinkender Temperatur bilden die Wassermoleküle Gruppen, wodurch sich das Volumen vergrößert. Bei der Abkühlung des Wassers auf 4°C nimmt die Gruppenbildung langsam zu. Aber es überwiegt noch die Volumverringerng infolge der geringeren Bewegung der Moleküle. Bei 4°C halten sich die beiden Vorgänge das Gleichgewicht. Daraus erklärt sich, daß das Wasser bei 4°C das geringste Volumen hat. Bei weiterer Abkühlung unterhalb von 4°C nimmt aber die Molekülgruppenbildung so stark zu, daß diese das Verhalten des Wassers bestimmt. Aus diesem Grunde dehnt sich unterhalb von 4°C das Wasser wieder aus.

Viele Vorgänge in der Natur sind auf die Anomalie des Wassers zurückzuführen. In der kälteren Jahreszeit werden die Gewässer von oben her abgekühlt. Infolgedessen hat die oberste Wasserschicht die größte Dichte und sinkt zu Boden. Das wärmere Wasser steigt nach oben, kühlt sich ebenfalls ab und sinkt nach unten (Abb. 25/1 a). Dieser Kreislauf setzt sich solange fort, bis eine Temperatur von 4°C erreicht ist. Nun befindet sich bereits das Wasser mit der größten Dichte am Boden. Bei weiterer Abkühlung ergibt sich infolgedessen eine Schichtung (Abb. 25/1 b). Das Wasser an der Oberfläche kühlt sich weiter ab, bis sich schließlich eine

Eisdecke bildet. Ist das Gewässer tief genug, so gefriert es nicht bis zum Grund. Daher konnten sich Fische und andere Wassertiere nicht nur in den großen Ozeanen, die ja nicht zufrieren, sondern auch in Binnengewässern weiter entwickeln.



Abb. 25/1. Abkühlung eines stehenden Gewässers. a) Infolge der Abkühlung entsteht eine Strömung. b) Ist das Wasser auf mindestens 4°C abgekühlt, so ergibt sich kein Kreislauf mehr, sondern eine Schichtung.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Um welchen Betrag dehnen sich 100 l Benzol in einem Faß aus, wenn sich das Benzol von 10°C auf 18°C erwärmt? Was ist daher beim Füllen des Fasses zu beachten?
2. Welche Vorgänge bewirken die Anomalie des Wassers?
3. Warum frieren tiefe Gewässer nicht bis zum Grunde zu?

7. Die Ausdehnung gasförmiger Körper — Das Boyle'sche Gesetz

1. Die Ableitung des Boyle'schen Gesetzes. Die Moleküle eines Gases bewegen sich frei in jedem ihnen zur Verfügung stehenden Raum. Folglich füllt eine abgeschlossene Gasmenge einen Hohlraum ganz aus. Eine bestimmte Gasmenge kann daher ein sehr unterschiedliches Volumen haben.

Die Moleküle treffen bei ihrer Bewegung in großer Anzahl und sehr oft auf die Gefäßwand. Dadurch wirkt auf diese ständig eine Kraft. Diese Kraftwirkung kann man mit Hilfe eines *Modellversuches* veranschaulichen. Man läßt aus einem Becherglas Schrotkugeln in schneller Folge auf den Teller einer Briefwaage fallen (Abb. 26/1). Jede Kugel übt bei ihrem Auftreffen eine Kraft auf die Briefwaage aus und springt dann wieder ab oder rollt herunter. Da ständig neue Kugeln auf die Briefwaage treffen, so schlägt sie aus, als ob eine konstante Kraft auf sie wirken würde. Läßt man mehr Kugeln auf die Waage fallen, so zeigt die Waage eine größere Kraftwirkung an. Der Ausschlag der Briefwaage nimmt auch zu, wenn man die Kugeln aus einer größeren Höhe auf den Teller fallen läßt.

In ähnlicher Weise ergibt sich aus den vielen Einzelkräften der gegen die Gefäßwände stoßenden Moleküle eine Gesamtkraft, die als Druckkraft gemessen werden kann. Bildet man den Quotienten aus der Druckkraft (P) und der gedrückten Fläche (F), so erhält man den *Druck* (p).

$$p = \frac{P}{F}.$$

Durch einen Modellversuch wurde das Zustandekommen der Druckkraft eines Gases auf die Gefäßwand erklärt. Allgemein sollen durch Modellversuche Zusammenhänge veranschaulicht werden, die sonst nicht oder nur schwer von unseren Sinnen erfaßt werden können. *Ein Modell kann aber niemals die Wirklichkeit in allen Einzelheiten richtig wiedergeben.* Es hat daher immer nur eine begrenzte Gültigkeit. Infolgedessen können mit Hilfe von Modellen keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden. Durch Modelle kann man stets nur bereits gewonnene Erkenntnisse veranschaulichen. So gelangt man zu einem tieferen Verständnis der Zusammenhänge.

Wird das Volumen einer Gasmenge verringert, ohne daß dabei die Temperatur verändert wird, so stoßen mehr Moleküle auf die gleiche Gefäßwand. Eine Verkleinerung des Volumens eines Gases führt daher bei konstanter Temperatur zu einer Erhöhung des Druckes.

Zur quantitativen Untersuchung der Abhängigkeit des Druckes vom Volumen muß die Bewegungsenergie der Gasmoleküle konstant bleiben. Die Temperatur darf sich nicht verändern.

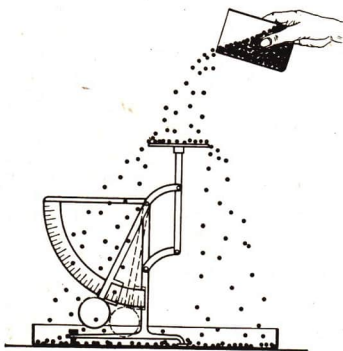


Abb. 26/1. Kraftwirkung herabfallender Schrotkugeln auf eine Briefwaage

In einem ungleichschenkligen U-Rohr befindet sich eine geringe Menge Quecksilber (Abb. 27/1 a). Da das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch steht, lastet auf der Luftsäule im kurzen Schenkel der Luftdruck p_1 . Schließt man nun den Hahn und gießt in den langen Schenkel vorsichtig Quecksilber zu, so wird die eingeschlossene Luftsäule verkürzt; das Volumen dieser Luftmenge wird kleiner (Abb. 27/1b). Auf ihr lastet nämlich jetzt ein höherer Druck, da das Quecksilber in dem langen Schenkel höher steht. Der Gesamtdruck setzt sich aus dem Luftdruck p_1 und dem der Höhe der Quecksilbersäule l_2 entsprechenden Schweredruck p_2 zusammen:

$$p = p_1 + p_2.$$

Zu jedem Wert des Gesamtdrucks gehört ein bestimmter Wert der Länge der Luftsäule und damit des Volumens der Luftmenge.

Die Meßwerte von l_2 und l_1 und die sich daraus ergebenden Werte von p_2 und p werden in einer Tabelle zusammengefaßt.

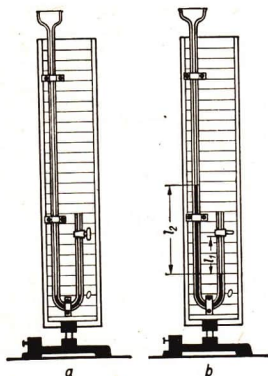


Abb. 27/1. Ungleichschenkliges U-Rohr zum Nachweis des Boyle'schen Gesetzes
a) Gleichstand des Quecksilbers
b) Druckerhöhung durch höheren Quecksilberstand im linken Rohr

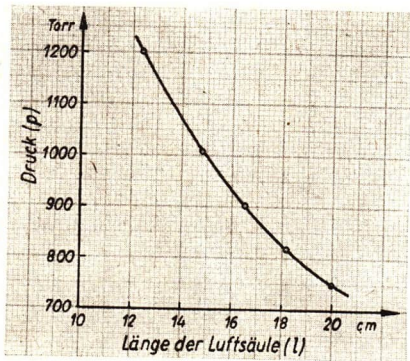
Beispiel für die bei einer Meßreihe ermittelten Meßwerte
Luftdruck $p_1 = 750$ Torr

Quecksilbersäule		Gesamtdruck $p = p_1 + p_2$ Torr	Länge der eingeschlossenen Luftsäule (l_1) cm	$p \cdot l_1$ Torr · cm
Höhe (l_2) mm	Schweredruck (p_2) Torr			
0,0	0,0	750,0	20,0	$15,0 \cdot 10^3$
67,0	67,0	817,0	18,2	$14,9 \cdot 10^3$
153,0	153,0	903,0	16,5	$14,9 \cdot 10^3$
258,0	258,0	1008,0	14,8	$14,9 \cdot 10^3$
451,0	451,0	1201,0	12,4	$14,9 \cdot 10^3$

Das Produkt $p \cdot l_1$ ist nahezu konstant. Die Abweichungen sind auf Meßfehler zurückzuführen. Da das Volumen der Luftmenge das Produkt aus der Länge l_1 und dem konstanten Rohrquerschnitt ist, ergibt sich aus dem Versuch:

$$p \cdot V = \text{konstant} \quad (T = \text{konstant}).$$

Stellt man das Volumen in Abhängigkeit vom Druck graphisch dar, so erhält man die in Abbildung 28/1 wiedergegebene Kurve. Auch aus diesem Diagramm ist



zu sehen, daß das Volumen um so kleiner ist, je größer der Druck wird. Die Abhängigkeit des Druckes vom Volumen wurde von dem irischen Naturwissenschaftler *Robert Boyle* näher untersucht. Er faßte seine Ergebnisse 1662 in dem nach ihm genannten Naturgesetz zusammen.

Abb. 28/1. p - V -Diagramm

Für eine abgeschlossene Gasmenge ist das Produkt aus Druck und Volumen bei gleichbleibender Temperatur konstant.

$$p \cdot V = \text{konstant} \quad (T = \text{konstant})$$

Wird ein Gas mit dem Volumen V_1 und dem Druck p_1 bei konstanter Temperatur zusammengedrückt, so verkleinert sich das Volumen auf den Wert V_2 und der Druck nimmt den Wert p_2 an. Es gilt dann die Gleichung

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Schreibt man diese Gleichung in Form einer Proportion, so erhält man

$$p_1 : p_2 = V_2 : V_1$$

Wird ein Gas bei konstanter Temperatur zusammengedrückt, so sind die Drücke den Volumina umgekehrt proportional.

2. Anwendungen des Boyle'schen Gesetzes. a) **Gas in Stahlflaschen.** Beim *autogenen Schweißen* und *Schneiden* wird die erforderliche Temperatur durch Verbrennen von Gasen erzeugt (Abb. 29/1). Dazu werden häufig Wasserstoff und Äthin (C_2H_2) verwendet. Außerdem muß zur Verbrennung Sauerstoff zugeführt werden. Diese Gase werden im allgemeinen *Stahlflaschen* entnommen. Sauerstoffflaschen beispielsweise haben einen Rauminhalt von 40 l. Damit man trotzdem große Gasmengen unterbringen kann, wird der Sauerstoff stark komprimiert, das heißt zusammengedrückt. Er steht dann unter einem Druck von 150 at. Auf Grund der Gleichung

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

kann man berechnen, wieviel Liter Sauerstoff von normalem Druck in der Stahl-

flasche untergebracht werden können. Sind p_1 der normale Druck, V_1 das Volumen bei normalem Luftdruck, p_2 der Druck von 150 at und V_2 das Volumen der Flasche, so ergibt sich

$$1 \text{ at} \cdot V_1 = 150 \text{ at} \cdot 40 \text{ l.}$$

Daraus folgt

$$V_1 = \frac{150 \text{ at} \cdot 40 \text{ l}}{1 \text{ at}}$$

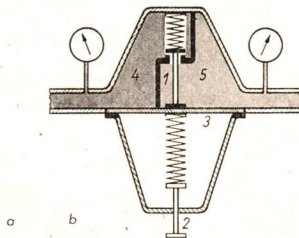
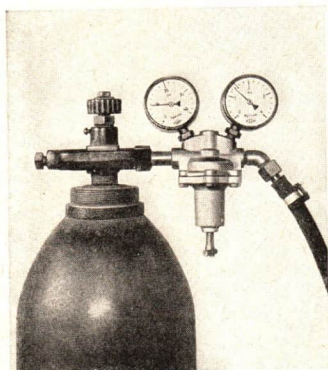
$$V_1 = 6000 \text{ l.}$$

Somit enthält die Stahlflasche 6000 l Sauerstoff bei einem Druck von 1 at. Dieser Rauminhalt entspricht dem eines Würfels mit einer Kantenlänge von etwa 1,80 m.

Da mit einem Gas bei einem Druck von 150 at nicht gearbeitet werden kann, muß man den Druck auf etwa 1,5 at vermindern oder, wie man auch sagt, *reduzieren*. Zu diesem Zweck verwendet man ein *Reduzierventil* (Abb. 29/2). Das stark komprimierte Gas strömt aus der Stahlflasche in den Anschlußstutzen des Reduzierventils. An diesem ist ein Manometer angeschlossen, das den Druck in der Flasche angibt. Wird das Ventil geöffnet, so strömt das Gas in einen größeren Raum,



Abb. 29/1. Autogenes Schneiden von Kesselblechen



- 1 Ventil
- 2 Stellschraube
- 3 Membran
- 4 Flaschenraum
- 5 Arbeitsraum

Abb. 29/2. Reduzierventil a) Ansicht
b) Schnitt

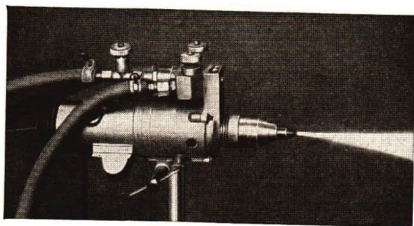


Abb. 30/1. Metallspritzverfahren

wobei der Druck geringer wird. Dieser verminderte Druck kann an einem zweiten Manometer, dem Arbeitsmanometer, abgelesen werden. Mit Hilfe einer Schraube wird die Größe des Entspannungsraumes verändert. Dadurch kann der Druck auf einen bestimmten Wert eingestellt werden.

Mit Hilfe der von den beiden Manometern angezeigten Werte kann man jederzeit berechnen, welche Gasmenge bei einem bestimmten Arbeitsdruck noch zur Verfügung steht. Die Möglichkeit, die Menge zu errechnen, ist insofern von Bedeutung, als dadurch abgeschätzt werden kann, ob der Flascheninhalt noch für eine durchzuführende Arbeit ausreicht. Zeigt beispielsweise das Hochdruckmanometer einer 40-l-Stahlflasche (V_2) einen Druck $p_2 = 120$ at an und beträgt der Arbeitsdruck $p_1 = 1,5$ at, so ergibt sich nach dem Boyleschen Gesetz

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$1,5 \text{ at} \cdot V_1 = 120 \text{ at} \cdot 40 \text{ l.}$$

$$V_1 = \frac{120 \text{ at} \cdot 40 \text{ l}}{1,5 \text{ at}}$$

$$V_1 = 3200 \text{ l.}$$

Folglich stehen bei einem Druck von 1,5 at noch 3200 l Gas zur Verfügung.

Beim *Metallspritzverfahren* wird das Metall durch eine Gasflamme zum Schmelzen gebracht (Abb. 30/1). Die hierzu erforderlichen Gase werden ebenfalls in Stahlflaschen aufbewahrt. Die Bedeutung des Metallspritzverfahrens besteht darin, daß auf Werkstücke dünne Schichten Metall aufgetragen werden können. So können beispielsweise unbrauchbar gewordene Lagerschalen durch Aufspritzen von Lagermetall und anschließendes Bearbeiten wieder brauchbar gemacht werden.

b) Die Melkmaschine. In den Stallungen unserer volkseigenen Güter und landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften wurde das anstrengende Melken mit der Hand durch das Melken mit Hilfe einer Maschine ersetzt (Abb. 31/1). Diese *Melkmaschine* arbeitet schneller, billiger und hygienischer.

Mittels einer *Vakuumpumpe* werden ein Behälter und die Leitungen zum Melkstand fast luftleer gepumpt (Abb. 31/2). Wird der Kolben der Pumpe bei geöffnetem Ventil nach rechts bewegt, so wird das Gesamtvolumen vergrößert. Infolgedessen nimmt nach dem Boyleschen Gesetz der Druck ab. Wird der Kolben nach links

Abb. 31/1. An das Euter einer Kuh angesetzte Melkbecher

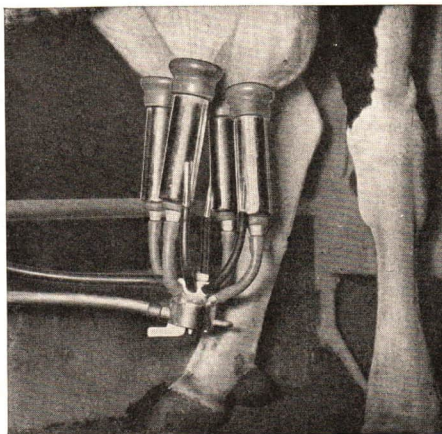
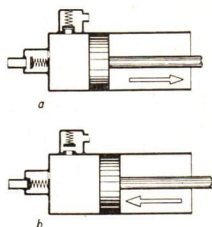


Abb. 31/2. Schematischer Schnitt durch eine Kolbenpumpe



bewegt, so ist das Ventil geschlossen. Die Luft wird aus dem Pumpenzylinder nach außen ausgestoßen. Dieser Vorgang wiederholt sich fortgesetzt, so daß die Luftmenge im Behälter und in den Leitungen immer geringer wird und infolgedessen der Druck weiter absinkt. Außer der Kolbenpumpe werden auch Rotationsvakuum-pumpen verwendet.

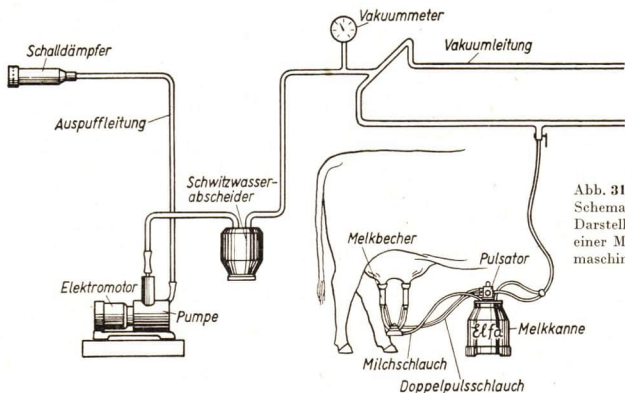


Abb. 31/3 Schematische Darstellung einer Melkmaschine

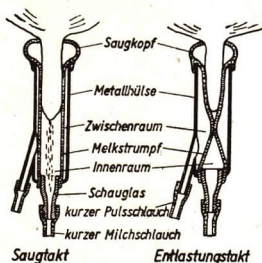


Abb. 32/1. Schnittzeichnung durch einen Melkbecher mit Anschlußschläuchen

An die Unterdruckleitungen wird der *Melkeimer* mit dem Verteiler und den vier *Melkbechern* angeschlossen (Abb. 31/3). Diese sind mittels einer Gumm wand in einen Außen- und einen Innenraum getrennt (Abb. 32/1). Vom Innenraum führt die Saugleitung zum Melkeimer. Durch den Unterdruck saugt sich der Melkbecher an der Zitze fest. Ihr entströmt Milch. Durch eine besondere Vorrichtung auf dem Melkeimer, den *Pulsator*, wird der Sog unterbrochen und durch einen Schlauch Luft in den Außenraum des Melkbechers geleitet. Dadurch entsteht ein Druck auf die Zitze, der den Milchstrom unterbricht. Die Zitze füllt sich wieder mit Milch und das Saugen beginnt von neuem, bis wiederum durch den Pulsator der Sog unterbrochen wird. In ständigem Wechsel wird so das Euter ausgemolken, wobei der natürliche Saugvorgang des Kälbchens nachgeahmt

wird. Während des Melkens muß durch eine Vakuumpumpe der Unterdruck in den Leitungen aufrechterhalten werden.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Erkläre die Wirkungsweise einer Fahrradluftpumpe auf Grund des *Boyleschen Gesetzes*!
2. Warum werden Sauerstoff und andere Gase unter hohem Druck in Stahlflaschen aufbewahrt?
3. Warum muß bei der Melkmaschine der Sog durch den Pulsator rhythmisch unterbrochen werden?

8. Die Zustandsgleichung der Gase

1. Die Zustandsgrößen eines Gases und der Normzustand. Bei den bisherigen Untersuchungen wurde die Temperatur des Gases konstant gehalten. Aber auch durch Verändern der Temperatur kann der *Zustand eines Gases* geändert werden. Wird beispielsweise die Temperatur erhöht, so nimmt bei konstantem Volumen der Druck des Gases zu. Die Moleküle treffen infolge größerer kinetischer Energie häufiger und mit größerer Kraft auf die Wand des Gefäßes. *Somit bestimmen die drei Größen Druck, Volumen und Temperatur den Zustand eines Gases.* Man nennt diese drei Größen die *Zustandsgrößen eines Gases*. Die Temperatur wird hierbei in °K angegeben.

Zum Vergleich verschieden großer Gasmengen miteinander führt man ihre *Zustandsgrößen* auf vereinbarte Werte zurück. Sie werden mit T_0 , p_0 und V_0 bezeichnet. Diese Werte bestimmen den *Normzustand des Gases*. Die *Normtemperatur* T_0 beträgt 273,15° K, der *Normdruck* $p_0 = 760$ Torr und das *Normvolumen* $V_0 = 22,4$ dm³.

2. Die Änderung des Zustandes eines Gases. Wird der Zustand eines Gases geändert, so ändern sich seine Zustandsgrößen. Zur Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Druck, Volumen und Temperatur wird jeweils eine der drei Zustandsgrößen konstant gehalten.

a) Zustandsänderung bei konstantem Druck. Erwärmt man ein Gas, so nimmt die Größe der Molekularbewegung zu. Die Geschwindigkeit der Moleküle wird größer. Die Moleküle stoßen häufiger und mit größerer Kraft auf die Gefäßwand. Der Druck wächst. Da er jedoch konstant bleiben soll, muß das Gas ein größeres Volumen einnehmen. Wird dagegen dem Gas Wärmeenergie entzogen, so stoßen die Moleküle seltener und mit geringerer Kraft auf die Gefäßwand. Der Druck nimmt ab. Damit er auch in diesem Falle unverändert bleibt, muß das Volumen kleiner werden.

Die quantitative Beziehung zwischen der Temperatur und dem Volumen bei konstantem Druck erkennt man aus der in Abbildung 33/1 wiedergegebenen Versuch. In einem Glaskolben ist eine Luftmenge eingeschlossen, deren Volumen (V) bekannt ist (Abb. 33/1a). An den Kolben sind zwei mit Wasser gefüllte verbundene Röhren angeschlossen. Das Wasser steht in beiden Röhren gleich hoch. Daraus folgt, daß der Druck in dem Kolben gleich dem Luftdruck ist.

Die Luft im Kolben wird in einem Wasserbad erwärmt. Sie dehnt sich aus und drückt dadurch die linke Wassersäule nach unten. Infolgedessen steigt die rechte Wassersäule (Abb. 33/1b). Nun senkt man die rechte Röhre, so weit, bis das Wasser in beiden Röhren wieder gleich hoch steht (Abb. 33/1c). Dann ist der Druck im Glaskolben wiederum gleich dem Luftdruck. Somit herrscht nach dem Erwärmen der gleiche Druck wie vorher. Aus der Senkung des Flüssigkeitsspiegels (h) in der rechten Röhre läßt sich die Volumzunahme ΔV im Kolben errechnen. Dazu muß der innere Durchmesser der Glasröhre bekannt sein. Aus dem ursprünglichen Volumen V des Gases, seiner Volumenzunahme ΔV und der Temperaturzunahme Δt kann wie bei den festen und flüssigen Körpern der *Ausdehnungskoeffizient* γ errechnet werden. Es gilt die Gleichung (vgl. S. 23) $\Delta V = V \cdot \gamma \cdot \Delta t$. Löst man sie nach γ auf, so erhält man

$$\gamma = \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot V}.$$

Für den Ausdehnungskoeffizienten der Luft wurde der Wert $\gamma = 0,00367 \frac{1}{\text{grd}}$ ermittelt. Führt man den gleichen Versuch mit anderen Gasen durch, so findet man folgende Werte:

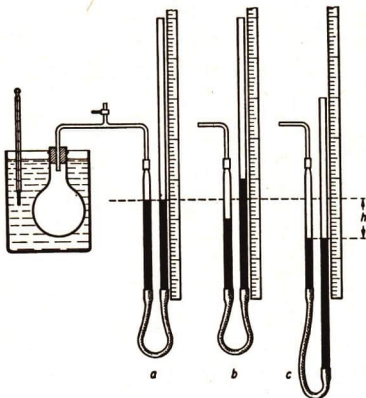


Abb. 33/1. Untersuchung der Abhängigkeit des Volumens eines Gases von der Temperatur bei konstantem Druck

$$\begin{array}{ll} \text{Für Wasserstoff } \gamma = 0,00366 \frac{1}{\text{grd}}, & \text{für Stickstoff } \gamma = 0,00367 \frac{1}{\text{grd}}, \\ \text{für Sauerstoff } \gamma = 0,00367 \frac{1}{\text{grd}}, & \text{für Kohlendioxyd } \gamma = 0,00373 \frac{1}{\text{grd}}. \end{array}$$

Man ersieht daraus, daß alle Gase annähernd den gleichen Ausdehnungskoeffizienten haben. Ihre Werte sind mit großer Annäherung durch den Bruch $\frac{1}{273,15}$ ersetzbar; denn $\frac{1}{273,15} \approx 0,00366$.

Der Ausdehnungskoeffizient (γ) aller Gase ist im Mittel $\frac{1}{273,15} \frac{1}{\text{grd}}$, bezogen auf das Volumen bei 0°C .

Daraus folgt das **Volumengesetz für konstanten Druck**, das von dem französischen Chemiker *Gay-Lussac* formuliert wurde.

Alle Gase dehnen sich um $\frac{1}{273,15}$ ihres Volumens bei 0°C aus, wenn sie bei konstantem Druck um 1 grd erwärmt werden.

Die Volumänderung eines Gases bei konstantem Druck kann nach derselben Gleichung berechnet werden, wie sie bereits für die Ausdehnung von Flüssigkeiten abgeleitet wurde.

$$V_t = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta t) \quad (p = \text{konstant}) .$$

Wird die Temperatur, wie in diesem Falle, von 0°C auf $t^\circ\text{C}$ erhöht, so ist Δt zahlenmäßig gleich t . Berücksichtigt man dies, so kann man schreiben

$$V_t = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot t).$$

Würde man nach dieser Gleichung das Volumen berechnen wollen, das ein Gas bei einer Abkühlung auf $-273,15^\circ\text{C}$ einnimmt, so würde man folgenden Wert erhalten:

$$V_t = V_0 \left(1 - \frac{273,15}{273,15} \right),$$

$$V_t = V_1 (1 - 1),$$

$$V_t = V_1 \cdot 0 = 0.$$

Auf Grund dieser Rechnung dürfte das Gas bei einer Temperatur von $-273,15^\circ\text{C}$, das heißt beim absoluten Nullpunkt, kein Volumen mehr haben. Dieses Ergebnis ist zwar rechnerisch richtig, entspricht aber in keiner Weise der Wirklichkeit; denn das Gas kann nicht verschwinden. In der Nähe des absoluten Nullpunktes sind sämtliche Gase flüssig, so daß das Gay-Lussacsche Gesetz und damit die Gleichung dann keine Gültigkeit mehr hat. Dieses Beispiel zeigt, daß alle mathematischen Gleichungen, die physikalische Zusammenhänge wiedergeben, nur einen bestimmten Gültigkeitsbereich haben. Geht man über ihn hinaus, so erhält man Lösungen, die zwar rechnerisch richtig sind, aber mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmen.

Setzt man in die Gleichung

$$V_t = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot t)$$

den Ausdehnungskoeffizienten für Gase, $\gamma = \frac{1}{273,15}$ ein, so erhält man

$$V_t = V_0 \cdot \left(1 + \frac{t}{273,15}\right).$$

Dividiert man die Gleichung durch V_0 , so ergibt sich

$$\frac{V_t}{V_0} = 1 + \frac{t}{273,15},$$

$$\frac{V_t}{V_0} = \frac{273,15 + t}{273,15}.$$

Für den Wert $273,15 + t$ kann man die absolute Temperatur T einsetzen. Der Wert $273,15$ im Nenner entspricht der absoluten Temperatur des Eispunktes T_0 . Man erhält so die Gleichung:

$$\frac{V_t}{V_0} = \frac{T}{T_0}.$$

Dafür kann man auch schreiben:

$$V_t : V_0 = T : T_0$$

Diese Proportion gilt für beliebige zusammengehörige Werte von V und T :

$$V_1 : V_2 = T_1 : T_2.$$

Durch Umstellen der inneren Glieder dieser Proportion ergibt sich

$$V_1 \cdot T_1 = V_2 \cdot T_2.$$

Bei konstantem Druck stehen das Volumen und die Temperatur eines Gases im geraden Verhältnis. Folglich gilt:

$$V : T = \text{konstant.}$$

Daraus folgt

$$V \sim T (p = \text{konstant}).$$

Bei konstantem Druck ist das Volumen der absoluten Temperatur proportional.

b) Zustandsänderung bei konstantem Volumen. Wird ein Gas bei konstantem Volumen erwärmt, so treffen die Moleküle infolge größerer Geschwindigkeit häufiger und mit größerer Kraft auf die Wandflächen des Gefäßes. Der Druck nimmt daher zu.

Mit der in Abschnitt a) beschriebenen Versuchsanordnung kann auch die Abhängigkeit des Druckes von der Temperatur bei konstantem Volumen ermittelt werden. Nach der Erwärmung des Gases (Abb. 36/1a und b) wird jetzt die rechte Röhre so weit gehoben, daß die Flüssigkeit im linken Rohr genau so hoch wie zu Beginn des Versuches steht (Abb. 36/1c). Damit ist das ursprüngliche Volumen wieder eingestellt.

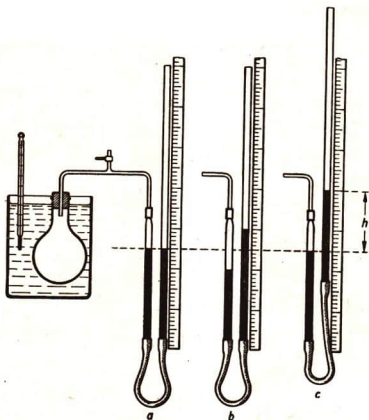


Abb. 36/1. Untersuchung der Abhängigkeit des Druckes eines Gases von der Temperatur bei konstantem Volumen

nähernd gleich groß ist und im Mittel den Wert $\frac{1}{273,15} \frac{1}{\text{grd}}$ hat. Hier bezeichnet man γ als den **Spannungskoeffizienten**.

Der Spannungskoeffizient (γ) der Gase beträgt $\frac{1}{273,15} \frac{1}{\text{grd}}$, bezogen auf den bei 0°C gemessenen Druck.

Daraus folgt das **Druckgesetz für konstantes Volumen**, das ebenfalls nach *Gay-Lussac* benannt ist.

Bei allen Gasen nimmt der Druck um $\frac{1}{273,15}$ seines Betrages bei 0°C zu, wenn sie bei konstantem Volumen um 1°C erwärmt werden.

Es gilt eine ähnliche Gleichung wie für das Volumengesetz:

$$p_t = p_0 \cdot (1 + \gamma \cdot t) \quad (V = \text{konstant})$$

Setzt man in diese Gleichung für γ den Wert $\frac{1}{273,15} \frac{1}{\text{grd}}$ ein, so erhält man

$$p_t = p_0 \cdot \left(1 + \frac{t}{273,15}\right).$$

Auf der eingeschlossenen Gasmenge lastet jetzt der äußere Luftdruck zuzüglich des Druckes, der durch die im rechten Rohr stehende Flüssigkeitssäule hervorgerufen wird. Beträgt bei einer Temperaturerhöhung um Δt die Zunahme des Druckes Δp , so gibt der

Quotient $\frac{\Delta p}{p}$ an, um welchen Bruchteil des ursprünglichen Druckes p der Druck zugenommen hat. Dividiert man diesen Quotienten durch die Temperaturänderung Δt , so erhält man die *Druckänderung bei einer Temperaturerhöhung um 1°C* . Diesen Wert bezeichnet man ebenfalls mit γ . Es ist

$$\gamma = \frac{\Delta p}{\Delta t \cdot p}.$$

Führt man diese Untersuchungen für verschiedene Gase durch, so stellt man fest, daß auch in diesem Falle γ für alle Gase an-

Dividiert man diese Gleichung durch p_0 , so ergibt sich

$$\frac{p_t}{p_0} = 1 + \frac{1}{273,15},$$

$$\frac{p_t}{p_0} = \frac{273,15 + t}{273,15}.$$

Setzt man wiederum die absoluten Temperaturen T und T_0 ein, so nimmt die Gleichung die Form

$$\frac{p_t}{p_0} = \frac{T}{T_0}$$

an. Dafür kann man auch schreiben

$$p_t : p_0 = T : T_0.$$

Auch diese Proportion gilt wieder allgemein für T_1 und T_2 . Daraus ergibt sich

$$p_1 : p_2 = T_1 : T_2.$$

Durch Vertauschen der inneren Glieder erhält man

$$p_1 : T_1 = p_2 : T_2.$$

Somit ist allgemein

$$p : T = \text{konstant}.$$

Daraus folgt

$$p \sim T \quad (V = \text{konstant}).$$

Bei konstantem Volumen ist der Druck der absoluten Temperatur proportional.

3. Die Zustandsgleichung der Gase. Die Erwärmung eines Gases führt im allgemeinen gleichzeitig zu einer Volumänderung und zu einer Druckänderung. Mit Hilfe der Gasgesetze kann man die Änderung der Zustandsgrößen berechnen. Obwohl die Änderungen des Druckes und des Volumens bei einer Erwärmung gleichzeitig erfolgen, kann man diese beiden Vorgänge nacheinander untersuchen. Dabei ist es gleichgültig, ob zuerst die Änderung des Druckes oder die Änderung des Volumens betrachtet wird. Im ersten Falle wird das Volumen und im zweiten Falle der Druck konstant gehalten.

Im folgenden soll von der Veränderung des Volumens bei gleichbleibendem Druck ausgegangen werden und anschließend die Volumänderung bei konstanter Temperatur ermittelt werden.

Im Ausgangszustand hat das Gas die Zustandsgrößen

$$I \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline V_1 & p_1 & T_1 \\ \hline \end{array}$$

Wird nun das Gas bei konstantem Druck auf die Temperatur T_2 erwärmt, so erhält man das Volumen V_2 .

$$II \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline V_2 & p_1 & T_2 \\ \hline \end{array}$$

Erhöht man jetzt den Druck auf p_2 , wobei die Temperatur konstant bleibt, so ergibt sich das Volumen V_2 .

III	<table><tr><td>V_2</td><td>p_2</td><td>T_2</td></tr></table>	V_2	p_2	T_2
V_2	p_2	T_2		

Für den Übergang vom Zustand *I* nach dem Zustand *II* gilt das Volumengesetz bei konstantem Druck, für den Übergang vom Zustand *II* zum Endzustand *III* das Boylesche Gesetz.

<i>I</i>	<table border="1"><tr><td>V_1</td><td>p_1</td><td>T_1</td></tr></table>	V_1	p_1	T_1	Volumengesetz
V_1	p_1	T_1			
<i>II</i>	<table border="1"><tr><td>V_2</td><td>p_1</td><td>T_2</td></tr></table>	V_2	p_1	T_2	← bei konstantem Druck
V_2	p_1	T_2			
<i>III</i>	<table border="1"><tr><td>V_2</td><td>p_2</td><td>T_2</td></tr></table>	V_2	p_2	T_2	← Boylesches Gesetz.
V_2	p_2	T_2			

Es gilt somit für den Übergang von *I* nach *II* die Proportion:

$$V_1 : T_1 = V_2 : T_2.$$

Löst man nach V_2 auf, so erhält man die Gleichung:

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1}.$$

Für den Übergang von *II* nach *III* gilt die Gleichung:

$$V_2 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2.$$

Setzt man in diese Gleichung den aus der vorherigen Gleichung gefundenen Wert für V_2 ein, so erhält man

$$\frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1} = p_2 \cdot V_2.$$

Dividiert man nun diese Gleichung durch T_2 , so nimmt sie die Form

$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$

an. Diese Beziehung nennt man die **Zustandsgleichung der Gase**.

Da die Zustandsgleichung der Gase für alle zusammengehörigen Werte von Temperatur, Druck und Volumen gilt, so folgt daraus, daß der Ausdruck $\frac{p \cdot V}{T}$ für eine bestimmte Gasmenge immer den gleichen unveränderlichen Wert besitzt. Ändert sich eine Zustandsgröße, so ändern sich die beiden anderen Zustandsgrößen derart, daß der Wert $\frac{p \cdot V}{T}$ stets erhalten bleibt. Dies gilt auch für den Normzustand:

$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \text{konstant}$

Diese Gleichung ist eine andere Form der Zustandsgleichung der Gase.

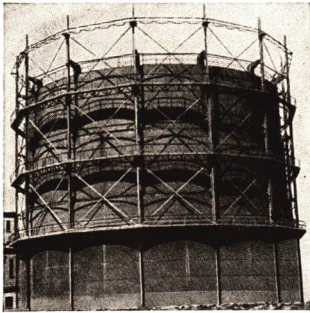
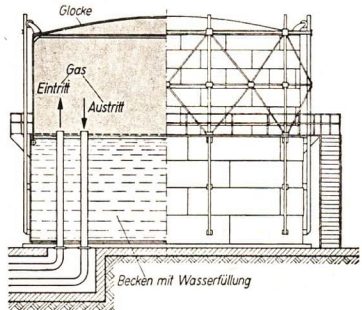


Abb. 39/1. Glockengasbehälter a) Ansicht



b) Schnitt

4. Anwendung der Zustandsgleichung der Gase. a) Der Gasbehälter. Das Stadtgas wird im Gaswerk bei Tag und bei Nacht gleichmäßig erzeugt. Da aber der Bedarf von Industrie und Haushalt im Verlauf eines Tages sehr unterschiedlich ist, macht sich eine Speicherung des erzeugten Gases erforderlich. Als Speicher verwendet man zylinderförmige Gasbehälter (Abb. 39/1a). Sie haben ein Volumen von mehreren hundert bis zu etwa 250 000 Kubikmetern. Das Volumen dieser Gasbehälter ist unter anderem von Temperaturschwankungen abhängig. Bei Erwärmung des Gases nimmt bei konstantem Volumen der Druck zu. Da aber der Druck im Gasbehälter annähernd gleich groß bleiben soll, muß sich das Volumen vergrößern können. Aus diesem Grunde ist der obere Teil des Gasbehälters als Glocke ausgebildet, die sich bei Volumänderungen auf und ab bewegt (Abb. 39/1b). Durch das Gewicht der Glocke bleibt der Druck im Gasbehälter annähernd konstant. Infolge der Beweglichkeit der Glocke bleibt der Druck auch konstant, wenn dem Gasbehälter neues Gas zugeleitet oder wenn ihm Gas entnommen wird.

b) Der Futterdämpfer. In unseren volkseigenen Gütern und landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften bilden die Kartoffeln das Hauptfutter für die Schweinemast. Sie werden wegen der besseren Verwertung vor der Verfütterung gedämpft. Geschieht dies sofort nach der Ernte, so werden große Verluste, die sonst durch Schwund und Fäulnis auftreten würden, vermieden. Die gedämpften Kartoffeln werden in Silos eingesäuert. Stehen keine Silos zur Verfügung, so muß die täglich benötigte Futtermenge gedämpft werden.

Zum Dämpfen benutzt man elektrische oder feuerbeheizte *Dämpfer*. In den volkseigenen Gütern, landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften und Großmälereien verwendet man fahrbare *Dämpfkolonnen* (Abb. 40/1). Auf einem gummibereiften Plattformwagen sind der Dampfkessel und meist drei Dämpffässer nebeneinander montiert.

In dem Dampfkessel wird Dampf erzeugt, der einen Überdruck von 0,5 at hat. Die zugeführte Wärme bringt das Wasser zum Sieden und erhöht den Druck des Wasserdampfes. Dieser Druck darf jedoch einen bestimmten Wert nicht über-

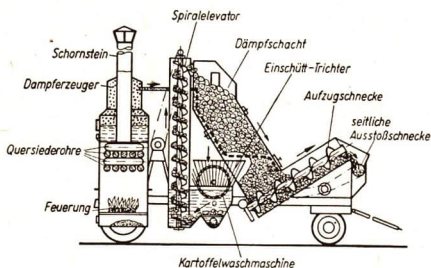
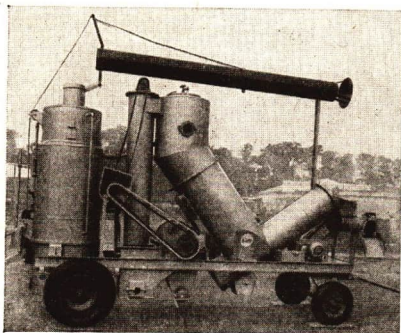


Abb. 40/1. Dämpfkolonne. Oben: Ansicht, unten: Schematische Darstellung der Wirkungsweise

raturwerten. Der Siedepunkt dieser Gase liegt nämlich unterhalb von -190°C , somit weit unterhalb der normalen Temperaturen. Daher können sie in der Technik wie ideale Gase behandelt werden.

Je weniger diese Bedingungen erfüllt sind, um so größer sind die Abweichungen vom Verhalten idealer Gase. Solche Gase werden als **reale Gase** bezeichnet. So sind *Wasserdampf*, *Kohlendioxyd* und *Chlor* unter normalen Bedingungen reale Gase. Für sie können die Gasgesetze nicht unmittelbar angewendet werden. Es sind dann Korrekturen an den mathematischen Gleichungen vorzunehmen, die die Eigenschaften dieser Gase berücksichtigen.

Die Gasgesetze einschließlich der Zustandsgleichung der Gase gelten nur für ideale Gase. Bei den normalen Temperaturen und Drücken verhalten sich jedoch die meisten Gase wie ideale Gase.

schreiten, da sonst die Anlage zerstört würde. Da im Gegensatz zu den Gasbehältern bei Kesseln das Volumen nicht verändert werden kann, ist zur Sicherung gegen einen zu hohen Druck ein *Sicherheitsstandrohr* eingebaut. Da dieses Standrohr eine Sicherheitseinrichtung ist, muß es stets in Ordnung sein und darf nicht verändert werden.

Das hier über die Dampfkessel der Dämpfanlagen Gesagte gilt für alle Dampferzeugungsanlagen. Nur wird bei ihnen im allgemeinen mit höheren Drücken gearbeitet.

5. Die idealen und die realen Gase. Ein Gas, für das die Gasgesetze genau gelten, nennt man ein **ideales Gas**. In Wirklichkeit gibt es aber solche Gase nicht. Es verhalten sich jedoch alle Gase unter niedrigem Druck und bei Temperaturen weit oberhalb des Siedepunktes wie ideale Gase. Dazu gehören beispielsweise *Luft*, *Wasserstoff* und *Sauerstoff* bei den normalen Druck- und Temperaturen.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Um wieviel Kubikmeter dehnt sich die Luft eines Klassenzimmers ($9 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \cdot 4 \text{ m}$) aus, wenn sie von 10°C auf 18°C erwärmt wird?
2. 1 m^3 Luft steht bei einer Temperatur von 20°C unter einem Druck von 740 Torr. Berechne den Druck in der Luft nach einer Abkühlung auf 0°C bei konstantem Volumen!
3. Unter welchen Bedingungen gelten die auf den Seiten 34 bis 38 wiedergegebenen Gasgesetze?

9. Die Wärme als Energieform

1. Die Wärmeenergie. Schwingt man einen Hammer, so kann man damit einen Nagel in Holz schlagen. Spannt man ein Luftgewehr und damit die Feder, so ist diese in der Lage, mittels der Luft die Kugel aus dem Lauf zu treiben. Sowohl der geschwungene Hammer als auch die gespannte Feder besitzen ein Arbeitsvermögen, sie besitzen *mechanische Energie*. So wie der geschwungene Hammer hat auch ein bewegtes Molekül Energie. Der Energiebetrag jedes einzelnen Moleküls ist jedoch sehr gering. Erst die Energie aller Moleküle eines Körpers stellt in Form der Wärme einen beachtlichen Energievorrat dar. *Die Wärme ist neben der mechanischen Energie eine weitere Form der Energie.*

Diese Tatsache erkennt man bereits am siedenden Wasser. Wird in einem Topf, der mit einem Deckel zugedeckt ist, Wasser zum Sieden gebracht, so nimmt die Bewegungsenergie der Wassermoleküle ständig zu. Sie wird schließlich so groß, daß viele Moleküle aus dem Wasser austreten. Es bildet sich Wasserdampf. Die Moleküle des Wasserdampfes treffen in großer Anzahl auf den Deckel des Gefäßes. Ist ihre Kraft größer als das Gewicht des Deckels, so wird er angehoben, ein Teil des Dampfes entweicht. Der Druck im Gefäß sinkt. Infolgedessen fällt der Deckel in seine alte Lage zurück. Weitere Moleküle treten aus dem Wasser aus, so daß der Dampfdruck wieder ansteigt und der Deckel angehoben wird. Diese Auf- und Abbewegung des Deckels wiederholt sich fortlaufend, der Deckel klappert. Es wird somit eine Arbeit verrichtet. Die Ursache für das Arbeitsvermögen des Dampfes ist die dem Wasser zugeführte Wärme.

Die Wärme hat die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Die Wärme ist eine Form der Energie.

Das Erkennen dieser Tatsache war eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung der Wärmekraftmaschinen. Erst dadurch wurde es möglich, Dampfmaschinen, Dampfturbinen, Ottomotoren, Dieselmotoren, sowie Strahltriebwerke und Raketen zu konstruieren und zu bauen.

2. Die Wärmeenergie der Sonnenstrahlung. Die wichtigste Wärmequelle für die Erde ist die *Sonne*. Ihre Oberflächentemperatur beträgt etwa 6000°C , während in ihrem Innern Temperaturen von mehreren Millionen Grad Celsius herrschen. Aber nur ein sehr geringer Teil der von der Sonne ausgestrahlten Wärmeenergie gelangt auf die Erde. Von dieser Energiemenge werden 60 % von der Lufthülle der Erde aufgenommen, während 40 % die Erdoberfläche erreichen. Diese Energiemenge ist aber trotzdem sehr groß. Mit der Energiemenge, die in 1 s auf die Erdober-

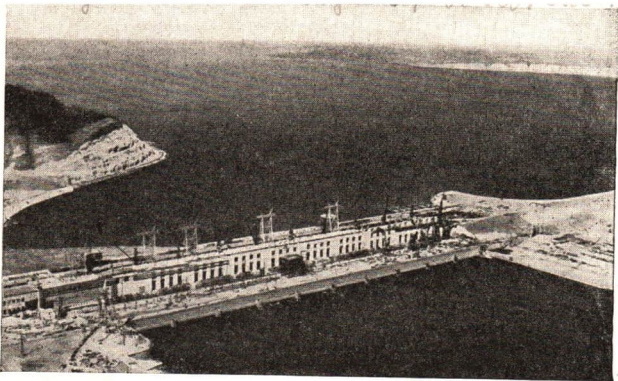


Abb. 42/1. Sowjetisches Wasserkraftwerk „W. I. Lenin“ bei Kuibyschew

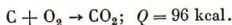
fläche gelangt, könnte man die Wassermassen, die in drei Tagen von der Elbe in die Nordsee fließen, zum Sieden bringen. Mit dem überwiegenden Teil der Sonnenenergie werden die Luft und das Wasser erwärmt. Von den Pflanzen werden nur etwa 0,03 % aufgenommen.

Unter dem Einfluß der Wärmestrahlung der Sonne verdunsten gewaltige Wassermassen. Der so entstandene Wasserdampf kondensiert wieder und fällt als Regen, Schnee, Graupel oder Hagel auf die Erdoberfläche zurück. Das Wasser der Meere und Flüsse gelangt auf diese Weise in höher gelegene Landgebiete und kann dort in Stauseen aufgefangen werden. Die Sonnenenergie hat die potentielle Energie des Wassers erhöht. *Die Wärmeenergie ist somit in mechanische Energie umgewandelt worden.* Durch die in den Stauseen aufgefangenen Wassermassen können Turbinen angetrieben werden, mit denen Generatoren zum *Umwandeln mechanischer Energie in elektrische Energie* verbunden sind. In der Deutschen Demokratischen Republik ist der Anteil der Wasserkraftwerke an der Gewinnung elektrischer Energie nur gering. Im Jahre 1958 wurden 636 Millionen kWh elektrischer Energie aus Wasserkraftwerken gewonnen. Das sind etwa 1,8 % der gesamten Elektroenergie. In der Sowjetunion dagegen sind wesentlich größere Wasserkraftwerke errichtet worden (Abb. 42/1). Sie lieferten im Jahre 1956 29 Milliarden kWh an elektrischer Energie; das sind etwa 15 % der gesamten in der Sowjetunion erzeugten Elektroenergie.

3. Die Gewinnung von Wärmeenergie durch Verbrennung — Der Heizwert der Brennstoffe. Kohle, Erdöl und Erdgas sind weitere Energiequellen. Auch sie sind durch die Einwirkung der Sonnenenergie entstanden. So wurde beispielsweise ursprünglich von den Pflanzen die Sonnenenergie aufgenommen und für ihr Wachstum verbraucht.

Die Wärmeenergie wandelte sich in chemische Energie um. Die Pflanzen versanken schließlich. In einem langen Zeitraum bildete sich aus ihnen die Kohle.

Bei der Verbrennung und auch bei zahlreichen anderen chemischen Vorgängen wird Wärmeenergie frei. Die chemische Energie wandelt sich dabei in Wärmeenergie um. Die frei werdende Wärmeenergie kann im Experiment genau bestimmt werden. So wird beispielsweise bei der Verbrennung von 12 g Kohlenstoff mit 32 g Sauerstoff eine Wärmemenge (Q) von 96 Kilokalorien frei.



Zum Beheizen von Wohn- und Arbeitsräumen sowie von Dampferzeugungsanlagen werden Kohle und Öl verwendet. Je nachdem, ob es sich um Rohbraunkohle, um Braunkohlenbriketts, um Steinkohle oder Öl handelt, ist die Größe der bei der Verbrennung abgegebenen Wärmemengen sehr unterschiedlich. Zum Vergleich der Brennstoffe hinsichtlich ihrer Wärmeabgaben wurde experimentell die jeweils von 1 kg der verschiedenen Brennstoffe abgegebene Wärmemenge ermittelt. Den Quotienten aus der Wärmemenge und der verbrannten Brennstoffmenge bezeichnet man als den **Heizwert des Brennstoffes**. Er wird bei festen und flüssigen Körpern

in $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ und bei gasförmigen

Körpern in $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$ angegeben.

Der Heizwert eines Brennstoffes ist der Quotient aus der Wärmemenge und der verbrannten Brennstoffmenge.

In der nebenstehenden Tabelle sind die durchschnittlichen Heizwerte der gebräuchlichsten Brennstoffe zusammengestellt.

4. Die Brennstoffquellen der Deutschen Demokratischen Republik. In unserer Republik wird der überwiegende Teil der benötigten Wärmeenergie aus der Braunkohle gewonnen. Sie wird in den Revieren Halle-Merseburg, Borna-Meuselwitz und im Lausitzer Gebiet gefördert. Die Braunkohle ist aber nicht nur der wichtigste Brennstoff für die Energiegewinnung, sondern auch das bedeutendste Ausgangsmaterial für zahl-

Heizwerte einiger gebräuchlicher Brennstoffe

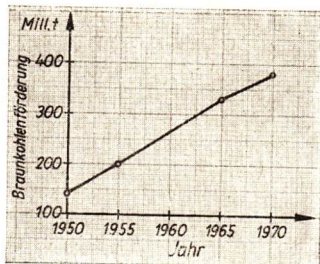
Brennstoff	Heizwert
	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ bzw. $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$
Holz, frisch	2000
Holz, lufttrocken	3600
Torf, grubenfeucht	250
Torf, lufttrocken	2700 bis 3500
Rohbraunkohle	1500 bis 3500
Braunkohlenbriketts	4500 bis 5000
Braunkohlenschwelkoks	5700
Steinkohle	7000 bis 8000
Steinkohlenkoks	7000
Diesöl	10000
Vergaserkraftstoff	10200
Petroleum	9700
Spiritus	6000
Heizöl	10200
Äthin	13590
Braunkohlenkokereigas	3010
Generatorgas	1200 bis 1400
Gichtgas	960
Propan	22210
Wasserstoff	2580
Stadtgas	3800
nasses Erdgas	10000
trockenes Erdgas	7000

Steigerung der Braunkohlenförderung

Jahr	Förderung (Millionen Tonnen)
1950	137
1955	200
1965	330
1970	380

Abb. 44/1

Steigerung der Braunkohlenförderung



reiche Produkte der chemischen Industrie. Der gewaltige Aufbau unserer Industrie, insbesondere die große Steigerung der chemischen Produktion, bedingt einen größeren Verbrauch an Energie. Infolgedessen muß die Förderung der Braunkohle wesentlich erhöht werden. Die obenstehende Tabelle und das in der Abbildung 44/1 wiedergegebene Diagramm veranschaulichen das bisher Erreichte und die bis 1970 vorgesehene gewaltige Steigerung.

Die notwendige Erhöhung der Braunkohlenförderung bedingt neue leistungsfähigere Werke. So entsteht im Lausitzer Gebiet, das etwa 60 % der Braunkohlenvorräte unserer Republik umfaßt, das große Kombinat *Schwarze Pumpe* (Abb. 44/2). Dieses Kombinat wird nach seiner Fertigstellung in modernen Großtagebauen täglich 120000 t Rohbraunkohle fördern und verarbeiten. Zur Beförderung dieser Kohle innerhalb des Kombinats mit Großraumwagen müssen täglich etwa 1200 Wagen beladen werden.

Während die durch Sandeinlagerungen stark verunreinigte Ballastkohle in den Dampferzeugungsanlagen des Kombinats unmittelbar verbrannt wird, wird die wert-

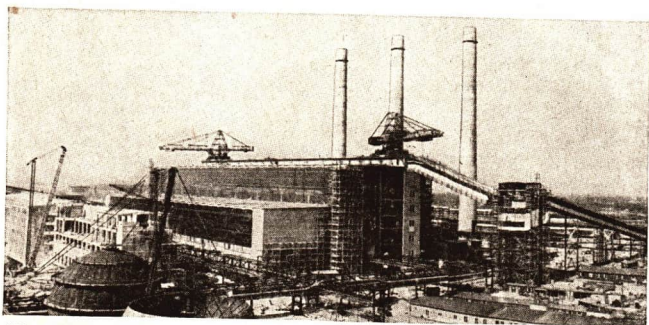


Abb. 44/2. Ausschnitt aus dem im Bau befindlichen Kombinat „Schwarze Pumpe“

vollere Rohkohle im Kombinat veredelt. Sie wird in Brikettfabriken gesiebt und zerkleinert. Mittels Dampftrocknung wird der Wassergehalt, der im allgemeinen 50% bis 60% beträgt, auf 18% herabgesetzt. Anschließend werden in den Brikettpressen unter hohem Druck die Briketts geformt. Gegenüber der Rohbraunkohle steigt durch die Brikettierung der Heizwert von etwa $2000 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ bis auf $4700 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$, das heißt auf

235%, an. Der Transport von Briketts mit ihrem höheren Heizwert ist somit wesentlich günstiger als der von Rohbraunkohle.

Eine weitere Möglichkeit, die Braunkohle zu veredeln, ist das von den Nationalpreisträgern Prof. Dr. Rammler und Prof. Dr. Bilkenroth entwickelte Verfahren zur Herstellung von Hochtemperaturkoks aus Braunkohle. Zu diesem Zweck wurde die Großkokerei Lauchhammer gebaut (Abb. 45/1). Bei dem Verkokungsprozeß werden flüssige und gasförmige Rohstoffe gewonnen, die zur weiteren Verarbeitung der chemischen Industrie zugeführt werden. Der entstehende Koks ist ein hochwertiger Brennstoff mit einem Heizwert von etwa $5700 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$. Der Heizwert des Braunkohlenkokes liegt somit um etwa $1000 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ höher als der von Briketts. Durch die For-

schungsarbeiten der beiden Nationalpreisträger war es auch möglich, die Eisengewinnung in unserer Deutschen Demokratischen Republik zu steigern. Es entstand in Calbe (Saale) das *Eisenhüttenkombinat West*. In diesem Kombinat wird der in

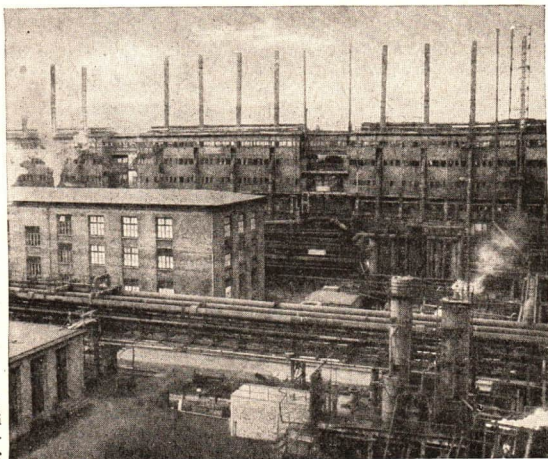


Abb. 45/1
Großkokerei
Lauch-
hammer

Lauchhammer gewonnene Koks für die Eisengewinnung verwendet. Dieses Beispiel zeigt, wie unsere Wissenschaftler durch ihre Forschung dazu beitragen, die Produktion zu steigern.

Das bei dem Verkokungsprozeß gewonnene Gas hat ungefähr den gleichen Heizwert wie das Stadtgas. Es wird zur Versorgung von Industriebetrieben und von Haushalten verwendet. So wird beispielsweise das *Edelstahlwerk „8. Mai 1945“* in Freital bei Dresden mit Hilfe einer Ferngasleitung mit Gas aus der Großkokerei Lauchhammer versorgt.

Die Brennstoffherzeugung in unserer Republik wird in den kommenden Jahren durch die Erhöhung des Erdölimports aus der Sowjetunion wesentlich gesteigert werden. So sollen vom Jahre 1965 an jährlich 4,8 Millionen Tonnen Erdöl eingeführt werden. Dazu ist der Bau einer besonderen *Erdölleitung* vorgesehen. Der Bau dieser Erdölleitung wird gemeinsam von der Sowjetunion, der Volksrepublik Polen und der Deutschen Demokratischen Republik durchgeführt. Er ist ein Beispiel für die enge wirtschaftliche Zusammenarbeit sozialistischer Länder. Der Bau dieser Leitung und der Aufbau der entsprechenden chemischen Industriewerke bei Schwedt an der Oder stellen unsere Wissenschaftler und Arbeiter vor neue große Aufgaben. Sie werden gemeinsam dazu beitragen, daß unserer Volkswirtschaft mehr Treibstoffe für Flugzeuge, Autos, Traktoren und Dieselloks zur Verfügung stehen.

Der Vorrat an Braunkohle und anderen Brennstoffen ist jedoch begrenzt. Daher müssen neue Energiequellen erschlossen werden. Die gemeinsame Arbeit aller Wissenschaftler aus den sozialistischen Ländern wird die Entwicklung der *Atomkraftwerke* weiter vorantreiben. Die Sowjetunion hat in dieser Hinsicht bereits große Erfolge erzielt. So wurde am 27. Juni 1954 bei Moskau das erste Atomkraftwerk der Welt mit einer elektrischen Leistung von 5000 kW in Betrieb genommen. 1958 wurde der erste Bauabschnitt (100 000 kW) des größten Atomkraftwerkes der Welt mit einer Gesamtleistung von 600 000 kW fertiggestellt. Auch in der Deutschen Demokratischen Republik wird mit Unterstützung der Sowjetunion ein Atomkraftwerk gebaut. Es wird 1962 den Betrieb mit einer Leistung von 70 000 kW aufnehmen. Nach der endgültigen Fertigstellung wird es eine Leistung von 140 000 kW haben. Weitere Atomkraftwerke sind geplant, so daß in steigendem Maße der Energiebedarf aus Atomkraftwerken gedeckt werden kann.

5. Der Energiegehalt der Nahrungsmittel. Menschen und Tiere benötigen zum Verrichten ihrer Arbeit eine bestimmte Energiemenge. Diese Energiemenge wird durch Verbrennen der Nahrung im Körper gewonnen. Es handelt sich hierbei um eine langsame Verbrennung ohne erhebliche Temperatursteigerung. In der Hauptsache dienen Fett und Kohlenhydrate als Energieträger. Der Energiegehalt der Nahrungsmittel wird auch als ihr *Nährwert* bezeichnet und in kcal angegeben. So haben beispielsweise

1 g Fett	den Nährwert 9,3 kcal,
und 1 g Zucker	den Nährwert 4,1 kcal.

Im Gegensatz zu Maschinen benötigt der menschliche und der tierische Körper auch im Ruhezustand zur Unterhaltung der Lebensfunktionen Energie. Sie beträgt bei Erwachsenen täglich 1400 bis 2000 kcal. Der größte Teil dieser Wärmemenge ist zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur erforderlich. Bei körperlicher oder geistiger Arbeit erhöht sich je nach der Schwere der Arbeit der Bedarf an Energie auf 3000 bis über 5000 kcal.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Warum wird die Braunkohle vor ihrer Verbrennung veredelt?
2. Schildere die Energieumwandlungen, die sich bei der Gewinnung elektrischer Energie aus Braunkohle, einschließlich der Entstehung der Braunkohle, vollziehen!
3. Warum ist der Bau von Atomkraftwerken für die Energieversorgung in den nächsten Jahrzehnten von großer Bedeutung?

10. Wärmemenge und spezifische Wärme

1. Die spezifische Wärme. Erwärmt man auf einer elektrischen Kochplatte 1 kg Wasser von 18°C um 50 grd, so wird dazu eine bestimmte Zeit benötigt. Wird nun in dem gleichen Topf und auf dem gleichen Kocher 1 kg Maschinenöl erwärmt, so wird die gleiche Temperaturerhöhung in einer wesentlich kürzeren Zeit erreicht. Da zum Erwärmen des Wassers eine längere Zeit benötigt wird, ist dafür eine größere Wärmemenge erforderlich als für die gleiche Erwärmung des Öls. Diese Schlußfolgerung ist möglich, da von der Kochplatte in gleichen Zeiten gleiche Wärmemengen abgegeben werden. Die Zeit ist somit in diesem Falle ein Maß für die aufgenommene Wärmemenge. *Zum Erwärmen verschiedener Stoffe sind unterschiedliche Wärmemengen erforderlich, um die gleiche Temperaturerhöhung zu erreichen.*

Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Wärmemenge, Stoffmenge und Zeit bei der Erwärmung eines Stoffes

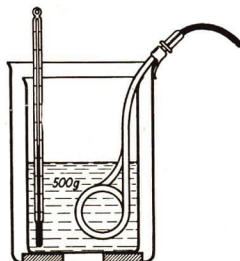


Abb. 47/1. Erwärmen einer bestimmten Wassermenge

Tabelle I
Temperaturverlauf beim Erwärmen von 500 g Wasser.
Ausgangstemperatur 18°C

Zeit min	Temperatur $^{\circ}\text{C}$	Temperatur- erhöhung (Δt) grd	Temperatur- erhöhung
			Zeit $\frac{\text{grd}}{\text{min}}$
0,5	21,6	3,6	7,2
1,0	25,1	7,1	7,1
1,5	28,8	10,8	7,2
2,0	32,2	14,2	7,1
2,5	35,8	17,8	7,1
3,0	39,5	21,5	7,2
3,5	43,2	25,2	7,2
4,0	46,8	28,8	7,2
4,5	50,0	32,0	7,1
5,0	53,9	35,9	7,2

kann die in Abbildung 47/1 wiedergegebene Versuchsanordnung verwendet werden. Mit Hilfe eines Tauchsieders erwärmt man in einem Becherglas 500 g Wasser. Sobald eine bestimmte Ausgangstemperatur, beispielsweise 18°C , erreicht ist, beobachtet man im Abstand von je $\frac{1}{2}$ min die erreichte Temperatur. Die Tabelle I gibt den Temperaturverlauf während einer Zeit von 5 min wieder. Führt man den gleichen Versuch mit 1000 g

Tabelle II

Temperaturverlauf beim Erwärmen von 1000 g Wasser.
Ausgangstemperatur 18°C

Zeit min	Temperatur °C	Temperatur- erhöhung (Δt) grad	Temperatur- erhöhung
			$\frac{\text{Zeit}}{\text{grad} \cdot \text{min}}$
0,5	19,8	1,8	3,6
1,0	21,5	3,5	3,5
1,5	23,2	5,2	3,5
2,0	25,0	7,0	3,5
2,5	26,9	8,9	3,6
3,0	28,6	10,6	3,5
3,5	30,5	12,5	3,6
4,0	32,1	14,1	3,5
4,5	33,8	15,8	3,5
5,0	35,9	17,9	3,6

Wasser durch, so erhält man die in der Tabelle II wiedergegebenen Werte. Aus den Tabellen ersieht man, daß mit zunehmender Zeit die Temperatur des Wassers höher wird. Die Temperaturerhöhung ist somit der Wärmemenge proportional:

$$t \sim Q.$$

Zu dem gleichen Ergebniskommt man, wenn man die Temperaturerhöhung und die Zeit graphisch darstellt (Abb. 48/1). Man erhält für beide Versuchsreihen eine Gerade.

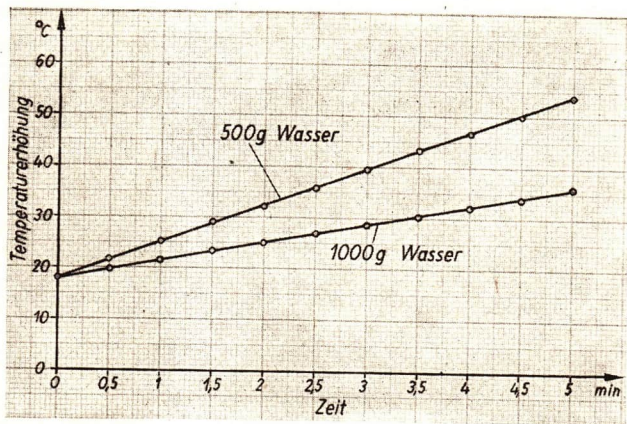


Abb. 48/1. Graphische Darstellung des Temperaturverlaufs beim Erwärmen einer Wassermenge

Wie aus den dritten Spalten der Tabellen hervorgeht, ist bei der zweiten Versuchsreihe die Temperaturerhöhung nach gleichen Zeiten nur halb so groß wie bei der ersten Versuchsreihe. Wird also die doppelte Wassermenge erwärmt, so wird in der gleichen Zeit nur die halbe Temperaturerhöhung erzielt. Würde man den gleichen Versuch mit der dreifachen Wassermenge ausführen, so würde man in der gleichen Zeit nur ein Drittel der Temperaturerhöhung erzielen. Daraus folgt

$$\Delta t \sim \frac{1}{m}.$$

Da $\Delta t \sim Q$ und außerdem $\Delta t \sim \frac{1}{m}$ ist, ist auch

$$\Delta t \sim \frac{Q}{m}.$$

Durch Umformung ergibt sich

$$Q \sim m \cdot \Delta t.$$

In dieser Proportion gibt m die Abhängigkeit von der Masse und Δt die Abhängigkeit von der Temperaturerhöhung an. Es wird jedoch noch nicht die Abhängigkeit der Wärmemenge von dem Stoff berücksichtigt. Daher muß man noch einen Faktor c einführen, der der Art des Stoffes Rechnung trägt. Dadurch kann man zur Gleichung übergehen und erhält

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t.$$

Man bezeichnet c als die **spezifische Wärme**. c ist eine Materialkonstante. Zur Bestimmung der Maßeinheit löst man die Gleichung $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$ nach c auf:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}.$$

Daraus folgt als Maßeinheit

$$\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}} \text{ bzw. } \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{grd}}.$$

Die spezifische Wärme ist eine Materialkonstante. Sie ist zahlenmäßig gleich der Wärmemenge, mit der 1 g des betreffenden Stoffes um 1 grd erwärmt wird. Die Einheit der spezifischen Wärme ist $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$ bzw. $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{grd}}$.

Da zum Erwärmen von 1 g Wasser um 1 grd eine Wärmemenge von 1 cal erforderlich ist, hat Wasser die spezifische Wärme

$$c_w = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}.$$

Durch genaue Messungen wurde festgestellt, daß jeder Stoff eine bestimmte spezifische Wärme hat. Die Größe der spezifischen Wärme ändert sich mit der Temperatur. Jedoch ist die Änderung zwischen 0°C und 100°C so gering, daß man c_w als konstant ansehen kann. Gerade dieser Temperaturbereich spielt in der Technik eine große Rolle. In der folgenden Tabelle ist die mittlere spezifische Wärme einiger Stoffe angegeben.

Stoff	Spezifische Wärme $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$	Stoff	Spezifische Wärme $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$
Wasser	1	Aluminium	0,211
Äthanol	0,557	Blei	0,030
Äther	0,542	Eisen	0,105
Quecksilber	0,034	Kupfer	0,091
Benzol	0,416	Nickel	0,103
Glyzerin	0,390	Platin	0,031
Maschinenöl	0,45	Silber	0,055
Petroleum	0,50	Silicium	0,162
Asphalt	0,19	Zink	0,092
Baumwolle	0,280	Sandstein	0,17
Beton	0,22	Schamotte	0,197
Eis	0,50	Zement	0,18
Glas, Jenaer	0,184	Ziegelstein	0,23
Holz (Fichte)	0,65		

2. Die Bedeutung der spezifischen Wärme des Wassers. Wie schon die Tabelle der spezifischen Wärme verschiedener Stoffe zeigt, ist die spezifische Wärme des Wassers im Vergleich zu der anderer Stoffe besonders groß. In der Natur hat der Wärmeaustausch zwischen Wasser und Luft für das *Klima* eine große Bedeutung. Es sind große Wärmemengen erforderlich, damit die Wassertemperatur merklich steigt. Infolgedessen dauert es im Frühjahr längere Zeit, bis ein wesentlicher Anstieg der Wassertemperatur erfolgt. In der Nähe großer Wasserflächen ist daher auch im Frühjahr die Temperatur niedriger als im Binnenland, da das Wasser große Wärmemengen aufnimmt, die der Luft entzogen werden. Im Herbst kann man das Umgekehrte beobachten.

In der Nähe großer Wassermassen, zum Beispiel in Küstennähe, werden auch plötzliche Temperaturstürze dadurch abgeschwächt, daß bei der Abkühlung der Luft das Wasser große Wärmemengen an diese abgibt. Bei plötzlicher Erwärmung nimmt das Wasser viel Wärme aus der Luft auf, so daß auch hierbei nur ein allmählicher Temperaturanstieg erfolgt. In Gebieten ohne größere Wasserflächen, beispielsweise in Wüstengegenden, kann es zu sehr

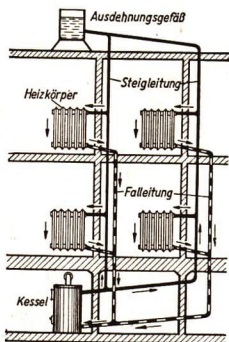


Abb. 50/1. Schematische Darstellung einer Warmwasserheizung. Infolge geringerer Wichte steigt das warme Wasser nach oben, das kalte Wasser sinkt nach unten.



Abb. 51/1. Kühler eines Traktors

rieselt das warme Kühlwasser und gibt seine Wärme an die Luft ab. Die warme Luft steigt nach oben, so daß immer wieder kalte Luft von unten nachströmt, die wieder Wärme aus dem Wasser aufnimmt.

3. Der Wärmeaustausch.

Soll eine heiße Speise schnell abgekühlt werden, so stellt man den Topf mit der Speise in eine größere Schüssel mit Wasser. Nach einiger Zeit hat sich die Speise mit dem Topf abgekühlt. Das Wasser und die Schüssel dagegen sind wärmer geworden. Somit haben die Speise und der Topf ihre Wärme an die Schüssel mit dem kalten Wasser abgegeben. Dieser Vorgang dauert so lange an, bis beide Gefäße die gleiche Temperatur haben.

Einen ähnlichen Vorgang beobachtet man beim Härten. Die glühenden Werkstücke werden in der Härteflüssigkeit plötzlich abgekühlt und dadurch abgeschreckt. Dabei

starken Temperaturschwankungen kommen. Die spezifische Wärme des Wassers spielt somit für das Klima eine wesentliche Rolle.

Auf Grund seiner hohen spezifischen Wärme nimmt das Wasser bei Erwärmung eine große Wärmemenge auf. Diese Eigenschaft wird in der Technik weitgehend ausgenutzt. So werden in den *Warmwasserheizungen* mit Hilfe des Wassers große Wärmemengen bei einer verhältnismäßig geringen Wassertemperatur (etwa 80°C) transportiert (Abb. 50/1). Diese Wärmemengen reichen aus, um die Zimmer zu erwärmen.

Wasser wird wegen seiner hohen spezifischen Wärme auch zum Kühlen von Maschinen verwendet. Derartige *Kühlanlagen* befinden sich in vielen Kraftwagen (Abb. 51/1) und in den Turbinenanlagen der Kraftwerke. Dort wird das zum Kondensieren des Dampfes verwendete Wasser in hohe *Kaminkühler* gepumpt (Abb. 51/2). Diese sind oben und unten offen und etwa zur Hälfte mit einem vielfach verzweigten Aufbau von Holzrosten ausgefüllt. Über diese Roste

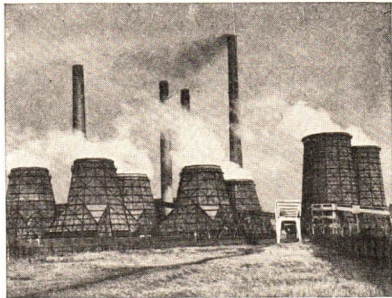


Abb. 51/2. Kaminkühler

erwärmt sich die Flüssigkeit sehr stark, so daß sie von Zeit zu Zeit erneuert oder abgekühlt werden muß.

Berühren sich somit zwei Körper mit unterschiedlichen Temperaturen, so ergibt sich eine *Wärmeleitung*. Sie erfolgt selbsttätig und stets vom wärmeren zum kälteren Körper. Da nämlich bei der Wärmeleitung die kinetische Energie der Moleküle übertragen wird, kann nur Energie von Molekülen mit großer kinetischer Energie auf solche mit kleiner kinetischer Energie übertragen werden. Die Wärmeleitung hält solange an, wie ein Unterschied in der kinetischen Energie der Moleküle zwischen den beiden Stoffen besteht. Ist die durchschnittliche kinetische Energie der Moleküle beider Stoffe gleich groß, haben die beiden Stoffe also die gleiche Temperatur, so ist die Wärmeleitung beendet. Man bezeichnet den geschilderten Vorgang auch als **Wärmeaustausch**.

Zwei Wassermengen, m_1 und m_2 , mit den Temperaturen t_1 und t_2 werden in einem Gefäß gemischt. Nach dem Temperatúrausgleich mißt man die *Mischungstemperatur* t_m . Durch Berechnung kann man die vom wärmeren Wasser abgegebene Wärmemenge Q_1 und die vom kälteren Wasser aufgenommene Wärmemenge Q_2 ermitteln. Unter Anwendung der Gleichung

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

erhält man die beiden Gleichungen

$$Q_1 = m_1 \cdot c_w \cdot (t_1 - t_m),$$

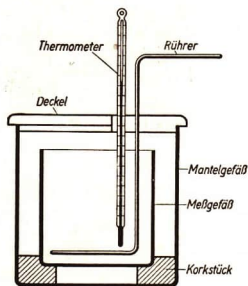
$$Q_2 = m_2 \cdot c_w \cdot (t_m - t_2).$$

Genau durchgeführte Versuche haben ergeben, daß die abgegebene Wärmemenge Q_1 ebenso groß wie die aufgenommene Wärmemenge Q_2 ist.

$$Q_1 = Q_2$$

Damit ist das **Grundgesetz des Wärmeaustausches** bestätigt:

Beim Wärmeaustausch ist die abgegebene Wärmemenge gleich der aufgenommenen Wärmemenge. Der Wärmeaustausch erfolgt selbsttätig und stets vom wärmeren zum kälteren Körper.



Dieses Gesetz gilt nicht nur für die Mischung von Wasser, sondern allgemein für jeden Wärmeaustausch zwischen zwei Körpern. Dabei können auch mehrere Körper Wärme abgeben und mehrere Körper Wärme aufnehmen.

4. Das Kalorimeter. Mit Hilfe des Grundgesetzes für den Wärmeaustausch kann man beispielsweise die spezifische Wärme von Stoffen bestimmen, aus der Mischungstemperatur die Ausgangstemperatur eines Stoffes ermitteln, wenn die Ausgangstemperatur der anderen bekannt ist usw. Man erhält jedoch nur dann genaue Ergebnisse, wenn man dafür sorgt, daß

Abb. 52/1. Kalorimeter

keine Wärme ungemessen abgegeben bzw. aufgenommen wird. Man benutzt daher für genaue Bestimmungen der einem Körper zugeführten oder entzogenen Wärmemenge ein *Kalorimeter* (Abb. 52/1). In einem Gefäß, dem Mantelgefäß, befindet sich ein zweites Gefäß, das Meßgefäß. Eine Wärmeabgabe an die Umgebung wird durch den Luftmantel zwischen beiden Gefäßen und durch den isolierenden Deckel weitgehend unterbunden. Besonders gut sind Thermosgefäße als Kalorimeter geeignet. Bei ihnen isoliert das Vakuum zwischen den beiden Gefäßen noch besser als ein Luftmantel. Zum Kalorimeter gehören noch ein Thermometer und ein Rührer aus Metalldraht. Beide werden durch entsprechende Bohrungen im Deckel in das Kalorimeter eingeführt.

Bei Messungen mit dem Kalorimeter muß auch die Wärmemenge berücksichtigt werden, die von dem Kalorimetergefäß, dem Thermometer und dem Rührer aufgenommen wird. Diese Wärmemenge wird einmal bestimmt und kann dann bei weiteren Untersuchungen berücksichtigt werden.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Warum erfolgt der Wärmeaustausch stets nur vom wärmeren zum kälteren Körper?
2. Schildere Vorgänge in der Natur, bei denen sich die hohe spezifische Wärme des Wassers auswirkt!
3. Warum muß man zur genauen Bestimmung der spezifischen Wärme eines Stoffes ein Kalorimeter benutzen?

11. Das mechanische Wärmeäquivalent

1. Die Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie. Die in den Kesselhäusern von Turbinenanlagen durch Verbrennen von Kohle gewonnene *Wärmeenergie* wird in den Turbinen in *mechanische Energie* umgewandelt. Auch bei jeder Dampflokomotive wird die im Kessel gewonnene Wärmeenergie in den Zylindern in mechanische Energie umgesetzt. Es kann aber auch *mechanische Energie* in *Wärmeenergie* umgewandelt werden. Dies erfolgt bei allen Reibungsvorgängen. Wird ein fahrender Eisenbahnzug gebremst, so werden dadurch die Bremsklötze und die Räder heiß. An einer Kletterstange läßt man sich nicht mit geschlossenen Händen heruntergleiten, da man sich infolge starker Wärmeentwicklung die Hände verbrennen kann. Aber auch bei anderen mechanischen Vorgängen wird mechanische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. So erwärmt sich Metall, wenn es gebogen oder geschlagen wird. Der Drehmeißel wird warm, wenn man mit ihm ein Werkstück bearbeitet. Ebenso erwärmen sich andere Werkzeuge, wenn sie eingesetzt werden. Diese Beispiele zeigen:

Wärmeenergie und mechanische Energie sind zwei Formen der Energie. Beide können ineinander umgewandelt werden.

Der deutsche Arzt *Julius Robert Mayer* kam auf Grund von Überlegungen zu der Folgerung, daß zwischen der aufgewandten mechanischen Energie und der gewonnenen Wärmeenergie bzw. umgekehrt ein bestimmter zahlenmäßig angebbarer Zusammenhang bestehen müsse.

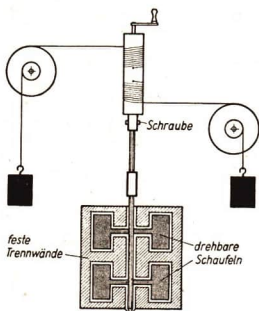


Abb. 54/1. Versuchsanordnung zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents

daß für eine Wärmeenergie von 1 kcal ein Aufwand an mechanischer Energie von 425 kpm erforderlich ist. Damit war experimentell bewiesen, daß es ein bestimmtes Umrechnungsverhältnis von mechanischer Energie in Wärmeenergie gibt. Durch weitere, immer genauer durchgeführte Versuche wurde die gefundene Tatsache bestätigt. Es wurde jedoch ein genauerer Zahlenwert für das Umrechnungsverhältnis ermittelt. Es ergab sich

$$\begin{aligned} 427 \text{ kpm} &\cong 1 \text{ kcal}, \\ 1 \text{ kpm} &\cong 2,34 \text{ cal}. \end{aligned}$$

Das Umrechnungsverhältnis von mechanischer Energie (A) in Wärmeenergie (Q) bezeichnet man als das mechanische Wärmeäquivalent.

$$\frac{A}{Q} = 427 \frac{\text{kpm}}{\text{kcal}}.$$

Mit Hilfe des mechanischen Wärmeäquivalents kann man die eine Energie in die andere umrechnen und somit unmittelbar miteinander vergleichen.

2. Der Satz von der Erhaltung der Energie. Bei der Verbrennung entsteht *Wärmeenergie aus chemischer Energie*. Bei der Reibung wird *mechanische Energie in Wärmeenergie* umgesetzt und bei allen elektrischen Heizgeräten wird *elektrische Energie in Wärmeenergie* umgeformt. Auf der Sonne entsteht die *Wärme aus Atomenergie*. Diese Beispiele zeigen, daß Energie niemals aus dem Nichts entstehen kann. Sie wird stets aus einer anderen Energieform gewonnen.

Die Wärmeenergie wird durch Umformen aus anderen Energiearten gewonnen.

Unabhängig von *Julius Robert Mayer* führte der englische Physiker *James Prescott Joule* erste experimentelle Untersuchungen durch (Abb. 54/1). In einem mit Wasser gefüllten Kalorimeter wird ein mechanisches Rührwerk mit Hilfe von zwei Gewichtsstücken in Umdrehung versetzt. Aus dem zurückgelegten Weg s und dem Gewicht der beiden Gewichtsstücke ($G_1 + G_2$) kann die von ihnen verrichtete mechanische Arbeit berechnet werden:

$$A = (G_1 + G_2) \cdot s.$$

Durch das Rührwerk wird das Wasser in wirbelnde Bewegung versetzt und infolgedessen erwärmt. Wiederholt man den Vorgang mehrere Male nacheinander, so tritt eine gut meßbare Temperaturerhöhung ein. Aus der Temperaturerhöhung und der Wassermenge kann die Warmmenge ermittelt werden, die aus der mechanischen Energie gewonnen wurde. *Joule* fand aus einer großen Anzahl von Versuchen,

Beim Antrieb einer Säulenbohrmaschine wird mit Hilfe des Elektromotors elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt und diese auf die Maschine übertragen. Das Getriebe und die Bohrspindel drehen sich. Da stets Reibung vorhanden ist, erwärmen sich die Lager. Somit wird ein Teil der vom Elektromotor abgegebenen mechanischen Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Bildet man die Summe von mechanischer Energie und Wärmeenergie, so ist diese Energiemenge ebenso groß wie die aufgewandte elektrische Energie.

Bei allen mechanischen Vorgängen bleibt die Summe an mechanischer Energie und Wärmeenergie stets gleich. Nimmt die mechanische Energie zu, so wird die Wärmeenergie geringer, während eine Zunahme der Wärmeenergie mit einer Abnahme an mechanischer Energie verbunden ist.

Man bezeichnet diese Tatsache als den **ersten Hauptsatz der Wärmelehre**. Er ist ein sehr wichtiges Naturgesetz und wurde zuerst von *Julius Robert Mayer* festgestellt.

Der deutsche Physiker *Hermann v. Helmholtz* erkannte die Allgemeingültigkeit des von *Julius Robert Mayer* aufgestellten Satzes für alle Energiearten. Diese Verallgemeinerung wird das **Gesetz von der Erhaltung der Energie** oder kurz das **Energieprinzip** genannt.

Es kann weder Energie gewonnen werden noch verloren gehen. Es können stets nur die einzelnen Arten der Energie ineinander umgeformt werden.

Das Energieprinzip ist von außerordentlich großer Bedeutung für alle Naturwissenschaften und auch für die Technik. Es gilt für sämtliche Vorgänge. Alle Überlegungen zur Erforschung und Anwendung der Naturvorgänge müssen auf der Grundlage des Energieprinzips erfolgen, da sie sonst falsch sind. In Unkenntnis dieses Gesetzes wurde immer wieder versucht, Maschinen zu entwickeln, die ohne Energiezuführung Arbeit verrichten oder bei denen zumindest mehr Energie gewonnen wird als aufgewendet wurde. Diese Maschinen, die man als *Perpetuum mobile* bezeichnet, gibt es nach dem Energieprinzip aber nicht. Daher sind alle Versuche, eine solche Maschine zu konstruieren, von vornherein zum Scheitern verurteilt.

Das Energieprinzip gilt aber nicht nur auf der Erde, sondern im ganzen Weltraum. Das heißt, *die gesamte vorhandene Energiemenge bleibt ihrem Betrage nach unverändert bestehen*. Die verschiedenen Energieformen wandeln sich zwar ständig ineinander um, aber trotzdem ändert sich die Summe aller Energien nicht. Dieses Ergebnis ist von grundsätzlicher Bedeutung. Es zeigt, daß das Weltall sich in ständiger Bewegung und Veränderung befindet. Zwar ändern sich die Formen dieser Bewegung, aber die Summe der dabei auftretenden Energien bleibt gleich. Somit kann nirgendwo etwas aus dem Nichts entstehen oder verloren gehen. Die Welt kann nicht erschaffen worden sein und auch nicht untergehen.

Die Kenntnis des Energieprinzips muß bei der Entwicklung neuer Maschinen angewendet werden. Bei allen mechanischen Vorgängen entsteht zum Beispiel Wärme. Die Umwandlung der Antriebsenergie in Wärme bedeutet aber stets einen Energieverlust, da die Wärme nicht weiter ausgenutzt werden kann. Daher sind unsere Konstrukteure und Techniker bemüht, bei allen Maschinen die Umwandlungen in nicht erwünschte Energieformen herabzusetzen, um so die Antriebsenergie besser auszunutzen. Durch Verbesserung der Lager und entsprechende Schmierung wird die an sich unvermeidbare Reibung weitgehend herabgesetzt. Somit wird die Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie gesenkt. Nach dem Energie-

prinzip bedeutet dies eine Vergrößerung der nutzbaren mechanischen Energie. Aber nicht nur die Konstrukteure, sondern auch unsere Arbeiter haben bei der Entwicklung neuer Maschinen eine verantwortungsvolle Aufgabe zu lösen. Die Fertigung der Maschinenteile muß äußerst gewissenhaft erfolgen, damit der beabsichtigte Erfolg erreicht wird. Beide, Konstrukteur und Arbeiter, müssen somit neben ökonomischen und technischen Kenntnissen vor allen Dingen die Naturgesetze, in diesem Falle das Energieprinzip, beherrschen und anwenden. Eine gute fachliche Ausbildung ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche Arbeit.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Erkläre, weshalb eine schlecht geschmierte und ungenügend geölte Maschine neben dem hohen Materialverschleiß hohe Energieverluste aufweist!
2. Wie vermeidet man beim Bohren von Eisenteilen das übermäßige Erhitzen der Bohrer?
3. Weshalb kann man kein Perpetuum mobile konstruieren?

12. Der Übergang vom festen in den flüssigen Aggregatzustand

1. Der Aufbau fester Körper. Ein fester Körper besitzt bestimmte physikalische Eigenschaften, wie *Härte*, *Elastizität* und *spezifische Wärme*. Diese Eigenschaften sind für die einzelnen Stoffe charakteristisch und für ihre technische Verwendung mehr oder weniger bedeutungsvoll. Es gibt aber für alle festen Stoffe außer den unterschiedlichen Eigenschaften auch gemeinsame Merkmale. So haben alle festen Körper eine bestimmte Form und damit ein bestimmtes Volumen. Sie sind im Vergleich zu Flüssigkeiten und Gasen meist nur wenig zusammendrückbar und häufig schwer zu teilen. Diese Übereinstimmung in bestimmten Eigenschaften muß ähnliche Ursachen haben.

Eine große Gruppe fester Körper ist aus *Kristallen* aufgebaut (Abb. 56/1). In diesen

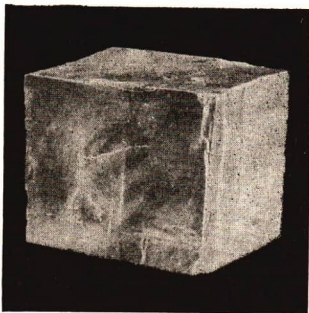


Abb. 56/1. Kochsalzkristall

Kristallen sind die Atome bzw. Ionen regelmäßig angeordnet. Zur Veranschaulichung der Lage der Ionen im Kristall kann man sich als Modell mehrere Stücke Maschendraht vorstellen, die dicht hintereinander angeordnet sind (Abb. 57/1 a). An den Kreuzungen würde sich jeweils ein Ion befinden. Denkt man sich die Drahtstücke zwischen den Kreuzungen weg, so entsteht ein *Raumgitter* (Abb. 57/1 b). Der Abstand zwischen den Ionen ist unvorstellbar klein. Beim Kochsalzkristall (NaCl) beträgt dieser

28
Abstand nur $\frac{1}{1000000000}$ mm. Die Ab-

stände der Ionen werden durch elektrische Kräfte aufrecht erhalten, die zwischen den Ionen wirken. Zur Ver-

Abb. 57/1 Raumgitter a) Veranschaulichung durch ein Modell b) schematische Darstellung des Raumgitters eines Kochsalzkristalls

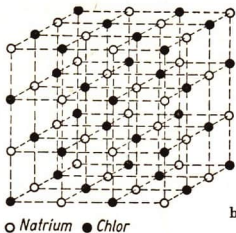
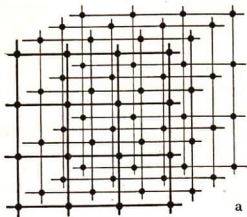


Abb. 57/2 Modell zur Veranschaulichung der Kraftwirkung zwischen den Ionen

ringung oder Vergrößerung dieser Abstände ist somit eine Kraft erforderlich. Auch diese kann man sich durch ein Modell veranschaulichen (Abb. 57/2). Die Schraubenfedern sollen die Kräfte zwischen den Ionen versinnbildlichen. Sie können nur durch eine Kraft verlängert oder verkürzt werden.

Die Anordnung der Ionen im Gitter entspricht den Ecken eines Würfels oder anderer regelmäßiger Körper. Sie kann daher sehr unterschiedlich sein, ist jedoch für einen Stoff meist einheitlich. Diese Kristalle sind nur einige tausendstel Millimeter groß. Daneben gibt es große Kristalle, die sich im allgemeinen aus vielen kleinen Kristallen zusammensetzen.

Die meisten festen Körper haben einen kristallinen Aufbau.

Die Anordnung der Kristalle nennt man *Gefüge*. Aus Untersuchungen des Gefüges mit Hilfe des Mikroskops kann man Schlußfolgerungen über die Eigenschaften des betreffenden Stoffes ziehen. Diese Untersuchungsmethode ist besonders bei Metallen üblich. So ändern sich durch eine Wärmebehandlung des Stahles sein Gefüge und damit seine Eigenschaften. Der richtig gehärtete und angelassene Stahl zeigt unter dem Mikroskop gewisse Unterschiede gegenüber einem nicht richtig behandelten Stahl. Man kann daher mit Hilfe von Mikrountersuchungen feststellen, ob das Härten beziehungsweise Anlassen die richtigen Veränderungen des Gefüges hervorgerufen hat.

2. Das Schmelzen. Wird einem festen Körper Wärmeenergie zugeführt, so steigt die Temperatur des Körpers an. Er dehnt sich aus. Bei einer bestimmten Temperatur ist die Energie der Atome bzw. Moleküle so groß, daß sie sich aus dem Kristallgefüge lösen. Der Körper geht vom festen in den flüssigen Zustand über, er *schmilzt*.

Die meisten festen Stoffe schmelzen bei Temperaturen, die für sie charakteristisch sind. Diese Temperaturen bezeichnet man als *Schmelztemperaturen* oder als *Schmelzpunkte*. Der Schmelzpunkt ist vom Druck abhängig.

In Tabellen werden die Schmelzpunkte meist bei normalem Luftdruck angegeben. Die meisten Stoffe schmelzen bei Drucksteigerung erst bei einer höheren Temperatur. Eine Ausnahme bildet das Eis. Bei erhöhtem Druck sinkt der Schmelzpunkt des

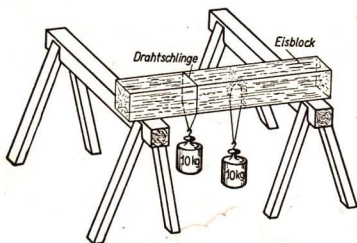


Abb. 58/1. Hindurchgleiten einer Drahtschlinge durch einen Eisblock

Eises. Daraus erklärt sich das Wandern der Gletscher. Unter dem Druck des Eises schmilzt das Eis an der Gletschersohle. Das dabei sich bildende Wasser wirkt als Gleitmittel. Die gleiche Erscheinung tritt unter den Kufen der Bobs, Rodelschlitten und Schlittschuhe auf. Die Schmelzpunktniedrigung zeigt deutlich der in Abb. 58/1 wiedergegebene Versuch. Die um den Eisblock gelegte Drahtschlinge wird langsam durch das Eis hindurchgezogen. Hebt man anschließend den Block an, so zeigt sich, daß beide Teile wieder zusammengefrören sind.

Da die Drahtschlinge nur einen sehr geringen Durchmesser hat, wird durch das Gewichtsstück ein großer Druck auf das Eis ausgeübt. Das Eis schmilzt unterhalb der Drahtschlinge, so daß diese tiefer sinkt. Oberhalb der Drahtschlinge gefriert das Wasser infolge der Aufhebung der Druckerhöhung sofort wieder.

Zum Schmelzen selbst ist eine bestimmte Wärmemenge erforderlich. Sie ist von der Masse und der Art des Stoffes abhängig. Wie Versuche ergaben, hat jeder Stoff eine ihm eigentümliche **Schmelzwärme** (vergleiche hierzu die untenstehende Tabelle).

Die Schmelzwärme eines Stoffes ist eine Materialkonstante. Sie ist zahlenmäßig gleich der Wärmemenge, die zum Schmelzen von 1 kg des betreffenden Stoffes benötigt wird. Sie wird in $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ gemessen.

Während des Schmelzens löst die zugeführte Wärmeenergie zunächst nur das Kristallgefüge auf, verursacht aber noch keine erhöhte Bewegung der Atome und Moleküle. Die Temperatur steigt somit während des Schmelzens nicht an. Erst nach Abschluß des Schmelzvorganges führt die weiter zugeführte Wärme zu einer Temperaturerhöhung. Die Abbildung 59/1 zeigt den Temperaturverlauf beim Übergang des Wassers vom festen in den flüssigen Zustand.

Beim *Schmelzen* geht ein Körper aus dem einen

Schmelzpunkte (bei 750 Torr) und Schmelzwärme einiger Stoffe

Stoff	Schmelzpunkt °C	Schmelzwärme $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$
Aluminium	659	95
Blei	327	6
Eis	0	79,5
Eisen	1535	64
Kupfer	1083	49
Nickel	1455	72
Platin	1774	24
Quecksilber	—39	2,7
Silber	961	25
Wolfram	3380	46
Zink	419	24
Zinn	232	14

Aggregatzustand, dem festen, in einen neuen Aggregatzustand, den flüssigen, über. Die Änderung in der Struktur des Stoffes führt auch zu einer weitgehenden Änderung seiner physikalischen Eigenschaften. Der Stoff hat sich chemisch nicht geändert, ist aber physikalisch ein Stoff mit neuen Qualitäten. Die Ursache dieser Qualitätsänderung ist eine Temperaturerhöhung infolge der Zuführung einer bestimmten Menge (Quantität) an Wärmeenergie, somit eine quantitative Veränderung. Der Schmelzvorgang ist ein Beispiel für einen wichtigen Grundsatz, der überall in der Natur gilt:

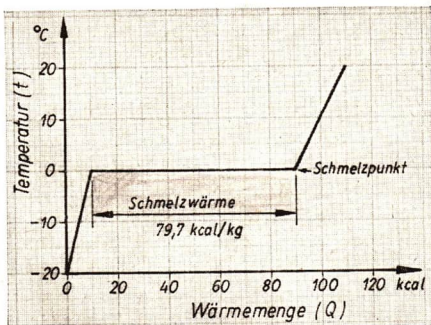


Abb. 59/1. Temperaturverlauf beim Übergang des Wassers vom festen in den flüssigen Zustand. Die Wärmezufuhr ist konstant.

Quantitative Veränderungen führen an bestimmten Punkten zu qualitativen Veränderungen.

Metallegierungen werden durch Mischen geschmolzener Metalle in einem bestimmten Mischungsverhältnis hergestellt. Die *Schmelzpunkte der Legierungen liegen niedriger als der niedrigste Schmelzpunkt der Bestandteile*. In der Elektroindustrie benutzt man zum Löten Lötzinn, eine Legierung, die beispielsweise aus 40 % Zinn (Schmelzpunkt 232°C), 2,7 % Antimon (630°C), 0,16 % Kupfer (1083°C) und Nickel (1455°C) sowie 57,06 % Blei (327°C) besteht. Diese Legierung schmilzt bereits bei 185°C, während die Schmelzpunkte aller Bestandteile höher liegen. Man stellt heute Legierungen mit den verschiedenartigsten Eigenschaften her, die je nach dem Verwendungszweck von Bedeutung sind. Wichtige Legierungen sind die verschiedenen *Stahlsorten*, die *Leichtmetalle*, die *Bronzen* und die *Messinge*.

3. Der flüssige Aggregatzustand. Ein Körper hat als Flüssigkeit einen größeren Energieinhalt als im festen Zustand. Denn beim Schmelzen ist dem Körper Energie zugeführt worden, die noch in ihm enthalten ist. Wie auch die festen Körper haben die Flüssigkeiten neben ihren verschiedenen speziellen Eigenschaften gemeinsame Merkmale. So hat eine Flüssigkeit ein bestimmtes Volumen, aber keine bestimmte Form. Da die Moleküle in einer Flüssigkeit gegeneinander verschiebbar sind, paßt sich eine Flüssigkeit jeder beliebigen Form eines Gefäßes an. Im flüssigen Zustand hat ein Körper im allgemeinen ein etwas größeres Volumen als im festen Zustand. Das Volumen des Wassers ist dagegen um etwa $\frac{1}{11}$ geringer als das Volumen der entsprechenden Menge Eis.

Der flüssige Aggregatzustand stellt gegenüber dem festen Aggregatzustand eine qualitative Veränderung dar. Die Eigenschaften des Körpers haben sich verändert. Die qualitative Änderung entstand durch quantitative Veränderungen, nämlich durch Wärmezufuhr.

4. Das Erstarren. Geht eine Flüssigkeit in den festen Zustand über, so *erstarrt* sie. Dieser Vorgang verläuft in der entgegengesetzten Richtung wie der des Schmelzens. In der folgenden Übersicht sind die einander entsprechenden Begriffe zusammengestellt. Sie geben durch ihren unterschiedlichen Namen die Richtung der Zustandsänderung an.

fest → flüssig	flüssig → fest
Schmelzen	≡ Erstarren
Schmelztemperatur	≡ Erstarrungstemperatur
Schmelzpunkt	≡ Erstarrungspunkt
Schmelzwärme	≡ Erstarrungswärme
(zugeführte Wärme)	(abgegebene Wärme)

Beim Erstarren wird dieselbe Wärmemenge, die beim Schmelzen zugeführt werden mußte, wieder frei.

Nach dem Erstarren nimmt ein Körper im allgemeinen weniger Raum ein als im flüssigen

Zustand. Diese Tatsache muß in den Gießereien beim Herstellen von Gußformen berücksichtigt werden. Das Zusammenziehen des Gußstückes beim Erstarren bezeichnet man als *Schwinden*. Die Gußform muß somit um ein bestimmtes Maß größer sein als das zu gießende Werkstück. Nach dem Erkalten hat dann das Gußstück die erforderlichen Maße. Die nebenstehende Tabelle enthält einige wichtige *Längenschwindmaße*. Darunter versteht man das in Prozent angegebene Schwinden beim Erstarren des Metalls.

*Längenschwindmaße
einiger wichtiger Werkstoffe*

Werkstoff	Schwindmaß in Prozent der Länge
Grauguß	1,0
Stahlguß	2,0
Gußbronze	1,5
Aluminiumlegierungen	1,25

5. Amorphe Stoffe. Eine besondere Stellung nehmen die *amorphen Stoffe* ein. Dazu gehören *Wachs, Glas, Pech* und eine Reihe von *Plasten*, beispielsweise *Ekalit* und *Ekadur*. Diese Stoffe sind aus besonders kleinen Kristallen, sogenannten *Mikrokristallen* aufgebaut. Bei fortschreitender Abkühlung des flüssigen Stoffes werden sie immer zäher und erreichen nur allmählich die Merkmale eines festen Körpers. *Amorphe Stoffe besitzen keinen festen Erstarrungs- und Schmelzpunkt.* Unter langanhaltender Kraftwirkung, zum Beispiel unter der Wirkung der Schwerkraft, verformen sie sich bleibend. So biegt sich ein einseitig eingespannter Glasstab oder eine an den Enden unterstützte Siegellackstange im Laufe einiger Wochen oder Monate durch. Man kann daher amorphe Stoffe, auch wenn sie fest sind, als *starre Flüssigkeiten* bezeichnen.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Was versteht man unter dem kristallinen Aufbau eines festen Körpers?
2. Weshalb steigt während des Schmelzens die Temperatur nicht an?
3. Wie groß ist die Wärmemenge, die beim Erstarren von 320 kg Eisen frei wird?

13. Der Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand

1. Das Verdunsten. In einer Flüssigkeit gibt es immer Moleküle, deren Energie so groß ist, daß sie aus der Flüssigkeit austreten und sich sodann frei im Raum weiterbewegen. Diesen Vorgang bezeichnet man als **Verdunsten**. Eine Flüssigkeit verdunstet oberhalb des Schmelzpunktes bei jeder Temperatur. Sie verdunstet um so stärker, je näher die Temperatur dem Siedepunkt der betreffenden Flüssigkeit und je größer die Oberfläche ist. Außerdem ist die Verdunstung davon abhängig, wie schnell der entstandene Dampf abgeführt wird. Daher trocknet Wäsche bei Wind schneller als bei Windstille. Die Energie für das Lösen der Moleküle aus der Flüssigkeit wird in Form von Wärme der Umgebung entzogen. Benetzt man beispielsweise die Hand mit einer stark verdunstenden Flüssigkeit wie Äther, so spürt man auf der Hand eine starke Abkühlung. Das Schwitzen führt zu einer notwendigen Abkühlung des Körpers.

2. Das Sieden. Erfolgt der Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand im gesamten Körper, so bezeichnet man diesen Vorgang als **Sieden**. Die freien Gasmoleküle steigen meist in größeren Gruppen, als Blasen sichtbar, durch die Flüssigkeit an die Oberfläche. Das Sieden beginnt bei einer für jede Flüssigkeit charakteristischen Temperatur, der *Siedetemperatur*. Diese Temperatur wird auch als *Siedepunkt* bezeichnet.

Jeder flüssige Körper siedet bei einer für ihn charakteristischen Temperatur, dem Siedepunkt.

Auch beim Sieden wird durch die Wärmezufuhr, das heißt durch die Änderung einer Quantität, eine Änderung der Qualität erreicht.

Ebenso wie der Schmelzpunkt ist auch der Siedepunkt vom Druck abhängig. Bei Druckerhöhung steigt der Siedepunkt. Daher wird der Siedepunkt meist für den normalen Luftdruck (760 Torr) angegeben.

Gase, die beim Verdunsten und beim Sieden mit ihrer Flüssigkeit in Verbindung stehen, werden mit **Dampf** bezeichnet. Im allgemeinen Sprachgebrauch versteht man unter Dampf „Wasserdampf“, Wolken und Nebel. Hierbei handelt es sich aber um keinen Dampf, sondern um Zusammenballungen von vielen kleinen Wassertropfchen. Wasserdampf selbst ist nämlich nicht sichtbar.

Wie zum Schmelzen wird auch zum Verdampfen Wärme gebraucht. Sie ist zum Lösen der Moleküle aus ihrem Zusammenhalt innerhalb der Flüssigkeit erforderlich. Ein Maß für die zum Verdampfen notwendige Wärmemenge ist die **Verdampfungswärme**. Sie hat ebenso wie die Schmelzwärme für jeden Stoff einen bestimmten Wert.

Die Verdampfungswärme ist eine Materialkonstante. Sie ist zahlenmäßig gleich der Wärmemenge, die zum Verdampfen von 1 kg Flüssigkeit benötigt wird. Die Verdampfungswärme wird in $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ gemessen.

Wird Dampf wieder unter die Siedetemperatur abgekühlt, so *kondensiert* er. Dem Siedepunkt entspricht bei dem gleichen Stoff der *Verflüssigungspunkt*, auch *Kondensationspunkt* genannt. Den sich frei bewegenden Molekülen wird Energie entzogen. Infolgedessen rücken sie wieder dichter zusammen und bilden schließlich den flüssigen Zustand. Ein Maß für die beim Übergang vom gasförmigen in den flüssigen Zustand freiwerdende Wärmemenge ist die **Kondensationswärme**, sie ist ebenso groß wie die Verdampfungswärme.

Sieden und Kondensieren sind zwei sich entsprechende Vorgänge, die aber in entgegengesetzter Richtung verlaufen. In der folgenden Übersicht sind die einander entsprechenden Begriffe zusammengestellt. Aus dem Namen ist die Richtung zu entnehmen, in der die Zustandsänderung abläuft.

flüssig → gasförmig	gasförmig → flüssig
Verdampfen	≙ Verflüssigen bzw. Kondensieren
Siedetemperatur	≙ Verflüssigungstemperatur bzw. Kondensationstemperatur
Siedepunkt	≙ Verflüssigungs- bzw. Kondensationspunkt
Verdampfungswärme (zugeführte Wärme)	≙ Kondensationswärme (abgegebene Wärme)

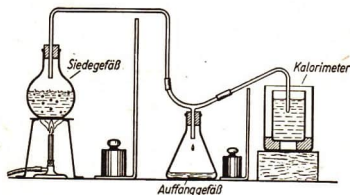


Abb. 62/1. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Kondensationswärme

Die Verdampfungswärme kann durch das Messen der ihr gleich großen Kondensationswärme bestimmt werden. In der in Abbildung 62/1 wiedergegebenen Versuchsanordnung wird in eine bestimmte Wassermenge Dampf eingeleitet, der eine Temperatur von 100°C hat. Er kondensiert in dem kalten Wasser. Die Wassermenge nimmt infolgedessen zu. Ebenso erhöht sich ihre Temperatur. In der Versuchsanordnung ist ein Auffanggefäß eingeschaltet, damit kein kondensierter

Wasserdampf in das Becherglas gelangen und dadurch die Ergebnisse beeinflussen kann. Für die Ermittlung der Temperatur werden folgende Größen gemessen:

- die Masse des kalten und des erwärmten Wassers,
- die Temperatur des kalten Wassers und
- die Mischungstemperatur.

Nach dem Grundgesetz des Wärmeaustausches ist die vom Dampf abgegebene Wärmemenge (Q_1) ebenso groß wie die vom Wasser (Q_2) und vom Gefäß (Q_3) aufgenommene Wärmemenge.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3.$$

Auf Grund dieser Beziehung kann aus den Versuchsergebnissen die Kondensationswärme berechnet werden.

Während des Siedens wird die gesamte zugeführte Wärmemenge zum Verdampfen verwendet, so daß zunächst die Eigenbewegung der Moleküle nicht größer wird und damit die Temperatur nicht ansteigt. Der Temperaturverlauf ähnelt dem des Schmelzens (Abb. 63/1). In der nebenstehenden Tabelle sind die Siedepunkte und die Verdampfungswärme einiger Stoffe zusammengestellt.

Siedepunkte (bei 760 Torr) und Verdampfungswärme einiger Stoffe

Stoff	Siedepunkt °C	Verdampfungswärme $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$
Äther	34,6	86
Alkohol	78,5	201
Ammoniak	— 33,5	327
Benzol	80,2	94
Luft	—193	47
Quecksilber	357	72
Sauerstoff	—183	51
Schwefeldioxyd	— 10	96
Stickstoff	—195,8	47,6
Wasser	100	539
Wasserstoff	—252,8	110

3. Die Verdampfungswärme des Wassers. In der Technik wird die Verdampfungswärme des Wassers weitgehend ausgenutzt. Mit Hilfe des Wasserdampfes lassen sich auch bei geringen Dampfmen- gen große Energiemengen übertragen. In Wärme- kraftanlagen wird der Dampf im Kondensator zu Wasser kondensiert. Das Kondenswasser nimmt dabei große Wärmemengen auf und erwärmt sich infolgedessen stark. Dieses Kühlwasser wird, soweit es irgend möglich ist, zum Heizen verwendet. Da

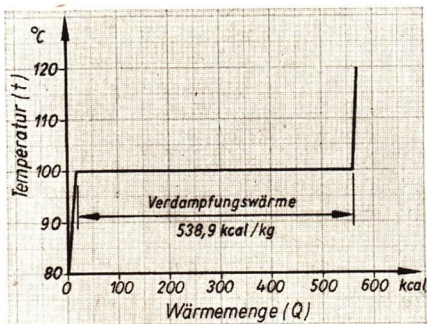


Abb. 63/1. Temperaturverlauf beim Übergang von flüssigen in den gasförmigen Zustand

jedoch der Kühlwasserverbrauch sehr groß ist, wird meist einem Teil des Kühlwassers die Wärme in Kühltürmen entzogen (vgl. S. 51).

4. Die Destillation. In der chemischen Industrie wird häufig die Tatsache ausgenutzt, daß die Siedepunkte verschiedener Stoffe unterschiedlich sind. Man kann so aus einem Gemisch zwei Stoffe voneinander trennen, indem man das Gemisch

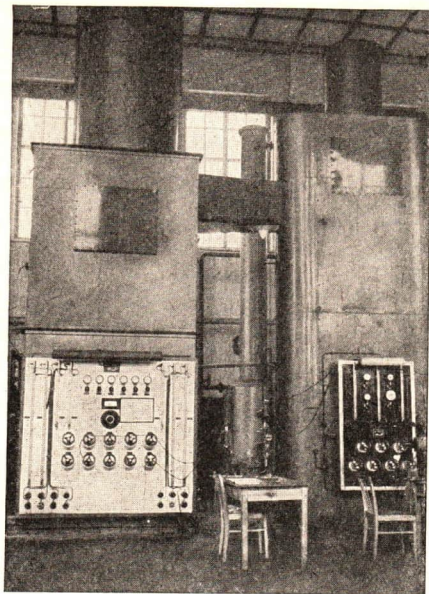


Abb. 64/1. Anlagen zur fraktionierten Destillation von Luft

Herstellung von Düngemitteln verwendet. So besitzt unser großer volkseigener Betrieb Leuna-Werke *Walter Ulbricht* große Anlagen zur *fraktionierten Destillation der Luft* (Abb. 64/1). Der bei der fraktionierten Destillation gewonnene Sauerstoff wird meist in Stahlflaschen gefüllt und zum autogenen Schweißen und Schneiden verwendet (vgl. S. 28).

*Die Hauptfraktionen des Erdöls
und ihre Siedepunkte*

Fraktionen	Sieden (je nach Art des Erdöls) °C
Petroläther	40—70
Leichtbenzin	60—110
Schwerbenzin	100—180
Brennpetroleum	150—300
Gasöl	300—350
Schmieröle	über 350

auf die Siedetemperatur des einen Stoffes erwärmt. Dieser verdampft, während der andere noch im flüssigen Zustand verbleibt. Man bezeichnet dieses Verfahren als *fraktionierte Destillation*. Zur Gewinnung von Sauerstoff beziehungsweise Stickstoff aus Luft wird die Luft verflüssigt, was bei etwa -200°C erfolgt. Anschließend wird das Gemisch wieder verdampft, wobei zunächst der Stickstoff bei $-195,8^{\circ}\text{C}$ siedet, während der Sauerstoff noch im flüssigen Zustand zurückbleibt. Solange Stickstoff vorhanden ist, bleibt die Temperatur auf $-195,8^{\circ}\text{C}$ stehen. Sobald die Temperatur ansteigt, ist zu entnehmen, daß der Stickstoff verdampft ist.

Der auf diese Weise gewonnene Stickstoff wird neben anderen Verwendungszwecken in großem Umfang zur

Die fraktionierte Destillation wird auch zur Aufarbeitung des Erdöls verwendet. Die einzelnen Destillationsprodukte, *Fractionen* genannt, entweichen beim Erreichen ihres Siedepunktes. In der Tabelle auf S. 64 sind die einzelnen Fractionen und ihre Siedepunkte angegeben, die bei der *fraktionierten Destillation des Erdöls* auftreten.

5. Die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Druck. Während bei Temperaturen unterhalb des Siedepunktes nur ein geringer Teil der Moleküle die notwendige Energie hat, um die Flüssigkeit zu verlassen, ist beim Erreichen der Siedetemperatur die Bewegungsenergie der Moleküle so groß, daß sie in großer Anzahl aus der Flüssigkeit austreten. Der

Zusammengehörige Werte von Druck und Siedetemperatur des Wassers

Druck at	Temperatur °C
0,00626	0
0,0238	20
0,0752	40
0,23	60
0,483	80
1,033	100
2,02	120
3,69	140
6,30	160
10,23	180
15,86	200
23,7	220
34,2	240
47,9	260
65,4	280
87,6	300
115,2	320
149,0	340

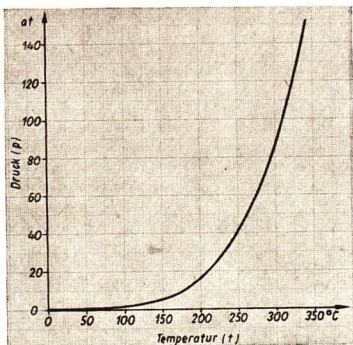


Abb. 65/1. Abhängigkeit des Siedepunktes des Wassers vom Druck

Dampfdruck ist dann größer als der auf der Flüssigkeit lastende Luftdruck. Folglich ist die Siedetemperatur dann erreicht, wenn der Dampfdruck der Flüssigkeit gleich dem auf ihr lastenden Druck ist. Somit siedet eine Flüssigkeit bei einem geringen Druck schon bei einer niedrigeren Temperatur als ihrem normalen Siedepunkt. Andererseits steigt mit der Druckerhöhung auch der Siedepunkt an. Infolgedessen gehört zu jedem Druck eine bestimmte Siedetemperatur.

Der Siedepunkt einer Flüssigkeit ist vom Druck abhängig. Je größer der Druck ist, um so höher ist die Siedetemperatur.

In der nebenstehenden Tabelle und in dem in Abbildung 65/1 wiedergegebenen Diagramm ist die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Druck dargestellt.

6. Der Autoklav. In der chemischen Produktion müssen häufig Lösungen und andere Stoffe zur Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit erwärmt werden. Dabei wird oft der Siedepunkt einzelner Stoffe überschritten. Um trotzdem ein Sieden zu

vermeiden, muß man die Flüssigkeit unter erhöhtem Druck erwärmen. Dazu verwendet man abgeschlossene Metallgefäße, sogenannte *Autoklaven*. Diese Autoklaven werden nicht vollständig mit Flüssigkeit gefüllt, sondern über der Flüssigkeit verbleibt ein Dampfraum. Der Autoklav wird dicht verschlossen. Druck und Temperatur werden mit Hilfe von Meßgeräten ständig kontrolliert. Bei Erhöhung der Temperatur nimmt die Dampfbildung in dem Autoklaven zu, wodurch der Druck ansteigt. Infolgedessen steigt auch der Siedepunkt. So kann die Flüssigkeit auf die erforderliche Temperatur erwärmt werden, ohne daß sie siedet. Der erhöhte Druck ist auf die chemische Reaktion selbst im allgemeinen ohne Einfluß. Die zugeführte Wärme dient ausschließlich zur Erhöhung der Reaktionstemperatur.

7. Die Sublimation. Einige feste Stoffe, wie Jod, Salmiak und Kohlendioxidschnee gehen beim Erwärmen vom festen Zustand unmittelbar in den gasförmigen Zustand über. Diesen Vorgang bezeichnet man als **Sublimation**. Die hierfür erforderliche Wärme wird der Umgebung entzogen.

8. Gesättigte und ungesättigte Dämpfe. Von jeder Flüssigkeit verdunstet ein Teil und füllt den Raum über der Flüssigkeit mit Dampf. Dieser Dampf übt über einer Flüssigkeit einen der Temperatur entsprechenden Druck aus. Verkleinert man das Dampfvolument, so kondensiert ein Teil des Dampfes wieder, so daß der Druck konstant bleibt. Umgekehrt verdampfen beim Vergrößern des Volumens weitere Teile der Flüssigkeit, so daß auch hier keine Druckänderung eintritt. Bei jeder Temperatur ist somit eine ganz bestimmte Dampfmenge vorhanden. Verdampft keine Flüssigkeit mehr, so sagt man, *der Dampf ist gesättigt*.

Der mit einer Flüssigkeit in Verbindung stehende Dampf ist stets gesättigt. Den dabei wirkenden Druck bezeichnet man als Sättigungsdruck. Er ist von der vorhandenen Flüssigkeitsmenge und von der Größe des Dampfdruckes unabhängig.

Wird der mit der Flüssigkeit und dem gesättigten Dampf gefüllte abgeschlossene Raum, beispielsweise ein Dampfkessel, erwärmt, so erhöht sich die Bewegungsenergie der Moleküle. Infolgedessen verdampft ein weiterer Teil der Flüssigkeit, so daß der Sättigungsdruck ansteigt.

Der Sättigungsdruck steigt mit zunehmender Temperatur.

Beim Sieden kommt es zu einem Aufwallen der Wasseroberfläche, so daß vom Dampf auch Wasserteilchen in den Dampfraum mitgerissen werden. Dampf, der Wasserdampf enthält, wird als *Naßdampf* bezeichnet. Er hat wegen der mitgerissenen Wasserteilchen einen geringeren Energieinhalt als ohne diese Wassertröpfchen. Diesen Wasserteilchen fehlt die große Verdampfungswärme. Der Naßdampf läßt sich auch bei Dampferzeugungsanlagen mit großer Wasseroberfläche, die beim Sieden wesentlich ruhiger ist, nicht vollständig vermeiden. Durch weitere Wärmezufuhr müssen die noch vorhandenen Wasserteilchen verdampft werden. Man bezeichnet diesen Vorgang als *Trocknung des Naßdampfes*. Diesen getrockneten Dampf nennt man *Sattdampf*.

Der Sattdampf kühlt sich in den Leitungen auch bei gut isolierten Rohren etwas ab. Ein Teil des trockenen gesättigten Dampfes kondensiert somit wieder zu Wasser. Das Abkühlen und die damit verbundenen Energieverluste können durch gute

Isolation der Leitungen und durch möglichst kurze Zuleitungen stark herabgesetzt werden, lassen sich jedoch nicht restlos vermeiden.

Erhitzt man nachträglich noch den Sattedampf, das heißt *überhitzt* man ihn, so steigt die Temperatur und mit ihr der Druck an. Kühlt sich nun dieser überhitzte Dampf, der *Heißdampf*, auf dem Transport etwas ab, so kondensiert zunächst kein Dampf, da zuerst die durch Überhitzung zugeführte Wärme abgegeben wird. Den Heißdampf nennt man auch *ungesättigten Dampf*, da beim Erwärmen keine zusätzliche Verdampfung von Flüssigkeit erfolgt. Dieser Heißdampf verhält sich im Gegensatz zum Sattedampf praktisch wie ein ideales Gas. Dadurch hat der Heißdampf gegenüber dem gesättigten Dampf wesentliche Vorteile und wird in allen modernen Dampfkraftanlagen verwendet.

9. Fragen und Aufgaben:

1. In einer Dampfheizungsanlage werden täglich 3000 l Wasser bei normalem Luftdruck verdampft. Die Anfangstemperatur des Wassers beträgt 13 °C.
 - a) Welche Wärmemenge ist dazu nötig?
 - b) Wieviel kg Braunkohlenbriketts werden benötigt, wenn 60 % der erzeugten Wärmemenge für die Dampfbildung wirksam werden?
 - c) Wie groß ist die Wärmemenge, die von diesem Dampf beim Kondensieren abgegeben wird?
2. Welche physikalische Tatsache wird bei der fraktionierten Destillation ausgenutzt?
3. Erkläre, weshalb man den Sattedampf zu Heißdampf überhitzt!

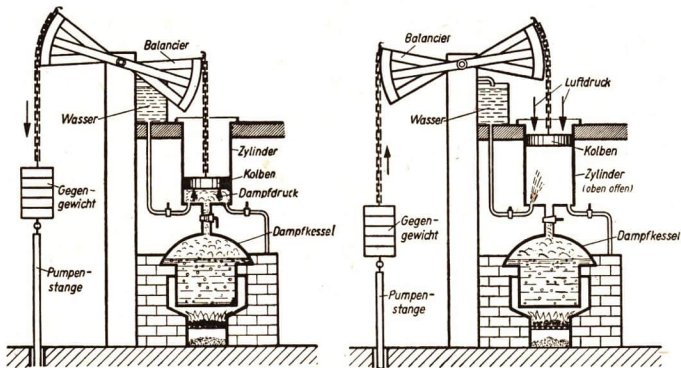
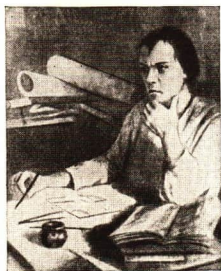


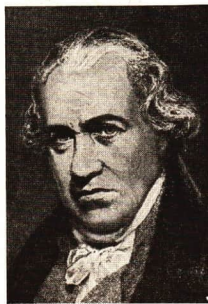
Abb. 69/1. Dampfmaschine nach Newcomen



18. Jahrhunderts der mechanische Webstuhl erfunden worden war, brauchte man neue Antriebsmaschinen. Die neuen Webstühle konnten nicht mehr von den Menschen unmittelbar in Bewegung gesetzt werden. Auch zum Antrieb der Pumpen in den Bergwerken von England wurden Antriebsmaschinen gebraucht, dasonst das Sickerwasser nicht mehr schnell genug ausgepumpt werden konnte. So entwickelte *James Watt* in jahrelanger Arbeit eine

Iwan Iwanowitsch
Polsunow
(1728 bis 1766)
(nach einem Gemälde
von Dawidowa)

leistungsfähige Dampfmaschine. Sie lief 1782 zum ersten Mal. Bei dieser Maschine wirkte der Dampf im Wechsel auf beide Seiten des Kolbens und bewegte den Kolben dadurch hin und her. Für diese Maschine entwickelte *Watt* eine selbsttätig arbeitende Steuerung, die die Dampfzuführung regelte. Infolge des damals bereits erreichten Entwicklungsstandes der Technik konnte der Dampfraum gut abgedichtet werden. Dies war eine der Voraussetzungen für eine bessere Ausnutzung des Dampfes und damit für eine höhere Leistung der Maschine.



James Watt (1736 bis 1813)

Infolge der steigenden Industrialisierung und des damit verbundenen höheren Kohlenverbrauchs reichte der Transport mit Hilfe von Pferdebahnen und sonstigen Fuhrwerken nicht mehr aus. Man versuchte daher Dampfmaschinen zum Antreiben von Fahrzeugen zu verwenden. Der englische Maschinenbauer *George Stephenson* konstruierte 1814 die erste brauchbare Lokomotive, wobei die von *James Watt* entwickelte Dampfmaschine als Antriebsmaschine verwendet wurde. Diese erste Lokomotive wurde in einem englischen Steinkohlenbergwerk eingesetzt. Erst 1825 erreichte *Stephenson*, daß die von ihm entwickelte Lokomotive auf einer 15 km langen Schienenbahn zwischen Stockton und Darlington verkehrte (Abb. 70/1). Auf dieser Bahn bestand außer den Kohlentransporten erstmalig auch ein regelmäßiger Personenverkehr. Auf Grund des erfolgreichen Betriebes dieser Bahn wurden sehr bald weitere Strecken in Betrieb genommen. Auf der rund 50 km langen Strecke von Liverpool nach Manchester erreichte 1830 Stephensons Maschine ohne Zuglast bereits die beachtliche Geschwindigkeit von $48 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Auch in anderen Ländern wurden nun auf Grund der Erfahrungen in England Eisenbahnlinien in Betrieb genommen. In Deutschland wurde im Jahre 1835 die sieben Kilometer lange Eisenbahnstrecke zwischen Nürnberg und Fürth dem Verkehr übergeben (Abb. 71/1). Die erste Fernbahnlinie in Deutschland war die 120 Kilometer

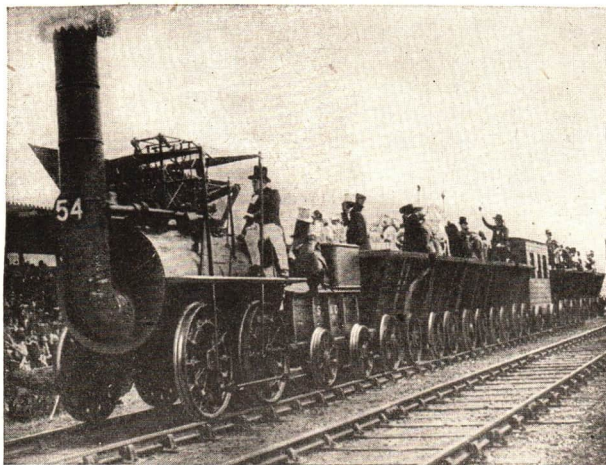


Abb. 70/1. Die erste Lokomotive der Stockton-Darlington-Bahn. Nach alten Unterlagen anlässlich des 100jährigen Jubiläums rekonstruierte Maschine



Abb. 71/1. Der erste Dampfzug in Deutschland

lange Strecke von Leipzig nach Dresden, die 1839 in Betrieb genommen wurde. Für diesen Verkehr wurde die erste deutsche Lokomotive „Saxonia“ von Professor Schubert entwickelt. Von 1842 bis 1851 wurde die Bahnlinie von St. Petersburg, dem heutigen Leningrad, nach Moskau angelegt. Mit einer Länge von 644 km war sie damals die längste Strecke der Welt. Heute führt die längste durchgehend befahrene Eisenbahnstrecke von Moskau nach dem etwa 9000 km entfernten Peking.

3. Der Aufbau und die Wirkungsweise einer Dampflokomotive. In der *Brennkammer* einer Lokomotive (Abb. 72/1), auch *Feuerbuche* genannt, wird die Kohle verbrannt (Abb. 72/2). Die heißen Verbrennungsgase strömen durch eine größere Anzahl parallel liegender Rohre, die vollständig von Wasser umgeben sind. Durch die unmittelbare Berührung der Rohre mit dem Wasser wird die Wärme der Verbrennungsgase gut an dieses abgegeben. Die Gase entweichen schließlich aus der *Rauchkammer* durch den *Schornstein* ins Freie.

Der im Kessel entstandene Naßdampf sammelt sich im *Dampfdom*. Er wird nun in einer besonderen Rohranlage, dem *Überhitzer*, mit Hilfe der heißen Rauchgase weiter erwärmt und getrocknet (Abb. 72/3). Der Dampf wird dadurch auf $300 \dots 400^{\circ}\text{C}$ überhitzt, wobei ein Kesseldruck von 13 at bis 17 at entsteht. Der Heißdampf verhält sich annähernd wie ein ideales Gas (vgl. S. 40). Bei gleichbleibendem Volumen nimmt der Dampf bei Erwärmung der Druck zu. Mit dem größeren Druck wird auch das Arbeitsvermögen des Dampfes größer. Die Verwendung des Heißdampfes ist auch insofern von Vorteil, als er bei nicht allzu großer Abkühlung nicht kondensiert. Durch die Verwendung von Heißdampf spart man gegenüber Naßdampf insgesamt bis zu 30 % Dampf und bis zu 20 % Kohle ein. So werden beispielsweise bei der Fahrt eines D-Zuges von Berlin nach Leipzig etwa 700 kg Kohle weniger verbraucht!

In die Rauchkammer ist ein *Blasrohr* mit der Öffnung zum Schornstein eingebaut. Durch dieses Rohr strömt der Dampf noch mit einem Überdruck von 1,2 atü bis 1,3 atü aus den Zylindern, nachdem er Arbeit verrichtet hat. Infolgedessen entsteht ein Sog, durch den die Verbrennungsgase aus dem Schornstein gerissen werden. Mithin entsteht in der Feuerbuche ein Unterdruck, so daß Frischluft nachströmt. Je mehr

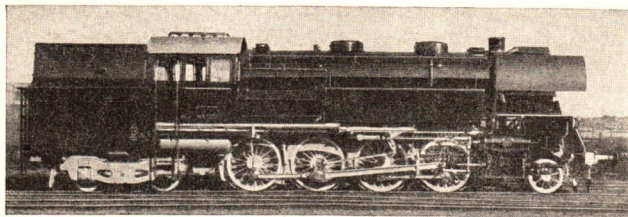


Abb. 72/1. Lokomotive der Baureihe 65¹⁰, hergestellt im VEB Lokomotivbau Elektrotechnische Werke Hans Beimler, Hennigsdorf bei Berlin

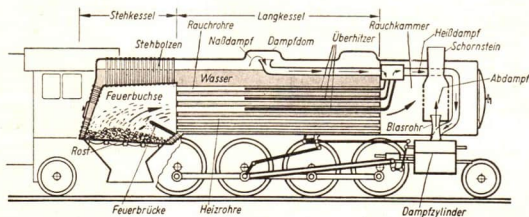


Abb. 72/2. Schnitt durch einen Lokomotivkessel mit Blasrohr

Dampf die Lokomotive bei Berg- oder Eilfahrten verbraucht, um so mehr Dampf entströmt dem Blasrohr. Infolgedessen vergrößert sich der Sog und damit der Unterdruck in der Brennkammer. Die Luftzufuhr wird erhöht. Diese ist für eine stärkere Verbrennung notwendig, damit entsprechend dem größeren Verbrauch mehr Dampf erzeugt werden kann. Bei geringerem Dampfverbrauch wird der Sog und damit die Luftzufuhr geringer. So steuert diese Vorrichtung selbsttätig die Menge der Verbrennungsluft.

b) Die Dampfmaschine. Jede Lokomotive ist mit mindestens zwei Zylindern ausgerüstet, in denen je ein Kolben durch den sich ausdehnenden Dampf bewegt wird. Den Weg des Kolbens in einer Richtung bezeichnet man als *Kolbenhub* (Abb. 73/1). Die beiden Umkehrprodukte des Kolbens werden *Totpunkte* genannt.

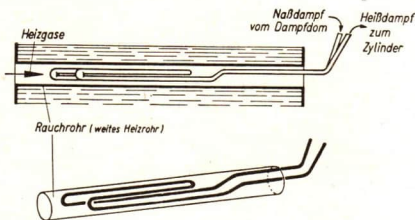


Abb. 72/3. Überhitzerschlange in einem Rauchrohr

The diagram shows a cross-section of a piston and crank mechanism. The piston is on the left, with a connecting rod extending to the right. The top and bottom positions of the piston are marked with vertical dashed lines and labeled 'Totpunkte' (dead points). The distance between these two points is indicated by a horizontal double-headed arrow labeled 'Kolbenhub' (piston stroke).

Abb. 73/1. Schematische Darstellung eines Zylinders

Die Dampfmaschinen der Lokomotive können als Vollampfmaschine und als Expansionsmaschine arbeiten. Beim Anfahren einer Lokomotive wirken die Dampfmaschinen als Vollampfmaschinen, da diese eine größere Leistung als Expansionsmaschinen haben. Sobald aber eine bestimmte Geschwindigkeit erreicht ist, wird die Zylinderfüllung so verändert, daß die Dampfmaschinen als Expansionsmaschinen arbeiten.

$$A = P \cdot s = 45 \text{ kpm.}$$

Diese Arbeit wird in dem Diagramm der Abbildung 73/2 durch die Fläche mit den Seiten $P = 15 \text{ kp}$ und $s = 3 \text{ m}$ veranschaulicht. Ändert die Kraft ihren Wert, so erhält man zum Beispiel das in Abbildung 73/3 wiedergegebene Diagramm. Die Gesamtfläche ist wiederum ein Maß für die gesamte Arbeit.

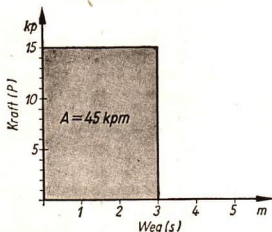


Abb. 73/2. Arbeitsdiagramm bei konstanter Kraft

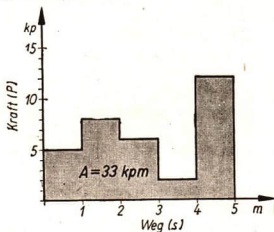


Abb. 73/3. Arbeitsdiagramm bei veränderlicher Kraft

Zur graphischen Bestimmung der Arbeit einer Dampfmaschine benutzt man einen *Indikator*, der an die Dampfmaschine montiert werden kann (Abb. 74/1). Er besteht aus dem Meßzylinder mit dem Meßkolben und der Schreibtrommel (Abb. 74/2). Der Meßzylinder steht durch ein Rohr mit dem Dampfzylinder der Maschine in Verbindung. Unter dem Kolben des Indikators herrscht dadurch in jedem Augenblick der gleiche Dampfdruck wie im Dampfzylinder. Je nach der Größe dieses Druckes wird der Kolben verschoben. Als Gegenkraft ist oberhalb des Meßkolbens eine Druckfeder angebracht. Sie wird von dem sich hebenden Meßkolben zusammengedrückt und dehnt sich wieder aus, sobald der Dampfdruck im Meßzylinder sinkt.

Mit dem Kolben ist ein Schreibstift verbunden, der die Bewegung des Kolbens und damit die Größe des Dampfdruckes auf der Schreibtrommel aufzeichnet. Gleichzeitig wird die Trommel mit Hilfe einer mit dem Kolben des Dampfzylinders verbundenen Schnur gedreht. Dadurch zeichnet der Stift den zeitlichen

Verlauf der Bewegung des Dampfkolbens und damit das jeweilige Dampf-volumen auf. Die Rückbewegung erfolgt durch eine in die Schreibtrommel eingebaute Feder.

Da nun beide Größen, der Dampfdruck und das Dampf-volumen, gleichzeitig aufgezeichnet werden, entsteht auf der Schreibtrommel eine geschlossene Kurve. Die

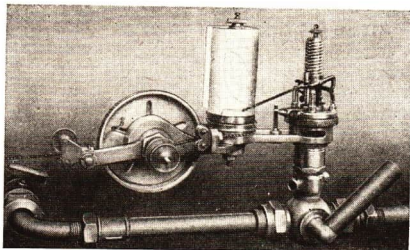


Abb. 74/1. Indikator

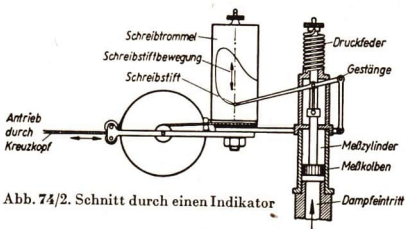


Abb. 74/2. Schnitt durch einen Indikator

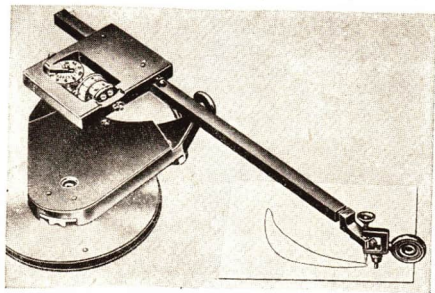


Abb. 74/3. Planimeter

von der Fläche eingeschlossene Kurve ist ein Maß für das Produkt $p \cdot V$. Der Druck ist der Quotient aus der Kraft P und der Fläche F des Kolbens und das Volumen ist das Produkt aus der Kolbenfläche F und dem Kolbenweg s . Somit gilt

$$p \cdot V = \frac{P}{F} \cdot F \cdot s = P \cdot s.$$

Die von dem Indikator aufgezeichnete Fläche ist ein Maß für die Arbeit, das heißt, der Indikator hat das **Arbeitsdiagramm** der Dampfmaschine bei einem Kolbenhub aufgezeichnet. Die Größe der Fläche und damit die Größe der Arbeit kann mit Hilfe eines Flächenmeßgerätes, eines *Planimeters*, oder rechnerisch ermittelt werden (Abb. 74/3).

An Hand des Arbeitsdiagramms kann man die Steuerung der Ventile sowie die Verdichtung im Dampfzylinder überprüfen und gegebenenfalls berichtigen.

Vergleicht man die Arbeitsdiagramme einer Vollampfmaschine und einer Expansionsmaschine miteinander, so ist die von der Kurve begrenzte Fläche bei der Vollampfmaschine (Abb. 75/1) größer als bei der Expansionsmaschine (Abb. 75/2). Trotzdem arbeitet die Expansionsmaschine wesentlich wirtschaftlicher, da bei gleicher Leistung eine geringere Menge an Dampf verbraucht wird.

5. Die Kraftübertragungseinrichtung der Dampfmaschine. Auf Grund der Energie des Dampfes wird der Kolben im Zylinder bewegt. Diese geradlinige Bewegung des Kolbens muß aber in eine Drehbewegung umgewandelt werden, denn nur diese Bewegungsart eignet sich zum Antrieb von Lokomotiven, Stromerzeugern und vielen anderen Maschinen.

Die am Kolben befestigte *Kolbenstange* überträgt die geradlinige Bewegung auf den *Kreuzkopf* (Abb. 76/1), der auf einer besonderen Führungsschiene gleitet. Am Kreuzkopf ist die *Treibstange*, auch *Pleuelstange* genannt, drehbar gelagert. Sie überträgt die geradlinige Bewegung der Kolbenstange auf das *Treibrad*. Das Ende der Treibstange ist durch den *Treibzapfen* mit der Treibkurbel verbunden. Mit Hilfe der Treibkurbel wird die geradlinige Bewegung in eine rotierende Bewegung umgeformt.

Liegen Treibkurbel und Treibstange in einer Richtung, so befindet sich das Triebwerk in der *Totpunktstellung* (Abb. 77/1). Aus dieser Stellung heraus kann eine Dampfmaschine nicht in Bewegung gesetzt werden. Da jedoch die Lokomotive mit mindestens zwei Dampfmaschinen ausgestattet ist, deren Treibkurbeln um 90°

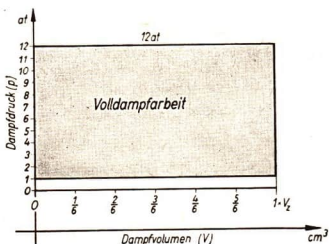


Abb. 75/1. Arbeitsdiagramm einer Vollampfmaschine

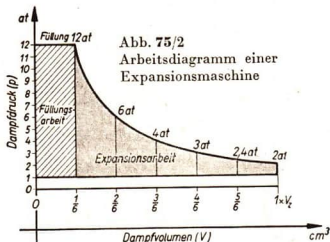


Abb. 75/2. Arbeitsdiagramm einer Expansionsmaschine

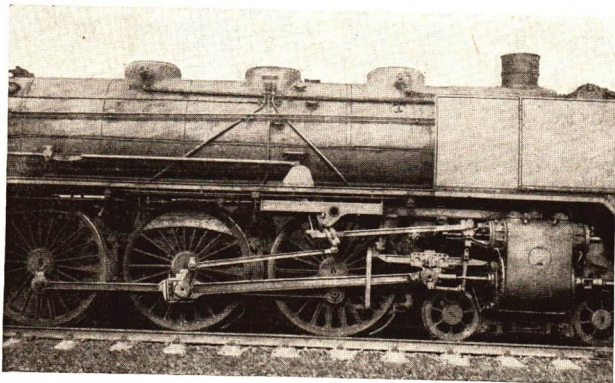
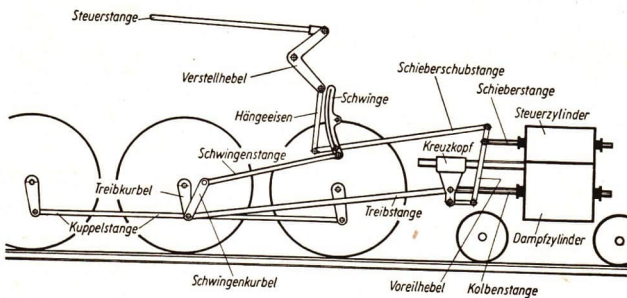


Abb. 76/1. Das Triebwerk einer Lokomotive
a) Ansicht



b) schematische Darstellung

gegeneinander versetzt sind, kann sie bei jeder Stellung der Kolben anfahren (Abb. 77/2). Befindet sich die eine Dampfmaschine der Lokomotive in der Totpunktstellung, so wird zur gleichen Zeit durch die andere Dampfmaschine eine große Kraft auf das Triebwerk ausgeübt. Wie die Abbildung 77/2 zeigt, wirkt die Kraft bei diesem Triebwerk am langen Hebelarm.

In den Totpunktstellungen ist die Geschwindigkeit des Kolbens auch bei einer in Betrieb befindlichen Maschine Null. Damit sie sich über diese Stellung hinaus bewegt, sind ortsfeste Maschinen mit einem großen Schwungrad ausgestattet, das häufig als Riemenscheibe ausgebildet ist. Dieses Schwungrad wird zunächst von der Maschine angetrieben und erhält dadurch kinetische Energie. Auf Grund dieser Energie kann das Schwungrad die Maschine weiterbewegen, wenn sie sich in einer der beiden Totpunktstellungen befindet. Bei den Lokomotiven wird dieses Schwungrad durch die Räder ersetzt. Die kinetische Energie der Räder wird noch um die kinetische Energie der fahrenden Lokomotive beziehungsweise des ganzen Zuges wesentlich vergrößert. Durch die exzentrische Lagerung des Kurbelzapfens hat das Treibrad eine ungleichmäßige Massenverteilung. Aus diesem Grunde haben Treibräder auf der dem Kurbelzapfen entgegengesetzten gelegenen Seite einen Massenausgleich (vgl. Abb. 76/1a). Man erreicht dadurch ein gleichmäßigeres Arbeiten der Dampfmaschine.

Bei dem Antrieb der Lokomotive handelt es

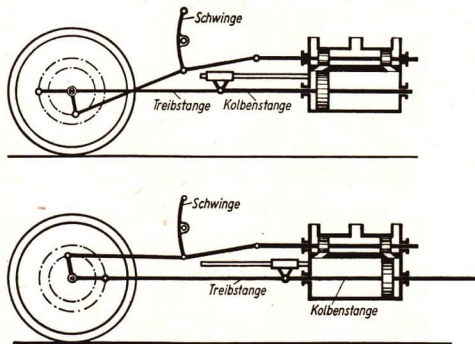


Abb. 77/1. Triebwerk einer Lokomotive in den beiden Totpunktstellungen. Der Kolben steht jeweils in der äußersten Stellung.

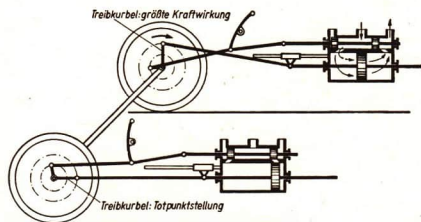
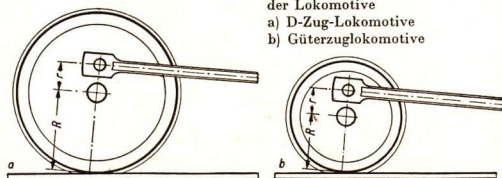


Abb. 77/2. Stellung der Treibkurbeln bei einer mit zwei Dampfmaschinen ausgerüsteten Lokomotive

Abb. 77/3. Kurbeltrieb bei der Lokomotive

- a) D-Zug-Lokomotive
- b) Güterzuglokomotive



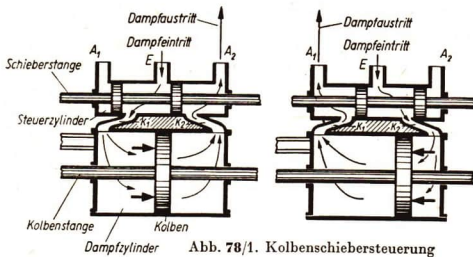


Abb. 78/1. Kolbenschiebersteuerung

sich um einen **Kurbeltrieb**, wobei die Kraft am kleineren Radius angreift (Abb. 77/3). Man erreicht auf diese Weise eine Erhöhung der Geschwindigkeit. Dies ist insbesondere bei Lokomotiven für D-Züge wichtig. Solche Lokomotiven haben einen Raddurchmesser von etwa 2 m (vgl. Abb. 77/3a). Mit einer D-Zuglokomotive können Ge-

schwindigkeiten bis zu $135 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht werden. Die Treibräder der Güterzuglokomotiven haben dagegen nur einen Durchmesser von etwa 1,3 m (vgl. Abb. 77/3b). Bei diesen Lokomotiven kommt es nicht so sehr darauf an, eine möglichst hohe Geschwindigkeit zu erreichen, als vielmehr eine möglichst große Kraft zu übertragen. Zur Vergrößerung der Reibung zwischen dem Triebwerk und den Schienen sind Güterzuglokomotiven mit vier, meist sogar fünf Treibachsen ausgerüstet. Außerdem sind in Güterzuglokomotiven häufig drei oder gar vier Dampfzylinder eingebaut. Ein beziehungsweise zwei Zylinder liegen zwischen den beiden äußeren innerhalb des Fahrgestells.

6. Die Steuerung der Dampfmaschine. Mit Hilfe der Steuerung der Dampfmaschine werden die Dampfeintritts- und Dampfaustrittsöffnungen freigegeben beziehungsweise geschlossen. Dadurch werden die Zeitpunkte für den Dampfeintritt und den Dampfaustritt genau festgelegt. Außerdem wird auch die Dampfmenge, die in den Zylinder strömt, begrenzt. Sie ist davon abhängig, ob die Dampfmaschine als Volldampfmaschine oder als Expansionsmaschine arbeiten soll.

Man unterscheidet die **Kolbenschiebersteuerung** und die **Ventilsteuerung**. Bei den Loko-

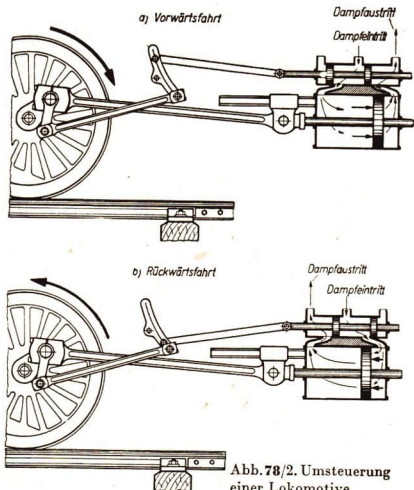


Abb. 78/2. Umsteuerung einer Lokomotive

motiven wird die Kolbenschiebersteuerung verwendet. Oberhalb des Dampfzylinders befindet sich der *Schieberzylinder*. In ihm bewegt sich ein *Doppelkolben*, der die beiden Kanäle für den Dampf Eintritt und den Dampfaustritt abwechselnd freigibt. Der Doppelkolben wird über eine besondere Vorrichtung vom Triebwerk der Lokomotive angetrieben. In der Abbildung 78/1 sind zwei verschiedene Stellungen des Doppelkolbenschiebers mit den entsprechenden Dampfwegen wiedergegeben. Mit Hilfe der Schiebersteuerung können die Fahrtrichtung der Lokomotive und die Dampfzufüllung des Zylinders verändert werden (Abb. 78/2).

Für stationäre Dampfmaschinen wird vorwiegend die Ventilsteuering benutzt (Abb. 79/1). Bei ihr werden die Einström- und Ausströmkanäle mittels Ventilen geöffnet beziehungsweise geschlossen.

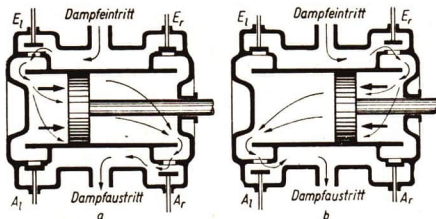


Abb. 79/1. Ventilsteuering

7. Der Wirkungsgrad der Dampfmaschine. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der

Energie kann Energie nicht aus dem Nichts gewonnen werden. Somit kann einer Maschine höchstens wieder die Energiemenge, die ihr zugeführt wurde, entnommen werden. Da aber in jeder Maschine Reibung vorhanden ist, so ist die *abgegebene Energiemenge stets geringer als die zugeführte*.

Die Differenz zwischen diesen beiden Energiemengen bezeichnet man als *Energieverlust*, weil sie nicht nutzbringend verwendet werden kann. Bei dem Energieverlust handelt es sich meist um Wärmeenergie, durch die die Maschine und die Umgebung erwärmt wird.

Die Energieverluste sind bei einer Dampfmaschine sehr groß. Die aus der Kohle gewonnene Wärmeenergie wird nur zum Teil an das Wasser weitergegeben und wandelt dieses in Dampf um. Der Rest wird an die Umgebung abgestrahlt beziehungsweise entweicht mit den Heizgasen aus dem Schornstein. Aber auch die im Dampf enthaltene Wärmeenergie wird nicht restlos in mechanische Arbeit umgewandelt. Der Dampf wird in dem Zylinder nicht vollständig entspannt, sondern verläßt noch mit einem Überdruck und einer Temperatur von über 100°C den Zylinder. Schließlich geht ein Teil der gewonnenen

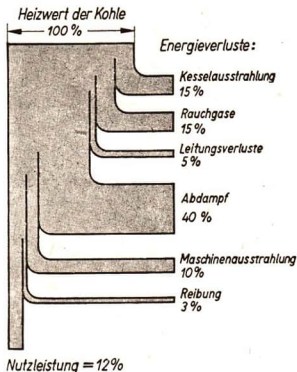


Abb. 79/2. Energiediagramm einer Kolben-dampfmaschine

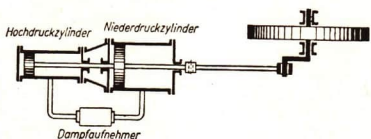
mechanischen Arbeit durch Reibung verloren. Setzt man den Heizwert des Brennstoffes mit 100 % an, so werden von dieser zugeführten Energiemenge nur etwa 12 % in Form von kinetischer Energie von der Dampfmaschine abgegeben (Abb. 79/2). Den Quotienten aus der *abgegebenen Leistung*, der **effektiven Leistung** (N_{eff}), und der zugeführten, der **indizierten Leistung** (N_{ind}), bezeichnet man als den **wirtschaftlichen Wirkungsgrad** (η_w). Dabei müssen beide Leistungsangaben selbstverständlich in der gleichen Leistungseinheit erfolgen.

Den Quotienten aus der effektiven Leistung und der indizierten Leistung bezeichnet man bei einer Maschinenanlage als den wirtschaftlichen Wirkungsgrad.

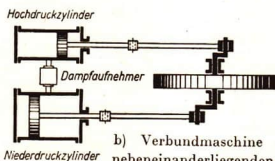
$$\eta_w = \frac{N_{eff}}{N_{ind}}$$

Die Wissenschaftler und Ingenieure sind stets bemüht, die Energieverluste zu senken und damit die Nutzenergie zu steigern. Diesem Vorhaben sind jedoch bei der Dampfmaschine Grenzen gesetzt. Daher wurden andere Wärmekraftmaschinen entwickelt, bei denen die Energieverluste geringer sind.

8. Stationäre Dampfmaschinen. Zur besseren Ausnutzung des Dampfdruckes baut man bei stationären Anlagen häufig *Mehrzylindermaschinen*. Sie besitzen meist einen Hochdruck- und einen Niederdruckzylinder (Abb. 80/1). Der Dampf strömt zuerst in den Hochdruckzylinder, dehnt sich aus und bewegt den Kolben. Dabei sinkt der Druck. Dieser Dampf wird nun in den größeren Niederdruckzylinder geleitet und dehnt sich weiter aus. Er entspannt sich hier fast restlos und verrichtet dabei nochmals Arbeit. Die Zylinder können entweder nebeneinander oder hintereinander angeordnet sein. In beiden Fällen wirken sie auf die gleiche Welle.



a) Verbundmaschine mit zwei hintereinanderliegenden Zylindern



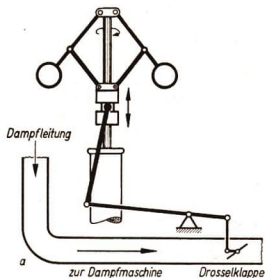
b) Verbundmaschine mit zwei nebeneinanderliegenden Zylindern

Abb. 80/1. Mehrzylindermaschinen

Der Niederdruckzylinder muß stets einen größeren Durchmesser als der Hochdruckzylinder haben, da der Dampf nach der Expansion im Hochdruckzylinder bereits ein größeres Volumen hat. Außerdem ist der Druck gesunken. Durch die größere Fläche wird erreicht, daß die im Niederdruckzylinder ausgeübte Kraft etwa genau so groß wie die im Hochdruckzylinder ausgeübte Kraft ist.

Stationäre Dampfmaschinen müssen im allgemeinen eine konstante Drehzahl haben, beispielsweise beim Antrieb von Generatoren. Das erreicht man mit Hilfe eines *Fliehkraftreglers*. Er wird von der Dampfmaschine über ein Getriebe in

Umdrehung versetzt. Mit steigender Drehzahl werden die an einem beweglichen Gestänge befestigten Kugeln infolge ihrer Trägheit nach außen bewegt (Abb. 81/1a). Da das Gestänge starr ist, werden die Kugeln gleichzeitig angehoben. Dadurch wird über ein Hebelwerk eine Drosselklappe in der Dampfleitung bewegt. Je schneller die Maschine läuft, um so höher werden die Kugeln angehoben und infolgedessen die Drosselklappe so gedreht, daß die Dampfzufuhr geringer wird (Abb. 81/1b). Dadurch läuft die Maschine langsamer, und die Kugeln sinken. Die Drosselklappe wird somit wieder geöffnet, und die Maschine läuft schneller. Nach einiger Zeit stellt sich eine konstante Geschwindigkeit der Maschine ein. Bei dem Fliehkraftregler handelt es sich um einen einfachen *Regelungsvorgang*.



9. Die Verwendung der Dampfmaschine. Die Bedeutung, die die Dampfmaschine, insbesondere bei Lokomotiven, auch heute noch hat, ist auf zwei wesentliche Eigenschaften zurückzuführen:

1. Die Kolbendampfmaschine kann bei voller Last ohne Hilfsmittel aus dem Stillstand angefahren werden.
2. Die Kolbendampfmaschine kann mittels einer Steuereinrichtung ihre Drehrichtung und damit bei Lokomotiven auch die Fahrtrichtung ändern.
3. Die Kolbendampfmaschine ist äußerst robust und wenig stör anfällig.

Trotz der genannten Vorteile geht die Bedeutung der Dampfmaschinen und der Dampflokomotiven ständig zurück. Dieser Rückgang ist vor allem durch den äußerst geringen wirtschaftlichen Wirkungsgrad einer Dampfmaschine bedingt. Daher wird die *Elektrifizierung* wichtiger Eisenbahnstrecken unserer Deutschen Demokratischen Republik fortgesetzt. Infolgedessen steigt der Einsatz der *Elektroloks* (Abb. 82/1). Elektroloks verbrauchen im Gegensatz zu Dampflokomotiven nur während der Fahrt Energie. Außerdem sind sie stets sofort einsatzbereit. Der wirtschaftliche Wirkungsgrad einer Elektrolok ist wesentlich größer als der einer Dampflok.

Die gleichen Vorteile haben auch die *Dieselloks*, die außerdem an kein elektrisches Oberleitungsnetz gebunden sind (Abb. 82/2). Aus diesem Grunde wurde in der Deutschen Demokratischen Republik mit der Entwicklung von Dieselloks für Fernstrecken begonnen. Sie sollen auf den nichtelektrifizierten Strecken eingesetzt werden. Für den Personenverkehr auf wenig befahrenen Strecken werden *Schienenbusse* gebaut (Abb. 82/3), die ebenfalls mit Dieselmotoren angetrieben werden.

So wird in den kommenden Jahren die Verwendung der Elektroloks und der Dieselloks in immer stärkerem Maße zunehmen. Andere sozialistische Länder, wie zum Beispiel die Sowjetunion und die Tschechoslowakische Republik, haben die Produktion von Dampflokomotiven bereits eingestellt. In der Deutschen Demokratischen

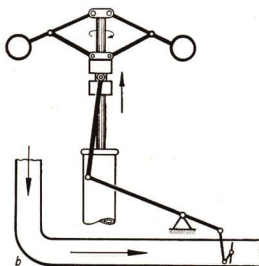


Abb. 81/1. Fliehkraftregler

Republik werden ab 1961 keine Dampflokomotiven mehr gebaut. Da aber die Elektrifizierung wichtiger Eisenbahnstrecken und der Bau der Elektroloks sowie der Dieselloks einen längeren Zeitraum beanspruchen, so verkehren auch noch in den nächsten Jahren viele Dampflokomotiven auf den Strecken unserer Deutschen Demokratischen Republik.

10. Fragen und Aufgaben:

1. Begründe die Einteilung der Wärmekraftmaschinen hinsichtlich der Ausnutzung der mechanischen Energie der Gase!
2. Warum wurden in England die erste Dampfmaschine und die erste Dampflokomotive entwickelt?
3. Warum ist der Wirkungsgrad einer Dampflokomotive so gering? Wie erreicht man eine Verbesserung dieses Wirkungsgrades?
4. Beschreibe bei einer Lokomotive die Umwandlung der linearen Bewegung des Kolbens in die Drehbewegung der Räder! Welche einfachen kraftumformenden Maschinen erkennst du dabei?

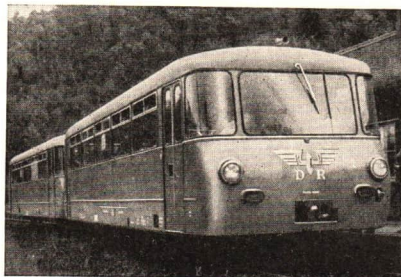
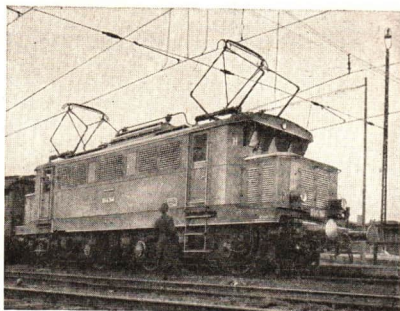


Abb. 82/1. Elektrolok

Abb. 82/2. Sowjetische Diesellokomotive.

Abb. 82/3. Neu entwickelter Schienenbus

15. Die Brennkraft-Kolbenmaschinen

1. Geschichtliche Entwicklung. Schon vor über 250 Jahren wurde mit der Entwicklung von Brennkraft-Kolbenmaschinen begonnen. Sie nutzen die Expansion von Verbrennungsgasen aus. Bei den ersten Versuchen am Ende des 17. Jahrhunderts wurde Schießpulver als Brennstoff verwendet. Man ließ es jedoch nicht unmittelbar auf den Kolben wirken. Die bei der Explosion des Pulvers entstehenden Verbrennungsgase erzeugten ein teilweises Vakuum, so daß nun der äußere Luftdruck wirken konnte. Als man jedoch feststellte, daß der gleiche Vorgang mit Wasserdampf hervorgerufen werden konnte, wurden weitere Versuche eingestellt. Mit der Erfindung der Dampfmaschine war ja zunächst eine leistungsfähige Antriebsmaschine entwickelt worden.

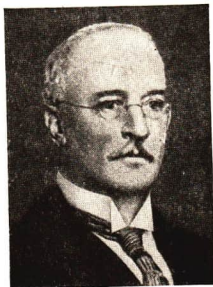
Infolge der zunehmenden Industrialisierung im 19. Jahrhundert wurde der Bedarf an Antriebsmaschinen immer größer. Es zeigten sich nun auch die Nachteile der Dampfmaschine, die vor allem große Dampferzeugungsanlagen benötigte. Man wollte die Energie unmittelbar aus dem Brennstoff gewinnen. Daher wurden neue Versuche mit gasförmigen Brennstoffen unternommen. *Nikolaus Otto* und *Eugen Langen* konstruierten 1867 auf Grund der inzwischen gesammelten Erfahrungen die erste technisch verwendbare Maschine. Sie war ein Gasmotor, der je PS und Stunde 1 m³ Leuchtgas verbrauchte.

Im Jahre 1878 wurde eine wesentlich verbesserte Maschine in Betrieb genommen. In einem Zylinder wurde ein Kraftstoff-Luft-Gemisch elektrisch gezündet und verbrannt. Als Kraftstoff wurde zunächst Gas, später jedoch meist Benzin verwendet. Die mit diesem Kraftstoff betriebenen Motoren werden *Ottomotoren* genannt.

Der deutsche Ingenieur *Rudolf Diesel* entwickelte den Ottomotor weiter, so daß als Kraftstoff Schweröl verwendet werden konnte. Außerdem war bei dem von Diesel entwickelten Motor keine elektrische Zündung erforderlich. Derartige Schwerölmotoren werden als *Dieselmotoren* bezeichnet.



Nikolaus Otto (1832 bis 1891)



Rudolf Diesel (1858 bis 1913)

2. Die Einteilung der Brennkraft-Kolbenmaschinen. Während bei den Dampfmaschinen der Energieträger, die Kohle, in einer besonderen Anlage, in der Dampferzeugungsanlage, verbrannt werden muß, ist eine solche Anlage bei den Brennkraft-Kolbenmaschinen nicht erforderlich. Bei ihnen wird der Energieträger, das Leicht- bzw. Schweröl, in der Maschine selbst verbrannt. Die dabei freiwerdende Wärmeenergie führt zu einer starken Erwärmung der Verbrennungsgase und zu einer Erhöhung ihres Druckes. Dieser wirkt auf den Kolben und bewegt ihn.

Je nach dem Kraftstoff und der Art der Verbrennung unterscheidet man:

- a) *Ottomotoren*, in denen ein Leichtöl-Luft-Gemisch durch einen elektrischen Funken gezündet wird und verbrennt;
- b) *Dieselmotoren*, in denen sich ein Schweröl-Luft-Gemisch infolge starker Verdichtung selbst entzündet und verbrennt.

3. Fragen:

1. Worin liegt der Vorteil der Brennkraft-Kolbenmaschinen gegenüber den Dampfmaschinen?
2. Wie kam es zu der Entwicklung der Brennkraft-Kolbenmaschinen im 19. Jahrhundert?

16. Der Ottomotor

1. Wirkungsweise des Ottomotors. Die Hauptteile des Ottomotors sind der Zylinderblock mit den Zylindern, der Vergaser, die Zündanlage, die Kühlanlage und die Kurbelwelle mit den Pleuelstangen. Der Kraftstoff fließt aus dem Tank in den Vergaser. Er wird dort fein zerstäubt, mit Luft gemischt und durch das Einlaßventil in den Zylinder gesaugt. In ihm verbrennt das Kraftstoff-Luft-Gemisch und verrichtet Arbeit. Die Verbrennungsgase werden durch das Auslaßventil wieder ausgestoßen.

Die auf den Kolben ausgeübte Kraft wird wie bei der Dampfmaschine über die Pleuelstange auf die Kurbelwelle übertragen. Durch diesen Kurbeltrieb wird die geradlinige Bewegung in eine rotierende Bewegung umgewandelt. Von dieser Kurbelwelle werden sowohl die Zündeinrichtung und die Kühlwasserpumpe angetrieben, als auch die Ventile und die Kühlanlage gesteuert.

2. Der Vergaser. Vor der Verbrennung muß beim Ottomotor der flüssige Kraftstoff zerstäubt und mit Luft gemischt werden. Er fließt hierzu aus dem Tank in den Vergaser (Abb. 84/1). In ihm regelt eine schwimmende Dose, der Schwimmer, den Kraftstoffzufluß. Durch die an der Düse des Spritzrohres vorbeiströmende Luft entsteht an seiner Mündung ein kräftiger Sog. Dadurch wird der Kraftstoff aus der Düse herausgerissen und zerstäubt. Dieser zerstäubte Kraftstoff mischt sich mit der Luft, wobei ein Teil verdunstet. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird in den Zylinder gesaugt. Der fein zerstäubte Kraftstoff hat eine wesentlich größere Oberfläche als vorher, so daß der Kraftstoff und die Luft in inniger Berührung sind. Sobald das Kraftstoff-Luft-Gemisch mit Hilfe des elektrischen Funkens gezündet wird, verbrennt es sehr schnell.

3. Der Zylinder. Die Vorgänge im Zylinder laufen in zwei oder in vier Teilschritten, sogenannten Takte, ab. Danach unterscheidet man Zweitakt- und Viertaktmotoren. Die Zylinder dieser beiden Motorenarten sind in ihrem Aufbau grundsätzlich verschieden voneinander.

Der Zylinder des Viertaktmotors enthält in seinem oberen Teil, dem Zylinderkopf, das Einlaßventil, das Auslaßventil und die

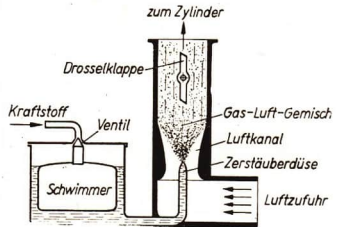


Abb. 84/1. Vergaser



Abb. 85/1. Kolben mit Kolbenringen

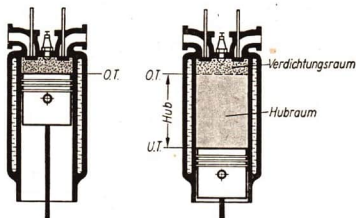


Abb. 85/2. Verdichtungsraum und Hubraum eines Ottomotors

Zündkerze (vgl. Abb. 87/1). Die andere Seite des Zylinders wird durch den sich hin- und herbewegenden *Kolben* gasdicht abgeschlossen. In Nuten, die den Kolben ringförmig umgeben, sind *Kolbenringe* eingelassen (Abb. 85/1). Diese Kolbenringe liegen zur Abdichtung eng an der Zylinderwand an. Der unterste Ring streift gleichzeitig das überflüssige Schmieröl ab, damit es nicht in den Verbrennungsraum gelangt.

Die Bewegung des Kolbens wird, wie bei allen Kolbenmaschinen, über eine *Pleuelstange* und eine *Kurbel* auf die *Kurbelwelle* übertragen. Die beiden Umkehrpunkte des Kolbens werden wieder als *Totpunkte* bezeichnet. Befindet sich der Kolben im oberen, im äußeren Totpunkt, so schließt er mit dem Zylinderkopf den *Verdichtungsraum* ein (Abb. 85/2). Den Weg, den der Kolben vom oberen Totpunkt zum unteren, dem inneren Totpunkt, zurücklegt, bezeichnet man als *Hub*. Der zwischen den beiden Totpunktstellungen im Zylinder vorhandene freie Raum wird *Hubraum* genannt. Er ist ein kennzeichnendes Merkmal des Motors. Von seiner Größe ist die Leistung des Motors wesentlich abhängig (vgl. Tabelle auf S. 86).

Man unterscheidet *Einzylinder-* und *Mehrzylindermotoren*. Die Zylinder können dabei unterschiedliche Lagen zur Kurbelwelle haben. So gibt es *stehende*, *liegende* und *hängende Zylinder* (Abb. 85/3). Mehrzylindermotoren können als *V-*, *Reihen-*, *Boxer-* oder *Sternmotoren* ausgeführt sein (Abb. 86/1).

Die verschiedenen Motoren werden im wesentlichen nach der Motorart, dem Hubraum, der Leistung, der Taktzahl, der Zylinderzahl sowie der Zylinderanordnung unterschieden. Die nachstehende Tabelle gibt eine Zusammenstellung verschiedener Motortypen.

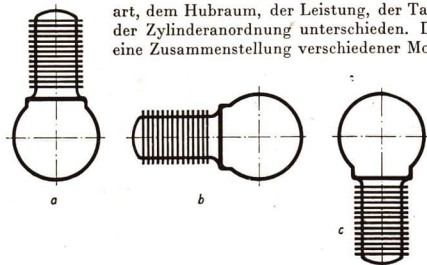


Abb. 85/3. Schematische Darstellung eines Motors

- a) mit stehendem Zylinder
- b) mit liegendem Zylinder
- c) mit hängendem Zylinder

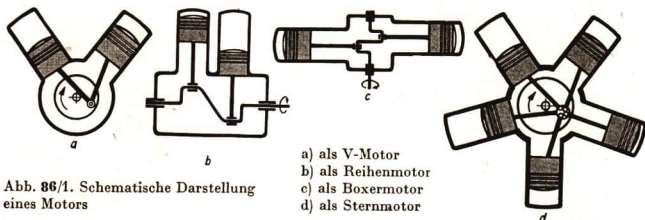


Abb. 86/1. Schematische Darstellung eines Motors

Technische Daten einiger Motoren

Verwendung des Motors	Gesamt-Hubraum cm ³	Motorart	Taktzahl	Zylinderzahl	Art der Zylinderanordnung	Leistung PS
Selbstzünder-Kleinmotor „Aktivist“	2,46	Diesel	2	1	stehend	0,36
Moped SR 2 Simson Suhl	47,6	Otto	2	1	schräg-stehend	1,5 ¹
Motorroller Berlin	143	Otto	2	1	stehend	6,5 ²
Trabant	500	Otto	2	2	Reihenmotor stehend	18
Wartburg	900	Otto	2	3	Reihenmotor stehend	37
Radschlepper RS 14/30 Famulus	3280	Diesel	4	2	Reihenmotor stehend	33
LKW H3A	6024	Diesel	4	4	Reihenmotor stehend	80
IL 14 ³	41200 ⁴	Otto	4	14	Doppelstern	1900
Schiffsdiesel	1224600 ⁴	Diesel	2	4	Reihenmotor stehend	4000

¹ bei $4200 \frac{\text{U}}{\text{min}}$; ² bei $4000 \frac{\text{U}}{\text{min}}$; ³ je Motor; ⁴ Diese Angabe erfolgt im allgemeinen in der Einheit l, 41,2 l bzw. 1224,6 l.

1. Takt: *Ansaugen*
2. Takt: *Verdichten*
3. Takt: *Zünden und Ausdehnen*
4. Takt: *Ausschieben*

1. Takt: Der Kolben gleitet in Richtung der Kurbelwelle. Infolgedessen entsteht im Zylinder ein luftverdünnter Raum. Auf Grund des Unterdruckes wird durch das geöffnete Einlaßventil das Kraftstoff-Luft-Gemisch angesaugt (Abb. 88/1).

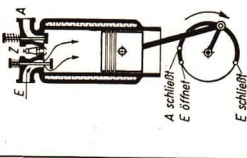
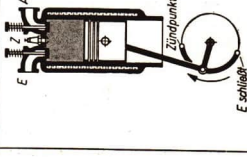
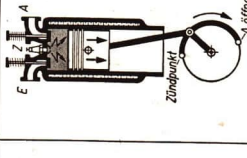
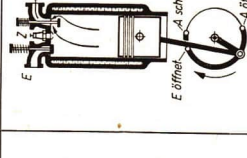
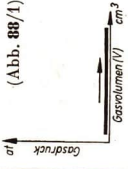
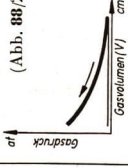
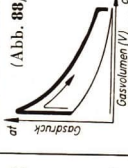
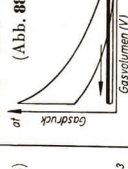
3. Takt: Mit Hilfe der Zündkerze wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch entzündet und verbrannt. Die Verbrennungsgase haben eine Temperatur von 1500°C bis 2000°C und einen Druck von 26 at bis 29 at. Die Gase dehnen sich infolgedessen mit großer Kraft aus und bewegen den Kolben in Richtung der Kurbelwelle (Abb. 88/3).

Auf der Seite 88 sind die Vorgänge im Zylinder und die Stellungen der Ventile während der vier Takte noch einmal in Form einer Tabelle zusammengestellt.

An jeder Kurbelwelle ist ein *Schwungrad* montiert (Abb. 89/2). Seine Masse und damit seine Trägheit müssen so groß sein, daß die Kurbelwelle jeweils bis zum nächsten Arbeitstakt weitergedreht wird. Die Masse kann daher um so kleiner sein, je mehr Zylinder ein Motor hat.

Abb. 87/1. Zylinder eines Viertaktmotors

Die Arbeitsweise des Viertaktmotors

Takt	1. Takt	2. Takt	3. Takt	4. Takt
Bezeichnung	Ansaugen	Verdichten	Zünden und Ausdehnen	Ausschieben
Einlaßventil	geöffnet	geschlossen	geschlossen	geschlossen
Auslaßventil	geschlossen	geschlossen	geschlossen	geöffnet
Kolben bewegt sich in Richtung	Kurbelwelle	Zylinderkopf	Kurbelwelle	Zylinderkopf
Vorgang im Zylinder	Kraftstoff-Luft-Gemisch wird angesaugt	Gemisch wird verdichtet	Gemisch wird entzündet, verbrennt und dehnt sich aus	Verbrennungsgase werden ausgeschoben
Schematische Darstellung der Vorgänge	 A schließt E öffnet	 Zündpunkt E schließt	 Zündpunkt A öffnet	 E öffnet A schließt A öffnet
Zeitpunkt für das Öffnen und Schließen der Ventile				
Arbeitsdiagramm	 (Abb. 88/1)	 (Abb. 88/2)	 (Abb. 88/3)	 (Abb. 88/4)

verbundene Nockenwelle nur einmal (Abb. 89/3). Da von dem genauen Öffnen und Schließen der Ventile die Leistung des Motors entscheidend abhängt, kommt als *Übertragungsmechanismus* nur ein Zahnradgetriebe oder ein Kettengetriebe in Frage. Bei einem Keilriementrieb würde schon ein geringfügiges Rutschen dazu führen, daß die Ventile zu früh oder zu spät betätigt werden.

Die Nocken für das Einlaß- und Auslaßventil sind um eine Dreiviertelumdrehung gegeneinander versetzt, da das Einlaßventil im ersten und das Auslaßventil im vierten Takt geöffnet werden (vgl. Tabelle

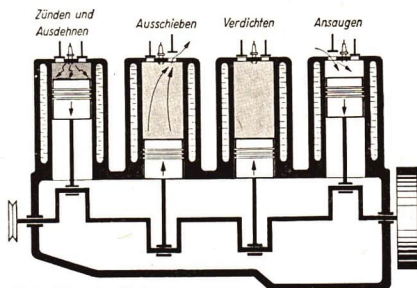


Abb. 89/1. Taktfolge eines Vierzylinder-Viertakt-Motors

Zylinder 1	Arbeiten	Ausschieben	Ansaugen	Verdichten
Zylinder 2	Ausschieben	Ansaugen	Verdichten	Arbeiten
Zylinder 3	Verdichten	Arbeiten	Ausschieben	Ansaugen
Zylinder 4	Ansaugen	Verdichten	Arbeiten	Ausschieben
Zündfolge	1	3	4	2

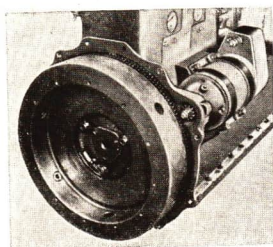


Abb. 89/2. Hinteres Ende der Pleuellagerung mit Pleuellagerbolzen

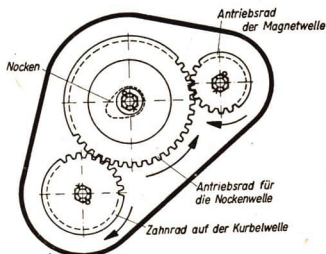
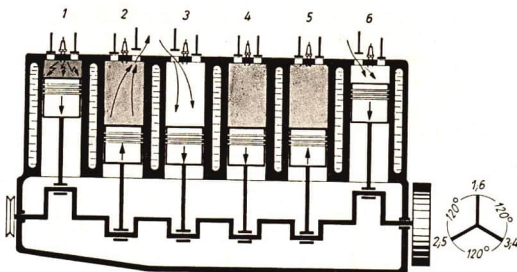


Abb. 89/3. Antrieb der Pleuellagerbolzen

Abb. 90/1
Taktfolge eines
Sechszylinder-
Viertakt-Motors



Zylinder 1	Arbeiten		Ausschieben	Ansaugen	Verdichten		
Zylinder 2	schieben	Ansaugen		Verdichten		Arbeiten	Aus-
Zylinder 3	gen	Verdichten		Arbeiten		Ausschieben	Ansau-
Zylinder 4	ten	Ausschieben		Ansaugen		Verdichten	Arbei-
Zylinder 5	dichten	Arbeiten		Ausschieben		Ansaugen	Ver-
Zylinder 6	Ansaugen		Verdichten		Arbeiten		Ausschieben
Zündfolge	1	5	3	6	2	4	

auf Seite 88). Durch die sich drehende Nockenwelle werden jeweils ein *Stößel* und die damit verbundene *Stange* gehoben (Abb. 90/2). Diese drückt gegen den einen Arm eines zweiseitigen Hebels, so daß das Ventil geöffnet wird. Hat sich die Nocke unter dem Stößel weitergedreht, so drückt die *Ventilfeder* wieder alle Teile in die Ausgangsstellung; das Ventil wird geschlossen. Für jedes Auslaßventil ist die gleiche Steuervorrichtung vorhanden.

6. Die Verwendung des Viertakt-Otto-Motors. Viertakt-Otto-Motoren werden vor allem für *Kraftfahrzeuge*, insbesondere *Personenkraftwagen*, verwendet. So ist der vom VEB Sachsenring hergestellte Personenkraftwagen „Sachsenring“ mit einem Sechszylinder-Viertaktmotor ausgestattet (Abb. 91/1). Seine Leistung beträgt 80 PS. Weiterhin dient der Viertakt-Otto-Motor zum Antrieb der *Luftschrauben von Flugzeugen* (vgl. S. 121).

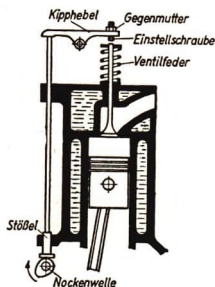


Abb. 90/2. Ventilsteuerung

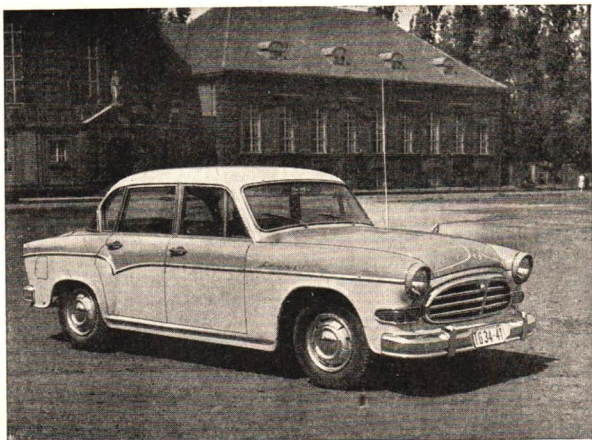


Abb. 91/1. Personenkraftwagen vom Typ „Sachsenring S 240“

7. Die Arbeitsweise des Zweitaktmotors. Im Gegensatz zum Viertaktmotor spielen sich die Vorgänge Ansaugen, Verdichten, Zünden und Ausdehnen, Ausschieben beim Zweitaktmotor in zwei Takten ab (Abb. 91/2).

1. Takt: *Ansaugen und Verdichten*

2. Takt: *Zünden und Ausdehnen, Ausströmen*

Der Zweitaktmotor arbeitet ohne Ventile. Der Einlaßkanal, der Auspuff und der Überströmkanal werden durch den Kolben selbst geschlossen und geöffnet. Der Überströmkanal verbindet das Zylinder- und das Kurbelgehäuse miteinander, das insgesamt ganz dicht abgeschlossen ist.

In den beiden Takten spielen sich im einzelnen folgende Vorgänge ab:

1. Takt: Der Kolben bewegt sich in Richtung des Zylinderkopfes. Dadurch wird das im Zylinder befindliche Kraftstoff-Luft-Gemisch verdichtet. Gleichzeitig wird durch den Kolben im Kurbelgehäuse ein Unterdruck erzeugt.

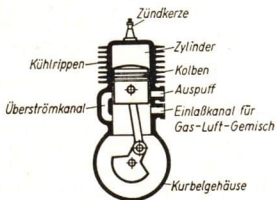


Abb. 91/2. Zylinder eines Zweitaktmotors

Infolgedessen wird frisches Gemisch angesaugt, sobald der Kolben den Eintrittskanal freigegeben hat. (Abb. 93/1 und Abb. 93/2)

2. Takt: Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird mit Hilfe einer Zündkerze entzündet; es verbrennt. Die Verbrennungsgase treiben den Kolben in Richtung der Kurbelwelle. Bei dieser Bewegung wird vom Kolben der Einlaßkanal geschlossen und das unterhalb des Kolbens im Kurbelgehäuse befindliche frische Gemisch vorverdichtet. Kurz vor dem unteren Totpunkt gibt der Kolben den Überströmkanal frei, so daß das vorverdichtete Gemisch in den Zylinderraum strömen kann. Es schiebt dabei die Verbrennungsgase durch die Austrittsöffnung aus. (Abb. 93/3 und Abb. 93/4)

In der Tabelle auf Seite 93 sind die Vorgänge im Zylinder während der beiden Takte noch einmal dargestellt.

Da sich die geschilderten Vorgänge beim Zweitaktmotor innerhalb von zwei Takten, das heißt während einer Kurbelumdrehung, abspielen, verrichtet der Zweitaktmotor im Gegensatz zum Viertaktmotor bei jeder Kurbelumdrehung Arbeit. Trotzdem ist bei gleichen äußeren Abmessungen die Arbeit je Kurbelumdrehung beim Zweitaktmotor nicht doppelt so groß wie beim Viertaktmotor. Beim Zweitaktmotor wird nämlich der Zylinder nicht restlos mit frischem Kraftstoff-Luft-Gemisch gefüllt, und die Verbrennungsgase werden nicht vollständig ausgeschoben. Außerdem vermischt sich das frische Kraftstoff-Luft-Gemisch teilweise mit den Verbrennungsgasen. Bei gleichem Treibstoffverbrauch hat ein Zweitaktmotor nur etwa vier Fünftel der Leistung eines Viertaktmotors. Trotzdem wird der Zweitaktmotor vielseitig, insbesondere für *Motorräder* (Abb. 92/1) und *Personenkraftwagen* (Abb. 94/1), aber auch zum *Antreiben von Sägen, Pumpen* und dergleichen verwendet (Abb. 94/2 und 94/3). Er hat gegenüber dem Viertaktmotor die folgenden wesentlichen Vorteile:

1. einfacherer Aufbau und daher geringere Herstellungskosten;
2. keine beweglichen Ventile und infolgedessen geringe Störanfälligkeit.

7. Die Zündanlage. Sowohl beim Viertakt- als auch beim Zweitaktmotor wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Zylinder mit Hilfe eines elektrischen Funkens entzündet. Dieser Funke springt zwischen zwei Eisenstiften, den *Elektroden*, der *Zündkerze* über (Abb. 94/4). Der Strom hierfür wird entweder einer Batterie oder einem anderen kleinen Stromerzeuger entnommen.

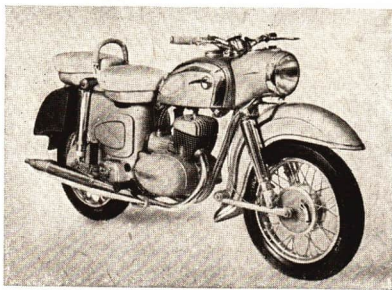


Abb. 92/1. Motorrad vom Typ MZ ES 250. Leistung des Motors 14,25 PS

Die Arbeitsweise des Zweitaktmotors

Takt		1. Takt		2. Takt	
Bezeichnung		Ansaugen	Verdichten	Zünden und Ausdehnen	Ausströmen
Kolben bewegt sich in Richtung		Zylinderkopf		Kurbelwelle	
Vorgang im Zylinder	oberhalb des Kolbens		Gemisch wird verdichtet	Gemisch wird entzündet, verbrennt und dehnt sich aus	Frisches Gemisch strömt aus dem Kurbelgehäuse in den Zylinder. Verbrennungsgase strömen aus
	unterhalb des Kolbens	Gemisch wird in das Kurbelgehäuse gesaugt		Gemisch wird vorverdichtet	
Schematische Darstellung der Vorgänge		(Abb. 93/1) 	(Abb. 93/2) 	(Abb. 93/3) 	(Abb. 93/4) 

8. Fragen und Aufgaben:

1. Wodurch unterscheidet sich die Arbeitsweise des Zweitaktmotors von der des Viertaktmotors und wie zeigt sich dieser Unterschied in der Bauweise der Zylinder?
2. Begründe die Vorteile von Mehrzylindermotoren!
3. Nenne Anwendungen des Viertakt- und des Zweitaktmotors!



Abb. 94/1. Personenkraftwagen vom Typ „Wartburg Sport“. Leistung des Motors 50 PS



Abb. 94/3. Pulverzerstäuber

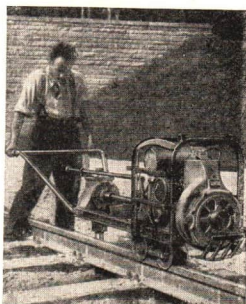


Abb. 94/2. Schwellenschraubmaschine



a

Abb. 94/4. Zündkerze
a) Ansicht
b) Zündkerzengesicht



b

17. Der Dieselmotor

1. Die Arbeitsweise des Dieselmotors. Im Gegensatz zum Ottomotor wird beim *Dieselmotor* statt des Kraftstoff-Luft-Gemisches *reine Luft angesaugt*. Sie wird viel stärker als beim Ottomotor komprimiert. Das Volumen der Luft wird auf den 12. bis 22. Teil ihres ursprünglichen Volumens zusammengepreßt. Mit der Verdichtung der Luft ist eine Temperaturerhöhung auf 500°C bis 750°C verbunden. Infolge der Verkleinerung des Volumens und der Erhöhung der Temperatur steigt der Druck auf 31 at bis 56 at. In diese stark komprimierte und erhitzte Luft wird Dieselöl als Brennstoff eingespritzt. Der dafür erforderliche hohe Druck wird mit Hilfe einer *Einspritzpumpe* erzeugt, die vom Motor angetrieben wird (Abb. 96/1). Sie saugt das Dieselöl an und drückt es durch eine Düse in den Verbrennungsraum. Dabei wird der Kraftstoff fein zerstäubt, so daß er sich im Verdichtungsraum innig mit der Luft mischt. Der zerstäubte Kraftstoff hat eine sehr große Oberfläche und ist vollkommen von heißer Luft umgeben. Infolge der hohen Temperatur entzündet sich der Kraftstoff von selbst.

Die Vorgänge im Dieselmotor entsprechen im wesentlichen den Vorgängen im Ottomotor. Die Verbrennung erfolgt aber nicht so explosionsartig wie beim Ottomotor. Der dabei entstehende hohe Druck von 33 at bis 61 at bleibt infolge der fast gleichmäßigen Verbrennung eine Zeitlang nahezu konstant. Auch Dieselmotoren können als Viertaktmotoren und als Zweitaktmotoren gebaut werden.

2. Die Einspritzpumpe. Der Kraftstoff muß mit einem so hohen Druck in den Verdichtungsraum eingespritzt werden, daß der Druck der komprimierten Luft im Zylinder überwunden und gleichzeitig eine gute Zerstäubung erreicht wird. Die *Einspritzpumpe* ist daher ein wesentlicher Bestandteil des Dieselmotors.

Die Einspritzpumpen sind *Kolbenpumpen*, die aus der *Kolbenbüchse* und dem *Kolben* bestehen (Abb. 96/2). Mit Hilfe der Pumpe kann nur dann der erforderliche hohe Druck erreicht werden, wenn der Kolben möglichst dicht im Zylinder sitzt. Der

Durchmesser des Kolbens ist daher nur $\frac{2}{1000}$ mm bis $\frac{4}{1000}$ mm kleiner als der Innendurchmesser des Zylinders. Die Pumpe wird vom Motor über eine *Nockenwelle* und einen *Stößel* angetrieben. Mit Hilfe der vom Kolben ausgeübten Kraft erreicht man in der Einspritzpumpe einen Druck von 180 at bis 350 at. Durch einen Kanal wird der Brennstoff unter den kegelförmigen Ansatz der *Düsennadel* gedrückt und hebt diese an (Abb. 97/1). Dadurch gibt die Nadelspitze die Düsenöffnung frei, so daß der Brennstoff in den Verdichtungsraum sprüht. Der Druck des Brennstoffes nimmt infolgedessen etwas ab. Eine starke Feder drückt die Nadel wieder in die Düse und verschließt damit die Öffnung. Der Brennstoff wird im Augenblick der stärksten Verdichtung der Luft eingespritzt.

Die Einspritzpumpe regelt auch die Menge des Kraftstoffes entsprechend der jeweils erforderlichen Leistung. Aus diesem Grunde hängt von ihrem einwandfreien Arbeiten der Betrieb des gesamten Motors und der sparsame Verbrauch des Brennstoffes ab. Daher muß die Einspritzpumpe vor Verunreinigungen geschützt werden.

3. Vergleich von Diesel- und Ottomotoren. In der Tabelle auf Seite 99 sind einige wichtige Unterschiede zwischen Ottomotor und Dieselmotor gegenübergestellt.

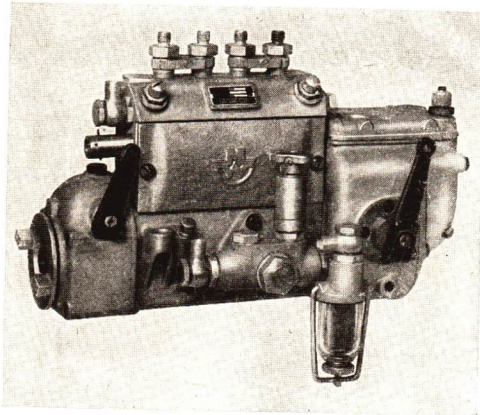


Abb. 96/1
Einspritzpumpe

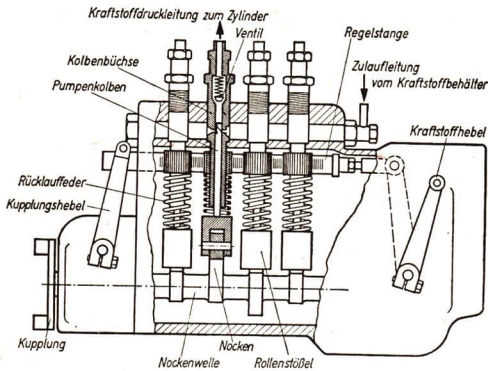


Abb. 96/2
Schnittzeichnung
einer Einspritzpumpe

Zur Beurteilung einer Wärmekraftmaschine ist die Größe des Wirkungsgrades von großer Bedeutung. Während beim Ottomotor der Wirkungsgrad nur etwa 24 % beträgt, hat der Dieselmotor einen solchen von etwa 32 %. Bereits hierin zeigt sich ein wesentlicher Vorteil des Dieselmotors.

Zum Vergleich von Brennkraft-Kolbenmaschinen wird außerdem festgestellt, wieviel Gramm Brennstoff benötigt werden, damit man an der Kurbelwelle während 1 h eine Leistung von 1 PS abnehmen kann.

Während beim Ottomotor $220 \frac{\text{g}}{\text{PS h}}$ bis

$350 \frac{\text{g}}{\text{PS h}}$ benötigt werden, braucht man

für den Dieselmotor nur $160 \frac{\text{g}}{\text{PS h}}$ bis

$250 \frac{\text{g}}{\text{PS h}}$.

Ein Nachteil des Dieselmotors sind die höheren Herstellungskosten, die wegen der kräftigeren Ausführung und der mit hoher Präzision gefertigten Einspritzpumpe wesentlich höher liegen als beim Ottomotor. Die robustere Ausführung des Dieselmotors ist wegen des hohen Verdichtungsdruckes notwendig. Auf Grund dieser kräftigeren Bauart sind Dieselmotoren schwerer als Ottomotoren gleicher Leistung.

Die Vor- und Nachteile der beiden Arten der Brennkraft-Kolbenmaschinen bestimmen wesentlich die Verwendungsmöglichkeiten. Wegen des geringeren Gewichtes verwendet man Ottomotoren vorwiegend für leichte Kraftfahrzeuge, wie Motorräder und Personenkraftwagen und für Flugzeuge (vgl. S. 121). Der Mehrverbrauch an Kraftstoff ist auf Grund der kleineren Leistungen bei Personenkraftwagen und Motorrädern noch vertretbar. Bei Flugzeugmotoren spielt das Gewicht des Motors eine ausschlaggebende Rolle. Für Maschinen und Fahrzeuge mit größeren Leistungen überwiegen bei weitem die Vorteile des Dieselmotors. So werden *schwere Lastkraftwagen* (Abb. 97/2), *Traktoren* (vgl. Abb. 100/1, 101/2 und 102/2), *Panzer* (Abb. 98/1), *Baumaschinen*, *Eisenbahntriebwagen* (Abb. 98/2), *Schiffe* (Abb. 98/3) aller Art und vor allem *stationäre Anlagen* vorwiegend mit Dieselmotoren ausgerüstet.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Warum ist die Einspritzpumpe beim Dieselmotor ein wichtiger Bestandteil des Motors und muß daher einwandfrei funktionieren?
2. Worin stimmen Otto- und Dieselmotoren überein und worin unterscheiden sie sich?

Abb. 97/1. Düse mit Düsennadel

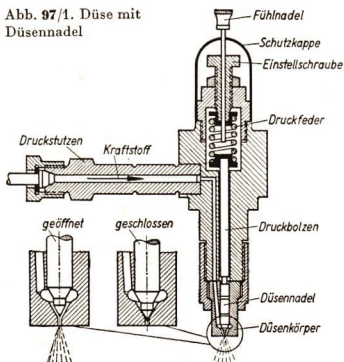


Abb. 97/2. Kranwagen

3. Nenne Fahrzeuge, die Dieselmotoren verwenden, und solche, die von Ottomotoren angetrieben werden!
4. Begründe den Vorteil der Dieselmotoren hinsichtlich der Betriebskosten! Welchen Nachteil haben Dieselmotoren gegenüber Ottomotoren?

Abb. 98/1. Panzer unserer Nationalen Volksarmee



Abb. 98/2. Dieseltriebwagen der Deutschen Reichsbahn. Er fährt als „Saßnitz-Express“ von Saßnitz, mit Anschluß von Schweden, nach München.

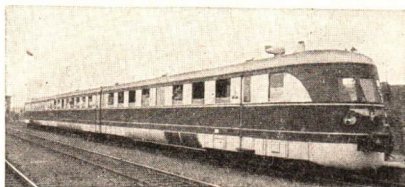
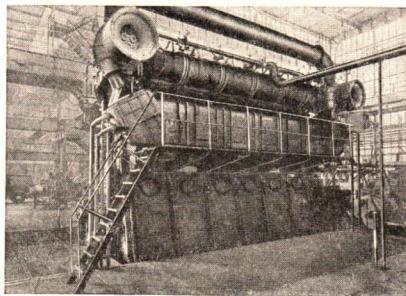


Abb. 98/3. Schwerer Schiffsdieselmotor, hergestellt im VEB Dieselmotorenwerk Rostock. Zweitaktmotor mit 6 Zylindern und einer Leistung von 4000 PS.

Drehzahl: $225 \frac{\text{U}}{\text{min}}$; Kolbendurchmesser: 570 mm; Kolbenhub: 800 mm; Kraftstoffverbrauch: $160 \frac{\text{g}}{\text{PSh}}$; Leistungsgewicht: $30,3 \frac{\text{kp}}{\text{PS}}$; Gewicht: 121 Mp



18. Der Ackerselepper

1. Die Bedeutung des Ackerseleppers. Das Bestreben, die tierischen Zugkräfte auch in der Landwirtschaft durch Maschinen zu ersetzen, führte dazu, für bestimmte Arbeiten, beispielsweise zum Pflügen, *Dampflokomoilen* einzusetzen. Sie sind auch heute noch hier und da anzutreffen. Diese schweren Maschinen können aber nicht

Vergleich von Ottomotor und Dieselmotor

	Ottomotor	Dieselmotor
Kraftstoff	Leichtöle: Benzin, Ben- zol, gasförmige Kraft- stoffe	Schweröle: Dieselöl, Rohöl, Teeröl
Gemischbildung	Äußere Gemischbildung. Das im Saugrohr gebil- dete Kraftstoff-Luft- Gemisch wird angesaugt und im Zylinder ver- dichtet	Innere Gemischbildung. Luft wird angesaugt und im Zylinder ver- dichtet. Dann wird der Kraftstoff eingespritzt
Zündung	Fremdzündung mit Hilfe von Zündkerze	Selbstzündung infolge der hohen Temperatur der komprimierten Luft
Verdichtungsverhältnis	5,5:1 bis 7,5:1	12:1 bis 22:1
Verdichtungsenddruck	10 at bis 16 at	31 at bis 56 at
Verbrennungsdruck	26 at bis 29 at	33 at bis 61 at
Kraftstoffverbrauch	$220 \frac{\text{g}}{\text{PS h}}$ bis $350 \frac{\text{g}}{\text{PS h}}$	$180 \frac{\text{g}}{\text{PS h}}$ bis $270 \frac{\text{g}}{\text{PS h}}$
Feuergefahr	groß	keine
Leistungsgewicht	$2,5 \frac{\text{kp}}{\text{PS}}$ bis $5,5 \frac{\text{kp}}{\text{PS}}$	$4,5 \frac{\text{kp}}{\text{PS}}$ bis $7,5 \frac{\text{kg}}{\text{PS}}$
Wirkungsgrad	~ 24 %	~ 32 %

unmittelbar auf dem Felde fahren, sondern ziehen unter Verwendung von Seilen den Pflug über den Acker. Im allgemeinen sind für diese Arbeit zwei Lokomobilen erforderlich. Auch zum Dreschen wurden früher häufig Lokomobilen verwendet. Das Ziel war jedoch, leichtere und vielseitig verwendbare Kraftmaschinen einzusetzen. Die zuerst entwickelten *Zugmaschinen* waren noch zu schwer, so daß sie zu tief in den Boden einsanken und daher zu Pflegearbeiten überhaupt nicht verwendet werden konnten. Der *Bodendruck des Schleppers* muß aber so gering sein, daß auch beim Fahren über bestellte Flächen kein Schaden angerichtet wird.

An einen Schlepper für die Landwirtschaft müssen noch weitere Anforderungen gestellt werden. Er muß auch bei ungünstigen Bodenverhältnissen betriebssicher und leistungsstark sein. Er darf auf nassem oder moorigem Boden nicht zu tief einsinken. Schließlich muß er mit verschiedenen Geschwindigkeiten fahren können.

Die volkseigenen Traktorenwerke in unserer Deutschen Demokratischen Republik stellen diesen Bedingungen entsprechende Ackerschlepper her. Sie sind entweder luftbereift oder mit *Gleisketten* versehen, je nachdem, auf welchem Boden und für welche Arbeiten die Schlepper eingesetzt werden sollen. Die Entwicklung und der Einsatz leistungsfähiger Traktoren ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die weitere Mechanisierung der verschiedenen Feldarbeiten. Nur durch die ständige Weiterentwicklung der Mechanisierung wird die Arbeit unserer Werktätigen auf dem Lande wesentlich erleichtert und vor allem die Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse gesteigert. Der Einsatz der Traktoren kann selbstverständlich nur auf großen Flächen, also auf den Feldern unserer landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften und volkseigenen Güter, rationell erfolgen.

2. Die Einteilung der Schlepper. Entsprechend

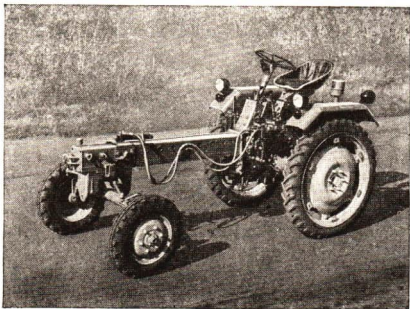


Abb. 100/1. RS 09 Geräteträger



Abb. 100/2. RS 09 mit Anbauvielfachgerät

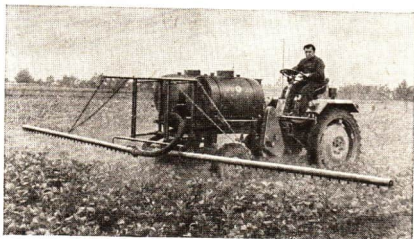


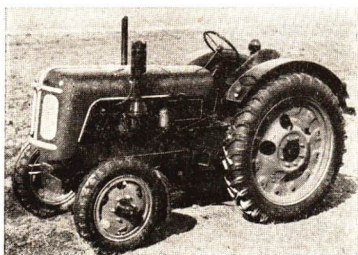
Abb. 100/3. RS 09 mit Anbausprüh- und Stäubegerät

den Anforderungen wurden *Ackerschlepper* unterschiedlicher Leistungen und damit auch unterschiedlichen Gewichtes entwickelt. Man unterscheidet *vier Leistungsklassen*, nämlich *leichte, mittlere, schwere* und *überschwere Schlepper*.

Zu den leichten Schleppern gehört der *Geräteträger RS 09* des VEB Schönebecker Traktorenwerk (Abb. 100/1). Er hat bei einem Gewicht von 1070 kp eine Leistung von 18 PS. Die Bedeutung dieses Geräteträgers besteht



Abb. 101/1. RS 09 mit Ladepritsche



darin, daß die Kraftmaschine und die Arbeitsmaschine auf einem Fahrgestell vereinigt sind. Zahlreiche spezielle Arbeitsgeräte können mit wenigen Handgriffen vor, zwischen oder hinter den Achsen montiert werden. Die Geräte werden dann vom Fahrer hydraulisch in die entsprechende Arbeitsstellung gebracht. Der Geräteträger kann äußerst vielseitig eingesetzt werden (Abb. 100/2). Er wird meist für leichtere Arbeiten, wie Besprühen und Bestäuben (Abb.

100/3), zum Drillen, zum Häufeln und Hacken, zum Rechen, zum Dünger streuen, zum Rüben köpfen und Rüben roden, verwendet. Es kann aber auch eine kippbare Ladepritsche montiert werden, so daß er auch für Transporte eingesetzt werden kann (Abb. 101/1).

Ein mittelschwerer Traktor ist der *Famulus* des VEB Schlepperwerk Nordhausen mit einer Leistung von 33 PS und einem Gewicht von 2135 kp (Abb. 101/2). Die Arbeitsgeräte können entweder unmittelbar am Schlepper montiert oder von ihm gezogen werden (Abb. 101/3). Die Anbaugeräte werden an der Hinterseite des



Abb. 101/2. Mitte links: Famulus

Abb. 101/3. Unten links: Famulus mit Anhängegerät

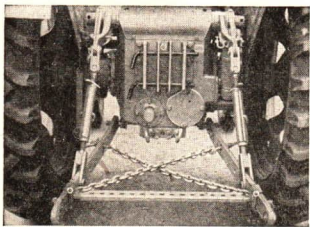


Abb. 102/1. Dreipunktaufhängung am Famulus. Die eingezeichneten weißen Kreise geben die drei Punkte der Aufhängung an.

Traktors an drei Punkten befestigt und hydraulisch gehoben und gesenkt (Abb. 102/1). Der Mehrzweckeschlepper *Famulus* wird für Pflegearbeiten, zum Pflügen und als Transportschlepper verwendet.

Zu den schwersten Schleppern gehört der Kettenschlepper *Urtrak*, der eine Leistung von 63 PS und ein Gewicht von 5200 kp hat (Abb. 102/2). Er wird vom VEB Brandenburger Traktorenwerk hergestellt. Dieser Traktor wird zum Ziehen aneinandergeschlossener Geräte verwendet. Durch die *Gerätekopplung* können sowohl größere Arbeitsbreiten erzielt als auch mehrere Arbeitsgänge gleichzeitig ausgeführt werden (Abb. 103/1). Trotz des

hohen Gewichts kann der Schlepper auch auf weichem Boden eingesetzt werden, da infolge der breiten Raupenkette der Druck auf den Untergrund nur gering ist.

3. Der Aufbau des Ackersehleppers. a) Die Blockbauweise. Im Gegensatz zu vielen anderen Kraftfahrzeugen, bei denen die Hauptteile auf einem Rahmen montiert sind,

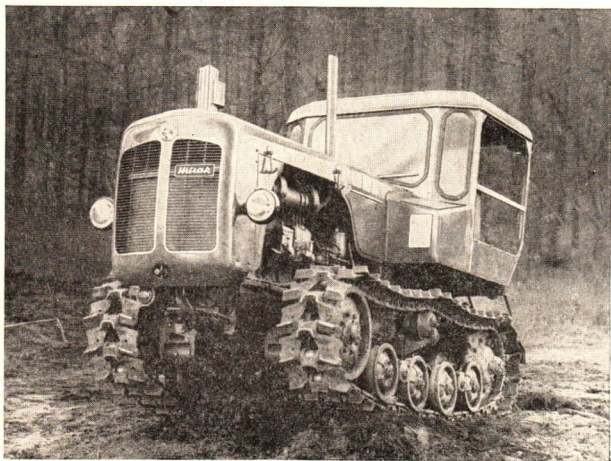


Abb. 102/2. Urtrak

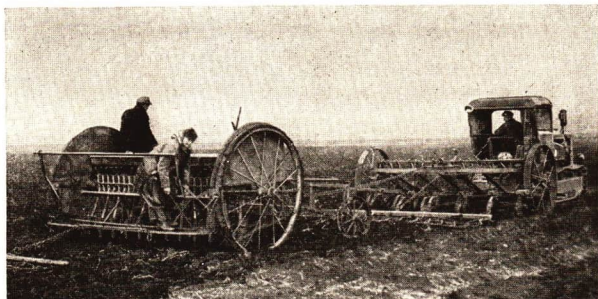


Abb. 103/1. Kopplung verschiedener Ackergeräte

stellen beim Traktor Vorderachse, Motor, Kupplung, Schaltgetriebe und Hinterachse mit Ausgleichsgetriebe je einen *Block* dar (Abb. 103/2). Die Gehäuse dieser Blöcke sind miteinander verschraubt und bilden so gleichzeitig das Fahrgestell. Man bezeichnet diese Art des Fahrzeugbaues als *Blockbauweise*.

b) Die Kühlung. Als Motoren werden überwiegend Mehrzylinder-Viertakt-Dieselmotoren verwendet. Da bei der Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches Temperaturen bis zu 2000°C auftreten, muß ständig Wärme abgeführt werden. Diese Temperatur liegt ja bereits oberhalb des Schmelzpunktes des Eisens. Zur Kühlung der Zylinder wird entweder Luft oder Wasser verwendet. Bei den Dieselmotoren der Traktoren findet man im allgemeinen eine *Wasserkühlung*. Die Zylinder sind hierbei von einem mit Wasser gefüllten Mantel umgeben. Eine vom Motor angetriebene Pumpe hält das Wasser in ständigem Umlauf (Abb. 103/3). Es strömt dabei durch die lamellenartigen Röhrenchen des Kühlers und gibt die Wärme an die umgebende Luft ab (Abb. 104/1). Ein vom Motor angetriebener Ventilator sorgt

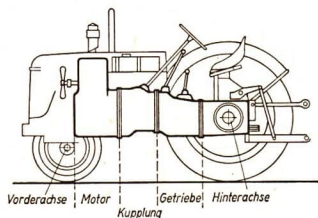


Abb. 103/2. Gliederung des „Famulus“ in Blöcke

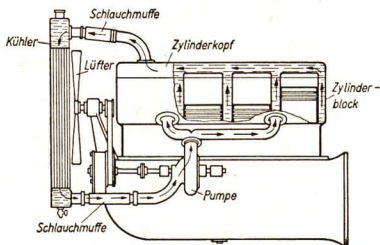


Abb. 103/3. Die Kühlung eines Motors

dafür, daß ständig Luft durch den Kühler strömt. Je schneller der Motor läuft, um so schneller rotiert auch der Ventilator und um so stärker wird der Luftstrom. Dadurch erhöht sich die Kühlwirkung.

Bei der *Luftkühlung* wird die Luft durch Leitbleche um die Zylinder gelenkt (Abb. 104/2). Die Zylinderoberfläche ist durch *Kühlrippen* vergrößert, so daß die Wärmeableitung dadurch verbessert wird. Die Kühlung wird durch ein besonderes *Gebläse* verstärkt. Gegenüber der Wasserkühlung hat die Luftkühlung den Vorteil, daß sie nicht undicht wird und im Winter nicht einfrieren kann. Außerdem ist das Gewicht eines luftgekühlten Motors geringer. Jedoch reicht die Luftkühlung bei Motoren höherer Leistung nicht aus.

Eine einwandfreie Kühlung ist für die Betriebssicherheit des Motors von ausschlaggebender Bedeutung. Wird der Motor infolge ungenügender Kühlung zu heiß, so würde er sich zu stark ausdehnen, was jedoch vermieden werden muß. Außerdem verliert das Schmieröl bei zu starker Erwärmung seine Schmierfähigkeit. Infolgedessen wird die Reibung

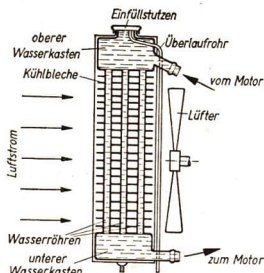


Abb. 104/1. Schnitt durch einen Wasserkühler

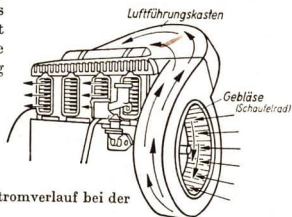


Abb. 104/2. Luftstromverlauf bei der Luftkühlung

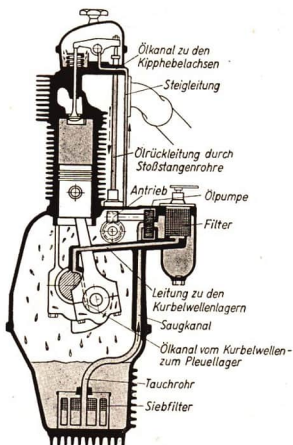


Abb. 104/3. Druckumlaufschmierung

größer, so daß schließlich die Kolben in den Zylindern klemmen können, man sagt, „sie fressen sich fest“. Ein solcher Schaden, der zu einem Ausfall des Traktors führt, muß durch entsprechende Wartung und Pflege des Fahrzeuges unbedingt vermieden werden.

e) Die Schmierung. Die schnell bewegten Teile des Motors müssen zur weitgehenden Verminderung der Reibung geschmiert werden. Das *Schmiermittel* überzieht die Oberflächen der Teile mit einem *Ölfilm*, so daß die Metallflächen wie auf einem Polster gleiten. Das Öl zwischen Kolben und Zylinder dient außerdem zum Abdichten des Zylinders.

Bei Zweitakt-Ottomotoren wird das Öl dem Brennstoff in einem bestimmten Verhältnis, zum Beispiel 1:20, beigemischt. Das Öl gelangt mit

dem Treibstoff in den Zylinder. Während der Treibstoff verbrennt, schlägt sich das Öl zum Teil an der Innenwand des Zylinders nieder.

Bei Viertaktmotoren verwendet man häufig die *Druckumlaufschmierung*, die vor allem in Ackerschleppern und bei anderen Motoren hoher Leistungen verwendet wird (Abb. 104/3). Eine Pumpe saugt das Öl aus der Ölwanne an und drückt es an die Schmierstellen. Anschließend läuft es in die Wanne zurück. Als *Pumpen* werden hierfür im allgemeinen Zahnradpumpen oder Membranpumpen verwendet. Vor dem erneuten Umlauf wird das Öl in Filtern und Sieben gereinigt, so daß keine Schmutzteilchen an die Schmierstellen gelangen können.

Eine weitere Art der Schmierung ist die *Tauchschmierung* (Abb. 105/1). Dazu ist der untere Teil des Kurbelgehäuses, die Ölwanne, zum Teil mit Öl gefüllt. Die Kurbelwelle taucht beim Umlauf in das Öl ein und schleudert es in das Innere des Motors. Es läuft schließlich wieder in die Wanne zurück, wobei es gleichzeitig die Lagerteile kühlt.

Aber nicht nur die Lager des Motors und die Zylinder, sondern auch andere Lager beziehungsweise gleitende Teile des Traktors müssen geschmiert werden. Daher gibt es für jeden Schlepper einen *Abschmierplan*, der an gut sichtbarer Stelle befestigt ist. Nach genau angegebenen Betriebsstundenzahlen sind die bezeichneten Schmierstellen abzuschmieren. Durch regelmäßiges Schmieren werden die Betriebssicherheit und die Betriebsdauer des Traktors und anderer Fahrzeuge erhöht.

d) Die Kupplung. Zum Schalten des Getriebes muß dieses vom Motor getrennt werden können. Zu diesem Zweck ist zwischen Motor und Getriebe die *Kupplung* eingebaut. Im eingekuppelten Zustand wird von ihr die Drehbewegung der Kurbelwelle auf das Getriebe übertragen. Ohne Kupplung wäre ein Schalten des Getriebes unmöglich und außerdem könnte das Fahrzeug nicht gleichmäßig anfahren. Die Wirkung der Kupplung beruht im allgemeinen auf der *Ausnutzung der Haftreibung*.

Innerhalb der vom Motor angetriebenen *Schwungscheibe* befindet sich die mit dem Getriebe verbundene *Kupplungsscheibe* (Abb. 105/2). Starke Schraubenfedern drücken

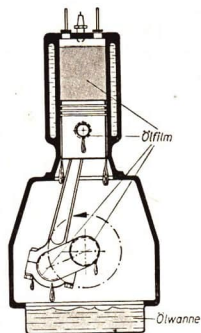


Abb. 105/1
Tauchschmierung

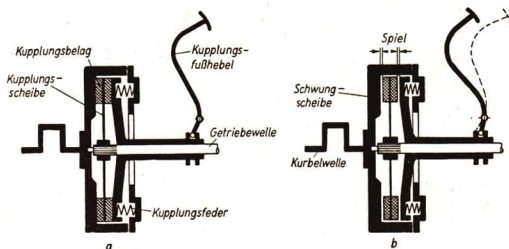


Abb. 105/2. Kupplung

- a) eingekuppelt
- b) ausgekuppelt

beide Scheiben aufeinander. Infolge der Haftreibung wird die Drehung der Kurbelwelle auf das Getriebe und damit auf die Hinterachse übertragen. Personenwagen haben teilweise, zum Beispiel der IFA F9, Vorderachsantrieb, auch *Frontantrieb* genannt. Die prinzipiellen Vorgänge sind jedoch auch bei diesem Antrieb die gleichen wie beim Hinterachs Antrieb.

Durch Betätigen des *Kupplungspedals* werden die Federn zusammengedrückt. Die Haftreibung zwischen den beiden Scheiben wird dadurch gelöst. Infolgedessen sind Motor und Getriebe getrennt, das heißt *ausgekuppelt*. Läßt man das Kupplungspedal langsam in die Ausgangsstellung zurückkehren, so wird zunächst die Kupplungsscheibe nur schleifend von der Schwungscheibe mitgenommen. Auf diese Weise erreicht man einen gleichmäßigen Übergang vom ausgekuppelten in den eingekuppelten Zustand.

e) Das Schaltgetriebe. Mit Hilfe des *Schaltgetriebes* wird die Drehzahl des Motors auf die für den jeweiligen Arbeitsgang erforderliche Drehzahl der Hinterachse herabgesetzt. Beim Arbeiten mit Pflanzmaschinen darf beispielsweise die Geschwindigkeit höchstens $1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ betragen. Bei Fahrten auf festen Straßen sind dagegen wesentlich höhere Geschwindigkeiten möglich und auch zweckmäßig.

Das Getriebe ist mit einer *Nebenwelle* ausgerüstet, auf der mehrere Zahnräder angebracht sind. Mit Hilfe des *Ganghebels* kann die Hauptwelle durch Verschieben von Zahnrädern mit verschiedenen Zahnrädern der Nebenwelle in Eingriff gebracht werden. Auf diese Weise können verschiedene Übersetzungen, *Gänge* genannt, eingeschaltet werden. Der Famulus besitzt 10 Vorwärtsgänge und 2 Rückwärtsgänge (Abb. 106/1). Beim Schalten des Rückwärtsganges wird ein weiteres Zahnrad in Eingriff gebracht, so daß die Drehrichtung umgekehrt wird.

f) Der Antrieb der Hinterachse. Von der Hauptwelle des Getriebes muß die Kraft auf die Hinterachse übertragen werden. Würde das Fahrzeug ständig geradeaus fahren und auch nur auf glatter ebener Straße, so genügte für die Kraftübertragung auf das Hinterrad ein einfaches Zahnradgetriebe, wobei die Drehrichtung um 90° geändert werden muß. Da jedoch die Fahrzeuge Kurven und auch auf unebenen Gelände fahren müssen, ist für den Antrieb der Hinterachse ein besonderes Getriebe erforderlich, das man als *Ausgleichs-* oder *Differentialgetriebe* bezeichnet.

Die Hinterachse ist nicht durchgehend, sondern in zwei Teile geteilt. Diese beiden Teile sind durch vier Kegelzahnräder miteinander verbunden (Abb. 107/1).

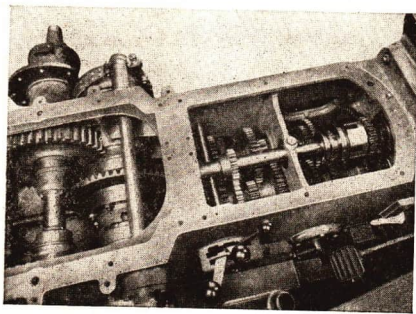


Abb. 106/1. Getriebe des Famulus

Zwei dieser Kegelzahnräder sitzen fest auf den Achsteilen, während die beiden anderen Kegelräder in einem besonderen Gehäuse befestigt und mit den erstgenannten Kegelrädern in Eingriff stehen. Das Gehäuse ist auf beiden Achshälften drehbar gelagert. Die eine Seite des Gehäuses trägt ein Tellerzahnrad, in das das Kegelzahnrad der Hauptwelle eingreift. Rotiert die Hauptwelle, so wird über das Tellerzahnrad das Gehäuse angetrieben. Die am Gehäuse befindlichen Kegelräder nehmen infolge der Rotation des Gehäuses die an den Achshälften befestigten Zahnräder mit, so daß die Hinterräder angetrieben werden. Fährt das Fahrzeug eine Kurve, so muß sich das eine Rad schneller drehen als das andere. Der Ausgleich der verschiedenen Drehgeschwindigkeiten erfolgt mit Hilfe der Ausgleichskegelräder.

Das Differentialgetriebe hat aber auch einen Nachteil. Auf lockerem und schlüpfrigem Boden ist es möglich, daß ein Rad am Boden faßt, während das andere rutscht, so daß der Traktor nicht von der Stelle kommt. Um dies zu vermeiden, ist bei Schleppern eine *Differentialsperr*e eingebaut (Abb. 107/2). Wird diese eingeschaltet, so sind die beiden Achshälften starr miteinander verbunden. Dadurch wird zwar die Wirkung des Differentialgetriebes aufgehoben, aber der Schlepper kann dann auch auf schlüpfrigem Boden fahren. Sobald eine Kurve zu fahren ist, muß die Differentialsperre gelöst werden, da sonst Schäden an den Getriebeteilen entstehen können.

g) Die Lenkung. Die Vorderrachse ist unterhalb des Motorenblocks befestigt. Sie kann entsprechend den Bodenunebenheiten pendeln, so daß sich die Vorderräder dem Gelände anpassen können (Abb. 107/3). Die Räder selbst sitzen auf schwenkbaren Achsschenkeln.

Zur *Lenkung* besitzt jeder Schlepper im allgemeinen ein *Lenkrad*, dessen Drehung über die *Lenkspindel* auf die *Lenkwelle* und auf die *Lenkstange* übertragen wird (Abb. 108/1). Diese bewegt den *Lenkhebel* und damit

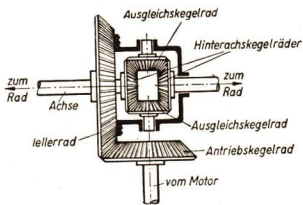


Abb. 107/1. Ausgleichsgetriebe

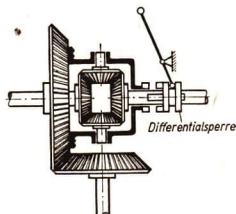


Abb. 107/2. Differentialsperre

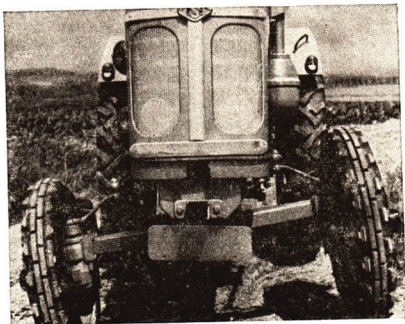


Abb. 107/3. Die Vorderräder passen sich dem Gelände an

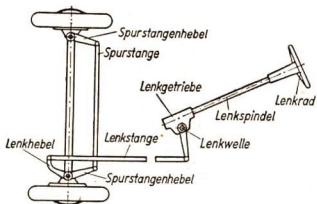


Abb. 108/1. Lenkung eines Schleppers

wird. Das Abbremsen erfolgt im allgemeinen mit *Lenkhebeln*, wobei für jede Kette ein Hebel vorhanden ist.

h) Räder und Ketten. Je nach ihrem Gewicht werden die Traktoren als *Radschlepper* oder als *Kettenschlepper* gebaut. Der auf den Boden ausgeübte Druck ist von dem Gewicht und von der Lauffläche abhängig. Bei Radschleppern ist die Unterstützungsfläche verhältnismäßig klein. Man kann sie dadurch vergrößern, daß man den *Luftdruck in den Reifen vermindert* und dadurch eine größere Auflagefläche erhält. Mit Hilfe einer eingebauten *Reifenfüllpumpe* können die Reifen nach der Arbeit auf dem Acker wieder aufgefüllt werden. Die Unterstützungsfläche kann auch durch *Gitterräder* erhöht werden, die man zusätzlich an den Hinterrädern befestigt (Abb. 108/2).



Abb. 108/2. Gitterrad

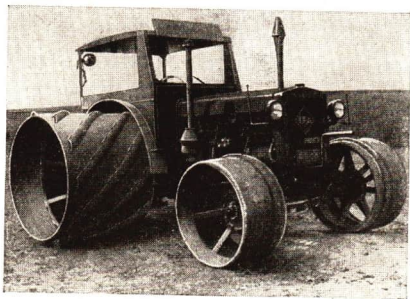


Abb. 108/3. Ackerschlepper „Pionier“ mit Moorrädern

das eine Vorderrad. Seine Bewegung wird mit Hilfe einer *Spurstange* auf das zweite Rad übertragen. Beim Wenden müssen oft Bögen mit sehr kleinem Radius gefahren werden. Zu diesem Zweck wird außer dem Einschlagen der Vorderräder das in der Kurve innen liegende Hinterrad durch eine selbständig arbeitende Kupplung mit abgebremst.

Für Kettenschlepper kann die oben beschriebene Lenkung nicht verwendet werden. Soll ein Kettenschlepper einen Bogen fahren, so wird die eine Kette abgebremst, so daß der Schlepper nach dieser Seite herumgezogen

Für Arbeiten auf moorigem Boden werden Traktoren mit *Moorrädern* verwendet, die eine besonders große Auflagefläche haben (Abb. 108/3).

Für Arbeiten auf feuchten Böden ist häufig ein *Gleitschutz* erforderlich, damit der Radschlupf herabgesetzt werden kann. Ein einfaches Hilfsmittel ist die *Gleitschutzkette*, die auf der Lauffläche des Rades anliegt und mit Hilfe von Spannschlössern gespannt wird (Abb. 109/1). Für verschiedene Radschlepper wurden *Klappgreifer-*

räder entwickelt. Sie werden an den Treibrädern befestigt und können je nach Bedarf herausgeklappt werden (Abb. 109/2).

Die Ketten bilden eine große Unterstützungsfläche und haben auch eine gute Griffigkeit. Sie werden daher vor allem für schwere und überschwere Schlepper verwandt (Abb. 109/3). Ketten-schlepper werden überwiegend auf schweren und schmierigen Böden eingesetzt.

1) **Die Bremsen.** Wie jedes andere Straßenfahrzeug, muß auch der Schlepper auf Grund der Straßenverkehrsordnung mit zwei voneinander unabhängigen Bremsvorrichtungen ausgerüstet sein. Für Schlepper verwendet man vorwiegend Innenbackenbremsen (Abb. 109/4). Durch Treten eines Fußhebels wird über das Bremsgestänge, den Nockenhebel und die Nockenwelle der Bremsnocken gedreht. Dadurch werden die beiden Bremsbacken im Innern der Bremstrommel gegen die Innenwand der Trommel gedrückt. Infolge der dadurch entstehenden Reibung wird das Fahrzeug gebremst.

Unabhängig davon muß eine zweite Bremse vorhanden sein, die im allgemeinen mit der Hand bedient wird. Sollte durch irgendeinen Schaden die Fußbremse versagen, so kann das Fahrzeug mit Hilfe der Handbremse zum Stehen gebracht werden. Auf diese Weise wird Unfällen, die durch ein Versagen einer Bremse entstehen können, vorgebeugt. Beim Stand ist grundsätzlich die Handbremse anzuziehen, damit sich das Fahrzeug nicht von allein in Bewegung setzen kann.

4. Fragen:

1. Warum baut man Schlepper in verschiedenen Leistungsklassen und als Rad- beziehungsweise Kettenschlepper?

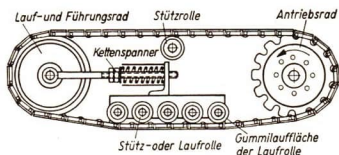


Abb. 109/3. Fahrwerk des Kettenschleppers

Abb. 109/4. Schnitt durch die Bremstrommel einer Innenbackenbremse

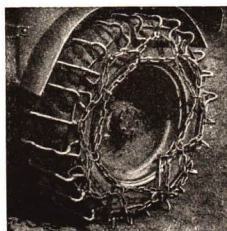


Abb. 109/1. Schlepperrad mit Gleitschutzkette

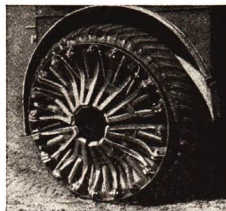
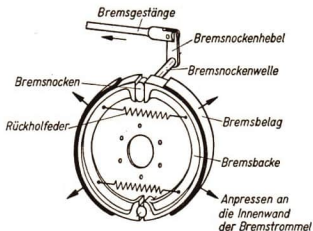


Abb. 109/2. Schlepperrad mit Klappgreifern



2. Wodurch unterscheidet sich grundsätzlich der Aufbau eines Ackerschleppers von dem anderer Kraftfahrzeuge?
3. Begründe die Notwendigkeit der einwandfreien Kühlung eines Motors!
4. Warum haben Schlepper meist mehr Gänge als andere Fahrzeuge?
5. Warum müssen Schlepper und alle anderen Kraftfahrzeuge mit zwei Bremsen ausgestattet sein!

19. Die Strömungskraftmaschinen — Die Dampfturbine

1. Die Wirkungsweise der Strömungskraftmaschinen. Bei den Strömungskraftmaschinen wird die kinetische Energie strömender Gase ausgenutzt. Das unter hohem Druck stehende Gas strömt aus den Rohrleitungen durch Düsen auf bewegliche Räder, treibt diese an und verrichtet dadurch Arbeit. Der Durchmesser der Düsen ist kleiner als der Durchmesser der Zuleitung. Auf diese Weise steigt die Geschwindigkeit des strömenden Gases, was einen Druckabfall zur Folge hat. Die in dem hoch gespannten Gas gespeicherte potentielle Energie wird infolgedessen weitgehend in kinetische Energie umgeformt. Die Geschwindigkeitserhöhung ist für die Wirkung der Maschine von großer Bedeutung, da die kinetische Energie vom Quadrat der Geschwindigkeit abhängig ist. Wächst somit die Geschwindigkeit auf den doppelten Wert, so nimmt die kinetische Energie den vierfachen Betrag an.

Zu den Strömungsmaschinen gehören die Dampfturbinen und die Gasturbinen. Auch die Wasserturbinen sind Strömungsmaschinen, aber keine Wärmekraftmaschinen.

2. Das Prinzip der Dampfturbine. Mit der Entwicklung der Elektrotechnik entstand ein großer Bedarf an elektrischer Energie. Zum Antreiben der Generatoren wurden zuerst Kolbendampfmaschinen verwendet. Den Antrieb durch Kolbendampfmaschinen findet man jedoch heute nur noch bei kleinen älteren Anlagen.

Auf Grund der folgenden Merkmale eignet sich die Dampfturbine besonders zum Antreiben von Elektrogeneratoren. In der Turbine wird sofort eine rotierende Bewegung erreicht. Die Dampfturbinen sind außerdem Schnellläufer mit Umdrehungszahlen von 1500 $\frac{U}{\text{min}}$ bis 6000 $\frac{U}{\text{min}}$. Diese entsprechen den für Generatoren

erforderlichen Drehzahlen. Der Generator kann deshalb unmittelbar mit der Turbine gekoppelt werden. Die Dampfturbinen besitzen bei einer bestimmten Drehzahl ihren geringsten Dampfverbrauch im Verhältnis zur abgegebenen Leistung. Durch eine automatische Regelung wird diese günstige Drehzahl eingehalten. Die Turbine ist so konstruiert, daß diese Drehzahl mit der des Generators übereinstimmt.

Mit Turbinen können außerdem wesentlich höhere Leistungen als mit Kolbendampfmaschinen erzielt werden. Die Leistung großer Turbinen beträgt das 20- bis 30fache der großer Kolbendampfmaschinen.

Die erste Dampfturbine wurde 1883 von dem Schweden *de Laval* konstruiert. Sie ist seit dieser Zeit wesentlich weiter entwickelt worden und ist heute die wichtigste Maschine zum Umformen von Wärmeenergie in mechanische Energie.

3. Die Dampferzeugungsanlage. Zur Dampferzeugung benötigt man umfangreiche Anlagen, die heute fast ausschließlich automatisch arbeiten. Man unterscheidet zwei wichtige Arten der Feuerung. Bei der einen Art wird die Kohle mittels

Fördereinrichtungen aus den Vorratsbunkern auf einen *Wanderrost* transportiert. Dieser Wanderrost bewegt sich langsam durch den ganzen Feuerraum. Auf ihm entzündet sich die neue Kohle an der bereits brennenden. Die Geschwindigkeit des Wanderrostes wird so eingestellt, daß die Kohle bis zum Ende des Feuerweges restlos verbrannt ist. Die Asche wird meist mit Wasser fortgeschwemmt.

Eine zweite Art der Feuerung ist die *Mühlenfeuerung*. Aus den Vorratsbunkern fällt die Kohle auf schnell umlaufende Stahlschlegel, durch die sie zerkleinert und gleichzeitig in den Feuerraum geschleudert wird. Durch die Zerkleinerung wird eine sehr intensive Verbrennung der Kohle erreicht.

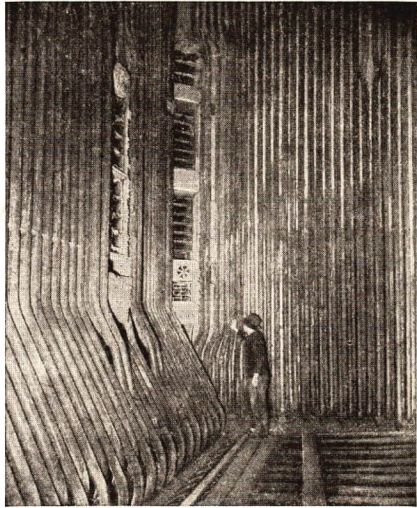


Abb. 111/1. Siederohre im Feuerraum einer Kesselanlage

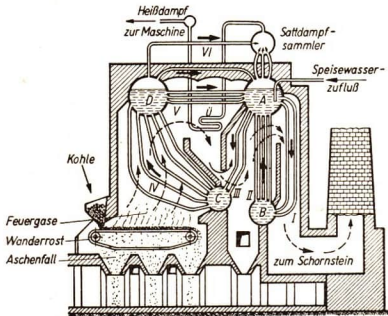


Abb. 111/2. Schematische Wiedergabe eines Siederohrkessels

Die heißen Feuergase umströmen ein System von vielen *Siederohren* (Abb. 111/1). Man bezeichnet einen solchen Kessel als *Siederohrkessel*. Er wird heute vorwiegend bei stationären Anlagen verwendet. In der Abbildung 111/2 kann man den Weg der heißen Verbrennungsgase bis zum Schornstein verfolgen. Sie geben ihre Wärme an das Wasser ab, so daß ihre Temperatur von etwa 800°C auf 200°C absinkt. Das Wasser zirkuliert zwischen den Kesseln A, B und C durch die *Siederohrgruppen* I bis V. Der sich bildende Dampf strömt durch die Rohrgruppe VI zum *Sattdampfsammler*. Der Dampf muß jedoch, bevor er der Maschine zugeführt wird, überhitzt werden.

Er durchströmt zu diesem Zweck den *Überhitzer Ü*. In solchen hochentwickelten Kesselanlagen kann Dampf mit einer Temperatur von rund 500°C und einem Druck von 100 atü erzeugt werden. Dieser Hochdruckdampf ist für Turbinenanlagen hoher Leistung erforderlich. Die Größe der Dampferzeugungsanlagen ist auch dadurch bedingt, daß große Dampfmen gen durch die Turbine strömen müssen. So braucht eine 50 MW Kondensationsturbine stündlich 196 t Dampf von 90 at. Zum Erzeugen dieser Dampfmenge werden etwa 70 t bis 80 t Braunkohle verbrannt.

4. Die Energieumwandlung in der Turbine. Mit hoher Geschwindigkeit strömt der Heißdampf durch *Lavaldüsen* (Abb. 112/1). Diese verengen sich zuerst, so daß Dampfgeschwindigkeiten bis zu $1200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ erreicht werden. Anschließend erweitert sich die Düse wieder konisch. Dadurch werden Wirbelbildungen vermieden, die einen Energieverlust zur Folge hätten.

Der Dampfstrahl trifft auf die Innenwölbung der *Schaufeln*, die auf dem Umfang eines *Laufrades* angeordnet sind. Durch die Wölbung wird die Richtung des Dampfstrahles umgekehrt (Abb. 112/2). Dabei stößt er gegen die Schaufelwand und gibt Energie an sie ab. Infolgedessen dreht sich das Laufrad. Man erreicht somit unmittelbar eine Drehbewegung.

Durch ein Schaufelrad wird aber nur ein Teil der kinetischen Energie des Dampfes ausgenutzt. Der Dampf hat nach dem Verlassen des Schaufelrades noch eine große Geschwindigkeit und eine hohe Temperatur. Er kann daher noch weiter Arbeit verrichten. Aus diesem Grunde wird hinter das Laufrad ein feststehendes *Leiträd* gesetzt, das die Dampfrichtung erneut ändert, so daß die ursprüngliche Richtung wieder erreicht wird. Durch dieses Leiträd wird der Dampf auf ein zweites Laufrad gelenkt. Durch die Verwendung mehrerer Leiträder und Laufräder wird die Energie des Dampfes weitgehend ausgenutzt. Dabei nimmt von Leiträd zu Leiträd das Volumen des Dampfes infolge seiner Entspannung zu. Aus diesem Grunde hat jedes nachfolgende Rad einen größeren Durchmesser als das vorhergehende.

Das Ziel der weiteren Entwicklung der Dampfturbine ist, eine noch günstigere Umformung der im Dampf enthaltenen Energie und damit eine *Erhöhung des Wirkungsgrades* zu erreichen. Im Rahmen dieser Entwicklung wurden bisher Turbinen mit unterschiedlichem Druck- beziehungsweise Geschwindigkeitsabfall in den einzelnen Stufen gebaut. Es gibt Turbinen, bei denen nach einmaliger Entspannung des Dampfes seine Geschwindigkeit von Stufe zu Stufe absinkt (Abb. 113/1). Eine solche Turbine heißt *Geschwindigkeitsturbine*. Bei einer anderen Turbinenart, der *Gleichdruckturbine*, wird der Druck stufenweise herabgesetzt, während die Geschwindigkeit in den Laufrädern abfällt und in

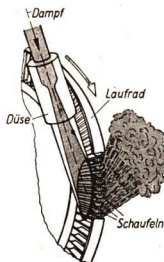


Abb. 112/1. Schnitt durch eine Lavaldüse

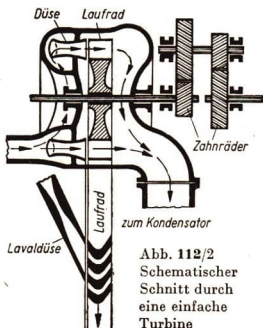


Abb. 112/2
Schematischer
Schnitt durch
eine einfache
Turbine

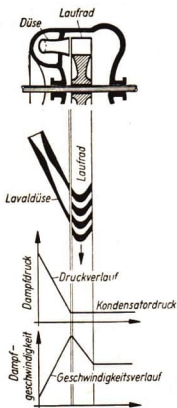


Abb. 113/1. Geschwindigkeitsturbine (schematisch)

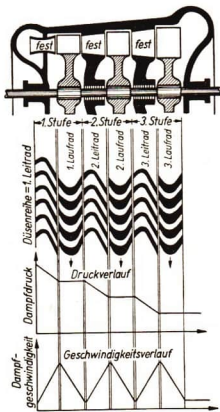


Abb. 113/2. Gleichdruckturbine (schematisch)

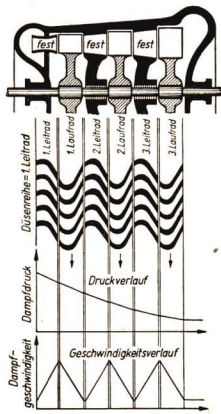


Abb. 113/3. Überdruckturbine (schematisch)

den Leiträdern wieder ansteigt (Abb. 113/2). Bei einer dritten Art, der *Überdruckturbine*, nimmt der Druck innerhalb jedes Rades allmählich ab, während die Geschwindigkeit, wie bei den Gleichdruckturbinen, in den Laufrädern abfällt und in den Leiträdern ansteigt (Abb. 113/3). Den größten Wirkungsgrad erreicht man durch die *Kombination verschiedener Arten von Turbinen* (Abb. 113/4).

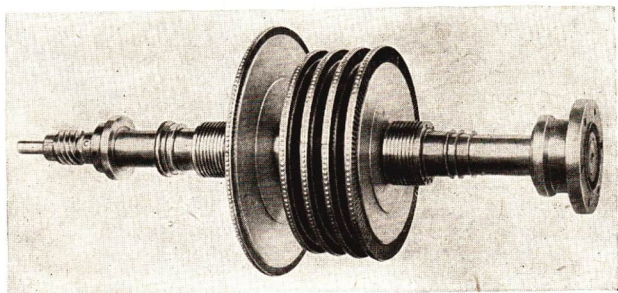


Abb. 113/4. Turbinenwelle

Die Dampfturbine hat jedoch den Nachteil, daß sie *nicht umgesteuert* werden kann. Das ist durch die Schaufelform bedingt. Ist eine Umsteuerung unbedingt notwendig, so muß ein Getriebe verwendet werden. Ein weiterer Nachteil ist das *Anlaufen der Turbine*. Träfe der Dampfstrahl plötzlich mit voller Wucht auf die stehenden Schaufeln, so würden diese umknicken. Daher muß die Turbine langsam auf die erforderliche Drehzahl gebracht werden. Erst in etwa 10 bis 20 Minuten läuft die Turbine unter Abgabe der vollen Leistung. Da im allgemeinen Turbinen eine lange Zeit laufen, ohne abgeschaltet zu werden, sind die Nachteile gegenüber den Vorteilen nur von untergeordneter Bedeutung.

Infolge der genannten Nachteile sind Dampfturbinenlokomotiven bisher nur selten eingesetzt worden.

5. Der Kondensator. Nachdem der Dampf Arbeit verrichtet hat, strömt er in den Kondensator (Abb. 114/1). In ihm wird dem Dampf mit Hilfe von *Kühlwasser* weitere Energie entzogen, so daß er zu Wasser kondensiert. Dadurch verringert sich das Volumen, das der Dampf einnahm, so daß ein Unterdruck entsteht. Er führt zu einer weiteren Beschleunigung des Dampfes in der Turbine. Während bei Anlagen ohne Kondensator, beispielsweise bei der Lokomotive, der Dampf mit einem Druck von etwa 3 at bis 4 at der Maschine entströmt, sinkt bei Anlagen mit Kondensator der Dampfdruck in der Maschine bis auf den Kondensatordruck. Dieser liegt unter 1 at. Somit wird die Energie des Dampfes in solchen Anlagen viel besser ausgenutzt als in Anlagen ohne Kondensator.

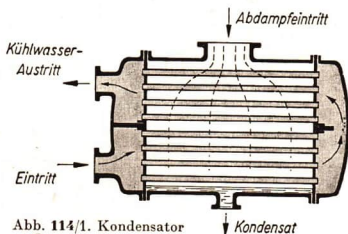


Abb. 114/1. Kondensator

Das erwärmte Kühlwasser gibt die Wärme in *Warmwasserheizungen* oder in *Kamin-kühlern* ab (vgl. Abb. 51/2) und wird wieder in den Kondensator zurückgepumpt.

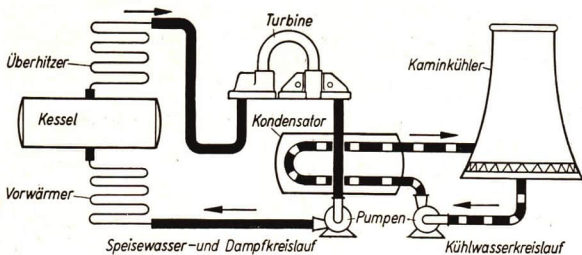


Abb. 114/2. Kreisläufe des Kühlwassers und des Speisewassers

Das *Speisewasser* der Dampferzeugungsanlage ist vom Kühlwasser getrennt (Abb. 114/2). Nach der Kondensation wird es der Dampferzeugungsanlage wieder zugeführt. Vor dem Betrieb wird das Speisewasser in einer Wasseraufbereitungsanlage enthärtet. Dadurch wird die Bildung von Kesselstein weitgehend vermieden. Die Wiedergewinnung des Speisewassers ist daher auch von wirtschaftlicher Bedeutung.

6. Die Bedeutung der Dampfturbine. Der Erzeugung elektrischer Energie aus der Kohle mittels der Dampfturbine kommt beim weiteren Aufbau der Industrie in unserer Deutschen Demokratischen Republik eine große Bedeutung zu (Abb. 115/1). Daher entstehen neue *Großkraftwerke* in Lübbenau und in Vetschau. Für Lübbenau wird zur Zeit vom VEB Bergmann Borsig, Berlin, die größte Turbine der Republik gebaut. Sie wird im Jahre 1961 in Betrieb genommen werden. Der Frischdampf strömt mit einer Temperatur von 525°C und einem Druck von 126 kp/cm² in den *Turbinensatz*. Dieser besteht aus dem *Hochdruckteil* mit elf Stufen, dem *Mitteldruckteil*, ebenfalls mit elf Stufen, und dem *Niederdruckteil* mit zweimal fünf Stufen. Die Leistung dieser Turbine wird 100 MW betragen.

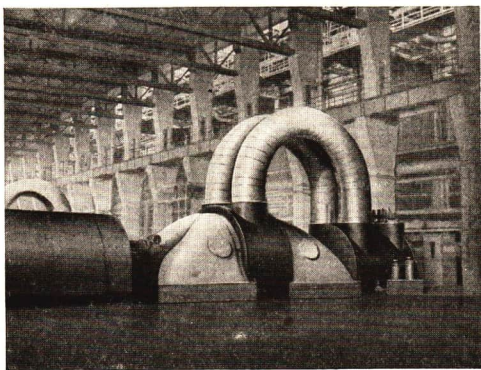
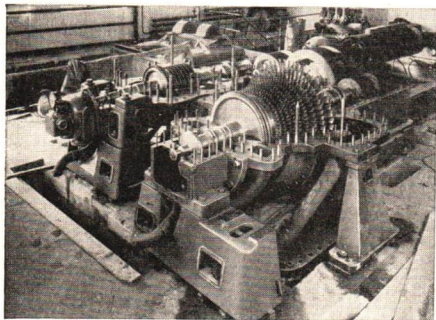
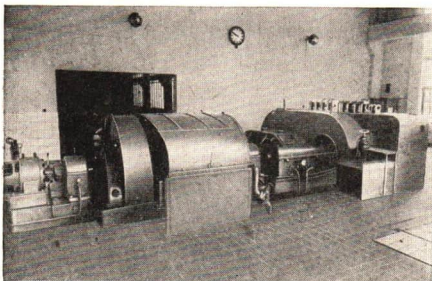


Abb. 115/1. 32 MW-Turbine mit Generator in der Turbinenhalle des Kraftwerkes „Elbe“ in Vockerode bei Dessau

In Industrierwerken, die zur Fertigung Dampf benötigen, wird dem Dampf nach Möglichkeit zunächst Energie zur Stromgewinnung entnommen. Dadurch wird eine Erhöhung des wirtschaftlichen Wirkungsgrades der Dampferzeugungsanlage erreicht. In der Abbildung 116/1 ist eine zweigehäusige Entnahmeturbine wiedergegeben. Im Hochdruckteil der Turbine verrichtet der Dampf Arbeit. Ein Teil des Abdampfes wird für Produktionszwecke entnommen. Der übrige Teil des Abdampfes wird im Niederdruckteil der Turbine weiter ausgenutzt. Mit Hilfe der Turbine wird über ein Getriebe ein Generator angetrieben. Die abgebildete Turbine hat eine Leistung von 5000 kW.



a



b

Abb. 116/1. 5 MW-Turbine,
hergestellt vom VEB
Turbinenfabrik Dresden
a) in der Montage
b) nach Fertigstellung

In Schiffen werden oft die heißen Auspuffgase des Dieselmotors zum Erzeugen von Niederdruckdampf verwendet. Dieser Dampf wird in einer Turbine zur Gewinnung elektrischer Energie ausgenutzt. Mit Hilfe dieser elektrischen Energie können alle elektrischen Einrichtungen des Schiffes versorgt werden. Die abgebildete *Schiffshilfsturbine* besitzt eine Leistung von 400 kW (Abb. 116/2).

7. Fragen und Aufgaben:

1. Welche Vorteile hat die Dampfturbine gegenüber der Kolbendampfmaschine?
2. Erkläre den grundsätzlichen Aufbau einer Dampfturbinenanlage!
3. Welche Aufgaben hat der Kondensator?
4. Schildere die Bedeutung der Dampfturbinen!

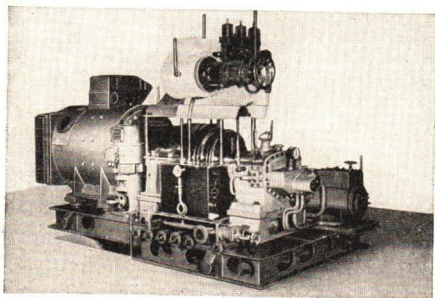


Abb. 116/2. Schiffshilfs-
turbine mit einer Leistung
von 400 kW

20. Die Gasturbine

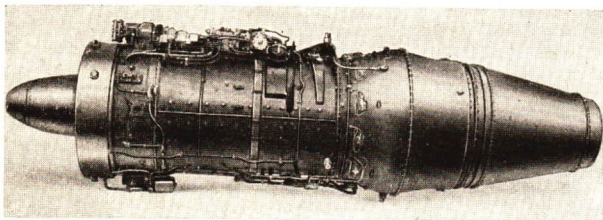
1. Geschichtliche Entwicklung. Bei der Konstruktion neuer Maschinen müssen die Erfahrungen ausgewertet werden, die sich beim Bau und beim Betrieb anderer Maschinen bereits ergeben haben. Dabei versucht man, die Vorteile verschiedener anderer Maschinen in der neuen Konstruktion zu vereinen, ohne ihre Nachteile übernehmen zu müssen. Für den Betrieb der Kolbendampfmaschine und der Dampfturbine sind im Gegensatz zum Betrieb von Brennkraft-Kolbenmaschinen umfangreiche Anlagen zur Erzeugung des Dampfes erforderlich. Bei den Brennkraft-Kolbenmaschinen verbrennt das Kraftstoff-Luft-Gemisch unmittelbar im Zylinder. Allerdings wird mit diesen Maschinen zunächst eine geradlinige Bewegung erzeugt, die dann in eine Drehbewegung umgeformt werden muß. Demgegenüber hat die Dampfturbine den Vorteil, daß bei ihr sofort eine Drehbewegung erreicht wird. Die Vorteile der verschiedenen Wärmekraftmaschinen sind weitgehend bei der Konstruktion der *Gasturbine* ausgewertet worden. Bei dieser Wärmekraftmaschine wird der Kraftstoff in der Maschine selbst verbrannt und unmittelbar eine Drehbewegung erreicht.

Bereits am Ende des 18. Jahrhunderts bestand in England die Absicht, eine Gasturbine zu bauen. Man hatte jedoch wenig Interesse an einer solchen Maschine, da in der damaligen Zeit die Dampfmaschine den gestellten Anforderungen genügte. Erst im Jahre 1897 baute der russische Ingenieur *P. D. Kosminski* die erste Gasturbine. Es vergingen aber noch weitere 40 Jahre, ehe die Gasturbine so weit entwickelt war, daß sie eingesetzt werden konnte. Viele Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker arbeiten seither an der Weiterentwicklung der Gasturbine, da viele neue Probleme gelöst werden müssen. Einen besonders großen Anteil an diesen Arbeiten haben die sowjetischen Wissenschaftler.

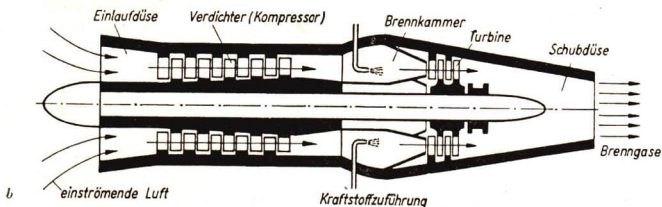
2. Der Aufbau und die Wirkungsweise der Gasturbine. Die modernen leistungsfähigen Gasturbinen sind im wesentlichen nach dem von *Kosminski* entwickelten Prinzip gebaut. Die Hauptteile der Gasturbinenanlage (Abb. 118/1) sind der *Kompressor*, die *Brennkammer* und die *Turbine* selbst. In der Brennkammer wird der eingespritzte Kraftstoff nach Durchmischung mit hochkomprimierter und vorgewärmter Luft verbrannt. Die heißen Verbrennungsgase strömen mit großer Geschwindigkeit gegen die Schaufeln der Turbinenlaufräder und treiben sie an.

a) Der Kompressor. Für die Verbrennung des Kraftstoffes sind große Mengen Luft erforderlich. Diese werden von dem *Kompressor* angesaugt und verdichtet. Er wird von der Turbine angetrieben. Die Schaufelräder des Kompressors versetzen die angesaugte Luft in eine beschleunigte Bewegung, wobei sie zusammengepreßt wird (Abb. 118/2). Da der Kompressor von der Gasturbine angetrieben wird, muß ein Teil der in der Turbine gewonnenen Bewegungsenergie zum Antrieb des Kompressors verwendet werden.

Im Vergleich zu einem Brennkraft-Kolbenmotor wird bei einer Gasturbine ungefähr die vierfache Luftmenge verbraucht. Die Kompressoren werden daher häufig mehrstufig ausgeführt. Da im Kompressor nur Luft gegen die Schaufeln strömt, sind diese nicht denselben großen Beanspruchungen ausgesetzt wie die Schaufeln der Turbine selbst. Sie können daher aus hochwertigen Aluminiumlegierungen gefertigt werden. Ihre Form weicht etwas von der der Turbinenschaufeln ab. Sie haben eine schraubenförmige Gestalt, damit eine Wirbelbildung beim Zusammentreffen von ruhender und strömender Luft vermieden wird.



a



b

Abb. 118/1. Turbinentriebwerk

a) Ansicht,

b) Schnitt

b) Die Brennkammer.

Durch Schlitze in der Rohrwand strömt die verdichtete Luft in die Brennkammer (Abb. 119/1). Der Kraftstoff wird eingespritzt und entzündet sich. Hat er einmal gezündet, so brennt er im Flammrohr gleichmäßig weiter. Dabei treten Temperaturen bis zu 1800°C auf. Bei diesen Temperaturen würde aber das Material der Brennkammer zerstört werden. Deshalb muß die Temperatur der

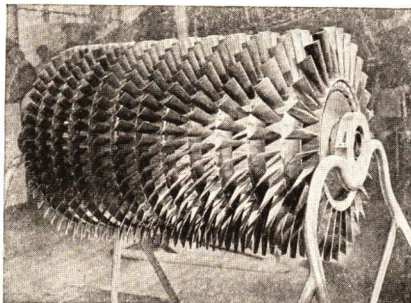


Abb. 118/2. Laufrad des Kompressors

Brennkammer auf mindestens 900°C gesenkt werden. Das wird gleichzeitig auf zweiierlei Wegen erreicht.

Die vom Kompressor in die Brennkammer gedrückte Luft wird nur teilweise zur Verbrennung verwandt. Die restliche Luft mischt sich mit den Verbrennungsgasen und kühlt diese ab. Außerdem ist die Brennkammer von einem zweiten Rohr umgeben. Durch den auf diese Weise entstehenden Zwischenraum, die *Luftkammer*, strömt die komprimierte Luft. Sie kühlt dadurch einerseits die Brennkammer, andererseits erwärmt sie sich. Diese vorgewärmte Luft strömt nun in die Brennkammer. Durch die erhöhte Temperatur der Luft wird die Verbrennung wesentlich gefördert.

Bei der Verbrennung steigt die Temperatur und damit der Druck stark an. Die potentielle Energie der Verbrennungsgase wird unmittelbar in kinetische Energie umgeformt. Die Verbrennungsgase strömen daher mit hoher Geschwindigkeit in die Turbine.

Eine Gasturbine besitzt meist mehrere Brennkammern. Bei leistungsstarken Turbinen sind bis zu 15 Brennkammern gleichmäßig über den ganzen Umfang der Maschine verteilt.

Auf Grund der hohen Temperaturen in den Brennkammern dehnt sich das Metall stark aus. Deshalb befestigt man die Kammern nur auf einer Seite, so daß sie sich ausdehnen können. Die Brennkammern bestehen aus weichem Spezialstahl, der auch bei plötzlichen Luftstößen gut nachgibt. Dadurch entstehen keine Risse im Mantel der Brennkammer.

e) **Die Turbine.** Die Wirkungsweise der *Gasturbine* selbst entspricht weitgehend der der Dampfturbine. Die Laufräder dieser beiden Turbinenarten ähneln sich daher sehr (Abb. 119/2). Zwischen den Laufrädern der Gasturbine befinden sich ebenfalls Leiträder. Die heißen Gase strömen mit großer Geschwindigkeit durch die Lauf- und die Leiträder und treiben die Turbine an. Dabei wird die kinetische Energie des Gases auf die Turbinenschaufeln übertragen. Die mit Luft gemischten heißen Verbrennungsgase haben noch eine Temperatur von 650°C bis 900°C , wenn sie auf die Schaufeln treffen. Neben der Beanspruchung infolge der hohen Temperatur werden die Schaufeln vor allem auf Zug und Stoß beansprucht. Es werden somit große Anforderungen an das Material für Turbinenschaufeln gestellt. Daher mußten besonders hochwertige

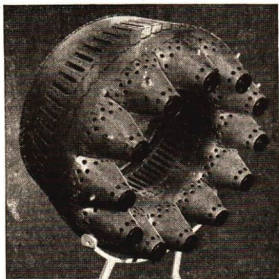


Abb. 119/1. Brennkammern

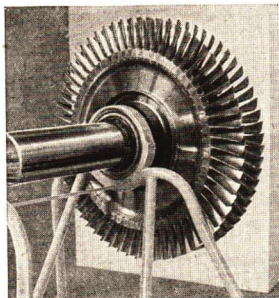


Abb. 119/2. Laufrad der Turbine

Legierungen aus Stahl, Nickel, Chrom, Titan und Mangan geschaffen werden. Die hierbei zu überwindenden Schwierigkeiten waren mit ein Grund für die späte Entwicklung der Gasturbine.

d) Der Wirkungsgrad der Gasturbine. Wie bei den anderen Wärmekraftmaschinen geht auch bei einer Gasturbine ein großer Teil der Wärmeenergie für die Nutzung verloren. Der Wirkungsgrad einer Gasturbine beträgt in der aus Kompressor, Brennkammer und Turbinensatz bestehenden Ausführung nur etwa 20 %. Er ist damit geringer als der einer Dampfturbine. Der Wirkungsgrad wird dadurch erhöht, daß man die Auspuffgase mit ihrer hohen Temperatur zum Vorwärmen der Luft für die Brennkammer verwendet. Dadurch wird auch Brennstoff eingespart. Die für das Vorwärmen erforderliche Einrichtung wird als Wärmeaustauscher bezeichnet, da in ihr ein Austausch der Wärme zwischen den Verbrennungsgasen und der komprimierten Luft erfolgt. Auf Grund dieser besseren Ausnutzung der Wärmeenergie steigt der Wirkungsgrad auf 26 %. Durch erneutes Erhitzen der Verbrennungsgase in der Brennkammer einer nachgeschalteten zweiten Turbine steigt der Wirkungsgrad sogar auf 36 %. Im Vergleich hierzu hat der Dieselmotor einen Wirkungsgrad von 32 %. Der Vorteil der Gasturbine liegt, abgesehen vom Wirkungsgrad, vor allem darin, daß das Verhältnis der erreichten Leistung zu dem Materialverbrauch wesentlich günstiger als bei anderen Wärmekraftmaschinen ist.

Gasturbinen werden hauptsächlich zum Antreiben von Elektrogeneratoren, Luftschrauben und Schiffsschrauben eingesetzt.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Beschreibe den Aufbau und die Wirkungsweise einer Gasturbine!
2. Worin unterscheiden sich die Dampfturbine und die Gasturbine? Welche gemeinsamen Merkmale haben sie?

21. Die Anwendung der Wärmekraftmaschinen in der Luftfahrt

1. Die Brennkraft-Kolbenmaschine als Flugzeugmotor. Delegationen, Wissenschaftler, Diplomaten, Sportler und Touristen benutzen in immer größerer Anzahl für ihre Reisen das Flugzeug. Für den Flug von Prag über Moskau nach Peking benötigt man zur Zeit nur 10 Stunden. Die Verkürzung der Flugzeit, die früher auf der genannten Strecke 25 Stunden betrug, war vor allem durch die Verbesserung der Leistung der Triebwerke möglich.

Zu Beginn der Motorfliegerei benutzte man Automotoren. So verwendeten die Brüder Wright für ihre Flüge mit dem ersten Motorflugzeug im Jahre 1903 einen Ottomotor mit einer Leistung von 15 PS und einem Gewicht von 112 kp (Abb. 121/1). Die Automotoren konnten aber den steigenden Anforderungen bald nicht mehr genügen, so daß spezielle Flugzeugmotoren entwickelt werden mußten.

Eine der wichtigsten Anforderungen an einen Flugzeugmotor ist ein geringes Gewicht bei hoher Leistung. Dieses sogenannte *Leistungsgewicht* ist der Quotient aus dem Gewicht des Motors und seiner Leistung. Im Laufe der Entwicklung konnte das Leistungsgewicht des Ottomotors von etwa $10 \frac{\text{kp}}{\text{PS}}$ auf $1,3 \frac{\text{kp}}{\text{PS}}$ gesenkt werden.



Abb. 121/1. Wright-Doppeldecker (Bauart 1907)

Weiterhin wurde erreicht, daß heute die Motoren auch bei hoher Leistung laufen, ohne zu stoßen und zu schütteln. Durch Kompressoren werden sie in großen Höhen mit dem zur Verbrennung notwendigen Sauerstoff versorgt.

Die Flugzeuge, die mit Ottomotoren ausgerüstet sind, haben Reihen-, Boxer-, Stern- oder Doppelsternmotoren (Abb. 121/2). So besitzt das *Mittelstreckenflugzeug IL 14* zwei 14-Zylinder-Doppelsternmotoren mit einer Leistung von je 1900 PS, insgesamt also 3800 PS (Abb. 122/1). Das ist etwa die doppelte Leistung einer Schnellzuglokomotive. Die Leistung der Motoren einer IL 14 ist so berechnet, daß das Flugzeug auch mit einem Motor sicher starten, fliegen und landen kann. Daraus erkennt man, welcher Wert in den sozialistischen Ländern auf die Sicherheit von Flugzeugen gelegt wird. Die Reisegeschwindigkeit des Flugzeuges vom Typ IL 14 beträgt etwa $325 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Bei voller Leistung der Motoren kann eine Höchstgeschwin-

digkeit von $400 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht werden.

Das Flugzeug IL 14 ist ein von der Sowjetunion entwickeltes und gebautes Flugzeug, das in vielen sozialistischen Ländern eingesetzt wird. Es ist das erste Flugzeug, das von der jungen Flugzeugindustrie in unserer Deutschen Demokratischen Republik gebaut worden ist. Die Unterlagen hierfür wurden uns von der Sowjetunion kostenlos zur Verfügung gestellt. Dadurch war die schnelle Entwicklung unserer Flugzeugindustrie überhaupt erst möglich.

2. Die Propellerturbine. Für die Entwicklung moderner Langstrecken- und Großflugzeuge werden wesentlich leistungsstärkere Triebwerke als bisher gebraucht. Die Vergrößerung der Anzahl der Motoren auf beispielsweise vier oder gar zehn konnte das Problem nicht lösen. Daher entwickelten die Wissenschaftler und Konstrukteure Gasturbinen, die besonders für die Verwendung in Flugzeugen geeignet sind. Mit Hilfe einer Gasturbine wird über ein

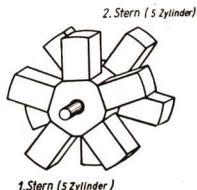


Abb. 121/2. Doppelsternmotor

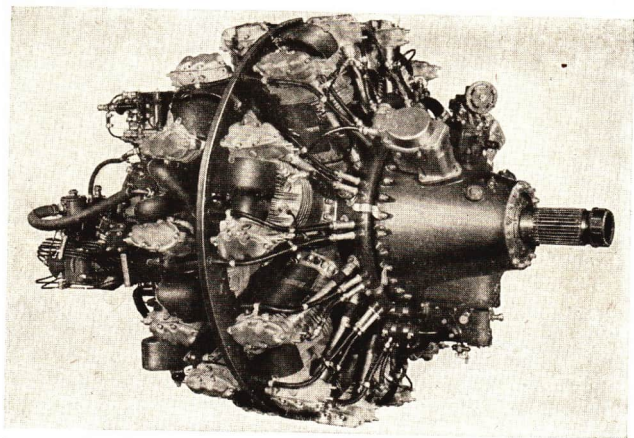


Abb. 122/1. Doppelsternmotor einer IL 14

Getriebe die Luftschraube angetrieben. Außerdem sind *Propellerturbinen* mit einer *Schubdüse* ausgerüstet, die sich am hinteren Ende der Turbine befindet. Durch diese Düse strömen die mit Luft vermischten Verbrennungsgase mit großer Geschwindigkeit ins Freie. Dabei entsteht ein beachtlicher Rückstoß, durch den das Triebwerk und damit das Flugzeug vorwärts bewegt wird. Der Rückstoß wird auch als *Schub* bezeichnet.

Die Antriebskraft der Propellerturbine wirkt somit an der Luftschraube und durch den Rückstoß. Entsprechend diesen beiden Antrieben verteilt sich die Nutzenergie der Turbine auf die Energie der rotierenden Luftschraube und die Energie, die beim Schub auftritt. Für Mittelstreckenflugzeuge sind geringe Landegeschwindigkeiten und damit kurze Landebahnen sehr erwünscht. Infolgedessen wird beim Starten und Landen der Luftschraube mehr Energie zugeführt, während beim Fliegen die Hauptenergie für den Schub verwandt wird. Mit Propellerturbinen, kurz *Turboprop* genannt, ist das von dem sowjetischen Konstrukteur *Ilyuschin* entwickelte Mittel- und Langstreckenflugzeug *IL 18* ausgerüstet (Abb. 123/1).

Propellerturbinen haben ein Leistungsgewicht von etwa $0,75 \frac{\text{kp}}{\text{PS}}$. Es liegt somit unter dem des Ottomotors von $1,3 \frac{\text{kp}}{\text{PS}}$. Der Kraftstoffverbrauch der Turbine ist bei gleicher Leistung ebenso groß wie der des Ottomotors. Daher wird in Zukunft der Propellerturbinenantrieb bevorzugt verwendet werden.

3. Die Strahlerturbine. Langstreckenflugzeuge müssen eine wesentlich höhere Geschwindigkeit als bisher erreichen, um lange Strecken in möglichst kurzer Zeit



Abb. 123/1. IL 18 über Moskau

zurücklegen zu können. Diese Forderung wird mit Hilfe der Strahltriebwerke erfüllt. Sie hat *keine* Luftschrauben. Die gesamte Nutzenergie wird für die Erzeugung des Schubes verwendet. Eine der modernsten Maschinen, die mit Strahltriebwerken angetrieben werden, ist das sowjetische Flugzeug *Tu 104 A*. Es erreicht eine Reisegeschwindigkeit von $900 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (Abb. 123/2).

Die Strahltriebwerke bestehen wie jede andere Gasturbine aus dem Kompressor, den Brennkammern und der eigentlichen Turbine. Das aus der Schubdüse mit hoher Geschwindigkeit ausströmende Gas treibt das Flugzeug an. Das Leistungsgewicht eines Strahltriebwerkes hat den außerordentlich günstigen Wert von $0,4 \frac{\text{kp}}{\text{PS}}$. Die Leistung eines Strahltriebwerkes wird jedoch meist nicht in PS angegeben, sondern sie wird durch den Schub in Kilopond, der von dem Triebwerk erzeugt wird,



Abb. 123/2. Tu 104 A
beim Starten



Abb. 124/1. Turbinen-Verkehrsflugzeug 152

gekennzeichnet. Mit Hilfe des Strahltriebwerkes können Leistungen von dem zehnfachen Wert der Brennkraft-Kolbenmaschinen und der Propeller-turbinen erreicht werden.

Die günstigste Flughöhe für Flugzeuge mit Strahltriebwerken liegt bei etwa 10 000 m Höhe, da in dieser Höhe der Luftwiderstand wesentlich geringer ist als dicht über der Erde. Die Flugzeuge erreichen in der großen Höhe eine Geschwindigkeit von $1000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und mehr. Diesen hohen

Geschwindigkeiten ist die gesamte Form des Flugzeuges angepaßt. Infolgedessen brauchen sie größere Geschwindigkeiten zum Starten und Landen. Daher müssen die Rollbahnen verlängert und zusätzliche Bremsenrichtungen entwickelt werden. Die höhere Landegeschwindigkeit bedingt auch eine stärkere Beanspruchung des Fahrgestells, das bei diesen Flugzeugen daher kräftiger ausgebildet sein muß als bei den anderen.

Der sowjetische Luftverkehrsbetrieb Aeroflot befliegt bereits seit mehreren Jahren Fernstrecken mit den strahlgetriebenen Flugzeugen Tu 104 und 104 A. Die Tu 104 A besitzt zwei Strahltriebwerke mit einem Startschub von je 6750 kp und erreicht bereits 15 Minuten nach dem Start eine Flughöhe von 11 000 m. Auch der tschechoslowakische Luftverkehrsbetrieb CSA befliegt bereits einige Strecken mit diesem modernen Flugzeug. So wird für den planmäßigen Flugverkehr von Prag nach Kairo nur eine Flugzeit von 5 Stunden benötigt.

Auch von unserer volkseigenen Flugzeugindustrie wird bereits ein strahlgetriebenes Flugzeug entwickelt (Abb. 124/1). Das Turbinen-Verkehrsflugzeug 152 ist mit vier Strahltriebwerken vom Typ Pirna 014 ausgerüstet, die paarweise in Gondeln angebracht sind. Mit diesem Flugzeug können 48 bis 72 Personen befördert werden. Es ist besonders für Mittelstrecken geeignet und wird nach eingehender Flugerprobung von der Deutschen Lufthansa in Dienst gestellt werden. Seine Reisegeschwindigkeit liegt bei $800 \dots 850 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Dieses Flugzeug ist das erste deutsche Turbinen-Verkehrsflugzeug.

4. Fragen:

1. Warum kommt es bei der Entwicklung von Flugzeugmotoren auf die Senkung des Leistungsgewichts an?
2. Welche Antriebskräfte werden bei der Propellerturbine ausgenutzt und wann werden sie jeweils eingesetzt?
3. Wie werden moderne Langstreckenflugzeuge angetrieben und warum fliegen sie in großen Höhen?

III. Elektrizitätslehre

22. Die Elektronen

1. Die Wirkungen des elektrischen Stromes. Die Anwendungen der *Elektrizität* in der Industrie, in der Landwirtschaft und im Haushalt sind sehr vielseitig. Mit Hilfe des elektrischen Lichts werden Werkhallen und Wohnungen beleuchtet. Elektrische Motoren treiben Drehmaschinen, große Bagger und Elektroloks an. Auch der Rundfunk und das Fernsehen, die Telefonie und die Telegrafie beruhen auf den Wirkungen des elektrischen Stromes. Dies sind nur wenige Beispiele aus der Fülle der Anwendungen der Elektrizität.

Die verschiedenen elektrischen Geräte beruhen auf den sehr unterschiedlichen *Wirkungen des elektrischen Stromes*. Im folgenden sind für jede der Wirkungen einige typische Anwendungen zusammengestellt.

a) Wärmewirkung

Bügeleisen, Heizkissen, Tauchsieder, Infrarotstrahler, Elektroschweißgeräte, Elektrostahlofen (Abb. 126/1).

b) Lichtwirkung

Glühlampe, Bogenlampe, Leuchtröhre, Blitzröhre (Abb. 126/2).

c) Chemische Wirkungen

Galvanisches Element, Herstellung von Wasserstoff und von Sauerstoff durch Elektrolyse, Oberflächenveredlung, Herstellung von Galvanoplastiken (Abb. 126/3).

d) Magnetische Wirkungen

Elektrische Klingel, Elektromagnet (Abb. 126/4), Elektromotor und Generator.

2. Die elektrische Ladung. Die ersten Beobachtungen elektrischer Vorgänge wurden im 18. Jahrhundert gemacht. Von diesem Zeitpunkt an waren die Forscher ständig bemüht, das Wesen der Elektrizität zu ergründen. Aber erst am Ende des 19. Jahrhunderts gewann man hierüber genaue Kenntnisse.

Ein mit einem Lederlappen geriebener Glasstab und ein mit einem Wollappen geriebener Hartgummistab ziehen leichte Stoffteilchen wie Papierschnitzel und Holundermarkkugeln an (Abb. 127/1). Die Ursache liegt darin, daß *der Glasstab und der Hartgummistab elektrisch geladen sind*. Diesen elektrischen Zustand kann man mit den Sinnesorganen nicht unmittelbar feststellen, jedoch ist er an seinen Wirkungen nachweisbar.

Werden aber zwei geriebene Hartgummistäbe einander genähert, so stoßen sie einander ab (Abb. 127/2). Auch andere gleichartige, durch Reibung elektrisch geladene Körper, beispielsweise zwei Glasstäbe, stoßen sich ab. Dagegen ziehen sich ein geriebener Hartgummistab und ein geriebener Glasstab an (Abb. 127/3). An elektrisch

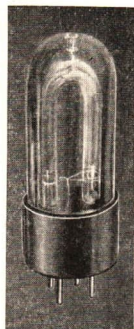
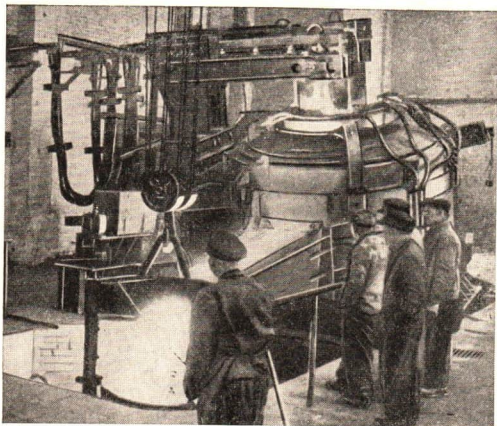


Abb. 126/2
Blitzröhre

Abb. 126/1
Elektrostahlofen

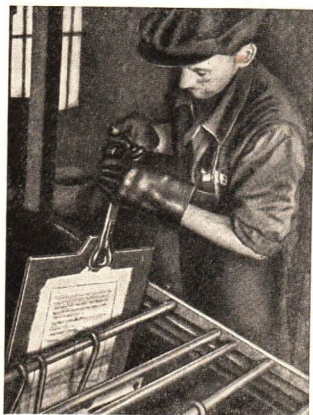


Abb. 126/3. Herausnahme einer galvanisch überzogenen Matrice aus dem Galvanisierungsstrog

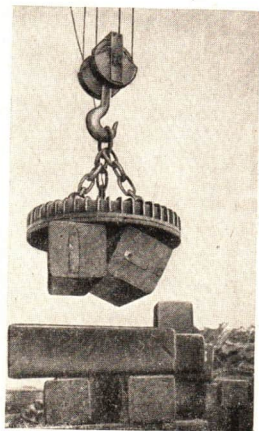


Abb. 126/4. Elektromagnet als Lastheber

nicht geladenen Glas- oder Hartgummistäben ist weder Anziehung noch Abstoßung feststellbar. Die Ursache dieser Anziehung oder Abstoßung elektrisch geladener Körper sind die **elektrischen Ladungen**. Aus dem Verhalten des Glasstabes und des Hartgummistabes folgt, daß es unterschiedliche elektrische Ladungen gibt. Man nennt sie **positive** und **negative elektrische Ladungen**. Der geriebene Glasstab ist **positiv** geladen, während ein geriebener Hartgummistab **negative** Ladungen enthält.

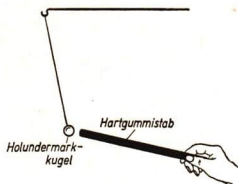


Abb. 127/1. Ein elektrisch geladener Körper zieht ein Holundermarkkugeln an.

Die elektrischen Ladungen sind die Ursache für das Auftreten elektrischer Anziehungs- beziehungsweise Abstoßungskräfte.

Körper mit gleichartigen elektrischen Ladungen stoßen sich ab.

Körper mit ungleichartigen elektrischen Ladungen ziehen einander an.

3. Das Atom. Genauere Kenntnisse über das Wesen der elektrischen Ladungen konnten erst gewonnen werden, als der *Aufbau der Atome* erforscht worden war. Alle festen, flüssigen und gasförmigen Körper bestehen aus kleinsten Teilchen, den **Atomen**. Sie sind unvorstellbar klein. Man kann sie auch mit einem Mikroskop nicht unmittelbar einzeln erblicken. Früher hielt man die Atome für unteilbar. Heute jedoch weiß man, daß *jedes Atom aus dem Kern und aus der Hülle besteht*. Sowohl der Kern als auch die Hülle weisen eine besondere Eigenschaft auf, sie sind elektrisch geladen.



Abb. 127/2. Zwei elektrisch geladene Hartgummistäbe stoßen sich ab.



Abb. 127/3. Ein elektrisch geladener Hartgummistab und ein elektrisch geladener Glasstab ziehen sich an.

4. Die elektrischen Ladungen des Atomkerns und der Atomhülle. Obwohl das Atom unvorstellbar klein ist, konnten die Wissenschaftler immer weitere Gesetzmäßigkeiten im Aufbau des Atomes erkennen. So konnte festgestellt werden, daß der *Kern positiv*, die *Atomhülle dagegen negativ* geladen ist. Zwischen beiden wirkt infolgedessen ständig eine Anziehungskraft. Die positive Ladung des Kerns und die negative Ladung der Hülle sind gleich groß. Sie heben sich in ihrer Wirkung nach außen auf. Daher ist das Atom nach außen **elektrisch neutral**.

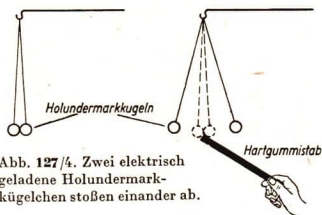


Abb. 127/4. Zwei elektrisch geladene Holundermarkkugeln stoßen einander ab.

nach außen auf. Daher ist das Atom nach

Jedes Atom ist elektrisch neutral. Es besteht aus dem positiv geladenen Kern und aus der negativ geladenen Hülle. Beide Ladungen sind gleich groß.

5. Die Elektronen. Zwei ungeladene Holundermarkkugeln werden durch Berühren mit einem geriebenen Hartgummistab negativ elektrisch geladen (Abb. 127/4). Sie stoßen einander ab. Wiederholt man den Versuch mehrere Male, ohne den Hartgummistab aufzuladen, so stellt man eine kleiner werdende Abstoßung der vor jedem neuen Versuch entladenen Holundermarkkugeln fest. Die Ladung des Hartgummistabes hat somit abgenommen. Der Stab hat jeweils einen Teil seiner negativen Ladung an die Kugeln abgegeben.

Elektrische Ladungen sind teilbar.

Genau durchgeführte Untersuchungen haben ergeben, daß elektrische Ladungen nicht unbegrenzt geteilt werden können. Man kommt immer nur bis zu einer ganz bestimmten, sehr kleinen elektrischen Ladung, die sich nicht weiter teilen läßt. Auch die Atomhülle besteht aus solchen kleinsten elektrisch negativ geladenen Teilchen. Diese elektrisch negativ geladenen Teilchen heißen **Elektronen**.

Trotz der geringen Größe der Elektronen ist es nicht nur gelungen, ihre Existenz nachzuweisen, sondern auch die Masse eines Elektrons zu bestimmen. Sie ist so klein, daß etwa $100\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{27}$ Elektronen eine Masse von 1 g ergeben. Würde man beispielsweise die gleiche Anzahl getrockneter Kastanien sammeln, so hätten diese die gleiche Masse wie die gesamte Erdkugel.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Nenne elektrische Geräte und ordne sie nach den Wirkungen des elektrischen Stromes, auf denen sie beruhen!
2. Reibe einen Kamm an deiner Jacke und halte ihn dicht über kleine trockene Papierschnitzel! Erkläre deine Beobachtung!
3. Wo liegt der Ursprung aller elektrischer Ladungen?

23. Die elektrische Spannung

1. Der Spannungsbegriff. Elektrische Geräte, wie Glühlampen, Bügeleisen, Rundfunkempfänger und Elektromotoren müssen vor Inbetriebnahme an eine *Spannungsquelle* angeschlossen werden.

Das Wort **Spannung** weist bereits auf einen ganz besonderen Zustand hin, den man sich an einem Modell aus der Mechanik veranschaulichen kann. Zwischen den beiden Wandhaken A und B ist eine Schraubenfeder ausgespannt (Abb. 128/1). Sie befindet sich im Zustand der Spannung. Man sagt auch: Zwischen den beiden Punkten A und B herrscht eine Spannung.

Für eine Spannung ist zweierlei kennzeichnend:

1. Es lassen sich immer zwei Punkte angeben, zwischen denen die Spannung auftritt.
2. Ist die Möglichkeit gegeben, so kommt es zu einem Ausgleich des Spannungszustandes.

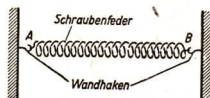


Abb. 128/1. Zwischen den Punkten A und B einer Schraubenfeder herrscht eine Spannung.

Wird beispielsweise die Feder von dem einen Wandhaken gelöst, so zieht sie sich infolge ihrer Elastizität wieder zusammen.

2. Das Entstehen einer elektrischen Spannung. Wird der Hülle eines Atoms ein Elektron entrisen, so wird ihre negative Ladung um die negative Ladung eines Elektrons vermindert. Die positive Ladung des Kerns bleibt jedoch unverändert. Infolgedessen ist das elektrische Gleichgewicht des Atoms gestört. Der Atomrest ist nicht mehr elektrisch neutral, sondern besitzt den Überschuß einer positiven Ladung. Einen solchen Atomrest bezeichnet man als **Ion**. Zwischen dem Atomrest und dem aus der Atomhülle ausgetretenen freien Elektron herrscht wegen der verschiedenartigen Ladungen eine Spannung. *Getrennte elektrische Ladungen sind die Ursache für das Zustandekommen elektrischer Spannungen.*

Einem Glasstab können durch Reiben mit einem Lederlappen Elektronen entrisen werden. Auf der Oberfläche des geriebenen Glasstabes befinden sich infolgedessen positive Ionen. Daraus erklärt sich die positive Ladung geriebener Glasstäbe. Die dem Glasstab entrisenen Elektronen befinden sich an der Oberfläche des Lederlappens. Er ist somit negativ geladen. Zwischen dem positiv geladenen Glasstab und dem negativ geladenen Lederlappen herrscht eine elektrische Spannung. Wird eine leitende Verbindung so zwischen dem Glasstab und dem Lederlappen hergestellt, daß die überschüssigen Elektronen des Lederlappens zum Glasstab zurückfließen können, so gleicht sich die Spannung aus (Abb. 129/1). Glasstab und Lederlappen sind dann wieder elektrisch neutral.

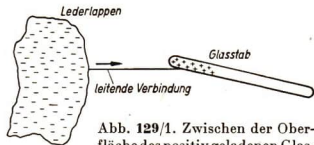


Abb. 129/1. Zwischen der Oberfläche des positiv geladenen Glasstabes und der des negativ geladenen Lederlappens herrscht ein Spannungszustand

3. Elektrische Spannungsquellen. Vorrichtungen, die eine elektrische Spannung erzeugen und aufrechterhalten, heißen *elektrische Spannungsquellen*. Sie besitzen zwei Anschlußstellen, die *Pole*. Der eine Pol, der *Pluspol*, ist positiv geladen. Der andere Pol, der *Minuspol*, ist negativ geladen. Der Pluspol hat einen Mangel an Elektronen, der Minuspol hat einen Überschuß an Elektronen. Zwischen ihnen herrscht eine elektrische Spannung.

a) **Der Bandgenerator (nach van de Graaff).** Zum Erzeugen sehr hoher Spannungen verwendet man in der Technik und in der Forschung, besonders in großen Atomforschungsinstituten, oft *Bandgeneratoren*. Die Wirkungsweise eines Bandgenerators ist stark vereinfacht folgende: Einem schnell umlaufenden, endlosen Band aus Gummi oder Seide werden mit Hilfe einer Metallbürste fortlaufend Elektronen entzogen (Abb. 129/2).

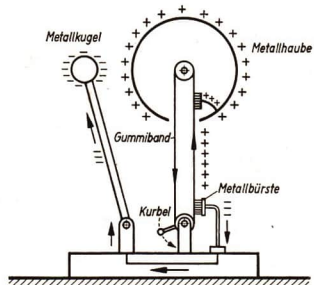


Abb. 129/2. Schnitt durch das Modell eines Bandgenerators

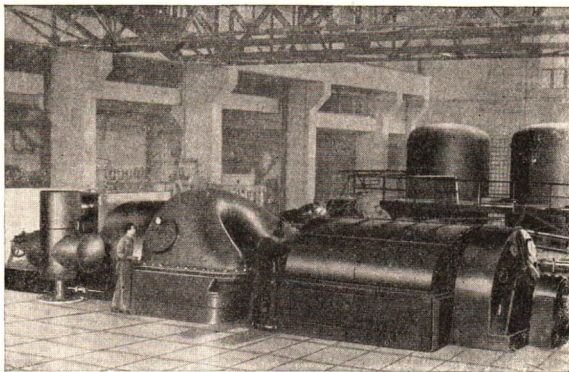


Abb. 130/1. Generator, hergestellt im VEB Bergmann Borsig, Berlin

Zwischen dem Band und der Metallbürste herrscht somit eine Spannung. Mittels Bandgeneratoren erreicht man Spannungen bis zu 5000000 V.

b) Der Generator. Die wichtigsten elektrischen Spannungsquellen sind die *Generatoren* (Abb. 130/1). Über ein weitverzweigtes elektrisches Leitungsnetz wird die von ihnen erzeugte Spannung dem Verbraucher zugeführt. Die vielfachen Verzweigungen des Leitungsnetzes enden häufig in *Steckdosen*, an die elektrische Geräte angeschlossen werden können (Abb. 130/2 und Abb. 130/3). Man kann somit die an das Leitungsnetz angeschlossene Steckdose als Spannungsquelle bezeichnen.

c) Die Taschenlampenbatterie. Kleine, leicht transportierbare Spannungsquellen sind die *galvanischen Elemente*. Von den verschiedenen Arten ist vor allem das *Kohle-Zink-Element* von Bedeutung, aus dem die *Taschenlampenbatterie* aufgebaut ist (Abb. 131/1). Die elektrische Spannung wird durch chemische Vorgänge im Element hervorgerufen, die nicht rückgängig gemacht werden können.

d) Der Akkumulator. Im Gegensatz zu den galvanischen Elementen kann der *Akkumulator* ständig neue elektrische Energie speichern und wieder abgeben. Zum Zuführen elektrischer Energie, zum Aufladen, werden die Anschluß-

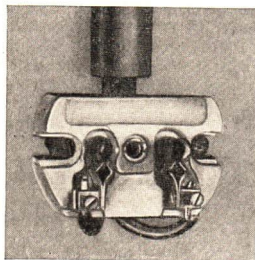


Abb. 130/2. Elektrische Steckdose (ohne Schutzkappe)

Abb. 130/3. Schaltzeichen einer Steckdose

links: ohne,
rechts: mit Schutzkontakt



klemmen des Akkumulators (Abb. 131/2 und Abb. 131/3) an die Pole einer Spannungsquelle angeschlossen. Die zugeführte elektrische Energie wird in chemische Energie umgewandelt. Der Akkumulator ist durch das Aufladen eine selbständige Spannungsquelle geworden.

Wird ein Elektrogerät an den Akkumulator angeschlossen, so wird durch den Ablauf chemischer Prozesse die chemische Energie wieder in elektrische Energie umgewandelt. Der Akkumulator wird entladen.

4. Die Einheit der elektrischen Spannung. Zum Messen von Spannungen benötigt man eine Einheit. Die *Einheit der Spannung* ist das **Volt (V)**. Zwei abgeleitete Einheiten sind das **Kilovolt (kV)** und das **Millivolt (mV)**.

$$\begin{aligned} 1 \text{ kV} &= 1000 \text{ V} \\ 1 \text{ mV} &= 0,001 \text{ V} \end{aligned}$$

Für die Wissenschaft und die Technik ist es wichtig, eine Spannungsquelle zu haben, nach der elektrische Spannungsquellen geeicht werden können. Eine solche Spannungsquelle, ein *Spannungsnormalelement*, muß außerdem leicht nachgebaut werden können. Man wählte hierzu das *Cadmium-Normalelement* (Abb. 131/4). Die von ihm aufrechterhaltene Spannung wurde 1911 von einer internationalen Kommission zu 1,0183 V (bei 20°C) festgelegt. Dieser Wert ergab sich, da die Spannungseinheit 1 V bereits festgelegt war (vgl. S. 141). In der Tabelle auf S. 132 sind einige wichtige Spannungswerte zusammengestellt.

Spannungen unter 42 V (*Kleinspannungen*) sind für den menschlichen Körper ungefährlich. Für Spannungen von 42 ... 250 V (*Niederspannungen*) bestehen gesetzlich angeordnete Arbeitsschutzvorschriften. Für Spannungen über 250 V (*Hochspannungen*) gelten außerdem noch besondere Vorschriften. Hochspannungsanlagen sind durch besondere Warnschilder gekennzeichnet (Abb. 133/1).

Achtung! Beim Umgang mit elektrischen Anlagen ist stets größte Vorsicht geboten. Man berühre grundsätzlich keine blanken Metallteile, die Spannung führen könnten!

Abb. 131/4. Cadmium-Normalelement

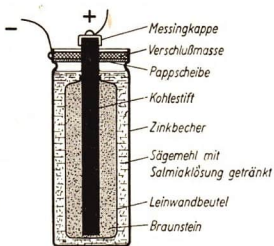


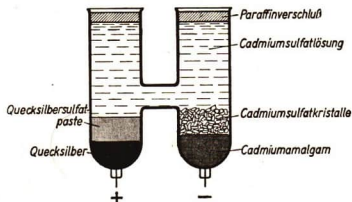
Abb. 131/1. Element einer Taschenlampenbatterie



Abb. 131/2. Akkumulator (hergestellt im VEB Berliner Akkumulatoren- und Elemente-Fabrik, Berlin-Oberschöneweide)



Abb. 131/3. Schaltzeichen eines Akkumulators



Übersicht über wichtige Spannungswerte

a) Spannungen wichtiger Spannungsquellen			
Normalelement		1,0183	V
Nickel-Cadmium-Akkumulator		1,25	V
Kohle-Zink-Element einer Taschenlampenbatterie		1,50	V
Blei-Akkumulator		2	V
Fahrraddynamo		6	V
Kraftwagenbatterie		12	V
Lichtnetz		220	V
Hochspannungsbandgenerator	etwa	500000	V

b) Betriebsspannungen wichtiger technischer Anlagen			
Elektrokarren	bis	80	V
Elektrische Straßenbahn		500	V
Zündkerze im Kraftwagenmotor		5000	V
Neon-Leuchtröhre	bis	6000	V
Elektrische Eisenbahn		15000	V
Röntgenröhren für medizinische Zwecke	bis	60000	V
Röntgenröhren für Werkstoffprüfung		200000	V
Hochspannungsleitungen	bis	400000	V

5. Spannungsmesser. Beruht die Wirkungsweise eines Spannungsmessers auf der Anziehungskraft ungleichartig elektrisch geladener Körper, so bezeichnet man ihn als *elektrostatischen Spannungsmesser* oder als *elektrostatisches Voltmeter* (Abb. 133/2 und Abb. 133/3).

Durch statische Meßinstrumente fließt kein elektrischer Strom.

Vollkommen anders gebaut sind die *elektrodynamischen Spannungsmesser* beziehungsweise die *elektrodynamischen Voltmeter* (Abb. 133/4 und Abb. 133/5). Sie beruhen auf der magnetischen Wirkung des elektrischen Stromes.

Durch elektrodynamische Meßgeräte fließt ein elektrischer Strom.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Warum entsteht beim Reiben eines Füllfederhalters an einem Pullover eine elektrische Spannung zwischen beiden?
2. Nenne Spannungsquellen, die du selbst schon benutzt hast und gib ihre Spannung an!
3. Erkläre die Wirkungsweise eines elektrostatischen Spannungsmessers!



Abb. 133/1. Warnschilder für Hochspannung



Abb. 133/3
Schaltzeichen
eines
statischen
Voltmeters
(nicht
genormt)

Abb. 133/2
Elektro-
statisches
Voltmeter —
Braunses
Elektrometer

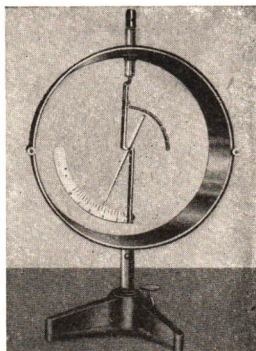


Abb. 133/5
Schalt-
zeichen eines
elektrodyna-
mischen
Voltmeters

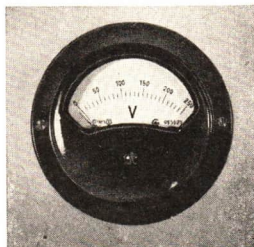


Abb. 133/4. Elektrodynamisches Voltmeter

24. Der elektrische Strom

1. Der Elektronenstrom. Elektronen, die nicht an ein Atom gebunden, sondern frei beweglich sind, heißen *freie Elektronen*. Diese dem Atomverband entstammenden Elektronen bewegen sich im allgemeinen in den unterschiedlichsten Richtungen. Haben sie jedoch alle die gleiche Richtung, so fließt ein elektrischer Strom.

Die Ursache eines Elektronenflusses ist eine Spannung. Verbindet man die Pole einer Spannungsquelle durch einen Stoff mit frei beweglichen Elektronen, einen *Leiter*, so wandern sie in ihm. Es fließt ein Strom. Da die Elektronen negativ geladen sind, bewegen sie sich vom negativen Pol zum positiven Pol.

Die elektrische Spannung ist die Ursache für das Zustandekommen eines elektrischen Stromes.

Die Elektronen fließen vom Minuspol der Spannungsquelle zu ihrem Pluspol.

2. Leiter und Isolatoren. In Stoffen mit leicht beweglichen freien Elektronen kommt es beim Anlegen einer Spannung zu einem Stromfluß. Solche Stoffe heißen *Leiter*. Ihre freien Elektronen werden *Leitungselektronen* genannt. Zu den Leitern gehören vor allem die Metalle.

Stoffe, die entweder nur sehr wenige Leitungselektronen haben oder deren Elektronen nur sehr wenig beweglich sind, leiten die Elektrizität sehr schlecht. Man bezeichnet diese Stoffe als *Isolatoren*. Hartgummi, Harz, Seide, Kunststoffe und Gase sind Isolatoren. Da bei ihnen die Elektronenleitung praktisch bedeutungslos ist, werden die Isolatoren oft auch als *Nichtleiter* bezeichnet.

Werden die Pole einer Spannungsquelle durch einen Leiter verbunden, so fließt ein elektrischer Strom. Isolatoren verhindern das Fließen eines elektrischen Stromes. Sie ermöglichen dadurch das Zustandekommen einer elektrischen Spannung.

3. Der elektrische Stromkreis. In einer Taschenlampe ist eine Glühlampe über einen Schalter an eine Batterie angeschlossen (Abb. 134/1). Bei geschlossenem Schalter fließt durch die Zuleitung und den Glühfaden ein elektrischer Strom. Die Lampe leuchtet. Öffnet man den Schalter, so können die Elektronen nicht mehr wandern. Die Lampe leuchtet infolgedessen nicht mehr.

Während außerhalb der Spannungsquelle die Elektronen vom Minuspol zum Pluspol fließen, wandern sie im Innern vom Pluspol zum Minuspol zurück. Dadurch werden die vom Minuspol abgegebenen Elektronen durch die vom Pluspol aufgenommenen Elektronen wieder ergänzt. Der Minuspol behält so seinen Überschuß an Elektronen, während der Pluspol weiterhin dauernd einen Mangel an Elektronen hat. Die elektrische Spannung bleibt erhalten. Verfolgt man innerhalb und außerhalb der Spannungsquelle den Weg der Elektronen, so zeigt sich, daß er geschlossen ist (Abb. 134/2). Man spricht von einem *elektrischen Stromkreis*. Der Gesamtstromkreis besteht aus dem äußeren und dem inneren Teil des Stromkreises. Im vorliegenden Beispiel wird der äußere Teil des Stromkreises aus dem Minuspol, dem Leitungsdraht, dem Schalter, der Glühlampe, dem Leitungsdraht und dem Pluspol, der innere Teil des Stromkreises aus dem Pluspol, dem Elektrolyten und dem Minuspol gebildet.

Ein elektrischer Strom fließt nur dann, wenn der Stromkreis geschlossen ist.

4. Die technische Stromrichtung. Als die Stromrichtung festgelegt wurde, waren Einzelheiten über die Elektronen noch nicht bekannt. Man nahm damals an, daß der

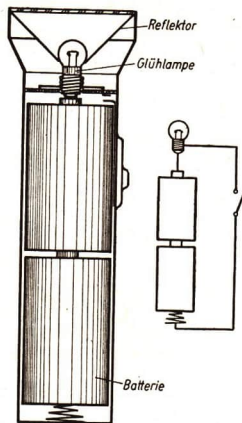


Abb. 134/1. Stromkreis in einer Taschenlampe

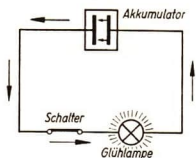


Abb. 134/2. Elektrischer Stromkreis (schematisch)

elektrische Strom vom Pluspol zum Minuspol fließt. Diese heute noch in der Technik gebräuchliche Stromrichtung wird *technische Stromrichtung* genannt. Sie stimmt mit der Richtung, in der sich positive Ionen bewegen, überein.

Man bezeichnet die Richtung vom positiven zum negativen Pol als die **technische Stromrichtung**.

5. Gleichstrom und Wechselstrom. Besteht zwischen den Polen einer Spannungsquelle immer der gleiche Spannungszustand, so wird von ihr eine **Gleichspannung** erzeugt. Wird ein Leiter an eine solche Spannungsquelle angeschlossen, so fließt in ihm der Strom immer in der gleichen Richtung. Ein solcher Strom wird als **Gleichstrom** bezeichnet.

Ein Gleichstrom ist ein Strom, der immer in der gleichen Richtung fließt.

Ändert sich jedoch der Spannungszustand einer Spannungsquelle periodisch, so entsteht eine **Wechselspannung**. In einem angeschlossenen Stromkreis wechselt dann ständig die Stärke und die Richtung des elektrischen Stromes. Es fließt ein **Wechselstrom**.

Ein Wechselstrom ist ein Strom, der ständig seine Richtung beziehungsweise seine Stärke ändert.

Der von den Elektrizitätswerken gelieferte Strom wechselt in einer Sekunde 100mal seine Richtung. Bei einer an das Netz angeschlossenen Steckdose ist somit jeder Pol in einer Sekunde 50mal ein Pluspol und 50mal ein Minuspol. Ein wichtiger Begriff zur Beschreibung eines Wechselstromes ist die *Frequenz*. Sie gibt an, wie oft ein Pol in einer Sekunde denselben Zustand zeigt. Die Einheit der Frequenz ist das **Hertz (Hz)**. Ein Strom hat die Frequenz von 1 Hz, wenn in einer Sekunde ein Pol einmal Pluspol und einmal Minuspol ist. Der Wechselstrom im elektrischen Leitungsnetz hat somit eine Frequenz von 50 Hz. In der Nachrichtentechnik werden auch elektrische Wechselströme mit wesentlich höheren Frequenzen verwendet, beispielsweise 1000000 Hz. Man spricht in diesem Falle von *Hochfrequenz*.

6. Die Kennzeichnung elektrischer Geräte. Bevor ein Elektrogerät an eine Spannungsquelle angeschlossen wird, muß man feststellen, ob das Gerät mit Gleichstrom oder mit Wechselstrom zu betreiben und welche Spannung erforderlich ist. Aus diesem Grunde sind alle Geräte mit einem *Typenschild* versehen, aus dem die näheren Angaben entnommen werden können (Abb. 136/1; vgl. auch die folgende Tabelle).

Schaltzeichen für die Stromarten

Zeichen	Stromart
—	Gleichstrom
~	Wechselstrom
⎓	Gleich- und Wechselstrom, auch kurz Allstrom (ein so bezeichnetes Gerät kann mit Gleichstrom oder Wechselstrom betrieben werden)

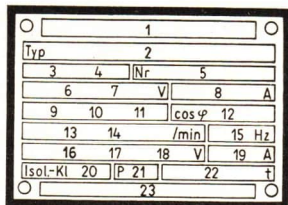


Abb. 136/1. Typenschild eines Elektromotors
a) beschriftetes Typenschild
b) unbeschriftetes Typenschild

Die einzelnen Felder haben folgende Bedeutung:

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 Hersteller | 13 Drehrichtung |
| 2 Typ | 14 Nenndrehzahl |
| 3 Stromart | 15 Nennfrequenz |
| 4 Arbeitsweise | 16 „Erregung“ bzw. „Err“ oder „Läufer“ bzw. „Lfr“ |
| 5 Fertigungs- oder Reihenummer | 17 Schaltart |
| 6 Schaltart der Ständerwicklung | 18 Nennerregerspannung |
| 7 Nennspannung | 19 Erregerstrom bzw. Läuferstrom |
| 8 Nennstrom | 20 Isolierstoffklasse |
| 9 Nennleistung | 21 Schutzart |
| 10 Einheit der Leistung | 22 Angenähertes Gewicht |
| 11 Betriebsart | 23 Zusätzliche Vermerke |
| 12 Nennleistungsfaktor | |

Geräte, für die eine bestimmte Stromart angegeben ist, dürfen nur mit dieser betrieben werden. Die Glühlampen und die meisten elektrischen Wärmegeräte sind *Allstromgeräte*, wobei das Wort „Allstrom“ keine besondere Stromart bedeutet. Der Betrieb von Allstromgeräten ist lediglich unabhängig von der Stromart. Sie sind deshalb meist nicht besonders gekennzeichnet.

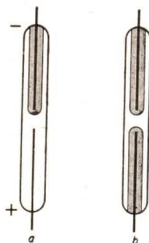
Um festzustellen, ob eine Gleich- oder eine Wechselspannung an einer Steckdose liegt, benutzt man häufig eine *Glimmlampe* (Abb. 136/2 und Abb. 136/3). Beim *Polsucher* ist die Glimmlampe in ein handliches Gerät eingebaut (Abb. 137/1).

7. Die Einheit der elektrischen Stromstärke. Die Stärke eines elektrischen Stromes ist von der Anzahl der Elektronen abhängig, die in einer Sekunde einen Leiter durchfließen. Somit wäre die Anzahl der Elektronen ein Maß für die Stromstärke. Da man sie aber nur schwer abzählen kann, wurde ein anderes Maß als Einheit gewählt, das **Ampere (A)**.



Abb. 136/3 Schaltzeichen einer Glimmlampe

Abb. 136/2. Glimmlampe eines Polsuchers
a) bei Gleichstrom b) bei Wechselstrom



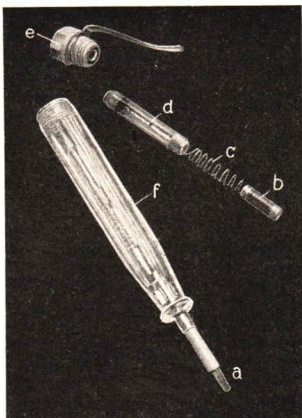
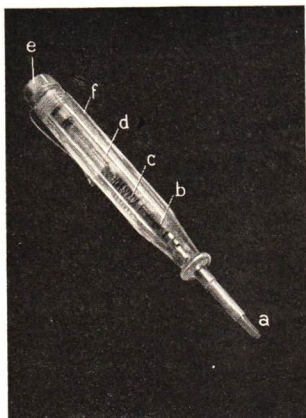


Abb. 137/1. Polsucher

- | | |
|---|------------------------|
| a Kontakt in Form einer Schraubenzieherklinge | d Glimmlampe |
| b Widerstand | e Schraube mit Kontakt |
| c Feder | f Gehäuse |

Die international festgelegte Einheit der elektrischen Stromstärke ist das Ampere

Zwei abgeleitete Einheiten sind das **Milliampere** (mA) und das **Mikroampere** (μA).

$$\begin{aligned} 1 \text{ mA} &= 0,001 \text{ A}, \\ 1 \mu\text{A} &= 0,000\,001 \text{ A}. \end{aligned}$$

Bei einer Stromstärke von einem Ampere fließen in einer Sekunde rund $6000\,000\,000\,000\,000\,000 = 6 \cdot 10^{18}$ Elektronen durch den Querschnitt des Leiters. Die Geschwindigkeit der Elektronen ist äußerst gering. Sie legen in 1 s nur einen Weg von etwa 1 mm zurück. Wird zwischen Berlin und Peking ein Telefongespräch geführt, so hört der Teilnehmer in Peking die in Berlin gesprochenen Worte im gleichen Augenblick. Somit besteht zwischen der Geschwindigkeit der Elektronen und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wirkungen des elektrischen Stromes ein großer Unterschied. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit beträgt annähernd $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

8. Strommeßgeräte. Elektrische Strommesser, auch *Amperemeter* genannt, beruhen meist auf der magnetischen Wirkung des elektrischen Stromes. Einen Strommesser zur Messung von Stromstärken bis zu 600 A zeigt die Abbildung 133/1 (vgl. auch Abb. 133/2) Bei kleinen Strömen benutzt man sogenannte *Milliampere* oder *Mikroampere* (Abb. 133/3).

Elektrischer Belichtungsmesser	100	μA
Bandgenerator	1	mA
Elektronenröhre	5	mA
40-W-Glühlampe	0,18	A
Bügeleisen	2	A
Bogenlampe (Kinoprojektor)	15	A
Elektromotor (Straßenbahn)	150	A
Elektroschweißgerät	500	A
Elektrische Grubenlokomotive (über Tag)	1500	A
Aluminiumschmelzofen	16000	A
Elektrostahlöfen	120000	A

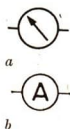
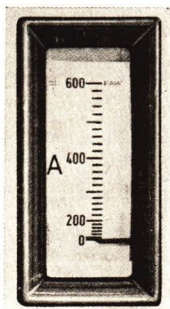


Abb. 138/2
Schaltzeichen eines Strommessers
a nicht messendes Anzeigergerät
b messendes Gerät

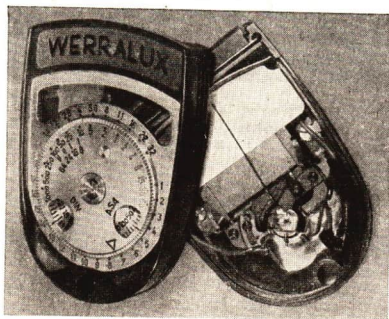


Abb. 138/3. Strommeßwerk des elektrischen Belichtungsmessers Werralux (Meßbereich 0...120 μA)

Abb. 138/1. Technischer Strommesser
(Meßbereich 0 ... 600 A)

9. Fragen und Aufgaben:

1. Woraus erklärt sich die Tatsache, daß es Isolatoren und Leiter gibt?
2. Beschreibe den Stromkreis in deiner Taschenlampe! Fertige eine Schaltskizze an!
3. Warum entspricht die technische Stromrichtung nicht der Bewegungsrichtung der Elektronen?
4. Worin unterscheiden sich Gleich- und Wechselstrom?
5. Sieh dir die Typenschilder verschiedener elektrischer Geräte an und stelle die Stromart fest! Wann darf ein Gerät mit Gleich- und Wechselstrom betrieben werden?

25. Das Ohmsche Gesetz

1. Das Messen der Stromstärke und der Spannung. Zum Messen der elektrischen Stromstärke muß der Strommesser so in den Stromkreis geschaltet werden, daß *alle Elektronen durch das Gerät fließen* (Abb. 139/1). Er liegt stets in *Reihe* mit der Spannungsquelle, dem Schalter und dem Verbraucher. Man sagt auch, ein Strommesser liegt im *Hauptschluß*. Der Strommesser kann überall in den Stromkreis geschaltet werden. Er zeigt immer die gleichen Werte an, weil an jeder Stelle des Stromkreises durch den Leiterquerschnitt je Sekunde die gleiche Anzahl Elektronen fließt.

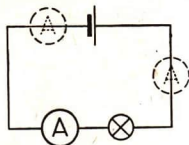


Abb. 139/1. Schaltung eines Strommessers im Stromkreis

Spannungen mißt man *zwischen zwei Stellen* eines Stromkreises (vgl. den Abschnitt 23). Aus diesem Grunde werden die Anschlußklemmen des Spannungsmessers mit diesen Stellen verbunden (Abb. 139/2). Ein Spannungsmesser liegt immer *parallel* zu dem Stromverbraucher beziehungsweise zu der Spannungsquelle, deren Spannung gemessen wird. Man sagt auch, ein Spannungsmesser liegt im *Nebenschluß*.

In einem elektrischen Stromkreis werden Strommesser in den Hauptschluß, Spannungsmesser in den Nebenschluß geschaltet.

2. Der Widerstandsbegriff. Fließen Elektronen durch einen Leiter, so müssen sie einen **Widerstand** überwinden. Dieser erklärt sich aus dem Aufbau des Leiters und aus den Wechselwirkungen zwischen den Elektronen und den positiven Ionen.

Jeder elektrische Stromkreis hat einen elektrischen Widerstand.

Man bezeichnet jedoch nicht nur die **Eigenschaft** der Leiter, den elektrischen Strom zu hemmen, als Widerstand, sondern auch die Geräte selbst, mit denen diese Eigenschaft ausgenutzt wird.

3. Das Ohmsche Gesetz. Zwischen den drei elektrischen Grundgrößen *Spannung*, *Stromstärke* und *Widerstand* besteht ein bestimmter gesetzmäßiger Zusammenhang. Dieser ist bereits 1827 von dem deutschen Physiker *Georg Simon Ohm* (1789 bis 1854) untersucht worden.

a) Die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung. Für die drei elektrischen Grundgrößen sind folgende Formelzeichen üblich:

Spannung	U
Stromstärke	I
Widerstand	R

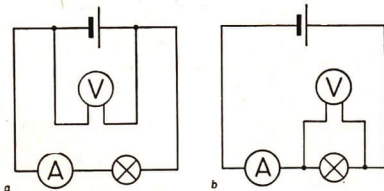


Abb. 139/2. Schaltung eines Spannungsmessers

- a) Spannungsmessung der Spannungsquelle
- b) Spannungsmessung der an einer Glühlampe anliegenden Spannung



Georg Simon Ohm
(1789 bis 1854)

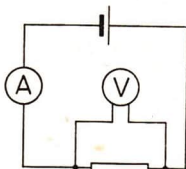


Abb. 140/1. Schaltskizze der Versuchsanordnung zur Untersuchung der Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung

Damit man die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung untersuchen kann, muß man den elektrischen Widerstand bei den Messungen unverändert lassen. Ein Widerstandsdraht wird mit einem Strommesser und einer Akkumulatorzelle in Reihe geschaltet (Abb. 140/1). Die an den Enden des Widerstandsdrahtes anliegende Spannung mißt man mit einem Spannungsmesser. Durch Hinzuschalten weitere

erer Akkumulatorzellen wird jeweils die Spannung um 2 V erhöht. Der durch den Widerstandsdraht fließende Strom wird mit dem Strommesser gemessen. Es ergeben sich folgende Meßergebnisse:

Bei doppelter Spannung ist die Stromstärke doppelt so groß. Wird die Spannung auf das dreifache erhöht, ergibt sich auch die dreifache Stromstärke. *Spannung und Stromstärke wachsen beide im gleichen Verhältnis.*

Werden die Wertepaare der Stromstärke I und der Spannung U graphisch dargestellt, so liegen die Bildpunkte annähernd auf einer Geraden (Abb. 141/1).

Bildet man aus den Werten der Tabelle den Quotienten aus der Spannung und der Stromstärke, so erhält man einen annähernd konstanten Wert. Er schwankt um den Mittelwert $8,0 \frac{V}{A}$. Die Abweichungen von diesem Mittelwert sind auf Meßfehler zurückzuführen.

Sowohl aus der Tabelle als auch aus dem Diagramm geht hervor, daß die Stromstärke I und die Spannung U verhältnisgleich sind. Die Richtigkeit dieser Beziehung ist durch viele Versuche an anderen Stromkreisen bestätigt worden.

Bei konstantem Widerstand ist die Stromstärke der anliegenden Spannung proportional. Je größer die Spannung ist, um so größer ist die Stromstärke.

$$I \sim U.$$

b) Die Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand. Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand wird die Spannung konstant gehalten ($U = 2 \text{ V}$), während der Widerstand verändert wird. Aus diesem Grunde schaltet man in den Stromkreis völlig gleiche Widerstandsdrähte in Reihe (Abb. 141/2). Der elektrische Widerstand ist dann zwei-, drei-, vier- beziehungsweise fünfmal so groß wie bei einem Widerstandsdraht. Die Stromstärken werden abgelesen und gemeinsam mit den Widerstandswerten in eine Tabelle eingetragen.

Je größer der Widerstand ist, um so kleiner ist die Stromstärke. Bildet man das Produkt aus der Stromstärke und dem Widerstand, so ist dieses, abgesehen von kleinen Abweichungen, konstant. Da also bei einer Vergrößerung des Widerstandes die Stromstärke abnimmt, ist die Stromstärke dem Widerstand umgekehrt proportional.

Zum gleichen Ergebnis kommt man, wenn man die Stromstärke und den Widerstand graphisch darstellt (Abb. 142/1).

Bei gleichbleibender Spannung ist die Stromstärke umgekehrt proportional dem Widerstand. Je größer der Widerstand ist, um so geringer ist die Stromstärke.

$$I \sim \frac{1}{R}$$

e) Formulierung des Ohmschen Gesetzes — Die Einheit des Widerstandes. Aus den Ergebnissen

$$I \sim U$$

und $I \sim \frac{1}{R}$

folgt $I \sim \frac{U}{R}$.

Die Stromstärke ist der Spannung direkt und dem Widerstand umgekehrt proportional.

Als Einheit für den elektrischen Widerstand wurde international das **Ohm** (Ω) eingeführt.

Ein Draht hat einen elektrischen Widerstand von 1Ω , wenn durch ihn bei einer Spannung von 1 V ein Strom von 1 A fließt.

$$1\Omega = \frac{1\text{ V}}{1\text{ A}}$$

Durch diese Festlegung kann man von der Proportion $I \sim \frac{U}{R}$ zur Gleichung übergehen. Der Proportionalitätsfaktor hat in-

Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei konstantem Widerstand

Spannung (U) V	Stromstärke (I) A	Spannung Stromstärke $\left(\frac{U}{I}\right)$ $\frac{\text{V}}{\text{A}}$
2	0,25	8,0
4	0,51	7,8
6	0,75	8,0
8	0,99	8,2
10	1,24	8,1

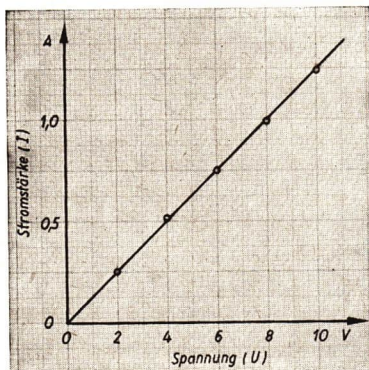
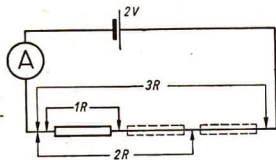


Abb. 141/1. Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei konstantem Widerstand

Abb. 141/2
Schaltskizze der Versuchsanordnung zur Untersuchung der Abhängigkeit



der Stromstärke vom Widerstand

Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand bei konstanter Spannung ($U=2V$)

Stromstärke (I) A	Widerstand (R) Grundwiderstand	Stromstärke · Widerst. ($I \cdot R$) A · Grundwiderstand
0,25	1 facher Widerstand	0,25
0,13	2 facher Widerstand	0,26
0,08	3 facher Widerstand	0,24
0,06	4 facher Widerstand	0,24
0,05	5 facher Widerstand	0,25

folge der Festsetzung der Widerstandseinheit den Wert 1. Es ergibt sich somit das **Ohmsche Gesetz**:

Die Stromstärke ist gleich dem Quotienten aus Spannung und Widerstand.

$$I = \frac{U}{R}$$

Das Ohmsche Gesetz gibt die Beziehung zwischen der Stromstärke, der Spannung und dem Widerstand an. Es stimmt mit den bisherigen Überlegungen über die Bewegung freier Elektronen überein. Bei einer größeren Spannung ist auch die Kraft, die die Elektronen in einer Richtung bewegt, größer.

Die Geschwindigkeit der Elektronen nimmt infolgedessen zu. Somit steigt auch die Anzahl der je Zeiteinheit durch den Leiterquerschnitt fließenden Elektronen. Das äußert sich in einer größeren Stromstärke. Haben Elektronen einen größeren Widerstand zu überwinden, so wird ihre Geschwindigkeit geringer. Es wandern in der Zeiteinheit weniger Elektronen durch den Leiterquerschnitt. Die Stromstärke sinkt infolgedessen.

Die Kenntnis dieses wichtigen Grundgesetzes der Elektrizitätslehre brachte die Menschen in der Erforschung der Naturzusammenhänge einen großen Schritt vorwärts. Es war ein Beweis dafür erbracht, daß die Welt erkennbar ist. Damit war aber die Erforschung der Zusammenhänge zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand nicht abgeschlossen. Weitere Versuche wurden durchgeführt. Unermüdlich wurde beobachtet, gemessen und die Meßergebnisse verglichen. So zeigte es sich,

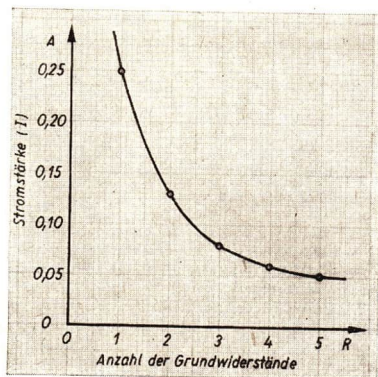


Abb. 142/1. Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand

daß das Ohmsche Gesetz in der Form $I = \frac{U}{R}$ nur im Gleichstromkreis gilt. Für den Wechselstromkreis mußte es erweitert werden. Aber auch diese Zusammenhänge sind inzwischen erforscht worden.

Das Ohmsche Gesetz als eines der wichtigsten Naturgesetze zeigt, daß *die Vorgänge in der Natur gesetzmäßig verlaufen*. Dieses Gesetz und die anderen Naturgesetze, wie das Boylesche Gesetz, die Zustandsgleichung der Gase und das Energieprinzip, die die Wissenschaftler bisher gewonnen haben, gelten aber nicht nur auf der Erde, sondern im ganzen Weltall. Dies beweisen auch die von der Sowjetunion gestarteten Sputniks. Sie enthalten unter anderem umfangreiche elektrische Anlagen. Diese Anlagen waren nach den auf der Erde gewonnenen Erkenntnissen gebaut worden. Sie funktionierten aber auch auf ihrem Flug um die Erde und auf ihrem Weg in den Weltraum einwandfrei. Der Bau der elektrischen Anlagen der Sputniks überhaupt war somit nur möglich, weil die entsprechenden Naturgesetze erforscht und angewandt wurden.

Ein wichtiges Kennzeichen eines Naturgesetzes ist die Tatsache, daß es unabhängig von den Menschen besteht. Sie sind in der Lage, die Naturgesetze zu erkennen, sie können sie aber nicht verändern. Die Menschen können jedoch die Naturgesetze anwenden, um sich die Arbeit zu erleichtern und sich das Leben zu verbessern. Auch hierin war die Sowjetunion als erstes Land beispielgebend. Nicht für den Krieg und nicht um der Profite willen werden dort die Naturgesetze angewandt, sondern zum Wohle der Gesellschaft. Die Sowjetunion war das erste Land, das ein Reaktorkraftwerk baute und so die Atomenergie friedlich nutzte. Auch der Start der Sputniks und vor allem der des ersten künstlichen Planeten zeigen, welche Leistungen ein sozialistisches Land vollbringen kann, bei dem die Anwendung der Naturgesetze für friedliche Zwecke im Vordergrund steht.

4. Technische Anwendung des Ohmschen Gesetzes. Die praktische Bedeutung des Ohmschen Gesetzes zeigt das folgende technische Beispiel.

Die Lichtwurf Lampe des Zeiss-Kleinbildprojektors 375 W ist für eine Spannung von 75 V bei einer Stromstärke von 5 A gebaut. Der Widerstand des Glühfadens beträgt somit

$$R = \frac{U}{I} = \frac{75 \text{ V}}{5 \text{ A}} = 15 \Omega.$$

Würde diese Lampe an das 220-V-Lichtnetz angeschlossen werden, so würde durch ihren Glühfaden ein Strom mit der Stärke

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220 \text{ V}}{15 \Omega} = 14,7 \text{ A}.$$

fließen. Innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde wäre infolge der Überhitzung der Glühfaden durchgebrannt. Um das zu vermeiden, muß man den Strom, der durch die Projektionslampe fließt, auf die Stromstärke von 5 A begrenzen.

Bei einer Spannung von 220 V ist dazu ein Widerstand von

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{5 \text{ A}} = 44 \Omega$$

notwendig. Da der Glühfadenwiderstand nur $15\ \Omega$ beträgt, muß noch ein Widerstand von

$$44\ \Omega - 15\ \Omega = 29\ \Omega$$

in den Stromkreis geschaltet werden. Durch die Lampe fließt dann nur ein Strom mit der vorgeschriebenen Stärke von 5 A. Der Widerstand erwärmt sich ziemlich stark, so daß man zu seiner Unterbringung ein besonderes Gehäuse benutzt.

Ein Widerstand zum Schutz eines Gerätes, dessen Betriebsspannung höher ist als die Spannung, für die es vorgesehen ist, wird als *Vorschaltwiderstand* bezeichnet.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Warum legt man Strommesser in den Stromkreis, Spannungsmesser dagegen nicht?
2. Welche doppelte Bedeutung hat das Wort Widerstand? Gib Beispiele dafür an!
3. Wie stellt man bei einer Beziehung zwischen drei physikalischen Größen, zum Beispiel Spannung, Stromstärke und Widerstand, experimentell die Abhängigkeit dieser Größen voneinander fest?
4. Welchen Widerstand hat eine Glühlampe, die für 3,8 V und 0,07 A hergestellt ist? Demgegenüber hat eine 40-W-Glühlampe für 220 V einen Widerstand von etwa $1200\ \Omega$. Wie groß ist die Stromstärke?
5. Warum darf man eine Glühlampe, die für 110 V gebaut ist, nicht an eine Spannung von 220 V anschließen? Wie kann man sich helfen, wenn man trotzdem unbedingt diese Glühlampe verwenden will?

26. Der elektrische Widerstand

1. Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Länge des Leiters. In einem Stromkreis ist an einem ausgespannten Widerstandsdraht ein Abgriff verschiebbar angebracht (Abb. 145/1). Ein Strommesser zeigt, daß *die Stromstärke um so kleiner wird, je länger der im Stromkreis liegende Widerstandsdraht ist*. Aus vielen Messungen erkennt man, daß der Widerstand eines Drahtes seiner Länge proportional ist.

Der elektrische Widerstand ist der Länge des Leiters proportional.

$$R \sim l.$$

2. Die Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt des Leiters. In den Abbildungen 145/2a und b sind zwei völlig gleiche Stromkreise schematisch dargestellt. Da die Spannung und der Widerstand in beiden Stromkreisen jeweils gleich groß sind, hat der elektrische Strom auch in beiden Kreisen die gleiche Stärke. Schaltet man nun die beiden Stromkreise, wie es in der Abbildung 145/2c angedeutet ist, zusammen, so fließen die Elektronen nach wie vor mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Anzahl durch jeden Leiter. Werden jetzt die beiden Stromkreise vereint, so hat der aus den beiden Leitern zusammengesetzte neue Leiter den doppelten Querschnitt. Da die Spannung konstant geblieben ist, fließen die Elektronen zwar weiterhin mit derselben Geschwindigkeit wie zuvor, aber ihre Anzahl hat sich in dem neuen Leiter verdoppelt. Er vereint ja in sich die beiden einzelnen Leiter und damit die in diesen Leitern fließenden Elektronen. Die Stromstärke hat infolgedessen den doppelten Wert. Durch die Verdopplung des Querschnitts infolge der Vereinigung der beiden gleichen Leiter muß der Widerstand auf die Hälfte gesunken sein.

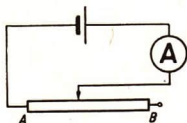


Abb. 145/1. Abhängigkeit des Widerstandes von der Länge des Leiters

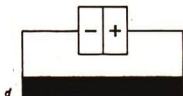
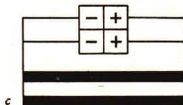


Abb. 145/2. Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt (schematisch)

Durch ähnliche Überlegungen zur Vereinigung von mehr als zwei gleichen Stromkreisen kommt man zu folgenden Ergebnissen:

Die Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt

Bei der Vereinigung von	ergibt sich ein	somit eine	folglich sinkt der Widerstand auf
3 Stromkreisen	3facher Querschnitt	3fache Stromstärke	$\frac{1}{3}$
4 Stromkreisen	4facher Querschnitt	4fache Stromstärke	$\frac{1}{4}$
5 Stromkreisen	5facher Querschnitt	5fache Stromstärke	$\frac{1}{5}$
.	.	.	.
.	.	.	.
n Stromkreisen	nfacher Querschnitt	nfache Stromstärke	$\frac{1}{n}$

Daraus folgt:

Der elektrische Widerstand ist dem Querschnitt des Leiters umgekehrt proportional.

$$R \sim \frac{1}{F}.$$

Zu dem gleichen Ergebnis kommt man auch auf einem gänzlich anderen Wege: In einem Stromkreis ist ein Widerstandsdraht mit einem Strommesser in Reihe geschaltet (Abb. 146/1). Wird dieser Draht gegen einen gleichlangen Draht aus

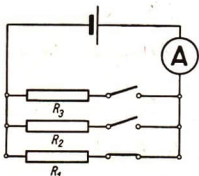


Abb. 146/1
Versuchsanordnung zur
Untersuchung der
Abhängigkeit des Wider-
standes vom Querschnitt

demselben Material, aber mit größerem Querschnitt ausgetauscht, so wird auch die Stromstärke größer. Schaltet man zwei beziehungsweise drei gleichlange Drähte aus dem gleichen Material mit gleichem Querschnitt nebeneinander, wie es die Abbildung 146/1 zeigt, so ist das gleichbedeutend mit einer Verdoppelung beziehungsweise Verdreifachung des Querschnitts. Die bei jedem Versuch gemessene Stromstärke ist dem Querschnitt proportional. Daraus folgt wiederum, daß der Widerstand dem Querschnitt des Leiters umgekehrt proportional ist.

Die beiden in diesem Abschnitt gezeigten Methoden, physikalische Zusammenhänge zu untersuchen, sind in der Wissenschaft sehr gebräuchlich. Bei der ersten Methode geht man von Überlegungen aus und bestätigt die Ergebnisse durch Versuche. Diese Methode wird als *deduktive Methode* bezeichnet. Ihr steht die *induktive Methode* gegenüber, bei der das Experiment am Anfang der Untersuchung steht. Ist die gesuchte Gesetzmäßigkeit gefunden, so wird sie durch theoretische Überlegungen untermauert. Beide Methoden ergänzen sich gegenseitig. Mit ihrer Hilfe ist der Mensch in der Lage, die Welt zu erkennen. Jedoch erfolgt die Erkenntnis der Wirklichkeit nicht mit einem Male. Sie ist auch niemals vollständig, sondern Schritt für Schritt kommen neue Erkenntnisse hinzu, nähert sich der Mensch der absoluten Wahrheit.

Die beiden Aussagen $R \sim l$ und $R \sim \frac{1}{F}$ werden zu einer zusammengefaßt:

$$R \sim \frac{l}{F}.$$

Der elektrische Widerstand ist der Länge direkt und dem Querschnitt des Leiters umgekehrt proportional.

3. Die Abhängigkeit des Widerstandes vom Stoff. Die Anzahl der Leitungselektronen je Volumeneinheit und die Beweglichkeit dieser Elektronen sind in unterschiedlichen Stoffen verschieden groß. Infolgedessen ist der Widerstand vom Stoff abhängig.

Setzt man in die Proportion

$$R \sim \frac{l}{F}$$

einen Proportionalitätsfaktor ϱ ein, so erhält man die Gleichung

$$R = \varrho \cdot \frac{l}{F}.$$

Zur Bestimmung der Maßeinheit von ϱ löst man nun die Gleichung nach ϱ auf.

$$\varrho = R \cdot \frac{F}{l}.$$

Man erhält infolgedessen als Maßeinheit

$$\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}.$$

Der Proportionalitätsfaktor ϱ ist somit zahlenmäßig gleich dem Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt. Er ist vom Stoff abhängig und wird als **spezifischer Widerstand** bezeichnet.

Der spezifische Widerstand ist eine Materialkonstante. Er ist zahlenmäßig gleich dem Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt. Seine Maßeinheit ist $\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}.$

Mit Hilfe des *Widerstandsgesetzes* $R = \varrho \cdot \frac{l}{F}$ kann man den Widerstand eines Leiters berechnen, von dem man die Abmessungen und den spezifischen Widerstand kennt.

Der spezifische Widerstand metallischer Leiter liegt in der Größenordnung von $0,01 \cdots 1 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$. Stoffe, deren spezifischer Widerstand größer als $10^{14} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ ist, nennt man Isolatoren. Als *Halbleiter* bezeichnet man die Stoffe, deren spezifischer Widerstand zwischen dem der reinen Metalle und dem der Isolatoren liegt. So sind unter anderem Kohle, Germanium und Silicium Halbleiter (vgl. die Tabelle auf S. 148).

Auf Grund ihres geringen spezifischen Widerstandes benutzt man für elektrische Leitungen in der Technik sehr häufig Kupfer- und Aluminiumdrähte. Da Aluminium einen größeren spezifischen Widerstand als Kupfer hat, müssen bei gleichem Widerstand Aluminiumdrähte einen größeren Querschnitt als Kupferdrähte haben. So muß der Querschnitt des Aluminiumdrahtes etwa 1,7mal so groß wie der Querschnitt des zu ersetzenden Kupferdrahtes sein. Für viele Verwendungszwecke, beispielsweise für stationäre Lichtleitungen in Gebäuden, ist der Durchmesser der Leitung von untergeordneter Bedeutung. Daher verwendet man für solche Anlagen Aluminiumdrähte, so daß das wertvolle Kupfer für andere, wichtigere Zwecke unserer Volkswirtschaft zur Verfügung steht.

Unter den Isolatoren haben in der Technik die *Plaste* eine immer größere Bedeutung erlangt. Zu ihnen gehören: Polystyrol, Ekadur, Ekalit, Polyamid und Phenolplaste.

Durch die Verwendung von Plasten können oft schwierig zu beschaffende, natürliche Rohstoffe eingespart werden. So haben als Isoliermittel für Drähte die Siliconlacke die bisherigen Isolationsmittel, wie Baumwoll- oder Seidenumspinnung, verdrängt. Siliconlacke sind nicht brennbar und verhältnismäßig temperaturbeständig.

Bei der Entwicklung neuer Plaste sind unsere Wissenschaftler bemüht, die natürlichen Stoffe in bestimmten Eigenschaften zu übertreffen. So haben Bernstein und Polystyrol beide gleich gute Isolationseigenschaften, doch kann der Plast Polystyrol leichter als Bernstein bearbeitet werden. Das ist in vielen Fällen von großer Bedeutung. Plaste sind keine Ersatzstoffe, sondern vollwertige Werkstoffe. Es gibt bereits Plaste, die die gleiche Festigkeit wie Stahl, aber eine viel geringere Wichte haben.

4. Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur. In einem Stromkreis ist ein Eisendraht mit einem Strommesser in Reihe geschaltet (Abb. 149/1). Beim Erwärmen des Drahtes durch eine Bunsenflamme stellt man ein deutliches Absinken der Stromstärke fest. Da die Spannung unverändert geblieben ist, folgt aus dem

Spezifischer Widerstand einiger Stoffe

Stoff		spezifischer Widerstand $\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$
Leiter:	Silber	0,016
	Kupfer	0,017
	Aluminium	0,028
	Zink	0,048
	Nickel	0,061
	Platin	0,098
	Eisen (Stahl)	0,10...0,25
	Zinn	0,113
	Chrom	0,19
	Blei	0,207
	Messing	0,07...0,09
	Neusilber	0,30...0,36
	Nickelin	0,40
	(67 % Cu, 30 % Ni, 3 % Mn)	
	Manganin	0,43
	(86 % Cu, 2 % Ni, 12 % Mn)	
	Konstantan	0,50
	(54 % Cu, 45 % Ni, 1 % Mn)	
Halbleiter:	Kohle	86...100
	Germanium	etwa 550000
	Silicium	$1,2 \cdot 10^{11}$
Isolatoren:	Glas	$10^{17} \dots 10^{18}$
	Glimmer	$10^{19} \dots 10^{21}$
	Hartgummi	$10^{19} \dots 10^{22}$
	Schellack	$10^{19} \dots 10^{20}$
	Paraffin	$10^{20} \dots 10^{22}$
	Schwefel	größer als 10^{22}
	Bernstein	größer als 10^{22}
	Polystyrol	größer als 10^{22}

Ohmschen Gesetz, daß *der Widerstand größer geworden ist*. Läßt man den Draht abkühlen, so steigt die Stromstärke wieder an. Wird der gleiche Versuch mit Leitern aus anderen Metallen durchgeführt, so zeigt sich das gleiche Verhalten.

Der Widerstand eines Leiters ist von der Temperatur abhängig.

Der Widerstand von Metallen wird beim Erwärmen größer.

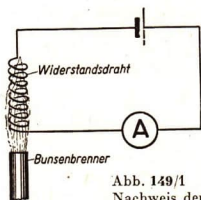


Abb. 149/1
Nachweis der
Abhängigkeit des Widerstandes
eines Eisendrahtes von der
Temperatur

Halbleiter, zum Beispiel ein Kohlestab, erwärmt, so nimmt die Stromstärke zu. Sein Widerstand ist kleiner geworden. Bei Erwärmung eines stromdurchflossenen Halbleiters spielen sich zwei Vorgänge ab, die sich überlagern. Wie bei den reinen Metallen nimmt der Widerstand infolge der größeren Bewegung der Moleküle zu. Außerdem werden aber mit steigender Temperatur weitere Elektronen frei, so daß die Stromstärke anwächst. Die Zunahme der Stromstärke infolge neuer Leitungselektronen ist bei Halbleitern größer als die Abnahme der Stromstärke infolge der Erhöhung des Widerstandes. Insgesamt tritt somit eine Vergrößerung der Stromstärke ein.

Werden Halbleiter erwärmt, so sinkt ihr Widerstand.

Einige Halbleiter, zum Beispiel Urandioxyd, sind bei tiefen Temperaturen Isolatoren. Bei hohen Temperaturen jedoch haben sie soviel freie Elektronen wie die Metalle. Ihr spezifischer Widerstand ist dann klein. Stoffe mit dieser Eigenschaft werden *Heißeiter* genannt. Sie werden in der Technik oft zum Regeln von Stromkreisen verwandt. Bei Allstrom-Rundfunkempfängern benutzt man Heißeiter oft zum Schutze der Skalenlampen (Abb. 149/2).

Die Heizfäden der Elektronenröhren des Gerätes und der Glühfaden der Skalenlampe sind alle hintereinandergeschaltet. Beim Einschalten des Gerätes fließt durch die metallischen Röhrenheizfäden ein Strom von großer Stärke, der sich mit zunehmender Erwärmung der Heizfäden verringert. Die Skalenlampe jedoch würde durch diesen Stromstoß zerstört werden. Deshalb wird in den Stromkreis zusätzlich ein Urdoxwiderstand als Heißeiter geschaltet. Sein Widerstand ist im kalten Zustand sehr groß und schützt damit den Glühfaden der Skalenlampe. Der Vorwiderstand R_v wird so bemessen, daß durch die Glühlampe und die Heizfäden ein Strom mit der vorgesehenen Stärke fließt, sobald der Heißeiter und die Heizfäden ihre endgültige Betriebstemperatur angenommen haben.

Der Widerstand einiger Legierungen, wie zum Beispiel Konstantan, ist in einem größeren Temperaturbereich nahezu konstant. Daher werden solche Legierungen für *Meßwiderstände* benutzt.

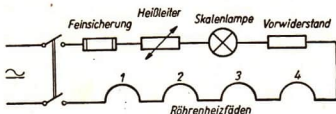


Abb. 149/2. Schaltung der Heizfäden und der
Skalenlampen in einem Allstromempfänger

5. Das Bestimmen eines Widerstandes. Es gibt mehrere Verfahren zum Bestimmen des Widerstandes von Leitern. Ein *direktes Verfahren* ergibt sich aus dem Ohmschen Gesetz: Die an dem Leiter liegende Spannung und die Stärke des in ihm fließenden Stromes werden gemessen (Abb. 150/1). Der Widerstand des Leiters ist dann der Quotient aus Spannung und Stromstärke.

Bei dem in der Technik verwendeten *Ohmmeter* ist die Spannungsquelle, zum Beispiel eine Taschenlampenbatterie, im Meßgerät eingebaut. Es ist als Strommesser geschaltet. Da die Stromstärke dem Widerstand umgekehrt proportional ist, können auf der Skale unmittelbar die Widerstandswerte aufgetragen werden (Abb. 150/2). Voraussetzung für ein genaues Messen ist, daß die Spannungsquelle immer die vorgeschriebene Spannung hat.

Ein weiteres Gerät zum Messen von Widerständen ist die Meßbrücke (Abb. 151/1). Bei diesem Gerät wird der zu messende Widerstand mit einem bereits bekannten Widerstand verglichen.

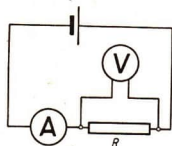


Abb. 150/1. Widerstandsmessung mit Strom- und Spannungsmesser

6. Technische Widerstände. Geräte, deren wesentlicher Teil ein Leiter mit einem ganz bestimmten elektrischen Widerstand ist, werden *Widerstandsgeräte* genannt. Alle Wärmegeräte, wie das Bügeleisen, der Tauchsieder, das Heizkissen und die elektrische Kochplatte, sind Widerstandsgeräte. Auch die Glühlampe gehört zu ihnen.



Abb. 150/2. Ohmmeter

Die in der Elektronik wie in der Rundfunk- und Fernseh-technik sehr häufig verwendeten technischen Widerstände dienen in elektrischen Schaltungen zur Regulierung beziehungsweise zum Einstellen von Stromstärke- und Spannungswerten. Neben den üblichen *Drahtwiderständen* werden heute immer mehr *Schichtwiderstände* benutzt. Die Größe eines solchen Widerstandes wird durch die Kohlenstoffschicht bestimmt, die im Vakuum auf ein Isoliermittel als Schichtträger niedergeschlagen wurde. Widerstände, die ohne Schichtträger gebaut sind, werden als *Massewiderstände* bezeichnet. Der Widerstandswert von Schicht- und Massewiderständen wird oft durch verschiedene Farbzeichen gekennzeichnet.

Die Grundfarbe des Widerstandskörpers gibt die 1. Ziffer

an. Die Farbe einer Kappe des Widerstandes gibt die 2. Ziffer an. Ein farbiger Punkt oder Ring in der Mitte des Widerstandes kennzeichnet die Anzahl der Nullen. Ein goldener Ring beziehungsweise goldene Farbe der anderen Kappe zeigt an, daß der angegebene Widerstandswert auf 5 % genau ist. Silber weist auf eine Genauigkeit von 10 % hin.

Beispiel: Der Widerstandswert eines grünen Schichtwiderstandes mit einer violetten und einer silbernen Kappe und einem gelben Ring in der Mitte ist:

grün: 5 (1. Ziffer)
violet: 7 (2. Ziffer)
gelb: 4 Nullen

Der Widerstandswert beträgt somit 570 000 Ω .
Dieser Wert ist auf 10 % genau.



Abb. 151/1
Widerstandsmeß-
brücke, Meßbereich
50000 Ω

Farbkennzeichnung von Masse- und Schichtwiderständen

Widerstand Ω	Farbe	Widerstand Ω	Farbe
0	schwarz	5	grün
1	braun	6	blau
2	rot	7	violet
3	orange	8	grau
4	gelb	9	weiß

7. Fragen und Aufgaben:

- Welches Gesetz der Elektrizitätslehre wird bei den Schiebewiderständen ausgenutzt?
- Die Durchmesser zweier gleich langer Kupferdrähte verhalten sich wie 1:2. Wie verhalten sich die Widerstände?
- Welchen Widerstand hat eine Fernsprechleitung, die aus einem 560 m langen Eisendraht mit einem Durchmesser von 3 mm besteht $\left(\rho_{Fe} = 0,12 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}\right)$?
- Erkläre die Abhängigkeit des Widerstandes eines Leiters von der Temperatur auf Grund der Elektronenleitung!
- Wie bestimmt man den Widerstand eines elektrischen Gerätes mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes?

27. Der unverzweigte Stromkreis

1. Stromstärke und Widerstand im unverzweigten Stromkreis. In einem *unverzweigten Stromkreis* sind die Spannungsquelle und alle Verbraucher hintereinander geschaltet (Abb. 152/1). Die Elektronen durchfließen vom Minuspol kommend nacheinander die Widerstände R_1 , R_2 , R_3 und den Strommesser A . Von dort gelangen sie zum Pluspol der Spannungsquelle zurück.

Schaltet man den Strommesser an anderen Stellen in den unverzweigten Stromkreis, so zeigt er auch dort die gleiche Stromstärke an.

Die elektrische Stromstärke ist an allen Stellen eines unverzweigten Stromkreises gleich groß.

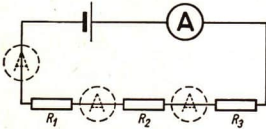


Abb. 152/1. Unverzweigter Stromkreis mit drei hintereinander geschalteten Widerständen

Wie sich bei der Ableitung des Widerstandsgesetzes zeigte, ist der Widerstand eines Leiters seiner Länge proportional. Der Widerstand wird somit größer, wenn man den Leiter verlängert. Das gleiche erreicht man, wenn man mehrere Widerstände hintereinander in den Stromkreis schaltet. *Ihre Werte addieren sich dann zu dem Gesamtwiderstand des Stromkreises.*

Der Gesamtwiderstand im unverzweigten Stromkreis ist gleich der Summe der hintereinander geschalteten Teilwiderstände.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

2. Der Spannungsabfall. An den Enden eines Widerstandsdrahtes von der Länge AB und dem Widerstand R liegt die Spannung U (Abb. 152/2a). Die eine Anschlußklemme des Spannungsmessers ist mit dem Punkt B , die andere mit dem verschiebbaren Kontakt C verbunden. Verschiebt man den Kontakt C von A nach B , so sinkt die Spannung vom Werte U auf den Wert Null. Die Abnahme der Spannung längs eines

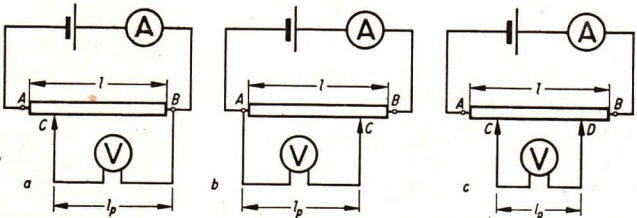


Abb. 152/2. Messung des Spannungsabfalls an einem Widerstandsdraht

Leiters nennt man den *Spannungsabfall*. Die zwischen den Punkten *C* und *B* gemessene Spannung ist somit um so niedriger, je kürzer das Leiterstück ist, zwischen dessen Enden die Spannung gemessen wurde.

Zu dem gleichen Ergebnis kommt man, wenn man den Spannungsmesser an *A* anschließt und *C* von *B* nach *A* verschiebt (Abb. 152/2b). Wird schließlich der Spannungsmesser an zwei auf dem Leiter verschiebbare Kontakte *C* und *D* angeschlossen, so erkennt man wiederum, daß die Spannung (U_p) um so kleiner ist, je kürzer das Leiterstück (l_p) ist (Abb. 152/2c). Somit ist die Spannung U_p der Länge l_p des Leiterstücks proportional.

$$U_p \sim l_p.$$

An jeder Stelle des Stromkreises fließt ein Strom mit der Stromstärke *I*. Da das Leiterstück l_p jeweils den Widerstand R_p hat, so gilt auch

$$U_p \sim R_p.$$

Nach dem Ohmschen Gesetz ist dann die abgegriffene Spannung U_p gleich dem Produkt aus der Stromstärke *I* und dem Teilwiderstand R_p .

$$U_p = I \cdot R_p.$$

Die Stromstärke kann aus der Gesamtspannung *U* und dem Gesamtwiderstand *R* ebenfalls nach dem Ohmschen Gesetz berechnet werden.

$$I = \frac{U}{R}.$$

Setzt man diesen Ausdruck für *I* in die Gleichung $U_p = I \cdot R_p$ ein, so erhält man

$$U_p = \frac{U}{R} \cdot R_p = U \cdot \frac{R_p}{R}.$$

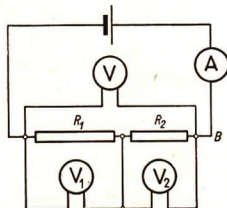
Dividiert man beide Seiten der Gleichung durch *U*, so erhält man

$$\boxed{\frac{U_p}{U} = \frac{R_p}{R}} \quad \text{oder} \quad \boxed{U_p : U = R_p : R}.$$

Im unverzweigten Stromkreis verhält sich die Teilspannung zur Gesamtspannung wie der Teilwiderstand zum Gesamtwiderstand.

3. Die Spannung im unverzweigten Stromkreis. In einem unverzweigten Stromkreis liegt am Widerstand R_1 die Teilspannung U_1 , am Widerstand R_2 die

Abb. 153/1. Unverzweigter Stromkreis mit zwei hintereinandergeschalteten Widerständen R_1 und R_2



Spannung U_2 . An den hintereinandergeschalteten Widerständen, also am Gesamtwiderstand $R = R_1 + R_2$ liegt die Gesamtspannung U (Abb. 153/1). Da die Stromstärke I überall im Stromkreis die gleiche ist, gilt nach dem Ohmschen Gesetz:

$$R = \frac{U}{I}, \quad R_1 = \frac{U_1}{I}, \quad R_2 = \frac{U_2}{I}.$$

Für

$$R = R_1 + R_2$$

kann man daher auch

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I}$$

setzen. Multipliziert man diese Gleichung mit I , so erhält man

$$U = U_1 + U_2.$$

Durch ähnliche Überlegungen für Stromkreise mit drei oder mehr hintereinandergeschalteten Widerständen kommt man zu folgendem Ergebnis:

In einem unverzweigten Stromkreis ist die Summe der Teilspannungen gleich der Gesamtspannung.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n.$$

Die gleiche Gesetzmäßigkeit erkennt man auch aus den folgenden Versuchen. Man mißt die Gesamtspannung und die Teilspannungen. Die gemessene und die durch Addition der Teilspannung errechnete Gesamtspannung sind annähernd gleich groß. Die Abweichungen sind auf Meßfehler zurückzuführen.

4. Der Spannungsteiler. Eine Schaltung, wie sie in der Abbildung 154/1 wiedergegeben ist, nennt man *Spannungsteilerschaltung*. Spannungsteiler sind in der Elektrotechnik von großer Bedeutung, da mit ihnen auf einfache Weise eine gegebene Spannung verringert werden kann. Man findet in jedem Rundfunk- und Fernsehgerät solche Spannungsteiler, auch *Potentiometer* genannt. Bei ihnen ist der Abgriff nicht fest eingestellt, sondern stufenlos regelbar (Abb. 155/1). Die gewünschte Teilspannung wird durch Drehen einer Achse, an der eine Feder mit Schleifkontakt befestigt ist, eingestellt. Potentiometer werden vor allem für *Lautstärkeregl*er, *Hoch-* beziehungsweise *Tief*tonregler sowie *Bildhelligkeits-* beziehungsweise *Bildkontrastregler* verwendet.

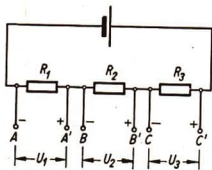


Abb. 154/1. Spannungsteiler

Die Klemmenpaare AA' , BB' und CC' des in Abbildung 154/1 dargestellten Spannungsteilers können auch als die Pole selbständiger „Spannungsquellen“ aufgefaßt werden. Diese Spannungsquellen sind somit hintereinander geschaltet. Der Pluspol der einen Spannungsquelle ist jeweils mit dem Minuspol der nächsten verbunden, also A' mit B und B' mit C . In der Abbildung 155/2 sind drei gleiche Akkumulatorzellen

Abb. 155/1. Potentiometer

Abb. 155/2. Batterie, die aus drei hintereinandergeschalteten Elementen besteht

Abb. 155/3. Schaltung zur Darstellung des Spannungsabfalls am Innenwiderstand einer Spannungsquelle

hintereinander geschaltet. An den Klemmen A und C' kann somit die dreifache Spannung eines Elements abgenommen werden. Auch bei der Hintereinanderschaltung von Spannungsquellen gilt

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n.$$

5. Der innere Widerstand eines Elements. Die Elektronen haben im Innern der Elemente ebenfalls einen Widerstand zu überwinden, der als *Innenwiderstand* der Spannungsquelle bezeichnet wird und das Formelzeichen R_i hat. Er kann gemessen und berechnet werden. Fließt durch das Element ein elektrischer Strom, so tritt am Innenwiderstand R_i wie an jedem anderen Widerstand ein Spannungsabfall auf (Abb. 155/3). Dieser ist nach dem Ohmschen Gesetz von der Stärke des fließenden Stromes abhängig. Hat zum Beispiel ein Klingelelement die Spannung $U = 1,5 \text{ V}$, den Innenwiderstand $R_i = 0,3 \Omega$ und ist der Widerstand der Klingel $R_{KI} = 2,7 \Omega$, so hat der Stromkreis einen Gesamtwiderstand

$$R = R_i + R_{KI} = 3,0 \Omega.$$

Für die Stromstärke I ergibt sich dann

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1,5 \text{ V}}{3,0 \Omega} = 0,5 \text{ A}.$$

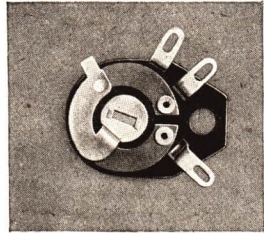
Da beim Fließen des Stromes am Innenwiderstand R_i bereits ein Spannungsabfall U_i auftritt, ist die vom Element abgegebene *Klemmenspannung* $U_{KK'}$ kleiner als $1,5 \text{ V}$. U_i kann auf Grund des Ohmschen Gesetzes berechnet werden:

$$U_i = I \cdot R_i = 0,5 \text{ A} \cdot 0,3 \Omega = 0,15 \text{ V}.$$

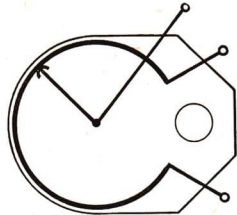
Somit ergibt sich

$$U_{KK'} = U - U_i = 1,5 \text{ V} - 0,15 \text{ V} = 1,35 \text{ V}.$$

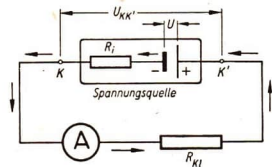
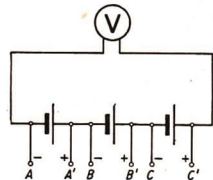
Wird an Stelle der Klingel eine Glühlampe mit einem Widerstand von $0,15 \Omega$ benutzt, so ist der Gesamtwiderstand nur noch $0,45 \Omega$. Die Stromstärke steigt infolgedessen auf $3,3 \text{ A}$ an.



a) Ansicht



b) schematische Zeichnung



Folglich ist der Spannungsabfall

$$U_i = I \cdot R_i = 3,3 \text{ A} \cdot 0,3 \Omega \approx 1 \text{ V}.$$

Die Klemmenspannung beträgt jetzt nur $1,5 \text{ V} - 1 \text{ V} = 0,5 \text{ V}$. Da innerhalb der Spannungsquelle ein zu großer Spannungsabfall auftritt, ist zu schließen, daß die Stromstärke für diese Spannungsquelle zu groß ist. Der Spannungsabfall ist um so geringer, je kleiner der Innenwiderstand der Spannungsquelle und je geringer die Stromstärke ist.

Aus den Berechnungen erklärt sich auch, warum eine Spannungsquelle im belasteten Zustand oft eine wesentlich niedrigere Spannung hat als im unbelasteten. Diese Differenz ist um so geringer, je größer der Widerstand des Stromkreises gegenüber dem Innenwiderstand der Spannungsquelle ist. Sinkt beim Anschließen eines Gerätes die Klemmenspannung merklich ab, so ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle im Verhältnis zum Widerstand des Gerätes zu groß. Es ist dann eine Spannungsquelle mit einem kleineren Innenwiderstand zu verwenden. Bleiakkumulatoren beispielsweise haben einen verhältnismäßig kleinen Innenwiderstand.

6. Meßbereichserweiterung eines dynamischen Voltmeters. Durch einen Spannungsmesser mit einem Meßbereich von $0 \dots 30 \text{ V}$ fließt bei vollem Ausschlag ein Strom von der Stärke $0,003 \text{ A}$. Soll dieser Spannungsmesser auf einen Meßbereich von $0 \dots 300 \text{ V}$ erweitert werden, so darf am Meßgerät nach wie vor nur eine Spannung von 30 V liegen. Aus diesem Grunde schaltet man mit dem Spannungsmesser einen Widerstand R_v in Reihe, an dem ein Spannungsabfall

$$U_v = 300 \text{ V} - 30 \text{ V} = 270 \text{ V}$$

eintritt (Abb. 156/1). Auf Grund der Werte $I = 0,003 \text{ A}$ und $U_v = 270 \text{ V}$ kann mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes die Größe des Vorwiderstandes R_v berechnet werden.

$$R_v = \frac{U_v}{I} = \frac{270 \text{ V}}{0,003 \text{ A}} = 90000 \Omega = 90 \text{ k}\Omega.$$

Durch Vorschalten eines Widerstandes von $90 \text{ k}\Omega$ wird bei diesem Spannungsmesser der Meßbereich auf 300 V erweitert.

Der Meßbereich eines dynamischen Voltmeters kann durch einen Vorwiderstand, der in Reihe mit dem Meßgerät liegt, erweitert werden.

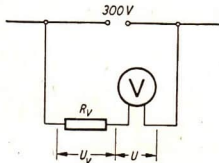


Abb. 156/1
Meßbereichserweiterung eines Spannungsmessers durch einen Vorwiderstand

7. Fragen und Aufgaben:

1. Welche Aufgabe hat der Spannungsteiler? Erkläre die Wirkungsweise!
2. Welche Ursachen hat der manchmal an einem Element auftretende große Spannungsabfall, sobald man einen Verbraucher an das Element schaltet?
3. Wie kann der Meßbereich eines Voltmeters erweitert werden?
4. Welche Aufgaben haben Vorwiderstände?

28. Der verzweigte Stromkreis

1. Spannung und Stromstärke im verzweigten Stromkreis. Jeder verzweigte Stromkreis besteht aus mehreren Stromzweigen (Abb. 157/1). An den Verzweigungsstellen liegt die Spannung U . Folglich liegt an allen Stromzweigen die gleiche Spannung. In dem Stromzweig 1 mit dem Widerstand R_1 beträgt die Stromstärke I_1 . Im Stromzweig 2 mit dem Widerstand R_2 hat die Stromstärke den Wert I_2 . Für I_1 und I_2 gelten die Gleichungen

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \text{ und } I_2 = \frac{U}{R_2}.$$

Der von der Spannungsquelle kommende Elektronenstrom teilt sich an der Verzweigungsstelle. Da sich die Gesamtstromstärke nicht ändern kann, so ist die Summe der Teilstromstärken gleich der Gesamtstromstärke

$$I = I_1 + I_2.$$

Zur Bestätigung schaltet man drei Strommesser so in den Stromkreis, wie es die Abbildung 157/1 zeigt. Bildet man die Summe der Stromstärken I_1 und I_2 , so erhält man annähernd die Stromstärke I .

Die durchgeführten Überlegungen beziehungsweise Versuche gelten auch für Stromkreise mit mehr als zwei Stromzweigen.

In einem verzweigten Stromkreis ist die Summe der Teilströme gleich der Stromstärke im unverzweigten Teil des Leiters.

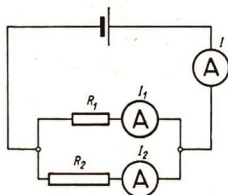


Abb. 157/1
Verzweigter Stromkreis

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n.$$

2. Der Widerstand im verzweigten Stromkreis. In dem in Abbildung 157/1 wieder gegebenen Stromkreis werden die beiden Stromzweige mit den Widerständen R_1 und R_2 durch einen Stromzweig mit einem regelbaren Widerstand R ersetzt. Durch Verändern dieses Widerstandes kann man erreichen, daß wieder die gleiche Stromstärke wie vorher im unverzweigten Teil des verzweigten Stromkreises fließt. Der *Ersatzwiderstand* R hat dann die gleiche Wirkung wie die beiden parallelgeschalteten Widerstände R_1 und R_2 . R ist der Gesamtwiderstand der in den Stromzweigen parallel liegenden Widerstände R_1 und R_2 .

Für den Gesamtwiderstand und die Teilwiderstände gelten die Gleichungen:

$$I = \frac{U}{R}, \quad I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2},$$

Setzt man diese Werte in die Gleichung $I = I_1 + I_2$ ein, so ergibt sich

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}.$$

Nach Division der Gleichung durch U erhält man

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Für drei und mehr parallelgeschaltete Widerstände gilt:

$$\boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}.$$

Bei Parallelschaltung von Widerständen ist der reziproke Wert des Gesamtwiderstandes gleich der Summe der reziproken Werte der Teilwiderstände.

Für die Berechnung des Gesamtwiderstandes zweier Teilwiderstände kann man die Gleichung wie folgt umformen:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \\ \frac{1}{R} &= \frac{R_2}{R_1 \cdot R_2} + \frac{R_1}{R_1 \cdot R_2}, \quad \frac{1}{R} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}, \end{aligned}$$

somit

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

Diese letzte, durch Umformung aus $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ gewonnene Gleichung gilt nur für zwei Teilwiderstände.

Aus der Gleichung $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ ergibt sich noch eine weitere wichtige Schlussfolgerung. Schreibt man die Gleichung in der Form

$$R = R_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

so folgt daraus, daß der Bruch $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ kleiner als 1 ist; denn der Nenner ist ja größer als der Zähler. Da somit R_1 mit einer Zahl multipliziert wird, die kleiner als 1 ist, so ist auch $R < R_1$. Die gleichen Überlegungen kann man mit R_2 anstellen. Dazu wählt man die Form:

$$R = R_2 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Auch hier kommt man zu einem entsprechenden Ergebnis, nämlich $R < R_2$. Somit ergibt sich:

Der Gesamtwiderstand eines verzweigten Stromkreises ist stets kleiner als der kleinste Widerstand.

Dieses Ergebnis kann auch mit Hilfe der Elektronenbewegung erklärt werden. Wird einem Widerstand ein zweiter Widerstand parallelgeschaltet, so wird damit ein weiterer Weg für die Elektronen geschaffen. Dies ist gleichbedeutend mit einer Vergrößerung des Leiterquerschnitts (vgl. S. 145). Infolgedessen sinkt der Widerstand.

3. Meßbereichserweiterung eines Strommessers. Durch ein Milliampereometer mit einem Meßbereich von $0 \dots 3 \text{ mA}$ fließt bei Vollausschlag ein Strom von 3 mA . Das Milliampereometer habe einen Innenwiderstand $R_i = 18,5 \Omega$. Der Meßbereich soll auf 6 A erweitert werden. Damit es nicht überlastet wird, dürfen nach wie vor höchstens 3 mA durch das Meßgerät fließen. Dies erreicht man mit Hilfe einer Stromverzweigung. Ein Widerstand R_s , auch *Shunt* genannt, wird parallel zum Amperemeter geschaltet, so daß ein Strom von $6000 \text{ mA} = 3 \text{ mA} = 5997 \text{ mA}$ durch diesen Widerstand fließt (Abb. 159/1).

Da das Amperemeter einen Innenwiderstand von $18,5 \Omega$ hat und die Stromstärke bei Vollausschlag $3 \text{ mA} = 0,003 \text{ A}$ beträgt, ergibt sich für die Spannung der Wert

$$U = I \cdot R_i = 0,003 \text{ A} \cdot 18,5 \Omega = 0,0555 \text{ V.}$$

Die gleiche Spannung liegt auch am Shunt. Somit gilt die Gleichung

$$U = I_s \cdot R_s.$$

Die Spannung und die Stärke des durch den Shunt fließenden Stromes sind bekannt, folglich kann R_s berechnet werden.

$$R_s = \frac{U}{I_s} = \frac{0,05550 \text{ V}}{5,997 \text{ A}} \approx 0,009 \Omega.$$

Zur Erweiterung des Meßbereiches von $0,003 \text{ A}$ auf 6 A ist dem Milliampereometer ein Shunt von $0,009 \Omega$ parallel zu schalten.

Der Meßbereich eines Strommessers kann durch einen parallel zum Meßgerät geschalteten Widerstand erweitert werden.

4. Stromstärkemessungen. Bei genauen Stromstärke- und Spannungsmessungen muß der *Innenwiderstand der Meßgeräte* berücksichtigt werden. Der Einfluß, den der Innenwiderstand auf das Meßergebnis ausübt, ist von seinem Verhältnis zum Gesamtwiderstand des Stromkreises abhängig.

An einen Akkumulator mit der Klemmenspannung $U = 12 \text{ V}$ wird eine Glühlampe mit dem Widerstand $R_G = 6 \Omega$ angeschlossen. Die Stromstärke beträgt

$$I_1 = \frac{12 \text{ V}}{6 \Omega} = 2 \text{ A.}$$

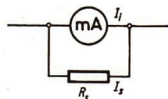


Abb. 159/1
Meßbereichserweiterung eines Amperemeters durch Parallelschalten eines Widerstands

Schaltet man nun mit der Glühlampe einen Strommesser mit dem Innenwiderstand $R_A = 2 \Omega$ in Reihe (Abb. 160/1), so wird der Gesamtwiderstand des Stromkreises um 2Ω erhöht. Infolgedessen sinkt die Stromstärke auf

$$I_2 = \frac{12 \text{ V}}{8 \Omega} = 1,5 \text{ A.}$$

Diese Stromstärke wird von dem Strommesser angezeigt.

Wird der Strommesser dagegen in einem Stromkreis benutzt, in dem der Gesamtwiderstand weit höher ist als der Innenwiderstand des Meßgerätes, so ist die Beeinflussung wesentlich geringer. Verwendet man in dem in Abbildung 161/1 wiedergegebenen Versuch eine Glühlampe mit einem Widerstand von 600Ω , so beträgt die Stromstärke ohne Meßgerät

$$I_1 = \frac{12 \text{ V}}{600 \Omega} = 0,02 \text{ A} = 20 \text{ mA.}$$

Mit eingeschaltetem Meßgerät beträgt der Gesamtwiderstand 602Ω , so daß die Stromstärke den Wert

$$I_2 = \frac{12 \text{ V}}{602 \Omega} \approx 0,0199 \text{ A} = 19,9 \text{ mA}$$

hat. Während bei dem ersten Versuch die durch den Innenwiderstand des Meßgerätes hervorgerufene Abweichung 25% des wirklichen Meßwertes beträgt, sind es bei dem zweiten Versuch nur noch $0,5 \%$. Dieser geringe Fehler ist für viele Zwecke unbedeutend.

Wird bei dem ersten Versuch jedoch ein Meßgerät mit einem Innenwiderstand R_i von $0,01 \Omega$ verwendet, so zeigt der Strommesser an Stelle von $2,0 \text{ A}$ den Wert $1,997 \text{ A}$ an.

Der Meßfehler ist nur gering. Der Quotient $\frac{R_i}{R}$ muß somit möglichst klein sein.

Bei der Messung der Stromstärke soll der Innenwiderstand des Meßgerätes möglichst klein gegenüber dem Gesamtwiderstand des Stromkreises sein.

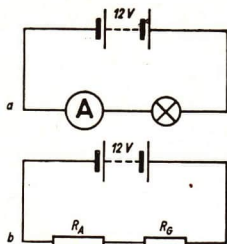
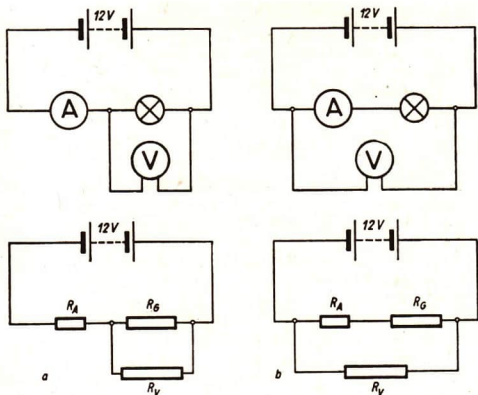


Abb. 160/1. Stromkreis mit Glühlampe und Strommesser

5. Gleichzeitige Stromstärke- und Spannungsmessungen. In der Abbildung 161/1 wird gezeigt, wie man in einem Stromkreis gleichzeitig die Spannung und die Stromstärke messen kann. Der Spannungsmesser liegt parallel zur Glühlampe. Infolge der Parallelschaltung des Widerstandes des Spannungsmessers und des Widerstandes der Glühlampe wird der Gesamtwiderstand kleiner als der Widerstand R_G der Glühlampe allein. Infolgedessen steigt die Stromstärke, und der Strommesser zeigt einen zu hohen Wert an. Dieser Fehler bei der Messung ist um so kleiner, je größer der Innenwiderstand R_V des Spannungsmessers gegenüber dem Widerstand der Glühlampe, je größer also der Quotient $\frac{R_V}{R_G}$ ist.

Abb. 161/1. Versuchsanordnung zur Messung von Spannungen und Stromstärken
a) Spannungsmesser liegt parallel zur Glühlampe
b) Spannungsmesser liegt parallel zum Strommesser



Bei einer Spannungsmessung soll der Innenwiderstand des Spannungsmessers möglichst groß gegenüber dem Gesamtwiderstand des Stromkreises sein.

Man kann aber auch den Spannungsmesser parallel zum Strommesser und zur Glühlampe schalten (Abb. 161/1b). In diesem Falle zeigt der Spannungsmesser eine höhere Spannung an als an der Glühlampe anliegt, da auch am Strommesser ein Spannungsabfall eintritt. Der dadurch entstehende Fehler bei der Spannungsmessung ist um so kleiner, je geringer der Innenwiderstand des Strommessers R_A gegenüber dem Widerstand der Glühlampe R_G ist.

Bei gleichzeitiger Stromstärke- und Spannungsmessung ist die Schaltung des Voltmeters davon abhängig, ob der Quotient $\frac{R_A}{R_G}$ kleiner oder größer als der Quotient $\frac{R_G}{R_V}$ ist. Gilt die Beziehung

$$\frac{R_A}{R_G} > \frac{R_G}{R_V},$$

so schaltet man den Spannungsmesser nur parallel zum Gerät (vgl. Abb. 161/1a). Ist jedoch

$$\frac{R_A}{R_G} < \frac{R_G}{R_V},$$

so wird der Spannungsmesser parallel zum Gerät und zum Strommesser geschaltet (vgl. Abb. 161/1b).

6. Fragen und Aufgaben:

1. Wie kann der Meßbereich eines Strommessers erweitert werden?
2. Wie groß ist der Gesamtwiderstand eines verzweigten Stromkreises im Verhältnis zu den Einzelwiderständen?
3. Begründe die Tatsache $I = I_1 + I_2$ mit Hilfe der Elektronentheorie!

29. Elektrische Arbeit — Elektrische Leistung

1. Elektrische Energie — Elektrische Arbeit. Die elektrischen Geräte und ihre vielseitigen Anwendungen haben in den letzten einhundert Jahren für die Entwicklung der Technik eine entscheidende Bedeutung erlangt. Überall werden elektrische Glühlampen benutzt. Zum Bügeln, Heizen, Kochen und Wärmen sind elektrische Geräte im Gebrauch. Die Elektromotoren in den Großgeräten, beispielsweise in den Kränen auf den Baustellen in unserer Deutschen Demokratischen Republik, erleichtern unseren Menschen die schwere körperliche Arbeit. Heute hat fast jeder in der Industrie tätige Arbeiter mit Elektromotoren zu tun. Mit Hilfe dieser Motoren werden Werkstücke bearbeitet, Werkstücke gehoben, Fahrzeuge angetrieben usw. Somit hat der elektrische Strom die *Fähigkeit, Arbeit zu verrichten*, er besitzt **elektrische Energie**. Diese Energie wird aus anderen Energieformen gewonnen. So wird in den chemischen Elementen chemische Energie in elektrische Energie umgesetzt. In den Generatoren der Kraftwerke wird mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Aber auch die elektrische Energie kann wieder in andere Energieformen umgesetzt werden. In den Elektromotoren wird elektrische Energie in mechanische Energie verwandelt. In den Wärmegeräten wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgeformt. Leitet man elektrischen Strom durch eine Säure, so wird die elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt. Somit ist die elektrische Energie lediglich eine andere Energieform.

Elektrische Energie kann aus anderen Energieformen gewonnen und kann in andere Energieformen umgewandelt werden.

2. Die elektrische Arbeit. a) **Die Abhängigkeit der elektrischen Arbeit von der Zeit.** Ein Tauchsieder wandelt die ihm zugeführte elektrische Energie in Wärmeenergie um und gibt diese an das Wasser ab. Der elektrische Strom verrichtet somit eine **elektrische Arbeit**. Da zum Erwärmen von 1 g Wasser um 1 grad eine Wärmemenge von 1 cal notwendig ist, kann man auf Grund der Temperaturerhöhung auf die Größe der verrichteten Arbeit schließen. Werden durch den Tauchsieder 500 g Wasser von 20°C auf 80°C erwärmt, so ist die Wärmeenergie von

$$500 \text{ g} \cdot 60 \text{ grad} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grad}} = 30\,000 \text{ cal}$$

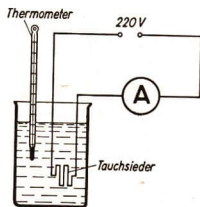


Abb. 162/1. Versuchsanordnung zur Ermittlung der Abhängigkeit der elektrischen Arbeit von der Zeit

dem Wasser zugeführt worden (Abb. 162/1). Bei einem im Haushalt üblichen Tauchsieder (220 V; 5,46 A) dauert diese Erwärmung 120 s. Je größer nun die Wassermenge

ist und je stärker diese erwärmt wird, um so länger ist die für die Erwärmung benötigte Zeit. Die Ergebnisse einer Versuchsreihe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Abhängigkeit der elektrischen Arbeit von der Zeit

Wassermenge g	Erwärmung grd	Wärmemenge cal	zur Erwärmung benötigte Zeit s	Wärmemenge
				$\frac{\text{Zeit}}{\text{cal}}$ s
500	60	30000	120	250
500	30	15000	59	254
250	60	15000	60	250
1000	60	60000	242	248

Es zeigt sich, daß die *elektrische Arbeit der Zeit proportional* ist. Bildet man den Quotienten aus der Wärmemenge und der Zeit, so erhält man abgesehen von Meßfehlern einen konstanten Wert. Auch bei der Umwandlung elektrischer Energie in eine andere Energieart ist die verrichtete Arbeit der Zeit proportional.

Die Arbeit des elektrischen Stromes ist proportional der Zeit, in der der elektrische Strom fließt.

$$A \sim t.$$

b) Die Abhängigkeit der elektrischen Arbeit von der Stromstärke und von der Spannung. Wird ein Schiebewiderstand mit dem Tauchsieder in Reihe geschaltet, so kann die Stromstärke verändert werden (Abb. 164/1). Außerdem wird durch diesen Widerstand auch die Spannung, die am Tauchsieder liegt, beeinflusst. Die jeweils zusammengehörenden Stromstärke- und Spannungswerte werden gemessen. Die Wassermenge und die Zeit der Erwärmung hält man bei jedem Versuch konstant. In

Abhängigkeit der elektrischen Arbeit von der Stromstärke und von der Spannung

Spannung V	Stromstärke A	Erwärmung grd	Wärmemenge cal	Spannung · Stromstärke V · A	Wärmemenge
					$\frac{\text{Spannung} \cdot \text{Stromstärke}}{\text{cal}}$ $\frac{\text{cal}}{\text{V} \cdot \text{A}}$
220	5,46	60	30000	1201	25,0
201	5,0	50	25000	1005	24,9
180	4,5	40	20000	810	24,7
159	3,8	30	15000	604	24,8
110	2,7	15	7500	297	25,3

der Tabelle auf S. 163 sind die Ergebnisse der Versuchsreihe zusammengestellt.

Aus der Tabelle erkennt man, daß die vom Tauchsieder abgegebene *Wärmemenge* um so größer ist, je größer das *Produkt aus Spannung und Stromstärke* ist. Bildet man den Quotienten aus der Wärmemenge und dem Produkt aus Stromstärke und Spannung, so erhält man, abgesehen von geringen Abweichungen infolge von Meßfehlern, einen konstanten Wert.

Die elektrische Arbeit ist dem Produkt aus Stromstärke und Spannung proportional.

$$A \sim U \cdot I.$$

e) Die Größe der elektrischen Arbeit. Werden die beiden Aussagen

$$A \sim t$$

und

$$A \sim U \cdot I$$

zusammengefaßt, so erhält man

$$A \sim U \cdot I \cdot t.$$

Mißt man die Spannung U in Volt, die Stromstärke I in Ampere und die Zeit t in Sekunden, so kann man von der Proportion zur Gleichung übergehen und erhält:

$$A = U \cdot I \cdot t$$

Die elektrische Arbeit ist das Produkt aus der Spannung, der Stromstärke und der Zeit.

Die *Einheit der elektrischen Arbeit* ist infolgedessen die **Voltamperesekunde (VAs)**. Für Voltampere (VA) sagt man auch kurz **Watt (W)**, so daß man an Stelle von Voltamperesekunde auch **Wattsekunde (Ws)** sagen kann. Weitere Einheiten sind die **Wattstunde (Wh)** und die **Kilowattstunde (kWh)**.

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Ws},$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}.$$

3. Die elektrische Leistung. Von Elektromotoren und anderen elektrischen Geräten muß die **Leistung** bekannt sein. Sie ist beispielsweise bei Motoren insofern von großer Bedeutung, als man auf Grund der Leistung entscheiden kann, ob der Motor für den beabsichtigten Zweck ausreichend ist. Ebenso wie die mechanische Leistung der Quotient aus Arbeit und Zeit ist, ist auch die elektrische Leistung der Quotient aus der elektrischen Arbeit und der Zeit:

$$N = \frac{A}{t}.$$

Daraus folgt

$$N = \frac{U \cdot I \cdot t}{t},$$

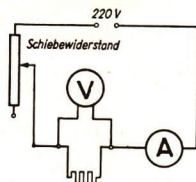


Abb. 164/1. Versuchsanordnung zum Nachweis der Abhängigkeit der elektrischen Arbeit von der Stromstärke und der elektrischen Spannung

somit

$$N = U \cdot I$$

Die elektrische Leistung ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke.

Da bei der elektrischen Leistung die Spannung in Volt und die Stromstärke in Ampere gemessen werden, hat man ein **Voltampere** (VA) oder ein **Watt** (W) als *Einheit der Leistung* festgelegt. Größere Einheiten sind das **Kilowatt** (kW) und das **Megawatt** (MW).

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W,}$$

$$1 \text{ MW} = 1000 \text{ kW} = 1\,000\,000 \text{ W.}$$

Zwischen den mechanischen und den elektrischen Leistungseinheiten bestehen folgende Beziehungen:

$$1 \text{ kW} \triangleq 102 \frac{\text{kpm}}{\text{s}},$$

$$\frac{1 \text{ kpm}}{\text{s}} \triangleq 9,81 \text{ W,}$$

$$1 \text{ kW} \triangleq 1,36 \text{ PS,}$$

$$1 \text{ PS} \triangleq 736 \text{ W.}$$

Liegt die Betriebsspannung eines elektrischen Gerätes beispielsweise um 10 % unter der auf dem Gerät angegebenen Spannung, unter der Nennspannung, so sinkt die Leistung nicht nur um 10 %, sondern um wesentlich mehr. Aus der Gleichung

$$N = U \cdot I$$

folgt, daß die Leistung sowohl von der Spannung als auch von der Stromstärke abhängig ist. Sinkt nun die Spannung, so sinkt gleichzeitig auch die Stromstärke. Nach dem Ohmschen Gesetz ist

$$I = \frac{U}{R}.$$

Setzt man diesen Ausdruck für I in die Gleichung für die Leistung ein, so erhält man

$$N = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}.$$

Zwischen der elektrischen Leistung und der Spannung besteht somit keine lineare Abhängigkeit, sondern eine quadratische. Wird die Spannung verdoppelt, so steigt die Leistung auf das 4fache.

Mit Hilfe der Gleichung $N = \frac{U^2}{R}$ kann man auch nachweisen, um welchen Betrag die Leistung sinkt, wenn die Spannung um 10 % geringer wird. Setzt man in der Gleichung $N = \frac{U^2}{R}$ an Stelle von U einen um 10 % geringeren Wert, also $0,90 U$ ein, so erhält man

$$N_1 = \frac{0,81 U^2}{R}.$$

Somit verhält sich

$$N : N_1 = 1 : 0,81.$$

Die Leistung ist um 19 % geringer geworden.

Wie aus der Gleichung

$$N = \frac{U^2}{R}$$

hervorgeht, führen geringe Spannungsschwankungen bereits zu großen Schwankungen in der Leistung. Dies kann bei einigen Geräten empfindliche Störungen verursachen. Sinkt zum Beispiel in einem Fernsehempfänger die Netzspannung um 10 Volt, so führt das bereits zu Störungen in der Bildwiedergabe. Aus diesem Grunde werden häufig diese Geräte nicht unmittelbar an die Steckdose angeschlossen, sondern über einen *Spannungskonstanthalter*. Mit Hilfe dieses Gerätes kann bei Spannungsschwankungen innerhalb bestimmter Grenzen die Nennspannung des Gerätes aufrecht erhalten werden. Neuerdings werden *Spannungsstabilisatoren* unmittelbar in die Geräte eingebaut.

4. Das Messen der elektrischen Leistung und der elektrischen Arbeit. Man kann die *Leistung* eines elektrischen Stromes dadurch bestimmen, daß man die Stromstärke und die Spannung mißt und das Produkt aus den Meßwerten bildet.

$$N = U \cdot I.$$

Es gibt aber auch Geräte, mit denen man die elektrische Leistung unmittelbar messen kann. Solche Geräte nennt man *Leistungsmesser* oder *Wattmeter*.

Die elektrische *Arbeit* kann als Produkt aus der Leistung und der Zeit berechnet werden. Ist beispielsweise ein Bügeleisen mit einer Leistung von 500 W 3 h in Betrieb, so beträgt die elektrische Arbeit

$$A = N \cdot t,$$

$$A = 500 \text{ W} \cdot 3 \text{ h},$$

$$A = 1500 \text{ Wh} = 1,5 \text{ kWh}.$$

Das Bügeleisen verbraucht somit in 3 h eine elektrische Energie von 1,5 kWh.

Auch die elektrische Arbeit kann unmittelbar gemessen werden. Dies geschieht zum Beispiel mit Hilfe der *Elektrizitätszähler*. Sie messen die verrichtete Arbeit und damit den Verbrauch an elektrischer Energie (Abb. 167/1). Der Elektrizitätszähler gibt die Arbeit in Kilowattstunden an. In ihm wird eine Scheibe in Umdrehungen versetzt. Die Anzahl der Umdrehungen wird mittels eines Zählwerkes gemessen. Je nach der Leistung der angeschlossenen Geräte läuft die Scheibe schneller oder langsamer. Die Anzahl der Umdrehungen für 1 kWh ist auf dem Typenschild jedes Elektrizitätszählers angegeben (Abb. 167/2).

Ein Elektrizitätszähler kann auch dazu verwendet werden, die elektrische Leistung eines Gerätes zu bestimmen. Zu diesem Zweck schaltet man nur dieses Gerät ein und mißt die Zeit, die das Gerät in Betrieb ist. Bildet man den Quotienten aus der am Elektrizitätszähler abgelesenen Arbeit und der verflossenen Zeit, so erhält man die Leistung des Gerätes.

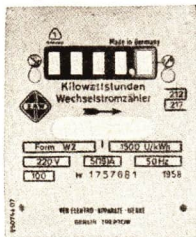
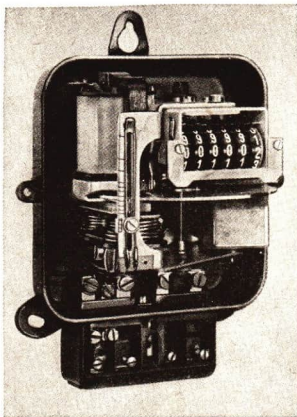


Abb. 167/2. Typenschild eines Elektrizitätszählers

Abb. 167/1. Elektrizitätszähler, hergestellt in dem VEB Elektro-Apparatewerke Berlin-Treptow

5. Das elektrische Wärmeäquivalent. Jedes elektrische Wärmegerät nimmt elektrische Energie auf und gibt Wärmeenergie ab. In vielen Versuchen konnte festgestellt werden, daß die Werte der aufgenommenen elektrischen Energie und der abgegebenen Wärmeenergie stets in einer bestimmten zahlenmäßig angebbaren Beziehung stehen. Erwärmt man beispielsweise mit einem Tauchsieder ($N = 1200 \text{ W}$) 500 g Wasser innerhalb von 2 min um 60 grd , so nimmt der Tauchsieder dabei eine elektrische Energie von

$$\begin{aligned} A_E &= N \cdot t, \\ A_E &= 1200 \text{ W} \cdot 120 \text{ s}, \\ A_E &= 144\,000 \text{ Ws} \end{aligned}$$

auf. Andererseits gibt er in der gleichen Zeit eine Wärmemenge von

$$\begin{aligned} A_W &= 500 \text{ g} \cdot 60 \text{ grd} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grad}}, \\ A_W &= 30\,000 \text{ cal} \end{aligned}$$

an das Wasser ab. Die elektrische Energie von $144\,000 \text{ Ws}$ entspricht einer Wärmemenge von $30\,000 \text{ cal}$; somit entspricht eine Wattsekunde einer Wärmemenge von etwa $0,21 \text{ cal}$. Hierbei muß jedoch berücksichtigt werden, daß nicht alle vom Tauchsieder abgegebene Wärme restlos zum Erwärmen des Wassers dient. Ein Teil der Wärmeenergie wird zur Erwärmung des Wassergefäßes und der umgebenden Luft verbraucht. Auch geht ein geringer Teil der Wärme des Tauchsieders als Wärmestrahlung

verloren. Somit ist der genaue Wert der Wärmemenge, welcher der elektrischen Energie einer Wattsekunde entspricht, etwas größer als 0,21 cal. Zur genauen Bestimmung des Wertes muß die Versuchsanordnung so beschaffen sein, daß keine unkontrollierbaren Wärmeverluste auftreten. Durch viele genau durchgeführte Messungen wurde folgender Wert ermittelt:

$$1 \text{ Ws} \cong 0,239 \text{ cal.}$$

Den Quotienten aus der Wärmemenge (Q) und der ihr entsprechenden elektrischen Arbeit (A) bezeichnet man als das **elektrische Wärmeäquivalent**

$$K = \frac{Q}{A}.$$

Das elektrische Wärmeäquivalent hat den Wert

$$K = 0,239 \frac{\text{cal}}{\text{Ws}}.$$

Der Zahlenwert des elektrischen Wärmeäquivalents ist der Faktor zur Umrechnung der Wärmeenergie in elektrische Energie und umgekehrt.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Warum ist es bei Fernsehgeräten notwendig, die Spannung konstant zu halten, und zwar auf dem Wert, für den das Gerät gebaut ist?
2. Wie kann man mit einem Elektrizitätszähler die Leistung eines Tauchsieders bestimmen?
3. Was sagt das elektrische Wärmeäquivalent aus?

30. Wärmewirkungen des elektrischen Stromes

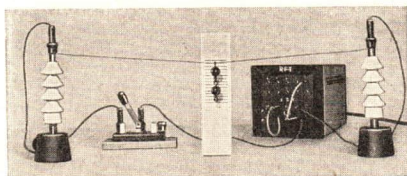
1. Grundversuch zur Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Zwischen zwei Fußklemmen ist ein dünner Eisendraht ausgespannt und über einen Schalter an eine Spannungsquelle angeschlossen (Abb. 169/1a). Der Draht ist in der Mitte durch ein Wägestück belastet. Sobald ein elektrischer Strom durch den Draht fließt, erwärmt sich der Draht und dehnt sich aus. Das Wägestück senkt sich infolgedessen etwas (Abb. 169/1b). Wird der Stromfluß unterbrochen, so kühlt sich der Draht ab und zieht sich zusammen. Dadurch wird das Wägestück wieder gehoben. Vergrößert man die Stromstärke, dann beginnt der Draht sogar zu glühen.

Fließt durch einen Leiter ein elektrischer Strom, so wird der Leiter erwärmt. Je größer die Stromstärke ist, desto stärker erwärmt sich der Leiter.

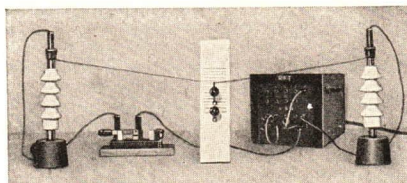
Die Wärmewirkung des elektrischen Stromes stellt eine Umwandlung elektrischer Energie in Wärmeenergie dar. Diese Energieumwandlung ist auf den Widerstand des Leiters zurückzuführen. Bei hohen Stromstärken und Leitern mit großem Widerstand, zum Beispiel dünnen Drähten, ist die Wärmewirkung besonders stark. Zwischen den bewegten Elektronen und den Molekülen tritt nämlich eine Wechselwirkung ein. Durch sie geraten die Moleküle in eine größere Bewegung, was sich als Temperaturerhöhung äußert.

Da in einem Stromkreis die Stärke des elektrischen Stromes sehr gut geregelt werden kann, ist auch die Wärmewirkung der in diesem Stromkreis liegenden Wärmegeräte in weiten Grenzen stetig regelbar. Aus diesem Grunde und infolge der vielseitigen Verwendbarkeit werden elektrische Wärmegeräte in der Industrie und in der Landwirtschaft in immer stärkerem Maße eingesetzt. Die unmittelbare Umwandlung elektrischer Energie in Wärmeenergie ist eins der wichtigsten Verfahren zum Erzeugen von Wärme.

2. Elektrische Heizgeräte im Haushalt. In vielen Haushalten werden bereits



a) vor dem Einschalten des Stromes



b) nach dem Einschalten des Stromes

Abb. 169/1. Versuch zur Wärmewirkung des elektrischen Stromes

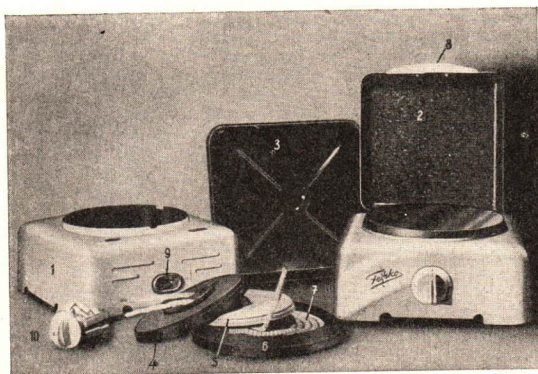


Abb. 169/2. Elektrische Kochplatte mit freigelegter Heizwendel aus dem VEB Fehko, Gräfenenthal (Thür.). Durch einen Deckel (2) mit Griff (8) kann die Kochplatte abgedeckt werden.

elektrische Kochplatten oder Elektroherde verwendet. Ein wesentlicher Bestandteil der Kochplatte ist eine kreisrunde, ebene Stahlplatte (6), die von unten her durch eine Heizwendel (7) elektrisch beheizt wird (Abb. 169/2). Diese Wendel besteht aus einer hitzebeständigen Eisenlegierung oder aus Nickelin oder Konstantan. Sie liegt in einer spiralförmig angeordneten Rinne einer Keramikplatte (5). Dadurch können sich die einzelnen Windungen nicht berühren. Bei einer Berührung zwischen den einzelnen Windungen werden Teile der Heizwendel nicht mehr vom Strom durchflossen. Infolgedessen sinkt der Widerstand und die Stromstärke steigt an, was zu einer Zerstörung der Wendel führen kann. Die Kochplatte ist auf einem Untergestell (1 und 3) befestigt, an dem ein Geräteanschlußstecker (9) und meist auch ein Stufenschalter (10) angebracht sind. Das Untergestell soll außerdem die Wärmeleitung und die Wärmestrahlung nach unten möglichst verhindern.

Die Kochplatte wird über ein Geräteanschlußkabel mit einer Steckdose verbunden. An dem einen Ende des Kabels befindet sich ein Netzstecker, am anderen Ende eine Gerätesteckdose, die auf den Geräteanschlußstecker der Kochplatte paßt (Abb. 170/1). Derartige Anschlußleitungen müssen so beschaffen sein, daß man die unter Spannung stehenden Leiter nicht versehentlich berühren kann. Aus diesem Grunde dürfen Stecker und Steckdosen nur in ganz bestimmten, genormten Ausführungsformen verwendet werden.

Der Geräteanschlußstecker enthält außer den beiden Kontakten für die Zuleitung des elektrischen Stromes noch einen dritten Kontakt, den Schutzkontakt. Dieser Kontakt ist mit allen Metallteilen des Gerätes leitend verbunden. Auch die Gerätesteckdose und der Netzstecker des Geräteanschlußkabels sind mit Schutzkontakten versehen, die durch einen Leiter miteinander verbunden sind. Die Geräteanschlußkabel enthalten somit drei voneinander isolierte Leiter. Netzstecker mit Schutzkontakten werden als Schutzkontaktstecker, kurz als Schukostecker bezeichnet (Abb. 171/1). Für Schukostecker sind auch entsprechende Steckdosen, die Schukosteckdosen, entwickelt worden. Die Schutzkontakte dieser Steckdosen sind geerdet.

Hat ein elektrischer Kocher Gehäuseschluß, das heißt berührt ein spannungsführender Leiter beispielsweise die Kochplatte an einer Stelle, so steht die Kochplatte unter Spannung. Bei Berührung eines unter Spannung stehenden Gerätes ist der betreffende Mensch gefährdet, da er eine leitende Verbindung zur Erde darstellt. Da nun aber die Platte über die Schutzkontakte geerdet ist, fließt der elektrische Strom durch die Erdungsleitung ab, denn ihr Widerstand ist geringer als der des menschlichen Körpers. Die Unfallgefahr ist beseitigt. Trotzdem muß der Schaden sobald als möglich behoben werden. Geräteanschlußkabel werden nicht nur für

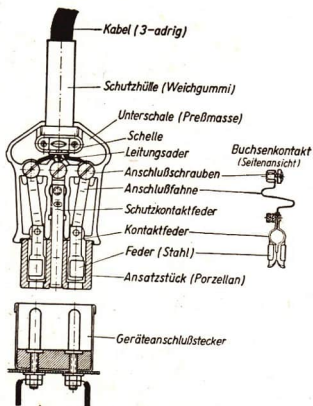
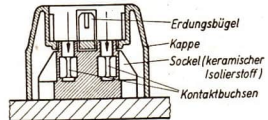
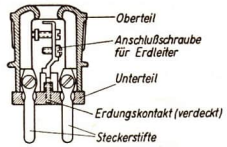


Abb. 170/1. Längsschnitt durch eine Gerätesteckdose und einen Geräteanschlußstecker



a) Ansicht

Abb. 171/1. Schukostecker und Schukosteckdose



b) Schnitt

Kochplatten, sondern für viele elektrische Geräte verwendet.

Bei Kochplatten anderer Konstruktion als der beschriebenen ist der Heizdraht ganz von der Keramikmasse umgeben (Abb. 171/2). In solchen Kochplatten ist der Heizdraht nicht gewandelt, sondern mäanderförmig gebogen (Abb. 172/1). Das Eingießen des Heizdrahtes in die Keramikmasse hat folgende Vorteile: Durch die unmittelbare Berührung des Heizdrahtes mit der Keramikmasse ist die Wärmeübertragung wesentlich besser. Da außerdem der Heizdraht nicht unmittelbar mit der Luft in Berührung kommt, oxydiert er nicht und ist infolgedessen länger haltbar.

Die meisten Kochplatten haben einen Stufenschalter. Damit kann man bestimmte Abschnitte des Heizdrahtes ein- oder ausschalten und dadurch die Wärmeentwicklung regeln.

Ein *Elektroherd* hat mehrere Kochplatten mit getrennten Stufenschaltern (Abb. 172/2). Außerdem ist eine Backröhre eingebaut. Sie wird durch zwei Heizkörper von oben und unten beheizt. Ober- und Unterhitze können getrennt geregelt werden.

Die elektrische *Kleinküche* wird zum Backen und Kochen verwendet (Abb. 172/3).

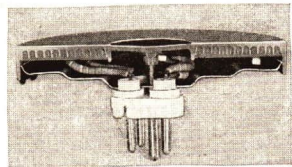
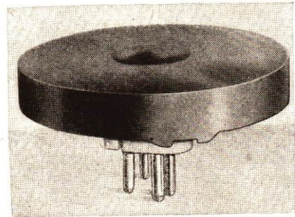


Abb. 171/2. Schnittmodell einer Kochplatte mit eingegossenem Heizdraht aus dem VEB Elektrowärme Sörnewitz



Abb. 172/1. Mäanderförmig gebogener Heizdraht



Abb. 172/2. Elektroherd vom VEB Elektrowärme Sörnewitz

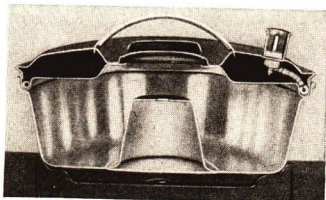


Abb. 172/3. Elektrische Kleinküche des VEB Elektrowärme Sörnewitz

Die Heizwendel ist in den Deckel eingebaut. Weil Metalle die Wärme gut leiten, werden von dieser Heizwendel auch die Seitenwände und der Boden erhitzt. Die Kleinküche muß auf Keramikfüßen oder einem besonderen Untergestell stehen, damit möglichst wenig Wärme an die Unterlage abgegeben wird.

Zum Erhitzen kleiner Flüssigkeitsmengen verwendet man häufig einen *Tauchsieder* (Abb. 173/1). Es gibt aber auch größere Ausführungsformen, die man zum Beispiel in Waschmaschinen oder zum Erwärmen des Badewassers benutzt. Beim Tauchsieder wird fast die gesamte erzeugte Wärme an das Wasser abgegeben, da er ja unmittelbar vom Wasser umgeben ist. Der Wirkungsgrad ist daher beim Tauchsieder höher als bei anderen Wärmegeräten. Der Tauchsieder darf stets nur dann an das Netz angeschlossen werden, wenn er sich in der Flüssigkeit befindet. Sonst erwärmt er sich zu stark, so daß der Heizdraht zerstört werden kann.

Beim elektrischen *Warmwasserbereiter* fließt das Wasser durch einen Kessel, in dem ein elektrischer Heizkörper eingebaut ist (Abb. 173/2). Ein *Temperaturschalter*, meist ein Bimetallstreifen, unterbricht den Stromkreis selbsttätig, sobald eine bestimmte Temperatur erreicht ist. Dadurch wird vermieden, daß das Wasser bis zum Sieden erhitzt wird. Eine Wärmeisolierung, die den Kessel umgibt, verhindert ein zu schnelles Abkühlen des Wassers. Unterschreitet die Temperatur des Wassers infolge Abkühlung oder durch Zufluß kalten Wassers einen bestimmten Wert, so wird der Heizstrom wieder automatisch eingeschaltet. In dem Warmwasserbereiter spielt sich somit ein einfacher Regelvorgang ab.

Beim elektrischen *Bügeleisen* ist die Heizwendel im Innern des Gehäuses untergebracht (Abb. 174/1). Zur Isolierung des Heizdrahtes dienen meist Keramikperlen. Weitere Heizgeräte sind der elektrische *Heizofen* und das *Heizkissen* (Abb. 175/1).

3. Elektrowärmegeräte in der Landwirtschaft und in der Industrie. Elektrowärmegeräte werden in immer stärkerem Maße in der Landwirtschaft verwendet. Infolge der einfachen Handhabung elektrischer Geräte erleichtern diese unseren Menschen auf dem Lande die Arbeit. Es wird außerdem Zeit eingespart und so insgesamt die Arbeitsproduktivität gesteigert.

Im Boden des elektrischen *Futterdämpfers* ist ein Heizkörper eingebaut, der das eingefüllte Wasser zum Sieden bringt (Abb. 175/2). Durch den aufsteigenden Dampf wird das darüber gelagerte Futter gedämpft. Der Futterdämpfer ist häufig über eine Schaltuhr an das Netz angeschlossen. Diese Uhr schaltet den Strom selbsttätig

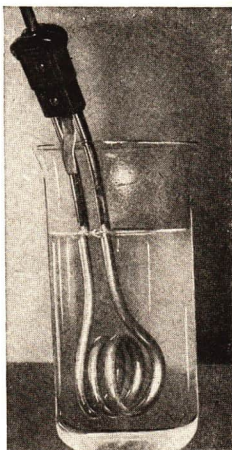
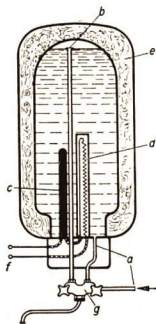
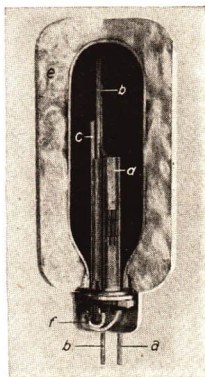
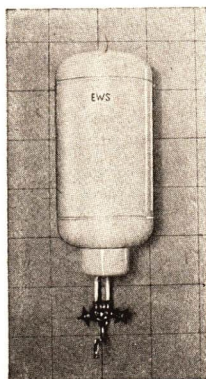


Abb. 173/1. Tauchsieder



- a Kaltwasserzufluß
- b Warmwasserabfluß
- c Temperaturschalter
- d Heizspirale
- e Wärmeisolation
- f Netzanschluß
- g Mischbatterie

Abb. 173/2. Warmwasserbereiter des VEB Elektrowärme Sörnewitz
a) Ansicht b) Schnittmodell c) schematische Zeichnung

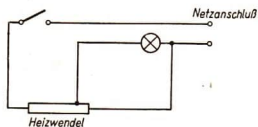
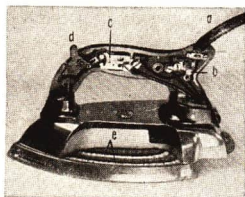


Abb. 174/1. Elektrisches Bügeleisen mit Schalter und Signallampe
a Anschlußkabel d Schalthebel
b Signallampe e Heizwendel
c Schalter

während der Nacht ein und nach Ablauf einer bestimmten Zeit wieder aus. Solche Futterdämpfer entnehmen nur nachts, das heißt außerhalb der Spitzenbelastungszeiten, elektrische Energie.

In großen landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften, in volkseigenen Gütern und vor allem in Molkereien wird die Milch in elektrischen *Milcherhitzern* keimfrei gemacht. Dadurch ist gewährleistet, daß durch die Milch keinerlei Krankheiten übertragen werden.

Für eine neuzeitliche Geflügelaufzucht sind Elektrowärmegeräte notwendig. Die Eier werden im elektrisch beheizten *Brutschrank* bei einer Temperatur von 37° bis $37,8^{\circ}\text{C}$ ausgebrütet. Zur weiteren Aufzucht der Küken dienen die *Elektro-Wärmeglucken*, die *Kükenaufzucht витrine* und die *Kükenaufzucht batterie* (Abb. 175/3). Unter der Elektro-Wärmeglocke herrscht eine Temperatur von anfangs 32°C , die für die Entwicklung der Küken erforderlich ist. Dieses Gerät besteht aus einem unten offenen, flachen Kasten, der auf kurzen Füßen steht und von seiner Decke her beheizt wird. Die elektrischen Geflügelaufzuchtgeräte sind mit automatischen Temperaturreglern ausgerüstet, so daß eine gleichbleibende Temperatur gewährleistet ist. Diese Temperatur kann der jeweils herrschenden Außentemperatur angepaßt werden. Durch die Verwendung elektrischer Geräte in der Geflügelaufzucht können bereits in der kalten Jahreszeit Küken in genügender Anzahl herangezogen werden. Sie sind bis zum Sommer so weit entwickelt, daß sie legereif sind. Dieses Beispiel zeigt, wie auch die Technik dazu beiträgt, die Produktion tierischer Erzeugnisse zu erhöhen.

Eine weitere Gruppe von Wärmegeräten bilden die *Infrarotstrahler*. Sie geben die Wärme als Wärmestrahlung an die Umgebung ab. Auch in den Infrarotstrahlern werden Heizwendeln durch den elektrischen Strom zum Glühen gebracht. Bei der in Abbildung 176/1 dargestellten Ausführungsform ist die Heizwendel in eine Keramikmasse eingegossen. Durch die Wendel wird der Keramikkörper zum Glühen gebracht und sendet Wärmestrahlen aus. Ein Reflektor wirft die Strahlen so zurück, daß sie weitgehend in einer bestimmten Richtung verlaufen. Das Glühen der Keramikmasse ist kaum zu sehen, daher ist besondere Vorsicht am Platze. Diese sogenannten *Dunkelstrahler* müssen auch in genügender Entfernung von leicht brennbaren Gegenständen, wie Möbeln, aufgestellt werden, um eine Brandgefahr zu vermeiden.

Bei einer anderen Ausführungsform der Infrarotstrahler, den *Hellstrahlern*, ist die Heizwendel in einem Glaskolben untergebracht. Als Reflektor dient

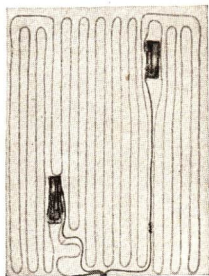


Abb. 175/1. Elektrisches Heizkissen (Röntgenbild). Die im Bild schwarz erscheinenden rechteckigen Teile sind Temperaturregler, die bei hoher Temperatur den Strom selbsttätig abschalten (vergl. Abb. 20/3).

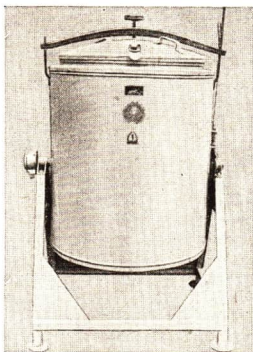


Abb. 175/2
Elektrischer Futterdämpfer

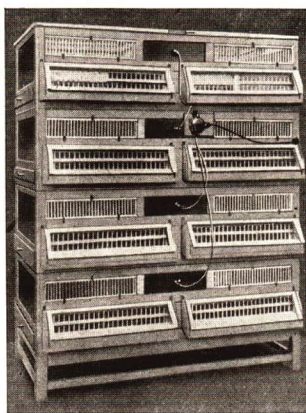


Abb. 175/3. Kükenaufzuchtatterie. Jedes Schubfach kann 100 Küken aufnehmen.
Links: Ansicht von vorn; rechts: Ansicht von hinten

die Rückwand des Glaskolbens. Sie ist zu diesem Zweck auf der Innenfläche mit einem Spiegelbelag versehen. Die Hellstrahler senden außer den Wärmestrahlen auch noch Lichtstrahlen aus. Sie beleuchten dadurch gleichzeitig den zu erwärmenden Raum.

In der Landwirtschaft werden Infrarotstrahler ähnlich den oben genannten Wärmegegeräten zur Geflügelaufzucht und Geflügelhaltung verwendet. Sie erzeugen in den Hühnerställen im Winter die nötige Wärme. Sehr wichtig ist ferner ihre Anwendung bei der Aufzucht von Ferkeln.

Viele Industriebetriebe verwenden *Infrarot-Trockenanlagen* zum Trocknen von Werkstücken, beispielsweise lackierten Fahrzeugteilen (Abb. 176/2). Durch dieses neue Verfahren werden die bisher sehr langwierigen Trocknungsprozesse wesentlich verkürzt, so daß Zeit und Kosten eingespart werden können.

Metalle werden häufig durch Löten miteinander verbunden. Hierzu verwendet man elektrische *Lötkolben* (Abb. 176/3). Die kupferne Lötspitze wird durch einen elektrischen Heizkörper erwärmt.

In Maschinenfabriken, Werkzeugfabriken und Laboratorien werden vielfach elektrische *Glüh- und Härteöfen* verwendet (Abb. 177/1). Man bezeichnet diese Öfen auch als Muffelöfen, da das Innere mit Schamottemuffeln ausgekleidet ist. Als Heizkörper dienen Stäbe aus *Silit*. Sie werden aus Kohlenstoff und Quarz hergestellt. Die Silitstäbe werden vom elektrischen Strom durchflossen, wobei Temperaturen von 1300°C und mehr erreicht werden.

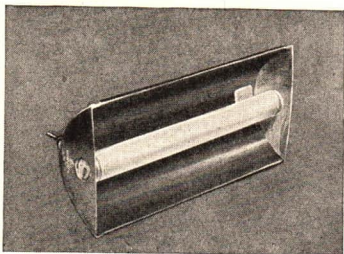


Abb. 176/1. Infrarotstrahler (Dunkelstrahler)

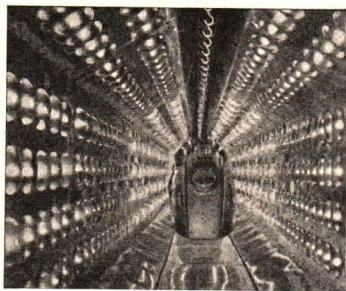


Abb. 176/2. Infrarot-Trockenanlage für Kraftfahrzeugkarosserien im VEB Industrie-Werke Ludwigsfelde. Der Lackanstrich einer Karosserie wird in etwa 10 Minuten durch Infrarotbestrahlung getrocknet und eingebrannt.

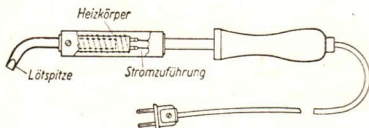
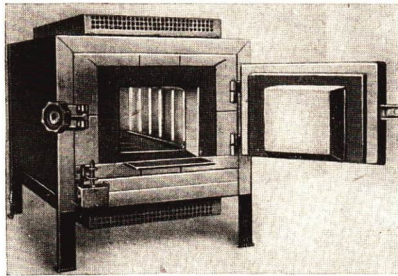


Abb. 176/3. Elektrischer Lötkolben (Schnittzeichnung, schematisch)

Abb. 177/1. Elektrischer Muffelofen für Werkstätten aus dem Werk VEB Elektrokohle Berlin. Die glühenden Silicistäbe sind in lotrecht stehenden Nischen untergebracht.



4. Fragen und Aufgaben:

1. Nenne Geräte, die die Wärmewirkungen des elektrischen Stromes ausnutzen! Ordne sie nach ihrer Verwendung im Haushalt, in der Industrie und in der Landwirtschaft!
2. Worin besteht der Unterschied zwischen Dunkelstrahlern und Hellstrahlern?
3. Warum müssen alle Geräte mit Schutzkontakten versehen sein?

31. Das elektrische Licht

1. Die elektrische Glühlampe. Die Wärmewirkung des elektrischen Stromes wird auch zum Erzeugen von *Licht* benutzt. Der Leiter muß zu diesem Zweck so stark erhitzt werden, daß er hell glüht.

An der Erfindung der Glühlampe sind, wie auch bei vielen anderen Erfindungen, Angehörige verschiedener Nationen beteiligt. Schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde versucht, den elektrischen Strom zur Erzeugung von Licht auszunutzen. Im Jahre 1855 brachte der in New York lebende Deutsche *Heinrich Goebel* eine verkohlte Bambusfaser zum Glühen. Um ein Verbrennen der Faser zu verhindern, umgab er sie mit einem Glaskolben, aus dem er die Luft zum großen Teil entfernte. 1873 entwickelte der russische Erfinder *Alexander Nikolajewitsch Lodygin* eine ähnliche Vorrichtung, verwendete jedoch als Glühkörper ein dünnes Kohlestäbchen. Ein Nachteil dieser Glühlampen war ihre kurze Lebensdauer. Außerdem war ihre Anfertigung sehr umständlich. Erst der Amerikaner *Thomas Alva Edison* konstruierte etwas später eine Glühlampe, die industriell gefertigt werden konnte. Damit war diese Erfindung so weit entwickelt, daß die elektrische Beleuchtung in immer stärkerem Maße angewendet werden konnte.

In der Glühlampe ist ein dünner *Glühdraht* aus einem schwer schmelzbaren Metall an einem Gestell ausgespannt (Abb. 177/2). Geeignete Metalle hierfür sind Osmium, Tantal und Wolfram, da ihre Schmelzpunkte bei 2700 °C, 3000 °C

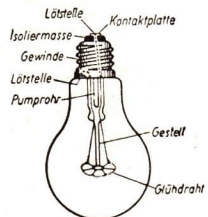


Abb. 177/2. Aufbau einer Glühlampe



a

Abb. 178/1. Wendel einer Glühlampe

a) Einfachwendel



b

b) Doppelwendel

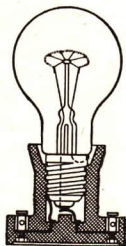


Abb. 178/2. Berührungssichere Lampenfassung einer Glühlampe (Schnittzeichnung, schematisch)



Abb. 178/3. Leistungsschild einer Glühlampe. Es enthält außer der Leistung und der Spannung auch den Herstellerbetrieb (BGW = Berliner Glühlampenwerk), das Herstellungsjahr (δ = 1956), den Herstellungsmonat (A = Januar) und die Wendelung (D = Doppelwendel).

und 3350°C liegen. Der Glühfaden hat die Form einer *Einfachwendel* oder einer *Doppelwendel* (Abb. 178/1). Dadurch kann ein etwa 1 m langer Glühfaden gut im Glaskolben der Lampe untergebracht werden. Die Wendelung bietet noch einen weiteren Vorteil. Ein gestreckter glühender Draht gibt einen sehr großen Teil seiner Wärme an die Umgebung ab. Infolgedessen ist eine große Stromstärke notwendig, um den Draht zum Glühen zu bringen. Ist jedoch der Draht gewendelt, so heizen sich die nebeneinander liegenden Windungen der Wendel gegenseitig auf. Die Wendel wird schon durch einen schwächeren Strom zum Glühen gebracht. Damit der Glühfaden nicht verbrennen kann, muß die Luft aus dem Glaskolben ausgepumpt werden. Um jedoch zu verhindern, daß das Metall der glühenden Wendel verdampft, füllt man die Lampenkolben mit einem Schutzgas, zum Beispiel mit Stickstoff.

Die Glühlampen werden in Fassungen aus Porzellan oder Kunstharz geschraubt. Diese Lampenfassungen sind berührungssicher gebaut, so daß eine Berührung spannungsführender Teile unmöglich ist (Abb. 178/2). Die Kontaktfedern berühren die Metallteile des Lampensockels erst dann, wenn die Glühlampe ganz in die Fassung geschraubt ist. Dadurch steht das Gewinde des Lampensockels beim Ein- und Ausschrauben der Glühlampe nicht unter Spannung.

Bei Glühlampen gibt man die Leistung des elektrischen Stromes, der sie durchfließt, an. Die elektrische Leistungseinheit ist bekanntlich das Watt (W). Die am häufigsten verwendeten Glühlampen haben Leistungen von 15 W, 25 W, 40 W, 60 W, 75 W, 100 W, 150 W und 200 W. Die Leistung sowie die Spannung, für die die Glühlampe bestimmt ist, sind auf dem Kolben eingeätzt (Abb. 178/3). Bei der Auswahl der Glühlampen sollte man die wählen, die für die betreffende Arbeit ausreichend ist. Wird zum Anfertigen der Schularbeiten Licht gebraucht, so schaltet man

nicht die große Krone mit 200 W an, sondern verwendet eine Tischlampe mit höchstens 40 W. Auf diese Weise kann an elektrischer Energie gespart werden, die unserer Industrie zugute kommt.

Neben den allgemein üblichen Glühlampen gibt es noch eine große Anzahl von Sonderformen, die nur bestimmten Zwecken dienen und die teilweise noch höhere Leistungen haben. Zum Beispiel werden in Bildwerfern *Projektionslampen* verwendet, deren Wendel so angeordnet ist, daß sie eine leuchtende Fläche bildet (Abb. 179/1). Alle Kraftfahrzeuge sind mit Scheinwerfern ausgerüstet, die auf- und abgeblendet werden können. Diesem Zweck dienen die mit zwei Glühfäden ausgerüsteten *Bilux-Lampen* (Abb. 179/2).

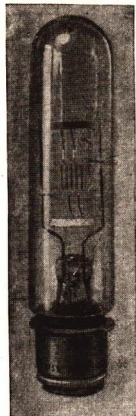


Abb. 179/1
Projektionslampe
75 V, 375 W

2. Die Schaltung von Glühlampen. Soll eine Glühlampe an eine Spannungsquelle angeschlossen werden, so werden ihre Kontakte unmittelbar mit den Polen der Spannungsquelle verbunden (Abb. 180/1). Die Lampe leuchtet mit normaler Helligkeit. Sollen jedoch mehrere Glühlampen eingeschaltet werden, so muß jede Lampe direkt mit den Anschlußklemmen der Spannungsquelle verbunden werden. Dies wird durch *Parallelschaltung* der Glühlampen erreicht (Abb. 180/2). Bei dieser Schaltungsart liegt an jeder Lampe die volle Spannung. Das gleiche gilt für den Betrieb anderer Stromverbraucher, wie Tauchsieder, Kochplatte, Rundfunkempfänger, Staubsauger.

Beim Anschluß an das Lichtnetz werden Glühlampen und andere Stromverbraucher parallel geschaltet, damit an ihnen die volle Spannung liegt.

Zum Öffnen und Schließen des Stromkreises dienen *Schalter* (Abb. 180/3). Bei Lichtanlagen werden im allgemeinen *Dreh-, Kipp- und Druckschalter* verwendet. Bei den Drehschaltern werden die zwei gegenüberliegenden Kontaktfedern durch einen drehbaren Kontakt miteinander verbunden (Abb. 180/4). Diese Verbindung wird bei den Kippschaltern durch das Umlegen eines Kontakthebels hergestellt (Abb. 180/5).

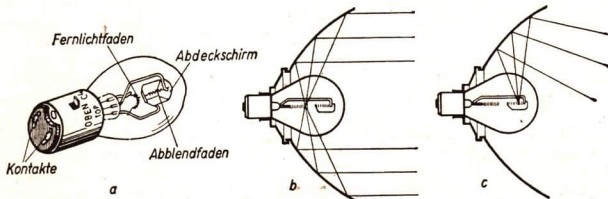


Abb. 179/2. Scheinwerfer mit Bilux-Lampe (Schnittzeichnung, schematisch)
a) Ansicht b) Fernlicht c) Abblendlicht

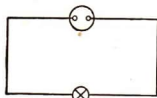


Abb. 180/1. Eine Glühlampe im Stromkreis

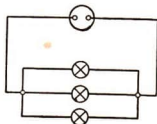


Abb. 180/2. Parallelschaltung dreier Glühlampen

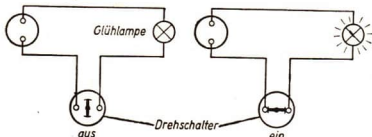


Abb. 180/3. Schaltung einer Glühlampe mit Hilfe eines Drehschalters

Bei einem Druckschalter wird durch das Ein-drücken des Knopfes ein federnder Kontakt mit einem festen Kontakt in Berührung gebracht (vgl. Abb. 211/2). Schalter dieser Art werden in Treppenhäusern verwendet. Sie sind dann im allgemeinen mit einem Zeitschaltwerk verbunden, das nach einer bestimmten Zeit den Strom automatisch wieder ausschaltet. Die Verwendung dieser Druckschalter in Treppenhäusern trägt zum sparsamen Verbrauch elektrischer Energie bei. Sonst würde aus Vergeßlichkeit häufig die Beleuchtung nicht ausgeschaltet werden.

Durch die Verwendung von *Wechselschaltern* kann eine Lampe von verschiedenen Stellen aus ein- und ausgeschaltet werden (Abb. 181/1). Man verwendet sie beispielsweise in Treppenhäusern, auf langen Fluren und in Schlafzimmern. Als Wechselschalter werden sowohl Drehschalter als auch Kippschalter benutzt. Sie enthalten vier Kontakte, von denen zwei durch eine Brücke leitend miteinander verbunden sind. Die Schaltung des Wechselschalters ist aus der Abbildung 181/1 ersichtlich.

Sind mehrere Glühlampen zu einer Leuchte zusammengefaßt, so ist es oft zweckmäßig, mehrere Lampen einzeln oder in Gruppen zusammengefaßt einzuschalten. Dies erreicht man entweder durch Verwenden eines Doppelkippschalters (Abb. 181/2) oder durch *Serienschaltung* (Abb. 181/3). Für die Serienschaltung eignen sich nur Drehschalter, die vier Kontakte enthalten. Der drehbare Teil des Schalters enthält bei Serienschaltern drei Kontakte, die leitend miteinander verbunden sind.

Bei der Wechselschaltung kann eine Glühlampe von zwei verschiedenen Stellen aus geschaltet werden.

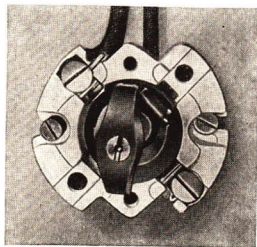


Abb. 180/4. Drehschalter. Das Schutzgehäuse ist abgenommen.

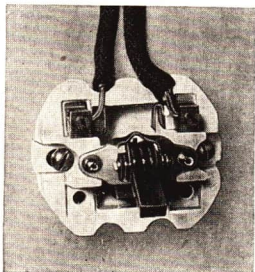


Abb. 180/5. Kippschalter. Das Schutzgehäuse ist abgenommen.

Abb. 181/1. Wechselschaltung einer Lampe mit zwei Schaltstellen

Bei der Serienschaltung kann man mit einem Schalter mehrere Glühlampen wahlweise einzeln oder in Gruppen schalten.

3. Der elektrische Lichtbogen.

Zwei Kohlestifte werden mit den Polen einer Spannungsquelle von etwa 50 V verbunden (Abb. 182/1). Der Stromkreis wird geschlossen, indem man die Kohlestäbe zur Berührung bringt. Entfernt man sie nun vorsichtig einige Millimeter voneinander, so wird dadurch der Stromkreis nicht unterbrochen. Zwischen den Stabenden entsteht ein *Lichtbogen*, der von glühenden Kohledämpfen gebildet wird. Die Kohledämpfe leiten den elektrischen Strom und schließen dadurch den Stromkreis. Die Spitzen der Kohlestäbe glühen und strahlen ein sehr helles Licht aus. Im Lichtbogen werden Temperaturen bis zu 4000 °C erreicht. Da infolge des Lichtbogens die Kohlen verbrennen, müssen sie ständig nachgestellt werden. Dies geschieht im allgemeinen automatisch.

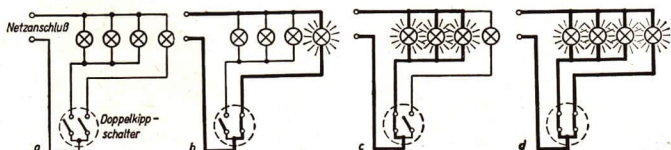
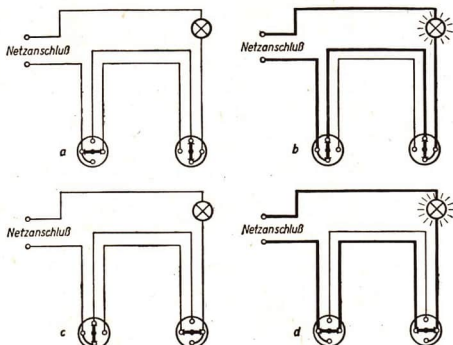


Abb. 181/2. Schaltung eines Doppelkippschalters

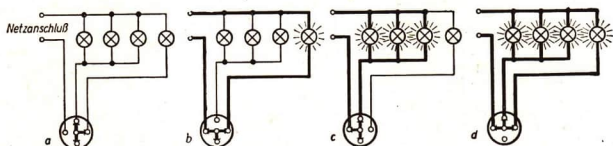


Abb. 181/3. Serienschaltung

Der erste, der diese Erscheinung im Jahre 1803 näher beschrieb, war der russische Gelehrte *Wassili Wladimirowitsch Petrow*. Aber erst der russische Ingenieur *Pawel Nikolajewitsch Jablotschkow* konstruierte eine Lampe, bei der der elektrische Lichtbogen als Lichtquelle verwendet wurde. Diese elektrischen Bogenlampen wurden auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1878 zum ersten Male praktisch verwendet. Heute sind elektrische Bogenlampen wegen des hohen Stromverbrauchs nur noch für bestimmte Sonderzwecke, zum Beispiel für Scheinwerfer und Kinoprojektionsgeräte, in Gebrauch.

Der elektrische Lichtbogen hat jedoch eine große technische Bedeutung als Wärmequelle erlangt. Er wird beispielsweise zum *Schweißen* benutzt (Abb. 182/2). Das elektrische Lichtbogenschweißen wird unter anderem beim Bau von Maschinen, beim Schiffsbau und beim Brückenbau angewendet. Besonders im Schiffsbau wird das Schweißen heute vielfach anstelle des Nietens verwandt. Die Teile werden durch die Schweißnaht so fest miteinander verbunden, als ob sie von Anfang an aus einem Stück bestanden hätten. Durch das Schweißen werden

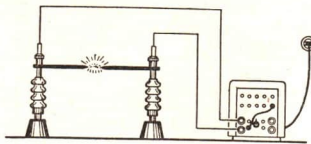


Abb. 182/1. Versuchsanordnung zum Erzeugen eines elektrischen Lichtbogens



Abb. 182/2. Elektrisches Lichtbogenschweißen



Pawel Nikolajewitsch Jablotschkow
(1847 bis 1894)

große Mengen an Material eingespart, da die zu verbindenden Teile unmittelbar aneinander geschweißt werden (Abb. 183/1a). Beim Nietens dagegen müssen sich die zu verbindenden Teile überlappen (Abb. 183/1b). Beim Schweißen entstehen ferner keine vorspringenden Teile, die Naht kann gut geglättet werden. Das ist im Schiffsbau besonders wichtig, da ein glatter Schiffsrumpf leichter durch das Wasser gleitet als ein Rumpf mit vielen erhabenen Nietköpfen. Weitere Vorteile des Schweißens sind Gewichts- und Zeitersparnis.

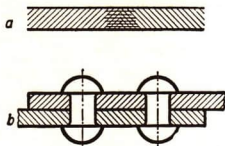
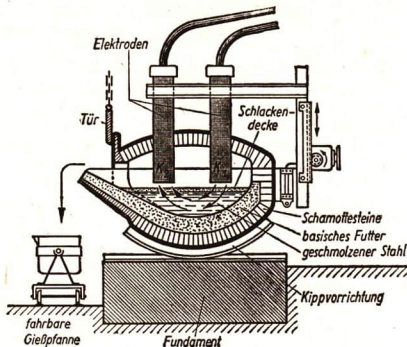


Abb. 183/1. Verbinden zweier Metallteile
a) durch Schweißen
b) durch Nieten

Abb. 183/2. Schnitt durch einen Lichtbogenofen (schematisch). Der Strom fließt von der Kohle K_1 durch das Schmelzgut zur Kohle K_2 oder umgekehrt.



Die zu verschweißenden Eisenteile werden mit dem einen Pol einer Gleichspannungsquelle verbunden, während der andere Pol mit der Schweißelektrode in Verbindung steht. Diese Schweißelektrode hält der Schweißer mit einer isolierenden Zange. Durch den Lichtbogen zwischen der Schweißelektrode und den Eisenteilen schmelzen deren Ränder. Auch von der Elektrode schmilzt etwas Eisen ab, das die Fuge zwischen den Eisenteilen ausfüllt. Nach dem Erkalten sind diese Teile verschmolzen und dadurch fest miteinander verbunden. Beim Schweißen fließt ein Strom von etwa 200 A bis 300 A. Die Spannung beträgt dabei jedoch nur 20 bis 30 V. Wollte man die gleiche Stromstärke mit den häufig verwendeten Glühlampen von 220 V und 40 W erzielen, so müßte man 1100 bis 1650 solcher Lampen parallel schalten.

In das grelle Licht des Lichtbogens darf man nie direkt schauen, weil dies zu schweren Schäden der Augen, ja sogar zum Erblinden führen kann. Schilder weisen in den Betrieben, in denen Elektroschweißer arbeiten, auf diese Gefahren hin. Der Schweißer hält zum Schutze der Augen vor sein Gesicht einen Schutzschild, in den eine Scheibe aus dunkelblauem Glase eingelassen ist.

Der elektrische Lichtbogenofen ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Stahlerzeugung, insbesondere zur Edelstahlgewinnung (vgl. Abb. 126/1). In ihm wird mit Hilfe des Lichtbogens unmittelbar Schrott zu Stahl verarbeitet. Durch Beimengung anderer Metalle, wie Chrom, Nickel und Mangan, werden Edeldahllegierungen hergestellt, die in großen Mengen für unsere hochentwickelte Industrie, unter anderem für die Herstellung von Flugzeugen und Turbinen, gebraucht werden. Auch ein beträchtlicher Teil des Rohstahls wird in den Lichtbogenöfen unserer Hüttenwerke veredelt. Aus diesem Grunde hat die Elektrostahlerzeugung für den Aufbau unserer sozialistischen Industrie eine große Bedeutung. So wurde die Anzahl der Elektrostahlöfen von 2 im Jahre 1947 auf 18 im Jahre 1955 erhöht.

Die Abbildung 183/2 gibt die Anlage eines Lichtbogenofens schematisch wieder. Ein solcher Ofen besteht im wesentlichen aus einem geschlossenen Behälter. Dieser ist auf einem Fundament so gelagert, daß er nach der einen Seite hin gekippt werden

kann. Hier befindet sich ein Füll- und Gießansatz. Die Wände sind innen mit einem Futter ausgekleidet, das aus einer feuerfesten Schamotteschicht und einer basischen Schicht besteht. Von oben her ragen in den Ofenraum zwei oder drei armdicke Kohlestäbe hinein. Zwischen ihnen und der Eisenfüllung entstehen Lichtbögen, unter deren Wärmewirkung das Roheisen schmilzt.

Auch bei Schaltern können Lichtbögen auftreten, wenn beim Ausschalten der Stromfluß nicht schnell genug unterbrochen wird. Deswegen sind in den Lichtschaltern Federn eingebaut, die beim Betätigen des Schalters zunächst gespannt werden und dann plötzlich den Strom unterbrechen. Defekte Schalter sind umgehend auszuwechseln. Mit dem Lichtbogen ist eine Erwärmung verbunden, die eine Brandgefahr bedeutet. Schalter, mit denen Ströme hoher Stromstärke geschaltet werden, enthalten häufig Öl. Dieses unterbindet das Entstehen eines Lichtbogens.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Nenne die wichtigsten Schaltungen einer Glühlampe und erkläre sie!
2. Welche Vorteile haben bei Glühlampen die Doppelwendeln gegenüber den Einfachwendeln?
3. Erkläre die Wirkungsweise der Bilux-Lampe! Welche optischen Gesetze werden bei ihr angewendet?
4. Warum sind alle Schalter mit einer Feder ausgestattet?

32. Die Sicherung elektrischer Anlagen

1. Die Schmelzsicherung. Ein Leiter erwärmt sich um so mehr, je stärker der Strom ist, der ihn durchfließt. Die Erwärmung kann dabei so stark werden, daß brennbare Stoffe in seiner Nähe entflammen und Brände verursachen. Damit die Temperatur des Leiters gering bleibt, darf somit die Stromstärke einen bestimmten Wert nicht übersteigen. Dieser Wert ist von den Abmessungen und dem Material des Leiters abhängig. Aus diesem Grunde schaltet man in elektrische Leitungsanlagen Sicherungen ein, die den Stromkreis beim Überschreiten einer bestimmten Stromstärke unterbrechen.

Am einfachsten in ihrem Aufbau ist die *Schmelzsicherung* (Abb. 184/1). Der Porzellankörper der Sicherung ist innen hohl und mit feinem Sand gefüllt. Durch diesen führt ein schmaler Streifen aus einer sehr dünnen Metallfolie, der sowohl am Fuß wie am Kopf der Sicherung in je einem Kontakt endet (Abb. 184/2). Der Schmelzeinsatz wird

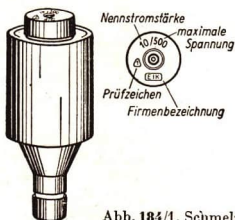
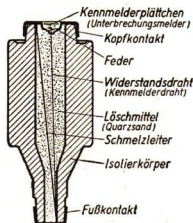


Abb. 184/1. Schmelzeinsatz einer Schmelzsicherung

Abb. 184/2. Geöffneter Schmelzeinsatz. Man sieht neben der Metallfolie noch einen sehr dünnen Draht, der ein farbiges Plättchen festhält. Erschmilzt gleichzeitig mit der Metallfolie durch.



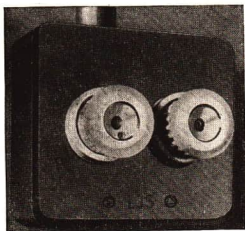


Abb. 185/1. Schmelzsicherungen im Gehäuse. Der linke Einsatz ist durchgeschmolzen.

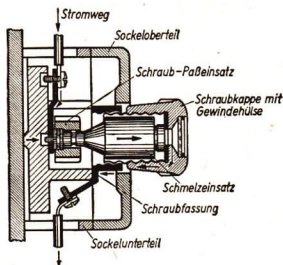


Abb. 185/2. Stromweg in einer Schmelzsicherung: Kontaktplatte — Schmelzeinsatz — Gewinde des Deckels — Gewinde des Gehäuses

in eine Schraubfassung eingeführt und mit einem Deckel festgeschraubt (Abb. 185/1). Der Stromweg in einer Schmelzsicherung ist aus der Abbildung 185/2 ersichtlich. Zum Schutz gegen Berührung sind die Schraubfassung und der Deckel mit Porzellantkörnern umgeben.

Fließt durch eine Sicherung ein zu starker Strom, so schmilzt die Metallfolie im Einsatz. Die Leitung wird dadurch unterbrochen und stromlos. Man sagt, die Sicherung ist durchgebrannt. Der Sand, in dem die Metallfolie liegt, verhindert die Entstehung eines Lichtbogens.

In der Kopfplatte des Schmelzeinsatzes ist ein farbiges Plättchen, der *Unterbrechungsmelder*, eingebettet. Dieser wird durch einen sehr dünnen Draht gehalten (vgl. Abb. 184/2). Schmilzt die Metallfolie, so schmilzt auch der dünne Draht, und das Plättchen fällt heraus (vgl. Abb. 185/1). Dadurch ist bereits äußerlich sichtbar, daß die Sicherung durchgebrannt ist.

Eine übermäßig große Stromstärke und damit das Durchschmelzen der Sicherung kann auf einen *Kurzschluß* oder auf eine Überbelastung zurückzuführen sein. Unter einem Kurzschluß versteht man die leitende Überbrückung eines Verbrauchers, so daß dadurch die Stromstärke sehr groß wird. Bevor ein neuer Schmelzeinsatz eingesetzt wird, sind alle Lampen und Geräte auszuschalten und die Ursache ist festzustellen. Bei Kurzschluß muß die Schadenstelle beseitigt werden. Brannte die Sicherung auf Grund einer Überbelastung durch, so dürfen nach Auswechseln der Sicherung nur so viele Geräte eingeschaltet werden, daß die zulässige Höchststromstärke nicht überschritten wird.

Die Wirkungsweise einer Sicherung veranschaulicht der in Abbildung 186/1 wiedergegebene Versuch. Wird der Stromkreis geschlossen, so leuchtet die Lampe und zeigt damit an, daß ein Strom fließt. Die Leitungsdrähte werden durch den schwachen Strom kaum erwärmt. Nun stellt man absichtlich einen Kurzschluß her, indem man die Lampe durch einen dicken Draht überbrückt. Die Metallfolie erwärmt sich nun so stark, daß sie durchschmilzt. Der Stromkreis wird dadurch unterbrochen. Ersetzt man die Metallfolie durch einen dicken Draht und schaltet wieder den Strom ein, so fangen die Widerstandsdrähte an zu glühen. Die Wollfäden und die Papierstreifen verbrennen.

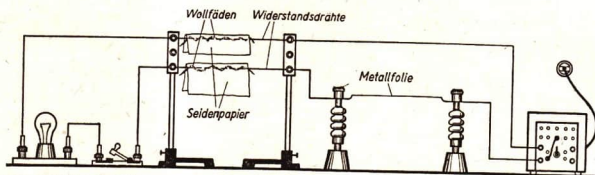


Abb. 186/1. Die Wirkungsweise einer Sicherung (Modellversuch)

Dieser Versuch zeigt, daß man *durchgeschmolzene Sicherungen niemals durch Drähte überbrücken darf*. Werden Sicherungen „geflickt“, so können schwere Brandschäden entstehen. In jedem Haushalt sollten stets einige Sicherungen vorrätig sein, so daß man eine durchgebrannte Sicherung sofort gegen eine neue auswechseln kann.

Das Überbrücken von Sicherungen durch Drähte ist verboten! Durchgebrannte Sicherungen sind stets durch neue Sicherungen zu ersetzen!

Die Sicherungen sind für bestimmte *Höchststromstärken* genormt. Sie werden für 2 A, 4 A, 6 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A und noch größere Stromstärken hergestellt. Diese Angaben besagen, daß die Sicherungen durchschmelzen, sobald die *Höchststromstärke* überschritten wird. Der Normwert ist im Kopfkontakt des Schmelzeinsatzes eingepreßt und außerdem an der Farbe des Unterbrechungsmelders zu erkennen (vgl. Abb. 184/1).

Auch der *Fuß der Schmelzeinsätze* ist genormt. Je größer die Höchststromstärke ist, um so größer ist auch der Durchmesser des Fußes. In den Sicherungsgehäusen befinden sich *Paßringe*, in die die Füße der Schmelzeinsätze gerade hineinpassen. Ist der Paßring für einen Schmelzeinsatz für 10 A vorgesehen, so kann man 2 A-, 4 A-, 6 A- und 10 A-Sicherungen einsetzen, aber keine Sicherung mit einer Höchststromstärke von mehr als 10 A.

Diese Maßnahme ist notwendig, da ja auch das Leitungsmaterial nur für eine bestimmte Stromstärke bemessen ist. Würde eine Sicherung mit einer zu hohen Stromstärke eingesetzt, so könnten auch die Zuleitungen überbelastet werden, ohne daß die Sicherung den Stromkreis unterbricht. Dies bedeutet aber eine Brandgefahr.

In Wohnungen genügt meist eine Sicherung von 6 A bzw. 10 A. Kleinere Häuser werden mit 15 A abgesichert. In großen Häusern mit vielen Wohnungen werden für die Hauptsicherung Schmelzeinsätze von 20 A bzw. 25 A verwendet. In industriellen und landwirtschaftlichen Anlagen werden Hauptsicherungen mit noch höheren Belastungsgrenzen eingebaut.

Kennfarben der Schmelzeinsätze

Höchststromstärke (A)	Kennfarbe
2	rosa
4	braun
6	grün
10	rot
15	grau
20	blau
25	gelb

2. Der Sicherungsautomat. Anstelle von Schmelzsicherungen werden häufig *Sicherungsautomaten* verwendet (Abb. 187/1). Im Innern des Gehäuses befindet sich

ein Druckkontakt, der dadurch geschlossen wird, daß man einen Schaltknopf hineindrückt. Eine Sperrklinke hält den Kontakt geschlossen. Der Strom durchfließt im Sicherungsautomaten einen Heizdraht, der um einen Bimetallstreifen gewickelt ist. Je stärker der Strom ist, desto mehr krümmt sich der Bimetallstreifen infolge der Wärmewirkung. Er drückt dabei auf die Sperrklinke. Wird die Höchststromstärke überschritten, so gibt die Klinke den Druckschalter frei, der Druckkontakt öffnet sich, und der Schalterknopf springt heraus.



Abb. 187/1. Sicherungsautomat

Tritt plötzlich eine sehr hohe Stromstärke auf, wie dies bei Kurzschluß der Fall ist, so dauert es eine gewisse, wenn auch kurze, Zeit, bis die Sicherung den Stromkreis öffnet. Das Erwärmen des Heizdrahtes und das Übertragen der Wärme auf den Bimetallstreifen erfolgt ja nicht augenblicklich, sondern innerhalb eines bestimmten Zeitraumes. Aus diesem Grunde ist im Sicherungsautomaten außerdem eine *magnetische Auslösung* eingebaut, die auf plötzlich auftretende Stromstärken sofort anspricht, während die *thermische Auslösung* vor allem auf kleine, aber länger andauernde Stromüberschreitungen reagiert.

Man kann den Stromkreis auch willkürlich öffnen, indem man einen zweiten, kleineren Schaltknopf drückt. Dadurch wird ebenfalls die Sperrvorrichtung ausgeklinkt.

3. Regeln für den Umgang mit elektrischen Anlagen. Das unsachgemäße Umgehen mit elektrischen Geräten kann nicht nur Brand- und Sachschäden verursachen. Leichtsinns und Fahrlässigkeit bei der Benutzung elektrischer Anlagen können unter Umständen auch zu schweren gesundheitlichen Schäden, ja sogar zum Tode führen. Bei der Verwendung elektrischer Geräte muß verhütet werden, daß ein Strom durch den menschlichen Körper fließt. Der Körper oder Teile von ihm dürfen nicht im Stromkreis liegen. Das wäre zum Beispiel der Fall, wenn man zwei blanke Drähte einer Lichtleitung gleichzeitig anfassen würde (Abb. 187/2). Aber auch das Berühren nur eines Leiters muß vermieden werden. Der eine Pol unseres Stromnetzes, der sogenannte Nulleiter, ist nämlich geerdet, das heißt leitend mit der Erde verbunden. Demnach herrscht zwischen der Erde und dem anderen Leiter die volle Netzspannung, meist 220 V. Berührt man diesen Leiter, so kann der elektrische Strom

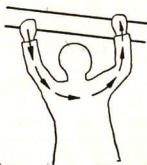


Abb. 187/2. Beim Berühren beider Pole einer Lichtleitung fließt ein elektrischer Strom durch den menschlichen Körper.

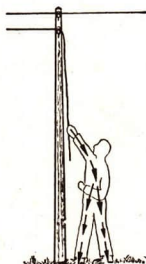


Abb. 187/3. Beim Berühren nur eines Leiters kann auch ein elektrischer Strom durch den menschlichen Körper fließen.

ebenfalls durch den menschlichen Körper fließen (Abb. 187/3). *Der Mensch darf also auf keinen Fall mit spannungsführenden Leiterteilen in Berührung kommen.* Nur Kleinspannungen unter 42 V sind ungefährlich. Elektrische Spielzeuge haben meist eine Spannung von 24 V.

Beim Arbeiten mit elektrischen Geräten sind folgende Regeln zu beachten:

1. Jede elektrische Anlage muß mit vorschriftsmäßigen Sicherungen versehen sein.
2. An Leitung, Schaltern, Steckdosen u. a. müssen die Schraubverbindungen fest angezogen sein. Die Isolation darf nicht schadhaft sein.
3. Steckdosen und Stecker müssen so beschaffen sein, daß man ihre leitenden Teile, sobald sie unter Spannung stehen, weder absichtlich noch unabsichtlich berühren kann. Es muß auch ausgeschlossen sein, nur einen Kontakt des Steckers in die Steckdose einzuführen (Abb. 188/1).
4. Schlingen, Knoten oder Knicke in einem Anschlußkabel müssen vermieden werden, sie führen zu Beschädigungen des Kabels.
5. Man faßt einen Stecker zum Herausziehen aus der Steckdose an seinen Isolierteilen an. Keinesfalls darf man am Anschlußkabel ziehen, weil dadurch die Befestigung des Kabels im Stecker gelockert wird.
6. Schalter und Steckdosen dürfen nicht als Aufhängevorrichtungen benutzt werden.
7. Ortsfeste elektrische Anlagen müssen entweder von einem Fachmann verlegt beziehungsweise verändert werden, oder sie müssen vor Inbetriebnahme von einem Fachmann überprüft werden.
8. Beim Beseitigen von Schäden an elektrischen Geräten ist der Netzstecker aus der Steckdose zu ziehen. Bei kleinen Reparaturen an ortsfesten Anlagen sind die Schmelzsicherungen herauszuschrauben oder die Sicherungsautomaten auszuschalten.
9. Da Feuchtigkeit die Leitfähigkeit der menschlichen Haut erhöht, darf man auf keinen Fall elektrische Geräte und Schalter mit feuchten Händen berühren. Schalter, Lampenfassungen, Steckdosen u. dgl. dürfen niemals mit einem feuchten Tuch abgewischt werden.
10. Lichtschalter und Steckdosen sollen nicht in der Nähe von Wasserleitungen angebracht werden.

In feuchten Räumen, wie in Kellern, Waschküchen und Ställen, dürfen nur wasserdichte Leitungen, Schalter und Lampen verlegt werden. Der Schalter für ein Badezimmer soll außerhalb dieses Raumes angebracht sein.

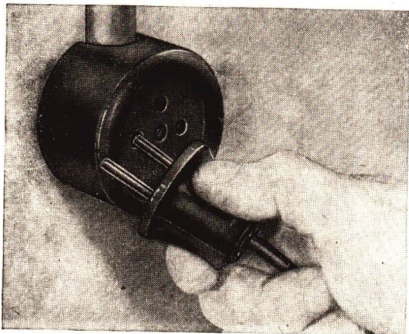


Abb. 188/1. Steckdose mit Wulst zum Verhindern des einpoligen Einsteckens

11. *Ans Lichtnetz angeschlossene Geräte und andere Metallkörper, die mit der Erde in Verbindung stehen, dürfen nicht gleichzeitig berührt werden.*

So soll man nicht in der einen Hand einen elektrischen Kochtopf halten und mit der anderen Hand die Wasserleitung berühren. In diesem Fall besteht bei einem nicht geerdeten Gerät die Möglichkeit, daß bei Geräteschäden ein elektrischer Strom vom Gerät durch den Körper zur Erde fließt. Elektrische Kochtöpfe dürfen infolgedessen erst dann mit Wasser gefüllt werden, wenn sie vom Netz getrennt sind.

12. *In feuergefährdeten Räumen, zum Beispiel in Scheunen, in Garagen und in Lagerräumen, müssen die Lampen mit Schutzkörben und Überglocken versehen sein, damit sie nicht mit den leicht entzündlichen Stoffen in Berührung kommen können (Abb. 189/1).*

13. *Bei Schülerversuchen dürfen nur Kleinspannungen bis höchstens 42 V benutzt werden.*

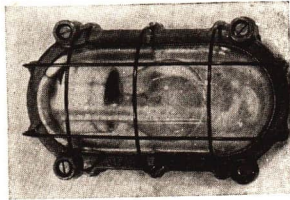


Abb. 189/1. Lampe mit Schutzkorb und Überglocke

4. Die Bedeutung der Normung. Unter Normung versteht man die Auswahl nur einer Form beziehungsweise einer Serie von Formen verschiedener Größe aus einer Vielzahl verschieden geformter Teile, die alle ein und demselben Zweck dienen. Nur diese eine Form, die zweckmäßigste, wird hergestellt.

Am Beispiel der Schmelzsicherung erkennt man besonders deutlich die Vorteile einheitlicher Normen. Alle Schmelzeinsätze für eine bestimmte Belastungsgrenze haben einheitliche Form und Größe und sind mit gleichen Farbplättchen gekennzeichnet, unabhängig davon, welcher Betrieb diese Schmelzeinsätze herstellt. Man braucht beim Kauf also nur auf die richtige Belastungsgrenze zu achten, dann paßt der Schmelzeinsatz auf alle Fälle in die Schraubfassung.

Anders ist es bei ungenormten Ersatzteilen. Um zum Beispiel ein passendes Schiffchen für eine ältere Nähmaschine zu kaufen, muß man entweder genaue Angaben über Fabrikat und Type der Maschine machen können oder ein Schiffchen als Muster vorlegen. Die Normung stellt also für den Käufer und für den Verkäufer eine erhebliche Vereinfachung dar. Aber die Normung bietet noch weitere Vorteile. Da von einem bestimmten Einzelteil jeweils nur die zweckmäßigste Form hergestellt wird, ist die Produktion einfacher; außerdem werden Arbeitszeit und Material gespart. Dadurch kann mehr produziert werden, während gleichzeitig die Betriebskosten sinken. Die Lagervorräte für genormte Teile können wesentlich kleiner sein als für ungenormte Teile. Auch lassen sich Ersatzteile leichter beschaffen.

Wegen aller dieser Vorteile ist die Normung für die gesamte Volkswirtschaft von größter Bedeutung. Während des ersten Weltkrieges wurden in Deutschland die ersten Normen für Industrieprodukte aufgestellt. Man nannte diese Normen damals **Deutsche Industrienormen**. Die Abkürzung DIN ist auch heute noch gebräuchlich.

In einem kapitalistischen Staat werden die Normen nicht konsequent weiterentwickelt beziehungsweise nicht für alle als verbindlich erklärt. Bei dem Konkurrenz-

kampf, der zwischen den einzelnen kapitalistischen Unternehmern herrscht, versucht nämlich jeder von ihnen, die Verbraucher nur zum Kauf seiner Waren zu veranlassen. Er stellt also möglichst eine besondere, nicht genormte Form des Gegenstandes her, so daß der Käufer auch gezwungen ist, Ersatzteile bei dem gleichen Unternehmer zu kaufen, weil ja andere Teile nicht zu seinem Gegenstand passen. Dadurch kann der Unternehmer die Preise für Ersatzteile hoch halten und so weitere Profite erzielen.

Den kapitalistischen Unternehmern ist die Bedeutung der Normung durchaus bekannt. Sie wissen genau, daß durch die Entwicklung der Normen die Produktion vereinfacht und verbilligt werden kann. Der kapitalistische Unternehmer wendet sie aber nur insoweit an, als es ihm zur Erzielung eines möglichst hohen Profites richtig erscheint.

In der Rüstungsindustrie der imperialistischen Staaten werden jedoch die Normen weitgehend angewandt, um möglichst große Mengen an Kriegsmaterial zu erzeugen. Wo es aber darauf ankommt, die Verbraucher zum Kauf bestimmter Waren zu verlocken und sie damit später zur Abnahme der Ersatzteile zu zwingen, dort beachten die kapitalistischen Unternehmer die Vorteile einheitlicher Normen aus Profitgier nicht. Das ist ein Widerspruch innerhalb des Kapitalismus, der die Entwicklung hemmt.

In der sozialistischen Wirtschaft gibt es keinen Konkurrenzkampf. In allen volkseigenen Betrieben arbeiten die Werktätigen an der Erfüllung und Übererfüllung der Volkswirtschaftspläne. Sie nutzen die Normung aus, um die Produktion zu vereinfachen, um Arbeitszeit und Material zu sparen und um die Betriebskosten zu senken. Deshalb entwickeln auch unsere Arbeiter, Techniker und Wissenschaftler die Normung weiter. Alle wichtigen Normen sind in den Normblättern enthalten, die mit dem Kennzeichen DIN versehen sind. So findet man zum Beispiel die Vorschriften über die Kennfarben der Schmelzsicherungen im Normblatt DIN VDE 9360. Die Schaltzeichen sind u. a. durch DIN 40711 genormt. Aber auch für fast alle anderen Zweige der Technik bestehen Normen.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Warum werden Sicherungen in elektrische Stromkreise eingebaut?
2. Warum darf man elektrische Sicherungen nicht flicken?
3. Erkläre die Vorteile der Normung am Beispiel der Glühlampen!
4. Beobachte, ob die Regeln für das Arbeiten mit elektrischen Geräten auch bei dir zu Hause genauestens eingehalten werden!

33. Magnetische Kraftwirkungen

1. Dauermagnete. Bereits im Altertum fand man in der Nähe der kleinasiatischen Stadt *Magnesia* ein Eisenerz, mit dem man kleine Eisenstücke anziehen konnte. Diese Eigenschaft des Erzes erhielt nach der Fundstätte den Namen *Magnetismus*. Auch in Europa, hauptsächlich in Schweden, wird magnetisches Eisenerz, der Magnet-eisenstein, gefunden (Abb. 191/4).

Die Anziehungskraft dieser natürlichen Magnete ist jedoch sehr gering. Aus diesem Grunde werden in der Technik *künstliche Magnete* verwendet, die aus gehärtetem Stahl oder aus Stahlliegierungen bestehen. Die künstlichen Magnete haben meist *Hufeisen-* oder *Stabform* (Abb. 191/2 und 191/3). Außerdem stellt man für die verschiedensten



Abb. 191/1. Magneteisenstein

Zwecke, besonders für die Fernmeldetechnik, leistungsfähige *keramische Magnete* in vielerlei Formen her (Abb. 192/1 bis Abb. 193/1). Die Grundbestandteile der keramischen Magnete sind magnetische Metalloxyde, im wesentlichen Eisenoxyd und Bariumoxyd. Die Rohstoffe werden aufbereitet, und die dadurch entstehende Masse wird gepreßt und schließlich gebrannt. Der Vorteil der keramischen Magnete besteht darin, daß sie leichter als Stahlmagnete mit gleicher magnetischer Kraft sind und daß man ihnen durch das Pressen jede gewünschte Form geben kann.

Außer Körpern aus Eisen werden auch Körper aus Nickel und Kobalt von einem Magneten angezogen. Doch ist die Kraft-

wirkung eines Magneten auf Nickel und Kobalt wesentlich geringer als auf ein Eisenstück.

Ein Magnet zieht nun aber nicht nur das Eisenstück an, sondern er wird auch gleichzeitig von dem Eisenstück angezogen. Es besteht eine *wechselseitige Anziehung* zwischen dem Magneten und dem Eisenstück. Dies wird durch die Versuchsanordnung veranschaulicht, die in Abbildung 193/2 wiedergegeben wird. Es ist gleichgültig, ob man den Magneten oder das Eisenstück in die Schale legt. Die Wirkung ist in beiden Fällen die gleiche.

Ein Magnet zieht Körper aus Eisen, Nickel und Kobalt an. Die magnetische Kraftwirkung ist wechselseitig.

Ein unmagnetisches Eisenstück wird dadurch magnetisch, daß man an ihm mehrfach das gleiche Ende eines Magneten entlang führt (Abb. 193/3). Benutzt man für diesen Versuch eine Stricknadel aus Stahl, so wirkt sie lange Zeit als Magnet. Ein Schlüssel aus Weicheisen dagegen wird nach dem Magnetisieren sehr schnell wieder unmagnetisch. Für Dauermagnete eignet sich infolgedessen nur Stahl.

Stahl bleibt nach dem Magnetisieren sehr lange magnetisch. Weicheisen dagegen verliert den Magnetismus schnell wieder.

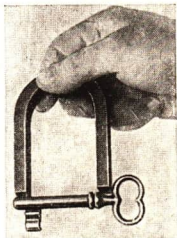


Abb. 191/2. Hufeisenmagnet



Abb. 191/3. Stabmagnet

2. Die Magnetpole. Wie aus dem in Abbildung 193/4 wiedergegebenen Versuch hervorgeht, ist die magnetische Kraft nicht an allen Stellen des Stabmagneten gleich groß. Sie hat in der Nähe der Enden ihren größten Wert. Man nennt diese Stellen die *Pole* des Magneten. In der Mitte des Stabmagneten ist keine Kraftwirkung vorhanden. Man bezeichnet diesen magnetisch unwirksamen Teil als *indifferente Zone*.

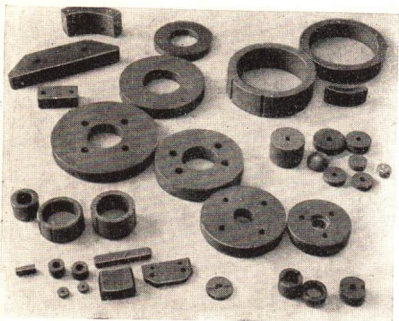


Abb. 192/1. Keramische Magnete unterschiedlicher Form

Die Pole eines Magneten sind die Stellen, an denen die magnetische Kraft am stärksten wirkt. Jeder Stabmagnet hat zwei Pole. Sie liegen in der Nähe der Enden des Magneten.

Ein waagerecht hängender Stabmagnet stellt sich etwa in die Nord-Süd-Richtung ein (Abb. 194/1). Ebenso verhält sich eine *Magnetnadel* (Abb. 194/2). Sie ist ein kleiner

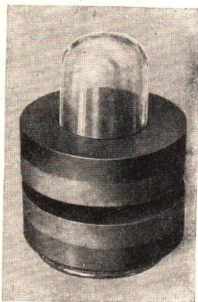
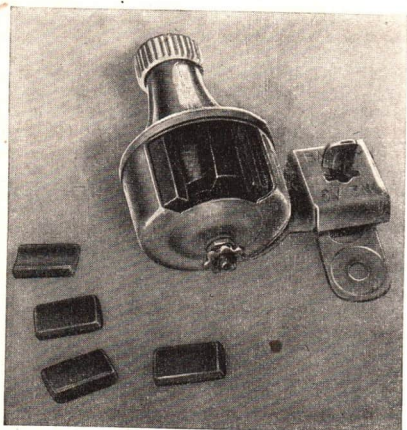


Abb. 192/2. Zwei keramische Magnete schweben übereinander

Abb. 192/3. Keramische Magnete in einem Fahrraddynamo



stabförmiger Magnet, der auf einer Spitze leicht drehbar gelagert ist. Auch eine Magnetnadel zeigt in der Ruhelage immer mit dem einen Ende nach Norden und mit dem anderen nach Süden. Auf die Stabmagneten und die Magnetnadel wirkt die magnetische Kraft der Erde ein. Die Erde selbst ist ein großer Magnet (vgl. S. 197).

Jeder Magnet, der um eine lotrechte Achse drehbar ist, stellt sich annähernd in die Nord-Süd-Richtung ein. Der nach Norden gerichtete Pol heißt *Nordpol*, der nach Süden gerichtete Pol *Südpol*.

Abb. 193/1. Keramische Magnete in einem Kilometerzähler

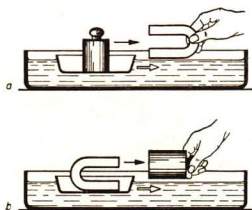
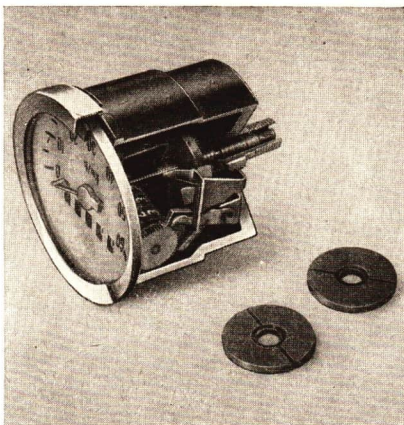


Abb. 193/2 Die magnetische Kraftwirkung ist wechselseitig

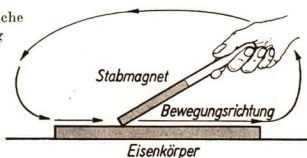


Abb. 193/3. Magnetisierung eines Eisenstabes

Meist werden die Pole eines Magneten durch verschiedene Farben gekennzeichnet und zwar der Nordpol durch Rot, der Südpol durch Grün oder Blau. Bei Magnetnadeln hat gewöhnlich der Nordpol eine dunklere Farbe als der Südpol.

3. Die magnetische Anziehung und Abstoßung. Nähert man einen Magneten einem unmagnetischen Nagel, so wird dieser sowohl vom Nordpol als auch vom Südpol

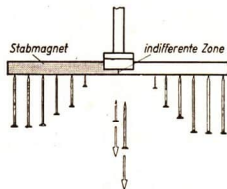


Abb. 193/4. An einem Stabmagneten hängende Nägel. Die Anziehungskraft ist in der Nähe der Stabenden am größten.

Abb. 194/1
Stabmagnet an einem Stativ. Das Stativ ist aus Holz, damit es keine Wirkung auf den Magneten ausüben kann.

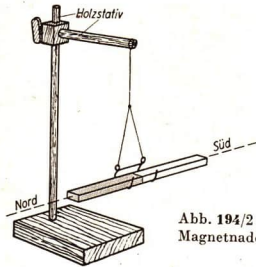
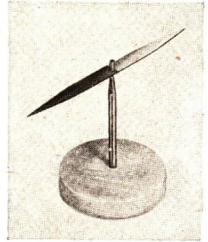


Abb. 194/2
Magnetnadel



angezogen. Verwendet man jedoch statt des Nagels eine Magnetnadel, so wird diese nur dann angezogen, wenn sich ungleichnamige Pole gegenüberstehen (Abb. 194/3). Gleichnamige Pole dagegen stoßen einander ab (Abb. 194/4).

Gleichnamige Magnetpole stoßen einander ab. Ungleichnamige Magnetpole ziehen einander an.

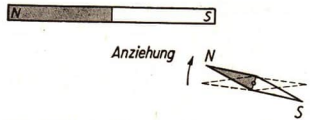


Abb. 194/3. Anziehung zwischen dem Südpol eines Stabmagneten und dem Nordpol einer Magnetnadel

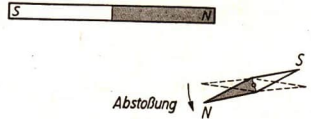


Abb. 194/4. Abstoßung zwischen dem Nordpol eines Stabmagneten und dem Nordpol einer Magnetnadel

4. Fragen und Aufgaben:

1. Wie kann man einen Eisenstab magnetisieren?
2. Du hast zwei gleiche Eisenstäbe, von denen du weißt, daß einer ein Magnet ist. Wie kannst du feststellen, welches der Magnet ist, ohne andere Hilfsmittel zu benutzen?

34. Das magnetische Feld — Die Elementarmagnete

1. Die magnetischen Feldlinien. Streut man auf eine Glasscheibe, unter der ein Stabmagnet liegt, Eisenfeilspäne und klopft leicht gegen die Scheibe, so beobachtet man, daß sich die Eisenfeilspäne in einer bestimmten Weise ordnen. Es bilden sich zusammenhängende Ketten von Eisenfeilspänen, die von dem einen Pol des Magneten zum anderen reichen (Abb. 195/1). Der Versuch zeigt, daß in der Umgebung des Magneten Kräfte wirksam sind. Diese magnetischen Kräfte haben an jedem Punkt in der Umgebung einen bestimmten Wert und eine bestimmte Richtung. Man bezeichnet den Raum um den Magneten, in dem die magnetischen Kräfte wirksam sind, als *magnetisches Feld*. Gleiche Versuche mit anders geformten Magneten,

beispielsweise mit Hufeisenmagneten, zeigen, daß jeder Magnet von einem magnetischen Feld umgeben ist (Abb. 195/2).

Jeder Magnet ist von einem magnetischen Feld umgeben.

Durch die in den Abbildungen 195/1 und 195/2 wiedergegebenen Versuche wurde das Magnetfeld nur in einer Ebene veranschaulicht. Es ist jedoch durchaus nicht auf eine Ebene beschränkt, sondern *erstreckt sich räumlich um den Magneten*. Taucht man nämlich einen Stabmagneten oder einen Hufeisenmagneten in Eisenfeilspäne und hebt ihn dann hoch, so beobachtet man die räumliche Ausdehnung des Magnetfeldes (Abb. 195/3 und 195/4).

Die durch die Eisenfeilspäne wiedergegebenen Linien bezeichnet man als *magnetische Feldlinien*. Sie sind nur eine Modellvorstellung, durch die man sich das Aussehen des magnetischen Feldes veranschaulicht. Die Feldlinien selbst kann man nicht sehen.



Abb. 195/1. Feldlinienbild eines Stabmagneten

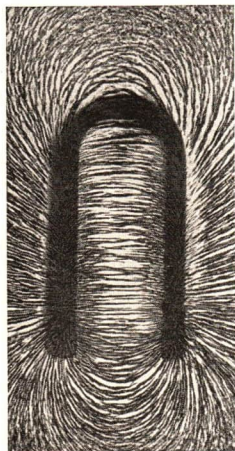


Abb. 195/3. Eisenfeilspäne an einem Stabmagneten

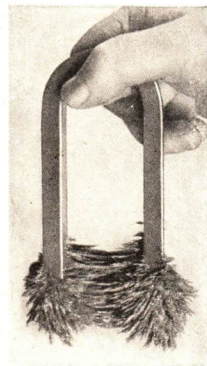


Abb. 195/4. Eisenfeilspäne an einem Hufeisenmagneten

Abb. 195/2. Feldlinienbild eines Hufeisenmagneten

Die Bedeutung der Feldlinien erkennt man mit Hilfe des folgenden Versuches: In einem Glastrog schwimmt an einem Korken eine magnetisierte Stricknadel. Der Nordpol ragt aus dem Wasser. Nähert man nun diesem Nordpol den Nordpol eines Hufeisenmagneten, so schwimmt die Nadel auf einer gekrümmten Bahn zum Südpol. Ein aus dem Wasser ragender Südpol würde sich auf der gleichen Bahn in entgegengesetzter Richtung bewegen. Eine Feldlinie gibt somit an, in welcher Richtung die magnetische Kraft wirkt. Als Richtung der magnetischen Feldlinien wurde die Bewegungsrichtung eines Nordpols festgelegt. Somit sind die Feldlinien außerhalb des Magneten vom Nordpol zum Südpol gerichtet.

Die magnetischen Feldlinien verlaufen vom Nordpol zum Südpol. Sie geben an, in welcher Richtung die magnetische Kraft wirkt.

2. Eisenkörper im magnetischen Feld. Der Verlauf der magnetischen Feldlinien wird dadurch wesentlich geändert, daß ein Weicheisenstück in das Feld gebracht wird (Abb. 196/1). Ein großer Teil der Feldlinien verläuft jetzt nicht mehr unmittelbar von Pol zu Pol, sondern durch das Eisenstück. Die Feldlinien treten auf der einen Seite in den Eisenkörper ein und auf der anderen Seite aus ihm heraus. Sie durchsetzen somit den Eisenkörper der Länge nach. Prüft man die Polarität dieses Weicheisenkörpers, so stellt man fest, daß *er in dem Magnetfeld selbst zu einem Magneten geworden ist*. Entfernt man ihn aus dem Magnetfeld, so ist er wieder unmagnetisch.

Ein unmagnetischer Eisenkörper wird im magnetischen Feld selbst zum Magneten.

3. Die Elementarmagnete. Eine magnetisierte Stricknadel hat an einem Ende einen Nordpol und an dem anderen einen Südpol. Man zerlegt nun die Stricknadel in zwei gleich lange Teile und ermittelt mit Hilfe einer Magnetenadel die Pole. Dabei stellt man fest, daß beide Teile vollständige Magnete mit je einem Nordpol und je einem Südpol sind. An der Bruchstelle sind somit zwei neue ungleichnamige Pole entstanden. Zerlegt man die Teilstücke in gleicher Weise, so findet man immer wieder, daß die neuen Teilstücke vollständige Magnete sind (Abb. 197/1). Denkt man sich die Teilung

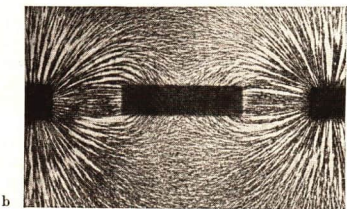
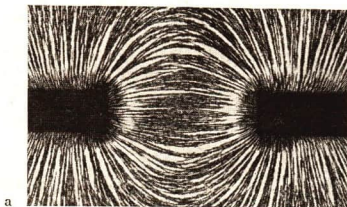


Abb. 196/1. Änderung des Feldlinienverlaufs durch ein Weicheisenstück

- a) ungestörtes Magnetfeld zwischen ungleichnamigen Polen
- b) die Feldlinien werden durch den Eisenkörper gesammelt

immer weiter fortgesetzt, so erhält man schließlich sehr kleine Magnete, aus denen der Körper besteht. Sie werden als *Elementarmagnete* bezeichnet.

Der Versuch zeigt, daß es nicht möglich ist, einen Nordpol von einem Südpol zu trennen. Die beiden Pole, die zwar qualitativ unterschiedlich sind, gehören doch stets zusammen.

Jedes unmagnetische Eisenstück besteht aus Elementarmagneten. Diese sind jedoch ungeordnet und liegen wirt durcheinander (Abb. 197/2). Wird dieses Eisenstück in ein Magnetfeld gebracht, ordnen sich die Elementarmagnete in eine Richtung, so daß alle gleichnamigen Pole in eine Richtung weisen. Der ganze Körper wirkt somit als ein Magnet.

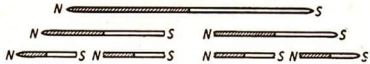


Abb. 197/1. Zerlegung einer magnetisierten Stricknadel. Jedes Teilstück ist ein vollständiger Magnet mit einem Nord- und einem Südpol.

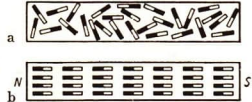


Abb. 197/2
Anordnung der Elementarmagnete
a) im unmagnetischen Eisen
b) im magnetischen Eisen

Eisenkörper bestehen aus Elementarmagneten. Im unmagnetischen Eisen sind die Elementarmagnete ungeordnet, im Magneten dagegen geordnet.

Wird das Weicheisenstück wieder aus dem Magnetfeld herausgenommen, so nehmen die Elementarmagnete wieder eine ungeordnete Lage ein. Das Eisenstück ist nach außen hin unmagnetisch. Sind jedoch in einem Stahlstück die Elementarmagnete geordnet, so behalten sie diese Ordnung auch bei, wenn das Stahlstück aus dem Magnetfeld herausgenommen wird.

Damit Stahlmagnete ihre magnetische Wirkung behalten, müssen sie sorgfältig behandelt werden. Durch Stoß oder Schlag können nämlich die Elementarmagnete aus ihrer Ordnung gebracht werden. Daher soll man Stahlmagnete nicht fallen lassen. Auch dürfen Magnete nicht geglüht werden, da sie dadurch ebenfalls ihren Magnetismus verlieren.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Wie kann man nachweisen, daß das magnetische Feld sich räumlich ausdehnt?
2. Was versteht man unter Elementarmagneten?

35. Die Erde als Magnet

1. Das Magnetfeld der Erde. Ein frei beweglicher Stabmagnet stellt sich an allen Orten der Erde annähernd in die Nord-Süd-Richtung ein. Aus diesen Versuchen folgt, daß die Erde selbst ein Magnet ist und demzufolge von einem magnetischen Feld umgeben wird (Abb. 197/3). Da die nach Norden zeigende Spitze der Magnetnadel als Nordpol bezeichnet wird und sich ungleichnamige Pole

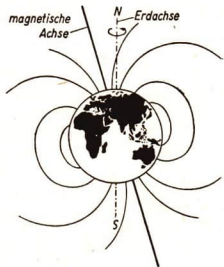


Abb. 197/3. Die Erde als Magnet

anziehen, muß die Erde auf der nördlichen Halbkugel einen magnetischen Südpol haben. Der magnetische Nordpol befindet sich auf der südlichen Halbkugel.

Die magnetischen Pole fallen auf der Erde nicht mit den geographischen Polen zusammen. Außerdem ändern die Pole ständig ihre Lage. So befand sich der magnetische Südpol im Jahre 1950 in Nordamerika auf etwa 72° nördlicher Breite und 96° westlicher Länge. Der magnetische Nordpol lag im gleichen Zeitraum in der Antarktis zwischen Viktorland und Wilkensland bei etwa 70° südlicher Breite und 150° östlicher Länge.

Die Erde ist ein Magnet. Sie ist von einem Magnetfeld umgeben. Auf der nördlichen Halbkugel liegt der magnetische Südpol, auf der südlichen Halbkugel der magnetische Nordpol.

2. Der Kompaß. Da sich eine Magnetnadel in die Nord-Süd-Richtung einstellt, kann man mit ihr die Himmelsrichtungen bestimmen. Das Gerät hierzu bezeichnet man als Kompaß. Beim Gebrauch des Kompasses dürfen sich keine Eisenteile in seiner unmittelbaren Nähe befinden, da die Magnetnadel sonst durch das Eisen zusätzlich beeinflußt wird und daher falsch anzeigt.

Der *Marschkompaß* ist für die Orientierung in unbekanntem Gelände ein unentbehrliches Hilfsmittel. Er enthält außer der *Magnetnadel* eine *Gradeinteilung* und eine *Visiereinrichtung* (Abb. 199/1). Mit Hilfe des Marschkompasses kann man eine bestimmte Richtung, die Marschrichtung, auch auf langen Strecken und in unübersichtlichem Gelände unverändert beibehalten. Man benutzt den Kompaß weiterhin, wenn man sich an Hand einer Karte orientieren will. Deshalb wird der Kompaß in der Touristik und im Geländesport vielseitig verwendet. Auch die Angehörigen der Kampfgruppen, der Gesellschaft für Sport und Technik und vor allem die Angehörigen unserer Nationalen Volksarmee müssen mit dem Marschkompaß vertraut sein. Daher sollte sich auch jeder Schüler schon die Handhabung des Marschkompasses einprägen.

Mit Hilfe des Marschkompasses können die folgenden drei Grundaufgaben gelöst werden.

a) Einnorden der Karte:

Stelle auf dem Marschkompaß die Marschrichtung Nord (Marschrichtungszahl 0) ein! Lege ihn auf die Karte, und zwar mit seiner Anlegekante an einen Meridian! Drehe die Karte so weit, bis die Magnetnadel auf die Nord-Süd-Richtung einspielt (Abb. 199/2)! Die Karte ist jetzt eingenordet.

b) Übertragen einer im Gelände beobachteten Richtung auf die Karte:

Visiere mit Hilfe des Marschkompasses einen bestimmten Geländepunkt an! Drehe die Windrose so, daß die Magnetnadel in die Nord-Süd-Richtung einspielt! Lies die Marschrichtungszahl ab! Lege den Kompaß auf die eingenordete Karte, wobei die Anlegekante durch den Kartenpunkt des Beobachtungsortes gehen muß! Drehe den Kompaß um diesen Beobachtungsort so lange, bis die Magnetnadel wieder auf die Nord-Süd-Richtung einspielt (Abb. 199/3)! Du erhältst auf diese Weise die Richtung, in der der anvisierte Geländepunkt auf der Karte zu suchen ist.

c) Übertragen einer Marschrichtung von der Karte auf das Gelände:

Entnimm dem eingenordeten Kartenblatt mit Hilfe des Marschkompasses die Marschrichtungszahl eines bestimmten Geländepunktes! Suche ihn dann im Gelände durch Visieren über den Kompaß auf!

Abb. 199/1. Marschkompaß. Beim Visieren kann man die Stellung der Magnetnadel im Spiegel beobachten.

Abb. 199/2. Einnorden der Karte

Abb. 199/3. Übertragen einer im Gelände beobachteten Richtung auf die Karte

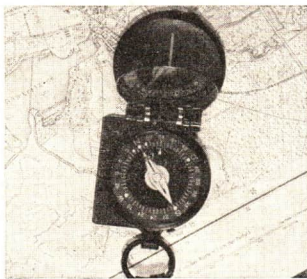
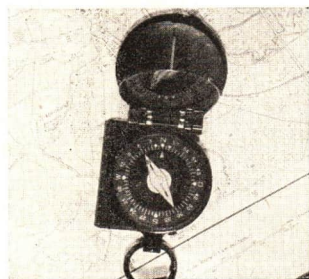
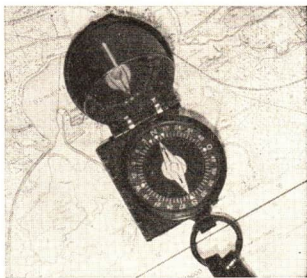
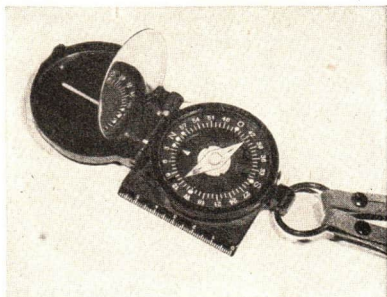


Abb. 200/1

Schiffskompaß

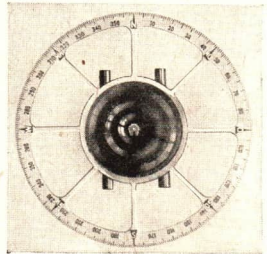
a) Schiffsjunge vor dem Kompaß



b) Windrose mit Stabmagneten. Der Kompaß wurde im volkseigenen Betrieb Geräte- und Regler-Werke Teltow hergestellt.

Bei *Schiffskompassen* ist meist die Windrose drehbar gelagert und wird durch mehrere unter ihr befestigte Stabmagnete in der Nord-Süd-Richtung gehalten (Abb. 200/1).

Da die magnetischen Pole nicht mit den geographischen Polen genau übereinstimmen, zeigt die Magnetnadel an den meisten Orten nicht genau nach Norden. Ihre Abweichung von der geographischen Nord-Süd-Richtung bezeichnet man als *Mißweisung* oder *Deklination*. Auf Grund der ständigen Veränderung der Lage der Pole ändert sich auch ständig die Deklination. Sie betrug beispielsweise im Jahre 1958 für



Berlin etwa 2° westlich. Bei einer genauen Bestimmung der Nord-Süd-Richtung muß die Deklination berücksichtigt werden.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Führe mit dem Marschkompaß die drei Grundaufgaben durch! Erkläre deine Tätigkeiten!
2. Warum befindet sich beim geographischen Nordpol ein magnetischer Südpol?

36. Die Magnetfelder stromdurchflossener Leiter

1. Das Magnetfeld um einen geraden stromdurchflossenen Leiter. Jeder stromdurchflossene Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben. Die Feldlinienbilder können wie beim Dauermagneten mit Hilfe von Eisenfeilspänen oder kleinen Magnetnadeln sichtbar gemacht werden. So bilden bei einem geraden Leiter die Feldlinien *konzentrische Kreise* (Abb. 201/1). Das Feldlinienbild ist an jeder Stelle des Leiters das gleiche (Abb. 201/2).

Ebenso wie bei Dauermagneten haben auch die Feldlinien eines stromdurchflossenen Leiters eine bestimmte Richtung. Sie ist von der Stromrichtung abhängig. Den Verlauf der Feldlinien kann man mit Hilfe kleiner, leicht drehbarer Magnetnadeln nachweisen (Abb. 201/3).

2. Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Leiterschleife. In der Abbildung 202/1b ist das Feldlinienbild einer Leiterschleife wiedergegeben. Die Abbildung zeigt, daß sich die magnetischen Feldlinien an keiner Stelle überschneiden. Mit Hilfe einer Magnetnadel kann festgestellt werden, daß die eine Fläche der Leiterschleife wie ein magnetischer Nordpol und die andere Fläche wie ein magnetischer Südpol wirkt.

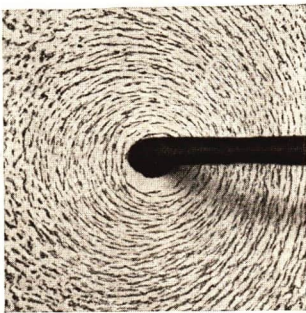


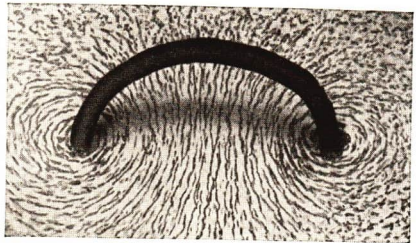
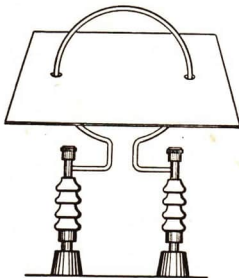
Abb. 201/1. Magnetische Feldlinien um einen senkrechten stromdurchflossenen Leiter



Abb. 201/2. Schematische Darstellung des Magnetfeldes eines stromdurchflossenen Leiters



Abb. 201/3. Verhalten einer Magnetnadel im Magnetfeld eines Leiters. Die Magnetnadel zeigt die Richtung der Feldlinien an.



a) Versuchsanordnung

b) Feldlinienbild

Abb. 202/1. Magnetfeld einer Leiterschleife

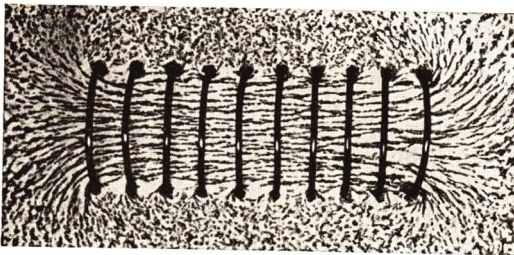


Abb. 202/2. Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule

3. Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule.

Das Magnetfeld einer Spule ähnelt sehr stark dem eines Stabmagneten (Abb. 202/2). Die Feldlinien quellen aus dem einen Spulenende hervor, führen im Bogen zum anderen Ende und münden dort wieder in die Spule ein. Innerhalb der Spule verlaufen sie parallel zueinander. Jede Feldlinie ist in sich geschlossen. Sie hat weder

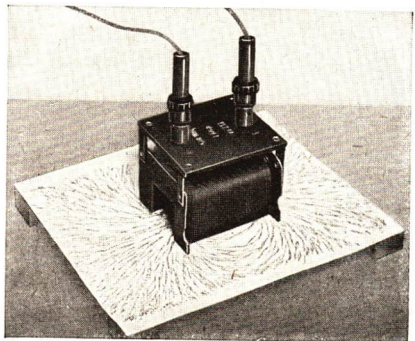


Abb. 202/3. Magnetfeld einer Kastenspule

Anfang noch Ende. Ähnliche Feldlinienbilder erhält man auch bei Spulen mit höheren Windungszahlen (Abb. 202/3).

Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule ähnelt dem eines Stabmagneten. Die Feldlinien sind in sich geschlossen.

Nähert man einer stromdurchflossenen Spule eine Magnetnadel, so erkennt man, daß das eine Ende wie ein Nordpol und das andere Ende wie ein Südpol wirkt. Kehrt man die Stromrichtung in der Spule um, so werden dadurch die Pole an den Spulenden vertauscht. Daraus folgt, daß die Richtung des Magnetfeldes von der Stromrichtung abhängig ist.

Auch das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule ist, wie das eines Dauermagneten, nicht auf eine Ebene beschränkt. Die in Abbildung 203/1 an der Spule hängenden Eisenfeilspäne lassen deutlich erkennen, wie die Feldlinien nach allen Seiten räumlich auseinanderlaufen. Beim Ausschalten des Stromes verschwindet das Magnetfeld wieder. Man sagt, es *bricht zusammen*. Die Eisenfeilspäne fallen infolgedessen von der Spule ab.

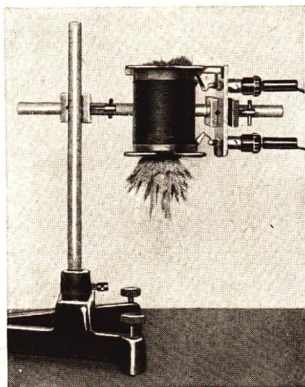


Abb. 203/1. Büschel von Eisenfeilspänen an einer stromdurchflossenen Spule

4. Fragen und Aufgaben:

1. Vergleiche das Feld eines Stabmagneten mit dem Feld einer stromdurchflossenen Spule!
2. Vergleiche die Abb. 202/1b und 202/2 miteinander! Welche Schlußfolgerungen kannst du bezüglich der Entstehung des Magnetfeldes einer Spule ziehen?

37. Der Elektromagnet

1. Die magnetische Wirkung einer stromdurchflossenen Spule. Über einer Spule hängt an einer Federwaage ein Eisenstück (Abb. 204/1a). Schließt man den Stromkreis, so wird das Eisenstück in die Spule hineingezogen (Abb. 204/1b). Die Kraftwirkung ist um so größer, je größer die Stärke des durch die Spule fließenden Stromes ist.

Die magnetische Wirkung einer Spule wächst mit zunehmender Stromstärke.

Bei Versuchen mit Spulen verschiedener Windungszahl stellt man fest, daß die magnetische Wirkung mit zunehmender Windungszahl steigt. Außerdem hängt die magnetische Kraft von der Länge der Spule ab. Die Kraft ist bei gleicher Windungszahl um so größer, je kürzer die Spule ist. Man hat daher die *Abhängigkeit der magnetischen Wirkung von der Windungszahl je Längeneinheit* untersucht.

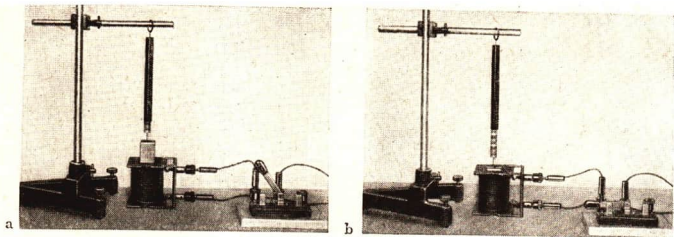


Abb. 204/1. Der über der Spule hängende Eisenkörper (a) wird beim Schließen des Stromkreises in das Innere der Spule gezogen (b).

Die magnetische Wirkung ist dem Quotienten aus der Windungszahl und der Länge der Spule proportional.

2. Die Verstärkung der magnetischen Wirkung einer Spule mit Hilfe eines Eisenkernes. Senkrecht zu einer in die Nord-Süd-Richtung eingespielten Magnetnadel wird eine Spule aufgestellt (Abb. 204/2a). Legt man an die Spule eine Gleichspannung, so wird die Magnetnadel um einen bestimmten Winkel abgelenkt (Abb. 204/2b). Steckt man nun einen Weicheisenkern in die Spule, so wird die Magnetnadel um einen wesentlich größeren Winkel abgelenkt (Abb. 204/2c).

Die magnetische Wirkung einer Spule wird durch einen Eisenkern verstärkt.

3. Der Elektromagnet. Schließt man eine Spule mit 500 Windungen an eine Gleichspannung von 2 V an, so kann sie keinen Eisenschlüssel tragen. Wird die Spule jedoch mit einem Weicheisenkern versehen, so kann sie bei gleicher Spannung wesentlich schwerere Eisenstücke tragen (Abb. 205/1).

Solange der Strom durch die Spule fließt, hat der Eisenkern die gleichen Eigenschaften wie ein Stabmagnet. An seinen Enden bilden sich Magnetpole. Sobald der Stromfluß unterbrochen wird, verlieren die Spule und der Kern den Magnetismus wieder fast vollständig. Man bezeichnet einen solchen elektrisch erregten Magneten als *Elektromagneten*.

Ein Elektromagnet besteht aus einer Spule und einem Weicheisenkern. Der Kern wirkt so lange als Magnet, wie die Spule vom Strom durchflossen wird.

Die Kraft eines Magneten ist um so größer, je dichter die Feldlinien zusammenliegen. Da nun bei

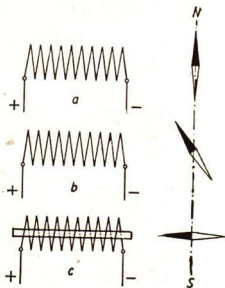


Abb. 204/2. Die Ablenkung einer Magnetnadel im Magnetfeld einer Spule

- a) stromlose Spule
- b) stromdurchflossene Spule ohne Eisenkern
- c) stromdurchflossene Spule mit Eisenkern

Vorhandensein von Eisen die Feldlinien zum größten Teil durch das Eisen verlaufen, ist die magnetische Wirkung einer Spule mit Eisenkern wesentlich größer als die einer Spule ohne Eisenkern. Soll die magnetische Wirkung sehr groß werden, so muß man dafür sorgen, daß alle Feldlinien möglichst längs ihres ganzen Weges im Eisen verlaufen. Deshalb verwendet man hufeisenförmige Elektromagnete. Dadurch verlaufen auch außerhalb der Spulen die Feldlinien zum großen Teil im Eisen. Überbrückt man die Enden des Hufeisenkernes durch ein Eisenstück, den *Anker*, so verlaufen die Feldlinien auch außerhalb des Kernes im Eisen. Die magnetische Wirkung wird auf diese Weise noch weiter verstärkt, während nach außen hin kaum noch Wirkungen auftreten.

Der Elektromagnet hat gegenüber dem Stahlmagneten den Vorteil, daß man die magnetische Kraft durch Ein- und Ausschalten des Stromes beliebig lange wirken lassen kann.

Eine sehr große magnetische Wirkung erreicht man mit Magneten, deren Eisenkern topfförmig gestaltet ist. Die Abbildung 205/2 zeigt den Schnitt durch einen solchen Elektromagneten. Der Eisenkern wird wiederum durch einen Anker geschlossen. Dadurch verlaufen die Feldlinien ihrer ganzen Länge nach im Eisen. Ein faustgroßer Elektromagnet dieser Art kann bei einer Spannung von 4 V Körper mit einem Gewicht bis zu 100 kp tragen.

4. Die Anwendung der Elektromagnete. In unseren großen Stahlwerken sind vielfach *Kräne* eingesetzt, die an Stelle des Greifers einen großen *Topfmagneten* haben (vgl. Abb. 126/4). Man verwendet diese Elektrokräne zum Befördern von Eisenschrott, zum Heben großer Eisenblöcke und für ähnliche Zwecke. Bei diesen Kränen wirken die Eisenstücke, die transportiert werden, selbst als Anker.

Elektromagnete werden häufig als Bestandteil verschiedenartiger Geräte, die von einer anderen Stelle aus betätigt werden sollen, verwendet. So kann mit Hilfe des *elektrischen Türöffners* die Verriegelung der Türen auf größere Entfernung freigegeben werden. Man findet elektrische Türöffner an den Eingängen vieler Wohnhäuser und in Betrieben. In das Türschloß ist ein Elektromagnet eingebaut, der eine Sperrvorrichtung zurückzieht, sobald der Stromkreis geschlossen wird (Abb. 206/1).

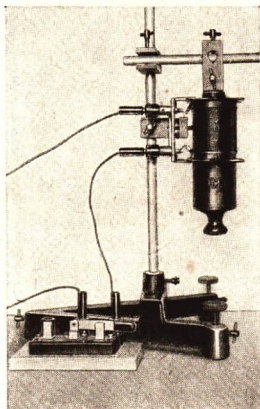


Abb. 205/1. Eine Spule mit Weich-eisenkern trägt ein 1-kg-Stück. Angelegte Spannung 2 V.

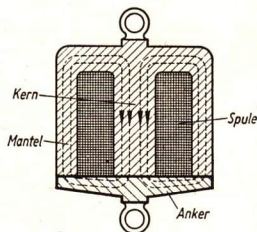


Abb. 205/2. Querschnitt durch einen Elektromagneten mit topfförmigem Eisenkern und Anker. Die Last hängt an einem Haken, der am Anker befestigt ist.

Wird der Stromkreis geöffnet, so federt die Sperre wieder in die alte Lage zurück und hält die Klinke fest.

Bei vielen Produktionsprozessen werden elektrische Vorgänge von einem Überwachungsraum aus geschaltet. Soll beispielsweise der Schreibapparat einer Telegrafenanlage aus größerer Entfernung betätigt werden, so würde der Strom durch den Widerstand der langen Leitungsdrähte so stark geschwächt werden, daß er nicht mehr zum Betrieb der Anlage ausreicht. In solchen Fällen wird in den Stromkreis ein *Relais* eingebaut. Es besteht aus einem kleinen Elektromagneten mit einem federnden Anker (Abb. 206/2). Durch diesen Anker wird ein zweiter Stromkreis ein- oder ausgeschaltet.

Schließt man den Schalter im Stromkreis I, so fließt ein schwacher Strom durch die Spule des Elektromagneten. Infolgedessen wird der Anker angezogen und der Schaltkontakt geschlossen. Damit ist der Stromkreis II geschlossen. In ihm fließt ein stärkerer Strom, der zum Verrichten einer Arbeit ausreichend ist. Unterbricht man den ersten Stromkreis, dann federt der Anker in seine Ausgangsstellung zurück und unterbricht dadurch den zweiten Stromkreis.

Abb. 206/3. Relais
1 Elektromagnet, 2 Anker,
3 Kontaktsatz

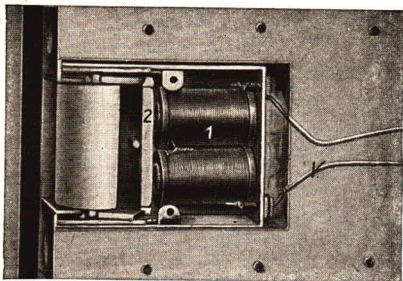


Abb. 206/1. Elektrischer Türöffner
1 Elektromagnet 2 Sperrvorrichtung

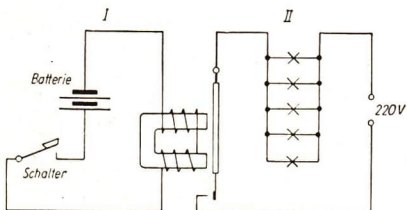
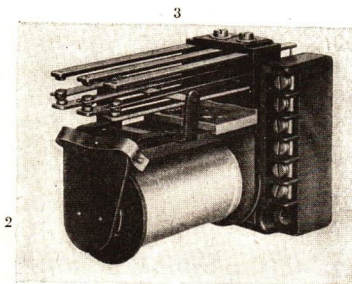


Abb. 206/2. Relaischaltung. Beim Einschalten des schwachen Stromes im Stromkreis I wird der Anker angezogen und dadurch der Stromkreis II geschlossen.



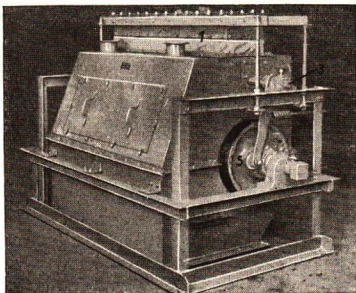
Das Relais ist ein in der Technik vielseitig angewandtes Schaltelement. Es enthält jedoch an Stelle eines einzelnen Schaltkontaktes häufig mehrere Kontakte (Abb. 206/3). Durch Bewegen des Ankers können dann gleichzeitig mehrere Stromkreise geschlossen oder geöffnet werden.

In unserer sozialistischen Industrie kommt es darauf an, in immer stärkerem Maße die Produktionsvorgänge zu *mechanisieren* und vor allem zu *automatisieren*. Hierbei haben die Relais in den verschiedensten Anwendungsformen eine besondere Bedeutung.

Auch zum Befestigen von Werkstücken in Maschinen der Metallbearbeitung werden Magnete verwendet. So werden bei Flächenschleifmaschinen die Werkstücke elektromagnetisch gehalten.

Elektromagnete werden ferner dazu verwendet, Eisenerz vom „tauben Gestein“ zu trennen. Zu diesem Zweck läßt man das zerkleinerte Gemenge über eine sich drehende Trommel laufen (Abb. 207/1). Im Innern dieser Trommel befindet sich ein feststehender Elektromagnet. Infolge der magnetischen Wirkung werden die Erzteilchen ein Stück mitgenommen und fallen in einen besonderen Schacht. Die übrigen Teilchen dagegen werden nicht mitgenommen und gelangen in einen anderen Schacht. Eine solche Vorrichtung wird als *Magnetscheider* bezeichnet.

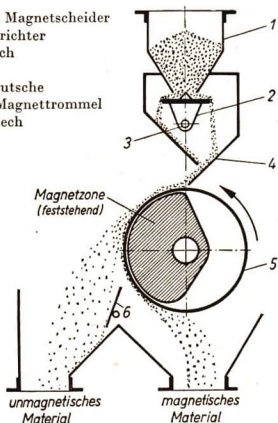
Eine ähnlich arbeitende Vorrichtung wird auch zum *magnetischen Reinigen des Saatgutes* verwendet. Soll beispielsweise aus der Kleesaat Unkrautsamen entfernt werden, so schüttet man Stahlstaub und etwas Wasser in das Saatgut. Der Stahlstaub bleibt an den rauen Unkrautsamen hängen, jedoch nicht an den glatten Saatkörnern des Klees. Nun läßt man alles über eine sich drehende Trommel laufen, in der sich ein Elektromagnet befindet. Dabei werden die mit Stahlstaub behafteten



a) Ansicht

Abb. 207/1. Magnetscheider

- 1 Aufgabetrichter
- 2 Rütteltisch
- 3 Achse
- 4 Aufgeberutsche
- 5 Elektro-Magnettrommel
- 6 Abfangblech



b) Schematische Darstellung der Wirkungsweise

Unkrautsamen angezogen, während die Körnchen der Kleesaat über den Zylinder hinweg in einen Sammelbehälter fallen. Man gewinnt auf diese Weise ein Saatgut, das frei von Unkrautsamen ist.

5. Fragen:

1. Welche Vorteile hat ein Elektromagnet gegenüber einem permanenten Magneten?
2. Welche Aufgaben haben Relais?
3. Warum ist die Tragfähigkeit von Topfmagneten besonders groß?

38. Der Telegraf

1. Der Morsetelegraf. Seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts arbeiteten verschiedene Wissenschaftler daran, *die Elektrizität zum Übertragen von Nachrichten zu verwenden*. Die bisherigen Verfahren der akustischen und optischen Nachrichtenübermittlung reichten bei den erhöhten Anforderungen nicht mehr aus. Praktische Bedeutung erlangte aber erst der von dem Amerikaner *Samuel Morse* im Jahre 1837 konstruierte *elektromagnetische Schreibtelegraf*.

In der Abbildung 208/1 ist das Modell eines Morsetelegraphen wiedergegeben. Ein Elektromagnet ist über einen Schalter, die Morsetaste, an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen. Drückt man auf die Morsetaste, so wird der Stromkreis geschlossen, und der Elektromagnet zieht die Blattfeder mit der Schreibspitze an. Auf dem Papierstreifen entsteht eine Farbspur. Drückt man nur kurz auf die Morsetaste, so entsteht ein kurzer Strich, der in der Telegrafie als *Punkt* bezeichnet wird. Drückt man die Taste etwas länger nieder, so entsteht ein *Strich*. Aus Punkten und Strichen ist das Morsealphabet zusammengesetzt (vgl. S. 210). Die Wirkungsweise des Morsetelegraphen ist aus der in Abbildung 208/2 wiedergegebenen Schaltskizze ersichtlich.

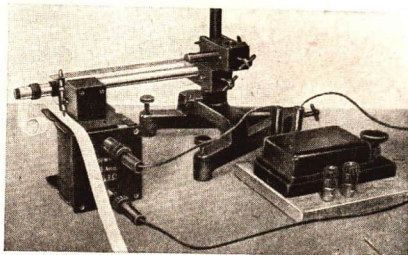


Abb. 208/1. Modell eines Morsetelegraphen

Mit Hilfe eines Morsetelegraphen werden kurze beziehungsweise lange Stromstöße übertragen und als Punkte beziehungsweise Striche aufgezeichnet.

Bei der technischen Ausführung des Morsetelegraphen wird die Blattfeder durch

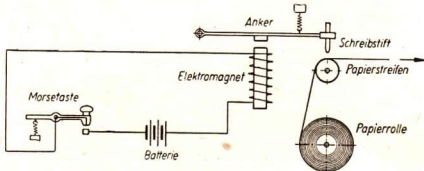


Abb. 208/2. Schaltskizze eines Morsetelegraphen

einen Hebel nach dem Öffnen des Stromkreises wieder in die Ausgangsstellung zurückgezogen. Die Schreibspitze ist meist durch ein Schreibrad ersetzt, das in einen kleinen Behälter mit Tusche taucht. Beim Schließen des Stromkreises berührt das Schreibrad den Papierstreifen, der mit Hilfe eines Uhrwerkes gleichmäßig unter dem Schreibrad vorbeigezogen wird. In der Abbildung 209/1 ist eine Morsestation wiedergegeben, wie sie auch heute noch bei der Deutschen Reichsbahn benutzt wird. Morseapparate werden neben dem Telefon verwendet, damit man die Meldungen über den Zugverkehr jederzeit nachlesen kann.

Im Jahre 1837 entdeckte Carl August Steinheil, daß man bei der Anlage von Telegrafeneleitungen an Stelle des einen Drahtes die Erde verwenden kann. Daher werden die Leitungen der Morsetelegraphen häufig nur eindrähtig verlegt. Sowohl die Sendeleitungen als auch die Empfangsstation wird durch je eine *Erdplatte* an das feuchte Erdreich angeschlossen. Die Abbildung 209/2 gibt eine solche Anlage schematisch wieder.

Beim Telegrafieren über große Entfernungen ist der Strom infolge des Leitungswiderstandes oft so schwach, daß er nicht ausreicht, den Anker des Schreibapparates in Bewegung zu setzen. Daher ist im allgemeinen vor dem Morseapparat ein Relais geschaltet. Dieses Relais spricht auf den schwachen Fernstrom an und schaltet einen zweiten örtlichen Stromkreis ein, in dem sich eine Spannungsquelle befindet. Der

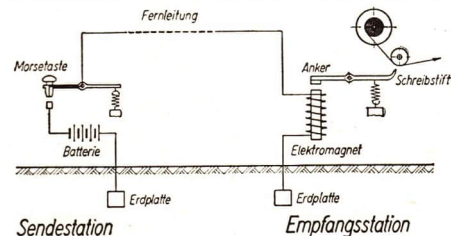


Abb. 209/2. Anlage einer Telegrafeneleitung mit Erdleitung

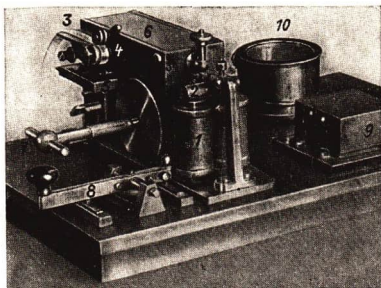


Abb. 209/1. Morsestation der Deutschen Reichsbahn

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 Elektromagnet | 6 Gehäuse mit Uhrwerk zum Bandtransport |
| 2 Anker (Traghebel nicht sichtbar) | 7 Handgriff zum Aufziehen des Uhrwerkes |
| 3 Papierstreifen | 8 Morsetaste |
| 4 Transportrolle | 9 Relais |
| 5 Schreibrad | 10 Blitzschutz |

Morsetelegraf wird in neuerer Zeit in immer stärkerem Maße durch *Fernschreiber* ersetzt. Diese besitzen eine Tastatur ähnlich der einer Schreibmaschine. Mit Hilfe des Fernschreibers werden unmittelbar Buchstaben übertragen, was wesentliche Vorteile, vor allem in zeitlicher Hinsicht, mit sich bringt.

2. Das Morsealphabet. *Samuel Morse* erfand nicht nur den Schreibtelegraphen, sondern stellte auch das nach ihm benannte internationale *Morsealphabet* auf. Es setzt sich aus Punkten und Strichen zusammen.

a . —	f . . . —	l	q — — . —	v . . . —
ä . . . —	g — — —	m — — —	r . — .	w . — . —
b — . . .	h	n — .	s . . .	x
c — . — .	i . .	o — — —	t —	y — . — .
d — . .	j . — — —	ö — — — .	u . . .	z — . . .
e .	k — —	p . — . .	ü . . — —	ch — — — —
0 — — — —	2 . . — — —	4	6 — . . .	8 — — — .
1 . — — —	3 . . . —	5	7 — . . .	9 — — — .

Internationaler Notruf: SOS . . . — — — . . .

3. Fragen und Aufgaben:

1. Beschreibe den Aufbau eines Telegraphen!
2. Wie könnte man unter Verwendung eines Relais und einer Lampe eine Nachrichtenübermittlung aufbauen?

39. Die elektrische Klingel

1. Die Wirkungsweise der elektrischen Klingel. Ändert man die in Abbildung 208/1 wiedergegebene Versuchsanordnung dahin ab, daß man an Stelle der Schreibfeder einen Klöppel und dicht davor eine Glocke stellt, so ertönt jedesmal beim Einschalten des Stromes ein Glockenschlag. Soll sich dieses Zeichen wiederholen, so muß der Stromkreis jedesmal unterbrochen und von neuem geschlossen werden.

Jede *elektrische Klingel* ist daher mit einer Vorrichtung versehen, durch die der Stromkreis selbständig unterbrochen und geschlossen wird (Abb. 210/1). Der elektrische Strom wird dem Elektromagneten über eine Kontaktschraube zugeführt, die den Anker berührt. Aus der Abbildung 211/1 ist zu ersehen, daß bei geöffnetem Strom-

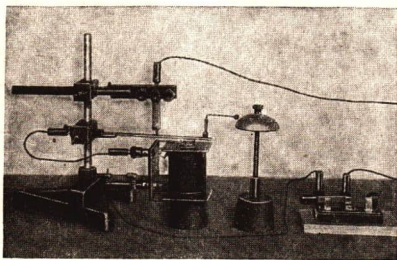


Abb. 210/1. Modell einer elektrischen Klingel

kreis der Anker die Kontaktschraube berührt. Sobald der Stromkreis geschlossen wird, zieht der Elektromagnet den Anker an. Dadurch wird aber der Stromkreis zwischen der Kontaktschraube und dem Anker sofort wieder unterbrochen. Der Elektromagnet wird unwirksam. Infolgedessen federt der Anker in seine ursprüngliche Lage zurück und schließt den Stromkreis von neuem. Kontaktgabe und Unter-

brechung folgen einander in kurzen Zeitabständen. Man bezeichnet eine solche Einrichtung als *Wagnerschen Hammer*.

Der Wagnersche Hammer dient zum selbsttätigen Unterbrechen und Schließen eines Stromkreises.

Die schwingende Bewegung des Ankers findet erst dann ihr Ende, wenn der Schalter geöffnet wird. Für Klingelanlagen verwendet man als Schalter meist einen

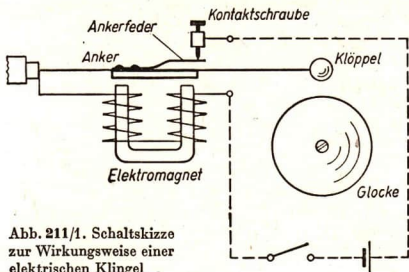


Abb. 211/1. Schaltskizze zur Wirkungsweise einer elektrischen Klingel

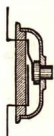
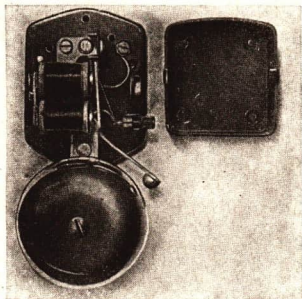


Abb. 211/2. Schnittzeichnung eines Klingelknopfes

Abb. 211/3. Elektrische Klingel. Der Gehäusedeckel ist abgenommen.



Klingelknopf (Abb. 211/2). Er gibt nur während des Drückens Kontakt. In der Abbildung 211/3 ist eine geöffnete elektrische Klingel moderner Bauart wiedergegeben.

Versagt einmal die elektrische Klingel, so liegt es oft daran, daß die Ankerfeder die Kontaktschraube in der Ruhelage nicht mehr berührt oder daß die Kontakte mit einer isolierenden Oxydschicht überzogen sind. Durch Nachstellen der Schraube beziehungsweise durch Reinigen der Kontakte kann der Fehler behoben werden. Die Schraube darf jedoch nicht so weit angezogen werden, daß der Anker den Eisenkern des Elektromagneten berührt, weil dann der Stromkreis nicht mehr unterbrochen werden kann.

Wählt man als Anker eine kurze schnellschwingende Blattfeder und läßt die Glocke fort, so kann man mit diesem Gerät Summtöne erzeugen. Man bezeichnet diese Vorrichtung als *Summer*.

2. Fragen und Aufgaben:

1. Beschreibe die Wirkungsweise des Wagnerschen Hammers.
2. Was versteht man unter einem Summer?

40. Das Telefon

1. Der Aufbau des Telefons. Zur Übertragung der Sprache mit Hilfe des elektrischen Stromes benutzt man das *Telefon*. Zu jeder Fernsprechanlage gehören neben wichtigen anderen Bestandteilen das *Mikrofon* zur Aufnahme der Sprache und das eigentliche *Telefon* zur Wiedergabe der Sprache. Das Mikrofon und das Telefon sind in dem *Handapparat* untergebracht (Abb. 212/1).

2. Das Mikrofon. Die Wirkungsweise des Mikrofons kann mit der in Abbildung 212/2 wiedergegebenen Versuchsanordnung veranschaulicht werden. Das Glühlämpchen leuchtet nur sehr schwach. Daraus folgt, daß nur ein schwacher Strom fließt. Drückt man das waagerecht hängende Kohlestäbchen gegen die beiden lotrechten, dann leuchtet das Lämpchen merklich heller. Die Stromstärke ist somit größer geworden, weil der Strom einen geringeren Widerstand zu überwinden hat.

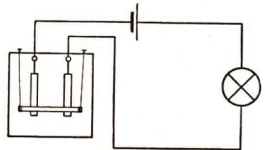
Ersetzt man das Lämpchen durch einen Kopfhörer und hält gegen den Holzrahmen eine schwingende Stimmgabel oder eine tickende Uhr, so hört man deutlich den Ton beziehungsweise das Ticken im Hörer (Abb. 213/1). Die Schwingungen der Stimmgabel werden auf den Holzrahmen übertragen, wodurch die Kohlestäbchen im gleichen Rhythmus erschüttert werden. Das waagerechte Stäbchen liegt daher bald mehr und bald weniger fest an den beiden lotrechten. Infolgedessen fließt im Stromkreis ein Strom mit schwankender Stromstärke. Diese Stromstärkeschwankungen werden im Kopfhörer hörbar gemacht. Mit Hilfe der geschilderten Versuchsanordnung werden *Schallwellen in Schwankungen der Stromstärke umgewandelt*.

Im Mikrofon werden Schallwellen in Schwankungen der Stromstärke umgewandelt.



Abb. 212/1. Telefonapparat. Der abnehmbare Handapparat enthält das Mikrofon und das Telefon.

Abb. 212/2. Modell zur Wirkungsweise des Mikrofons. Das Glühlämpchen leuchtet hell, wenn das waagerechte Kohlestäbchen fest gegen die beiden lotrechten gedrückt wird.



Das in Abbildung 213/1 wiedergegebene einfache Mikrofonmodell reicht jedoch zur einwandfreien Übertragung von Sprache, Gesang oder Musik nicht aus. Die Kohlestäbchen sind zu schwer und daher zu träge, sie können den außerordentlich schnellen Schwingungen nicht folgen. Besser für diesen Zweck sind *Kohlekörnermikrofone* geeignet, wie sie auch in den *Fernsprechgeräten* verwendet werden.

In dem Mikrofon liegen Kohlekörner zwischen einem Kohleblock und einer dünnen schwingungsfähigen Platte aus Kohle, einer Kohlemembran (Abb. 213/2). Der positive Pol der Spannungsquelle liegt am Kohleblock, während der negative Pol an der Kohlemembran liegt. Die Kohlekörner stellen die leitende Verbindung zwischen dem Kohleblock und der Membran her. Treffen Schallwellen auf die Membran, so schwingt sie im gleichen Rhythmus wie die Luftteilchen. Dabei biegt sie sich abwechselnd nach innen und nach außen durch. Schwingt die Membran nach innen, so werden die Kohlekörner zusammengedrückt. Die Berührung zwischen den einzelnen Kohlekörnern wird dadurch inniger, so daß der elektrische Widerstand sinkt. Infolgedessen wird die Stromstärke größer. Schwingt die Membran nach außen, so wird die Berührung der Kohlekörner schwächer und infolgedessen der Widerstand größer. Die Stromstärke sinkt. *Auf diese Weise werden die Schwingungen der Membran in Schwankungen der Stromstärke umgewandelt.*

Zur einwandfreien Übertragung von Musik reichen die Kohlekörnermikrofone nicht aus. In diesem Fall verwendet man *Kristall-* und *Kondensatormikrofone*. Ihre Wirkung beruht auf anderen physikalischen Erscheinungen als denen beim Kohlekörnermikrofon.

3. Das Telefon. Das Telefon enthält einen kleinen hufeisenförmigen Magneten, auf dessen Schenkel je eine Spule aufgesetzt ist. Über den Polen ist in geringem Abstand eine dünne schwingungsfähige *Eisenmembran* angebracht (Abb. 214/1). Fließt durch die Spulen ein elektrischer Strom, so entsteht in ihnen ein Magnetfeld. *Dieses Magnetfeld überlagert sich mit dem Magnetfeld des Hufeisenmagneten.* Je nach der Richtung des Magnetfeldes der Spulen wird das Magnetfeld des Hufeisenmagneten verstärkt

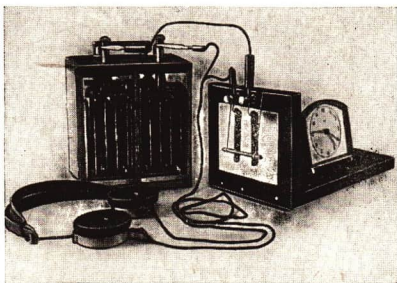


Abb. 213/1. Mikrofonmodell. Die Erschütterungen des Brettchens werden in Schwankungen der Stromstärke umgewandelt.

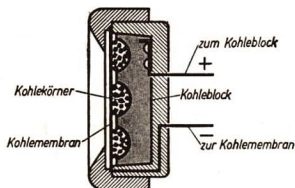


Abb. 213/2. Schnitt durch ein Kohlekörnermikrofon

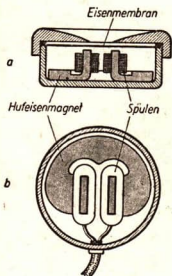


Abb. 214/1. Telefon
a) im Schnitt
b) Draufsicht bei
geöffnetem
Gehäuse

oder geschwächt. Außerdem ist die Verstärkung und Schwächung von der Stromstärke abhängig. Dadurch wird die Eisenmembran stärker oder schwächer angezogen, die Membran schwingt. *Die Schwankungen der Stromstärke werden beim Telefon in Schwingungen der Membran umgewandelt.*

Schaltet man das Telefon mit einem Mikrofon und einer Gleichstromquelle in einen Stromkreis, so werden Telefon und Mikrofon von dem gleichen elektrischen Strom durchflossen. Hält man vor das Mikrofon eine Stimmgabel, so wird der Strom im Rhythmus der Schwingungen verstärkt beziehungsweise geschwächt. Im gleichen Rhythmus wird die Eisenmembran des Telefons stärker beziehungsweise schwächer angezogen. Die Eisenmembran führt somit in der gleichen Zeit die gleiche Anzahl von Schwingungen aus wie die Stimmgabel. Durch die Membran werden die Luftteilchen zum Schwingen gebracht. Die Schwingungen der Luft gelangen an unser Ohr und werden dort als Schall wahrgenommen.

Mit Hilfe des Telefons werden Schwankungen der elektrischen Stromstärke in Schallwellen umgewandelt.

Die Abbildung 214/2 zeigt die Schaltskizze einer einfachen Fernsprechanlage.

Das Mikrofon und das Telefon wurden von *Philipp Reis* erfunden. Er gab im Jahre 1861 die Ergebnisse seiner Erfindung in einem Vortrag bekannt. Mit seinem Telefon konnten aber nur Töne und Melodien übertragen werden. Daher erlangte seine Erfindung keine praktische Bedeutung. Dies erreichte erst der Amerikaner *Graham Bell*, der das Telefon so weit entwickelte, daß es zur Übertragung von Sprache und Musik eingesetzt werden konnte.

Bei Geländeübungen der Gesellschaft für Sport und Technik und im Geländedienst der Volksarmee werden *Feldfernsprecher* eingesetzt (Abb. 215/1). Ein Feldfernsprecher besteht aus einem Kunststoffgehäuse, dessen Deckel aufgeklappt werden kann. In dem Gehäuse ist der Handapparat mit dem Mikrofon und dem Telefon sowie die Spannungsquelle eingebaut.

Zur einwandfreien Verständigung über größere Entfernungen reichen Fernsprechanlagen der in Abbildung 214/2 wiedergegebenen Form nicht aus. Zu diesem Zweck wurden Geräte entwickelt, in denen die schwachen Telefonieströme verstärkt werden. Mit der Entwicklung des öffentlichen Fernsprechnetzes mußten zentrale *Vermitt-*

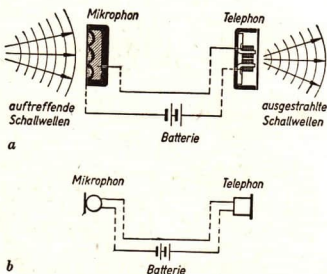


Abb. 214/2. Schaltskizze einer einfachen Fernsprechanlage
a) in schematischer Darstellung
b) unter Verwendung der Schaltzeichen des Mikrofons und des Telefons

lungsämter eingerichtet werden. Zunächst wurden die gewünschten Verbindungen von Telefonistinnen hergestellt. Mit der zunehmenden Anzahl der Teilnehmer reichten diese Vermittlungsämter aber bald nicht mehr aus. Daher wurden *Selbstanschlußämter* geschaffen, in denen die Verbindungen automatisch hergestellt werden. Hierzu muß mit Hilfe der Wählerscheibe des Fernsprechapparates die Nummer des gewünschten Teilnehmers gewählt werden. Beim Zurücklaufen der Wählerscheibe wird eine der gewählten Nummer entsprechende Anzahl von Stromstößen erzeugt, durch die im Selbstwählamt die Schaltelemente weitergeschaltet werden, so daß die gewünschte Verbindung hergestellt wird.

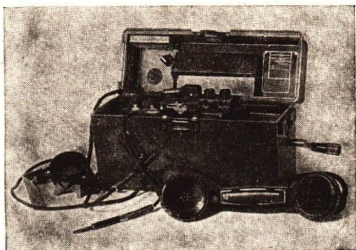


Abb. 215/1. Feldfernsprecher

4. Dispatcheranlagen. Bei der Reichsbahn und in Industrieanlagen ist das Telefon ein wichtiges Mittel für die Erhöhung der Betriebssicherheit und die Lenkung des Produktionsablaufs. Daher wurden neben den sonst üblichen Fernsprech- und Fernschreibenanlagen *Dispatcheranlagen* eingerichtet. So sind beispielsweise alle Bahnhöfe und Stellwerke eines bestimmten Gebietes durch eine Dispatcheranlage verbunden. Alle Vorkommnisse, die für die Verkehrssicherheit von Bedeutung sind, werden von den einzelnen Sprechstellen der Zentrale gemeldet. Der den Verkehr leitende und kontrollierende Angestellte, der *Dispatcher*, hat dadurch ständig einen genauen Überblick über sämtliche Züge, die sich in seinem Bereich befinden. Er kann daher auch jederzeit Anweisungen für die Verbesserung des Verkehrsablaufes geben.

Ein besonderer Vorteil dieser Anlage besteht darin, daß die Verbindung mit dem Dispatcher mit Hilfe direkter Leitungen erfolgt. Die Verbindung mit der Dispatcherzentrale kann somit jederzeit hergestellt werden, ohne daß gewartet zu werden braucht, bis die Leitung frei ist. Gibt es beispielsweise Störungen infolge von Zugverspätungen, so kann der Dispatcher sofort an Hand seines Fahrplanes übersehen, wie sich diese Störung auf den übrigen Zugverkehr auswirkt. Er übersieht ferner, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, damit die Störung möglichst geringe Auswirkungen hat. In Zukunft sollen auch die Züge selbst mit Funkanlagen ausgestattet werden, so daß auch hier eine direkte Verbindung mit der Dispatcherzentrale hergestellt werden kann.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Beschreibe die Wirkungsweise des Mikrofons und des Telefons!
2. Warum kann man ein Kohlekörnermikrofon nicht gleichzeitig als Telefon benutzen?

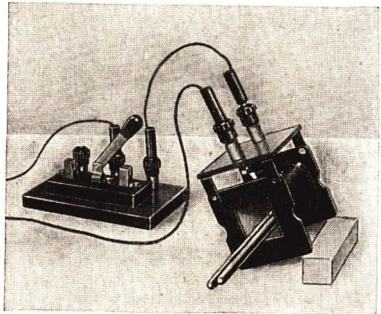
41. Strommeßgeräte

1. Das Dreheisenamperemeter. Man unterscheidet zwei Arten von *Strommessern*, bei denen die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes ausgenutzt wird: das *Dreheisenamperemeter* und das *Drehspulamperemeter*.

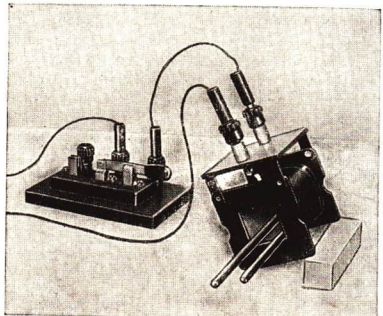
Die Wirkungsweise eines Dreheisenamperemeters zeigt der in Abbildung 216/1 wiedergegebene Versuch. Wird der Stromkreis geschlossen, so wird das Eisen im Feld der Spule magnetisch. Da sich bei den Eisenstäben gleichnamige Pole gegenüberstehen, stoßen sie einander ab. Die Stäbe rollen auseinander.

Da die magnetische Wirkung einer Spule von der Stromstärke abhängig ist, kann die Kraft, mit der sich die zwei Eisenkörper in der Spule abstoßen, zur Messung der Stromstärke ausgenutzt werden. In der Abbildung 217/1 ist das Meßwerk eines Dreheisenamperemeters wiedergegeben. Während der Blechstreifen *E* fest mit dem Spulenkörper verbunden ist, sitzt der Eisenblechstreifen *B* auf einer dünnen Welle, die in der Spule drehbar gelagert ist. Als Gegenkraft ist eine Spiralfeder *F* eingebaut, die auch als Rückholfeder bezeichnet wird. Fließt Strom durch die Spule, so wird infolge der abstoßenden Kraft zwischen den beiden Blechstreifen die Welle gedreht und dabei die Feder gespannt. Wird die Stromstärke geringer, so läßt die abstoßende Wirkung nach, und der Zeiger wird durch die Rückholfeder zurückgedreht. Damit der Zeiger nicht zu lange Zeit vor der Skala pendelt, ist eine Dämpfungseinrichtung eingebaut.

Vertauscht man die Anschlüsse der Leitungsdrähte an der Stromquelle, so neigt sich der Blechstreifen wieder nach der gleichen Seite. Auf Grund der Stromrichtung ändert sich auch die Polarität der Eisen-



a) Stromkreis geöffnet



b) Stromkreis geschlossen

Abb. 216/1. Zwei Eisenstäbe im Magnetfeld einer Spule werden magnetisch und stoßen einander ab.

teile. Es liegen sich aber nach wie vor gleichnamige Pole gegenüber. Infolgedessen stoßen auch bei geänderter Stromrichtung die Eisenteile einander ab. Das Dreheisenamperemeter kann daher sowohl zur Messung von Gleichstrom als auch zur Messung von Wechselstrom verwendet werden.

Dreheisenamperemeter sind in ihrem Aufbau sehr einfach und werden vielseitig eingesetzt. Sie sind auch im Betrieb bei Überbelastung wenig empfindlich.

2. Das Drehspulamperemeter. Beim *Drehspulamperemeter* wird die magnetische Wirkung einer stromdurchflossenen Spule ausgenutzt. Eine kleine rechteckige Rähmchenspule ist zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten leicht drehbar gelagert (Abb. 217/2). Innerhalb der Rähmchenspule ist auf der gleichen Achse ein zylindrischer Eisenkörper angebracht. Dadurch wird der Luftweg verkürzt und die magnetische Wirkung vergrößert. Zwei dünne Spiralfedern dienen sowohl als Rückholfedern als auch zur Stromzuführung. Auf der Welle der Drehspule ist ein dünner Zeiger befestigt, der die Drehung der Spule und damit die Größe der Stromstärke auf einer Skala anzeigt.

Die Arbeitsweise des Drehspulamperemeters zeigt der in Abbildung 218/1 wiedergegebene Versuch. Bei offenem Stromkreis hängt die Spule senkrecht zur Richtung der beiden Stabmagneten. Wird der Stromkreis eingeschaltet, so wird die Spule zum Magneten. Der Nordpol der Spule wird von dem Nordpol des einen Stabmagneten abgestoßen und vom Südpol des anderen Magneten angezogen. Die Wirkung auf den Südpol der Spule ist die gleiche. Infolgedessen dreht sich die Spule. Die Drehung ist um so größer, je größer die Stromstärke ist.

Werden an der Stromquelle die beiden Pole vertauscht, so ändert sich nur die Polarität der Spule. Die Polarität der Stabmagneten ändert sich nicht. Daher dreht sich die Spule in entgegengesetzter Richtung. Würde man die Spule an eine Wechselspannung anschließen, so würde sich die Polarität der Spule im Rhythmus des Wechselstromes ändern. Sie müßte sich also entsprechend der Frequenz hin- und herdrehen. Diese Bewegung kann sie aber bereits bei 50 Hz, der Frequenz des Wechselstromes, infolge ihrer Trägheit nicht ausführen. Daher bleibt sie in ihrer Ruhelage stehen. Somit kann das Drehspulamperemeter nur zum Messen von Gleichstrom verwendet werden.

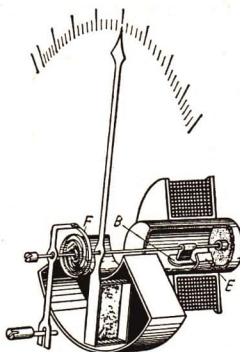


Abb. 217/1. Meßwerk eines Dreheisenamperemeters

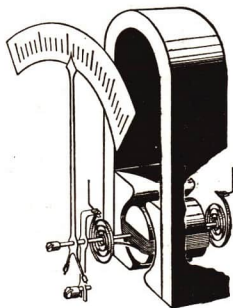


Abb. 217/2. Meßwerk eines Drehspulamperemeters

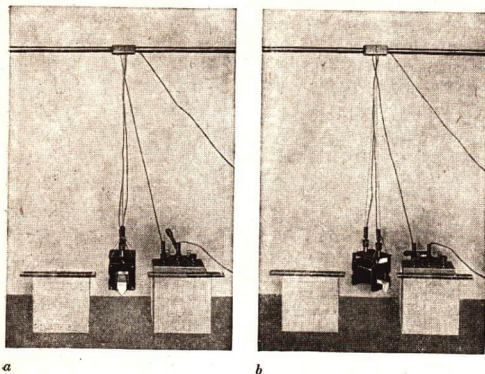


Abb. 218/1. Modell eines Drehspulamperemeters

- a) Stromkreis geöffnet
b) Stromkreis geschlossen

Das Meßwerk eines Drehspulamperemeters entspricht in seinem Aufbau dem beschriebenen Modellversuch. Während bei dem Versuch die Gegenkraft auf Grund der Aufhängung mit zwei Fäden zustande kommt, sind bei der technischen Ausführung des Drehspulmeßgerätes die Rückholfedern eingebaut.

Amperemeter dienen zur Messung der Stromstärke. **Drehseisenamperemeter** sind für Gleich- und Wechselstrom, **Drehspulamperemeter** dagegen nur für Gleichstrom geeignet.

Auf den Skalenscheiben der Meßgeräte sind verschiedene Kennzeichen angebracht. Man kann aus ihnen ersehen, für welche Zwecke das Gerät eingesetzt werden kann. Diese Zeichen sind in der Abbildung 218/2 zusammengestellt.

3. Vielfachmeßgeräte. Ein Spannungsmesser, dessen Meßbereich 6 V umfaßt, kann zum Messen hoher Spannungen nicht ohne weiteres benutzt werden. Umgekehrt kann man auf der Skala eines Spannungsmessers für 600 V kleine Spannungen nicht genau ablesen. Man müßte für genaue Messungen Meßgeräte mit unterschiedlichen Spannungsbereichen haben oder den Spannungsbereich durch Vorwiderstände verändern. Ein Gerät, mit dem durch einfaches Umschalten sowohl Spannungs- und Stromstärkemessungen durchgeführt als auch verschiedene Meßbereiche eingeschaltet werden können, bezeichnet man als *Vielfachmeßgerät*.

V	Voltmeter
A	Amperemeter
	Drehseisengerät
	Drehspulgerät
	Gleichstrom
	Wechselstrom
	Gleich- und Wechselstrom
	waagerechte Gebrauchslage
	senkrechte Gebrauchslage
	Prüfspannung 2000 V (2 kV)

Abb. 218/2. Kennzeichen elektrischer Meßgeräte

Mit Hilfe eines Schalters können beispielsweise Spannungsmeßbereiche mit den oberen Grenzen 300 mV; 1,5 V; 6 V; 15 V; 60 V; 150 V; 600 V und Stromstärkemeßbereiche mit den Grenzen 3 mA; 6 mA; 60 mA; 150 mA; 600 mA; 1,5 A; 6 A eingestellt werden.

Sollen Spannungen beziehungsweise Stromstärken gemessen werden, deren Größenordnung nicht bekannt ist, so schaltet man zuerst stets den größten Meßbereich ein. Ist der Ausschlag des Meßgerätes nur gering, so geht man stufenweise auf kleinere Meßbereiche herunter, bis der Meßwert gut abgelesen werden kann. Ist der Ausschlag dagegen zu groß, so schaltet man das Gerät sofort wieder ab. In diesem Falle muß ein anderes Meßgerät mit einem größeren Meßbereich verwendet werden.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Begründe, warum mit einem Dreheisengerät sowohl die Stromstärke von Wechselstrom als auch von Gleichstrom gemessen werden kann, während Drehspulampere-meter nur für die Messung von Gleichstrom geeignet ist.
2. Gib die prinzipielle Schaltung eines Vielfachmeßgerätes für Stromstärke und Spannungsmessungen an!

NAMEN- UND SACHVERZEICHNIS

- | | | |
|---|---|--|
| Ackerschlepper 98 u. ff. | Dieselmotor 68, 83 u. f.,
95 u. ff. | Flüssigkeitsthermometer 11 |
| Akkumulator 129 u. f. | Differentialgetriebe 106 u. f. | Fraktionierte Destillation
64 u. f. |
| Amorphe Stoffe 60 | Differentialsperre 107 | Frequenz 80 u. f. |
| Ampere (A) 137 | Dispatcheranlage 215 | Futterdämpfer 34 |
| Amperemeter 137 | Doppelsternmotor 121 u. f. | |
| Anlaßfarbe 12 u. f. | Doppelwendel 178 | Gas, ideales 34 |
| Anlaßtemperatur 12 | Drahtwiderstand 150 | —, reales 40 |
| Anomalie des Wassers 25 | Dreheisenamperemeter 216
u. f. | Gasbehälter 39 |
| Arbeit, mechanische 73 u. ff. | Drehschalter 179 u. f. | Gasturbine 68, 110, 117
u. ff. |
| —, elektrische 162 u. ff. | Drehspulamperemeter 216
u. f. | Gay-Lussac 34, 36 |
| Arbeitsdiagramm 75 | Druckgesetz für konstantes
Volumen 36 | Generator 130 |
| Atom 127 | Druckschalter 179 u. f. | Geschwindigkeitsturbine
112 u. ff. |
| Atomhülle 127 | Druckumlaufschmierung
105 | Gitterräder 108 |
| Atomkern 127 | | Gleichdruckturbine 112 u. f. |
| Ausdehnungskoeffizient,
linearer 17 u. ff. | | Gleichspannung 135 |
| —, kubischer 23, 33 u. f. | | Gleichstrom 135 |
| Autoklav: 66 | | Glimmlampe 136 u. f. |
| | <i>Edison, Thomas Alva</i> 177 | Glühfarbe 12 |
| Bandgenerator 128 | Einfachwendel 178 | Glühlampe 177 u. ff. |
| Biluxlampe 179 | Einspritzpumpe 95 u. f. | <i>Goebel, Heinrich</i> 177 |
| Bimetallstreifen 19 u. ff. | Einzylindermotor 85 | |
| Blockbauweise 103 | Elektrifizierung 81 | Halbleiter 147 u. f. |
| Boxermotor 109 | Elektrizitätszähler 166 | Hauptsatz der Wärmelehre,
erster 55 |
| <i>Boyle, Robert</i> 28 | Elektrolok 81 u. f. | Hauptschluß 139 |
| Boylesches Gesetz 28 | Elektron' 128 | Heißdampf 67, 71 |
| Bremse 109 | —, freies 133 u. ff. | Heißleiter 149 |
| Brennkammer 117 u. ff. | Elementarmagnete 197 | Heizwert 43 u. ff. |
| Brennkraftkolbenmaschine
68, 83 u. f. | Energie, elektrische 162 | <i>Helmholtz, Hermann von</i> 55 |
| <i>Brown, Robert</i> 6 | —, kinetische 6 u. f. | Hertz (Hz) 135 |
| | Energieprinzip 55 u. f. | Hochfrequenz 135 |
| Dampf 61 | Erhaltung der Energie,
Gesetz von der 55 | Hochspannung 131 |
| —, gesättigter 66 | Erstarren 60 | Hub 85 |
| —, ungesättigter 67 | Expansionsmaschine 68,
73, 75 | Hubraum 85 |
| Dampferzeuger 110 | | Hufeisenmagnet 190 u. f. |
| Dampfmaschine 68 u. ff. | Feldfernsprecher 214 u. f. | |
| Dampfturbine 68, 110 u. ff. | Feld, magnetisches 194 u. ff. | Indikator 74 |
| Dampfvolumen 34 | Fliehkraftregler 80 u. f. | induktive Methode 146 |
| deduktive Methode 146 | | |
| Diesellok 81 u. f. | | |

Innenbackenbremse 109
Ion 129
Isolator 134

Jablotschkow, Pawel Nikola-jewitsch 182
Joule, James Prescott 54

Kalorie 8
Kalorimeter 52 u. f.
Kaminkühler 51, 63, 114
Kelvin 10
Klappgreiferräder 108 u. f.
Kilokalorie 8
Kilovolt (kV) 131
Kilowatt (kW) 165
Kilowattstunde (kWh) 164
Kippschalter 179 u. f.
Kleinspannung 131
Klemmenspannung 131
Klingel 210
Kohlekörnermikrofon 213
Kolben 85
Kolbenhub 72 u. f.
Kolbenpumpe 31
Kolbenschiebersteuerung 78
Kompressor 117 u. f.
Kondensationspunkt 62
Kondensationswärme 62
Kondensator 63, 117 u. f.
Körperthermometer 10
Kosminski, P. D. 117
Kristall 56 u. f.
Kühlanlage 84
Kühler 51, 103 u. f.
Kühlung 103
Kupplung 105
Kurbeltrieb 78
Kurzschluß 185

Ladung, elektrische 127
Langen, Eugen 83
Längenausdehnung 17 u. ff.
Längenschwindmaße 60
Lavaldüse 112
Legierung 59
Leistung, effektive 80
—, elektrische 164 u. ff.
Leistung, indizierte 80
Leistungsgewicht 120 u. ff.
Leistungsmesser 166
Leiter 134
Leitungselektron 134

Lenkung 107
Lichtbogen 181 u. ff.
Lichtbogenofen, elektrischer 183
Lodygin, Alexander Nikola-jewitsch 177
Lokomotive 70 u. f.
Luftkühlung 104

Magnet, keramischer 191
Magnetismus 190 u. ff.
Magnetnadel 192
Marchkompaß 198 u. f.
Masseywiderstand 151
Mayer, Julius Robert 53 u. ff.
Mechanisches Wärmeäquivalent 54
Megawatt (MW) 165
Mehrzylindermaschine 80
Mehrzylindermotor 85
Melkmaschine 30
Meßwiderstand 149
Metallspritzverfahren 30
Mikroampere (μA) 137
Mikroamperemeter 137
Mikrofon 212
Milliampere (mA) 137
Milliampereometer 137
Millivolt (mV) 131
Mißweisung 200
Modellversuch 26
Molekül 5 u. ff.
Moorräder 108
Morse, Samuel 208
Morsealphabet 210

Nährwert 46
Naßdampf 66 u. f.
Nebenschluß 139
Newcomen, Thomas 68
Nichtleiter 134
Niederspannung 131
Normdruck 32
Normtemperatur 32
Normung 189 u. f.
Normvolumen 32
Nullpunkt, absoluter 10

Ohm, Georg Simon 139
Ohm (Ω) 141
Ohmmeter 150
Ohmsches Gesetz 142

Otto, Nikolaus 83
Ottomotor 68, 83 u. ff.

Papin, Denis 68
Perpetuum mobile 55
Petrow, Wassili Wladimiro-witsch 182
Planimeter 75
Polsucher 136 u. f.
Polsunow, Iwan Iwanowitsch 68
Projektionslampe 179
Propellerturbine 122

Radschlepper 108
Raumgitter 56 u. f.
Reduzierventil 29
Reihenmotor 85 u. f.
Reis, Philipp 215

Sattdampf 67
Schalter 179
Schaltgetriebe 106
Schaltsicherung 184
Schichtwiderstand 150
Schienenbus 81 u. f.
Schiffskompaß 200
Schmelzen 57 u. ff.
Schmelzwärme 58 u. f.
Schmierung 104 u. f.
Schneiden, autogenes 28
Schweißen, elektrisches 182
Schwinden 60
Schukosteckdose 170 u. f.
Schukostecker 170 u. f.
Segerkegel 13
Serienschaltung 180 u. f.
Shunt 159
Sicherung 184 u. ff.
Sicherungsautomat 186 u. f.
Sieden 61
Siedepunkt 61, 65
Siederohrkessel 111
Siedetemperatur 61
Spannung 128 u. ff.
Spannungsabfall 152
Spannungskoeffizient 36
Spannungsmesser 132
Spannungsnorm 128
Spannungsquelle 128 u. ff.
Spannungsteiler 154
Spezifische Wärme 49 u. ff.
Stabmagnet 190 u. f.

Steinheil, Carl August 209
Stephenson, George 70
Sternmotor 85 u. f.
Steuerung 78
Strahltriebwerk 123 u. f.
Stromkreis 134
—, unverzweigter 152 u. ff.
—, verzweigter 157 u. ff.
Strommeßgerät 137, 216
Stromrichtung 135
Stromstärke 136 u. ff.
Strömungskraftmaschine
68, 110
Sublimation 66
Summer 211

Tauchschmierung 105
Telefon 212 u. ff.
Telegraf 208 u. ff.
Temperatur 8 u. ff.
—, absolute 10
Thermocolor 14
Thermogramm 19 u. f.
Thermograph 20
Topfmagnet 205
Totpunkt 72, 85
Totpunktstellung 75, 77
Traktor 97
Turboprop 122

Überdruckturbine 112 u. f.

Ventil 84, 87
Ventilsteuerung 79 u. f.,
87 u. f.
Verdampfungswärme 61
Verdunsten 61
Verflüssigungspunkt 62
Vergaser 84
Vielfachmeßgerät 218
Viertaktmotor 84, 87 u. ff.
Voll dampfmaschine 73, 75
Voll druckmaschine 73
Volt (V) 131
Voltampere (VA) 165
Voltampere sekunde (VAs)
164
Voltmeter 132
Volumenausdehnung 23 u. ff.
Volumengesetz für konstanten
Druck 34
V-Motor 85 u. f.
Vorschaltwiderstand 143,
156

Wagnerscher Hammer 211
Wärme 5 u. f.
Wärmeäquivalent, elektri-
sches 168
Wärmeaustausch, Grundge-
setz des 52
Wärmeenergie 41, 53 u. ff.
Wärmeisolierung 9

Wärmekraftmaschine
68 u. ff.
Wärmeleiter 9
Wärmeleitung 8
Wärmemenge 8
Warmwasserheizung 50 u. f.
Wasserkühlung 103
Watt, James 69 u. f.
Watt (W) 165
Wattmeter 166
Wattsekunde (Ws) 164
Wattstunde (Wh) 164
Wechselschalter 180
Wechselschaltung 180 u. ff.
Wechselspannung 135
Wechselstrom 135
Widerstand 139 u. ff.
—, spezifischer 147 u. f.
Widerstandsgeräte 150
Widerstandsthermometer 14
Wirkungsgrad 96 u. f., 112
—, wirtschaftlicher 80

Zündanlage 84, 92
Zündkerze 85, 92, 94
Zustandsgleichung der Gase
38
Zustandsgrößen eines Gases
32
Zweitaktmotor 84, 91 u. ff.
Zylinder 72, 84 u. ff.

Quellenverzeichnis der Abbildungen

Werkfoto Automobilwerk Eisenach: Abbildung 94/1 • Werkfoto VEB Berliner Akkumulatoren- und Elemente-Fabrik, Berlin-Oberschöneweide: Abbildung 131/2 • Werkfoto Berliner Glühlampenwerk, Berlin: Abbildungen 178/1, 178/3 • Herbert Blunck, Berlin-Mahlsdorf: Abbildung 200/1a • Foto Brüggemann, Leipzig: Abbildungen 94/4b, 122/1, 135/5 • Werkfoto VEB Dämpferbau Lommatzsch: Abbildungen 40/1, 175/2 • Christian Darre, Dresden: Abbildung 176/1 • Dewag-Foto, Berlin: Abbildung 176/2 • Dewag-Werbung, Leipzig: Abbildung 119/1 • Werkfoto VEB Dieselmotorenwerk Rostock: Abbildungen 98/3, 116/2 • VEB Elektro-Apparate-Werke, Berlin-Treptow: Abbildungen 138/1, 150/2, 167/1, 167/2, 206/3 • Werkfoto VEB Elektrokohle, Berlin-Lichtenberg: Abbildung 177/1 • Werkfoto VEB Elektrowärme Sörnewitz: Abbildungen 171/2, 172/2, 172/3, 174/1 • Werkfoto VEB Elfa, Elsterwerda: Abbildung 31/1 • Werkfoto Energiemaschinenbau Halle: Abbildung 113/4 • Werkfoto VEB Fehko, Gräfenenthal (Thür.): Abbildung 169/2 • Werkfoto VEB Fernmeldewerk Leipzig: Abbildung 215/1 • Werkfoto VEB Fernmeldewerk Nordhausen: Abbildung 212/1 • Helmut Fieweger, Berlin: Abbildung 124/1 • Lothar Gabriel, Plau/Havel: Abbildungen 101/2, 101/3, 102/2 • Werkfoto FEB Gaselan, Fürstenwalde: Abbildung 39/1 • Werkfoto VEB Geräte- und Reglerwerke Teltow: Abbildung 200/1b • VEB Junkalor, Dessau: Abbildung 20/2 • Werkfoto VEB Keramische Werke, Hermsdorf (Thür.): Abbildungen 192/1, 192/2, 192/3, 193/1 • Pressefoto Horst Klein, Berlin: Abbildung 115/1 • VEB Kooperationszentrale für die Flugzeugindustrie, Dresden: Abbildung 180/1 • Lenka von Körber, Leipzig: Abbildung 126/3 • Helmut Körner, Dresden: Abbildung 116/1a • Werkfoto VEB Kfz.-Zubehör, Gera: Abbildungen 108/3, 109/1, 109/2 • Photokino Krütgen, Halle: Abbildungen 29/2a, 74/1, 130/2, 169/1, 173/1, 180/4, 180/5, 185/1, 187/1, 188/1, 191/2, 191/3, 194/2, 195/2, 195/3, 195/4, 196/1, 201/1, 202/1b, 202/2, 202/3, 203/1, 204/1, 205/1, 206/1, 208/1, 210/1, 211/3, 213/1, 216/1, 218/1 • Paul Liebmann, Bitterfeld: Abbildung 51/2 • Werkfoto VEB Lokomotivbau Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“, Hennigsdorf bei Berlin: Abbildungen 72/1, 126/1 • Werkfoto VEB (K) Maschinenbau- und Schweißbetrieb, Halle: Abbildung 7/2 • Werkfoto VEB Meßgeräte- und Armaturenwerk „Karl-Marx“, Magdeburg: Abbildungen 14/1, 14/2c • Werkfoto VEB Metallspritztechnik, Berlin: Abbildung 30/1 • VEB Werkfoto Metallwerke Harzgerode: Abbildung 85/1 • Heinz Meusel, Halle: Abbildung 56/1 • Werner Mohn, Dresden: Abbildungen 118/2, 119/2 • Werkfoto VEB Motorenwerk Karl-Marx-Stadt: Abbildungen 94/2, 94/3, 96/1 • Werkfoto Motoren- und Gerätebau Willi Richter, Weimar: Abbildung 175/3 • Werkfoto VEB Porzellanwerk, Neuhaus (Bezirk Suhl): Abbildung 94/4a • Produktionsgenossenschaft Fototechnische Werkstätten, Berlin: Abbildungen 137/1, 179/1 • Reichsbahndirektion Halle, Bildarchiv: Abbildungen 76/1, 209/1 • Werkfoto VEB Robur-Werke Zittau: Abbildung 97/2 • Werkfoto VEB Sachsenring Automobilwerke, Zwickau: Abbildung 91/1 • Ernst Schäfer, Weimar: Abbildung 138/3 • Werkfoto VEB Schott & Gen., Jena: Abbildungen 22/1a, 22/1b • Horst E. Schulze, Berlin: Abbildung 182/2 • Werkfoto VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg: Abbildung 207/1a • Foto Segel, Flöha/Sa.: Abbildung 92/1 • Max Siefert, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin: Abbildungen 7/1, 64/1, 74/3, 155/1a, 171/1a, 189/1, 191/1, 199/1, 199/2, 199/3 • Sowinform Moskau: Abbildung 82/2 • Staatliche Fotothek, Dresden: Abbildung 111/1 • Werkfoto VEB Staatliche Porzellan-Manufaktur, Meißen: Abbildung 13/2 • Werkfoto VEB Stahl- und Walzwerk „Wilhelm Florin“, Hennigsdorf bei Berlin: Abbildung 126/4 • W. Steinmann, Nordhausen: Abbildungen 102/1, 106/1, 107/3, 108/2 • Foto-Taggeselle, Leipzig: Abbildung 126/2 • B. G. Teubner, Leipzig: Abbildung 175/1 • Werkfoto VEB Traktorenwerk Schönebeck/Elbe: Abbildungen 100/1, 100/2, 100/3, 101/1 • Werkfoto VEB Turbinenwerk, Dresden: Abbildung 116/1b • Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin: Abbildung 89/2 • Werkfoto VEB Carl Zeiss, Jena: Abbildung 11/1 • Zentralbild, Berlin: Abbildungen 29/1, 42/1, 44/2, 45/1, 70/1, 71/1, 82/1, 82/3, 98/1, 98/2, 103/1, 121/1, 123/1, 123/2, 130/1.

Physikerbildnisse: Deutsches Museum, München: James Watt • Zentralbild, Berlin: Rudolf Diesel, Pawel Nikolajewitsch Jablotschkow, Georg Simon Ohm, Nikolaus Otto • Zentralhaus der Gesellschaft für Deutsch Sowjetische Freundschaft, Berlin: Iwan Iwanowitsch Polsunow.

